سنتیک رهاسازی پتاسیم از رس ورمی‌کولایت تحت اثر دو عصاره‌گیر متفاوت

سهیلاسادات هاشمی[1]

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ملایر S.hashemi@malayeru.ac.ir

چکیده

ورمی‌کولایت از جمله کانیهای حاوی پتاسیم بوده که می‌تواند بعنوان کود جهت تامین پتاسیم در خاک به کار گرفته شود. هدف از این تحقیق بررسی میزان رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی کانی رسی ورمی‌کولایت تحت اثر دو عصاره‌گیر سیتریک اسید و کلرید کلسیم می‌باشد. این آزمایش در طرح فاکتوریل با ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل دو نمونه کانی (ورمی‌کولایت آهک‌دار و بدون آهک) با دو عصاره‌گیر (کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار و سیتریک اسید) بودند. آزمایش رهاسازی در ۱۲ زمان متفاوت انجام شد. میزان پتاسیم تجمعی رهاسازی شده توسط معادلات سنتیک برازش داده شدند. نتایج نشان داد که بین تیمارها و عصاره-گیره‌ها در میزان رهاسازی پتاسیم، تفاوت معنی‌دار است ($p<۰/۰۱$). حداکثر میانگین پتاسیم تجمعی آزاده شده در تیمار ورمی‌کولایت آهک‌دار و بدون آهک برای عصاره‌گیر کلریدکلسیم ۳۱۶۱ و ۲۹۳۵ میلی‌گرم برکیلوگرم، و برای عصاره‌گیر اسید سیتریک به‌ترتیب ۲۱۷۲ و ۱۵۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد. بهترین ضریب تبیین برای هر دو عصاره‌گیر کلریدکلسیم ($r=۰/۹۸, p<۰/۰۱$؛ $r=۰/۹۶, p<۰/۰۱$) و اسید سیتریک ($r=۰/۸, p<۰/۰۱$؛ $r=۰/۷۶, p<۰/۰۱$) مدل الوویچ و تابع توانی بودند. بالاترین میزان رهاسازی در تیمار ورمی‌کولایت آهک‌دار با عصاره‌گیری کلریدکلسیم (۱۸۷۳ میلی‌گرم برکیلوگرم) مشاهده شد.

واژگان کلیدی: سنتیک، غیرتبادلی، کلریدکلسیم

مقدمه

پتاسیم بعنوان یکی از عناصر غذایی ضروری و پر مصرف برای گیاهان محسوب می‌شود و اهمیت آن در کشاورزی به خوبی شناخته شده است. در توصیه مصرف کود پتاسیم باید اشکال مختلف پتاسیم موجود و ارتباط آنها با یکدیگر و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک را با توجه به وجود تعادل دینامیکی بین آنها توجه نمود (Salomon, 1988). پتاسیم به چهار شکل اصلی در خاک وجود دارد که عبارتند از: الف- پتاسیم محلول (درصد بسیار کم) ب- پتاسیم تبادلی (۲-۰/۱ درصد) ج- پتاسیم غیرتبادلی (۱۰-۲ درصد) د- پتاسیم ساختمانی (۹۰-۹۸ درصد). پتاسیم غیرتبادلی در مناطق گوه‌ای شکل و نیز در حفره‌های شش گوش واقع در بین لایه‌های چهار وجهی‌های مجاور در میکای دوجایی و سه جایی، ورمی‌کولیت و سایر کانی‌های حد واسط؛ هم‌چنین در حفره‌های نامنظم کانی‌هایی که دارای اندازه رس هستند، نگه‌داری می‌شوند (Sparks, 1987). ورمی‌کولیت مانند میکا یک سیلیکات ورقه‌ای با ساختار لایه‌ای ۲:۱ بوده و دارای سطح ویژه قابل توجهی (حدود ۱۰۰ مترمربع برگرم) است (Foster, 1963). سطح ویژه ورمی‌کولیت در اندازه رس می‌تواند به ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر مربع برگرم برسد، که ۱۵۰-۲۰۰ متر مربع برگرم آن مربوط به فضاهای بین لایه‌ای است (خرمالی و همکاران، ۱۳۹۱). این کانی علاوه بر این که ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارد، قادر است عناصر غذایی مانند آمونیوم و پتاسیم را تثبیت کند و در خاک‌های جوان، هوای معتدل و به نسبت خشک در شرایط کمی قلیایی از کانی‌هایی چون بیوتیت به وجود می‌آید (Dauglas, 1989). حاتمی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که در رهاسازی پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی، از کانی‌های سیلکاته، فلوگوپیت بیشترین رهاسازی پتاسیم محلول، و بیوتیت بیشترین رهاسازی پتاسیم تبادلی و غیرتبادلی را بهمراه داشته اند. مسکویت کمترین رهاسازی را برای هر ۳ شکل پتاسیم داشته است. در مطالعه تثبیت پتاسیم در برخی از خاک‌های آهکی بعد از استخراج کوتاه مدت با

محلول‌های مختلف در استان فارس، نشان داده شد که ورتی‌سولها و مالی‌سولها بالاترین درصد پتاسیم را تثبیت کردند (تقریبا ۵۰٪)، در حالی که سایر خاک‌ها کمتر از ۲۵٪ پتاسیم اضافه شده را تثبیت کردند. ظرفیت تثبیت پتاسیم در تمام خاک‌ها پس از رهاسازی متوالی از نمونه‌های خاک تیمار شده با ۳ عصاره‌گیر، افزایش یافته که این افزایش تثبیت پتاسیم خاک به دلیل تخلیه پتاسیم و سایر یون‌های مشابه از مناطق گوه‌ای و موقعیت بین لایه‌ای کانی حاوی پتاسیم و گسترش لایه اسمکتیت به دلیل افزایش کلسیم و منیزیم محلول و در نتیجه افزایش ظرفیت تثبیت پتاسیم بوده است (Najafi-Ghiri et al., 2018). طی مطالعه رهاسازی پتاسیم در خاک‌های آهکی استان فارس نشان داده شد که در خاکهای شاهد و تیمار شده با پتاسیم طی ۱۰ مرحله استخراج با کلریدکلسیم یک صدم مولار، دو فاز آهسته و سریع مشاهده می‌شود، که فازسریع نشان دهنده آزاد شدن پتاسیم از موقعیت گوه‌ای و فاز آهسته نشان‌دهنده آزاد شدن از موقعیت‌های بین لایه‌ای کانی پتاسیم شکسته شده است (Najafi-Ghiri et al., 2020). مطالعه رهاسازی پتاسیم از کانی رسی ورمی‌کولایت بعنوان یک منبع فراهمی پتاسیم در خاک دارای اهمیت می باشد. لذا ضروری می‌باشد در جهت استفاده از این رس بعنوان یک کود حاوی پتاسیم برای نیاز گیاهان پتاسم‌دوست تغییرات آن پس از رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی و سرعت رهاسازی مورد ارزیابی قرار بگیرد. هدف از این تحقیق بررسی رهاسازی پتاسیم از کانی رسی ورمی‌کولایت با دو نوع عصاره‌گیر کلرید کلسیم و اسید سیتریک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

رس ورمی‌کولیت مورد استفاده در این تحقیق مربوط به معدن گل‌گهر سیرجان با درجه خلوص ۸۰ تا ۹۰ درصد است. برای رهاسازی پتاسیم، از دو تیمار رس ورمی‌کولایت آهک‌دار و رس ورمی‌کولایت شسته شده با استات سدیم (بدون آهک)، استفاده شد. ۲۵ گرم از هر تیمار به کمک کلریدکلسیم اشباع، شتشو داده شد تا پتاسیم محلول و تبادلی خارج گردد. سپس بمدت ۲ روز هواخشک شدند. جهت انجام آزمایش سنتیک، ۳ گرم رس ورمی‌کولایت و ورمی‌کولایت بدون آهک، همراه با ۳۰ سی‌سی از دو عصاره‌گیر کلریدکلسیم و اسید سیتریک ۰/۱ مولار به مدت ۱ ساعت شیک شدند. سپس هر کدام از تیمارها به مدت زمانهای متفاوت ۲، ۴، ۶، ۱۶، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۱۲۰، ۱۶۸، ۳۱۲، ۳۸۴ و ۵۵۲ ساعت در انکوباسیون قرار گرفتند. مجددا پس از انکوباسیون بمدت ۱ ساعت شیک شده و سپس با دور ۳۰۰۰ در دقیقه سانتریفوز شدند. پس از صاف کردن محلول میزان پتاسیم رها شده توسط دستگاه فلیم فتومتر قرائت شد. طرح به صورت کاملا تصادفی در قالب فاکتوریل در ۳ تکرار انجام شد. پتاسیم آزاد شده با معادلات مختلف سنتیکی شامل الوویچ، پخشیدگی پارابولیک، تابع توانی، مرتبه صفر و مرتبه یک برازش داده شده و ضریب تبیین و خطای استاندارد آنها محاسبه شد. تمامی کارهای آماری در برنامه MSTAT-C انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی با سطح احتمال ۹۵ درصد استفاده شد.

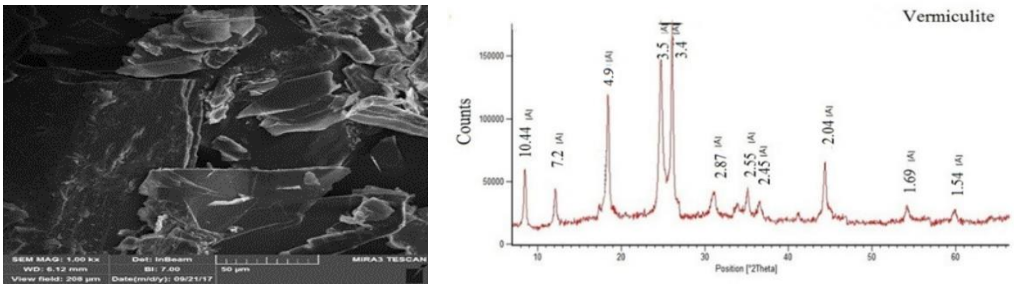
نتایج و بحث

برخی خصوصیات اندازه‌گیری شده رس ورمی‌کولایت در جدول زیر بیان شده است (جدول ۱). همانگونه که مشاهده می‌شود پتاسیم ساختاری بالاترین میزان پتاسیم را در بین شکل‌های متفاوت به خود اختصاص می‌دهد.

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیائی رس ورمی کولایت

نوع خاک	pH	کربنات کلسیم معادل (٪)	قابلیت هدایت الکتریکی dS/m	ظرفیت تبادل کاتیونی $Cmol_c kg^{-1}$	سطح ویژه m^2/gr	پتاسیم محلول $mgkg^{-1}$	پتاسیم تبادلی $mgkg^{-1}$	پتاسیم غیرتبادلی $mgkg^{-1}$	پتاسیم ساختاری $mgkg^{-1}$
رس ورمی‌کولیت	۹/۱	۱۶/۲۵	۰/۲	۷۵	۱۱۸	۲۱/۷	۱۱۳/۴	۱۱۰۰/۴	۲۱۲۸۰

با توجه به شکل (۱) پیک‌های ورمی‌کولایت در ۱۰/۴۴، ۴/۹ و ۳/۵ آنگستروم مشاهده می‌گردد (سمت راست). فرازهای ۳/۴ و ۲/۸ آنگستروم مربوط به کوارتز و دولومیت نیز بعنوان ناخالصی مشهود می‌باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی برگرفته از خاک رس ورمی‌کولایت با بزرگنمایی ۱۰۰ میکرون در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. دیفراکتوگرام اشعه ایکس رس ورمی‌کولایت (چپ) و تصویر SEM حاصل از رس ورمی‌کولایت (راست).

سنتیک آزادسازی پتاسیم

داده‌های رهاسازی نشان داد که میزان پتاسیم رها شده در تیمار ورمی‌کولیت با عصاره‌گیر کلریدکلسیم از حداقل ۱۵۵۰ در زمان ۲ ساعت تا حداکثر ۳۲۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در زمان ۵۵۲ ساعت، در تیمار ورمی‌کولایت با عصاره‌گیر اسید سیتریک از حداقل ۱۳۲۵ تا ۲۳۷۲ میلی‌گرم برکیلوگرم متغییر است، و در تیمار ورمی‌کولایت بدون آهک با عصاره‌گیر کلرید کلسیم از ۱۱۲۵ تا ۳۶۱۲ میلی‌گرم برکیلوگرم، و در ورمی‌کولایت بدون آهک با عصاره‌گیر اسید سیتریک از ۹۲۵ تا ۱۵۸۸ میلی‌گرم برکیلوگرم، تغییر کرده است. نتیجه تجزیه واریانس نشان داد که اثر عصاره‌گیر، بر میزان پتاسیم رهاسازی شده معنی‌دار است (جدول ۲). تیمار بدون آهک نیز اثر معنی‌داری در هر دو عصاره‌گیر کلریدکلسیم و اسیدسیتریک دارد. برهمکنش بین عصاره-گیرها با تیمار ورمی‌مولایت بدون آهک معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲. آنالیز واریانس پتاسیم تجمعی رهاسازی شده برای تیمار ورمی‌کولایت بدون آهک (a) و عصاره‌گیرها(b) و برهمکنش بین آنها.

متغییرها	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig
Factor a	۱	۵۰۶۷۶۳	۴۰/۴۴۸	۰/۰۰۱**
Factor b	۱	۴۴۶۷۶۴۰/۳۳	۳۶۵/۵۹	۰/۰۰۱**
a*b	۱	۱۰۲۳۰۵/۳۳	۸/۱۶	۰/۰۲۱*
Error	۸	۱۲۵۲۸/۷۵	۴۰/۴۴۸	-
Total	۱۲			

** معنی‌دار شده در سطح ۹۹ درصد، و *معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد.

حداکثر میانگین پتاسیم تجمعی آزاده شده در تیمار ورمی‌کولایت آهک‌دار و بدون آهک با عصاره‌گیر کلرید کلسیم۳۱۶۱ و ۲۹۳۵ میلی‌گرم برکیلوگرم، برای تیمار ورمی‌کولایت آهک‌دار و بدون آهک با عصاره‌گیر اسید سیتریک ۲۱۷۲ و ۱۵۰۳ میلی-گرم بر کیلوگرم برآورد شد. لذا عصاره‌گیر کلریدکلسیم بیشترین میانگین آزادسازی را در ورمی‌کولایت داشته و عصاره‌گیر سیتریک اسید در تیمار بدون آهک کمترین میزان آزادسازی را بهمراه داشته است. در واقع کلریدکلسیم میزان رهاسازی بیشتری را در هر دو تیمار رس ورمی‌کولایت نمایش داده است (جدول ۳). عصاره‌گیرهای متفاوت با تبادل کاتیونی یا انحلال، مقدار پتاسیم متفاوتی را از کانیهای حاوی پتاسیم استخراج می‌کنند.

جدول ۳. میانگین پتاسیم رهاسازی شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) از رس ورمی‌کولایت توسط عصاره‌گیرهای متفاوت.

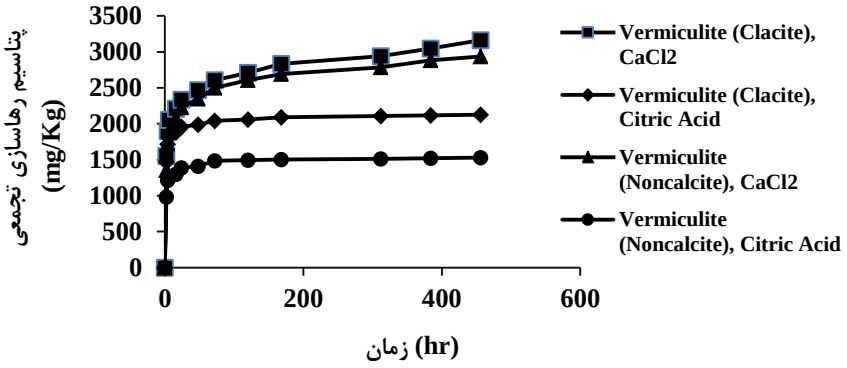
میانگین	تیمارها
۳۱۶۱[a]	ورمی‌کولایت آهک‌دار، عصاره‌گیر کلرید کلسیم
۲۹۳۵ [b]	ورمی‌کولایت بدون آهک، عصاره‌گیر کلرید کلسیم
۲۱۷۲ [c]	ورمی‌کولایت آهک‌دار، عصاره‌گیر سیتریک اسید
۱۵۰۳ [d]	ورمی‌کولایت بدون آهک، عصاره‌گیر سیتریک اسید

[a, b, c] حروف متفاوت نشان دهنده معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد آزمون توکی.

زارعیان و همکاران (۱۳۹۷) در رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی نشان دادند که کلرید کلسیم نسبت به اگزالیک اسید در دو عمق سطحی و زیر سطحی خاک‌های انتی سولز و اینسپتی‌سولز توانایی بیشتری در رهاسازی دارد. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می شود عامل اصلی کنترل کننده در میزان رهاسازی نوع محلول عصاره‌گیر بوده و میزان غلظت به کار برده شده است.

Srinivasarao et al., (2006) نشان دادند که سیتریک اسید در مقایسه با کلریدریک اسید و کلریدکلسیم میزان آزادسازی پتاسیم بیشتری را در خاک‌های ایلایتی نسبت به خاک‌های اسمکتیتی و کائولینیتی داشته است.

همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود روند آزادسازی پتاسیم ابتدا با سرعت بسیار بالایی است، اما بعد از گذشت ۱۲۰ ساعت روند آزاد سازی پتاسیم کندتر می‌شود. آزادسازی سریع مربوط به پتاسیم‌های لبه‌ای و سطوح خارجی رس است که براحتی قابل دسترس است و مابقی که کندتر آزاد می‌شود، مربوط به پتاسیم‌های لایه‌های داخلی است. به علت وجود فاصله بیشتر پتاسیم‌های درونی از لبه‌ها و قدرت جذب پتاسیم، رهاسازی در مرحله دوم با سرعت و پخشیدگی کمتری صورت می‌گیرد (Goulding, 1984). در عصاره‌گیر کلرید کلسیم روند بعد از ۱۲۰ ساعت با سرعت کمتری افزایش می‌یابد. در صورتی که در عصاره‌گیر سیتریک اسید بعد از ۱۲۰ ساعت تقریبا آزادسازی به تعادل می‌رسد. و افزایش رهاسازی بسیار ناچیز است. از آن جا که ابتدا پتاسیم‌های موجود در لبه کانی آزاد می‌شوند؛ بنابراین در کانی رسی ورمی‌کولایت انتظار می‌رود که بیشترین شیب منحنی در زمان‌های آغازین آزمایش انجام گیرد. این روند رهاسازی در بسیاری از مطالعات رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی مشاهده شده است (Nourozi and Khademi., 2009; Najafi et al., 2018).



شکل ۲. روند رهاسازی پتاسیم تجمعی (میلی‌گرم برکیلوگرم) در چهار تیمار.

براساس ضریب تبیین و خطای استاندارد مدل‌های سنتیکی مورد استفاده، مدل الوویچ، تابع توانی و در نهایت مرتبه اول به ترتیب بهتر توانسته است میزان رهاسازی پتاسیم را نشان دهند. بهترین ضریب تبیین برای عصاره‌گیر کلرید کلسیم، مدل

الوویچ (r=۰/۹۸, p< ۰/۰۱) و تابع توانی(r=۰/۹۶, p< ۰/۰۱) و در عصاره‌گیر اسید سیتریک نیز مدل الوویچ (r=۰/۸ , p< ۰/۰۱) و تابع توانی (r=۰/۷۶, p< ۰/۰۱) بودند.

Srinivasarao et al., (2006) نیز نشان دادند که معادله پخشیدگی پارابولیک بخوبی توانسته سرعت رهاسازی بالاتری را در خاک‌های ایلایتی نشان دهد. شیب معادله نشان دهنده سرعت آزداسازی پتاسیم (b) و عرض از مبدا بیانگر بالاترین سرعت رهاسازی پتاسیم یا همان مراحل اولیه آزادسازی پتاسیم می‌باشد (a) (جدول ۴). در معادله الوویچ، بالاترین سرعت رهاسازی مربوط به تیمار ورمی‌کولایت آهک‌دار در عصاره‌گیری کلریدکلسیم (۲۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ساعت) می‌باشد. در حالی‌که کمترین سرعت رهاسازی مربوط به تیمار ورمی‌کولایت بدون آهک با عصاره‌گیر سیتریک اسید (۶۳/۸ میلی‌گرم برکیلوگرم درساعت) است. همچنین بیشترین میزان سرعت آزادسازی در معادله الوویچ و سپس پخشیدگی پارابولیک مشاهده گردید. بالاترین میزان رهاسازی (a) در معادله پارابولیک در تیمار ورمی‌کولایت آهک‌دار با عصاره‌گیری کلرید کلسیم (۱۸۷۳ میلی گرم برکیلوگرم) مشاهده شد.

جدول ۴. ثابت سرعت رهاسازی پتاسیم غیرتبادلی (b) و عرض از مبداء (a) برای دو تیمار ورمی‌کولایت در دو عصاره‌گیر.

	کلریدکلسیم				سیتریک اسید			
	ورمی‌کولایت آهک‌دار		ورمی‌کولایت بدون آهک		ورمی‌کولایت آهک دار		ورمی‌کولایت بدون آهک	
مدلهای سنتیک	a (mg kg^{-1})	b (mgkg^{-1} h^{-1})	a (mg kg^{-1})	b (mgkg^{-1} h^{-1})	a (mg kg^{-1})	b (mgkg^{-1} h^{-1})	a (mg kg^{-1})	b (mgkg^{-1} h^{-1})
الوویچ	۱۵۱۰/۱	۲۶۱/۷	۱۳۳۱/۴	۲۵۸/۸	۱۵۳۶/۱	۱۲۰/۱	۱۱۵۷/۳	۶۳/۸
پخشیدگی پارابولیک	۱۸۷۳/۴	۶۵/۱	۱۷۳۶/۷	۶۳/۸	۱۷۳۴/۵	۲۲/۶۲	۱۲۰۷/۴	۱۸/۷۶
تابع توانی	۱۵۸۲/۹	۰/۱۱	۱۴۲۶/۵	۰/۱۲	۱۵۷۰/۱	۰/۰۶	۱۰۷۱/۹	۰/۰۷
مرتبه اول	۶/۹۸	۰/۰۱	۶/۹	۰/۰۱	۵/۶۷	۰/۰۱	۵/۴	۰/۰۱
مرتبه صفر	۱۰۲۴/۶	۲/۶	۹۳۳/۵	۲/۴۹	۲۹۰/۸	۰/۸۴	۲۳۸/۹	۰/۶۹

نتیجه‌گیری

نتایج رهاسازی پتاسیم از کانی ورمی‌کولایت توسط دو عصاره‌گیر نشان داد که، عصاره‌گیر کلریدکلسیم دارای توانایی بیشتری برای آزادسازی پتاسیم از کانی می‌باشد. و این میزان با عصاره‌گیر اسید سیتریک دارای تفاوت معنی‌داری بود. با گذر زمان سرعت رهاسازی افزایش می‌یابد و در زمان ۱۲۰ ساعت آهنگ سرعت آرام شده و بسیار ناچیز افزایش می‌یابد. معادله الوویچ و تابع توانی بهتر توانسته‌اند میزان رهاسازی پتاسیم را توصیف کنند. همچنین بیشترین میزان سرعت رهاسازی در تیمار ورمی-کولایت آهک‌دار در عصاره‌گیر کلرید کلسیم مشاهده شد که در معادله پارابولیک مشاهده گردید. به طور کلی سرعت آزادسازی در ورمی‌کولیت آهک‌دار با کلرید کلسیم > ورمی‌کولیت بدون آهک با کلرید کلسیم> ورمی‌کولایت آهک دار با سیتریک اسید > ورمی‌کولایت بدون آهک با سیتریک اسید مشاهده شد.

فهرست منابع

۱. حاتمی، ح. کریمی، ع. فتوت، ع. خادمی، ح. (۱۳۹۳). رهاسازی شکل‌های محلول، تبادلی و غیرتبادلی پتاسیم در برخی از کانی‌های سیلیکاته پتاسیم‌دار تحت تأثیر اسید اگزالیک. مجله علوم و فنون کشاورزی، علوم آب و خاک. ۱۸ (۶۹). ۲۳-۳۳.

۲. خرمالی، ف. ابطحی، ع. تازیکه، ح. (۱۳۹۱). کانی‌های رسی (ویژگی‌ها و شناسایی). گرگان: انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۳۰۴ ص.

۳. زارعیان، غ، هادی فرپور، م، حجازی، م. جعفری، ا. (۱۳۹۶). ارتباط شکل‌های مختلف پتاسیم با خصوصیات فیزیکو شیمیایی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های دشت قره باغ در استان فارس. نشریه پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب)، ۳۱ (۲). ۴۵-۶۰.

4. Douglas, L.A. (1989). Vermiculites In: Dixon, J.B. and Weed, S.B. (Eds). Soil Science Society of America. Madison, WI. USA. 235 p.
5. Foster, M.D. (1963). Interpretation of the composition of vermiculites and hydrobiotites. *Clay Mineral*, 10, 70-89.
6. Goulding, K.W.T. (1987). Potassium fixation and release. Switzerland: Colloquium of the international Potash Institute. 134-156.
7. Najafi-Ghiri, M., Niksirat, S.H., Soleimanpour, L., Nowzari, S. (2018). Comparison of different organic amendments on potassium release from two fine-textured soils. Organic Agriculture. DOI 10.1007/s13165-017-0179-5.
8. Najafi-Ghiri, M., Boostani, H.R., Mirsoleimani, A., Mohaviye-Asadi, N., Beizavi, M., Shaiei, M., Mirdoraghi, M. (2020). Potassium fixation and release in some calcareous soils under organ cultivation. *Eurasian Soil Science*, 53(7), 978-985.
9. Salomon, E. (1998). Extraction of soil potassium with 0.01M calcium chloride compared to official Swedish methods. *Communication Soil Science*, 29 (13), 2841-2854.
10. Sparks, D.L. (1987). Potassium dynamic in soil. *Adv. Soil Science*, 6, 1-63.
11. Srinivasarao, Ch., Rupa, T. R., Subba Rao, A., Ramesh, G., Bansal, S.K. (2006). Release kinetics of nonexchangeable potassium by different extractants from soils of varying mineralogy and depth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37, 473–491.

Potassium release kinetic from vermiculite clay under two different extractants

S.S. Hashemi[1]

Assistant Professor. Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Malayer University;

E-mail: S.Hashemi@malayeru.ac.ir

Abstract

Vermiculite is bearing-K minerals that it can used for soil as manure. The purpose of this research was investigation non-exchangeable potassium release from vermiculite mineral under two citric acid and calcium chloride extractants. This experiment was arranged in a factorial manner with a completely randomized design having three replicates. Treatments included two mineral samples (with lime and free-lime vermiculite) and two extractants (0.01 M $CaCl_2$ and citric acid). Release analysis was done in twelve different time. Cumulative release K value was determined with five kinetic equations. The results showed that have significant difference between treatments and extractants ($p<0.01$). Cumulative K release maximum for lime and free-lime vermiculite for $CaCl_2$ solution was 3161 and 2935 $mgKg^{-1}$ and for citric acid solution was 2172 and 1503 $mgKg^{-1}$, respectively. The best determination coefficient for calcium chloride ($r =0.98$; $p < 0.01$; $r =0.96$; $p< 0.01$) and citric acid ($r =0.8$; $p < 0.01$; $r =0.76$; $p < 0.01$) solutions including elovich and power function equations. The maximum of K release observed in lime vermiculite treatment with calcium chloride extractant (1873 $mgKg^{-1}$).

Key Word: Non-exchangeable, Kinetic, Calcium chloride

بررسی کارایی استخراج اسید هیومیک از منابع آلی مختلف با NaOH ۰/۱ مولار

سیمین خسروی[۱]، ساره نظامی[۲]، اکرم فاطمی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

Khosravisimin1996@gmail.Com

۲ و ۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

چکیده

به دلیل واقع شدن کشور ایران در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک کره‌ی زمین و مدیریت نامناسب در بخش کشاورزی، عمده خاک‌ها با مشکل کمبود شدید مواد آلی مواجهه هستند. یکی از روش‌های موثر برای حل این مشکل استفاده از اسید-های آلی نظیر اسید هیومیک است که به دلیل آن که بخش فعال منابع آلی محسوب می‌شود، کارایی استفاده بالاتری دارد. این مطالعه به منظور بررسی کارایی استخراج اسید هیومیک توسط NaOH ۰/۱ مولار از شش منبع آلی انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار اسید هیومیک با NaOH از کمپوست زباله‌ی شهری و کمترین مقدار از فضولات حشرات استخراج شد. آب مقطر بیشترین مقدار اسید هیومیک را از کود گوسفندی و کمترین مقدار را از کمپوست زباله شهری استخراج کرد. به طور کلی میانگین کارایی استخراج اسید هیومیک توسط NaOH (۳/۵۱) تقریبا ۶ برابر میانگین اسید هیومیک استخراج شده توسط آب مقطر (۰/۵۵) و از منابع مختلف بود.

واژگان کلیدی: اسید هیومیک، کارایی استخراج، NaOH

مقدمه:

کشور ایران در منطقه‌ی خشک و نیمه خشک کره‌ی زمین واقع شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد در بیش از ۶۰ درصد از اراضی زیر کشت، میزان کربن آلی کمتر از ۱ درصد و در بخش قابل توجهی از آن کمتر از ۰/۵ درصد می‌باشد. این در حالی است که با توجه به نقش مواد آلی در بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مقدار بهینه‌ی کربن آلی در خاک حداقل بین دو تا سه درصد برآورد شده است سماوات و همکاران (۱۳۸۷). کاربرد منابع آلی از جمله کودهای دامی، لجن فاضلاب، کمپوست زباله‌ی شهری و غیره در خاک روشی مناسب برای نگهداری مواد آلی خاک، بهسازی خاک فرسوده و تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است طالع‌فراهی (۱۳۹۳). استفاده از مواد آلی مختلف به شکل محرک‌های رشد راهکاری برای بهبود حاصلخیزی خاک و کارایی مصرف عناصر غذایی هستند و اسید هیومیک یکی از مهم‌ترین انواع آن‌ها است.

مواد هیومیکی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلف هستند که از تجزیه‌ی گیاهان و حیوانات تولید می‌شوند. این مواد در تمامی محیط‌های خاکی و آبی یافت می‌شوند و یکی از فراوان‌ترین شکل‌های مواد آلی در سطح زمین را تشکیل می‌دهند Maccarthy (2001). هوموس ماده آلی تثبیت شده است و از اسید هیومیک، اسید فولویک و هیومین تشکیل شده است و اسید هیومیک بخش فعال آن است Bollo (1999), Urzua (1978). اسید هیومیک به رنگ قهوه‌ای تیره با وزن ملکولی بالا (۳۰۰۰۰۰- ۵۰۰۰ دالتون) و مقدار کربن ۶۲ – ۵۰ درصد می‌باشد Bollo (1999). کاربرد اسید هیومیک به عنوان ماده‌ای با منبع طبیعی در جهت پایداری و افزایش تولید محصولات زراعی بسیار امید بخش می‌باشد Sharif *et al*.(2002). افزایش

استفاده از مواد هیومیکی در کشاورزی باعث ایجاد علاقه‌مندی در بین تولید کنندگان، مصرف کنندگان و قانون گذاران برای یافتن روش دقیق و قابل کاربرد برای کمی سازی هیومیک اسید شده است شهبازی و همکاران (۱۳۹۸).استخراج اسید هیومیک می‌تواند با استفاده از روش‌های عصاره‌گیری مختلف و عصاره‌گیرهای متفاوتی صورت گیرد. برای استخراج اسید هیومیک محلول‌های NaOH، KOH و$Na_4P_2O_7$ (پیرو فسفات سدیم) با غلظت‌های مختلف توسط محققان مختلف پیشنهاد شده‌اند، اما روش استاندارد استفاده از NaOH ۰/۵ مولار می‌باشد که به طور گسترده‌ای پیشنهاد می‌شود Behravan *et al*. (2019). NaOH منجر به استخراج مقدار زیادی اسید هیومیک می‌شود اما ریسک تخریب نسبی در ساختار مولکولی وجود دارد، به دلیل اینکه منجر به آلودگی تولید نهایی با ترکیبات ناخواسته می‌شود Aranganathana *et al*.(2019). در روش استفاده از NaOH استفاده از محلول NaOH ۰/۱ مولار توصیه شده است زیرا این محلول نسبت به NaOH ۰/۵ مولار ضعیف‌تر بوده و به این ترتیب احتمال ایجاد تغییرات مضر را کاهش می‌دهد شهبازی و همکاران (۱۳۹۸). برای اندازه‌گیری اسید هیومیک واقعی باید یک روش تجزیه‌ی مناسب استفاده شود. روش تجزیه‌ی اسید هیومیک شامل سه بخش استخراج، جداسازی و خالص‌سازی می‌باشد تا اسید هیومیک واقعی استخراج شده و عاری از هرگونه ناخالصی یا آلودگی باشد. یک واکنش‌گر برای استخراج اسید هیومیک از خاک و منابع آلی زمانی مناسب در نظر گرفته می‌شود که دو ویژگی را دارا باشد: ۱- واکنش‌گر نباید بر ماهیت فیزیکی و شیمیایی مواد هیومیک استخراج شده اثر بگذارد. ۲- واکنش‌گر بایستی قادر باشد به طور کمی اسید هیومیک را از بسترهای حاوی آن جدا کند Flaig *et al*. (1975). روش‌های زیادی برای استخراج و خالص سازی اسید هیومیک وجود دارد از جمله روش تجزیه‌ای توسعه یافته توسط انجمن بین‌المللی مواد هیومیک Hayes *et al*. (1997)، Stevenson (1994)، Tan (1996) و تعدادی دیگر از روش‌ها هستند. در صورتی که تغییرات صورت گرفته در روش‌های مختلف که برای افزایش دقت در استخراج صورت گرفته است نادیده گرفته شود عصاره‌گیر مبنا و کلیدی در تمام روش‌های فوق هنوز هم NaOH است. نتایج تحقیقات انجام شده تایید می‌کند که استخراج با NaOH اسید هیومیکی را حاصل می‌کند که هم از نظر کمی و هم از جنبه‌های کیفی قابل باز تولید است. با توجه به مطالب بیان شده هدف از مطالعه‌ی حاضر بررسی استخراج اسید هیومیک از شش منبع آلی با استفاده از عصاره‌گیر قلیایی NaOH ۰/۱ مولار و مقایسه‌ی آن با آب مقطر است.

مواد و روش‌ها

استخراج اسیدهای هیومیک از منابع آلی

در این مطالعه اسید هیومیک از شش نوع منبع آلی (کود گاوی، کمپوست زباله شهری، ورمی‌کمپوست، کود گوسفندی، کود مرغی و فضولات حشرات) استخراج شد. استخراج اسید هیومیک با نسبت ۱:۱۰ جامد به محلول و با استفاده از NaOH ۰/۱مولارصورت گرفت. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با دور ۱۲۰ دور در دقیقه با شیکر دورانی، شیک شدند. در مرحله‌ی بعد، سوسپانسیون‌ها با دور ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت نیم ساعت سانتریفیوژ شده و به این ترتیب مواد هیومیک محلول در باز، از مواد جامد و نامحلول جدا شد. برای جدا کردن اسید هیومیک از اسید فولویک، به عصاره‌ها، اسید کلریدریک ۲ مولار اضافه شد تا pH به حدود ۲ برسد. سپس، به منظور جداسازی اسید هیومیک نمونه‌ها دوباره با دور ۴۰۰۰ در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و برای حذف ناخالصی‌ها از رسوب بدست آمده و کاهش درصد خاکستر آن، ۱۰ میلی لیتر مخلوط HCl ۰/۱مولار و HF ۰/۳مولار اضافه شد و به مدت ۸ ساعت با دور ۱۲۰ در دقیقه شیک شدند. در این مرحله، محلول رویی پس از سانتریفیوژ، دور ریخته شد. این عمل ۴ بار تکرار و شستشو با آب مقطر هم چند مرحله صورت گرفت. در نهایت، رسوب بدست آمده در آون در دمای کمتر از ۵۰ درجه سانتیگراد خشک شد Swift (1996)، Qi .

(2004) *et al.* استخراج با آب مقطر نیز به روش فوق به منظور مقایسه‌ی کارایی استخراج با NaOH ۰/۱ مولار انجام شد. استخراج اسید هیومیک در تمامی نمونه‌ها در سه تکرار صورت گرفت. در نهایت نتایج به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ آنالیز شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مقادیر اسید هیومیک استخراج شده از منابع آلی مختلف با سود و آب مقطر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. نتیجه مقایسه میانگین نشان داد که مقادیر اسید هیومیک استخراج شده با سود از کود گاوی، کمپوست زباله شهری، کود گوسفندی و کود مرغی تفاوت معنی‌دار آماری نداشتند اما در بقیه موارد تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. همچنین، آب مقطر بیشترین مقدار اسید هیومیک را از کود گوسفندی استخراج کرد که با بقیه تفاوت معنی-دار آماری داشت (جدول ۱). بیشترین مقدار اسید هیومیک با NaOH از کمپوست زباله‌ی شهری و کمترین مقدار از فضولات حشرات استخراج شد. کارایی استخراج اسید هیومیک از کمپوست زباله‌ی شهری تقریبا ۲ برابر کارایی استخراج از فضولات حشرات بود. آب مقطر بیشترین مقدار اسید هیومیک را از کود گوسفندی و کمترین مقدار را از کمپوست زباله شهری استخراج کرد. به طور کلی متوسط کارایی استخراج اسید هیومیک توسط NaOH (۳/۵۱) تقریبا ۶ برابر میانگین اسید هیومیک استخراج شده توسط آب مقطر (۰/۵۵) و از منابع مختلف بود (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه‌ی میزان کارایی استخراج اسید هیومیک‌ها توسط عصاره‌گیرNaOH ۰/۱ مولار با آب مقطر

منبع آلی	کارایی استخراج با سود	کارایی استخراج با آب مقطر
کود گاوی	۳/۹۶ a	۰/۵۳ bc
کمپوست زباله‌ی شهری	۴/۱۰a	۰/۱۶ c
ورمی‌کمپوست	۳/۳۰ b	۰/۲۶ bc
کود گوسفندی	۴/۰۳ a	۱/۶ a
کود مرغی	۳/۹۳ a	۰/۶۶ b
فضولات حشرات	۲/۰۶ c	۰/۲۰ bc

در تحقیقات مشابه از عصاره‌گیرهای قلیایی مختلف نظیر $Na_4P_2O_7$، NaOH و KOH ۰/۱ مولار برای استخراج اسید هیومیک از کمپوست باقی‌مانده ماهی و باگاس نیشکر استفاده کردند. بر اساس نتایج آن‌ها بیشترین مقدار اسید هیومیک توسط NaOH استخراج شد(2019) Aranganathana *et al.* . این نتیجه از مطالعات دیگری نیز حاصل شده است که در آن ها استخراج با سود ۰/۱ مولار و از مخلوطی از علف، چوب، کمپوست ضایعات چربی گوشت، لیگنایت، ورمی‌کمپوست و منابع زغال سنگ نارس انجام شده است (2010) Huey *et al.*، (2012) Bikovens *et al.*، (2016) Jana *et al.*، Huculak-Zykova *et al.* (2018)، Mączka *et al.* (2018).

همچنین، بر اساس نتایج حاصل از پژوهشی دیگر کارایی استخراج اسید هیومیک با محلول سود و پیروفسفات ۰/۱ مولار از منبع کود اسبی ۱/۳ درصد و از ورمی‌کمپوستی که ۱۲ ماه از دوره کمپوست شدن آن گذشته بود، ۲/۸ درصد بود Hanc *et*

al. (2019). در تحقیقی دیگر استخراج اسید هیومیک توسط $Na_4P_2O_7$ و NaOH ۰/۱ از دو نوع منبع آلی ورمی‌واش اسبی و ورمی‌واش گاوی انجام شد. نتایج نشان داد که مقدار اسید هیومیک استخراج شده از دو ورمی‌واش اسبی و گاوی به ترتیب ۳/۷ و ۱/۸ گرم بر لیتر بوده که این مقدار می‌تواند برای ریشه زایی گیاه و همچنین برای بهبود رشد گیاهان مناسب باشد ابراهیمی و عبداللهی (۱۳۹۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین مقدار اسید هیومیک با NaOH از کمپوست زباله‌ی شهری و کمترین مقدار از فضولات حشرات استخراج شد. همچنین، میانگین اسید هیومیک استخراج شده توسط سود ۰/۱ مولار ۶ برابر میانگین اسید هیومیک استخراج شده توسط آب مقطر بود. عواملی نظیر عصاره‌گیری، جزء بندی، مدت زمان خالص‌سازی و مهم‌تر از همه نوع عصاره‌گیر نقش بسیار مهمی در مقدار اسید هیومیک استخراج شده از منابع دارند. استخراج کننده‌ی قلیایی NaOH شرایط مناسبی برای جداسازی و خالص سازی اسید هیومیک دارد به همین دلیل این عصاره‌گیر از همان سال‌های اولیه‌ی تلاش برای استخراج اسید هیومیک تا به امروز به عنوان یک روش استخراج پذیرفته و استفاده شده است. به طور کلی از اسید هیومیک استخراج شده از منابع طبیعی می‌توان به عنوان محرک رشد برای هر چه بهتر شدن شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و متعاقب آن بهبود رشد گیاهان استفاده کرد.

فهرست منابع

۱- ابراهیمی، ر، عبداللهی، ع، اندازه گیری هیومیک اسید و فولویک اسید در ورمی واش. سومین کنگره‌ی ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ۶۳۸-۴۳۶.

۲- سماوات، س، طهرانی، م. ف، بازرگان، ک، بصیرت، م. (۱۳۸۷). دستورالعمل نحوه‌ی بررسی مواد آلی. تهیه شده در بخش تحقیقات شیمی، حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه.

۳- شهبازی، ک، مارزی، م، طباخیان، ش. (۱۳۹۸). بررسی روش‌های اندازه‌گیری هیومیک اسید و فولویک اسید در مواد کودی، نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، ۷ (۱): ۱۱۴-۹۷.

۴- طالع‌فراهی، ف. (۱۳۹۳). بررسی اسید هیومیک‌های استخراج شده از لجن، بیوچار و کود حیوانی بر عملکرد گیاه آفتابگردان در خاک آهکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم خاک. دانشگاه زابل.

۵- علیخانی، ح، همتی، ا. (۱۳۹۳). تاثیر غنی‌سازی ورمی‌کمپوست با تیمارهای کودی و باکتریایی بر هموسی شدن و خصوصیات اسید هیومیک. نشریه‌ی دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۴(۱): ۱۲۵-۱۱۳.

6- Aranganathana, L., Radhika Rajasreea, S. R., Sumana, T. Y., Remyaa, R. R., Gayathria, S., Jayaseelana, C., Karthiha, M. G., and Gobalakrishnana, M. (2019). Comparison of molecular characteristics of Type A humic acids derived from fish waste and sugarcane bagasse co-compost influenced by various alkaline extractionprotocols. Microchemical Journal, 149(1-8).

7- Behravan, H. R., Voroney, P., Khorassani, R., Fotovat, A., Moezei, A. A., and Taghavi, M. (2019). Chemical and Spectroscopic Characterization of Humic Acids Extracted from Filter Cake using Different Basic Solutions. Society for Sugar Research & Promotion.

8- Bikovens, O., Dizhbite, T., Telysheva, G.(2012). Characterisation of humic substancesformed during co-composting of grass and wood wastes with animal grease,Environ. Technol. 33: 1427–1433.

9- Bollo, E. **(**1999). Earthworm culture, a recycling alternative. Barcelona, Spain: Editions Mundi–Press.

10- Flaig, W., Beutelspacher, H., Rietz. E. (1975). Chemical composition and physical properties of humic substances. In: Soil Components, Vol. 1. Inorganic.

11- Hanc, A., Enev, V., Hrebeckova, T., Klucakova, M., Pekar, M. (2019). Characterization of humic acids in a continuous-feeding vermicomposting system with horse manure. Waste Management 99: 1–11.

12- Hayes, T. M., Hayes, M. H. B., Skjemstad, J. O., Swift, R. S., Malcolm, R. L. (1997). Isolation of humic substances from soil using aqueous extractants of different pH and XAD resins, and their characterization by 13C-NMR. In: Humic Substances and Organic Matter in Soil and Water Environments: Characteristics, Transformation, and Interactions, C. E. Clapp, M. H. B. Hayes, N. Senesi, and S. M. Griffith (eds.). Proc. 7th Conf. Intern. Humic Substances Soc., Univ. West Indies, St. Augustine, Trinidad and Tobago, July 3–8, 1994. Published by International Humic Substances Soc. Inc., Dept. Soil, Water, and Climate, Univ. Minnesota, St. Paul, MN, pp. 13–24.

13- Huculak-Mączka, M., Hoffmann, J., Hoffmann, K. (2018) Evaluation of the possibilities ofusing humic acids obtained from lignite in the production of commercial fertilizers,J. Soils Sediments 8: 1–13.

14- Huey, L. J., Ahmed, O.H., Majid, N.M. (2010) Effects of extractants on the yields and selectedchemical characteristics of humic acids isolated from tropical saprists peat, Am. J.Appl. Sci. 7: 933–936.

15- Jana, C.K., Das, N. Chattopadhyay, G.N.(2016) Improved extraction of humic acids from vermicomposted organic waste by a column-based continuous elution method, Sep.Sci. Technol. 51: 2780–2789.

16- Maccarthy, P**.** 2001. The principles of humicsubstances. Soil Science. 166: 738–751.

17- Qi, B. C., Aldrich, C., Lorenzen, L. (2004). Effect of ultrasonication on the humic acids extracted from lignocellulose substrate decomposed by anaerobic digestion. Chemical Engineering Journal 98, 153–163.

18- Sharif, M., Khattak, R. A., Sarir, M. S**. (**2002). Effect of different levels of ligniticcoal derived humic acid on growth of maizeplants. Plant Analysis. 33: 3567–3580.

19- Swift, R. S. (1996). Organic matter characterization. InMethods of soil analysis,part 3: Chemical methods, ed. D. L. Sparks, 1011–1069. Madison, Wisc.SoilScience Society of America.

20- Tan, K. H. (1996). Soil Sampling, Preparation, and Analysis. Marcel Dekker, New York.

21- Urzua, H**. (**1978). Organic matter and soil humic substances. Santiago, Chile: Publication number 19, Pontifical Universidad Catolica de Chile.23- Zykova, M.V., Schepetkin, I.A., Belousov, M.V., Krivoshchekov, S.V. Logvinova, L.A., Bratishko, K.A., Yusubov, M.S., Romanenko, S.V., Quinn, M.T. (2018) Physicochemical characterization and antioxidant activity of humic acids isolated from peat of various origins, Molecules 23 P753.

Evaluation the Extraction Efficiency of Humic Acid from Different Organic Sources with 0.1 M NaOH

Simin Khosravi[1], Sareh Nezami[2], Akram Fatemi[3]

1- MSc student of Soil Science and Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.

Khosravisimin1996@gmail. Com

2, 3- Assistant Professor of Soil Science and Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.

Abstract

Iran is located in an arid and semiarid region of the world. In addition, due to improper management in the agricultural sector, soils are facing severe organic matters deficiency. An effective way to solve this problem is to use organic acids such as humic acid, which is more efficient because it is the active part of organic resources. This study was performed to evaluate the extraction efficiency of humic acid by 0.1 M NaOH from six organic sources. The results showed that the highest amount of humic acid with NaOH was extracted from municipal waste compost and the lowest amount was extracted from insect waste. The efficiency of extracting humic acid from municipal waste compost was almost twice that of extracting insect waste. Also, distilled water extracted the highest amount of humic acid from sheep manure and the lowest amount from municipal waste compost.

Keywords: Humic acid, Extraction efficiency, NaOH

سینتیک آزاد شدن روی از خاکهای آهکی توسط عوامل کلاتساز MGDA و GLDA

فاطمه مسعودی[۱]، مهران شیروانی[۲]، حسین شریعتمداری[۳]

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان. f.masoudi@ag.iut.ac.ir

۲- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان،

۳- استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

روی یکی از عناصر کم‌نیاز گیاه می‌باشد که کمبود آن در دامنه وسیعی از خاک‌های جهان مانند خاک‌های آهکی ایران گزارش شده است. از عصاره‌گیرهای مختلف برای آزادسازی روی از فاز جامد خاک و تخمین فراهمی آن برای گیاه استفاده می‌شود که در بین آنها عوامل کلات‌ساز از مناسب‌ترین عصاره‌گیرها می‌باشند. این مطالعه با هدف بررسی سینتیک آزادسازی روی توسط عوامل کلات‌ساز MGDA و GLDA انجام شد. بدین منظور، نمونه‌های ۱۰ گرمی از ۹ خاک توسط ۲۰ میلی‌لیتر محلول عصاره‌گیر حاوی غلظت‌های ۰/۰۰۵، ۰/۰۵ و یا ۰/۱ مولار لیگاندها، ۰/۰۱ مولار کلراید کلسیم و ۰/۱ مولار بافر تری اتانول آمین pH=۷/۳ و در زمان‌های مختلف (۰/۵، ۲، ۴، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت) عصاره‌گیری و عنصر روی آزاد شده با دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که معادله شبه رده دوم بهترین برازش بر داده های سینتیک آزادسازی روی از خاکهای مورد مطالعه داشت. با افزایش زمان عصاره‌گیری تا ۲ ساعت آزادسازی روی افزایش یافت و به حال شبه تعادل رسید. با افزایش غلظت لیگاندهای MGDA و GLDA از ۰/۰۰۵ به ۰/۱ مولار نیز مقدار روی آزاد شده افزایش یافت اما زمان رسیدن به شبه تعادل تغییر چندانی نکرد. بنابراین، بعد از انجام مطالعات همبستگی با شاخص‌های گیاهی می‌توان از کلات سازهای MGDA و GLDA در استخراج روی قابل جذب برای گیاه در خاکهای آهکی استفاده نمود.

واژگان کلیدی: سینتیک واجذب روی، عناصر کم نیاز گیاه، کلات کننده های زیست تخریب‌پذیر.

مقدمه

روی عنصر ضروری برای فعالیت‌های سلولی گیاه مانند متابولیسم پروتئین، بیوسنتز اکسین ، غشای سلولی، ساخت کربوهیدرات و تولید کروفیل می‌باشد و کمبود آن در دامنه وسیعی از خاک‌های جهان گزارش شده است Baker and Pilbeam (2015) . به منظور تعیین مقدار روی قابل جذب گیاه از عصاره‌گیرها استفاده می‌شود. عصاره‌گیرهای مختلف شامل اسیدها، نمک‌های خنثی و عوامل کلات‌کننده برای تعیین مقدار روی قابل استفاده برای گیاه در خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند Alloway (1990). عوامل کلات‌کننده به دلیل توانایی کمپلکس‌کردن فلزات در محلول خاک و در نتیجه آزاد سازی فلزات از فاز جامد به فاز محلول خاک از مناسب‌ترین عصاره‌گیرهای روی می‌باشند. لیگاند DTPA یکی از عوامل کلات‌کننده است که به طور گسترده برای استخراج فلزات کم‌نیاز از خاک‌های آهکی استفاده می‌شود Lindsay and Norvell (1978). محلول این عصاره‌گیر شامل غلظت ۰/۰۰۵ مولار DTPA، ۰/۱ مولار تری اتانول آمین و ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم در pH=۷/۳ می‌باشد. در این محلول، لیگاند DTPA ثابت تشکیل کمپلکس بسیار بزرگی با فلزات آهن، روی، منگنز، مس و نیکل دارد و عامل اصلی عصاره گیری روی از خاک است، TEA بافر قوی در pH=۷/۳ برای جلوگیری از حل شدن $CaCO_3$ می‌باشد و هم‌چنین کلرید کلسیم از انحلال بیش‌تر کربنات‌ها و آزاد شدن عناصر محبوس شده جلوگیری می‌کند.

رحمان و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند میزان روی استخراج شده توسط عصاره‌گیر DTPA هم‌بستگی مثبتی با عملکرد ماده خشک و غلظت روی در گیاه برنج داشت Rahman *et al.* (2007). کرمی و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که عصاره‌گیر DTPA-TEA در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب توانایی تعیین مقدار قابل استفاده مس برای گیاه گندم را دارد Karami *et al.* (2009) . امروزه کلات‌سازهای جدید زیست تخریب‌پذیر که توانایی خوبی برای تشکیل کمپلکس با فلزات سنگین داشته و از نقطه نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه هستند در استخراج فلزات از محیط‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته اند Begum *et al.* (2012). از جمله این کلات‌سازهای زیست‌تخریب‌پذیر می‌توان به کربوکسی متیل گلوتامیک اسید[1] و متیل گلیسین دای استیک اسید[2] اشاره کرد. زیست تخریب پذیری کلات‌ساز GLDA با کاتالیزور مونواکسیژناز و حذف گروه متیل کربوکسیل صورت می‌گیرد. لیگاند GLDA داری ایزومر L می‌باشد و بیش‌تر از ۶۰٪ این کلات‌ساز در مدت ۲۸ روز تجزیه می‌گردد(2012) Begum *et al.* . کلات‌ساز MGDA نیز بسیار تجزیه پذیر است و بیش از ۶۸٪ آن در مدت ۱۴ روز قابل تجزیه می‌باشد و برای تجزیه به باکتری خاصی نیازی ندارد و در شرایط استاندارد به راحتی تجزیه می‌گردد(2012) Begum *et al.* .

از لیگاندهای زیست تخریب پذیر GLDA و MGDA به طور گسترده برای حذف روی و دیگر فلزات سنگین از خاک‌های آلوده استفاده شده است Begum *et al.* (2012). اما در خاک‌های آهکی ایران از لیگاندهای زیست‌تخریب پذیر GLDA و MGDA به عنوان عصاره‌گیر روی استفاده نشده است یا مطالعات کمی در این مورد انجام شده است. بنابراین، هدف از این مطالعه ارزیابی کارایی کلات‌های زیست تخریب پذیر GLDA و MGDA به عنوان عصاره‌گیر روی از خاک‌های آهکی و بررسی سینتیک آزادسازی روی از این خاک‌ها در حضور لیگاندهای مذکور بود.

مواد و روش‌ها

تعداد ۹ نمونه مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک‌های آهکی مناطق مختلف استان اصفهان برداشته شد. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها به شرح ذیل اندازه‌گیری شدند: بافت خاک به روش پیپت Gee and Or (2002)، مقدار pH خاک‌ها در عصاره ۱:۲/۵ خاک به آب با دستگاه pH متر (Swise 827)، هدایت الکتریکی در همان عصاره‌ها توسط دستگاه EC متر (CC -507) در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار روی قابل استفاده گیاه به روش DTPA-TEA و غلظت کل روی خاک از طریق هضم با اسید نیتریک ۶ نرمال Zheljazkov and Nielsen (1996). ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

بررسی سینتیک آزادسازی روی

برای انجام آزمایش سینتیک استخراج روی، غلظت‌های مختلف لیگاندهای MGDA و GLDA (۰/۰۰۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ مولار) در محلول ۰/۱ M TEA و ۰/۰۱ M $CaCl_2$ و pH=۷/۳ استفاده شد. برای انجام آزمایش، نمونه‌های ۱۰ گرمی خاک هوا خشک در سه تکرار با ۲۰ میلی‌لیتر محلول عصاره‌گیر به ظروف پلی‌اتیلنی منتقل و در زمان‌های مختلف (۰/۵، ۲، ۴، ۶، ۱۲ و ۲۴ ساعت) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با دور ۱۲۰۰ rpm تکان داده شدند. بعد از گذشت هر یک از زمان‌ها، سوسپانسیون‌ها به مدت ۵ دقیقه با دور ۲۵۰۰rpm سانترفیوژ شدند و سپس محلول روئی از کاغذ صافی ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شد. غلظت روی در نمونه‌ها با استفاده از دستگاه طیف سنج جذب اتمی (Perkin-Elmer Aanalyst 200) اندازه‌گیری گردید. مقدار روی استخراج شده از نمونه‌های خاک در هر زمان محاسبه و در برابر زمان ترسیم شد.

1 N,N-bis(carboxymethyl) glutamic acid (GLDA)
2 Methylglycinediacetic acid (MGDA)

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکو-شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

مکان	کلاس بافت	$pH_{1:2.5}$	$EC_{1:2.5}$ (mS cm^{-1})	روی قابل استخراج با DTPA (mg kg^{-1})	روی کل (mg kg^{-1})
عسکران	لوم	۸/۰۰	۲۵۴/۰۰	۰/۴۰	۷۶/۶۷
قلعه ناظر	لوم رسی	۸/۱۱	۲۳۱/۶۰	۰/۳۸	۷۱/۲۵
محمدیه	لوم رسی سیلتی	۸/۲۹	۶۲۹/۳۱	۰/۵۲	۶۶/۶۷
افجان	لوم رسی سیلتی	۸/۰۴	۴۶۹/۳۰	۰/۵۱	۵۷/۵۰
فلاورجان	لوم رسی	۸/۱۴	۸۶۷/۶۰	۱/۳۶	۷۰/۴۲
تیران	لوم شنی	۷/۸۳	۴۴۳/۰۰	۰/۶۴	۶۶/۶۷
نجف آباد	لوم	۸/۱۰	۳۸۹/۵۰	۰/۸۴	۶۳/۷۵
قهریزجان	لوم رسی سیلتی	۸/۱۸	۴۶۸/۰۰	۰/۴۰	۷۰/۸۳
جاجا	لوم رسی	۷/۹۴	۳۸۶/۰۰	۰/۴۲	۷۵/۸۳

از مدل‌های سینتیکی مختلف شامل معادله شبه رده اول ، شبه رده دوم ، تابع توانی ، الویچ و پخشیدگی پارابولیک برای برازش داده‌ها استفاده گردید. معادله شبه رده دوم بهترین برازش بر داده‌ها داشت که در زیر ارائه شده است:

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \qquad (۱)$$

در این رابطه q_e و q_t ترتیب ظرفیت واجذب روی (mmol kg^{-1}) در زمان تعادل و زمان t و k_2 (h^{-1}) ثابت سرعت شبه رده دوم می‌باشند.

به منظور برازش داده‌های سینتیکی از آنالیز رگرسیون غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار GraphPad Prism version 6 استفاده شد. برازش داده‌ها در مدل‌ها براساس ضرائب تبیین و خطای استاندارد برآورد شد. مقادیر SEE از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$SEE = \left[\frac{\sum (q_t - q_t^{'})^2}{n-2} \right]^{1/2} \qquad (۲)$$

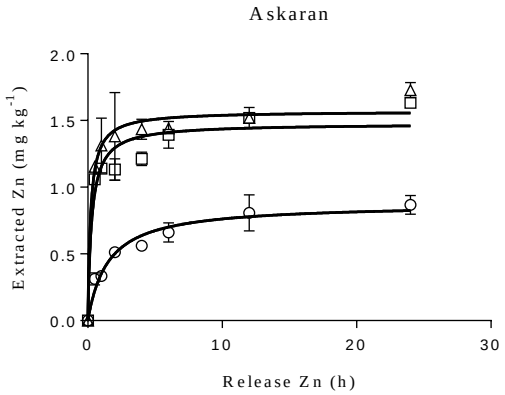
در این رابطه q_t و $q_t^{'}$ به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده فلز روی در زمان استخراج می‌باشد و n تعداد اندازه‌گیری است.

نتایج و بحث

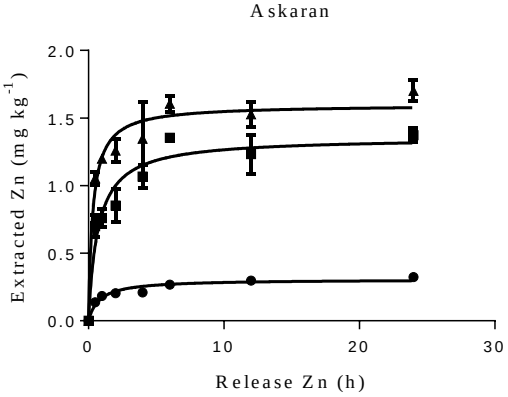
سینتیک آزادسازی روی

نمودارهای سینتیک آزاد شدن روی از خاک عسکران توسط لیگاندهای GLDA و MGDA در شکل۱ و ۲ به عنوان نمونه نشان داده شده است که الگوی مشابهی با سایر خاکها دارد. آن‌چه که از منحنی‌های برازش یافته حاصل می‌شود سینتیک دو فازی می‌باشد که در ۲ ساعت اولیه آزاد شدن روی از تمامی خاک‌ها به سرعت رخ داده و سپس به کندی ادامه می‌یابد. این نتایج در تمامی خاک‌ها قابل مشاهده بود. بوستانی و همکاران (۲۰۱۹) نیز بیان کردند که آزادسازی روی از خاک‌های آهکی در ۲ ساعت اولیه سریع می‌باشد و سپس به کندی ادامه می‌یابد تا به تعادل برسد. اسپارکس (۲۰۱۸) بیان کرد فاز سریع اولیه احتمالاً بیانگر آزاد شدن روی از سایت‌های تبادلی با انرژی کم‌تر و فاز کند ثانویه مربوط به آزاد شدن روی از سایت‌های تبادلی با انرژی بیش‌تر و پخشیدگی کند از

سایت‌های داخلی خاکدانه‌ها می‌باشد Sparks (2018) . بارانی مطلق و غلامی (۲۰۱۳) بیان کردند دو فرایند متفاوت آزادسازی روی از برخی خاک‌های آهکی ایران را کنترل می‌کنند. مرحله سریع اولیه مربوط به آزادسازی روی از خاکدانه‌های بزرگ یا سطح بیرونی خاکدانه‌های کوچک و مرحله کند ثانویه مربوط به واجذب و انتشار روی از سایت‌های داخلی خاکدانه‌های بزرگ و کوچک نسبت داده شد. آن‌ها هم‌چنین بیان کردند مدل شبه رده اول بهترین برازش بر داده‌های واجذب روی در خاک‌های آهکی ایران داشت Baranimotlagh and Gholami (2013).



شکل ۱- استخراج روی وابسته به زمان در حضور لیگاند GLDA در سه غلظت (○) 0.005 *M* (□) 0.05 *M* و (Δ) 0.1 *M* (علائم نشان‌دهنده داده‌های آزمایشگاهی و خطوط نشان‌دهنده مدل برازش شده می‌باشد).



شکل ۲- استخراج روی وابسته به زمان در حضور لیگاند MGDA در سه غلظت (○) 0.005 *M* (□) 0.05 *M* و (Δ) 0.1 *M* (علائم نشان‌دهنده داده‌های آزمایشگاهی و خطوط نشان‌دهنده مدل برازش شده می‌باشد).

با افزایش غلظت لیگاندهای MGDA و GLDA از ۰/۰۰۵ به ۰/۱ مولار مقدار روی عصاره‌گیری شده از خاک‌ها افزایش یافت اما زمان رسیدن سیستم به حالت شبه تعادل تغییر چندانی نکرد (شکل‌های ۱ و ۲). این نتیجه به دلیل افزیش تشکیل کمپلکس‌های محلول Zn-MGDA و Zn-GLDA با افزایش غلظت لیگانده ها می‌باشد، بنابراین روند آزادسازی روی از خاک‌ها به وجود مقدار کافی لیگاند برای واکنش با روی در رقابت با دیگر کاتیون‌های محیط بستگی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج ازمایش سینتیک آزادسازی روی خاک توسط لیگاندهای MGDA و GLDA نشان داد آزاد شدن روی از خاک‌های آهکی تقریباً طی مدت ۲ ساعت به شبه تعادل می‌رسد که با زمان مورد استفاده در روش مرسوم عصاره گیری روی از خاک با DTPA برابر است. بعلاوه، با افزایش غلظت لیگاندهای MGDA و GLDA از ۰/۰۰۵ به ۰/۱ مولار نیز مقدار آزاد سازی روی افزایش یافت اما تاثیر قابل ملاحظه‌ای در زمان آزاد شدن روی از خاک‌ها نداشت. بنابراین، درصورتی‌که هم‌بستگی قابل قبولی بین مقدار روی عصاره گیری شده از خاک‌های آهکی توسط این دو لیگاند جدید و شاخص‌های گیاهی مانند عملکرد و جذب روی توسط حاصل شود می‌توان از این کلات سازها نیز در استخراج روی قابل جذب برای گیاه در این خاک‌ها استفاده نمود.

فهرست منابع

Alloway, B. (1990). Soil processes and the behaviour of metals. *Heavy metals in soils.*, 7-28 .

Baranimotlagh, M., & Gholami, M. (2013). Time-dependent zinc desorption in some calcareous soils of Iran. *Pedosphere*, *23*(2), 185-193 .

Barker, A. V., & Pilbeam ,D. J. (2015). *Handbook of plant nutrition*. CRC press .

Begum, Z. A., Rahman, I. M., Tate, Y., Sawai, H., Maki, T., & Hasegawa, H. (2012). Remediation of toxic metal contaminated soil by washing with biodegradable aminopolycarboxylate chelants. *Chemosphere*, *87*(10), 1161-1170 .

Boostani, H. R., Najafi-Ghiri, M., Amin, H., & Mirsoleimani, A. (2019). Zinc desorption kinetics from some calcareous soils of orange (Citrus sinensis L.) orchards, southern Iran. *Soil Science and Plant Nutrition*, *65*(1), 20-27 .

Gee ,G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis: Part 4 physical methods*, *5*, 255-293 .

Karami, M., Afyuni, M., Rezainejad, Y., & Schulin, R. (2009). Heavy metal uptake by wheat from a sewage sludge-amended calcareous soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *83*(1), 51-61 .

Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, *42*(3), 421-428 .

Rahman, M., Jahiruddin, M., & Islam ,M. (2007). Critical limit of zinc for rice in calcareous soils. *Journal of Agriculture & Rural Development*, 43-47 .

Sparks, D. L. (2018). Kinetics and mechanisms of chemical reactions at the soil mineral/water interface. In *Soil physical chemistry* pp. (135-192) .CRC press .

Zheljazkov, V. D., & Nielsen, N. E. (1996). Effect of heavy metals on peppermint and cornmint. *Plant and Soil*, *178*(1), 59-66 .

Zinc release kinetics from calcareous soils by MGDA and GLDA chelating agents

Fatemeh Masoudi[1], Mehran Shirvani[2], Hossein Shariatmadari[3]

1- PHD. Student, Soil Science Department, Isfahan University of Technology, Iran

2- Associate Prof., Soil Science Department, Isfahan University of Technology, Iran

3- Professor, Soil Science Department, Isfahan University of Technology, Iran

Abstract

Zinc (Zn) is a micronutrient that is reported to be deficient in a wide range of soils around the world, including the calcareous soils of Iran. Various extractants are being used to estimate the soil Zn release pattern and phytoavailability, among which the chelating agents are the most suitable ones. This study was performed to investigate Zn release kinetic patterns from calcareous soils by MGDA and GLDA chelating agents. For this purpose, 10 g soil samples from 9 different locations in Isfahan province were extracted in triplicates with 20 ml solutions containing 0.005, 0.05, or 0.1 M of the MGDA and GLDA ligands, 0.01 M of calcium chloride, and 0.1 M of Triethanolamine buffer (pH = 7.3) at different times (0.5, 2, 4, 6, 12 and 24 hours) at 25 ° C, and the extracts were analyzed for Zn concentration uaing an atomic absorption spectrometer. The results showed that the pseudo-second-order equation had the best fit on the Zn release kinetic data. The amounts of released Zn increased with increasing the extraction time and reached a pseudo-equilibrium state after about 2 hours. The amount of Zn released also increased as the concentration of MGDA and GLDA ligands increased from 0.005 to 0.1 M, but the time to reach pseudo-equilibrium did not change much from 2 hours. In conclusion, MGDA and GLDA chelating agents can be used to extract available Zn for plants in calcareous soils, after conducting correlation studies between the ligand extractable Zn concentrations and plant indices.

Keywords: Zinc release kinetics, Plant micronutrient, Biodegradable chelating agents.

برآورد میزان کادمیوم و سرب اضافه شده به اراضی کشاورزی ایران در اثر کاربرد کود های فسفاته

کامیار امیرحسینی[۱]، زهرا حقانی[۲] و بابک متشرع زاده[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. (amirhosseini.k@ut.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۳- عضو هیات علمی گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

چکیده

استفاده نامتعادل از کود های شیمیایی، می تواند باعث ایجاد آلودگی فلزات سنگین در خاک ها شود. هدف از این مقاله، بررسی تغییرات غلظت عناصر کادمیوم و سرب اضافه شده به اراضی کشاورزی کشور ایران، در یک بازه زمانی سی ساله از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸، است. منابع اخذ آمار و داده ها در این پژوهش، درگاه های انجمن بین المللی کود و نیز سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد بوده است. روند مصرف کود های فسفاته در بازه زمانی پیش گفته سیر نزولی داشته است و از حدود ۵۴۵ هزار تن در سال ۱۹۸۹ به کمتر از ۱۰۰ هزار تن در سال ۲۰۱۸، کاهش یافته است. الگوی تغییرات غلظت کادمیوم و سرب در بازه مورد مطالعه، با روند تغییرات مصرف کود های فسفاته، همخوانی داشته است. بر اساس نتایج بدست آمده، نرخ ورود عناصر کادمیوم و سرب به اراضی کشاورزی ایران، به ترتیب، برابر با ۰/۴۲۸ و ۱/۳۴۶ گرم در هکتار در سال بوده است. میزان افزوده شدن کادمیوم به اراضی کشاورزی در ایران، کمتر از مقدار آن در کشور های انگلستان (۱/۶-۰/۷ گرم در هکتار در سال) و هلند (۱/۳ گرم در هکتار در سال) و بیشتر از مقدار آن در کشور های دانمارک (۰/۳ گرم در هکتار در سال) و فنلاند (۰/۲ گرم در هکتار در سال) گزارش شده است. میزان اضافه شدن سرب به خاک های کشور، به ترتیب، بیشتر و کمتر از کشور های چین (۰/۴ گرم در هکتار در سال) و آلمان (۶/۲ گرم در هکتار در سال) برآورد شده است. برآورد ها در پژوهش حاضر در طی یک دوره سی ساله در ایران، به ترتیب، حاکی از تجمع بیش ۱۲ و ۴۰ گرم کادمیوم و سرب در خاک های کشاورزی بوده است. نتایج ارایه شده در این پژوهش، ضمن تاکید بر اثرات منفی استفاده نامتعادل کود های شیمیایی فسفاته بر تجمع فلزات سنگین کادمیوم و سرب در خاک های کشاورزی ایران، به دنبال جلب توجه تولیدکنندگان، مصرف کنندگان و سیاستگذاران بخش کشاورزی به رعایت اصول علمی مدیریت تلفیقی عناصر غذایی در اراضی تحت کشت بوده و در سیاستگذاری های کلان در بخش کشاورزی کشور، مفید خواهد بود.

واژگان کلیدی: کود های شیمیایی، فلزات سنگین، آلودگی محیط زیست، مدیریت تلفیقی عناصر غذایی، کود های زیستی

مقدمه

ایجاد امنیت غذایی از طریق تولید غذای سالم و کافی، به عنوان مهمترین اصل در تامین سلامت عمومی از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Motesharezadeh *et al*., 2017). کود های شیمیایی نقش موثری در افزایش تولیدات کشاورزی و تامین امنیت غذایی در سراسر دنیا ایفا می نمایند. در حدود پنجاه سال گذشته، کاربرد کود های شیمیایی عامل افزایش بیش از ۵۵ درصد در تولیدات کشاورزی، به ویژه در غلات، شده است (FAO, 2006; Bashour *et al*.,2006). با وجود این، استفاده غیر اصولی از کود های شیمیایی، علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک، باعث ایجاد آلودگی در محیط خاک می شود (Jarup, 2003). در این رابطه، کود های شیمیایی از جمله منابع ورود فلزات سنگین به خاک های کشاورزی شناخته می شوند (Rui *et al*., 2008). استفاده بی رویه از کود های فسفاته، علاوه بر افزایش بیش از حد عنصر غذایی فسفر، منجر به تجمع فلزات سنگین، مانند کادمیوم و سرب، در خاک کشاورزی می شود (Ju *et al*., 2007). در این خصوص، مطالعه و پایش تغییرات غلظت فلزات سنگین در خاک های تحت کشت، در افزایش آگاهی تولیدکنندگان و مصرف کنندگان نسبت به اثرات منفی استفاده نامتعادل از کود های شیمیایی، انتخاب رویکرد های بهینه در مدیریت زیست بوم های کشاورزی[۱] و نیز نیل به اهداف گفتمان کشاورزی پایدار در کشور، نقش مهمی ایفا می کند.

1- Agroecosystems

فلزات سنگین از طریق ورود به اراضی کشاورزی توسط گیاهان جذب شده و وارد زنجیره غذایی می شوند (متشرع زاده و همکاران، ۱۳۹۳). افزایش آلودگی این عناصر در خاک های زراعی، با بروز اختلال های تغذیه ای در گیاهان، حیوانات و نیز انسان همراه خواهد بود. عناصر سرب و کادمیوم، از جمله شایع ترین فلزات سنگین در خاک های کشاورزی محسوب می شوند (Kabata-Pendias and Pendias, 1991). به طور کلی، تجمع عنصر سرب در بافت های گیاهی، باعث ایجاد اختلال در زنجیره انتقال الکترون، کاهش تقسیم سلولی، کاهش جوانه زنی بذر و نیز کاهش رشد ریشه در گیاهان زراعی می شود. فلز سنگین کادمیوم با تاثیر بر تولید رنگیزه های فتوسنتزی، ایجاد زرد برگی[۲]، خمیدگی، بافت مردگی[۳]، اختلال در زنجیره انتقال الکترون و کاهش فعالت آنزیم اینورتاز[۴]، موجب کاهش در عملکرد و رشد گیاهان می گردد (پوربابائی، ۱۳۹۹). هر دو عنصر سرب و کادمیوم، به عنوان عناصر فلزی با بار مثبت، از تمایل زیادی برای اتصال با گروه های سولفیدریل در جایگاه فعال آنزیم های مختلف، برخوردار هستند. بنابراین، این عناصر به عنوان بازدارنده ها برای انواع گسترده ای از آنزیم های ضروری شناخته می شوند. از جمله اثرات نامطلوب سرب در بدن انسان را می توان در کاهش فعالیت انتقال دهنده های عصبی، اختلال در متابولیسم اسید های آمینه و نیز کاهش فعالیت آنزیم های موثر در تولید هِم[۵] مشاهده کرد. برخی از اثرات سمی کادمیوم در انسان شامل تضعیف ساختار اسکلتی، اختلال در تولید پروتئین ها و نیز تاثیر بر فرایند های فسفوریلاسیون اکسیداتیو[۶] است (Yu *et al*., 2011).

در مقاله حاضر، مقدار فلزات سنگین کادمیوم و سرب وارد شده به اراضی تحت کشت از طریق مصرف کود های فسفاته در کشور ایران، در یک بازه زمانی سی ساله از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸، مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه، سعی بر آن است تا با استفاده از آخرین داده های آماری موجود، منبع مستندی را از تغییرات غلظت فلزات سنگین در خاک های کشاورزی کشور، برای استفاده محققین و سیاستگذاران بخش کشاورزی، فراهم آوریم. امید است تا پژوهش پیش رو، با نمایان ساختن تاثیر استفاده بی رویه کود های شیمیایی بر ایجاد آلودگی فلزات سنگین در خاک های زراعی، تولیدکنندگان را به رعایت اصول علمی مدیریت تلفیقی عناصر غذایی، رهنمون سازد و در سیاستگذاری های کلان تولید و مصرف کودهای شیمیایی در بخش کشاورزی کشور منشأ اثر واقع شود.

مواد و روش ها

به منظور برآورد میزان کادمیوم و سرب اضافه شده به خاک های اراضی تحت کشت، داده های آماری مربوط به مقدار کل مصرف سالانه کود های فسفاته در کشور ایران، در بازه سی ساله از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸، از پایگاه داده انجمن بین المللی کود[۷]، استخراج شده است. علاوه بر این، داده های آماری مربوط به مساحت کل اراضی تحت کشت در کشور ایران در بازه مذکور، از پایگاه داده سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد[۸]، دریافت شده است.

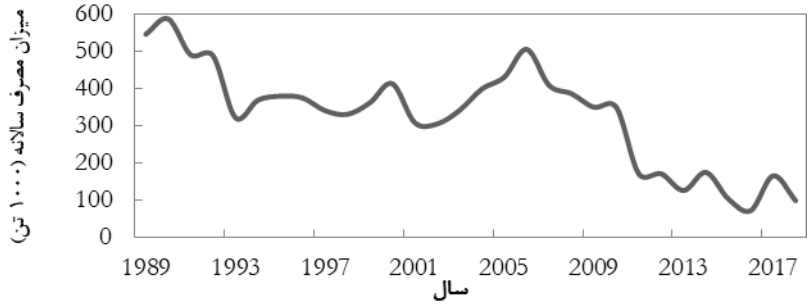
محاسبه مقدار کادمیوم و سرب وارد شده به خاک در اثر کاربرد کود های پیش گفته، با تکیه بر نتایج پاره ای از تحقیقات پیرامون سنجش غلظت عناصر سنگین و ناخالصی ها در کود های فسفاته صورت گرفته است. بر این اساس، مبنای سنجش این آلاینده ها، دامنه تغییرات غلظت کادمیوم در خاک فسفات از ۱ تا ۱۵۰ میلی گرم در کیلو گرم و نیز مقدار متوسط ۲۱ میلی گرم کادمیوم در هر کیلو گرم از کود های فسفاته (Roberts, 2013)، بوده است. به طور متوسط، محتوای سرب در کود های فسفاته، برابر با ۶۶ میلی گرم در کیلو گرم (Mortvedt, 1996)، در نظر گرفته شده که مبنای سنجش در اینجا است.

2- Chlorosis
3- Necrosis
4- Invertase enzyme
5- Heme production
6- Oxidative phosphorylation
7- International Fertilizer Association (IFA) database: https://www.ifastat.org/databases/plant-nutrition
8- Food and Agriculture Organization (FAO) database: http://www.fao.org/faostat/en/#data/RL

در تحلیل داده ها با استفاده از داده های آماری در فضای نرم افزار Excel و مقادیر متوسط در نظر گرفته شده برای محتوای فلزات سنگین در کودها، مقدار کل سالانه عناصر سنگین کادمیوم و سرب اضافه شده به خاک، نرخ افزایش این عناصر در هر واحد از سطح اراضی تحت کشت و نیز مقدار تجمعی فلزات سنگین در خاک های کشاورزی ایران، مورد محاسبه و تفسیر قرار گرفته است.

نتایج

بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل شماره ۱، روند کلی مصرف سالانه کود های فسفاته در کشور ایران، در بازه سی ساله از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸، نزولی بوده است. در این رابطه، میزان مصرف این دسته از کود ها، از حدود ۵۴۵ هزار تن در سال ۱۹۸۹، به حدود ۳۴۰ هزار تن در سال ۲۰۰۳، کاهش یافته است. پس از آن، شاهد افزایشی مقطعی و نوسانات در مقدار مصرف کود های فسفاته و صعود آن به بیش از ۵۰۰ هزار تن در سال ۲۰۰۶ بوده ایم. پس از گذشت این دوره، میزان مصرف سالانه کود های فسفاته در کشور ایران، به شکلی چشمگیر، به کمتر از ۱۰۰ هزار تن در سال ۲۰۱۸، کاهش یافته است. توجه بیشتر به رعایت اصول کود دهی بهینه و نیز در نظر گرفتن اثر باقی مانده کود های فسفاته در توصیه های کودی را می توان دلیل کاهش میزان مصرف اینگونه از کود ها در سال های اخیر دانست. اطلاعات بدست آمده در خصوص مساحت اراضی تحت کشت در کشور ایران، در بازه مورد مطالعه، در جدول شماره ۱، ارایه شده است. تغییرات مساحت اراضی تحت کشت در کشور، از روندی نزولی برخوردار بوده است.

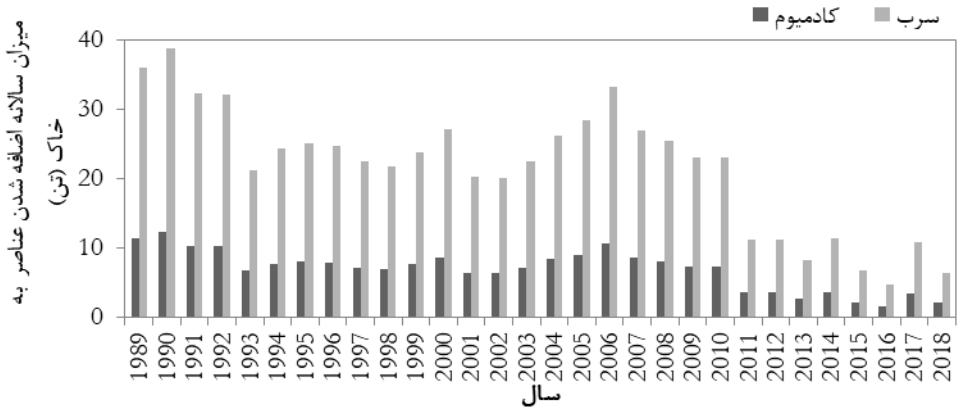


نمودار شماره ۱- میزان کل مصرف سالانه کود های فسفاته در کشور ایران از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸

جدول شماره ۱- مساحت اراضی تحت کشت در کشور ایران از سال ۱۹۸۹ تا

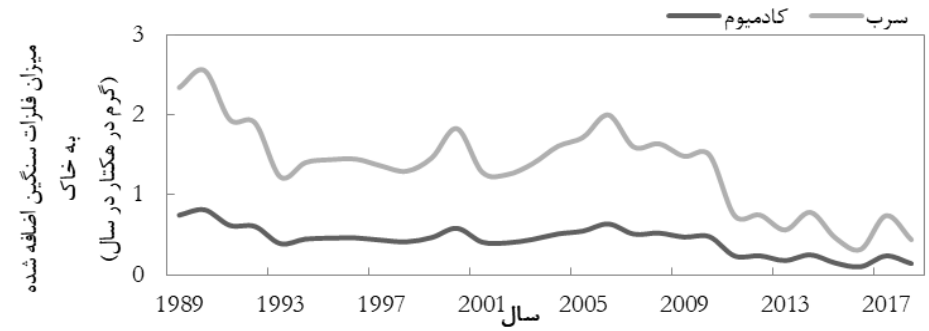
مساحت اراضی تحت کشت (۱۰۰۰ هکتار)					
۱۹۸۹	۱۵۴۰۰	**۱۹۹۹**	۱۶۳۳۷	**۲۰۰۹**	۱۵۵۶۶
۱۹۹۰	۱۵۱۹۰	**۲۰۰۰**	۱۴۹۲۴	**۲۰۱۰**	۱۵۳۹۰
۱۹۹۱	۱۶۶۸۱	**۲۰۰۱**	۱۵۸۶۱	**۲۰۱۱**	۱۵۲۱۴
۱۹۹۲	۱۶۹۶۹	**۲۰۰۲**	۱۶۰۲۹	**۲۰۱۲**	۱۵۰۳۸
۱۹۹۳	۱۷۳۳۲	**۲۰۰۳**	۱۶۱۹۷	**۲۰۱۳**	۱۴۶۸۷
۱۹۹۴	۱۷۳۳۷	**۲۰۰۴**	۱۶۳۶۵	**۲۰۱۴**	۱۴۶۸۷
۱۹۹۵	۱۷۳۸۸	**۲۰۰۵**	۱۶۵۳۳	**۲۰۱۵**	۱۴۶۸۷
۱۹۹۶	۱۷۰۹۷	**۲۰۰۶**	۱۶۷۰۱	**۲۰۱۶**	۱۴۶۸۷
۱۹۹۷	۱۶۵۰۲	**۲۰۰۷**	۱۶۸۶۹	**۲۰۱۷**	۱۴۶۸۷
۱۹۹۸	۱۶۸۳۷	**۲۰۰۸**	۱۵۵۴۵	**۲۰۱۸**	۱۴۶۸۷

میزان کل سالانه عناصر سنگین کادمیوم و سرب اضافه شده به خاک های کشاورزی ایران در بازه سی ساله، در شکل شماره ۲، به نمایش گذاشته شده است. با توجه به آنکه کود های فسفاته یکی از اصلی ترین راه های ورود فلزات سنگین کادمیوم و سرب به خاک های کشاورزی محسوب می شوند، الگوی کلی افزوده شدن این عناصر به خاک، با روند مصرف کود های فسفاته در شکل شماره ۱، هم خوانی دارد. در این زمینه، همگام با کاهش میزان مصرف کود های فسفاته، مقدار کادمیوم و سرب افزوده شده به خاک، به ترتیب، از حدود ۱۱ و ۳۶ تن در سال ۱۹۸۹ به حدود ۲ و ۶ تن در سال ۲۰۱۸، کاهش یافته است. محتوای بیشتر عنصر سرب به نسبت فلز سنگین کادمیوم در کود های فسفاته، مقدار بیشتر سرب وارد شده به خاک های زراعی را توجیه می نماید. در این راستا، به طور میانگین، مقدار سرب افزوده شده به خاک های کشاورزی، سه برابر میزان کادمیوم افزوده شده به این اراضی بوده است. می توان کاهش ورود فلزات سنگین را به خاک های کشاورزی، به ویژه در یک دهه اخیر، تابعی از قانون گذاری ها در خصوص رعایت حدود مجاز فلزات سنگین در کود های مصرفی و نیز به کارگیری فناوری های نوین در خالص سازی کود های شیمیایی، قلمداد کرد.



شکل شماره ۲- میزان کل سالانه فلزات سنگین اضافه شده به خاک های کشاورزی ایران در بازه سی ساله

به منظور بررسی دقیق تر میزان فلزات سنگین اضافه شده به خاک های کشاورزی و نیز ایجاد امکان مقایسه اطلاعات بدست آمده با سایر مطالعات داخلی و خارجی، مقدار سالانه فلزات سنگین اضافه شده به هر واحد از سطح اراضی تحت کشت محاسبه شده و در شکل شماره ۳ به نمایش درآمده است. بر اساس نتایج بدست آمده، در بازه سی ساله از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸، سالانه به طور میانگین، ۰/۴۲۸ گرم کادمیوم و ۱/۳۴۶ گرم سرب، به هر هکتار از خاک های تحت کشت، اضافه شده است. میزان تجمعی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در طی بازه سی ساله از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸، در جدول شماره ۲، خلاصه شده است. به این ترتیب، استنباط می شود که تا پایان دوره مورد مطالعه، به ترتیب، مقدار ۱۲/۸۶ و ۴۰/۴۲ گرم کادمیوم و سرب، در هر هکتار از اراضی تحت کشت در کشور، تجمع یافته است.



شکل شماره ۳- میزان سالانه فلزات سنگین اضافه شده به هر واحد از سطح اراضی تحت کشت

جدول شماره ۲- میزان تجمعی فلزات سنگین کادمیوم و سرب در اراضی تحت کشت ایران طی بازه سی ساله

کادمیوم (گرم در هکتار در سال)		سرب (گرم در هکتار در سال)	
۱۹۸۹	۰/۷۴	**۱۹۸۹**	۲/۳۴
۱۹۹۰	۱/۵۵	**۱۹۹۰**	۴/۸۹
۱۹۹۱	۲/۱۷	**۱۹۹۱**	۶/۸۳
۱۹۹۲	۲/۷۷	**۱۹۹۲**	۸/۷۳
۱۹۹۳	۳/۱۶	**۱۹۹۳**	۹/۹۵
۱۹۹۴	۳/۶۱	**۱۹۹۴**	۱۱/۳۵
۱۹۹۵	۴/۰۷	**۱۹۹۵**	۱۲/۷۹
۱۹۹۶	۴/۵۳	**۱۹۹۶**	۱۴/۲۳
۱۹۹۷	۴/۹۶	**۱۹۹۷**	۱۵/۵۹
۱۹۹۸	۵/۳۷	**۱۹۹۸**	۱۶/۸۸
۱۹۹۹	۵/۸۳	**۱۹۹۹**	۱۸/۳۴
۲۰۰۰	۶/۴۱	**۲۰۰۰**	۲۰/۱۶
۲۰۰۱	۶/۸۲	**۲۰۰۱**	۲۱/۴۴
۲۰۰۲	۷/۲۲	**۲۰۰۲**	۲۲/۶۹
۲۰۰۳	۷/۶۶	**۲۰۰۳**	۲۴/۰۸
۲۰۰۴	۸/۱۷	**۲۰۰۴**	۲۵/۶۹
۲۰۰۵	۸/۷۲	**۲۰۰۵**	۲۷/۴۱
۲۰۰۶	۹/۳۵	**۲۰۰۶**	۲۹/۴۱
۲۰۰۷	۹/۸۶	**۲۰۰۷**	۳۱/۰۱
۲۰۰۸	۱۰/۳۸	**۲۰۰۸**	۳۲/۶۵
۲۰۰۹	۱۰/۸۵	**۲۰۰۹**	۳۴/۱۳
۲۰۱۰	۱۱/۳۳	**۲۰۱۰**	۳۵/۶۳
۲۰۱۱	۱۱/۵۶	**۲۰۱۱**	۳۶/۳۷
۲۰۱۲	۱۱/۸۰	**۲۰۱۲**	۳۷/۱۲
۲۰۱۳	۱۱/۹۸	**۲۰۱۳**	۳۷/۶۸
۲۰۱۴	۱۲/۲۳	**۲۰۱۴**	۳۸/۴۶
۲۰۱۵	۱۲/۳۸	**۲۰۱۵**	۳۸/۹۲
۲۰۱۶	۱۲/۴۸	**۲۰۱۶**	۳۹/۲۴
۲۰۱۷	۱۲/۷۲	**۲۰۱۷**	۳۹/۹۸
۲۰۱۸	۱۲/۸۶	**۲۰۱۸**	۴۰/۴۲

بحث

علی رغم نوسانات مقطعی در میزان رشد یا کاهش فلزات سنگین اضافه شده به خاک های کشاورزی در کشور ایران در طی سه دهه اخیر، نتایج بدست آمده حاکی از روند نزولی افزوده شدن عناصر کادمیوم و سرب به خاک های تحت کشت، در کشور بوده است. مقدار متوسط سالانه ورود کادمیوم به هر واحد از سطح اراضی تحت کشت (۰/۴۲۸ گرم در هکتار در سال) که در این پژوهش مورد محاسبه قرارگرفته است، کمتر از نرخ سالانه ورود این عنصر به خاک های کشور های انگلستان (۱/۶-۰/۷ گرم در

هکتار در سال) و هلند (۱/۳ گرم در هکتار در سال) در یافته های پژوهش های دیگر بوده است (بوداغی و همکاران، ۱۳۹۰). در مقابل، نرخ متوسط سالانه ورود کادمیوم به خاک های ایران، بیشتر از مقدار متناظر آن در کشور های دانمارک (۰/۳ گرم در هکتار در سال) و فنلاند (۰/۲ گرم در هکتار در سال)، محاسبه شده است (همان جا). نرخ متوسط سالانه ورود سرب به خاک های کشاورزی ایران در این تحقیق (۱/۳۴۶ گرم در هکتار در سال)، به ترتیب، بیشتر و کمتر از نرخ ورود این عنصر به خاک های کشور های چین (۰/۴ گرم در هکتار در سال) و آلمان (۶/۲ گرم در هکتار در سال)، گزارش شده است (Knappe, 2008; Yi *et al*., 2018).

میزان قابل قبول مصرف کادمیوم و سرب در انسان، به ترتیب، برابر با ۷۰ و ۱۰ میکرو گرم در روز در نظر گرفته شده است (AHDB, 2001; Schupp *et al*., 2020). در این راستا، تمامی فعالیت های کشاورزی می بایست با در نظر داشتن غلظت های بحرانی فلزات سنگین در خاک های زراعی (یعنی ۸-۳ میلی گرم در کیلو گرم برای عنصر کادمیوم و ۴۰۰-۱۰۰ میلی گرم در کیلو گرم برای عنصر سرب) و در گیاهان (برابر با ۳۰-۵ میلی گرم در کیلو گرم برای عنصر کادمیوم و ۳۰۰-۳۰ میلی گرم در کیلو گرم برای عنصر سرب)، صورت پذیرد (Alloway, 1990). پیشگیری از بروز مشکلات مربوط به خواص سمی و آلایندگی فلزات سنگین به طور نسبی آسانتر از فعالیت های معمولا دشوار در درمان و پالایش خاک های آلوده است. درک این حقیقت، عامل جلب توجه به پایش دقیق تر غلظت ناخالصی ها در نهاده های کودی، پیش از ورود آنها به اراضی کشاورزی می شود. در این زمینه، تلاش ها به منظور افزایش آگاهی کشاورزان در رابطه با استفاده از نهاده های کودی تایید شده که حاوی مقادیر مجاز فلزات سنگین باشند، در تضمین سلامت زیست بوم های کشاورزی و در مقیاس بزرگتر، تامین سلامت جوامع بشری، اثر گذار خواهد بود. مطالعه صورت گرفته توسط یگانه و همکاران (۱۳۹۴)، مقادیر استاندارد توصیه شده برای فلزات سنگین کادمیوم و سرب در کود های متداول سوپرفسفات ساده، سوپرفسفات تریپل، مونو آمونیوم فسفات و دی آمونیوم فسفات را، به ترتیب، برابر با ۲۴/۶۴، ۷۰/۸۴، ۸۰/۰۸ و ۷۰/۸۴ میلی گرم کادمیوم در هر کیلو گرم ماده کودی و ۳۷۵/۵، ۱۰۷۹/۶، ۱۲۲۰/۴ و ۱۰۷۹/۶ میلی گرم سرب در کیلو گرم ماده کودی، اعلام کرده است.

میزان فسفر در ۷۱/۸ درصد از اراضی کشاورزی کشور ایران، کمتر از سطح بحرانی برای این عنصر غذایی (یعنی کمتر از ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک) است. در این رابطه، علی رغم اهمیت بسیار زیاد استفاده متعادل از کود های شیمیایی، این اصل در بسیاری از اراضی کشاورزی نادیده گرفته شده است (شهبازی و بشارتی، ۱۳۹۲). از طرف دیگر، تحرک و نیز حلالیت پایین فسفر در خاک های قلیایی ایران، در کنار قابلیت بالای این دسته از خاک ها در تثبیت فسفر، موجب کاهش کارایی کود های فسفاته گردیده است. در این خصوص، بکارگیری زادمایه های میکروبی حل کننده فسفات[9]، جایگزین مناسبی برای کود های شیمیایی در تامین نیاز فسفری گیاهان و نیز افزایش عملکرد محصولات در راستای کشاورزی پایدار، محسوب می شود (Kumari Singh, 2020). ریزجانداران حل کننده فسفات[10] که شامل انواع باکتری ها، قارچ ها و نیز سیانوباکتری ها می باشد، از طریق تولید اسید های آلی و آنزیم های فسفاتاز، باعث افزایش فراهمی زیستی فسفر در محیط ریشه گیاهان می شوند (Kumar *et al*., 2018). این ریزجاندران، همچنین، با تولید انواع هورمون های گیاهی و آزادسازی بازدارنده های زیستی[11] در بهبود رشد گیاهان و نیز تامین سلامت آنها از طریق خنثی سازی اثر عوامل بیماری زا، در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی نقش کلیدی ایفا می کنند (Yousefi *et al*., 2011). از طرف دیگر، نتایج برخی از مطالعات، حاکی از افزایش رشد و بهبود وضعیت تغذیه ای و فیزیولوژیک گیاهان تلقیح شده با قارچ های میکوریزه ای، تحت شرایط شور و آلودگی کادمیوم بوده است (Hashemi Nejad *et al*., 2021). بنابراین، استفاده از کود های زیستی حل کننده فسفات، به عنوان جایگزینی اقتصادی و اکولوژیک (Kalayu, 2019)، جهت کاهش مصرف کود های شیمیایی فسفاته، توصیه می گردد.

9- Phosphate solubilizing microbial inoculum
10- Phosphate Solubilizing Microorganisms (PSM)
11- Biocides

نتیجه گیری

در این مقاله، سعی بر آن بوده است تا با بررسی روند مصرف کود های فسفاته در کشور ایران در یک بازه سی ساله از ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۸، الگوی تجمع فلزات سنگین کادمیوم و سرب را به عنوان شایع ترین فلزات آلاینده در خاک های زراعی، مورد تحلیل قرار دهیم. بر اساس نتایج بدست آمده، الگوی ورود عناصر کادمیوم و سرب به اراضی تحت کشت با روند نزولی مصرف کود های فسفاته در بازه زمانی مورد بررسی، همخوانی داشته است. این یافته، بر نقش مهم نهاده های کودی فسفاته در ورود فلزات سنگین کادمیوم و سرب به زیست بوم های کشاورزی به عنوان یکی از اصلی ترین منابع این عناصر، تاکید دارد. از طرف دیگر، محتوای بیشتر سرب در مقابل میزان عنصر کادمیوم در کود های فسفاته، در تجمع بیشتر عنصر سرب در خاک های تحت کشت مشهود بوده است. در این رابطه، به طور متوسط، میزان تجمع سرب در خاک های کشاورزی ایران در سه دهه مورد مطالعه، سه برابر مقدار کادمیوم اضافه شده به این خاک ها بوده است. بر پایه اطلاعات بدست آدمده از این پژوهش، سالانه به طور میانگین، مقدار ۰/۴۲۸ گرم عنصر کادمیوم و نیز ۱/۳۴۶ گرم عنصر سرب به هر هکتار از اراضی تحت کشت در کشور، اضافه می شود. این مقدار، بیشتر از نرخ ورود فلزات سنگین به خاک های کشاورزی در کشور های توسعه یافته ای مانند دانمارک و فنلاند و چین می باشد. میزان تجمعی فلزات سنگین کادمیوم و سرب در خاک های زراعی ایران تا پایان دوره زمانی مورد مطالعه، به ترتیب، برابر با ۱۲/۸۶ و ۴۰/۴۲ گرم در هکتار، برآورد شده است.

با توجه به روند کاهشی مساحت اراضی تحت کشت در کشور ایران در سه دهه گذشته، اهمیت تولید پایدار و استفاده بهینه از نهاده های کشاورزی به گونه ای که در کنار دستیابی به حداکثر عملکرد، کمترین فشار را به نظام طبیعی زیست بوم های کشاورزی وارد سازد، می بایست بیش از هر زمان دیگری مورد توجه تولید کنندگان، مصرف کنندگان و سیاستگذاران بخش کشاورزی قرار گیرد. در این رابطه، توجه به حدود بحرانی فلزات سنگین در خاک و گیاه و نیز در نظر گرفتن مقادیر مجاز فلزات سنگین در نهاده های کودی، حایز اهمیت است. استفاده از کود های زیستی حل کننده فسفات به عنوان جایگزین مناسب برای کودهای شیمیایی، می تواند موجب افزایش فراهمی فسفر، بهبود رشد گیاهان کشاورزی و نیز کاهش مصرف کود های شیمیایی گردد. نتایج ارایه شده در این پژوهش از طریق نمایان ساختن تاثیر مستقیم کود های شیمیایی فسفاته بر تجمع فلزات سنگین کادمیوم و سرب در خاک ها، در افزایش آگاهی پیرامون اثرات نامطلوب مصرف نامتعادل کود های شیمیایی و نیز در معطوف ساختن توجه تولیدکنندگان، مصرف کنندگان و سیاستگذاران بخش کشاورزی به رعایت اصول علمی مدیریت تلفیقی عناصر غذایی در اراضی تحت کشت در کشور، مفید واقع خواهد شد.

منابع

بوداغی، ه.، یونسیان، م.، محوی، ا.، محمدی، م.، دهقانی، م.، نظرم آرا، ش. (۱۳۹۰). بررسی میزان آرسنیک، کادمیوم و سرب در خاک و آب زیر زمینی و ارتباط آن با کود شیمیایی در خاک شالیزاری. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دوره ۲۱، ویژه نامه ۱.

پوربابائی، ا. (۱۳۹۹). تقریرات درس زیست پالایی خاک و آب. گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

شهبازی، ک.، بشارتی، ح. (۱۳۹۲). بررسی اجمالی وضعیت حاضلخیزی خاکهای کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی، جلد ۱، شماره ۱.

متشرع زاده, بابک, آقایی, لیلا, ثواقبی, غلامرضا. (۱۳۹۳). تاثیر کاربرد کادمیوم و سرب بر میزان جذب این عناصر و رشد دو رقم لوبیا چیتی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی, ۷(۲)، ۲۵۷-۲۷۱.

یگانه، م.، داودی، م.، اسماعیل زاده، ل.، منصوری، ف.، طباخیان، ش.، ملک زاده، ا. و همکاران. (۱۳۹۴). تعیین حد مجاز آلاینده کادمیوم و سرب در کود های شیمیایی بر اساس مدل های USEPA. موسسه تحقیقات خاک و آب، شماره طرح ۹۱۱۲۹-۱۰-۱۰-۴.

Alloway, B.J., 1990. Heavy metals in soils. Blackie and Son Ltd. New York.

Bashour, I., Nimah, M., Yanni, S. (2006). Water availability and fertilizer use in the middle east. 12th International Annual Fertilizer Conference, Cairo, Egypt.AHDB. (2001). Cadmium and Lead in British wheat and barley. Gleadthorpe Research Centre, Project code PR265.

FAO. (2006). Near East: fertilizer use manual. Rome, Italy, ISBN 978-92-5-105657-8.

Jarup L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. Brit Med Bull; 68(1): 167.

Ju X, Kou C, Christie P, Dou Z, Zhang F. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain. Environ Pollu 2007; 145(2): 497-506.

Kabata-Pendias, A., and Pendias, H., 1991. Trace Elements in Soils and Plants, second ed. CRC Press. 365 pp.
Kalayu G. 2019. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. InternationalJournal of Agronomy Trends in Plant Science 10: 22-29.
Knappe, F., Möhler, S., Ostermayer, A., Lazar, S., Kaufmann, C. (2008). Vergleichende Auswertung von Stoffeinträgen in Böden über verschiedene Eintragspfade. 06813 Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2008. Forschungsbericht 203(74):275.
Kumar A, Kumar A, Patel H. Role of microbes in phosphorus availability and acquisition by plants.International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences 7 (2018): 1344-1347.
Mortvedt, J. J. (1996). Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. Fertilizer Research, *43(1-3), 55–61*. doi:10.1007/bf00747683.
Motesharezadeh, B., Valizadeh-Rad, K., Dadrasnia, A., Amir-Mokri, H. (2017). Trend of fertilizer application during the last three decades (Case study: America, Australia, Iran and Malaysia). *Journal of Plant Nutrition*, *40*(4), 532-542.
Nejad, R. A. H., Kafi, M., Jari, S. K., Mozafari, H., & Motesharezadeh, B. (2021). Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth, physiological status and nutrients accumulation of Ailanthus altissima seedlings under cadmium pollution and salinity. *Russian Journal of Plant Physiology*, *68*(2), 266-273.
Roberts, T. L. (2014). Cadmium and phosphorous fertilizers: the issues and the science. *Procedia Engineering*, *83*, 52-59.
Rui Y, Shen J, Zhang F. Application of ICP-MS to determination of heavy metal content of heavy metals in two kinds of N fertilizer. Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi 2008; 28(10): 2425.
Schupp, T., Damm, G., Foth, H., Freyberger, A., Gebel, T., Gundert-Remy, U., Hengstler, J. G., Mangerich, A., Partosch, F., Röhl, C., & Wollin, K. M. (2020). Long-term simulation of lead concentrations in agricultural soils in relation to human adverse health effects. *Archives of toxicology*, *94*(7), 2319–2329.
Sunita Kumari Singh. Sustainable Agriculture: Biofertilizers withstanding Environmental Stress. International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences 10 (2020): 158-178.
Yi, K., Fan, W., Chen, J., Jiang, S., Huang, S., Peng, L., … Luo, S. (2018). Annual input and output fluxes of heavy metals to paddy fields in four types of contaminated areas in Hunan Province, China. Science of The Total Environment, *634, 67–76*. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.294.
Yousefi A, Khavazi K, Moezi A, et al. Phosphate solubilizing bacteria and Arbescular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth. World Applied Sciences Journal 15(2011): 1310-1318.
Yu, M.-H., Tsunoda, M., & Tsunoda, H. (2011). Environmental Toxicology: Biological and Health Effects of Pollutants, Third Edition (3rd ed.). CRC Press.

Estimating the amount of Cadmium and Lead added to Iran's arable lands through the application of Phosphate fertilizers

Kamyar Amirhosseini[1], Zahra Haghani[2] and Babak Motesharezadeh[3]

1- MSc student, Soil Fertility Management and Soil Biotechnology, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultual Engineering and Technology, University of Tehran. Iran. (amirhosseini.k@ut.ac.ir)

2- MSc student, Soil Fertility Management and Soil Biotechnology, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultual Engineering and Technology, University of Tehran. Iran.

3- Professor of Soil Science, Department of Soil Science, Faculty of Agricultual Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran. (moteshare@ut.ac.ir)

Abstract

Imbalanced and disproportionate utilization of chemical fertilizers could contribute to heavy metals pollution in soils. The following paper aims to assess and evaluate the pattern and the fluctuations of cadmium and lead concentrations in arable lands of Iran in a thirty-year period from 1989 to 2018. Statistical data for this study were obtained from the databases of International Fertilizer Association (IFA) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The application of phosphate fertilizers in the before-mentioned period displayed a decreasing trend. In this regard, phosphate fertilizer application in Iran has decreased from a yearly input of about 545 thousand tonnes in 1989 to under 100 thousand tonnes in the year 2018. The overall pattern of cadmium and lead concentration fluctuations in agricultural soils was consistent with the trend of phosphate fertilizer application in such soils. According to the results generated by this study, the rates of cadmium and lead addition to Iran's agricultural soils were 0.428 and 1.346 g/ha/year, respectively. The annual rate of cadmium addition to Iran's soil was less than the rate reported in England (0.7-1.6 g/ha/year) and the Netherlands (1.3 g/ha/year). On the contrary, the annual addition of cadmium into the arable lands of Iran was greater than the rates observed in Denmark (0.3 g/ha/year) and Finland (0.2 g/ha/year). The rate of lead addition to Iran's arable lands was more than the figures reported in china (0.4 g/ha/year) and higher than the rate recorded in Germany (6.2 g/ha/year). Moreover, the following study infers a total accumulation of more than 12 g Cd and more than 40 g Pb in agricultural soils of Iran by the end of the time period under consideration. The results presented in this article focus on the undesirable

contribution of uncontrolled application of chemical fertilizers to the accumulation of heavy metals in soils and will prove useful in directing the attention of producers and policymakers of the agricultural sector towards responsible implementation of Integrated Nutrient management (INM).
Keywords: Chemical fertilizers, Heavy metals, Environmental pollution, Integrated Nutrient Management (INM), Biofertilizers

بررسی تاثیر رطوبت ، حرارت و خواباندن بر اکسایش گوگرد و عناصر غذایی قابل جذب در خاکهای غیر آهکی

ناهید کاوه زاده[۱] ، نصرت اله منتجبی[۲]

۱- محقق مرکز تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان(nkavezadeh@gmail.com)

۲- استادیار مرکز تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

چکیده

اثر سطوح رطوبت (۶۰ و ۹۰ درصد ظرفیت زراعی)، دما و مدت زمان خواباندن خاک بر اکسایش سطوح گوگرد (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) طی دو آزمایش بررسی شد. در آزمایش اول خاک‌ها در دمای ۲۵°C و ۶ دوره (۳۰، ۶۰ ، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ روز) خوابانیده شدند ولی در آزمایش دوم در دمای ۳۶°C و ۳ دوره (۱۴، ۲۸و ۴۲ روز) خوابانیده شدند و در پایان هر دوره نمونه‌گیری و pH، P، Fe، Mn، Zn و SO_4^{2-} اندازه‌گیری شد. اثر گوگرد و اثر متقابل رطوبت و گوگرد بر فسفر قابل جذب و اثر متقابل رطوبت و مدت خواباندن بر منگنز قابل جذب معنی‌دار نبود ولی بقیه اثرات اصلی و متقابل رطوبت، درجه حرارت، مدت خواباندن و گوگرد بر تمام صفات اختلاف معنی دار داشت. افزایش رطوبت موجب افزایشP، Fe، Zn و SO_4^{2-} و کاهش pH و Mn خاک شد. با مصرف گوگرد، pH محلول خاک کاهش ولی SO_4^{2-}، Fe، Zn و Mn افزایش نشان دادند. بیشترین میزان آهن، منگنز و روی قابل جذب خاک با مصرف ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد (S_2) و بیشترین مقدار سولفات محلول با مصرف ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد حاصل شد. کمترین مقدار pH طی ۱۲۰ روز حاصل شد و بیشترین SO_4^{2-} مربوط به طولانی‌ترین مدت اینکوبات بود. تیمارهای M_1S_3 و S_3T_4 کمترین pH را داشتند.

واژه های کلیدی : گوگرد، پ‌هاش، سولفات، فسفر، عناصر کم مصرف

مقدمه

پ هاش، هدایت الکتریکی و عناصر غذایی از ویژگی‌های مهم خاک هستند. اکسایش گوگرد باعث کاهش pH شده و قابلیت جذب عناصر غذایی را افزایش می دهد. درجه حرارت و رطوبت دو عامل مهم موثر بر اکسیداسیون گوگرد هستند و اثر درجه حرارت بیشتر از رطوبت است. میزان اکسیداسیون گوگرد عنصری در درجه حرارت زیر ۵ درجه سانتی‌گراد ناچیز یا خیلی کم است و با افزایش درجه حرارت به سرعت افزایش می‌یابد و در حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد به ماکزیمم می رسد(Janzen and Bettany,1987b). اکسیداسیون گوگرد عنصری در زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد خیلی کم است و به سرعت تا ۲۳ درجه افزایش و در ۳۰ درجه، مقدار آن چند برابر می‌شود (Li & Caldwell, 1966). بعد از ۵۶ روز خوابانیدن، متوسط اکسیداسیون گوگرد عنصری مصرفی در ۵ خاک در دماهای ۵ ، ۱۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۸، ۲۲ و ۴۷ درصد بود(نور و طباطبائی،۱۹۷۷). بیشترین مقدار اکسیداسیون گوگرد برای ذراتی با قطر ۴۰ میکرومتر در روز و شب به ترتیب در درجه حرارت های ۲۴ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد بود و یک رابطه خطی میان مقدار اکسیداسیون گوگرد و درجه حرارت ۱۴ الی ۲۰ درجه سانتی‌گراد در خاک وجود دارد(Shedly,1982). درجه حرارت مناسب برای اکسیداسیون گوگرد از ۲۳ درجه سانتی‌گراد در خاک منطقه ساسکچوان کانادا (Janzen & Bettany,1987b)،۳۰ درجه در خاکهای آیوا (Deng & Dick,1991) تا۴۰ درجه سانتی‌گراد در خاکهای مینه سوتای امریکا (Watkinson & Blair,1993) متفاوت است. درجه حرارت خاک اثر زیادی روی معدنی شدن گوگرد آلی بومی خاک، مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری مصرفی و تبدیل گوگرد عنصری به گوگرد آلی داشته و به ترتیب در خاکهای اسیدی ،خنثی و قلیائی در طول دوره زمانی ۴۲ روز و درجه حرارت ۳۶ درجه سانتی‌گراد و مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری در دوره زمانی ۱۴ روز ابتدایی و در حرارت ۳۶ درجه سانتی‌گراد به ترتیب در خاکهای قلیائی ،خنثی و اسیدی بیشترین بود(Jaggi et.al., 1999). مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری در رطوبت ۶۰ درصد فضای خلل و فرج و درجه حرارت ۳۶ درجه سانتی‌گراد خاک صرفنظر از پ‌هاش، بیشترین بود. همچنین گزارش کردند که مقدار

رطوبت ۶۰ درصد خاک صرف نظر از پهاش خاک در دوره زمانی ۲۴روز اثر زیادی روی فرآیندهای معدنی شدن گوگرد آلی بومی خاک، اکسیداسیون و تبدیل گوگرد عنصری به گوگرد آلی دارد. همچنین در دوره زمانی ۱۴ روز و رطوبت ۶۰ درصد بیشترین مقدار اکسیداسیون گوگرد عنصری در خاکهای قلیائی و خنثی و کمترین در خاک اسیدی بود(Aulak et. al., 2002 & Jaggi et. al., 1999). استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی باعث آلودگی منابع آب و خاک می‌گردد. وجود غلظت‌های بالای فسفر و عناصر فلزی در آبهای سطحی اثرات منفی قابل ملاحظه‌ای دارد و اغلب منجر به پدیده آب تباهی (Eutrophication) می‌گردند(Blaney & Cinar, 2007). اثر گوگرد را در سه رزیم رطوبتی ۴۰، ۶۰ و۱۲۰ درصد فضای منافذ خاک و سه دمای ۱۲، ۲۴ و ۳۶ درجه سانتی‌گراد، روی تغییر پهاش و غلظت فسفر قابل استفاده در خاک‌های اسیدی، خنثی و قلیائی، در دورههای زمانی ۰، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز خوابانیدن مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که مصرف گوگرد عنصری در تمام رژیم‌های رطوبتی تغییری در پهاش خاک‌های اسیدی و خنثی نداد اما در خاکهای قلیائی در شرایط هوازی (شرایط رطوبتی ۴۰ و۶۰ درصد فضای منافذ پر از آب)، پهاش خاک کاهش یافت. همچنین مقدار رطوبت و درجه حرارت خاک اثر زیادی روی غلظت و انباشت فسفر قابل استفاده در تمام خاک‌ها داشته و در شرایط غرقابی (۱۲۰ در صد فضای منافذ پر از آب) و دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد بیشترین بودند. دما و رطوبت دو عامل مهم موثر بر اکسایش گوگرد هستند(Jaggi et.al., 2005).

مواد و روشها

یک نمونه خاک از افق A شالیزارهای شمال کشور تهیه شد. برخی خصوصیات مهم فیزیکوشیمیایی آن اندازه‌گیری شد (جداول ۱). در یک آزمایش، دو رژیم رطوبتی (۶۰ =M1 و ۹۰ =M2 درصد حد ظرفیت زراعی) و چهار سطح گوگرد (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) در سه تکرار تیمار شد. از خاک دارای هر سطح گوگرد، ۶ ظرف ۷۰۰ گرمی تهیه شد. رطوبت ۳ ویال به ۶۰ ٪ و سه ویال دیگر به FC ۹۰٪ رسانده شد. خاک ها داخل آون ۲۵°C خوابانیده شدند. در ۶ زمان (T_1=۳۰، T_2=۶۰، T_3=۹۰، T_4=۱۲۰، T_5=۱۸۰ و T_6=۲۷۰ روز) از هر ظرف نمونه برداری شد. در آزمایش دوم، تمام عملیات آزمایش اول تکرار شد ولی خاک ها در دمای ۳۶°C اینکوبات شدند و در ۳ زمان (T_7=۱۴، T_8=۲۸ و T_9=۴۲ روز) از هر ویال نمونه گیری شد. در هر نمونه گیری، صفات pH، P، So_4^{2-}، Fe، Zn و Mn اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آزمایش

Texture	Clay	Silt	Sand	EC_{ex}	pH_{paste}	O.C	$CaCo_3$	PWP	FC
		٪		µS/cm				٪	
Si-C	۷/۲۷	۵۰	۷	۱/۲۸	۷/۲۷	۱/۹	۱	۲۴/۹۸	۳۶/۵

ادامه جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از آزمایش(میلی گرم بر کیلوگرم)

So_4^{2-}	Cu	Zn	Mn	Fe	P
۸۴۰	۲/۵۲	۱/۰	۱۵/۲	۴۷/۵	۲۲/۸

نتایج و بحث

جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد به استثنای اثر گوگرد و اثر متقابل (رطوبت و گوگرد) بر فسفر قابل جذب و اثر متقابل (رطوبت و مدت اینکوبات) بر منگنز قابل جذب، اثرات اصلی و متقابل سطوح رطوبت، گوگرد و مدت اینکوبات بر تمام صفات تفاوت معنی دار داشت (جدول ۲). نتایج تاثیر سطوح رطوبت و گوگرد مصرفی بر میانگین صفات اندازه گیری شده در جدول ۳ و نتایج تیمارهای اثر متقابل رطوبت و مدت انکوباسیون بر میانگین صفات اندازه گیری شده در جدول ۴ آورده شده است. اثر مدت انکوباسیون خاک و اثر متقابل تیمارهای (رطوبت و گوگرد) بر میانگین صفات pH، SO_4^{2-} محلول، فسفر، آهن، روی و منگنز قابل جذب در

شکل های ۱ تا ۱۲ آورده شده است که به غیر از اثر متقابل رطوبت و گوگرد بر مقدار فسفر، بقیه تفاوت معنی دار نشان داد. نتایج تیمارهای اثر متقابل سطوح گوگرد و مدت زمان خوابانیدن بر صفات اندازه گیری شده در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۲ – نتایج تجزیه واریانس اثر متغیرهای آزمایش بر صفات اندازه گیری شده خاک

منبع تغییر	درجه آزادی DF	میانگین مربعات (Mean of Square) pH	EC	P	Fe	Zn	Mn	SO_4^{2-}
رطوبت	۱	۰/۱۰**	۸۸۱۲۸**	۱۷/۰۳**	۵۰۸۴**	۵/۰۳**	۲۳/۲۸**	۲۶۰۶۹۷۶**
گوگرد	۳	۰/۸۴**	۴۵۱۳۰۴**	۰/۳۹۴۹ns	۳۴۰**	۱۳/۶۰**	۴۸/۹۹**	۲۱۱۶۵۳۶۸**
مدت خواباندن	۸- (۶)	۱/۲۱**	۶۶۲۲۳۸**	۱۶۶۶/۵۳**	۶۶۹۳**	۸۱/۷۰**	۸۵/۴۲**	۷۱۵۲۳۰۶**
رطوبت×گوگرد	۳	۰/۱۰**	۷۲۶۱**	۰/۵۴۳۴ns	۱۲۸۶**	۸/۷۰**	۲۳/۲۴**	۵۶۶۹۷**
رطوبت× مدت خواباندن	۸- (۶)	۰/۰۷**	۳۴۸۶۳**	۴/۹۷۹۹**	۱۹۷۳**	۲/۰۸**	۶/۷۸ns	۱۵۸۹۷۷**
گوگرد× مدت خواباندن	۲۴- (۱۸)	۰/۰۵**	۵۸۵۴۶**	۳/۱۲۷۹**	۳۵۶**	۱۰/۰۸**	۱۸/۹۸**	۲۵۸۸۸۹**
رطوبت×گوگرد× مدت خواباندن	۲۴- (۱۸)	۰/۰۲**	۲۵۱۰*	۰/۹۸۵۷ns	۶۹۷**	۶/۱۰**	۱۷/۲۷**	۱۰۱۹۸۸**
خطا	۱۴۴-(۱۱۲)	۰/۰۰۴۰	۱۵۹۱	۱/۱۲۹۸	۲۴/۰۷	۰/۷۷	۳/۶۳	۷۰۳۹۹۱
ضریب تغییرات		۰/۸۰۸۴	۶/۶۰۸۱	۴/۳۶۷۰	۸/۱۶۹۶	۲۳/۰۲	۹/۹۳	۵/۶۳

توجه: اعداد داخل پرانتز در ستون درجه آزادی، نشان دهنده درجه آزادی منابع تغییر برای صفات P، Fe، Zn ، Mn و SO_4^{2-}هستند.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده تحت تاثیر سطوح رطوبت و گوگرد

صفت / متغیر	pH	EC (µS/cm)	P	Fe	Zn	Mn	SO_4^{2-}
				mg/kg			
M_1	۷/۸۹a	۵۸۳b	۲۳/۹۷b	۵۴/۴۷b	۳/۶۳b	۱۹/۵۶a	۱۲۹۳b
M_2	۷/۸۴b	۶۲۴a	۲۴/۷۲a	۶۵/۷۲a	۴/۰۱a	۱۸/۸۲b	۱۵۷۳a
S_0	۸/۰۱a	۵۱۴d	۲۴/۲۵a	۵۹/۰۶b	۳/۴۶b	۱۷/۷۸c	۶۹۱d
S_1	۷/۸۹b	۵۶۷c	۲۴/۲۰a	۶۲/۲۵a	۴/۱۸a	۱۹/۵۵ab	۱۰۸۶c
S_2	۷/۸۵c	۶۰۵b	۲۴/۲۷a	۶۲/۳۳a	۴/۴۰a	۲۰/۳۶a	۱۵۳۷b
S_3	۷/۷۱d	۷۲۹a	۲۴/۶۴a	۵۶/۵۲c	۳/۲۳b	۱۹/۰۷b	۲۳۶۸a

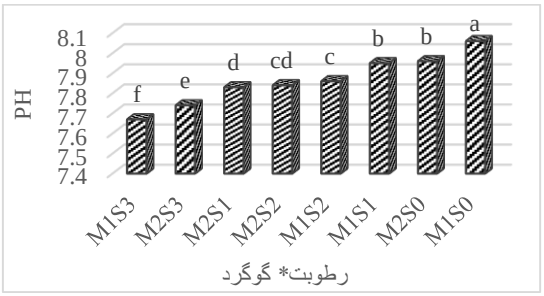
جدول ۴- مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده تحت اثر متقابل رطوبت و مدت خواباندن خاک

صفت / تیمار	pH	EC (µS/cm)	P	Fe	Zn	Mn	SO_4^{2-}
				mg/kg			
M_1T_1	۳۷,۸a	۳۵۶j	۲۹/۵۲d	۶۲/۷۰d	۱/۲۰f	۲۱/۸۶a	۷۸۵j
M_1T_2	۸/۱۵c	۴۶۵i	۲۹/۶۶d	۷۱,۶۶c	۲/۶۲d	۲۰/۶۵a	۶۳۱k
M_1T_3	۷/۸۱g	۴۹۸h	۳۳/۲۱a	۵۲/۸۲e	۶/۱۴a	۱۷/۵۶a	۸۸۱i
M_1T_4	۷/۵۶j	۵۳۳g	۳۰/۰۱cd	۶۰/۴۱d	۳/۹۰c	۲۰/۱۶a	۱۲۲۲g
M_1T_5	۷/۶۸h	۵۱۲gh	-	-	-	-	-
M_1T_6	۷/۸۵fg	۷۰۶d	-	-	-	-	-
M_1T_7	۷/۸۵fg	۵۶۹f	۱۵/۳۷e	۴۳/۸۴g	۱/۸۲f	۱۷/۵۷a	۱۵۵۳e
M_1T_8	۷/۹۱e	۷۲۶d	۱۴/۰۱f	۴۴/۳۹fg	۵/۴۸ab	۲۰/۴۳a	۱۶۶۴d
M_1T_9	۷/۷۹g	۸۸۵a	۱۶/۰۰e	۵۰/۴۳ef	۳/۹۶c	۱۸/۶۷a	۲۳۱۹b
M_2T_1	۸/۳b	۳۳۶j	۳۰/۸۲c	۸۷/۷۹b	۱/۵۳f	۲۱/۶۷a	۱۲۹۱f
M_2T_2	۷/۹۹d	۴۴۳i	۳۰/۰۷cd	۱۱۳/۳۶a	۳/۳۴c	۲۱/۴۵a	۹۸۰h
M_2T_3	۷/۶۸h	۴۹۴hi	۳۲/۶۲a	۵۲/۶۳e	۵/۸۱a	۱۶/۷۲a	۱۱۷۱g
M_2T_4	۷/۶۳i	۵۵۳fg	۳۱/۷۴b	۵۹/۷۷d	۵/۰۸b	۱۷/۶۲a	۱۲۹۲f
M_2T_5	۷/۶۱i	۶۲۱e	-	-	-	-	-

M_2T_6	۷/۷۷g	۷۸۶c	-	-	-	-	-
M_2T_7	۷/۷۹g	۷۲۹d	۱۵/۳۳e	۴۷/۹۵f	۱/۷۰f	۱۶/۶۰a	۱۷۰۰d
M_2T_8	۷/۸۶f	۸۳۴b	۱۵/۶۴e	۴۶/۹۷fg	۶/۰۵a	۲۰/۳۰a	۱۹۹۳c
M_2T_9	۷/۹۶d	۸۱۹b	۱۶/۰۵e	۵۰/۰۸ef	۴/۳۸bc	۱۷/۲۷a	۲۳۹۶a
LSD	۰/۰۵	۳۲/۸۰	۰/۸۶	۳/۹۷	۰/۷۱	ns	۶۴/۳۷

*در هر ستون حروف غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی دار مقادیر است.

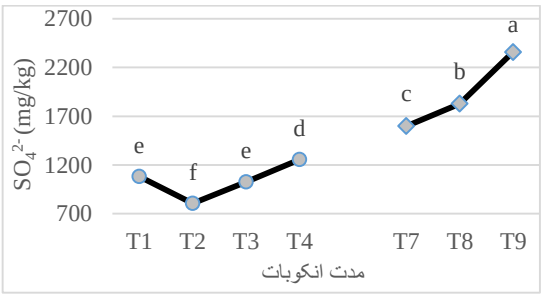
شکل ۱- رابطه مدت زمان خوابانیدن با pH



شکل ۲- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با pH

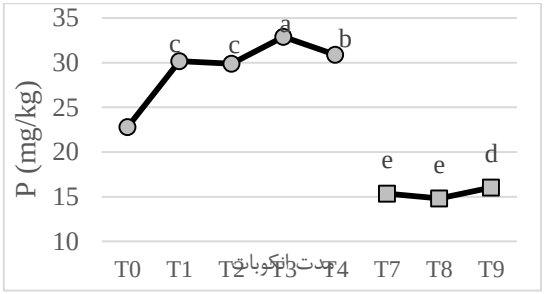
جدول ۵- اثر متقابل گوگرد و مدت خواباندن خاک بر میانگین صفات اندازه گیری شده

		صفت	T_1	T_2	T_3	T_4	T_7	T_8	T_9	LSD
	pH	S_0	۸/۵۶a	۸/۳۸b	۸/۸۷g	۸/۰۰gh	۷/۸۹fg	۷/۹۵f	۸/۰۷e	۰/۰۷۲۲
		S_1	۸/۳۶b	۸/۲۰cd	۷/۶۶ij	۷/۵۶jk	۷/۸۷g	۷/۹۵f	۷/۸۹fg	
		S_2	۸/۲۷c	۸/۰۰ ef	۷/۷۱hi	۷/۵۴jk	۷/۸۲gh	۷/۹۰fg	۷/۸۷g	
		S_3	۸/۱۴d	۷/۷۱hi	۷/۷۴hi	۷/۴۵l	۷/۶۹i	۷/۷۵hi	۷/۶۶ij	
µS/cm	EC	S_0	۲۳۱i	۳۱۶k	۳۴۸k	۳۶۱jk	۵۸۴gh	۷۳۲ef	۷۲۹ef	۴۵/۳۷
		S_1	۳۰۸k	۳۹۹j	۴۶۴i	۴۹۳i	۵۸۲gh	۷۱۰ef	۸۲۴cd	
		S_2	۳۴۱k	۴۷۶i	۴۹۱i	۵۶۸h	۶۶۱fg	۷۴۱ef	۸۶۳c	
		S_3	۵۰۴i	۶۲۴g	۶۸۲f	۷۴۹e	۷۷۱de	۹۳۹b	۹۹۲a	
mg/kg	P	S_0	۳۰/۶۷cd	۳۰/۵۹cd	۳۳/۵۲a	۳۰/۷۸c	۱۴/۶۱fg	g۱۳/۴۶	۱۶/۱۱ef	۱/۲۱
		S_1	۲۹/۶۳cd	۲۹/۱۴d	۳۲/۱۶b	۳۱/۲۵bc	۱۵/۲۰f	۱۵/۵۳ef	۱۶/۵۰e	
		S_2	۳۰/۵۷cd	۲۹/۵۰d	۳۳/۰۹ab	۳۰/۳۳cd	۱۶/۳۹ef	۱۴/۳۴fg	۱۵/۶۹ef	
		S_3	۲۹/۸۰cd	۳۰/۲۳cd	۳۲/۸۹ab	۳۱/۱۴bc	۱۵/۲۰f	۱۵/۹۶ef	۱۵/۸۰ef	
	Fe	S_0	۷۶/۲۸bc	۸۲/۵۷b	۵۵/۵۵f	۵۹/۷۶ef	۴۵/۱۹gf	۴۴/۱۷h	g۴۹/۹۲	۵/۶۱
		S_1	۸۰/۹۷bc	۱۰۷/۲۴a	۵۰/۲۲fg	۵۶/۲۳ef	۴۵/۰۲gh	۴۶/۰۱gh	۵۰/۰۹fg	
		S_2	۷۶/۲۱c	۱۰۳/۷۵a	۵۳/۶۱fg	۶۳/۱۶de	۴۵/۰۱gh	۴۳/۹۷h	۵۰/۵۷fg	
		S_3	۶۷/۵۱d	۶۶/۶۰de	۵۱/۵۲fg	۶۱/۲۰e	۴۸/۳۸gh	۴۸/۵۵gh	۵۰/۴۵fg	
	Zn	S_0	۱/۳۸f	۲/۵۳ef	۴/۹۹cd	۳/۸۲de	۱/۷۹f	۵/۹۰bc	۳/۷۸de	۱/۰۰
		S_1	۱/۳۲f	۲/۸۸ef	۸/۶۴a	۴/۰۱de	۱/۷۹f	۶/۴۲b	۴/۱۹d	
		S_2	۱/۴۲f	۳/۳۸de	۹/۰a	۴/۸۸cd	۱/۷۶f	۵/۸۸bc	۴/۴۵cd	
		S_3	۱/۳۳f	۳/۱۲e	۱/۸۸f	۵/۲۴c	۱/۶۹f	۴/۸۵cd	۴/۲۵cd	
	Mn	S_0	۱۹/۵۸bc	۱۷/۸۹cd	۱۵/۸۳de	۱۹/۰۲bc	۱۵/۵۳de	۲۰/۲۰bc	۱۶/۴۲d	۲/۱۸
		S_1	۲۰/۹۷b	۲۱/۹۳ab	۱۶/۷۲cd	۲۰/۸۰bc	۱۶/۸۰cd	۲۱/۷۳ab	۱۷/۸۹cd	
		S_2	۲۲/۷۰ab	۲۲/۳۱ab	۲۱/۸۹ab	۱۹/۷۳bc	۱۷/۳۱cd	۱۹/۵۹bc	۱۸/۹۷bc	
		S_3	۲۳/۸۳a	۲۲/۰۷ab	۱۴/۱۲e	۱۶de	۱۸/۷۱c	۱۹/۹۵bc	۱۸/۵۹cd	
	SO_4^{2-}	S_0	۱۸۰mn	۱۶۷mno	۹۵o	۲۱۵m	۱۰۵8i	۱۳۰۹h	۱۸۱۱gh	۹۱
		S_1	۷۲۴k	۵۲۹l	۵۵۷i	۷۹۶k	۱۴۰۴g	۱۴۹۳g	۲۰۹۹e	
		S_2	۱۲۴۷h	۹۳۲j	۱۱۱۵i	۱۴۴۲g	۱۷۶۱h	۱۸۹۱g	۲۳۶۷c	
		S_3	۲۰۰۲f	۱۵۹۳i	۲۳۳۶cd	۲۵۷۴b	۲۲۸۴cd	۲۶۲۰b	۳۱۵۳a	

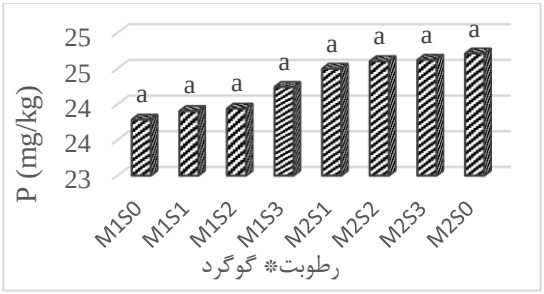


شکل ۳- رابطه مدت زمان خوابانیدن با سولفات محلول خاک

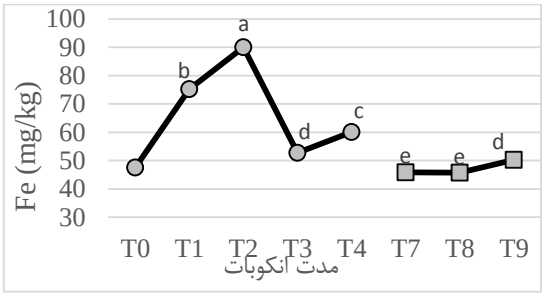
شکل ۴- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با سولفات محلول



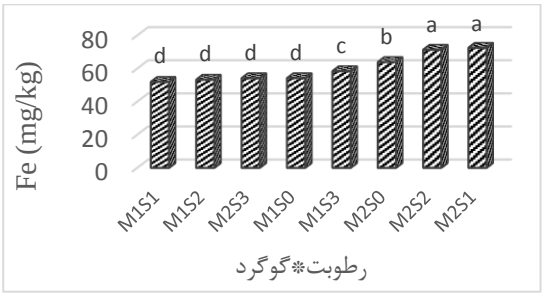
شکل ۵- رابطه مدت زمان خوابانیدن خاک با فسفر



شکل ۶- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با فسفر

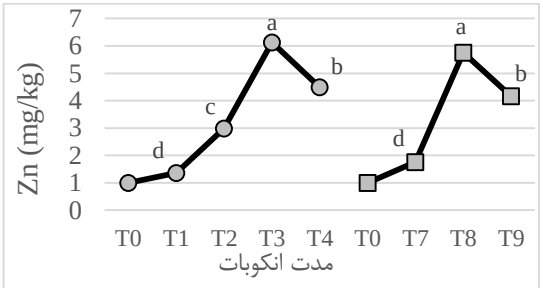


شکل ۷- رابطه مدت زمان خوابانیدن خاک با آهن قابل جذب

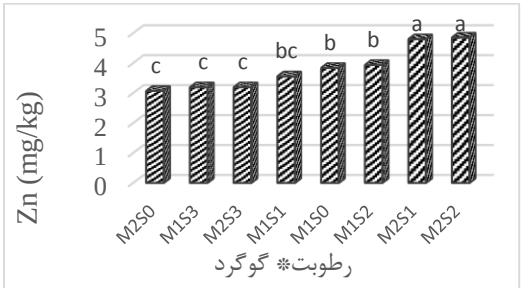


شکل ۸- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با آهن قابل جذب

در دمای ۲۵°C، مدت خواباندن T_1 کمترین و مدت خواباندن T_3 بیشترین مقدار روی را داشت. در دمای ۳۶°C، کمترین مقدار به T_7 و بیشترین مقدار به مدت خواباندن T_8 اختصاص داشت (شکل ۹).

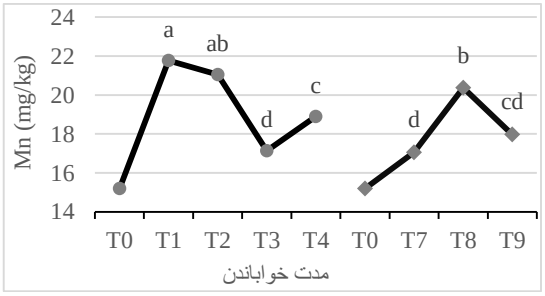


شکل ۹- رابطه مدت زمان خوابانیدن خاک با روی قابل جذب

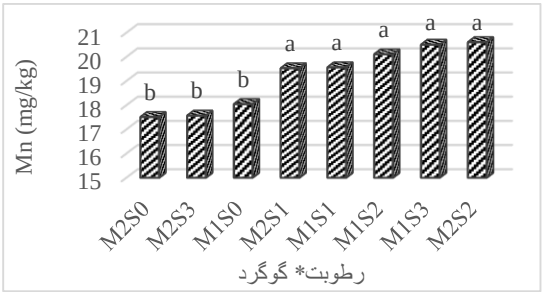


شکل ۱۰- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با روی قابل جذب

اثر مدت خواباندن بر منگنز قابل جذب معنی دار بود و در زمان T_3، کاهش یافت (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- رابطه مدت زمان خوابانیدن خاک با منگنز قابل جذب



شکل ۱۲- اثر متقابل رطوبت و گوگرد با منگنز قابل جذب

با افزایش رطوبت pH و غلظت Mn قابل جذب کاهش ولی SO_4^{2-} محلول، P، Fe و Zn افزایش داشته است. مقدار اکسایش گوگرد در پتانسیل رطوبتی نزدیک به ظرفیت زراعی به سرعت افزایش می‌یابد و ماکزیمم است (جانزن و بتانی، ۱۹۸۷b). نتایج نشان داد که درجه حرارت و رطوبت دو عامل مهم موثر بر اکسایش گوگرد بودند و اثر درجه حرارت بیشتر از رطوبت بود که با نتایج جانزن و بتانی(۱۹۸۷b) مطابقت دارد و احتمالا بدلیل بیشتر بودن فعالیت باکتری‌ها و سرعت واکنش‌های شیمیایی در دمای ۳۶ درجه نسبت به ۲۵ درجه است. مصرف گوگرد باعث کاهش pH و افزایش عناصر غذایی خاک از جمله SO_4^{2-} شد. اکسایش گوگرد باعث کاهش pH خاک و افزایش قابلیت جذب P و دیگر عناصر غذایی کم مصرف می شود(بشارتی، ۱۳۷۷). افزایش مصرف گوگرد تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین غلظت SO_4^{2-} و کمترین pH را داشت. با افزایش گوگرد از ۱ تن به ۲ تن در هکتار، مقدار عناصر Fe، Mn و Zn کاهش یافت. افزایش دوره انکوباسیون باعث افزایش عناصر غذایی قابل جذب نسبت به مقدار اولیه شد و بیشترین مقدار قابل جذب عناصر Mn، Fe، Zn، P و SO_4^{2-} به ترتیب پس از مدت اینکوبات ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۹۰ و ۱۲۰روز حاصل شد و کمترین میزان pH مربوط به مدت زمان خوابانیدن ۱۲۰ روز بود. تیمارهای ترکیبی M_2S_1 و M_2S_2 حداکثر فسفر، آهن، روی و منگنز قابل جذب را داشتند و بین آنها تفاوت معنی دار وجود نداشت که نشان می‌دهد رطوبت موجب افزایش مقدار عناصر قابل جذب شده است. ماکزیمم سولفات محلول را تیمار S_3T_4 داشت. بنابرین تیمار M_2S_2 (۱تن در هکتار گوگرد و رطوبت ۹۰ درصد ظرفیت زراعی) بهترین تیمار قابل توصیه است. بررسی اثر متقابل گوگرد مصرفی و مدت اینکوبات نشان داد که در مجموع تیمار S_2T_3 (۱ تن در هکتار گوگرد و مدت خواباندن ۹۰ روز) بیشترین مقدار عناصر قابل جذب خاک را دارد.

بررسی منابع:

بشارتی، ح.۱۳۷۷. مطالعه اثر کاربرد گوگرد و تیوباسیلوس بر روی افزایش برداشت بعضی عناصر غذایی. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم خاک. ۱۷۶ صفحه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

Aulakh M.S., Jaggi R.C. and Sharma R. 2002. Mineralization-immobilization of soil organic Sulfur and oxidation of elemental Sulfur in subtropical soils under flooded and nonflooded conditions. Biology and Fertility of Soils, 35:197–203.

Blaney L.M. and Cinar S. 2007. Hybrid anion exchanger for trace phosphate removal from water and wastewater. Water Research, 41(7): 1603-1613.

Deng, S. and Dick ,R.P. 1990. Sulfur oxidation and rhodanese activity in soils. Soil Science. 150:552-560.

Jaggi R.C., Aulakh M.S. and Sharma.R. 1999. Temperature effects on soil organic sulphur mineralization and elemental sulphur oxidation in subtropical soils of varying pH. Nutrtion Cycling Agroecosyst, 54: 175 - 182.

Jaggi R. C. Aulakh M.S. and Sharma R. 2005. Impacts of elemental S applied under various temperature and moisture regimes on pH and available P in acidic, neutral and alkaline soils. Biology and Fertility of Soils, 41: 52–58.

Janzen H. H. and Bettany J. R. 1987b. The effect of temperature and water potential on sulfur oxidation in soils. Soil Science, 144: 81–89.

Li p. and Caldwell A.C. 1966.The oxidation of elemental sulphur in soil.soil Science Society of American Proceeding, 30: 370-372.

Nor, Y.M. and Tabatabai, M.A. 1977. Oxidation of elemental sulfur in soils. Soil Science Society of American Journal, 41: 736-741.
Shedley, C. D. (1982) Ph.D. Thesis. Australia, Armidale, N.S.W.
Watkinson, J.H .and Blair, G.J . 1993. Modeling the oxidation of elemental sulfur in soils. Fertlizer Research, 35: 115–126.

Investigation of the effect of moisture and heat on the oxidation of sulfur and nutrients in non-calcareous soils

Kavehzadeh N[1], , Montajabi M.[2]
[1] Msc. soil and water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
[2] Assistant Prof., Animal Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Abstract

Effect of moisture [%60FC(M_1) and %90FC(M_2)], temperature levels, incubation periods on Sulfur levels (S_0=0, S_1=500, S_2=1000 and S_3=2000kg/ha) were investigated. In the first experiment, Soils were incubated at 25°C for 6 incubation periods (T_1=30, T_2=60, T_3=90, T_4=120, T_5=180 and T_6=270 days) but in the Second experiment were incubated at 36°C for 3 incubation periods (T_7=14, T_8=28, T_9=42 days). PH, available P, Fe, zn, Mn and solution So_4^{2-} were measured. Sulfur and its interaction with moisture was not significant on available P and also moisture and incubation period interaction on Mn was not significant but main and interactions effects of variables were significant on others measured attributes. Moisture increasing caused So_4^{2-}, P, Fe, Zn increasing and decreasing of pH and Mn. Sulfur application decreased pH and caused to increase So_4^{2-}, Fe, Zn and Mn. Most Fe, Mn and Zn concentration accrued with 1000kg/ha and maximum So_4^{2-} accrued with 2000 kg/ha sulfur application. Minimum pH and Maximum solution So_4^{2-} were on 120 days. M_1S_3 and S_3T_4 had minimum pH.

Key words: Sulfur, pH, Sulfate, Phosphorous, Micro elements

اثر کوتاه مدت لجن فاضلاب و بیوچار آن بر سیتیک آزادسازی روی دریک خاک آهکی

فروغ خائفی[1]، علیرضاحسین پور[2] و حمیدرضا متقیان[3]

۱-دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد؛ khaefif@yahoo.com

۲-استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir

۳-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ motaghian.h@yahoo.com

چکیده

روی یکی از عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه به شمار می‌رود. کمبود روی یکی از شایع‌ترین کمبودهای عناصر غذایی در خاک‌های آهکی و قلیایی به شمار می‌رود. آزادسازی روی در خاک فرآیند مهمی است که بر واکنش‌پذیری و زیست فراهمی آن موثراست. لجن فاضلاب و بیوچار آن به عنوان یک منبع آلی حاوی روی می‌توانند به عنوان کود مورد استفاده قرار گیرند. هدف از این مطالعه مقایسه اثر لجن فاضلاب و بیوچارهای آن بر خصوصیات آزاد سازی روی در خاک آهکی بود. بیوچار لجن فاضلاب در دو دمای 400^0C و 600^0C تهیه و خاک آهکی با لجن فاضلاب و بیوچارها در سه سطح کاربرد تیمار شد. در پایان یک ماه انکوباسیون، با روش عصاره‌گیر متوالی با محلول DTPA مقدار روی تجمعی آزاد شده در مدت زمان ۵۰۴ ساعت استخراج شد. آزاد شدن روی در دو مرحله سریع (۲۴ ساعت اولیه) و بلند مدت آهسته رخ داد. مقدار روی آزاد شده در مرحله سریع در تیمار بیوچارها ۳۳ ٪ و در تیمار لجن فاضلاب ۴۵ ٪ از کل روی تجمعی برآورد شد. تابع توانی بهترین مدل سینتیکی در توصیف روی آزاد شده درتیمارها بود و نشان داد سرعت آزاد شدن روی در تیمار بیوچارها نسبت به لجن فاضلاب کمتر است که می‌تواند به دلیل کاهش قابلیت استفاده روی در بیوچار، سطح ویژه بالا و گروه‌های عاملی تشکیل دهنده کمپلکس‌های قوی در بیوچارها با روی باشد.

کلمات کلیدی : بیوچار، روی، لجن فاضلاب، مدل سینتیکی

مقدمه

لجن فاضلاب به عنوان یک زباله حاوی مواد مضر آلی و غیرآلی (آلاینده‌های آلی، علف‌کش، آفت‌کش، عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین) در سراسر جهان به یک موضوع نگران‌کننده تبدیل شده است. با این حال لجن فاضلاب به دلیل مقدار بالای مواد آلی زیست تخریب‌پذیر به عنوان یک منبع زیستی دارای اهمیت می‌باشد(Bogusz and Oleszczuk, 2018). تبدیل لجن فاضلاب به یک ماده با ارزش افزوده‌ی بیشتر و کم خطرتر می‌تواند باعث گسترش کاربرد آن شود. به منظور کاهش سمیت فلزات سنگین در لجن، دو روش اصلی شامل حذف فلزات سنگین از لجن یا تثبیت کردن آنها داخل لجن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. اخیراً گرماکافت به‌عنوان روشی موثر برای بی‌تحرک کردن فلزات سنگین در باقیمانده‌های گرماکافت لجن (بیوچار) معرفی شده است (Devi and Saroha, 2014).

بیوچار یک ماده جامد کربن‌دار متخلخل است که به‌وسیله تجزیه حرارتی مواد آلی در شرایط اکسیژن کم حاصل می‌شود و خواص فیریکی و شیمیایی آن برای ذخیره‌سازی طولانی‌مدت کربن دراکوسیستم مناسب است ویژگی‌های بیوچار مانند ساختار متخلخل آن برای بالابردن ظرفیت نگهداری آب و افزایش سطح ویژه خاک باعث شده به عنوان یک اصلاح کننده خاک در نظر گرفته شود (Ahmad et al. 2014). بیوچارهای حاصل از مواد اولیه مختلف از نظر خصوصیاتی مانند تخلخل، سطوح تبادلی و مقدارگروه‌های عاملی با هم متفاوت هستند. استفاده از مواد اولیه آلوده به فلزات سنگین برای تولید بیوچار مانند لجن فاضلاب، ممکن است باعث تجمع فلزات سنگین در سطوح بیوچار شود(Yue et al. 2017).

---

[1]-نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

روی (Zn) یکی از عناصر سنگین کم‌نیاز برای رشد گیاهان و جانوران است و به عنوان کوفاکتور تنظیم‌کننده، نقش مهمی در فعالیت آنزیم‌های سلول ایفا می‌کند(Motaghian H., Hosseinpur A., 2013). آزادسازی روی در خاک فرآیند مهمی است که بر واکنش‌پذیری و زیست فراهمی آن موثراست. بررسی تغییرات روی در طول زمان برای تخمین میزان روی بویژه در خاک آهکی ایران که مقدار کل روی قابل توجه بوده اما غلظت آن در محلول خاک بسیار ناچیز است می‌تواند مفید باشد(Boostani et al. 2019). مطالعه مدل‌های سینتیکی یک روش مفید برای توصیف و پیش‌بینی تغییرات قابلیت استفاده مواد مغذی در طول زمان است. این مدل‌ها در دهه‌های گذشته توسط محققین مورد استفاده قرار گرفته است (Motaghian H, Hosseinpur A., 2013; Taghdis et al. 2016; Boostani et al. 2019). آگاهی از سینتیک آزادسازی روی در خاک ممکن است اطلاعات مهمی در مورد ماهیت واکنش و همچنین میزان عرضه آن به گیاه از طریق محلول خاک فراهم کند (Reyhanitabar and Gilkes 2010). در رابطه با تأثیر بیوچارهای حاصل از زیست توده‌های آلوده مانند لجن فاضلاب بر خصوصیات دینامیکی فلزات سنگین در خاک، مطالعات بسیار اندکی انجام شده است. لجن فاضلاب و بیوچار آن حاوی مقادیر بالایی فلز روی هستند که می‌توانند به عنوان یک منبع غنی از روی در خاک آهکی مورد استفاده قرار گیرند. این مطالعه با هدف مقایسه خصوصیات سینتیک آزادسازی روی در یک خاک آهکی پس از افزودن لجن فاضلاب و بیوچارهای در مقادیر گاربرد مختلف انجام شد.

مواد و روشها

لجن فاضلاب شهری شهرکرد در هوا خشک، کوبیده و از الک یک میلی‌متری عبور داده شد سپس بیوچار لجن فاضلاب در دماهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس در کوره به مدت دو ساعت با سرعت افزایش دمای ده درجه سلسیوس بر دقیقه و در شرایط حداقل اکسیژن تهیه‌شد(Yang et al. 2016). یک نمونه خاک کشاورزی از لایه سطحی (صفر تا۳۰ سانتی‌متری) خاک‌های آهکی استان چهارمحال و بختیاری بعد از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های خاک، لجن فاضلاب و بیوچارهای تولید شده در دماهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس شامل پ-اچ (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی (Rhoades, 1996)، کلسیم کربنات معادل (Loeppert and Suarez, 1996)، گنجایش تبادل کاتیونی (Sumner and Miller, 1996)، روی قابل‌استفاده (Lindsay and Norvell,1978) و مقدار کل (Sposito et al. 1982) تعیین شد. سطح ویژه با استفاده از ایزوترم جذب N_2 و معادله BET (Jinet al. 2016) و مقادیر عناصر کربن، نیتروژن و هیدروژن با دستگاه آنالیزگر (element analysis instrument Cotech4010,) تعیین شدند.

پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، شامل دو فاکتور، فاکتور اول نوع ماده آلی (لجن فاضلاب و بیوچار ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس) و فاکتور دوم مقدار کاربرد (صفر، نیم، یک و چهار درصد وزنی/ وزنی) بود. تیمارها به‌مدت یک‌ماه (دمای ۲۵ درجه سلسیوس و ۷۰ درصد رطوبت مزرعه) در انکوباتور نگهداری شدند. در پایان سینتیک آزاد شدن روی از روش عصاره‌گیر متوالی و با استفاده از محلول DTPA-TEA انجام و غلظت روی با دستگاه جذب اتمی (جی-بی‌سی،۹۳۲) تعیین شد(Motaghian H, Hosseinpur A., 2013). از برازش معادلات سینتیکی (جدول۱) بر داده‌های تجمعی آزاد شدن روی، بر اساس ضریب تشخیص R^2 و اشتباه استاندارد (SE، معادله ۱) بهترین مدل برای توصیف آزادشدن انتخاب و ضرایب این معادله برآورد شد.*Zn: مقداربرآوردشده، Zn: مقدار اندازه‌گیری‌شده در زمان t و n: تعداد مشاهدات بود.

$$SE = \left[\frac{\sum(Zn - Zn^*)}{n-2}\right]^{0.5} \quad (۱)$$

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس دوطرفه داده‌ها (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار Statistica انجام شد.

جدول ۱ - معادلات سینتیکی مورد استفاده در این مطالعه

معادله	مدل	منبع
واکنش مرتبه اول	$In(M_0- M_t)=a- K_1t$	Martin and Sparks (1983)
انتشار پارابولیکی	$M_t =a+ Rt^{0.5}$	Havlin et al. (1985)
تابع توانی	$\ln M_t =lna+blnt$	Havlin et al. (1985)
الوویچ ساده	$M_t =a_e+1/\beta lnt$	Havlin et al. (1985)

M_0: مقدار عنصر آزاد شده ($mgkg^{-1}$) پس از ۵۰۴، M_t: مقدار عنصر آزاد شده ($mgkg^{-1}$) در زمان t ، K_1، R، b ضرایب معادله‌ها

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک و بیوچار

در جدول ۲ برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک، لجن فاضلاب و بیوچارها آورده شده است. خاک مورد مطالعه، آهکی (۳۹/۵٪) با مقدار ماده آلی کم(۰/۵۵ ٪) بود. با تبدیل لجن فاضلاب به بیوچار پ-اچ افزایش یافت و یک ماده اسیدی به یک ماده با خاصیت بازی تبدیل شد(Jinet al. 2016). قابلیت هدایت الکتریکی بیوچارها نیز نسبت به ماده خام در حدود ۳ و ۴ برابر به ترتیب در بیوچارهای ۴۰۰ و ۶۰۰ کاهش داشت که نشان‌دهنده کاهش نمک‌های محلول در بیوچار نسبت به لجن است ظرفیت تبادل کاتیونی (جدول ۲) بیوچارها از لجن فاضلاب کمتر بود. با افزایش دمای تولید بیوچار، ظرفیت تبادل کاتیونی روند افزایشی داشت که می‌تواند به دلیل آزادشدن فلزات قلیایی (سدیم، پتاسیم) و فلزات قلیایی خاکی (کلسیم، منیزیم) موجود در خاکستر بیوچارها در دمای بالاتر و در نتیجه خالی ماندن مکان‌های تبادلی باشد(Mendez et al. 2013).

جدول۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ، لجن فاضلاب و بیوچار آن

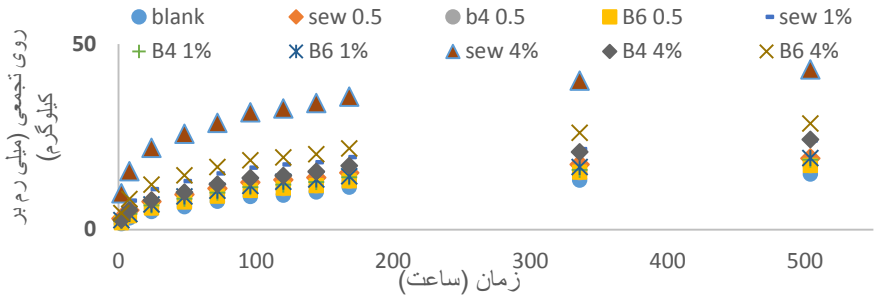
ویژگی‌ها	خاک	لجن فاضلاب	بیوچار (400^0C)	بیوچار (600^0C)
pH	۷/۱۸	۶/۵۳	۸/۶۱	۱۰/۳۷
EC ($dS.m^{-1}$)	۰/۱۸	۶/۲۵	۱/۹۸	۱/۶۳
CEC($Cmol_+.Kg^{-1}$)	۳۳/۴۶	۳۲/۳۳	۳۳/۳۲	۳۵/۳۲
CaCO3 %	۳۹/۵	۲۱	۲۸	۳۴
O/C	-	۰/۵۴۲	۰/۴۶۶	۰/۴۱۳
H/C	-	۲/۳۳	۰/۵۷۷	۰/۴۵۰
$Zn_{(DTPA)}$($mg.Kg^{-1}$)		۲۷۷/۴	۳۰/۸	۴۸/۶
$Zn_{(Total)}$($mg.Kg^{-1}$)		۸۹۶/۵	۱۱۴۷	۱۳۸۶
$a_{s,BET}$ ($m^2.g^{-1}$)	-	۴/۴۷	۱۱/۸۹	۳۷/۵۷
%خاکستر	-	۹۳/۴۳	۶۴/۳	۷۰/۲
عملکرد ٪	-	-	۶۵/۵۰	۵۶/۷۵

برای تشخیص حذف انتخابی عناصر در طول واکنش‌های هیدراسیون و کربنی شدن بیوچارها از مواد خام مختلف از مقایسه نسبت‌های اتمی O/C و H/C به طور گسترده استفاده می‌شود (Oliveira et al. 2017). نسبت O/C نشانگر بیوچار پایدارتر با محتوای کمتر از گروه‌های عاملی بر پایه اکسیژن است (Racek et al. 2020). نسبت O/C در لجن فاضلاب ۰/۵۴۲ بود و با تبدیل آن به بیوچار این نسبت به ۰/۴۶۶ و۰/۴۱۳ به ترتیب در بیوچار ۴۰۰ و ۶۰۰ کاهش یافت. (جدول۲) این یافته ها با گزارش(۲۰۲۰). Racek et al مطابقت دارد. نسبت H/C نیز نشان‌دهنده درجه آروماتیکی شدن بیوچار در طی فرایند گرماکافت است. نسبت H/C در لجن فاضلاب ۲/۳۳ و در بیوچار۴۰۰ و ۶۰۰ به‌ترتیب ۰/۵۷۷ و ۰/۵۴۰ برآورد شد. در طول

فرایند گرماکافت، نسبت‌های O/C و H/C به خاطر حذف اتم‌های H و O کاهش می‌یابد و به دنبال آن افزایش خاصیت آروماتیکی و مقدار کربن بیوچار، پتانسیل پایداری بیوچار را افزایش می‌دهد (Oliveira et al. 2017). سطح ویژه در بیوچار ۴۰۰ و ۶۰۰ نسبت به لجن فاضلاب به ترتیب حدود ۳ و ۹ برابر شد (جدول۲). افزیش سطح ویژه در اثر افزایش دما به دلیل تغییر در ساختار شیمیایی ماده اولیه و ایجاد ساختار آروماتیکی پیچیده‌تر در بیوچارها می‌باشد.. مقدار قابل استفاده روی در بیوچارها نسبت به لجن فاضلاب کاهش یافت. درصد قابلیت دسترسی روی در لجن ۳۱ درصد برآورد شد و در بیوچار ۴۰۰ به ۲/۶۸٪ و در بیوچار ۶۰۰ به ۳/۵٪ تغییر یافت. با تبدیل لجن فاضلاب به بیوچار درصد قابلیت دسترسی روی در حدود ۱۰ برابر کاهش یافت (Chen et al.2014).

سینتیک آزاد سازی روی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطح کاربرد و نوع ماده آلی بر مقدار تجمعی روی آزاد شده اثر معنی‌دار ($p<0.01$) داشت. اثر متقابل دما و مقدار بیوچار عامل موثر بر تغییرات مقدار تجمعی روی ($p<0.01$) بود (داده‌ها آورده نشده است). مقدار تجمعی روی آزاد شده در تیمارهای مختلف به عنوان تابعی از زمان در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مقدار روی آزاد شده پس از ۵۰۴ ساعت در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب و بیوچارهای آن
(Blank: شاهد، Sew: لجن فاضلاب، B4: بیوچار دمای ۴۰۰و B6: بیوچار دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد)

مقدار روی آزاد شده در تیمارها در دامنه ۲۸/۶-۱۷/۲ میلی گرم برکیلوگرم برآورد شد. نتایج مقایسه میانگین نشان دهنده نفاوت معنی‌دار($p<0.05$) مقدار تجمعی روی آزادشده در تیمارهای مختلف بود. مقدار تجمعی روی در همه تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت. بیشترین مقدار درتیمار لجن فاضلاب ۴٪ (۱۸۹٪) و کمترین آن در تیمار ۰/۵٪ بیوچار۴۰۰ (۱۵٪) مشاهده شد. الگوی آزاد شدن روی در همه تیمارها مشابه و شامل یک مرحله سریع (زمان‌های اولیه) و مرحله بلند مدت آهسته (شیب کند نمودار) بود. این الگو مشابه گزارش سایر محققین در زمینه آزاد سازی روی در خاک آهکی است (Taghdis et al. 2016 و Boostani et al. 2019). به نظر می‌رسد که انتشار روی توسط دو مکانیزم مختلف کنترل می‌شود. انتشار سریع روی از خاک، بیانگر آزاد شدن آن از از مکان‌های به راحتی قابل استخراج و مکان‌های جذب با انرژی اتصال کم می‌باشد. در ادامه آزاد شدن آهسته آن بیانگر آزاد شدن روی از مکان‌های با انرژی بیشتر می‌باشد (Taghdis et al. 2016).

در ۲۴ ساعت اولیه در تیمارهای بیوچار(دو دما) به طور میانگین ۳۳٪ روی آزاد شد اما در تیمار ۰/۵، ۱ و ۴ ٪ لجن فاضلاب در ۲۴ ساعت اولیه به ترتیب ۳۹٪ ، ۴۵٪ و ۵۱٪ روی آزاد شد. ممکن است در بیوچارها، روی با گروه‌های عاملی (مانندOH- و COO–)کمپلکس‌های پایدار تشکیل داده و یا در مکان‌های با انرژی اتصال بیشتر حضور داشته باشد از این رو سرعت آزادسازی آن نسبت به لجن فاضلاب در مدت زمان مشابه کمتر برآورد شد. مدل‌های مختلف سینتیکی (جدول۱) بر داده‌های تجمعی روی برازش داده شد. در میان معادلات(جدول ۳)، تابع توانی بهترین مدل سینتیکی برای توصیف آزاد شدن روی در خاک‌های تیمارشده با ماده آلی بود زیرا دارای بیشترین ضریب تشخیص و حداقل خطای استاندارد (به ترتیب۰/۹۹ و ۰/۸۸ میلی‌گرم

بر کیلوگرم) بود (جدول ۳). بنابراین می‌تواند خصوصیات روی آزاد شده در تیمارهای مختلف را توصیف کند(Motaghian H, Hosseinpur A., 2013، Taghdis et al. 2016، Boostani et al. 2019).

جدول ۳- ضریب تشخیص (R^2) و خطای استاندارد برآورد (SE) مدل‌های سینتیکی مورد استفاده

معادلات	SE(mg/kg)		R^2	
	دامنه	میانگین	دامنه	میانگین
مرتبه اول	۰/۷۳ -۳	۱/۳	۰/۹۵ -۰/۹۹	۰/۹۷
انتشار پارابولیکی	۰/۷۳ -۳	۱/۲	۰/۹۰ -۰/۹۷	۰/۹۴
تابع توانی	۰/۶۱ -۰/۹۹	۰/۸۸	۰/۹۸ -۰/۹۹	۰/۹۹
الوویچ ساده	۰/۸۳ -۲	۱/۱۵	۰/۹۳ -۰/۹۸	۰/۹۵

ضریب (a) در تابع توانی می‌توانند نشان دهنده تعداد مکان‌های قابل دسترس برای آزادسازی روی و ضریب b تمایل فلز به این مکان‌ها است(Reyhanitabar and Gilkes 2010). به عبارت دیگر افزایش ضریب a و کاهش مقدار ضریب b نشان دهنده افزایش سرعت آزاد شدن روی در خاک‌ها است (Dang et al. 1994). ضریب a به عنوان مقدار اولیه آزاد شدن و ضریب b سرعت آزاد شدن و ضریب a*b به عنوان تخمین سرعت اولیه آزاد شدن روی معرفی شده است (Motaghian and Hosseinpur A., 2013). در خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب (تمامی سطوح کاربرد) مقدار a نسبت به شاهد و تیمارهای بیوچارها افزایش یافت که نشان‌دهنده مکان‌های قابل دسترس بیشتر برای آزادسازی روی در تیمارهای لجن فاضلاب است. ضریب b در معادله تابع توانی در همه تیمارها کمتر از یک و نشان دهنده کاهش سرعت آزاد شدن روی با زمان است. ضریب b در تیمار لجن فاضلاب (تمامی سطوح کاربرد) نسبت به تیمار بیوچارها و شاهد کاهش یافت (جدول۴).

جدول۴- پارامترهای مدل‌های سینتیکی توصیف کننده آزاد سازی روی در تیمارها

کاربرد	تیمار	تابع توانی		
		a $mg.kg^{-1}$	b $mg.kg^{-1}.h^{-1}$	a*b
شاهد	۰	۱/۳	۰/۴	۰/۵
لجن	٪ ۰/۵	۲/۵	۰/۳۴	۰/۸۶
بیوچار ۴۰۰		۱/۴	۰/۴۱	۰/۶۱
بیوچار ۶۰۰		۱/۵	۰/۳۸	۰/۵۷
لجن	٪۱	۴/۱	۰/۲۹	۱/۲۱
بیوچار ۴۰۰		۱/۹	۰/۳۸	۰/۷۲
بیوچار ۶۰۰		۱/۲	۰/۴۲	۰/۵۱
لجن	٪۴	۸/۸	۰/۲۶	۲/۳
بیوچار ۴۰۰		۲/۱	۰/۳۹	۰/۸۶
بیوچار ۶۰۰		۱/۹	۰/۲۵	۰/۶۶

این نتایج نشان می‌دهد که سرعت آزاد شدن روی در خاک تیمار شده با لجن بیشتر از سایر تیمارها است و با افزایش مقدار کاربرد سرعت آزاد سازی روی در این تیمارها افزایش یافت. مقداراولیه آزاد شدن روی (a) در دامنه ($mg.kg^{-1}$) ۳/۸-۱/۸ و سرعت آزاد شدن روی (b) در دامنه ($mg.kg^{-1}.h^{-1}$) ۲۶/۴۲-۰/۰قرار داشت. ضریب a*b در تیمارها به عنوان سرعت اولیه آزاد شدن روی معرفی شده است(Boostani et al. 2019). مقایسه a*b در تیمارها نشان داد سرعت اولیه آزاد شدن روی در تیمار لجن نسبت ۱/۷ تا ۴/۶ برابر نسبت به شاهد افزایش یافت. این ضریب در تیمارهای بیوچارنسبت به شاهد نیز افزایش یافت

اما نسبت به تیمارلجن فاضلاب کمتر بود. ضریب a*b در تیمار بیوچار ۶۰۰ نسبت به بیوچار۴۰۰(در سه سطح کاربرد) کمتر بود که می‌تواند به دلیل حضور گروه‌های عاملی، تشکیل کمپلس پایدار و سطح ویژه بیشتر در بیوچار ۶۰۰ باشد.

نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد لجن فاضلاب و بیوچار آن باعث افزایش مقدار تجمعی روی آزاد شده در تیمارها نسبت به شاهد شد. در همه‌ی تیمارها در زمان‌های اولیه سرعت آزاد شدن بیشتر بود که نشان دهنده آزاد شدن روی از سطوح قابل دسترس و تبادلی بود. نکته قابل توجه در این بازه زمانی، کاهش سرعت آزاد شدن روی در تیمار بیوچارها نسبت به تیمار لجن فاضلاب بود. در میان معادلات سینتیکی برازش شده، بهترین معادله در توصیف آزاد سازی روی در تیمارها تابع توانی بود. مقایسه ضرایب تابع توانی در تیمارها نشان داد سرعت آزاد سازی روی در تیمارها نسبت به شاهد یافت. اما سرعت آزادسازی در تیمار بیوچارها نسبت به لجن فاضلاب کمتر بود. بیوچارها به دلیل سطح ویژه بالاتر و کاهش قابلیت استفاده روی در آنها تمایل کمتری برای آزاد سازی روی نسبت به لجن فاضلاب دارند. پیشنهاد می‌شود برای بررسی بیشتر اثر بیوچار لجن فاضلاب به دلیل تغلیظ روی در اثر گرماکافت و احتمال خطر آلودگی زیست محیطی، مطالعه در مدت زمان بیشتر در خاک انجام گردد.

مراجع

Ahmad M. Rajapaksha A.U. Lim J.E. Zhang M. Mohan N.B.,D. Vithanage M. Lee S.S. and Ok Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. Chemosphere 99:19–33.

Boostani HR, Najafi-Ghiri M, Amin H, Mirsoleimani A (2019). Zinc desorption kinetics from some calcareous soils of orange (Citrus sinensis L.) orchards, southern Iran. Soil Sci Plant Nutr 65:20–27.

Chen T. Zhang Y. Wang H. Lu W. Zhou Z. and Zhang Y. (2014). Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. Bioresource Technology 164:47-54.

Bogusz A. and Oleszczuk P. (2018), Sequential extraction of nickel and zinc in sewage sludge- or biochar/ sewage sludge-amended soil.Science of the Total Environment 636 : 927–935

Dang Y.P., Dalal S., Edward D.G., Tiller K.G.(1994). Kinetics of Zinc desorption from Vertisols. Soil Sience Society of America Journal 58:1392-1399

Devi P., Saroha A. (2014). Risk analysis of pyrolyzed biochar made from paper mill effluent treatment plant sludge for bioavailability and eco-toxicity of heavy metals. Bioresour. Technol 162:308–315.

Havlin J.L. Westfall D.G. and Olsen S.R. (1985). Mathematical models for potassium release kinetics in calcareous soils. Soil Science Society of America Journal 49: 371-376.

Jin J., Lia Y., Zhang J., Wu S., Cao Y., Liang P., Zhang J., Hung M., Wang M., Shand S., Christie K. (2016). Influence of pyrolysis temperature on properties and environmental safety of heavy metals in biochars derived from municipal sewage sludge. J. Hazard. Mater. 320: 417–426.

Lindsay W.L. and Norvell W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.

Loeppert R.H. and Suarez D.L. (1996). Carbonate and gypsum. In: Sparks D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis. S.S.S.A. Madison. pp. 437-474.

Martin H.W. and Sparks D.L. (1983). Kinetics of nonexchangeable potassium release from tow coastal plain soils. Soil Science Society of America Journal 47: 883-887.

Mendez A., Tarquis A.M., Saa-Requejo A., Guerrero F., Gasco G. (2013). Influence of pyrolysis temperature on composted sewage sludge biochar. Chemosphere 93: 668–676.

Motaghian H., Hosseinpur A. (2013) Zinc desorption kinetics in wheat (Triticum Aestivum L.) rhizosphere in some sewage sludge amended soils. J Soil Science Plant Nutrition13:664–678

Oliveira F.R., Patel A.K., Jaisi D.P., Adhikari S., Lu H. and Khanal S.K. (2017). Environmental application of biochar: Current status and perspectives. Bioresour. Technol. 246:110-122.

Racek, J., J. Sevcik, T. Chorazy, J. Kucerik, and P. Hlavinek.(2020). Biochar–Recovery Material from Pyrolysis of Sewage Sludge: A Review. Waste Biomass Valorization. 11:3677–3709.

Reyhanitabar A, Gilkes RJ (2010) Kinetics of DTPA extraction of zinc from calcareous soils. Geoderma 154:289–293.

Rhoades J.D. (1996). Salinity: electrica conductivity and tota dissolved Solids. In: Sparks D.L. (e.d). Methods of Soil Analysis. S. S. S. A. J. Madison 417-435.
Sparks D.L. 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical Methods. Wisconsin. 1309.
Sposito G. Lund L.J. and Chang A. (1982). Trace metal chemistry in arid-zone filde soil amended with sewag sludge. I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. S. S. A. J. 46: 260-264.
-Sumner M.E. and Miller P.M. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficient. In: Sparks D.L. (ed.). Methods of Soil Analysis. S. S. S. A. J. Madison 1201-1230.
Tessier, A. Campbell P.G.C. and Bisson M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Anal. Chem. 51: 844–851.
Thomas G.W. (1996). Soil pH and Soil acidity. In: Sparks D.L. (ed.), Methods of Soil Analysis. S. S. S. A. J. Madison 475-490.
Taghdis S, Hejazi Mehrizi M, Jalali V (2016) Effect of oxalic and citric acids on zinc release kinetic in two calcareous soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis47:2479–2489.
Yue Y. Cui L. Lin Q. Li G. and Zhao X. (2017). Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. Chemosphere 173: 55-556.
Yang X. Liu J. Kim M. Huang H. Lu K. Guo X. He L. Lin X. Che L. Ye Z. and Wang H. (2016). Environ effect of biochar on the extractability of heavymetals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. Environ. Sci. Pollut. Res. 23:974-984.

Short-term effect of sewage sludge and its biochar on the release kinetics of Zn in a calcareous soil.

Forough Khaefi[1], Alireza Hosseinpur[2] and Hamidreza Motaghian[3]
1-PhD Student, Soil sci. Dep Shahrekord Univ. Shahrekord, Iran. khaefif@yahoo.com
2-Prof., Soil Sci. Dep. Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran, hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir
3-Associate Prof., Soil Sci. Dep. Shahrekord Univ. Shahrekord, Iran. motaghian.h@yahoo.com

Abstract

Zinc(Zn) is one of the essential nutrients for plant growth. Zn deficiency is one of the most common nutrient deficiencies in calcareous and alkaline soils. The release of zinc into the soil is an important process that affects its reactivity and bioavailability. Sewage sludge(SS) and its biocharas an organic source containing Zn can be used as fertilizer.The aim of this study was to compare the effect of SS and its biochar on the release characteristics of Zn in calcareous soil. SS biochar was prepared at two temperatures of 400^0C and 600^0C. Calcareous soil was treated with SS and biochar in three application rates. At the end of one month of incubation, the amount of accumulated Zn released for 504 hours was extracted by sequential extraction method with DTPA solution. Zn release occurred in two stages, rapid (initial 24 hours) and slow in the long term. The amount of Zn released in the fast phase was 33% in the biochar treatment and 45% of the total cumulative zinc in the sewage sludge treatment. The power function was the best kinetic model in describing the released Zn in the treatments and showed that the rate of Zn release in biochar treatment is slower than in SS.This can be due to the reduced bioavailability of Zn in the biochar, high specific surface area and the presence of functional groups that form strong complexes with metals.

Keywords: Biochar, Zn, Sewage sludge, Kinetics model

شناسایی منابع غیرنقطه‌ای آلوده‌کننده آب‌های سطحی توسط شاخص فسفر

حیدر غفاری[1]، منوچهر گرجی[2]

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز. H.ghafari@scu.ac.ir
۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج.

چکیده

ورود بیش از حد عنصر فسفر به آب‌های سطحی از طریق فرایند فرسایش از موضوعات مهم آلودگی محیط زیست است. این تحقیق با هدف شناسایی مناطق اصلی آلوده کننده آبهای سطحی با استفاده از شاخص فسفر (PI) و مدل SWAT انجام شد. برای این منظور ابتدا، رفتار هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه توسط مدل سوات شبیه‌سازی و میانگین سالانه تولید رواناب و رسوب در هر زیرحوضه مشخص شد. متوسط مقدار فسفر موجود در خاک سطحی و همچنین متوسط مصرف کودهای فسفره نیز در مقیاس زیرحوضه تعیین شد. در نهایت شاخص فسفر برای هر زیرحوضه بدست آمد. دامنه تغییرات PI در زیرحوضه‌ها بین ۰/۰۰۲ تا ۹/۵۹ (بدون واحد) و میانگین کل حوضه برابر ۲/۱۴ به دست آمد. بر اساس طبقه بندی خطر انتقال فسفر، ۷۳ درصد سطح منطقه در گروه بدون خطر (<۱)، ۶ درصد در گروه خطرپذیری کم (بین ۲-۱)، ۱۴ درصد در گروه خطرپذیری متوسط (۵-۲)، و ۷ درصد در گروه زیاد (بزرگتر از ۵) قرار گرفت. مناطق دارای خطر زیاد اغلب شامل اراضی زراعی احداث شده در شیب‌های تند و نزدیک به خروجی حوضه بودند. به طور کلی، نتایج نشان داد که شاخص انتقال فسفر در تشخیص مناطق بحرانی آلوده‌کننده بسیار خوب عمل می‌کند.

کلمات کلیدی: فرسایش، مدل SWAT، رواناب، رسوب، مناطق بحرانی

مقدمه

تخریب کیفیت آب در نتیجه ورود رسوبات و مواد شیمیایی از مهم‌ترین اثرات خارج از محل فرسایش است (Lal, 1998). در عرصه کشاورزی و منابع طبیعی، فسفر نقش بسیار زیادی در آلودگی منابع آب‌ها به عهده دارد. افزایش بیش از حد فسفر در آب‌ها موجب ایجاد پدیده غنی‌شدن و در نتیجه افزایش شدید رشد جلبک‌ها و کاهش سطح اکسیژن آب می‌شود (Correll, 1998). با توجه به حلالیت کم فسفر و تثبیت آن توسط ذرات خاک، عمده فسفر انتقال یافته به منابع آب‌های سطحی از طریق رسوبات می‌باشد، اما پیوند بین فسفر و رسوبات موقتی بوده و با ته‌نشینی رسوبات در کف پهنه‌های آبی به دلیل شرایط احیایی، حلالیت فسفر افزایش یافته و به تدریج آزاد می‌شود (Zhang et al. 2009). به همین دلیل سرنوشت فسفر متصل به رسوبات در بلند مدت اهمیت زیادی پیدا می‌کند و لازم است که کنترل گردد. شاخص فسفر یکی از رایج‌ترین ابزار برای ارزیابی خطر انتقال فسفر به آب‌های سطحی است که معمولا از سه بخش اصلی شامل پتانسیل ورود فسفر از طریق فرسایش، رواناب و جریان زیرسطحی تشکیل می‌شود. به هر کدام از بخش‌ها بر اساس اهمیت آن‌ها، وزنی داده می‌شود و در نهایت مجموع ارزش هر سه بخش بیانگر پتانسیل انتقال فسفر به آب‌های سطحی است. متغیرهای اصلی تاثیر گذار بر مولفه فرسایش شامل مقدار فسفر خاک، مقدار فرسایش، نسبت تحویل رسوب و اقدامات مدیریتی می‌باشد (Lemunyon and Gilbert, 1993؛ Mallarino et al. 2002). در خصوص مولفه رواناب و جریان زیر سطحی، عواملی مانند حجم جریان، مقدار فسفر خاک و میزان مصرف کودهای فسفره و آلی تعیین کننده هستند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز تمر در بالادست سد بوستان (گلستان ۲) می باشد که به حوضه حاجی قوشان نیز معروف است. مساحت آن حدود ۱۵۳۰ کیلومتر مربع و در محدوده عرض شمالی ′۲۴ °۳۷ تا ′۴۹ °۳۷ و طول شرقی ′۲۹ °۵۵ تا ′۰۴ °۵۶ قرار گرفته است (**Error! Reference source not found.**). این حوضه از شمال به حوضه آبخیز اترک، از جنوب به حوضه آبخیز رودخانه مادرسو، از شرق به منطقه رباط قره بیل و از غرب به حوضه کال آجی محدود شده است. عمده اراضی زراعی منطقه زیر پوشش گندم پائیزه (دیم) قرار دارد که در مجموع ۶۲۰۰۰ هکتار را شامل می‌شوند. حوضه تمر دارای دو رودخانه اصلی به‌نام رودخانه قرناوه (ساری سو) و رودخانه زاو (یل چشمه) می‌باشد که در حوالی روستای تمر قره قوزی به یکدیگر پیوسته و به دریاچه سد بوستان می‌ریزند (بهرامی، ۱۳۹۰). ایستگاه آب سنجی و رسوب سنجی تمر در ورودی سد بوستان واقع شده و به‌طور متوسط سالانه ۵۴ میلیون متر مکعب آب از آن وارد سد می‌شود.

نمونه برداری خاک

اطلاعات خاک سطحی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) اراضی کشاورزی منطقه شامل ۸۰۰ نقطه-محل از سازمان جهاد کشاورزی استان تهیه شد که از این تعداد، ۳۵۰ نقطه-محل درون محدوده و مابقی خارج از منطقه قرار داشتند. علاوه بر این‌ها تعداد ۵۴ پروفیل در کاربری‌های جنگل و مرتع حفر گردید. فسفر خاک بر اساس روش Olsen and Sommers (1982) اندازه گیری شد.

محاسبه شاخص فسفر

شاخص فسفر از سه بخش اصلی شامل، پتانسیل ورود فسفر به آب‌های سطحی از طریق فرسایش (C_E)، رواناب (C_R) و جریان‌های زیرسطحی (C_D) تشکیل شده است. واحد هر کدام بر حسب کیلوگرم فسفر محلول بر هکتار در سال می‌باشد. مجموع ارزش هر سه بخش بیانگر پتانسیل انتقال فسفر به آب‌های سطحی را نشان می‌دهد. فرمول کلی شاخص فسفر به صورت زیر است (Mallarino et al.2002):

$$TP\ \text{Index} = C_E + C_R + C_D$$ معادله ۱

در این پژوهش با فرض ناچیز بودن سهم جریان زیرسطحی در انتقال فسفر، مولفه مربوطه از معادله حذف گردید. معادلات تعدیل‌شده این شاخص به شرح زیر است:

$$TPI = C_E + C_R$$ معادله ۲

$$C_E = AME_i \times SDC_i \times STP_{i,E}$$ معادله ۳

$$C_R = R_i \times 0.009 \times (STP_{i,R} + PAF)$$ معادله ۴

$$SDC = \frac{Y_{O,Pi=1} - Y_{O,Pi=0}}{L_{i,Pi=1}}$$ معادله ۵

$$STP_{i,E} = 0.7 + (\text{soil test Olsen P} \times 0.007)$$ معادله ۶

$$STP_{i,R} = 0.05 + (\text{soil test Olsen P} \times 0.0083)$$ معادله ۷

$$PAF = 0.00065 \times P_R$$ معادله ۸

که در معادلات فوق، AME میانگین سالانه فرسایش (تن بر هکتار در سال)، SDC ضریب تحویل رسوب زیرحوضه به خروجی حوضه (بدون بعد) و R متوسط مقدار تولید رواناب سطحی (میلی‌متر) در زیرحوضه i می‌باشند که توسط مدل SWAT شبیه سازی شدند (Ghafari et al. 2017). STP فاکتور مربوط به مقدار فسفر خاک سطحی (میلی‌گرم در کیلوگرم)، PAF عامل مربوط به مصرف کود فسفر و P_R متوسط مقدار مصرف کود فسفر (کیلوگرم در هکتار) در منطقه می‌باشند که اطلاعات آنها از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان کلاله دریافت شد.

ضریب تحویل رسوب زیرحوضه‌ها نیز بر اساس روش Sean and Nejadhashemi (2013) با استفاده از مدل سوات (پس از واسنجی و اعتبار سنجی مناسب آن برای حوضه) برآورد گردید. در معادله مربوطه، $Y_{O, Pi=1}$ و $Y_{O, Pi=0}$ به ترتیب اشاره دارند به مقدار رسوب رسیده به خروجی حوضه زمانی که عامل مدیریت معادله جهانی فرسایش در زیر حوضه iام برابر یک ($P_{i,USLE}=1$)

و صـفر ($P_{i,USLE}=0$) باشـد و $L_{i,\ P=1}$ مقدار رسـوب تولید شده (محاسبه شده توسط MUSLE) در زیرحوضه iام، زمانی که عامل مدیریت آن زیرحوضه برابر یک است. ضریب تحویل رسوب نشان می‌دهد از کل رسوب تولید شده در هر زیر حوضه چند درصد آن به خروجی حوضه راه پیدا می‌کند.

نتایج و بحث

رواناب و رسوب

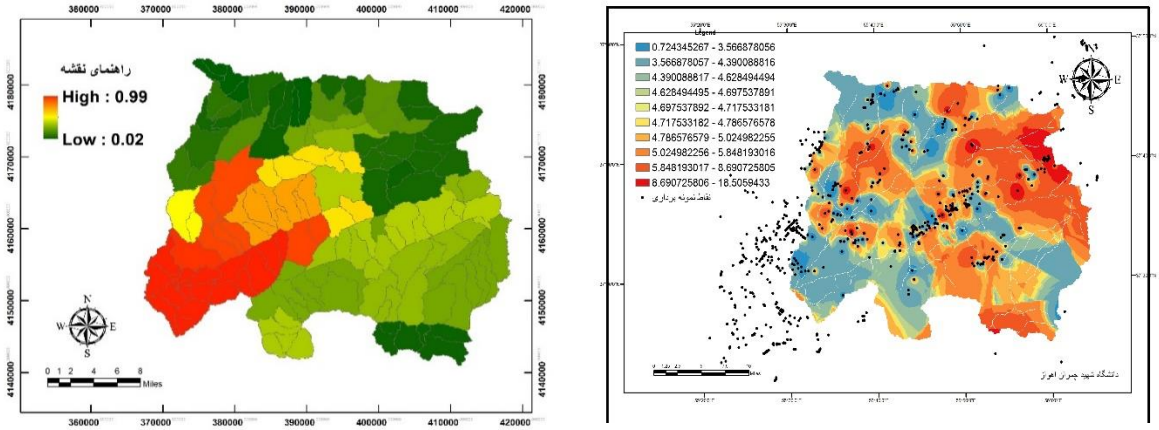
مقدار میانگین سـالانه تولید رواناب در سـطح منطقه مورد مطالعه بین ۰/۰۳ تا ۵۳/۶۳ میلی‌متر و میزان میانگین تولید تولید رسـوب زیر حوضـه‌ها بین ۰/۰۳ تا ۲۶/۱۰ تن بر هکتار در سـال تغییر کرد. میانگین تولید رسوب در سطح حوضه حدود ۷/۱۱ تن در هکتار در سـال برآورد گردید. بیش‌ترین تولید رواناب و رسـوب در زیرحوضـه‌های ۶۳ و ۹ مشاهده گردید. کاربری غالب این زیرحوضـه‌ها زراعت بوده و در اراضـی پر شـیب واقع شـده‌اند. به‌طور کلی، بیش‌ترین تولید رسـوب در اراضـی شـیب دار با کاربری زراعی و کمترین تولید رسـوب در اراضـی جنگلی به‌دسـت آمد. میانگین نرخ تولید رسـوب در اراضی جنگلی، مرتعی و زراعی به ترتیب ۰/۶۳، ۶/۵۳ و ۱۰/۳۳ تن در هکتار در سـال می‌باشـد. از کل سطح اراضی کشاورزی موجود در منطقه، حدود ۸۰ درصـد آنها در کلاس شـیب ۲۵-۱۲ درصـد و ۳ درصد در کلاس شیب بیش‌تر از ۲۵ درصد واقع شده‌اند. در حالی‌که این اراضی مجموعا ۳۳ درصد مساحت حوضه را اشغال کرده‌اند، اما بیش از ۶۰ درصد کل رسوب تولید شده مربوط به همین اراضی است.

ضریب تحویل رسوب برای هر زیرحوضه

از جمله عوامل مهم انتقال فسـفر همراه با رسـوبات، ضریب تحویل رسوب می‌باشد. بررسی ضریب تحویل رسوب محاسبه شده نشـان می‌دهد دامنه تغییرات آن بسـیار وسـیع بوده به‌طوری که کمترین آن ۲ درصـد و بیش‌ترین مقدار آن ۹۴ بود (). این تغییرات عمدتا ناشی از اختلاف ویژگی‌های فیزیوگرافی، پوشش سطح خاک، و به‌ویژه فاصله تا خروجی حوضه می‌باشند (سیان و نژادهاشـمی، ۲۰۱۳). الگوی توزیع مکانی نسـبت تحویل رسـوب نشان می‌دهد که بیش‌ترین نسبت تحویل رسوب مربوط به زیرحوضـه‌های نزدیک به خروجی حوضه است. در این زیرحوضه‌ها تقریبا کل رسوب تولید شده به خروجی حوضه تحویل داده می‌شود.

فسفر خاک

دامنه مقدار فسفر قابل جذب خاک حداقل ۱ و حداکثر ۲۸ پی‌پی‌ام و میانگین آن ۶ پی‌پی‌ام بدست آمد. بر اساس نوع کاربری، میانگین فسـفر در اراضـی زراعی ۵،۲، در اراضـی جنگلی ۵ و در اراضـی مرتعی ۴،۸ پی پی ام بود. پهنه‌بندی مقدار فسـفر در محیط ArcGIS توسـط روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) انجام و میانگین هر زیرحوضه محاسبه شد. از آنجایی که مقدار فسـفر موجود در لایه سـطحی خاک منطقه از آسـتانه بحرانی محیط زیسـتی آن (۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم- Xi et al. 2016) کمتر بود، سـهم رواناب در انتقال فسـفر کم بود. آستانه بحرانی زیست محیطی بستگی به نوع خاک و درصد اشباع فسفر تغییر می‌کند (Nair et al. 2004).

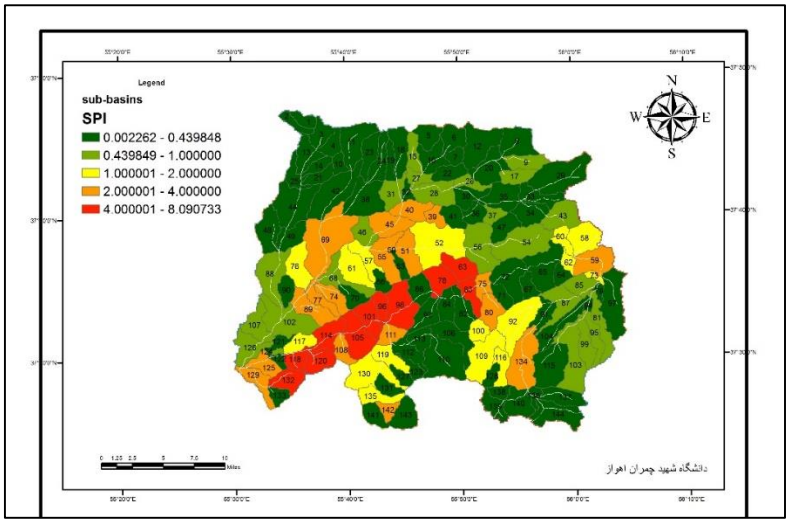


شکل۱: پهنه‌بندی مقدار فسفر در لایه سطحی خاک و میزان ضریب تحویل رسوب (برمبنای زیرحوضه‌ها)

شاخص انتقال فسفر

دامنه تغییرات آن برای زیرحوضه‌ها بین ۰/۰۰۲ تا ۹/۵۹ (بدون واحد) و میانگین حوضه برابر ۲/۱۴ بود که بخش اعظم آن مربوط به جزء فرسایشی آن می‌باشد. فسفر هم از طریق جذب سطحی ذرات خاک و هم از طریق محلول در آب وارد آب‌های سطحی می‌شود (Rickson, 2014). نتایج نشان داد که به‌طور میانگین، حدود ۹۸ درصد انتقال فسفر در منطقه از طریق رسوبات انجام می‌شود و تنها ۲ آن درصد توسط رواناب انتقال پیدا می‌کند. بنابراین، برای کاهش انتقال فسفر به آب‌های سطحی لازم است مقدار انتقال رسوب کاهش یابد. چنانچه مقدار شاخص فسفر برابر با یک به عنوان آستانه بحرانی در نظر گرفته شود (Mallarino et al. 2002)، مقدار کاهش مورد نیاز برای رسیدن به حد مجاز حدود ۵۱ درصد می‌باشد. این نتایج با یافته‌های Daverede et al. 2003 مطابقت دارد. آنها گزارش دادند حدود ۹۳ درصد کل فسفر انتقال یافته توسط فرسایش مربوط به ذرات فسفر همراه با رسوبات بوده است. میزان هدررفت فسفر از طریق رسوب یا رواناب به غلظت و ظرفیت جذب فسفر خاک بستگی دارد (Sharpley and Smith 1990). به دلیل عدم تحرک فسفر در خاک، مقدار انتقال فسفر از طریق رواناب به مقدار فسفر محلول خاک در لایه سطحی خاک بستگی دارد (Neitsch et al. 2011).

بررسی‌ها نشان داد که زیرحوضه‌های بحرانی در انتقال فسفر به مخزن سد بوستان در پایین دست حوضه عمدتا شامل زیرحوضه‌های نزدیک به خروجی با شیب زیاد و مقدار تولید رسوب زیاد بودند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سه عامل اصلی در شناسایی مناطق بحرانی آلاینده می‌تواند نقش داشته باشد؛ ۱) مقدار تولید رواناب و رسوب (مجموع آلایندهای جذب سطحی و محلول)، ۳) ضریب تحویل رسوب هر زیرحوضه که با فاصله از خروجی نسبت عکس دارد و ۴) غلظت آلاینده مورد نظر در خاک. زیرحوضه‌هایی با بیشترین تولید رواناب و رسوب، بیشترین ضریب تحویل رسوب و بیشترین غلظت بحرانی‌ترین مناطق آلوده‌کننده به‌شمار می‌روند که اولویت اول حفاظت را به خود اختصاص می‌دهند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از شاخص انتقال فسفر همراه با مدل SWAT در شناسایی مناطق اصلی آلاینده به ویژه در بالادست سدها بسیار مفید می‌باشد.



شکل ۲: تغییرات مکانی شاخص فسفر (برمبنای زیرحوضه‌ها)

بر اساس طبقه‌بندی Mallarino et al. (2002)، حوضه به لحاظ خطر انتقال فسفر به پنج گروه شامل خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ۴-۱۲) که حدود ۷۳ درصد سطح حوضه در گروه بدون خطر (۱>)، ۶ درصد در گروه خطرپذیری کم (بین ۲-۱)، ۱۴ درصد در گروه خطرپذیری متوسط (۵-۲)، و ۷ درصد در گروه زیاد (۱۰-۵) قرار گرفت. زیر حوضه‌های پر خطر عمدتا در نزدیکی خروجی اصلی حوضه و امتداد شاخه جنوبی رودخانه قرار گرفته‌اند. این مناطق دارای نسبت تحویل رسوب زیادی می‌باشند که لازم است با انجام کارهای حفاظتی مانند نوار حائل آن را کاهش داد. کاربری این مناطق غالبا دارای کاربری کشاورزی بوده که شناسایی آن‌ها نقش مهمی در مدیریت مصرف کودها و سموم شیمیایی و جلوگیری از انتقال آنها به آب‌های سطحی دارد. الگوی پراکنش مناطق بحرانی به‌خوبی نشان داده است که برای کاهش اثرات برون محلی فرسایش بویژه کاهش رسوب و آلودگی آب‌های سطحی، انجام اقدامات حفاظتی در زیرحوضه‌های نزدیک به خروجی اصلی و حاشیه رودخانه اهمیت بسیار زیادی دارد.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد، مهمترین مکانیزم انتقال فسفر از مناطق بالادست از طریق رسوبات انجام می‌شود. مناطقی با بیشترین غلظت فسفر خاک، بیشترین شیب و کمترین فاصله با شبکه زهکشی بحرانی‌ترین مناطق آلوده‌کننده به شمار می‌روند که شاخص فسفر به خوبی این مناطق را تشخیص داد. بر اساس طبقه‌بندی شاخص فسفر، حدود ۲۰ درصد سطح حوضه خطر انتقال فسفر بیش از حد مجاز بوده و انجام اقدامات حفاظتی در این مناطق ضروری است. کاهش فرسایش خاک از طریق حفظ پوشش گیاهی و خاکورزی حفاظتی و یا کاهش نسبت تحویل رسوب از طریق ایجاد نوار بافر در حاشیه آبراهه‌ها به عنوان بهترین اقدامات مدیریتی برای مدیریت این مناطق پیشنهاد می‌شود.

منابع

Correll, D.L., 1998. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. J. Environ. Qual. 27(2), 261-266.

Daverede, I.C., Kravchenko, A.N., Hoeft, R.G., Nafziger, E.D., Bullock, D.G., Warren, J.J., Gonzini, L.C., 2003. Phosphorus runoff effect of tillage and soil phosphorus levels. J. Environ. Qual. 32 (4), 1436–1444.

Ghafari, H., Gorji, M., Arabkhedri, M., Roshani, G.A., Heidari, A., Akhavan, S., 2017. Identification and prioritization of cri tical eros ion areas based on ons ite and offs ite effects . CATENA 156, 1–9. 10.1016/j.catena.2017.03.014.

Lal, R., 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. Crit. Rev. Plant Sci. 4, 319-464

Lemunyon, J.L., Gilbert, R.G., 1993. The concept and need for a phosphorus assessment tool. J. Prod. Agric. 6, 483–496.

Mallarino, A.P., Stewart, B.M., Baker, J.L., Downing, J.D., Sawyer, J.E., 2002. Phosphorus indexing for cropland: Overview and basic concepts of the Iowa phosphorus index. J. Soil Water Conserv. 57:440-447.
Nair, V.D., Portier, K.M., Graetz, D.A., and Walker, M. L., 2004. An Environmental Threshold for Degree of Phosphorus Saturation in Sandy Soils. J. Environ. Qual. 33:107–113.
Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R., and King, K.W., 2011. Soil and water assessment tool. theoretical documentation: Version 2009. Grassland, soil and water research laboratory. Agricultural research service. 647p.
Olsen, S.R., Sommers, L.E., 1982. Phosphorus. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.) Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, pp. 403– 430.
Rickson, R.J., 2014. Can control of soil erosion mitigate water pollution by sediments? Science of the Total Environment 468–469 (2014) 1187–1197.
Sean, A.W., Nejadhashemi, A.P., 2013. Spatial and temporal variabilities of sediment delivery ratio. Water Resour. Manag. 27, 2483–2499.
Sharpley, A.N., Smith S., 1990. Phosphorous transport in agricultural runoff: the role of soil ero- sion. In: Boardman J, Foster I, Dearing J, editors. Soil erosion in agricultural land. Chichester: John Wiley and Sons.
Xi B. Zhai L. Liu J. Liu S. Wang H. Luo C. Ren T. Liu H. 2016. Long-term phosphorus accumulation and agronomic and environmental critical phosphorus levels in Haplic Luvisol soil, northern China. Journal of Integrative Agriculture 15, 200–208.
Zhang G, Liu B, Han Y, Zhang XC. 2009. Sediment transport and soil detachment on steep slopes: I. transport capacity estimation. Soil Science Society of American Journal 73(4): 1291 –1297.

Identification of non-point sourcse of water pollution by phosphorus index

Heidar Ghafari [1], Manouchehr Gorji [2]

1- Assistant Professor of soil science department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran university of ahvaz, ahvaz, iran. H.ghafari@scu.ac.ir

2- Professor of soil science department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, karaj.

Abstract

Excessive entry of phosphorus into surface waters through the process of erosion is an important issue of environmental pollution. The aim of this study was to identify the main areas of surface water contamination using Phosphorus index (PI) and SWAT model. For this purpose, first, the hydrological behavior of the study area including annual average of runoff and sediment yields in sub-basin scale was determined by the SWAT model. The average amount of phosphorus in surface soil and also the average consumption of phosphorus fertilizers were determined at the sub-basin scale. Finally, phosphorus index was obtained for each sub-basin. The range of PI changes in sub-basins was between 0.002 to 9.59 (without units) and the average of the whole basin was 2.14. According to the phosphorus transfer risk classification, 73% of the area level in the non-risk group (> 1), 6% in the low risk group (between 1-2), 14% in the medium risk group (2-5), and 7% in high risk group (greater than 5) were placed. High-risk areas often included farmland built on steep slopes near the basin outlet. In general, the results showed that the phosphorus transfer index is very good in detecting critical areas of non-point polutions.

Keywords: erosion, SWAT model, runoff, sediment, critical area

بررسی دینامیک شکل‌های شیمیایی سیلیسیم در خاک آهکی و اثر آن بر فراهمی فسفر

لیلا رضاخانی[1]، بابک متشرع زاده[2]، محمدمهدی طهرانی[3]، حسن اعتصامی[4]، حسین میرسیدحسینی[5]

[1]نویسنده مسئول، کارشناس بخش تحقیقات شیمی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب
leila.rezakhani@yahoo.com

[2،5] دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

[3] استادیار بخش تحقیقات شیمی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، موسسه تحقیقات خاک و آب

[4] استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران

چکیده

به منظور بررسی دینامیک شکل‌های شیمیایی سیلیسیم در خاک آهکی و اثر آن بر مقدار جذب فسفر گندم تحت تأثیر تیمارهای سیلیسیم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات در شرایط کمبود فسفرمحلول خاک، این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور شامل چهار سطح سیلیسیم (صفر، ۱۵۰، ۳۰۰، ۶۰۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم سیلیسیم از منبع اسیدسیلیسیک و سه سطح باکتری (عدم تلقیح باکتری، باسیلوس و سودوموناس) در سه تکرار در گلخانه مؤسسه تحقیقات خاک و آب اجرا شد. اثرات تیمارها بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گندم، جذب سیلیسیم و فسفر اندام هوایی اندازه‌گیری شد. همچنین شکل‌های شیمیایی سیلیسیم در خاک منطقه ریزوسفر و غیرریزوسفر و مدل‌های رگرسیونی متغیرها، مورد بررسی قرار گرفت تا امکان درک بهتری از مکانیسم‌های این فرآیند حاصل شود. نتایج نشان داد که وزن خشک اندام هوایی گندم در اثر کاربرد توأم سیلیسیم و باکتری، ۳/۵ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. کاربرد سیلیسیم به تنهایی (سطح ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) موجب افزایش ۲/۳ برابری غلظت فسفر اندام هوایی گندم، نسبت به تیمار شاهد شد. اما کاربرد توأم (سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم و باکتری *سودوموناس*)، غلظت فسفر اندام هوایی گندم را به مقدار ۴ برابر نسبت به تیمار شاهد، افزایش داد. مطابق با مدل رگرسیونی بدست آمده، جذب فسفر اندام هوایی، متأثر از مقدار سیلیسیم تبادلی در منطقه ریزوسفر بود و بر طبق ضریب تبیین، ۳۲ درصد اثر افزایشی داشت.

کلمات کلیدی: اسیدسیلیسیک، باکتری‌های محرک رشد گیاه، عصاره‌گیری متوالی سیلیسیم، فسفر قابل دسترس

مقدمه

سیلیسیم برای رشد و توسعه برخی از گونه‌های گیاهی بویژه خانواده گرامینه و غلات (Mengel and Kirkby, 2001) به‌عنوان عنصری سودمند شناخته شده است اما بر اساس نظر پژوهشگران Epstein and Bloom (2005)، سیلیسیم به‌عنوان عنصر ضروری برای گیاهان عالی در نظر گرفته شده است. سیلیسیم در محلول خاک به صورت مولکول اسیدسیلیسیک H_4SiO_4 در pH کمتر از ۹ وجود دارد (Ma and Yamaji, 2008). در pH های بالاتر، این عنصر به صورت یون‌های سیلیکات یافت می‌شود. غلظت اسیدسیلیسیک در محلول خاک به وسیله واکنش‌های جذب سطحی به وسیله اکسیدهای آهن و آلومینیوم که بستگی به pH خاک دارد، کنترل می‌شود (Georgiadis et al., 2017)، به‌طوری که میزان جذب سطحی در pH=۹/۵ حداکثر است. بنابراین در خاک‌های اسیدی غلظت سیلیسیم در محلول خاک بیشتر است و با کاربرد آهک به‌طور معمول جذب سیلیسیم در گیاه کاهش می‌یابد (Datnoff et al., 2001). فراهمی سیلیسیم در خاک بسته به نوع و بافت خاک متفاوت می‌باشد (Sommer et al., 2006). در خاک‌های با بافت سبک، سیلیسیم قابل‌جذب از محلول خاک شسته شده و از دسترس گیاه خارج می‌شود. درصد رس، درصد کربنات کلسیم و pH خاک از جمله عوامل مؤثر بر میزان سیلیسیم قابل استفاده گیاهان در خاک‌های آهکی می‌باشد. سطح بحرانی سیلیسیم قابل‌جذب گیاه از ۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برای عصاره‌گیری با آب مقطر تا ۲۰۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک برای عصاره‌گیری با اسیدسولفوریک ۰/۰۰۵ مولار ذکر شده‌است (Narayanaswamy and Prakash, 2009). سطح بحرانی سیلیسیم در خاک آهکی در کشت گندم با عصاره‌گیر استات سدیم-اسیداستیک ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک (Xu et al., 2001) و در خاک اسیدی در برنج ۶۰-۳۸ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم خاک، گزارش

شده‌است (He, 1980). فرکشن‌های مختلف سیلیسیم در خاک شامل ۱) سیلیسیم موجود در فاز جامد (کانی‌های رسی و سیلیکات‌های آمورف). ۲) سیلیسیم در فاز محلول به فرم‌های مونومریک H_4SiO_4 (فرم قابل دسترس گیاه)، الیگومریک یا پلی سیلیسیک اسید و ۳) سیلیسیم جذب سطحی شده (فوری‌ترین منبع تأمین سیلیسیم محلول) (Pontigo et al., 2015). تغذیه بهینه سیلیسیم با افزایش رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌تواند منجر به افزایش سطح کل جذب کننده عناصر شود (Sonobe et al., 2011). رقابت آنیون‌های معمول در خاک‌های زراعی در جذب روی سطوح، به ترتیب زیر می‌باشد:

$$SiO_4^{4-} > PO_4^{3-} > SO_4^{2-} > NO_3^{-} \geq Cl^{-}$$

از این رابطه می‌توان نتیجه گرفت که آنیون فسفات در حضور سیلیکات جذب نخواهد شد (با فرض برابر بودن میلی اکی والان هر دو آنیون در محلول خاک)، بنابراین افزودن سیلیکات به خاک می‌تواند سبب آزادسازی فسفر تبادلی به محلول خاک شود و بدین ترتیب تحرک و قابلیت استفاده فسفر برای گیاهان افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات (Greger et al., 2018) نشان داد که کاربرد سیلیسیم، فراهمی فسفر را در گیاه افزایش می‌دهد. مکانیزم‌هایی که به وسیله آن‌ها سیلیسیم (تنظیم ژن‌های انتقال‌دهنده برای جذب فسفرمعدنی و افزایش ترشحات مالات و سیترات) (Kostic et al., 2017) و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (تولید اسیدهای آلی و کاهش pH خاک) (Sharma et al., 2013) می‌توانند قابلیت دسترسی فسفر را برای گیاهان افزایش دهند، تا حدی شناخته شده‌اند. تنش کمبود فسفر یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدودکننده تولید محصول در نیمی از خاک‌های کشاورزی جهان است (Lynch, 2011). از آنجا که تاکنون مطالعه مستندی مبنی بر بررسی دینامیک شکل‌های شیمیایی سیلیسیم در یک خاک آهکی و اثر آن بر فراهمی فسفر صورت نگرفته، لذا تغذیه بهینه عناصرغذایی نظیر سیلیسیم و استفاده از باکتری‌های حل‌کننده فسفات احتمالاً اثربخشی بالایی می‌تواند در این شرایط داشته باشد. بدین منظور، این تحقیق با هدف بررسی دینامیک شکل‌های شیمیایی سیلیسیم و اثر آن بر فراهمی فسفر قابل دسترس گندم در شرایط تنش کمبود فسفرمحلول در خاک آهکی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب در سال ۱۳۹۷، اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل چهار سطح سیلیسیم و سه سطح (نوع) باکتری حل-کننده فسفات (عدم تلقیح باکتری، *باسیلوس* و *سودوموناس*) بود. خاک آهکی از مزرعه موسسه تحقیقات خاک و آب واقع در کرج و از عمق سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) نمونه‌برداری شد. با توجه به ماهیت آزمایش، خاک مورد مطالعه از (قطعه شماره ۲۰ مزرعه) با فسفر قابل جذب زیر سطح بحرانی انتخاب گردید (برای انجام کشت گلخانه‌ای به خاکی با فسفر کمتر از سطح بحرانی نیاز بود تا امکان بررسی اثر سیلیسیم در کاهش تنش کمبود فسفر وجود داشته باشد). سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مطابق روش‌های متداول آزمایشگاهی، تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

کلاس بافت خاک	جمعیت باکتری	FC	pH	EC	CCE	OC	P_{total}	CEC	K	P	Si	Fe	Cu	Mn	Zn
									قابل جذب			قابل استخراج با DTPA			
	CFU/ml	%		dS/m	%	%	mg/Kg	$cmol_c/Kg$	mg/Kg						
لوم رسی	۳×۱۰^{۳}	۲۲/۷	۷/۸	۱/۰۳	۱۰/۹۶	۰/۶۰	۱۱۸۶	۱۴/۵۲	۲۵۸	۵/۵	۳۴/۲۲	۴/۵۱	۱/۱۲	۸/۰۵	۰/۹۳

برای اندازه‌گیری غلظت سیلیسیم قابل جذب در خاک از روش (Narayanaswamy and Prakash, 2009) استفاده شد. گلدان‌های سه کیلوگرمی با دو منفذ برای زهکش به ابعاد (۱۴ سانتی‌متر ارتفاع، ۱۵/۵ سانتی‌متر قطر دهانه بالا و ۱۲ سانتی‌متر قطر دهانه پایین) تهیه گردید. برای جدا کردن خاک منطقه ریزوسفری از خاک غیرریزوسفری از سیستم رایزوبگ استفاده گردید (نورقلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). محفظه تهیه شده در وسط گلدان قرار گرفت و درون و بیرون آن با خاک پر گردید به نحوی که خاک درون و بیرون محفظه ریشه در یک سطح قرار گرفت.

در قسمت داخلی و کف گلدان یک لایه کاغذ صافی تعبیه شد. تیمارهای سیلیسیم از منبع اسیدسیلیسیک (H_4SiO_4) قبل از کشت گیاه، طی یک مرحله به خاک گلدان‌ها اعمال شد به گونه‌ای که با خاک داخل هر گلدان، به خوبی مخلوط گردد. بعد از اعمال تیمار سیلیسیم، برای ایجاد تعادل، خاک گلدان‌ها چهار هفته در شرایط انکوباسیون و در دمای ۲۵ درجه سیلسیوس و در رطوبت ظرفیت زراعی قرار داده شد. در طول دوره انکوباسیون، رطوبت گلدان‌ها با آب مقطر در حدود ظرفیت زراعی حفظ گردید. بعد از گذشت دوره انکوباسیون و قبل از کشت گیاه، جهت اندازه‌گیری شکل‌های مختلف سیلیسیم در خاک، از خاک هر گلدان نمونه‌برداری انجام شد. بذر گندم رقم سیروان، از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. بعد از ضدعفونی بذرها و انجام تست جوانه‌زنی، تعداد چهار جوانه درون گلدان‌ها کشت شد. باکتری *Bacillus simplex* UT1 و باکتری *Pseudomonas sp*. FA1 به‌عنوان باکتری‌های محرک رشد گیاه (جدا شده از ریزوسفر گیاه گندم) استفاده شدند. بعد از کشت بذر، به ازای هر گیاهچه، یک میلی‌لیتر مایه تلقیح باکتری تهیه شده، در سطح ریشه تیمار گردید. آبیاری روزانه با محلول‌غذایی هوگلند (Hoagland and Arnon, 1950) و آب مقطر به صورت وزنی انجام گرفت به طوری که ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی تأمین گردد. ماده (KH_2PO_4) به‌عنوان منبع فسفر، از محلول‌غذایی، حذف گردید و مقدار پتاسیم حذف شده از طریق سولفات پتاسیم تأمین گردید. برداشت گیاه بعد از گذشت ۶۰ روز از جوانه‌زنی، در پایان دوره رویشی و قبل از ورود به دوره زایشی انجام شد. صفات رشدی گیاه شامل وزن خشک اندام‌هوایی و ریشه، غلظت فسفر گیاه به روش (Rayan et al, 2007) و غلظت سیلیسیم گیاه با استفاده از روش رنگ‌سنجی (Kilmer, 1965; Hallmark et al., 1982) تعیین شد. مقدار کل فسفر و سیلیسیم جذب شده اندام هوایی از طریق حاصلضرب غلظت فسفر و سیلیسیم در وزن خشک اندام هوایی بدست آمد (Ghosh and singh, 2005). پس از برداشت، جهت اندازه‌گیری شکل‌های شیمیایی سیلیسیم در خاک، از هر گلدان به‌طور مجزا از خاک داخل رایزوبگ (منطقه ریزوسفری) و خاک بیرون رایزوبگ (منطقه غیرریزوسفری) نمونه‌برداری انجام شد. در ابتدا محلول‌های عصاره‌گیر تهیه گردید، سپس از طریق روش عصاره‌گیری متوالی (روشی که برای اولین بار در خاک آهکی مورد مطالعه طراحی شد (رضاخانی و همکاران، ۱۳۹۸)، مقدار سیلیسیم محلول و تبادلی (Korndorfer et al, 1999) و سیلیسیم آمورف (Breuer and Hermann,1999) با دستگاه ICP اندازه‌گیری شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.4) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای Duncan در سطح احتمال پنج درصد و برای معادلات رگرسیونی از آزمون Backward استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل تیمارهای (سیلیسیم-باکتری) بر تمام شاخص‌های اندازه‌گیری شده، معنی‌دار بود (جدول ۲).

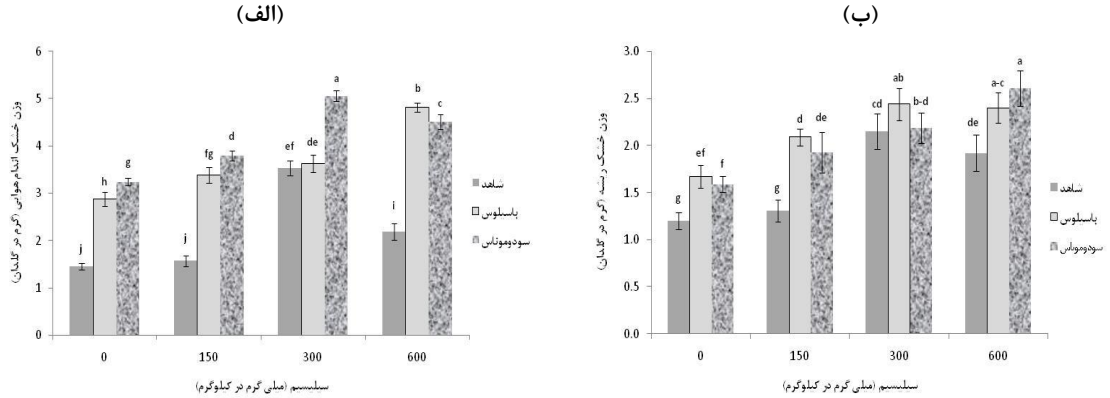
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثرات اصلی و متقابل تیمارها بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	غلظت سیلیسیم اندام هوایی	جذب سیلیسیم اندام هوایی	غلظت فسفر اندام هوایی	جذب فسفر اندام هوایی
سیلیسیم	۳	۴/۹۱**	۱/۴۲**	۳/۴۱**	۵۹۱۰/۰**	۰/۰۲۶**	۱۱۰/۳**
باکتری	۲	۱۲/۶۶**	۰/۸۹۱**	۰/۲۰۷**	۲۶۷۵/۳**	۰/۰۸۹**	۳۱۹/۴**
سیلیسیم×باکتری	۶	۰/۸۸۳**	۰/۰۸۳**	۰/۰۵۶*	۳۵۸/۶**	۰/۰۰۱**	۱۵/۰**
خطا	۲۴	۰/۰۱۸	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	۵/۳۹	۰/۰۰۰۳	۰/۱۸۹
CV (%)		۴/۰۵	۷/۸۷	۳/۷۲	۶/۲۵	۲/۳۷	۴/۵۴

*، **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی و ریشه گندم به ترتیب مقدار (۵ و ۲/۶ گرم در گلدان) از تیمار (سطح ۳۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم و باکتری *سودوموناس*) و تیمار (سطح

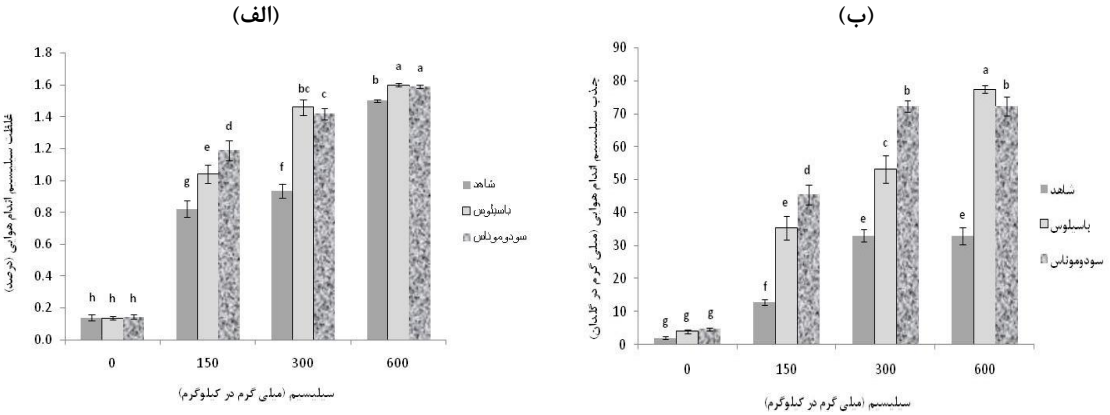
۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم و باکتری *سودوموناس*) بدست آمد (شکل ۱). اثر تیمار باکتری بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گندم، نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری) برتری داشت.



شکل ۱- اثرات دوگانه تیمارهای (سیلیسیم-باکتری) بر وزن خشک الف) اندام هوایی و ب) ریشه گندم

گزارش شد که کاربرد سیلیسیم از منبع سیلیکات پتاسیم (Saberian Ranjbar et al., 2019) و مونوسیلیسیک اسید (Kowalska et al., 2021)، موجب افزایش بیوماس اندام هوایی گندم گردید. اثر سیلیسیم بر رشد ریشه (ایجاد کمپلکس‌های پیچیده با ترکیبات دیواره سلول) احتمالا به علت افزایش کشیدگی ریشه ناشی از افزایش توسعه دیواره سلولی در منطقه رشد می‌باشد (Hattori et al., 2003). همچنین نظر به نقش باکتری‌های محرک رشد گیاه در تولید بیوماس بیشتر از طریق افزایش عملکرد و پارامترهای رشدی، نتایج کاملا منطقی می‌باشد (Etesami and Jeong, 2018).

با افزایش سطوح سیلیسیم، غلظت سیلیسیم اندام هوایی گندم افزایش یافت و این اثر در حضور باکتری تشدید شد. بیشترین غلظت سیلیسیم اندام هوایی از کاربرد توأم (سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم و باکتری) بدست آمد (شکل 2). بیشترین مقدار جذب کل سیلیسیم اندام هوایی گندم (۷۷ میلی‌گرم در گلدان) از تیمار (سیلیسیم با سطح ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، باکتری *باسیلوس*) بدست آمد (شکل ۲). تلقیح باکتری *سودوموناس* و *باسیلوس* بر افزایش جذب کل سیلیسیم اندام هوایی گندم در تمامی سطوح سیلیسیم، نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری)، برتری داشت.

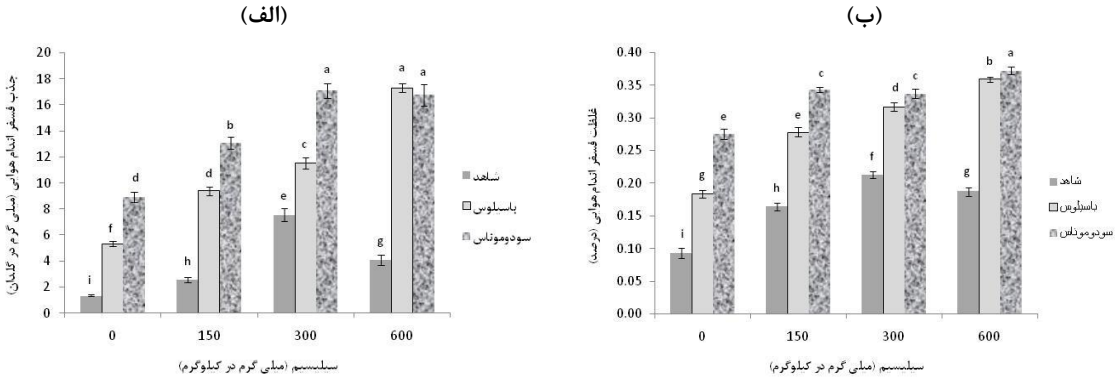


شکل ۲- اثرات دوگانه تیمارهای (سیلیسیم-باکتری) بر الف) غلظت سیلیسیم اندام هوایی گندم و ب) جذب سیلیسیم اندام هوایی گندم

افزایش مقدار کل سیلیسیم جذب شده می‌تواند به افزایش فراهمی سیلیسیم در خاک و بهبود سیستم ریشه که گیاه را برای جذب بیشتر سیلیسیم در خاک تحریک می‌کند، نسبت داده شود (Pati et al., 2016). نتایج تحقیقات (El-Leboudi et al., 2019) در یک خاک رسی نشان داد که افزایش کاربرد سطوح سیلیسیم از صفر تا ۴۰۰ میلی‌گرم

سیلیسیم در کیلوگرم خاک، سیلیسیم قابل دسترس خاک را به مقدار ۱۶۸ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم خاک افزایش داد. در این مطالعه با افزایش کاربرد سطوح سیلیسیم، غلظت سیلیسیم اندام هوایی گندم از ۳/۵ میلی‌گرم بر گرم در تیمار شاهد به ۷/۳ میلی‌گرم بر گرم در تیمار (۴۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم در کیلوگرم خاک)، افزایش یافت و محتوای سیلیسیم کل در گیاه نیز با ضریب همبستگی (r^2=0.93) با اختلاف ۷/۵ میلی‌گرم سیلیسیم بر گیاه بدست آمد.

بیشترین مقدار جذب کل فسفر اندام هوایی گندم (۱۷/۳ میلی‌گرم در گلدان) از تیمار (سیلیسیم با سطح ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، باکتری *باسیلوس*) بدست آمد (شکل ۳). با افزایش سطوح سیلیسیم، جذب کل فسفر اندام هوایی گندم، در تمام تیمارها به‌طور منظم، افزایش یافت. اما با افزایش کاربرد سیلیسیم بیشتر از (سطح ۳۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم خاک)، جذب فسفر اندام هوایی گندم، در تیمار (عدم تلقیح باکتری)، کاهش یافت. کاربرد سیلیسیم با (سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم به‌همراه باکتری‌های حل‌کننده فسفات *سودوموناس*)، غلظت فسفر اندام هوایی را، به‌طور معنی‌داری افزایش داد (٪۰/۳>) (شکل ۳). همچنین تلقیح باکتری *سودوموناس* و *باسیلوس* بر افزایش جذب کل فسفر و غلظت فسفر اندام هوایی گندم در تمامی سطوح سیلیسیم، نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح باکتری)، برتری داشت.



شکل ۳- اثرات دوگانه تیمارهای (سیلیسیم-باکتری) بر الف) جذب فسفر اندام هوایی گندم و ب) غلظت فسفر اندام هوایی گندم

بر طبق (شکل ۳) اثر هم‌افزایی بین سیلیسیم و فسفر وجود داشت به طوری‌که با افزایش غلظت سیلیسیم، جذب فسفر افزایش یافت و این اثر در حضور باکتری *سودوموناس* و *باسیلوس* تشدید شد (احتمالا به‌علت افزایش قابلیت دسترسی فسفر توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات). نتایج تحقیق El-Leboudi et al (2019) نشان داد که کاربرد سیلیسیم موجب افزایش قابلیت دسترسی فسفر گندم شد که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. Alovisi et al (2014) گزارش کردند که کاربرد سیلیسیم در کشت لوبیا در برزیل، عملکرد گیاه و قابلیت دسترسی فسفر را افزایش داد. به گزارش (Alzoubi and Gaibore, 2012) کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات مانند باسیلوس، قلبلیت دسترسی فسفر را حدود ۳۰ درصد افزایش می‌دهد. همچنین نتایج تحقیقات (Elhaissoufi et al., 2020) نشان داد که کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات، موجب افزایش قابلیت دسترسی فسفر در منطقه ریزوسفر گیاه گندم شد.

نتایج بررسی جدول تجزیه واریانس (۳) نشان داد که اثرات متقابل تیمارهای (سیلیسیم-باکتری) بر مقدار سیلیسیم محلول، تبادلی و آمورف خاک ریزوسفر، معنی‌دار نبود و اثرات متقابل تیمارهای (سیلیسیم-باکتری) بر مقدار سیلیسیم محلول، تبادلی و آمورف خاک غیرریزوسفر، تنها بر مقدار سیلیسیم محلول خاک، معنی‌دار بود.

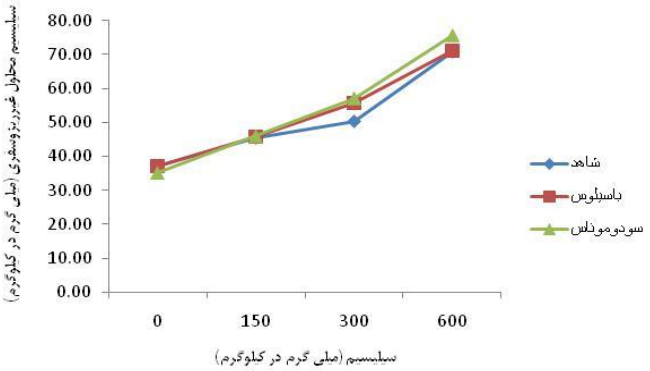
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثرات تیمارها بر مقدار سیلیسیم خاک ریزوسفر و غیرریزوسفر گندم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

منابع تغییرات	میانگین مربعات		
	درجه	ریزوسفر	غیرریزوسفر

	آزادی	محلول	تبادلی	آمورف	محلول	تبادلی	آمورف
سیلیسیم	۳	۲۱۲۵/۷**	۱۶۹۰/۱**	۶۳۳۸۹/۶**	۲۱۲۱/۴**	۱۵۱۱/۸**	۱۳۹۵۴۸/۷**
باکتری	۲	۲/۶۰ns	۷/۸۹ns	۱۰۵/۴ns	۱۸/۶۶*	۴/۰۷ns	۲۰/۹۶ns
سیلیسیم×باکتری	۶	۱۲/۷۴ns	۱/۷۹ns	۹۷/۴۸ns	۱۴/۲۸*	۶/۵۱ns	۳۷/۴۳ns
خطا	۲۴	۵/۵۵	۲/۸۲	۹۵/۱۹	۴/۴۲	۴/۳۶	۲۰/۳۲
CV (%)		۵/۲۲	۲/۴۴	۲/۹۶	۴/۰۲	۳/۰۷	۱/۲۹

*، **: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و یک درصد، ns: غیرمعنی دار

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثرات متقابل سیلیسیم و باکتری، با افزایش سطوح سیلیسیم، موجب افزایش مقدار سیلیسیم محلول خاک غیرریزوسفر گردید (شکل ۴). بیشترین مقدار سیلیسیم محلول خاک (۷۵/۵ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم خاک) از تیمار (سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم خاک و باکتری *سودوموناس*) بدست آمد.



شکل ۴- اثر دوگانه تیمارهای (سیلیسیم-باکتری) بر مقدار سیلیسیم محلول خاک غیرریزوسفر

با بررسی نتایج نمونه‌برداری خاک قبل از کشت گندم مشخص شد که سیلیسیم آمورف خاک در سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم خاک، نسبت به کاربرد سطوح دیگر سیلیسیم، بیشتر بود لذا به نظر می‌رسد در طول دوره انکوباسیون خاک، سیلیسیم اضافه شده، از فاز محلول وارد فاز غیرتبادلی شده‌است، در نتیجه درصد سیلیسیم محلول و تبادلی در سطوح بالای سیلیسیم (۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم)، مقدار کمتری را به خود اختصاص داد. نتایج تحقیق Georgiadis et al (2017) نیز نشان داد که بیشترین مقدار سیلیسیم بدست آمده از طریق عصاره-گیری متوالی، مختص سیلیسیم آمورف (بیش از ۵/۶ درصد از سیلیسیم کل) بود درحالی که سیلیسیم محلول کمترین مقدار (در حدود ۰/۰۱ درصد از سیلیسیم کل) بود. در مرحله بعد، نتایج نمونه‌برداری خاک از دو منطقه ریزوسفر و غیرریزوسفر گندم، نشان داد که تفاوت اندکی (یک درصد) بین مقادیر درصد شکل‌های شیمیایی سیلیسیم خاک در دو منطقه ریزوسفر و غیرریزوسفر وجود داشت و بیشترین آن به سیلیسیم آمورف خاک اختصاص یافت. با توجه به پایین بودن غلظت سیلیسیم محلول در تیمار شاهد (عدم کاربرد سیلیسیم) در بخش ریزوسفری پس از کشت گندم و همچنین ثبات سیلیسیم، به نظر می‌رسد میزان برداشت گیاه، بیش از میزان فراهمی سیلیسیم در این بخش باشد. این در حالی است که با اضافه نمودن هر یک از سطوح سیلیسیم، میزان سیلیسیم محلول ریزوسفری در سطح تقریباً ثابتی قرار گرفته‌است. همچنین نتایج بدست آمده نشان داد که باکتری‌های *سودوموناس* و *باسیلوس* تأثیر چندانی بر میزان سیلیسیم محلول، تبادلی و آمورف در منطقه ریزوسفر و غیرریزوسفر گندم نداشتند. در این تحقیق مقدار سیلیسیم قابل دسترس بعد از کشت گندم، نسبت به قبل از کشت کاهش یافت که با نتایج تحقیق (Keeping, 2017) مطابقت دارد.

نتایج رگرسیون چندمتغیره خطی بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گندم و شکل‌های شیمیایی سیلیسیم در خاک، در (جدول ۴) نشان داده شده‌است. مطابق با مدل‌های رگرسیونی، مقدار وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، غلظت فسفر اندام هوایی، جذب فسفر اندام هوایی و جذب سیلیسیم اندام هوایی، متأثر از مقدار سیلیسیم تبادلی

در منطقه ریزوسفر بود و اثر افزاینده بر این متغیرها داشت اما مقدار غلظت سیلیسیم اندام هوایی، متأثر از مقدار سیلیسیم محلول در منطقه ریزوسفر بود.

جدول ۴- نتایج رگرسیون چندمتغیره خطی بین متغیرهای وابسته و مستقل در گندم

متغیر وابسته	میانگین مربعات رگرسیون	مدل رگرسیون	ضریب تعیین
وزن خشک اندام هوایی	۱۳/۸۵**	SdriedW= -0.227+0.052 REXchange*	۰/۳۰۳
وزن خشک ریشه	۴/۲۴**	RdriedW= -0.015+0.029 REXchange	۰/۵۹۶
غلظت سیلیسیم اندام هوایی	۹/۷۰**	SSi= -0.730+0.038 RSol*	۰/۸۷۹
غلظت فسفر اندام هوایی	۰/۰۷۵**	SP= -0.002+0.004 REXchange	۰/۲۷۸
جذب سیلیسیم اندام هوایی	۱۷۴۷۶/۵۹**	SuptakeSi= -89.652+1.840 REXchange	۰/۶۸۹
جذب فسفر اندام هوایی	۳۴۹/۳۳**	SuptakeP= -8.339+0.260 REXchange	۰/۳۲۸

*متغیرهای مستقل: (REXchange: سیلیسیم تبادلی ریزوسفر و RSol: سیلیسیم محلول ریزوسفر)

نتیجه‌گیری کلی

وزن خشک اندام هوایی گندم در اثر کاربرد توأم سیلیسیم و باکتری، ۳/۵ برابر نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سیلیسیم بر کیلوگرم، به‌عنوان غلظت بهینه در افزایش جذب فسفر مشخص شد. با توجه به کمبود فسفرمحلول خاک، کاربرد ترکیبی سیلیسیم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات (با داشتن اثرات هم‌افزایی)، توانست فسفر مورد نیاز گیاه را تا سطح بهینه فراهم کند. نتایج رگرسیون چندمتغیره خطی بین شاخص‌های اندازه-گیری شده در گندم و شکل‌های شیمیایی سیلیسیم در خاک، نشان داد که مطابق با مدل رگرسیونی بدست آمده، با افزایش مقدار سیلیسیم تبادلی خاک در منطقه ریزوسفر، جذب سیلیسیم و فسفر در اندام هوایی گندم، افزایش می‌یابد. لذا در خاک‌های آهکی، توجه به مقدار سیلیسیم تبادلی خاک در منطقه ریزوسفر، شاخصی برای توانایی خاک در افزایش فسفر بومی خاک می‌باشد و با توجه به نگرش جهانی در خصوص استفاده از فسفر بومی خاک، به نظر می‌رسد کاربرد سیلیسیم می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای کاهش مصرف کودهای فسفری و افزایش آزادسازی فسفر بومی خاک مدنظر قرار گیرد.

منابع

۱-رضاخانی، ل.، ب، متشرع زاده.، م. م. طهرانی.، ح. اعتصامی و ح. میرسید حسینی. ۱۳۹۸. تأثیر سیلیسیم و باکتری‌های محرک رشد گیاه بر پاسخ‌های تغذیه‌ای گندم و سورگوم، شکل‌های شیمیایی سیلیسیم و فراهمی فسفر خاک. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران، ص ۵۴.

2-Alovisi, A. M. T., Neto, A. E. F., Carneiro, L. F., Curi, N., Alovisi, A. A. (2014). Silicon-phosphorus interactions in soils cultivated with bean plants. *Acta Scientiarum Agron*, 36, 79-86.

3-Alzoubi, M. M., Gaibore, M. (2012). The effect of phosphate solubilizing bacteria and organic fertilization on availability of syrian rock phosphate and increase of triple superphosphate efficiency. World J. Agric. Sci, 8, 473–478, doi: 10.5829/idosi.wjas.2012.8.5.1668

4-Elhaissoufi, W., Khourchi, S., Ibnyasser, A., Ghoulam, Ch., Rchiad, Z., Zeroual, Y., Lyamlouli, K., and Bargaz, A. (2020). Phosphate solubilizing rhizobacteria could have a stronger influence on wheat root traits and aboveground physiology than rhizosphere P solubilization. *Frontiers in plant science*, doi: 10.3389/fpls.2020.00979

5-El-Leboudi, S., El-Sebaay, A. S., Hassan Abd Elrahman, Sh., Wafaa, M., Saad, H. Y. (2019). Effect of silicon and phosphorus additions and their interactions on wheat plants grown on a clay soil. Asian Soil Research Journal, 2(1), 1-10.

6-Epstein, E. and Bloom, A. J. (2005). Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Mass.

7-Etesami, H. and Jeong, B. R. (2018). Silicon (Si) review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 147(Supplement C), 881-896.

8-Georgiadis, A., Rinklebe, J., Straubinger, M., Rennert, T. (2017). Silicon fractionation in Mollic Fluvisols along the central Elbe River, Germany. *CATENA*, 153:100–105. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.027
9-Greger, M., Landberg, T., Vaculík, M. (2018). Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. Plants, 7:41.
10-Keeping, M. G. (2017). Uptake of silicon by sugarcane from applied sourcesmaynotreflectplant-availablesoil siliconandTotal silicon content of sources. *Front Plant Sci*, 8(760). https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00760
11-Kostic, L., Nikolic, N., Bosnic, D., Samardzic, J., Nikolic, M. (2017). Silicon increases phosphorus (P) uptake by wheat under low P acid soil conditions. *Plant and Soil*, 419, 447-455.
12-Kowalska, J., Tyburski, J., Jakubowska, M., Krzymińska, J. (2021). Effect of different forms of silicon on growth of spring wheat cultivated in organic farming system. *Silicon*, 13(1):211–217. https://doi.org/10.1007/s12633-020-00414-4
13-Pati, S., Pal, B., Badole, S. h., Hazra, G. C. h., Mandal, B. (2016). Effect of silicon fertilization on growth, yield and nutrient uptake of Rice. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 47(3), 284-290.
14-Pontigo, S., Ribera, A., Gianfreda, L., Luz Mora, M., (2015). Silicon in vascular plants: uptake, transport and its influence on mineral stress under acidic conditions. Planta 242, 23-37.
15-Saberian Ranjbar, S., Motesharezadeh, B., Moshiri, F., Mirseyed Hosseini, H., Alikhani, H. A. (2019). Silicon utilization efficiency of different wheat cultivars in a calcareous soil. *Journal of Silicon*, doi.org/10.1007/s12633-018-0038-3.
16-Sharma, S. B., Sayyed, R. Z., Trivedi, M. H., Gobi, T. A. (2013). Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, 2, 587.
17-Sonobe, K., Hattori, T., An, P., Tsuji, W., Eneji, A. E., Kobayashi, S., Kawamura, Y., Tanaka, K., Inanaga, S. (2011). Effect of Si application on sorghum root responses to water stress. *Journal of Plant Nutrition*, 34, 71–82.

Investigation of dynamics of chemical forms of silicon in calcareous soil and its effect on phosphorus availability

Rezakhani[1], L., Motesharezadeh[2], B., Tehrani [3], M.M. ., Etesami [4], H., Mirseyed Hoseini [5], H

[1] Ph.D. Soil Fertility Chemistry and Plant Nutrition, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran
[2,5] Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tehran, Iran
[3] Assistant Prof., Faculty member, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran
[4] Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Tehran, Iran

Abstract

In order to investigate the dynamics of chemical forms of silicon in calcareous soil and its effect on the amount of phosphorus uptake of wheat under the influence of silicon treatments and phosphate-soluble bacteria in soil phosphorus deficiency, this experiment is in a completely randomized design with two factors including four levels of silicon (0, 150, 300, 600) mg/kg of silicon from the source of silicic acid and three levels of bacteria (no inoculation of bacteria, Bacillus and Pseudomonas) in three replications in the greenhouse of soil and water research institute was established. The effects of treatments on shoot dry weight and wheat root, shoot silicon uptake and phosphorus were measured. Also, the chemical forms of silicon in the soil of rhizosphere and non-rhizosphere and regression models of variables were investigated to better understand the mechanisms of this process. The results showed that the dry weight of wheat shoots increased by 3.5 times compared to the control treatment due to the combined application of silicon and bacteria. Application of silicon alone (level of 300 mg/kg) increased the phosphorus concentration of wheat shoot by 2.3 times compared to the control treatment. However, combined application (level of 600 mg silicon/kg and *Pseudomonas* bacteria) increased the phosphorus concentration of wheat shoots by 4 times compared to the control treatment. According to the obtained regression model, phosphorus uptake of shoot was affected by the amount of exchangeable silicon in the rhizosphere and according to the coefficient of explanation, had an increasing effect of 32%.

Keywords: silicic acid, plant growth promoting bacteria, sequential silicon extraction, available phosphorus

مقایسه حذف کادمیم توسط کیتوسان اتصال عرضی یافته با کاپاکاراگینان، کیتوسان– آلژینات سدیم و کیتوسان– آلژینات سدیم– فیبرنانوسلولزی

سارا ملاعلی عباسیان*[۱]

۱- استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه(abasiyan@maragheh.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش، کارایی جذب کیتوسان اتصال عرضی یافته با کاپاراگینان (mChitoCar)، کیتوسان- آلژینات سدیم (CSA) و کیتوسان- آلژینات سدیم- فیبر نانوسلولزی (CSA-N) برای پاکسازی آب آلوده به فلز سنگین کادمیم به طور مجزا مورد بررسی قرار گرفت. جذب کادمیم توسط جاذب‌های زیستی در سیستم تعادلی یا پیمانه‌ایی انجام شد. مطالعه جذب کادمیم توسط mChitoCar، CSA و CSA-N به ترتیب (۱/۱۱، ۰/۵۵ و ۰/۵۵ گرم بر لیتر) در دامنه غلظتی ۱/۹۷-۰ میلی مولار کادمیم در pH معین ۷/۶ در قدرت یونی ۸ میلی مولار انجام گردید. مدل‌های فرندلیچ، لنگموئیر، دوبینین- راداشکوییچ و تمکین بر داده‌های حاصل برازش یافت. نتایج نشان داد در هر سه جاذب مورد مطالعه، معادله فرندلیچ بخوبی بر داده‌ها برازش یافت. ماکزیمم پتانسیل جذب توسط جاذب های mChitoCar، CSA و CSA-N به ترتیب ۷۵۰، ۴۳۸۰/۹ و ۳۲۳۰/۳ میکرومول بر گرم بدست آمد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که در شرایط مشابه، توانایی جذب کادمیم توسط CSA در مقایسه با دو جاذب دیگر بیشتر است. اما از دیدگاه کارایی جاذب و توان استفاده مکرر از جاذب در شرایط مورد مطالعه، جاذب mHCSCar بهتر از جاذب‌های CSA و CSA-N می‌باشد.

واژگان کلیدی: حذف کادمیم، فرندلیچ، لنگموئیر، هم‌دما.

مقدمه

امروزه تلاش به منظور کاهش قابلیت دسترسی کادمیم در آب یک امر ضروری است چرا که کادمیم جز فلزهای سنگین و غیر قابل تجزیه است. سطح مجاز کادمیم در فاضلاب ۰/۰۸۸۹ میکرومولار است (Musyoka et al., 2011). روش‌های متعددی از جمله جذب سطحی (Dabrowski et al., 2004)، رسوب شیمیایی (Alvarez et al., 2007)، همآوری (Medina et al., 2005)، اولترافیلتراسیون (Landaburu-Aguirre et al., 2009)، غشاهای نانو فیلتراسیون(Kheriji et al., 2015)، اسمز معکوس (Kheriji et al., 2015) و انعقاد الکترودی (Escobar et al., 2006) برای حذف کادمیم معرفی شده است. جذب سطحی به طور قابل ملاحظه‌ای، کاربردی‌ترین روش حذف یون‌های فلزهای سنگین موجود در فاضلاب و خاک‌های آلوده شناخته شده است. در بین جاذب‌های مختلف، کیتوسان به علت ویژگی‌های منحصر به فرد از جمله فعالیت ضد میکروبی، سازگاری با محیط زیست، و مقرون به صرفه بودن، بعنوان جاذب زیستی حایز اهمیت است (Jenkins and Hudson, 2001). کیتوسان از داسیتیلاسیون کیتین مشتق شده است و این پلی ساکارید را می‌توان از موادی مانند میگو، خرچنگ و زیست توده قارچی استخراج نمود (Igberase et al., 2014). حضورگروه‌های آمین و هیدروکسیل در ساختار پلیمری کیتوسان باعث افزایش ظرفیت اتصال آن در فرآیند جذب می‌شود. کیتوسان می‌تواند غلظت یون فلز را حتی به نزدیک صفر برساند (Muzzarelli, 1973). به منظور جداسازی و استفاده مجدد از جاذب‌ها، روش جداسازی مغناطیسی بعنوان روشی مقرون به صرفه پیشنهاد شده است (Liu et al., 2008). یکی از روش‌های رایج شامل سنتز ذره‌های مغناطیسی و پراکندگی یا توزیع ذرات مغناطیسی سنتز شده در محلول کیتوسان است. سپس، کیتوسان مغناطیسی شده با افزودن لیگندهای کلات کننده

* ایمیل نویسنده مسئول: abasiyan@maragheh.ac.ir

مختلف به صورت کیتوسان‌های مغناطیسی اتصال عرضی یافته در می‌آید (Kim et al., 2016; Qin et al., 2004). یکی از مزایای کیتوسان اتصال عرضی یافته افزایش ثبات و پایداری آن در محیط‌های اسیدی است (Igberas and Osifo, 2015). فرایند اتصال عرضی یافتن کیتوسان از آنجاییکه منجر به در گیر شدن گروه‌های آمین آن‌ها در واکنش متقابل یکدیگر می‌شود، ظرفیت جذب کیتوسان را کاهش می‌دهد (Osifo et al., 2009)، از این رو مغناطیسی کردن کیتوسان‌های اتصال عرضی یافته می‌تواند منجر به افزایش توانایی جذب کیتوسان گردد (Lv et al., 2009). در میان پلیمرهای زیستی چند یونی، هیدروژل‌های کیتوسان اتصال یافته توسط کاپاکاراگینان از طریق کاپاکاراگینان آنیونی (حاوی $-OSO^{3-}$) تولید می‌شوند. این نوع کیتوسان اتصال عرضی یافته بدلیل برهمکنش‌های الکترواستاتیکی بین بارهای مثبت گروه‌های آمین موجود بر سطح کیتوسان و بارهای منفی گروه‌های سولفات موجود در کاپاکاراگینان بسیار پایدار می‌باشند (Grenha et al., 2010). آلژینات‌ها مشتقات اسید آلژینیک هستند که pH خنثی داشته و به وفور در دیواره جلبک‌های قهوه‌ای وجود دارند. جلبک‌های قهوه‌ای به دلیل داشتن ویتامین‌ها، املاح معدنی، ید و به خصوص آلژینات‌ها (آلژینات سدیم، آلژینات کلسیم و اسید آلژینیک) کاربردهای بسیاری دارند (Khotimchenko et al., 2001). میزان آلژینات‌ها در جلبک‌های قهوه‌ای بین ۱۳ تا ۵۵ درصد بوده و در کل حدود ۱۰ تا ۴۰ درصد دیواره جلبک‌ها را آلژینات تشکیل می‌دهد. در نقاط مختلف دنیا، از جنس‌های گوناگون جلبک‌های قهوه‌ای برای استخراج آلژینات‌ها استفاده می‌شود. از مهم‌ترین جلبک‌های قهوه‌ای برای تهیه آلژینات، جنس‌های لامیناریا، ماکروسیستیس و فوکوس است. از آلژینات‌ها در صنایع لاستیک‌سازی، رنگ‌سازی، تصفیه فاضلاب، قطعات و لوازم پلاستیکی ضد حرارت، صابون، کرم‌های آرایشی و غیره استفاده می‌گردد (Khotimchenko et al., 2001). نانوسلولزها الیاف یا فیبرهای سلولزی در حد نانو هستند که دارای خاصیت کریستالی کم و سطح ویژه بالا بوده، یک هیدروفیل قوی هستند که سازگار با محیط زیست بوده و قابل تجزیه زیستی می‌باشند (Sharma et al., 2018). بسیاری از انواع آلاینده‌ها از جمله فلزهای سنگین، آلاینده‌های محلول آلی، رنگ‌ها، روغن و پساب‌ها می‌توانند توسط نانوسلولز جذب شوند (Mahfoudhi and Boufi 2017). فیبر نانوسلولز به دلیل داشتن سطح ویژه بالا و وجود گروه‌های کربوکسیل فراوان، از برجسته‌ترین جاذب‌های کادمیم موجود در آب می‌باشد (Sharma et al., 2018).

در این تحقیق تهیه نانوذرات مغناطیسی کیتوسان/ کاپاکاراگینان، نانوکامپوزیت کیتوسان- آلژینات سدیم و کیتوسان- آلژینات سدیم- فیبر نانوسلولزی و کاربرد آن‌ها در حذف یون‌های کادمیم از محلول‌های آبی بررسی شده است. همچنین تاثیر پارامترهای غلظت اولیه یون‌های فلزی و مقدار جاذب بر فرایند جذب کادمیم مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، بهترین مدل تجربی بر داده‌ها برازش یافت.

مواد و روش‌ها

جاذب زیستی کیتوسان مغناطیسی یافته از طریق هم‌رسوبی یون‌های آهن (با افزودن ۲ گرم نمک آهن $FeCl_2.4H_2O$ و ۵/۴ گرم نمک آهن $FeCl_3.6H_2O$ ($nFe^{3+}/nFe^{2+}=2$)) در ۲۰ میلی لیتر آب مقطر برای جاذب کیتوسان مغناطیس یافته تهیه گردید. به منظور ایجاد اتصال عرضی بین کیتوسان‌های مغناطیس یافته محلول رقیق کاپاکاراگینان استفاده شد. محلول کیتوسان باردار شده با یون‌های آهن با گاز نیتروژن خنثی به مدت ۳۰ دقیقه شستشو داده شدند. در نهایت، محلول آمونیاک (۳ مولار) به آرامی به محلول کیتوسان افزوده شد. با تنظیم pH محلول بر روی ۱۱ محلول تیره رنگی که بیانگر تولید نانوذرات Fe_3O_4 است، ظاهر گردید. سپس، محلول کیتوسان مغناطیس یافته با آب مقطر شستشو داده شد تا هیچ ترکیب واکنش نشده‌ای باقی نماند. خالص‌سازی تا زمان رسیدن محلول به شرایط خنثی یعنی pH برابر ۷ ادامه یافت. به منظور داشتن یک محلول همگن، نمونه خالص شده کیتوسان مغناطیسی دیسپرس شده در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر در فرکانس ۵۰ کیلوهرتز

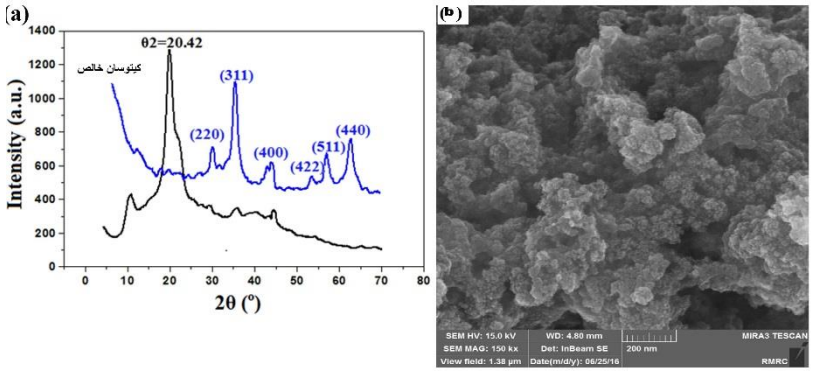
به مدت ۳۰ دقیقه اولتراسونیک (Bandelin SONOPULS HD 2200) شد. سرانجام، محلول کیتوسان مغناطیسی به تدریج به محلول کاپاکاراگینان اضافه شد و به مدت ۴۵ دقیقه در ۷۰ درجه سلسیوس با سرعت ۴۰۰ دور در دقیقه تکان داده شد. pHمخلوط کیتوسان مغناطیسی/ کاپاکاراگینان با افزودن محلول اسید کلریدریک رقیق (۰/۱ مولار) در pH برابر ۵/۷ تنظیم شد. جاذب زیستی کیتوسان مغناطیسی / کاپاکاراگینان بوسیله مگنت (آهنربا) جداسازی شد و جاذب زیستی با استفاده از خشک‌کن انجمادی منجمد گردید (Freeze-dryer, Alfa 2-4LDplus, Christ Co., Germany) و سپس به قطعات کوچک تقسیم شده و برای آزمایشات جذب کادمیم مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تهیه جاذب کیتوسان- آلژینات سدیم مقدار ۲ گرم کیتوسان را در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حاوی ۲ درصد وزنی اسید استیک با استفاده از همزن مغناطیسی با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۲ ساعت، در دمای اتاق حل گردید. سپس، ۲ گرم آلژینات سدیم را در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با استفاده از همزن مغناطیسی با سرعت ۸۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۲ ساعت، بدون نیاز به دمای خاصی حل شد. آلژینات سدیم معمولا به شکل ژل در طبیعت موجود است، محلول آن ویسکوزیته بالایی داشته و به‌شدت خاصیت تبدیل به ژل شدن را دارد. جهت تهیه محلول ترکیبی، محلول آلژینات سدیم که بر روی همزن مغناطیسی قرار داشته، محلول کیتوسان به آرامی به آن اضافه گردید. به دلیل بار مثبت کیتوسان و بار منفی آلژینات سدیم، میزان بار، وزن مولکولی و تمایل برای به شکل ژل درآمدن آلژینات سدیم با اضافه کردن کیتوسان، به‌شدت افزایش یافته و به همین دلیل ممکن است که به خوبی با هم ترکیب نشوند بنابراین محلول کیتوسان به صورت قطره قطره به محلول آلژینات سدیم اضافه شد و این ترکیب به مدت ۵ ساعت تحت همزن مغناطیسی بسیار قوی در دمای اتاق قرار گرفت تا به طور کامل ترکیب شود. ترکیب به دلیل بارهای مخالف دو ماده (بار مثبت کیتوسان و بار منفی آلژینات سدیم) به خودی خود، اتصال عرضی پیدا کرده و شبکه‌ای می‌شوند (Kulig et al., 2016). به منظور تهیه کیتوسان- آلژینات سدیم- فیبر نانوسلولزی ابتدا ۲۰ درصد وزنی از محلول حاوی نانوسلولز ۲/۵ درصد به‌دلیل ویسکوزیته بسیار بالا و حالت خمیری شکل آن طی دو مرحله ۲ دقیقه‌ای با دستگاه اولتراسونیک با فرکانس ۱۵۰ تا ۲۰۰ هرتز، اولترا گردید. این عمل باعث پایین آمدن وزن مولکولی و ویسکوزیته آن و در نهایت، سهولت در ترکیب آن با محلول کیتوسان- آلژینات سدیم می‌شود. محلول فیبر نانوسلولز با استفاده از قطره چکان به ترکیب قبلی اضافه شد. سپس محلول نهایی به مدت ۸ ساعت در دمای اتاق روی همزن مغناطیسی بسیار قوی قرار داده شد تا به‌طور یکنواخت ترکیب شوند. بعد از آن محلول نهایی در پتری‌دیش پلاستیکی، قالب‌گیری گردید و در دمای اتاق به مدت ۲ روز قرار گرفت تا خشک شود. ترکیب آماده شده جهت انجام اتصال عرضی نهایی، داخل ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول ۴۰ درصد وزنی کلرید کلسیم به مدت ۶ ساعت قرار داده شد. به منظور احیاء کیتوسان، ترکیب آماده شده داخل محلول هیدروکسید سدیم قرار گرفت، در نهایت چندین مرتبه با آب مقطر یا ترکیب آب و الکل شسته شد تا هرگونه مواد اضافی موجود، از بین برود. سپس در دمای اتاق قرار گرفت تا خشک شود و به این ترتیب کامپوزیت نهایی به دست آمد. در این پژوهش، جاذب زیستی مغناطیسی کیتوسان با علامت اختصاریmChitoCar و جاذب‌های کیتوسان- آلژینات و کیتوسان- آلژینات- فیبر نانوسلولزی به ترتیب با علامت CSA و CSA-N بیان شده است.

به منظور بررسی جذب سطحی کادمیم توسط جاذب‌های زیستی mChitoCar، CSA و CSA-N به ترتیب ۱/۱۱، ۰/۵۵ و ۰/۵۵ گرم بر لیتر در دامنه غلظتی ۱/۹۷-۰ میلی مولار کادمیم در pH معین ۷/۶ در قدرت یونی ۸ میلی مولار انجام گردید. بر اساس آزمایش مقدماتی، زمان تعادل ۱۰ ساعت انتخاب شد. پس از آماده‌سازی هر نمونه، pH آن با استفاده از هیدروکسید کلسیم یا اسید نیتریک تنظیم گردید. بعد از اتمام زمان تعادل و به منظور جداسازی فاز محلول در جاذب mChitoCar ابتدا از مگنت استفاده شد و برای اطمینان از اینکه جداسازی به طور کامل انجام شده است با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه (g ۱۶۸۰۰)به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند. غلظت کادمیم در محلول رویی با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری و براساس آن

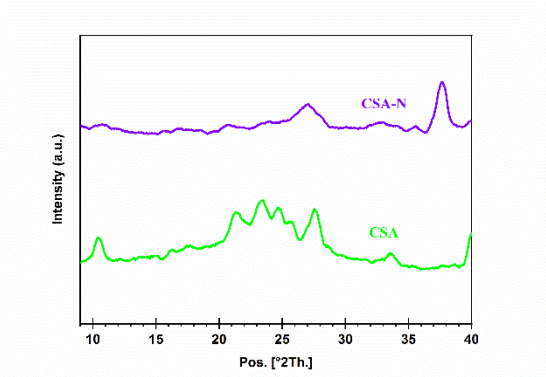
و در نظر گرفتن غلظت اولیه، مقدار کادمیم جذب سطحی شده توسط جاذب مورد استفاده محاسبه شد. مقدارهای جذب تعادلی (q_e) برحسب (µmol/g) از طریق اختلاف بین غلظت اولیه (C_0) برحسب (µmol/l) و غلظت نهایی (C_e)برحسب (µmol/l) در زمان تعادل محاسبه میشود. همچنین، برای توصیف جذب سطحی کادمیم توسط جاذب زیستی از مدل‌های فروندلیچ، لنگموئیر، دوبینین- راداشکوییچ و تمکین استفاده شد (Mola ali Abasiyan et al., 2019).

نتایج و بحث

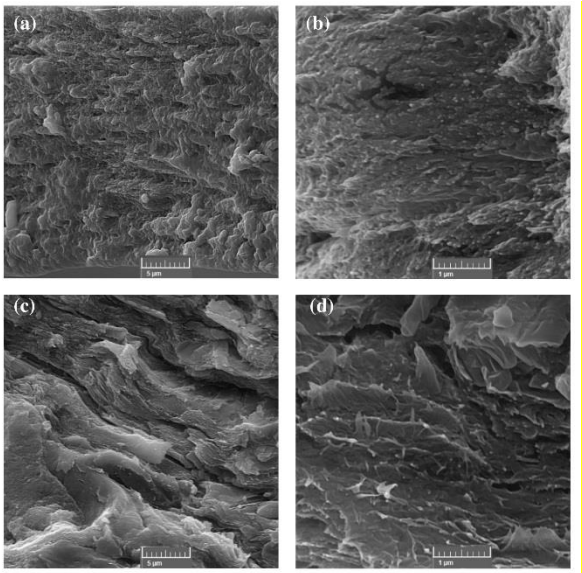
ساختار بلوری و آنالیز فازی کیتوسان خالص و کیتوسان مغناطیس یافته بوسیله آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) و ریخت-شناسی یا مورفولوژی سطحی جاذب زیستی بوسیله تکنیک میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) اندازه‌گیری شد (شکل ۱). شناسایی ساختار و بلورینه‌گی جاذب CSA و CSA-N بوسیله آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) (شکل ۲)، ریخت‌شناسی یا مورفولوژی سطحی جاذب زیستی CSA و CSA-N بوسیله تکنیک میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM) (شکل ۳) اندازه-گیری شد.



شکل ۱-(a) دیاگرام‌های XRD کیتوسان خالص و جاذب زیستی مغناطیسی (mChitoCar) و (b) میکروگرافی SEM جاذب mChitoCar



شکل ۲- دیاگرام‌های XRD کیتوسان- آلژینات سدیم (CSA) و کیتوسان- آلژینات سدیم- فیبر نانوسلولزی (CSA-N)



شکل ۳- تصاویر SEM، تصاویر (a) و (b) مربوط به کامپوزیت CSA و (c) و (d) مربوط به نانو کامپوزیت CSA-N

شکل ۱ قسمت a بیانگر دیاگرام کیتوسان مورد استفاده با ۲ پیک شاخص در θ۲ با زاویه ۱۰/۵ و ۲۰/۴۲ درجه است و به ترتیب بیانگر ساختار بلورینگی جزئی کیتوسان و بلورهای هیدراتی در زنجیرهای آلفا- کیتین باقیمانده در کیتوسان می‌باشد. همانطوریکه در شکل مشاهده می‌شود پیک‌های شاخص کیتوسان در دیاگرام پراش پرتو ایکس کیتوسان مغناطیس یافته، محو شده است که این خود گویای ساختار آمورفوس یا بی‌شکل کیتوسان در جاذب زیستی سنتزی است. تصویر SEM در جاذب mChitoCar نشان می‌دهد که سطح جاذب زیستی مورد استفاده در این پژوهش حاوی نانوذرات شبه کروی با مورفولوژی متخلخل است. این نانوذرات، ساختار انبوهی و متراکم دارند که این نوع ساختار را می‌توان به عملکرد کاپاکاراگینان بعنوان عامل اتصال عرضی دهنده نسبت داد. در حقیقت، می‌توان نتیجه گرفت که نانوذرات مغناطیسی- کیتوسان توسط کاپاکاراگینان احاطه شده و عامل حفاظتی نانوذرات مغناطیسی- کیتوسان از فرایندهای انحلال و آبشویی محسوب می‌شود (شکل ۱ (b)). شکل ۲ تست الگوی پراش XRD در کامپوزیت‌های CSA و CSA-N را نشان می‌دهد. در نمودار راجع به کامپوزیت کیتوسان- آلژینات سدیم پیک بوجود آمده در °27 مربوط به بلورینه‌گی آلژینات سدیم است. پیک‌های موجود در °10.6 و °20.6 به بلورینه‌گی کیتوسان برمی‌گردد (Lin et al., 2015). علاوه‌بر این، پیک ظاهر شده در °27.3 مربوط به بلورینه‌گی آلژینات سدیم است. با تغییراتی که نمودار CSA-N حاصل شده است، به راحتی می‌توان به وجود فیبر نانوسلولز پی‌برد. در این نمودار علاوه بر پیک‌های نمودار CSA پیک های در محدوده °20 تا °25.61 مشاهده می‌شود که مربوط به درجه بالای بلورینه‌گی فیبر نانوسلولز می‌باشد (Huq et al., 2012). همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است تصاویر (a) و (b) مربوط به کامپوزیت CSA و (c) و (d) مربوط به کامپوزیت CSA-N با بزرگنمایی مختلف می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزودن فیبر نانوسلولز، سطح آن سخت‌تر و متخلخل‌تر می‌شود. همچنین به دلیل عدم وجود کلوخه در سطح مقطع شکست، حاکی از پخش شدن مناسب نانو الیاف در سر تا سر ماتریس است.

نتایج همدماهای جذب کادمیم توسط جاذب زیستی مغناطیسی mChitoCar نشان داد که ضریب تعیین و RMSE برای مدل فرندلیچ به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۴/۴۲، برای مدل لنگموئیر به ترتیب برابر ۰/۹۹ و ۶/۸۳، مدل دوبینین- راداشکوییچ به ترتیب

۰/۵۲ و ۱۱/۷۳ و برای مدل تمکین به ترتیب ۰/۹۲ و ۴/۹۴ می‌باشد. بیشترین ضریب تعیین و کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا در همدماهای جذب مربوط به معادله فرندلیچ می‌باشد، لذا، در این پژوهش، معادله فرندلیچ بعنوان بهترین مدل برای داده‌های جذب کادمیم در سیستم آب مربوط به جاذب کیتوسان اصلاح شده معرفی می‌شود. همچنین، متوسط ضریب همبستگی ۹۹۷/ ۰، ۹۹۹/ ۰، ۰/۵۵ و ۰/۷۲ و متوسط RMSE ۳۱/۰۶، ۳۴/۷، ۵۵۵/۴ و ۲۹۵/۲ به ترتیب برای مدل فرندلیچ، لنگموئیر، دوبینین- راداشکوییچ و تمکین در جذب کادمیم توسط جاذب زیستی CSA بدست آمد. نتایج بیانگر آن است که بیشترین مقدار r^2 و کمترین مقدار RMSE در هم‌دمای جذب کادمیم توسط CSA مربوط به مدل فرندلیچ است. در مورد جذب کادمیم توسط جاذب CSA-N، متوسط ضریب همبستگی ۹۹۵/ ۰، ۹۸۵/ ۰، ۰/۷۵ و ۰/۸۳۵ و متوسط RMSE ۴۸/۴۷، ۸۶/۹۷، ۶۱۸/۱۶ و ۲۹۱/۰۸ به ترتیب برای مدل فرندلیچ، لنگموئیر، دوبینین- راداشکوییچ و تمکین بدست آمد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد بهترین مدل در جذب کادمیم توسط CSA-N نیز مربوط به مدل فرندلیچ می‌باشد. معادله فرندلیچ بعلت داشتن دو ثابت (n و K_F) از قابلیت انعطاف خوبی برخوردار است. با این وجود، مدل لنگموئیر با برآورد حداکثر جذب اطلاعات بیشتری در مقایسه با مدل فرندلیچ ارائه می‌دهد. در این پژوهش، حداکثر مقدار جذب کادمیم توسط جاذبmChitoCar ، ۷۵۰/۲ میکرومول بر گرم و توسط جاذب‌های CSA و CSA-N به ترتیب برابر ۴۳۸۰/۹۷ و ۳۴۱۹/۵ میکرو مول بر گرم بدست آمد. نتایج مشابه در مطالعه اخیر در جذب کادمیم توسط نانو کریستال‌های اصلاح یافته با آنهیدرید سوکسینیک توسط یو و همکاران (Yu et al., 2013) گزارش شده است. آن‌ها حداکثر مقدار جذب کادمیم توسط جاذب مورد مطالعه در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، ۳۰۶۷/۳۴ میکرومول بر گرم گزارش کردند. در این پژوهش، به منظور بررسی کارایی جاذب‌های مورد مطالعه به عنوان جاذب‌های زیستی کادمیم در سیستم آب، اختلاف مقادیر جذب و واجذب (Δq) در هر جاذب بطور مجزا محاسبه گردید. در سیستم آبی، هر چه مقدار Δq کمتر باشد، دلالت بر بالا بودن کارایی جاذب دارد(Sposito, 1980). یعنی در این صورت می‌توان جاذب را مکرر استفاده نمود. نتایج نشان داد با افزایش غلظت اولیه کادمیم از ۲۰ به ۲۰۰۰ میکرومولار، Δq در سیستم آب در هر سه جاذب مورد مطالعه افزایش یافته است، اما مقدار افزایش در جاذب CSA بیشترین و در جاذب mChitoCar کمترین است. لذا از لحاظ قدرت جذب، جاذب CSA بهتر از CSA-N و آن نیز بهتر از mHCSCar می‌باشد. اما از دیدگاه کارایی جاذب و توان استفاده مکرر از آن در شرایط مورد مطالعه، جاذب mChitoCar بهتر از جاذب‌های CSA و CSA-N معرفی می‌شوند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که جاذب‌های زیستی mChitoCar، CSA و CSA-N توانایی حذف یون‌های کادمیم موجود در سیستم آب را دارا می‌باشند. ماکزیمم پتانسیل جذب توسط جاذب‌های mChitoCar، CSA و CSA-N در سیستم آب به ترتیب برابر ۷۵۰/۲، ۴۳۸۰/۹۷ و ۳۴۱۹/۵ میکرو مول بر گرم به دست آمد. در هر سه سیستم، بهترین مدل با ارزیابی ضریب تبیین (r^2) و ریشه میانگین مربعات خطا(RMSE)، معادله فروندلیچ معرفی گردید. به منظور ارزیابی کارایی جاذب در حذف یون‌های کادمیم از مقایسه اختلاف بین مقادیر جذب و واجذب (Δq) استفاده شد. نتایج نشان داد از لحاظ قدرت جذب، جاذب CSA بهتر از CSA-N و آن نیز بهتر از mChitoCar می‌باشد. اما از دیدگاه کارایی جاذب و توان استفاده مکرر از جاذب در شرایط مورد مطالعه، جاذب mChitoCar بهتر از جاذب‌های CSA و CSA-N معرفی می‌شوند.

فهرست منابع

Musyoka, S. M., Ngila, J. C., Moodley, B., Petrik, L., & Kindness, A. (2011). Synthesis, characterization, and adsorption kinetic studies of ethylenediamine modified cellulose for removal of Cd and Pb. *Analytical Letters*, *44*(11), 1925-1936.

Dąbrowski, A., Hubicki, Z., Podkościelny, P., & Robens, E. (2004). Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere*, *56*(2), 91-106.

Comparison of cadmium removal by Chitosan crosslinked with κ-carrageenan, chitosan/sodium alginate, and chitosan/sodium alginate/nano cellulose composites

Mola ali abasiyan*[۲]

[1]Assistant Prof., Soil Chemistry Laboratory, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Maragheh, P. O. Box 55181-83111, Maragheh, Iran.

Abstract

In this study, magnetic bio-adsorbents based on chitosan with high molecular weight (mChitoCar), chitosan/sodium alginate (CSA), and chitosan/sodium alginate/nano cellulose (CSA-N) composites were used to remove cadmium ions from a polluted water. The bio-adsorbents were characterized by XRD, and SEM. The influences of initial Cd^{2+} concentration and type of the adsorbent on adsorption isotherms were investigated. The adsorption studies were conducted in definite amounts of bio adsorbents at pH 7.6 in ionic strength 8mM with different cadmium concentrations. On analyzing the values of r^2 and RMSE obtained that the isotherm data were described by using Freundlich and Langmuir, Dubinin-Radushkevich (D-R), and Temkin models; better fitting was introduced Freundlich model in all three bio adsorbents. The maximum adsorption capacity (b) of cadmium onto mChitoCar, CSA, and CSA-N appeared 750.2, 4380.9, and 3230.3 μmol/g, respectively. The findings showed that under similar conditions, the ability of CSA to adsorb cadmium is higher compared to the other two adsorbents. However, in terms of adsorbent efficiency and the ability to use the adsorbent frequently under the studies conditions, mChitoCar adsorbent is better than CSA and CSA-N adsorbents.

Keywords: cadmium removal, Freundlich, Langmuir, isotherm.

* Corresponding author, Email: abasiyan@maragheh.ac.ir

تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر ویژگی‌های خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب

ناهید ازادی[1]، فائس رئیسی [2]

۱- دکتری بیولوژی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد،nahidazadi93@gmail.com

۲- استاد تمام گروه بیولوژی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، f_raiesi@yahoo.com

چکیده

کادمیم و سرب به دلیل تحرک و سمیت بالا در خاک از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی جهان هستند. کاربرد بیوچار به‌عنوان یک راهکار مفید موجب کاهش سمیت این فلزات و افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود. با این حال اطلاعات اندکی در مورد پاسخ ویژگی‌های خاک به مصرف بیوچار در خاک‌هایی که هم‌زمان به این فلزات آلوده هستند، وجود دارد. از این جهت، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های خاک‌های آلوده به کادمیم و سرب به تنهایی یا هم‌زمان در شرایط آزمایشگاهی به مدت ۱۲۰ روز بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل (سه تیمار آلودگی و سه تیمار بیوچار) در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار باگاس با افزایش سطح ماده آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی موجب کاهش غلظت کادمیم و سرب قابل جذب در خاک گردید و کاهش سمیت این فلزات، افزایش جمعیت پروتوزوآها و فعالیت میکروبی را به همراه داشت. به‌طور کلی، کاربرد یک درصد بیوچار باگاس نیشکر برای کاهش آثار منفی تنش ناشی از این کادمیم/سرب و بهبود ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک‌های آلوده به این دو عنصر به تنهایی و هم‌زمان می‌تواند مفید باشد.

کلمات کلیدی: فلزات سمی، بیوچار باگاس نیشکر، ماده آلی خاک، فعالیت میکروبی

مقدمه

کادمیم (Cd^{2+}) و سرب (Pb^{2+}) از جمله فلزات سمی هستند که به دلیل منشاء مشترک در اغلب خاک‌های آلوده به‌طور هم‌زمان وجود دارند (Alloway, 2013). نتایج حاصل از پژوهش‌های بسیاری از محققان نشان می‌دهد که آلودگی کادمیم و سرب به تنهایی و یا به‌طور هم‌زمان در خاک موجب کاهش جمعیت و فعالیت میکروبی، سرعت بازچرخ عناصر، سرعت فرآیندهای بیوشیمیایی و تجزیه مواد آلی و نیز فعالیت آنزیمی خاک می‌گردد (Khan *et al.*, 2010; Xu *et al.*, 2018). با توجه به اینکه آلودگی خاک‌های مناطق مختلف جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه به فلزات سمی در حال گسترش است، ارائه راهکاری مطمئن و عملی که ضمن کاهش اثرات منفی ناشی از تنش‌های سمیت فلزات بر خاک و گیاه، کم هزینه، نسبتاً سریع و آثار جانبی نامطلوب برای سلامت محیط‌زیست نداشته باشد، ضروری است. بیوچار یک ترکیب آلی حاصل از گرماکافت[1] پسماندهای آلی در شرایط بدون اکسیژن است که می‌تواند راهکاری مناسب جهت مدیریت این پسماندها و تقویت ذخیره ماده آلی خاک در دراز مدت باشد (Ahmad *et al.*, 2014؛ Khadem and Raiesi, 2017). علاوه بر این، یکی دیگر از آثار مثبت و سودمند کاربرد بیوچار کاهش میزان سمیت فلزات سمی در خاک و کمک به اصلاح خاک‌های آلوده به این فلزات می‌باشد (Park *et al.*, 2011; Ahmad *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2020). بیوچار از طریق چندین مکانیسم مختلف شیمیایی شامل: تشکیل رسوب، افزایش جذب ویژه فلزات سمی،

[1] Pyrolysis

افزایش جذب الکترواستاتیک و تبادل یونی بین کاتیون فلزی (مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و گروه‌های عامل فعال (مانند کربوکسیل و هیدروکسیل) و تشکیل کمپلکس پایدار موجب کاهش حلالیت و زیست‌فراهمی فلزات سمی می‌شود (Park *et al.*, 2011; Ahmad *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2020). با توجه به اینکه تنش‌های زیستی ناشی از فلزات سمی در ایران در حال گسترش است و مطالعات اندکی به منظور بهسازی خاک‌های آلوده انجام شده است، در این پژوهش تأثیر کاربرد بیوچارهای باگاس نیشکر بر ویژگی‌های خاک‌های آلوده به Cd و Pb به تنهایی و هم‌زمان در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

یک نمونه خاک کشاورزی (دشت شهرکرد) با بافت لوم رسی از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری به مقدار مورد نیاز جمع‌آوری شد. نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ گزارش شده است. بیوچار مورد استفاده در این پژوهش باگاس نیشکر به‌عنوان ماده خام اولیه بود که پس از آسیاب‌نمودن و عبور از الک ۲ میلی‌متری در داخل ظروف درپوش‌دار مخصوص در داخل کوره در دو دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس و با روش گرماکافت آهسته طی ۲ ساعت (Khadem and Raiesi, 2017) به مقدار کافی تهیه شد. مواد فرار، درصد خاکستر (Crombie *et al.*, 2013)، سطح ویژه با روش BET (Suliman *et al.*, 2016)، میزان کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد با استفاده از دستگاه آنالیزگر CHNSO (Uchimiya *et al.*, 2011) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های بیوچارهای تولید شده نیز در جدول ۱ گزارش شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل با ۲ فاکتور شامل آلودگی (۱۰ میلی‌گرم Cd بر کیلوگرم خاک، ۱۵۰ میلی‌گرم Pb بر کیلوگرم خاک و ترکیب Cd و Pb با همان غلظت‌های بیان‌شده) و تیمار بیوچار (بدون مصرف بقایای خام و یا بیوچار باگاس نیشکر به‌عنوان شاهد منفی، مصرف یک درصد بیوچارهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس) در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در جارهای پلاستیکی یک لیتری (در مجموع ۲۷ جار) اجرا شد. مقادیر لازم از کلرید کادمیم و کلرید سرب جهت رسیدن به سطوح Cd و Pb مورد نظر توزین و به خاک اضافه و در نهایت به‌طور کامل مخلوط گردید. سپس به‌منظور نزدیک‌شدن به شرایط شبه تعادل، خاک‌های تیمار شده به‌مدت یک ماه در داخل ظروف در شرایط آزمایشگاه خوابانده شدند. در ادامه یک درصد از هر کدام از بیوچارها و باگاس خام (۱۰ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک) به خاک اضافه و به‌طور کامل مخلوط گردید. نمونه‌ها داخل انکوباتور و در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت آن‌ها در محدوده ۷۰-۶۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری گردید. در پایان انکوباسیون (۱۲۰ روز) کربن آلی خاک (Alef and Nannipieri, 1995)، ظرفیت تبادل کاتیونی (Sumner and Miller, 1996)، کادمیم و سرب قابل جذب (Lindsay and Norvell, 1978) اندازه‌گیری شدند. علاوه بر این، شمارش جمعیت پروتوزآ (Alef and Nannipieri, 1995) و سرعت هیدرولیز فلوروسین دی‌استات (Green *et al.*, 2006) به‌عنوان فعالیت عمومی میکروبی خاک و نقطه پایانی سمیت (Toxicity endpoints) و به منظور ارزیابی سمیت و خطر اکولوژیکی (زیست‌محیطی) فلزات مورد سنجش قرار گرفت. به کمک نرم‌افزار Minitab 18.1، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها براساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون Tukey در سطح ۰/۰۵ =α استفاده شد.

نتایج و بحث

با افزایش دمای گرماکافت، عملکرد بیوچار از ۳۹ درصد به ۲۷ درصد کاهش یافت (جدول ۱). این کاهش عملکرد می‌تواند به دلیل تخریب ساختار ترکیباتی مانند لیگنین، همی‌سلولز و سلولز باشد، زیرا بخش زیادی از بقایای گیاهی از این ترکیبات تشکیل شده است (Yang et al., 2004). درصد خاکستر بیوچار روند برعکس داشت و با افزایش دما بر میزان خاکستر بیوچار افزوده شد و از ۳۰

درصد در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به ۵۳ درصد در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس افزایش یافت (جدول ۱). علت افزایش درصد خاکستر را می‌توان به دلیل تشکیل و افزایش غلظت مواد معدنی به دنبال کربنی‌شدن بیان نمود (Khadem and Raiesi, 2017).

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و بیوچارهای مورد استفاده در این پژوهش.

ویژگی	خاک	دمای گرماکافت (درجه سلسیوس)	
		۴۰۰	۶۰۰
درصد بازیافت (٪)	–	۳۸/۸	۲۷/۲
خاکستر (٪)	–	۲۹/۶	۵۳/۳
pH	۷/۹۰ (۱:۲)	۹/۲۰ (۱:۲۰)	۹/۹۰ (۱:۲۰)
قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	۰/۳۱ (۱:۲)	۱/۰۰ (۱:۲۰)	۱/۹۰ (۱:۲۰)
سطح ویژه (٪)	–	۱۰/۴	۹۷/۳
کربن (٪)	۰/۴۷	۵۲/۹	۵۴/۷
هیدروژن (٪)	–	۳/۱۰	۱/۴۰
اکسیژن (٪)	–	۱۳/۴	۸/۶۰
کربن:نیتروژن	–	۰/۱۹	۰/۱۲
هیدروژن:کربن	–	۰/۷۰	۰/۳۱
هیدروژن:اکسیژن	–	۳/۷۰	۲/۶۰
کادمیم کل ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۲۰	۰/۱۸	۰/۲۰
کادمیم قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۰۰	–	–
سرب کل ($mg\ kg^{-1}$)	۲۰	۵/۰	۵/۵
سرب قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۶	–	–
فسفر ($g\ kg^{-1}$)	–	۱۸۶	۳۴۲
سدیم ($g\ kg^{-1}$)	–	۱/۱۶	۱/۳۸
مواد فرار (٪)	–	۵۴/۱	۴۱/۴
شن ($g\ kg^{-1}$)	۲۸۴	–	–
رس ($g\ kg^{-1}$)	۴۰۱	–	–
سیلت ($g\ kg^{-1}$)	۳۱۵	–	–

افزایش دمای گرماکافت باعث افزایش pH و EC بیوچار (به ترتیب ۰/۷ و ۰/۹ واحد) گردید. علت افزایش pH بیوچار می‌تواند به‌دلیل افزایش درصد خاکستر و نسبت عناصر قلیایی، تشکیل اکسیدهای فلزات و خروج مواد فرار در حین گرماکافت و همچنین افزایش گروه‌های عامل قلیایی و کاهش گروه‌های عامل اسیدی باشد (Khadem and Raiesi, 2017). علاوه بر این، به دلیل افزایش درصد خاکستر و خروج مواد فرار و افزایش غلظت عناصر باقیمانده در خاکستر، EC بیوچار نیز با افزایش دمای تولید گرماکافت افزایش می‌یابد (Khadem and Raiesi, 2017). میزان کربن بیوچار با افزایش دمای گرماکافت نیز افزایش یافت. میزان کربن بیوچارهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۵۳ و ۵۵ درصد بود. نتایج تجزیه بیوچار نشان داد درصد اکسیژن و هیدروژن در بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (به ترتیب ۱۳/۴ و ۳/۱ درصد) تا بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (به ترتیب ۸/۶ و ۱/۴ درصد) روند نزولی داشت (جدول ۱). با افزایش دما و خروج بیشتر مواد فرار درجه کربنی‌شدن افزایش می‌یابد که با افزایش میزان کربن و کاهش هیدروژن و اکسیژن بیوچار نشان داده می‌شود. همچنین با افزایش دما همواره نسبت هیدروژن به کربن (H/C) و نسبت اکسیژن به کربن (O/C) کاهش یافت (جدول ۱). کاهش نسبت H/C نشان‌دهنده فرآیند آب‌زدایی و کاهش نسبت O/C بیانگر واکنش‌های کربوکسیل‌زدایی و هر دو نسبت، شاخص و یا درجه آروماتیکی‌شدن (درجه تراکم) بیوچار را نشان می‌دهند (Suliman *et al.*, 2016). کاهش این نسبت‌ها در دمای بالای گرماکافت نشان‌دهنده کاهش کربن زود تجزیه‌پذیر و ترکیبات آلیفاتیک مانند کربن فرار است در حالی که خاصیت آروماتیکی و آبگریزی بیوچار به تدریج افزایش می‌یابند (Suliman *et al.*, 2016).

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر متقابل تیمار بیوچار و آلودگی فلزات بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده به‌جز کربن آلی خاک (SOC) و فراوانی جمعیت پروتوزآهای خاک معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) بود (جدول ۲). کاربرد بیوچار موجب افزایش میزان SOC خاک در تیمارهای با آلودگی Cd (۹۸-۸۹ درصد)، Pb (۱۰۲-۹۷ درصد) و حضور هم‌زمان دو فلز (۱۰۱-۹۵ درصد) در مقایسه با شاهد (خاک بدون کاربرد بیوچار) شد. همچنین در همه تیمارها بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (۱۰۰ درصد) بیشتر از بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (۹۴ درصد) موجب افزایش SOC شد. بیوچار CEC خاک را ۱۵ تا ۲۶ درصد افزایش داد. به طور کلی CEC در تیمار بیوچارهای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس در خاک با آلودگی منفرد Cd به ترتیب ۲۳ و ۲۶ درصد، در خاک با آلودگی منفرد Pb به ترتیب ۱۶ و ۱۹ درصد و در خاک با آلودگی هم‌زمان دو فلز به ترتیب ۱۵ و ۲۱ درصد بیشتر از شاهد بود (جدول ۲).

جدول ۲. تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر ویژگی‌های خاک. اعداد میانگین (n=۳) به‌همراه خطای استاندارد (SE) می‌باشند.

تیمار بیوچار	تیمار آلودگی			آماره P برای اثرات متقابل
	کادمیم	سرب	کادمیم × سرب	
		کربن آلی کل ($g\ kg^{-1}$)		
شاهد (بدون بیوچار)	۴/۹±۰/۲۱^{c}	۴/۴۸±۰/۰۴^{c}	۴/۴۵±۰/۱۰^{c}	
بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس	۹/۲۶±۰/۲۱^{ab}	۸/۸۲±۰/۱۷^{b}	۸/۷۰±۰/۱۰^{b}	P >0.05
بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس	۹/۶۸±۰/۳۴^{a}	۹/۰۶±۰/۱۴^{ab}	۸/۹۷±۰/۱۰^{b}	
		ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_c\ kg^{-1}$)		
شاهد (بدون بیوچار)	۲۷/۶±۰/۱۶^{d}	۲۸/۶±۰/۰۹^{c}	۲۸/۳±۰/۲۴^{cd}	
بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس	۳۳/۹۹±۰/۲۴^{a}	۳۳/۰۹±۰/۲۴^{b}	۳۲/۵±۰/۲۴^{b}	P <0.01
بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس	۳۴/۶۹±۰/۱۶^{a}	۳۴/۰۶±۰/۱۶^{a}	۳۴/۲±۰/۰۶^{a}	
		کادمیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)		
شاهد (بدون بیوچار)	۲/۸۳±۰/۰۴^{b}	۰/۰۳±۰/۰۲^{f}	۳/۰۷±۰/۰۱^{a}	
بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس	۲/۴۴±۰/۰۳^{d}	۰/۰۱±۰/۰۰۱^{f}	۲/۵۷±۰/۰۴^{c}	P <0.01
بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس	۲/۳۱±۰/۰۳^{e}	۰/۰۱±۰/۰۰۱^{f}	۲/۵۰±۰/۰۳^{cd}	
		سرب قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)		
شاهد (بدون بیوچار)	۱/۶۲±۰/۰۳^{f}	۴۲/۱۲±۰/۳۲^{b}	۴۵/۲۳±۰/۱۱^{a}	
بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس	۱/۶۵±۰/۰۳^{f}	۳۷/۹۰±۰/۲۴^{d}	۳۹/۸۵±۰/۲۵^{c}	P <0.01
بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس	۱/۶۰±۰/۰۱^{f}	۳۳/۰۱±۰/۲۹^{e}	۳۸/۰۹±۰/۴۳^{d}	
		فراوانی پروتوزآهای خاک ($۱۰^{۲}$ × سلول در گرم خاک)		
شاهد (بدون بیوچار)	۱۷/۷±۰/۴^{c}	۱۳/۹±۰/۴^{bc}	۱۳/۲±۰/۳^{c}	
بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس	۱۷/۴±۰/۷^{a}	۱۷/۸±۰/۹^{a}	۱۶/۱±۰/۳^{ab}	P >0.05
بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس	۱۳/۸±۰/۹^{c}	۱۳/۸±۰/۵^{c}	۱۲/۰±۰/۷^{c}	
		هیدرولیز فلوروسین دی‌استات ($\mu mol\ fluorescein\ g^{-1}\ h^{-1}$)		
شاهد (بدون بیوچار)	۰/۱۶۳±۰/۰۰۲^{g}	۰/۱۶۱±۰/۰۰۲^{g}	۰/۱۴۲±۰/۰۰۱^{h}	
بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس	۰/۲۹۶±۰/۰۰۱^{b}	۰/۳۱۰±۰/۰۰۲^{a}	۰/۲۴۰±۰/۰۰۱^{e}	P <0.01
بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس	۰/۲۶۲±۰/۰۰۳^{d}	۰/۲۸۳±۰/۰۰۲^{c}	۰/۲۲۸±۰/۰۰۵^{f}	

میانگین‌هایی (n=۳) که دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون Tukey در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

غلظت قابل جذب فلزات Cd و Pb در حضور هم‌زمان دو فلز (به ترتیب ۳/۱ و ۴۵/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با حضور منفرد این فلزات (به ترتیب ۲/۸ و ۴۲/۱ کیلوگرم بر کیلوگرم) به‌طور معنی‌دار (P<۰/۰۰۱) بالاتر بود (جدول ۲). مطالعات گذشته نیز گزارش کردند که حضور هم‌زمان Cd و Pb در خاک‌های آلوده، به انتشار یکدیگر و ورود آن‌ها به بخش محلول خاک کمک می‌کند و به این ترتیب غلظت قابل جذب آن‌ها در مقایسه با حضور منفرد این دو فلز افزایش می‌یابد (Khan *et al.*, 2010; Wang *et al.*,

2020). همچنین در خاک‌های تیمار شده با حضور هم‌زمان دو فلز، Cd و Pb برای قرار گرفتن در مکان‌های جذب با هم رقابت می‌کنند و به دنبال این جذب رقابتی غلظت Cd قابل جذب (۹ درصد) بیشتر از غلظت Pb قابل جذب (۷ درصد) بود. زیرا Cd از جمله عناصری است که دارای تحرک بالایی می‌باشد (Gomes *et al.*, 2001). این در حالی است که کاربرد بیوچار موجب کاهش میزان غلظت قابل جذب Cd در تیمار با آلودگی منفرد Cd (۱۸-۱۴ درصد) و حضور هم‌زمان دو فلز (۱۸-۱۶ درصد) در مقایسه با شاهد شد. این کاهش غلظت Cd قابل جذب در تیمار بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (۱۸ درصد) بیشتر از بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (۱۵ درصد) بود. همچنین بیوچار موجب کاهش میزان غلظت قابل جذب Pb در تیمار با آلودگی منفرد Pb (۲۲-۱۰ درصد) و حضور هم‌زمان دو فلز (۱۶-۱۲ درصد) در مقایسه با شاهد شد و بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (۱۹ درصد) بیشتر از بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (۱۱ درصد) میزان غلظت قابل جذب Pb را کاهش داد. نتایج سایر بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار موجب کاهش مقدار Cd و Pb قابل جذب در خاک می‌شود (Bashir *et al.*, 2018; Nie *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2018). بیوچار با داشتن سطح ویژه و سطح جذب بالا، ساختار متخلخل، محتوای کربن و افزایش CEC خاک (جدول ۱ و ۲) و با مکانیسم‌هایی از قبیل جذب سطحی (اختصاصی و غیراختصاصی)، تبادل کاتیونی، تشکیل کمپلکس و هم‌رسوبی موجب کاهش قابلیت دسترسی فلزات سمی در خاک می‌شود (Uchimiya *et al.*, 2011; Nie *et al.*, 2018; Bashir *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020). نتایج این پژوهش نشان داد که بیوچار فراوانی پروتوزوآهای خاک را بین ۸ تا ۳۶ درصد افزایش داد. در همه تیمارهای آلودگی بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس بیشتر از بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس موجب افزایش فراوانی جمعیت پروتوزوآهای خاک شد (جدول ۲). با افزایش دمای گرماکافت و کاهش مواد آلی ساده قابل دسترس برای جمعیت میکروبی، فراوانی میکروبی نیز کاهش یافته و به تبع آن با کاهش مواد غذایی قابل دسترس برای پروتوزوآهای خاک نیز کاهش و از این رو فراوانی آن‌ها کم شده است. (Khadem and Raiesi, 2017). فرآیند هیدرولیز فلورسین دی‌استات (FDA) معمولاً فعالیت عمومی یا کلی خاک را نشان می‌دهد و برای ارزیابی فعالیت طیف گسترده‌ای از آنزیم‌ها (شامل استرازها، پروتئازها و لیپازها) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Green *et al.*, 2006). نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار موجب افزایش FDA خاک در تیمارهای با آلودگی Cd (۸۲-۶۱ درصد)، Pb (۹۲-۷۹ درصد) و حضور هم‌زمان دو فلز (۶۹-۶۰ درصد) در مقایسه با شاهد شد. همچنین در همه تیمارهای آلودگی، بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (۵۰ درصد) بیشتر از بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (۴۰ درصد) موجب افزایش FDA شد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بیوچار با کاهش قابلیت دسترسی فلزات سمی و افزایش قابل توجه ماده آلی، چرخه مواد مغذی (P، N و S) و فراهم‌سازی سوبسترای مورد نیاز جمعیت میکروبی (جدول ۱ و ۲) موجب افزایش فراوانی و فعالیت جمعیت میکروبی خاک می‌گردد.

نتیجه‌گیری

مصرف خاکی بیوچار حاصل از باگاس نیشکر به‌عنوان یکی از راهکارهای مدیریت پسماند مجتمع‌های تولید نیشکر، کاهش غلظت قابل‌دسترس کادمیم و سرب خاک، افزایش سطح ماده آلی خاک و فراهمی سوبسترای مورد نیاز جامعه میکروبی می‌تواند پتانسیل بالایی در کاهش اثر آلودگی این دو فلز به‌صورت منفرد و هم‌زمان داشته باشد. بنابراین، استفاده از این ماده بهساز آلی به‌عنوان یک روش مقرون به صرفه به منظور کاهش سمیت این فلزات، ترسیب بلندمدت کربن در خاک و تقویت ماده آلی خاک‌های تحت تنش آلودگی فقیر از این ماده، می‌تواند مفید باشد.

فهرست منابع

Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S., Ok, Y.S. (2014). Biochar as a Sorbent for Contaminant Management in Soil and Water: a review. Chemosphere. 99, 19-33.

Alef, K. and Nannipieri, P. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press. pp 214–216.

Alloway B.J. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils. In: Alloway BJ (Ed.), Heavy Metals in Soils: Trace Metals and Metalloids in Soils, and their Bioavailability. Science+Business Media Dordrecht, pp. 11–50.

Bashir, S., Hussain, Q., Akmal, M., Riaz, M., Hu, H., Ijaz, S.S., Iqbal, M., Abro, S., Mehmood, S., Ahmad, M. (2018). Sugarcane Bagasse-derived Biochar Reduces the Cadmium and Chromium Bioavailability to Mash Bean and Enhances the Microbial Activity in Contaminated Soil. Soils and Sediments. 18(3), 874–886.

Crombie, K., Masek, O., Sohi, S.P., Brownsort, P., Cross, A. (2013). The Effect of Pyrolysis Conditions on Biochar Stability as Determined by Three Methods. Global Change Biology Bioenergy. 5, 122-131.

Gomes, P.C., Fontes, M.P., Silva, A.G., Mendonça, E., Netto A.R. (2001). Selectivity Sequence and Competitive Adsorption of Heavy Metals by Brazilian soils. Soil Science Society of America Journal. 65, 1115-1121.

Green, V.S., Stott, D.E., Diack, M. (2006). Assay for fluorescein diacetate hydrolytic activity: optimization for soil samples. Soil Biology Biochemistry. 38, 693–701.

Khadem, A. and Raiesi, F. (2017). Responses of Microbial Performance and Community to Corn Biochar in Calcareous Sandy and Clayey Soils. Applied Soil Ecology. 114, 16–27.

Khan, S., Hesham, A.E.L., Qiao, M., Rehman, S., He, J.Z. (2010). Effects of Cd and Pb on Soil Microbial Community Structure and Activities. Environment Science Pollution Research. 17, 288–296.

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. Soil Science Society of America Journal. 42(3), 421-428.

Nie, C., Yang, X., Niazi, N.K., Xu, X., Wen, Y., Rinklebe, J., Ok, Y.S., Xu, S., Wang. H. (2018). Impact of Sugarcane Bagasse-derived Biochar on Heavy Metal Availability and Microbial Activity. Chemosphere. 200, 274–282.

Park, J.H., Ok, Y.S., Kim, S.H., Cho, J.S., Heo, J.S., Delaune, R.D., Seo, D.C. (2016). Competitive Adsorption of Heavy Metals onto Sesame Straw Biochar in Aqueous Solutions. Chemosphere. 142, 77-83.

Suliman, W., Harsh, J.B., Abu-Lail, N.I., Fortuna, A.M., Dallmeyer, I., Garcia-Perez, M. (2016). Influence of feedstock source and pyrolysis on biochar bulk and surface properties. Biomass Bioenergy. 84, 37–48.

Sumner, M.E. and Miller, P.M. (1996). Cation Exchange Capacity and Exchange Coefficient. In: Sparks D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA. Madison. pp. 1201-1230.

Uchimiya, M., Chang, S., Klasson, K.T. (2011). Screening Biochars for Heavy Metal Retention in Soil: Role of Oxygen Functional Groups. Journal of Hazardous Materials. 190 (1-3), 432–441.

Wang, Y., Liu, Y., Zhan, W., Zheng, K., Wang, J., Zhang, C., Chen, R. (2020). Stabilization of Heavy Metal-Contaminated Soils by Biochar: Challenges and recommendations. Science Total Environment. 729, 139060.

Xu, Y., Seshadri, B., Sarkar, B., Wang, H., Rumpel, C., Sparks, D., Farrell, M., Hall, T., Yang, X., Bolan, N. (2018). Biochar Modulates Heavy Metal Toxicity and Improves Microbial Carbon use Efficiency in Soil. Science of the Total Environment. 621, 148-159.

Yang, H.P., Yan, R., Chin, T., Liang, D.T., Chen H.P., Zheng, C.G. (2004). Thermogravimetric Analysis - Fourier Transform Infrared Analysis of Palm Oil Wastes Pyrolysis. Energy and Fuels. 18(6), 1814-1821.

Effects of sugarcane bagasse biochar on the characteristics of soils contaminated with cadmium and lead

Abstract

Cadmium (Cd) and lead (Pb) are two toxic metals of the environmental concern worldwide, mainly due to their high mobility and toxicity. Application of biochar as a suitable practice reduces the toxicity of these metals and increases soil fertility. However, the effects of biochar on properties of Cd/Pb co-contaminated soils still remain uncertain. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of sugarcane bagasse biochar (SCB) on several characteristics of a soil co-spiked with Cd and Pb during an incubation experiment lasted for 120 days. The experiment was performed as a factorial (three metal contamination treatments and three biochar treatments) in a completely randomized design with three replications. Results showed that SCB application reduced the concentrations of available Cd and Pb in the soil by increasing soil organic matter content and cation exchange capacity, and consequently modulated the toxicity of these metals to soil microbial activity and protozoan population. In general, application of SCB at % can be useful to reduce the negative influences of Cd/Pb-induced stresses and to improve the chemical and biological properties of the soils contaminated with these metals either individually or simultaneously.

Keywords: Toxic metals, Sugarcane bagasse biochar, Soil organic matter, Microbial activity

تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر قابلیت استفاده کادمیم در دو خاک با بافت متفاوت

الناز میرزاخانی[۱]، حمیدرضا متقیان[۲]، علیرضا حسین‌پور[۳]

۱-نویسنده مسئول دانشجو، کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ELNAZ.MIRZAKHANI2014@yahoo.com

۲- دانشیار گروه شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، Motaghian.h@yahoo.com

۳- استاد تمام گروه شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، alirezahosseinpur1347@gmail.com

چکیده

گسترس فلزات سنگین در خاک باعث کاهش فعالیت میکروبی، کاهش حاصلخیزی خاک و آسیب به موجودات زنده از طریق زنجیره غذایی شده است. اخیراً بیوچار به‌صورت گسترده‌ای جهت کاهش سمیت فلزات سنگین استفاده می‌شود. بنابراین به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر قابلیت استفاده کادمیم در دو خاک رسی و شنی آلوده شده (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل فاکتور بیوچار دارای سطوح شاهد، ۱ درصد (وزنی- وزنی) باگاس، ۱ درصد (وزنی- وزنی) و بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس و فاکتور خاک شامل خاک رسی و شنی در ۳ تکرار انجام گرفت. مقدار کادمیم قابل استفاده به‌روش DTPA تعین شد. بیوچار کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA را کاهش داد ($p<۰/۰۵$)؛ در حالی‌که بیوچار اثر معنی‌داری بر pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاکها نداشت ($p>۰/۰۵$). کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در خاک شنی بیشتر از خاک رسی بود. میانگین کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در تیمار بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس نسبت به تیمارهای شاهد (۱۵/۸٪) و ماده اولیه (۱۴/۱٪) کاهش معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) یافت. بنابراین بیوچار به‌دلیل داشتن ویژگی‌های منحصربه فرد فیزیکی و شیمیایی باعث کاهش آلودگی و سمیت فلزات سنگین در خاک می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، کادمیم، قابلیت استفاده.

مقدمه

آلودگی باعث ایجاد اثرات مضری بر انسان و سایر موجودات زنده می‌شود هم‌چنین باعث ایجاد تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌شود. بنابراین فلزات اگر در غلظتی استفاده شوند که اثرات نامطلوبی بر انسان و یا موجودات زنده داشته باشند، می‌توانند آلاینده محسوب شوند. ظرفیت سمیت فلزات سنگین در خاک در مورد عناصری که در خاک وجود داشته و یا آلاینده‌هایی که به محیط وارد می‌شوند بستگی به غلظت آن‌ها در محلول خاک و شکل

قابل تبادل آن دارد. از جمله فلزات سنگین کادمیم است و ورود آن به گیاه به علت تحرک زیاد باعث آسیب به زنجیره غذایی انسان می‌شود و خسارات جبران ناپذیری را وارد می‌کند (Adriano,1986). بیوچار یک ماده جامد غنی ازکربن است که از تجزیه در اثر حرارت یا کربن شدن زیست توده در شرایط محدود اکسیژن بدست می‌آید. بیوچار عمدتاً از زیست توده یا ضایعاتی مانند بقایای محصول، پسماندهای جنگل، فضولات حیوانات، محصولات جانبی فرآوری مواد غذایی، ضایعات آسیاب کاغذ، لجن فاضلاب و غیره تولید می‌شود. بنابراین، تبدیل این مواد زائد به بیوچار یک راه حل بالقوه بازیافت برای مشکلات دفع زباله فراهم می‌کند و سبب تشکیل ترکیبات کربنی فرار، ترکیبات کربنی باقیمانده و خاکستر حاوی مقدار قابل ملاحظه کلسیم و پتاسیم می‌شود. افزودن بیوچار به خاک‌ها به‌عنوان روشی جهت ترسیب کربن درون خاک، کاهش پسماندها و کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن هوا توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Lehman and Joseph, 2009). قسمت قابل استفاده فلزات سنگین عبارت است از: قسمتی از مقدار کل عنصر در خاک که ریز جانداران و گیاهان بتوانند آن را استفاده کنند. قابلیت استفاده فلزات سنگین در خاک به گونه شیمیایی و شکل آن فلز بستگی دارد تا به مقدار کل فلز در خاک. بنابراین می‌توان گفت تمام شکل های شیمیایی فلز در خاک برای میکروارگانیسم یا گیاه قابل استفاده نیست و معمولاً اشکالی قابلیت دسترسی بیشتری دارند که به‌راحتی بتوانند به فاز محلول وارد شوند. بهترین شیوه جهت اندازه‌گیری شکل قابل دسترس فلزات سنگین در خاک به‌روش استخراج بخش محلول و یا توسط ترکیبات شیمیایی مثل نیترات پتاسیم، کلریدکلسیم، کلریدپتاسیم، استات آمونیوم، نیترات آمونیوم و EDTA و DTPA می‌باشد. مطالعات زیادی گزارش شده است که بیوچار می‌تواند سمیت فلزات سنگین را کاهش دهد (Liang et al., 2017; Cheng et al.,2018).

مواد و روش ها

نمونه‌برداری: دو نمونه خاک غیر آلوده با کلاس بافت شنی و رسی از دشت‌های استان چهارمحال و بختیاری برداشته شد. نمونه‌های خاک با چکش چوبی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های خاک از قبیل بافت به روش هیدرومتر (Gee and Bauder,1986)، قابلیت هدایت الکتریکی (Rhoades et al., 1996)، pH (Thomas,1996)، گنجایش تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم با pH=۷ (Richards, 1954) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون اسید باقی‌مانده (Richards, 1954) و ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Richards, 1954) شد. مقدار کادمیم کل با استفاده از اسیدنیتریک ۴ مولار (Sposito et al., 1982) و مقدار کادمیم قابل استفاده با روش DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) عصاره‌گیری شد. ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در جدول ۱ گزارش شده است.

تهیه بیوچار: باگاس نیشکر از کشت و صنعت در خوزستان تهیه شد.بیوچار در سطح دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس با قرار دادن در کوره به مدت ۲ ساعت و در شرایط کمبود اکسیژن تهیه شد. سپس، ویژگی های، بیوچار مانند قابلیت هدایت الکتریکی،pH، کادمیم کل و ظرفیت تبادل کاتیونی، با استفاده از روش‌های بیان شده دربخش قبل سطح ویژه به روش BET (Brunauer et al., 1938) و کربن آلی با دستگاه آنالیزگر عنصری CHNS (Uchimiyaet al., 2011) تعیین شد جدول ۱.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاکهای مورد مطالعه* و اصلاح کننده ها**

ویژگی	خاک شنی	خاک رسی	ماده اولیه	بیوچار ۶۰۰
pH	۸/۰۵	۷/۹۲	۶/۸۲	۹/۹۰
هدایت الکتریکی(دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۷۹	۱/۸۸
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)	۲۵/۵	۳۰/۱	۷/۴۹	۲/۵۶
سطح ویژه (مترمربع بر گرم)	-	-	۴/۲۶	۹۷/۳
کربن آلی (درصد)	۱/۴۲	۰/۳۴	۳۸/۴	۵۴/۷
شن (درصد)	۵۳/۲	۲۸/۳	-	-
سیلت (درصد)	۳۸/۵	۴۰/۱	-	-
رس (درصد)	۸/۱۶	۳۱/۵	-	-
کربنات‌کلسیم (درصد)	۲۰/۸	۲۷/۹		
کادمیم قابل استفاده(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	nd	nd		
کادمیم کل(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۰۱۳	۰/۲	۰/۱	۰/۲

*خاک: pH و EC در نسبت ۲ به ۱

**اصلاح کننده‌ها:pH و EC در نسبت ۲۰به ۱

nd : زیر حد تشخیص دستگاه

اعمال تیمار و اجرای آزمایش انکوباسیون: ابتدا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم از منبع کلرید کادمیم به‌صورت محلول به نمونه خاک‌ها (۲۰۰ گرم) اضافه و با کل خاک مخلوط و مقدار آب لازم جهت تنظیم رطوبت خاک در ۸۰ درصد رطوبت مزرعه به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها به‌مدت ۳ هفته در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس در رطوبت ۸۰ درصد رطوبت مزرعه خوابانده شدند. سپس، مقدار ۱ درصد (وزنی- وزنی) ، ماده‌اولیه، بیوچار دمای ۶۰۰ درجه-سلسیوس در ۳ تکرار به نمونه خاک‌ها اضافه و به‌مدت ۳ ماه در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس در انکوباتور نگه‌داری شدند. پس از پایان دوره خوابانیدن، از هر یک از تیمارها نمونه برداشته و مقدار قابل استفاده کادمیم به‌روش DTPA (با استفاده از ۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۰/۰۱ مولار $CaCl_2$ + ۰/۱ مولار TEA) با نسبت ۱:۲ خاک- عصاره گیر همراه با ۱۲۰ دقیقه تکان عصاره‌گیری شد (Lindsay and Norvell, 1978) مقدار کادمیم در محلول‌ها با دستگاه جذب اتمی مدل GBC 932 اندازه‌گیری شد. همچنین pH و EC نمونه‌ها با عصاره‌گیری ۲ به ۱ تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری: قبل از تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی، فرضیات تجزیه واریانس شامل یکنواختی واریانس‌ها و توزیع نرمال باقیمانده‌ها بررسی شد. برای بررسی بیوچار و دو نوع خاک و اثر متقابل آن‌ها بر قابلیت استفاده کادمیم از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل اختلاف معنی‌دار (Least Significant Difference; LSD) در سطح ۵ درصد با نرم‌افزار Statistica 8 انجام شد. اندازه اثر (Eat^2p) که نشان دهنده سهم هر یک از عوامل در تغییرات هر ویژگی است، به¬صورت زیر محاسبه شد:

$$Eta^2p = \left[\frac{\text{مجموع مربعات هر عامل}(SS_a)}{(\text{مجموع مربعات هر عامل }(SS_a)+\text{مجموع مربعات خطا }(SS_{error}))}\right] \quad (۱)$$

نتایج و بحث

تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی در خاک های مورد مطالعه

نتایج تجزیه واریانس دو طرفه اثر بیوچار و خاک بر pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که اثر بیوچار و خاک بر pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک معنی‌داری نبود ($p>۰/۰۵$).

جدول ۲-نتایج تجزیه واریانس اثر بیوچار و خاک بر EC وpH در خاک‌های مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه‌آزادی	میانگین مربعات(MS)	
		EC	pH
اثرات اصلی			
بیوچار	۲	۰ /۰۷ (۰/۰۰۴)^{ns}	۳۲۲۳۴۳۰ (۰/۰۴)^{ns}
خاک	۱	۰/۰۲(۰/۰۰۰۶)^{ns}	۹۶۵۵۲۳۰ (۰/۰۶)^{ns}
برهمکنش‌ها			
بیوچار × خاک	۲	۰/۰۰۰۷ (۰/۰۰۰۰۴) ^{ns}	۳۲۲۴۱۱۳ (۰/۰۴)^{ns}
خطا	۴۸	۰/۶۸	۲۹۴۹۷۸۵

اعداد داخل پرانتز مقدار Eta^2_p {ss_{effect} / (ss_{effect} + ss_{error})}را نشان می‌دهد.

ns به مفهوم غیر معنی‌دار می‌باشد.

نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار بر مقدار pH خاک اثر معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). Azadi and Raisi (2021) بیان کردند pH خاک علیرغم قلیایی (۹<) بودن بیوچار (باگاس نیشکر) تحت تأثیر قرار نگرفت. این به دلیل ظرفیت بافری بالا خاک‌های آهکی است.

نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار بر مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک تأثیر معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). Yang et al. (2017) گزارش کردند که هر دو بیوچار تهیه شده از ساقه تنباکو و خوک مرده تأثیر معنی‌داری بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک نداشتند.

کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA

نتایج تجزیه واریانس دو طرفه اثر بیوچار و خاک بر کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد اثر بیوچار و خاک بر کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA معنی‌دار بود ($p<۰/۰۱$). به‌ترتیب خاک و بیوچار بیشترین تأثیر را بر کادمیم عصاره‌گیری شده باDTPA داشتند.

جدول ۳- نتایج تجزیه‌واریانس اثر بیوچار و خاک بر کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در خاک‌های مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات(MS)
		DTPA
اثرات اصلی		
بیوچار	۲	۳/۵۹(۰/۷۱)**
خاک	۱	۳۲/۱۳(۰/۹۱)**
برهمکنش‌ها		

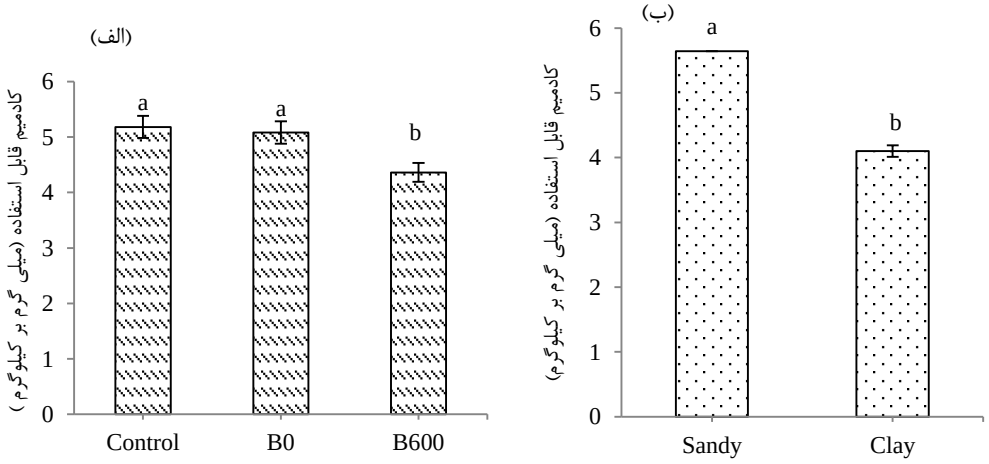
بیوچار × خاک	۲	۰/۱۲۸ (۰/۰۷) ^{ns}
خطا	۴۸	۰/۰۶

اعداد داخل پرانتز مقدار Eta^2_p {ss_{effect} / (ss_{effect} + ss_{error})}را نشان می‌دهد.

^{ns}و ** به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ می‌باشد.

مقایسه میانگین کادمیم عصاره‌گیری‌شده با DTPA تحت تأثیر بیوچار در شکل ۱-الف نشان داده شده است. میانگین کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در تیمار بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس نسبت به تیمارهای شاهد (۱۵/۸٪) و ماده اولیه (۱۴/۱٪) کاهش معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) یافت.(2017) .Ali et al بیان کردند کاربرد بیوچار بامبو در خاک لوم شنی آلوده ناشی از کارخانه با pH=۷/۷ و در خاک لوم رسی آلوده معدن با pH=۸/۱ قابلیت استفاده سرب، مس و کادمیم را کاهش داد. آنان علت را به سطح جذب بالای بیوچار بامبو به‌علت داشتن گروه‌های فنلی، OH- ، COOH- و C=N نسبت دادند (2017).He at al بیان کردند کاربرد بیوچار کاه و کلش برنج ۲ تا ۴ درصد وزنی- وزنی در یک خاک (سدیمی) آلوده به کادمیم باpH=۸/۹۴ باعث کاهش کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA شد.

مقایسه میانگین کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA تحت تأثیرخاک در شکل ۱-ب نشان داده شده است. میانگین کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در خاک شنی نسبت به خاک رسی بیشتر بود ($p<۰/۰۵$).



شکل۱- مقایسه میانگین کادمیم قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) تحت تأثیر بیوچار (الف) وخاک (ب)

خطای استاندارد به صورت خطوط عمودی نشان داده شده است.

حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارها بر اساس آزمون LSD هستند.

Control: شاهد؛ B0: ماده اولیه؛ B600: بیوچار تهیه شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد کاربرد بیوچار باگاس نیشکر موجب کاهش ($p<۰/۰۵$) کادمیم قابل استفاده شد. بیوچار و خاک تأثیری بر pH و قابلیت هدایت الکتریکی تیمارها نداشتند. بنابراین بیوچار به‌علت داشتن تخلخل، سطح ویژه، ظرفیت تبادل کاتیونی بالا و گروه های عاملی باعث کاهش تحرک فلزات سنگین می‌شود.

فهرست منابع

1. Adriano, D.C. (1986). Trace Elements in the terrestrial environment. Springer, New York,NY. p.533.
2. Ali, A., Guo, D., Zhang, Y., Sun, X., Jiang, S., Guo, Z., Huang, H., Liang, W., Li, R., Zhang .and Z. (2017). Using bamboo biochar with compost for the stabilization and phytotoxicity reduction of heavy metals in mine-contaminated soils of China. Scientific Reports. 7(1),2690.
3. Azadi, N. and Raiesi, F. (2021). Salinity-induced changes in cadmium availability affect soil microbial and biochemical functions: Mitigating role of biochar. Chemosphere, p.129924.
4. Brunauer, S., Emmett, P.H. and Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. Journal of the American Chemical Society. 60(2),309-319.
5. Cheng, J., Li, Y., Gao, W., Chen, Y., Pan, W., Lee, X. and Tang, Y. (2018). Effects of biochar on Cd and Pb mobility and microbial community composition in a calcareous soil planted with tobacco. Biology and Fertility of Soils. 54: 373-383.
6. Gee, G.W. and Bauder ,J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute, A. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part l. 2nd edition.Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin. pp. 404-407.
7. He,T., Meng,J., Chen,W., Liu,Z., Cao,T.,Cheng,X., Huang,Y. and Yang,X. (2017). Effects of Biochar on Cadmium Accumulation in Ricen and Cadmium Fractions of Soil: A Three-Year Potn Experiment. BioResources.Com. 12(1), 622-642.
8. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.
9. Lehmann, J. and Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management. Science and Technology, Earthscan. London, UK, 907p.
10. Liang, J., Yang, Z., Tang ,L., Zeng, G., Yu, M., Li, X., Wu, H., Qian, Y., Li ,X. and Luo, Y. (2017). Changes in heavy metal mobility and availability from contaminated wetland soil remediated with combined biochar-compost. Chemosphere .181:281-288.
11. Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. 78(2),154p.LWW.
12. Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison. pp. 417-435.
13. Sposito, G., Lund, L.J. and Chang, A.C. (1982). Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 260-265.
14. Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison. pp. 475-490.
15. Uchimiya, M., Wartelle, L.H., Klasson, K.T., Fortier, C.A. and Lima, I.M. (2011). Influence of pyrolysis temperature on biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil. Agric. Food Chem. 59:2501–2510
16. Yang, X., Lu, K.., McGrouther, K.., Che, L., Hu, G., Wang, Q., Liu, X., Shen, L., Huang, H., Ye, Z. and Wang, H. (2017). Bioavailability of Cd and Zn in soils treated with biochars derived from tobacco stalk and dead pigs. J. Soils Sediments. 17:751-762.

The effect of sugarcane bagasse biochar on of cadmium available in two contrasted soils

Elnaz Mirzakhani [1], Hamid Reza Motaghian [2], Alireza Hosseinpour [3]

1- Author responsible student, Master of Soil Chemistry and Fertility, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, ELNAZ.MIRZAKHANI2014@yahoo.com

2- Associate Professor, Soil Chemistry and Fertility Department, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Motaghian.h@yahoo.com

3- Professor of Soil Chemistry and Fertility Department, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, alirezahosseinpur1347@gmail.com

Abstract

The spread of heavy metals in the soil has reduced microbial activity and oil fertility and harm to organisms through the food chain. Recently, biochar has been widely used to reduce the toxicity of heavy metals. Therefore, in order to investigate the effects of sugarcane bagasse biochar on the Cd available in two contrasted texture contaminated soils (15 mg / kg Cd), experimental in a completely randomized design including biochar factor with control levels, 1%(w / w) bagasse, 1% (w / w) biochar 600 °C and soil factor including clay and sand were done in 3 replications. The amount of Cd available was determined by DTPA method. Biochar reduced Cd extracted by DTPA ($p < 0.05$) while effect of biochar on pH and EC wasnot significant ($p > 0.05$). Cadmium extracted by DTPA was higher in sandy soil than in clay soil. The mean of Cd extracted with DTPA in 600 °C biochar treatment was significantly reduced ($p < 0.05$) compared to control (15.8%) and raw material (14.1%) treatments. Therefore, due to its unique physical and chemical properties, biochar reduces the pollution and toxicity of heavy metals in the soil.

Keywords: Biochar, cadmium, available.

تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های زیستی در یک خاک آهکی آلوده به سرب

چکیده

کاربرد بیوچار روش مناسبی برای مدیریت پسماندهای آلی، ترسیب کربن در خاک و بهبود اکولوژیکی سطح حاصل‌خیزی و کیفیت خاک می‌باشد. مصرف این بهساز آلی می‌تواند موجب کاهش تنش‌های غیرزیستی بر جامعه میکروبی خاک گردد، اما اثر این بهساز بر شاخص‌های زیستی در خاک‌های آهکی تحت تنش آلودگی به فلزات سمی کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین، هدف این پژوهش ارزیابی اثر بیوچار باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های زیستی در یک خاک آهکی آلوده به سرب بود. این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی، در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار خاک اصلاح‌نشده با بیوچار، اصلاح‌شده با باگاس، اصلاح‌شده با بیوچار ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس (به میزان ۱٪) هر کدام در ۳ تکرار به مدت ۱۲۰ روز اجرا شد. نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار باگاس نیشکر با کاهش نسبی غلظت سرب قابل دسترس موجب کاهش اثر سمیت این عنصر بر فعالیت، زیست‌توده و فراوانی جمعیت میکروبی خاک گردید و با افزایش کربن آلی و فراهم نمودن سوبسترای میکروبی باعث بهبود شاخص‌های زیستی خاک شد. بنابراین با توجه به نقش مثبت بیوچار در افزایش ماده آلی و نیز کاهش تحرک سرب، کاربرد این بهساز آلی برای کاهش آثار منفی تنش ناشی از این فلز سمی، بهبود وضعیت میکروبیولوژیکی و افزایش کیفیت خاک‌های آلوده به سرب پیشنهاد می‌گردد.

کلمات کلیدی: آلودگی سرب، بیوچار باگاس، جمعیت میکروبی، دمای گرماکافت

مقدمه

ریزجانداران خاک نقش مؤثری در بسیاری از خصوصیات و فرآیندهای مهم خاک دارند به گونه‌ای که می‌توان از موجودات زنده و عملکرد آن‌ها به‌عنوان شاخص‌هایی حساس برای ارزیابی عملکرد، سلامت و کیفیت خاک استفاده نمود (Bunemann *et al.*, 2018). با این حال، ریزجانداران خاکزی در معرض انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی در محیط خاک قرار دارند. آلودگی خاک سطحی به فلزات سمی از جمله تنش‌های مهم و متداول رو به گسترش در خاک است که عمدتاً به دلیل دخالت انسان از جمله فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی است (Kızılkaya *et al.*, 2004). سرب (Pb^{2+}) از جمله فلزات سمی است که فاقد نقش زیستی مشخص در سلول موجودات زنده است و به‌عنوان یکی از پایدارترین آلاینده‌های محیط‌زیست شناخته شده است (Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007). این فلز همانند سایر فلزات سمی با از بین بردن ریزجانداران خاکزی، خارج‌نمودن سوبسترا از دسترس آن‌ها و ایجاد کمپلکس با سوبسترای مورد نیاز آنزیم‌ها می‌تواند فراوانی، تنوع و عملکرد جمعیت میکروبی خاک را تحت تأثیر قرار دهد و منجر به کاهش فراوانی و فعالیت جمعیت میکروبی و آنزیمی خاک گردد (Vig *et al.*, 2003; Cheng *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2018). با توجه به اینکه برخی از خاک‌های مناطق مختلف جهان، به‌ویژه مناطق خشک و نیمه خشک، به درجات مختلف آلوده به فلزات سمی است، امروزه ارائه راهکاری مطمئن و عملی که ضمن کاهش آثار منفی این تنش، کم هزینه، نسبتاً سریع و آثار جانبی نامطلوب برای سلامت محیط‌زیست نداشته باشد، ضروری است. مصرف بیوچار به‌عنوان یک ماده آلی غنی از کربن و با داشتن ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاص و از طریق مکانیسم‌های گوناگون می‌تواند به‌عنوان یک راهکار کارآمد و مؤثر جهت کاهش آثار

منفی تنش‌های محیطی و بهبود ویژگی‌های زیستی خاک مورد استفاده قرار گیرد. بیوچار با ساختار بسیار متخلخل، حضور گروه‌های عامل مختلف و فراوان، سطح ویژه و گنجایش تبادل کاتیونی (CEC) بالا، منبع مواد مغذی، زیستگاه مناسب برای سکونت، رشد و تکثیر میکروب‌ها، کاهش مقاومت کششی خاک و نفوذ بهتر ریشه توانایی ویژه‌ای در بهبود ویژگی‌های خاک، ترسیب کربن (کربن‌اندوزی)، ارتقاء حاصلخیزی و رشد گیاه و اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سمی دارد (Lehmann *et al.*, 2011; Jaafar *et al.*, 2014; khadem and Raiesi, 2017; Bashir *et al.*, 2018). بررسی انجام شده توسط Cheng *et al.* (2018) روی تأثیر سطوح مختلف بیوچار (۵-۰ درصد وزنی) تهیه‌شده از ساقه تنباکو بر زیست‌فراهمی سرب و جمعیت میکروبی در یک خاک آهکی نشان داد که بیوچار (به‌ویژه ۵ درصد) با داشتن مواد مغذی بالا موجب افزایش کربن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم کل و تغییر جمعیت باکتریایی خاک می‌شود. همچنین نتایج آن‌ها نشان داد که کاربرد ۵ درصد بیوچار موجب کاهش ۱۴ درصدی سرب استخراج‌شده با عصاره‌گیر DTPA شد. علاوه بر این خلل و فرج زیاد موجود در بیوچار می‌تواند ریزجانداران را از شکارشدن توسط شکارچی‌هایی مانند پروتوزوآها و نماتدها محافظت نماید. همچنین با نگهداری مقدار زیاد رطوبت موجب افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و با حل‌شدن گازهایی از جمله دی‌اکسید کربن و اکسیژن در آب موجود در خلل و فرج شرایط هوازی و غیرهوازی در خلل و فرج بیوچار به‌وجود می‌آید و این شرایط جمعیت میکروبی موجود در خلل و فرج را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Thies and Rillig, 2009). با توجه به اینکه تنش‌های ناشی از آلودگی فلزات سمی در ایران در حال گسترش است، پژوهش‌هایی به منظور بهسازی خاک‌های آلوده آغاز شده است اما اطلاعات محدودی در مورد تأثیر بیوچار باگاس نیشکر بر فعالیت جمعیت میکروبی در خاک‌های آلوده به فلزات سمی در دسترس است. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر فعالیت و فراوانی جمعیت میکروبی در یک خاک آلوده به سرب بود.

مواد و روش‌ها

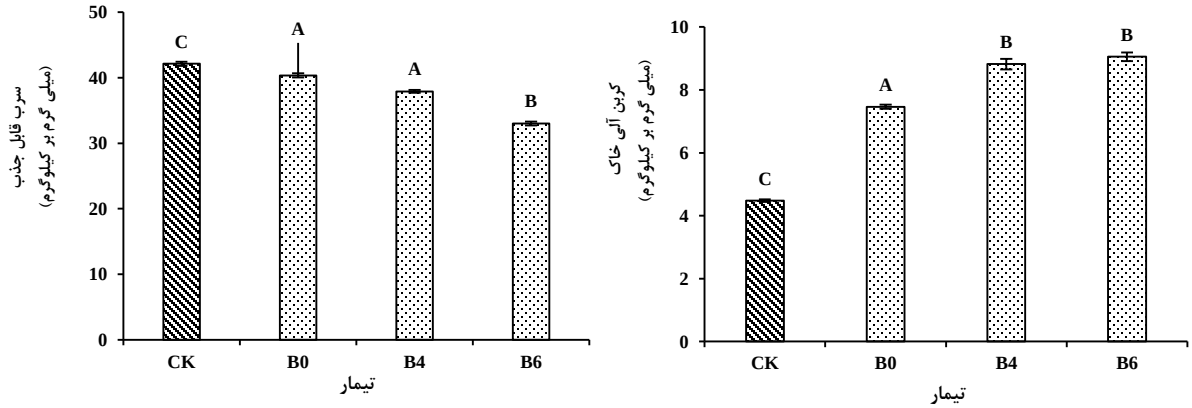
خاک مورد استفاده در این پژوهش از لایه سطحی (صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) دشت شهرکرد نمونه‌برداری گردید. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه منتقل و به مدت یک هفته هوا خشک شدند. سپس ۳ زیر نمونه خاک برای تعیین ویژگی‌های اولیه برداشت گردید. نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ گزارش شده است. بیوچار مورد استفاده در این پژوهش باگاس نیشکر به‌عنوان ماده خام اولیه بود که از مجتمع‌های تولید نیشکر تهیه و پس از شست‌شو به‌مدت یک هفته متوالی هوا خشک گردید. پس از آسیاب‌نمودن و عبور از الک ۲ میلی‌متری در داخل ظروف درپوش‌دار مخصوص در داخل کوره در دو دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس و با روش گرماکافت آهسته طی ۲ ساعت به مقدار کافی تهیه شد (Khadem and Raiesi, 2017). سپس ۳ زیر نمونه از هر کدام تهیه و مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت. مواد فرار، درصد خاکستر (Crombie *et al.*, 2013)، میزان کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن و گوگرد با استفاده از دستگاه آنالیزگر CHNSO (Uchimiya *et al.*, 2011) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های بیوچارهای تولید شده نیز در جدول ۱ گزارش شده است. این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی، در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تیمار خاک بدون مصرف بقایای خام و یا بیوچار باگاس نیشکر به‌عنوان شاهد منفی (CK)، مصرف یک درصد بقایای خام باگاس نیشکر به‌عنوان شاهد مثبت (B0)، مصرف یک درصد بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (B4) و یک درصد بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (B6) در ۳ تکرار در جارهای پلاستیکی یک لیتری (در مجموع ۱۲ جار) اجرا شد. برای اعمال آلودگی سرب در سطح ۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، مقادیر لازم سرب از نمک کلرید سرب به خاک اضافه و به‌طور کامل با خاک مخلوط گردید و به‌منظور نزدیک‌شدن خاک‌های تیمار شده به شرایط آلودگی به‌مدت یک ماه در داخل ظروف در شرایط آزمایشگاه قرار داده شدند. در ادامه یک درصد بیوچار (۱۰ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک) به خاک اضافه و به‌طور کامل مخلوط گردید. به‌منظور نزدیک‌شدن خاک‌های تیمار شده

به شرایط طبیعی و نیز فعال‌شدن مجدد جامعه میکروبی به‌مدت ۳ هفته در دمای معمولی محیط پیش‌انکوباسیون شدند. در ادامه نمونه‌ها داخل انکوباتور و در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت آن‌ها در محدوده ۷۰-۶۰ درصد ظرفیت مزرعه نگهداری شد و تا پایان دوره آزمایش (۱۲۰ روز) به‌صورت وزنی کنترل گردید. پس از ۴ ماه انکوباسیون سرب قابل جذب (Lindsay and Norvell, 1978)، کربن زیست‌توده میکروبی، تنفس پایه میکروبی، شمارش جمعیت میکروبی (Alef and Nannipieri, 1995) و شمارش نماتد (Gooris and d'Herde, 1972) اندازه گیری شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Minitab 18.1 انجام شد. برای بررسی مقایسه میانگین‌ها از آزمون Tukey در سطح ۰/۰۵ =α استفاده گردید.

نتایج و بحث

اثر دمای گرماکافت بر ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد بهساز آلی میزان کربن آلی خاک (SOC) را بین ۶۶ تا ۱۰۲ درصد در مقایسه با شاهد (خاک بدون کاربرد بهساز آلی) افزایش داد (شکل ۱). بالاترین میزان SOC در بیوچار با دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس (۹/۱ گرم بر کیلوگرم) به دلیل داشتن محتوای بالای کربن مشاهده گردید و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد (۴/۵ گرم بر کیلوگرم) اندازه‌گیری شد.



شکل ۱. تأثیر بهسازهای آلی (CK، شاهد منفی، B0، بقایای خام باگاس نیشکر به‌عنوان شاهد مثبت؛ B4 و B6 به‌ترتیب بیوچارهای فرآوری‌شده در دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس) بر ویژگی‌های شیمیایی خاک. میانگین‌هایی (n=۳) که فاقد یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون Tukey در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

همچنین نتایج نشان داد که باگاس خام و بیوچارهای تهیه شده از آن موجب کاهش ۲۲-۴ درصدی سرب قابل دسترس در مقایسه با شاهد گردید (شکل ۱). کاربرد باگاس خام و بیوچارهای با دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس به ترتیب ۴، ۱۰ و ۲۲ درصد غلظت سرب قابل دسترس را در مقایسه با شاهد کاهش داد (شکل ۱). همچنین کاهش غلظت سرب قابل دسترس در تیمار بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (۲۲ درصد) بیشتر از بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (۱۰ درصد) بود. علاوه بر این نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار (۲۲-۱۰ درصد) بیشتر از باگاس خام (۴ درصد) غلظت سرب قابل دسترس را در خاک کاهش داد. نتایج سایر بررسی‌ها نیز نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار موجب کاهش سرب قابل دسترس در خاک می‌شود (Uchimiya *et al.*, 2011; Nie *et al.*, 2018; Xu *et al.*, 2018). بیوچار با داشتن سطح ویژه بالا، ساختار متخلخل، محتوای کربن و افزایش CEC خاک و با مکانیسم‌هایی از قبیل جذب سطحی (اختصاصی و غیراختصاصی)، تبادل کاتیونی، تشکیل کمپلکس و هم‌رسوبی موجب کاهش قابلیت دسترسی فلزات سمی در خاک می‌شود (Uchimiya *et al.*, 2011; Nie *et al.*, 2018; Bashir *et al.*, 2018).

اثر بیوچار و دمای گرماکافت بر شاخص‌های زیستی

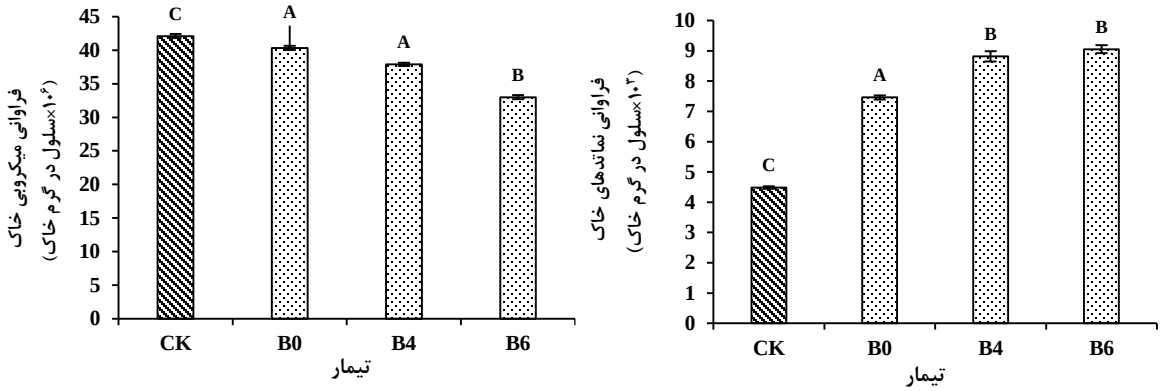
فراوانی، فعالیت و عملکرد ریزجانداران خاکزی از جمله شاخص‌های مهم برای ارزیابی کیفیت و سلامت خاک محسوب می‌شوند. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد بهساز آلی میزان تنفس پایه میکروبی (MBR) خاک را بین ۳۰ تا ۵۹ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد (جدول ۲). باگاس خام (۵۹ درصد) با داشتن درصد بالای مواد فرار و سوبسترای زود تجزیه‌پذیر، بیشتر از بیوچار (۴۴-۳۰ درصد) میزان MBR خاک را افزایش داد (جدول ۲). کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) یکی دیگر از ویژگی‌های زیستی خاک است که تحت تأثیر بهساز آلی قرار گرفته است و افزودن بهسازهای آلی میزان MBC خاک را بین ۳۲ تا ۸۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. بالاترین میزان افزایش MBC (۸۵ درصد) در خاک تیمار شده با باگاس خام مشاهده شد و کمترین میزان افزایش MBC (۶۰-۳۲ درصد) در خاک تیمار شده با بیوچار بود (جدول ۲). بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (۶۰ درصد) بیشتر از بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (۳۲ درصد) موجب افزایش MBC خاک شد (جدول ۲). کاربرد بهساز آلی با کاهش قابلیت دسترسی سرب (شکل ۱) و فراهمی سوبسترای مورد نیاز جامعه میکروبی (شکل ۱) موجب تعدیل اثر آلودگی سرب بر زیست‌توده میکروبی خاک می‌گردد. ضریب متابولیکی (qCO_2) یا ضریب ویژه تنفسی (میزان تنفس میکروبی به ازای هر واحد زیست‌توده میکروبی) به عنوان یک شاخص نیاز انرژی در شرایط تنش (Anderson and Domsch, 2010)، با کاربرد بهسازهای آلی بین ۲ تا ۱۴ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. علاوه بر این نتایج نشان داد که بیوچار ۴۰۰ درجه سلسیوس (۱۰ درصد) بیشتر از بیوچار ۶۰۰ درجه سلسیوس (۲ درصد) میزان qCO_2 خاک را کاهش داد. کاهش میزان qCO_2 در خاک تیمار شده با بیوچار نشان می‌دهد که این بهساز آلی می‌تواند با کاهش حلالیت و فراهمی سرب قابل دسترس و نیز افزایش ماده آلی و فراهم سازی سوبسترای مورد نیاز جمعیت میکروبی موجب کاهش آثار تنش ناشی از این فلز و افزایش راندمان میکروبی خاک گردد.

جدول ۲. تأثیر بهسازهای آلی بر تنفس پایه میکروبی، کربن زیست‌توده میکروبی و ضریب ویژه تنفسی. اعداد میانگین به‌همراه خطای استاندارد (SE) می‌باشند.

مواد بهساز	تنفس پایه میکروبی ($mg\ C\ kg^{-1}\ day^{-1}$)	کربن زیست‌توده میکروبی ($mg\ kg^{-1}$)	ضریب ویژه تنفسی ($\mu g\ CO_2\ mg^{-1}\ MBC\ day^{-1}$)
شاهد	۴/۰±۰/۰۳^{d}	۱۲۵/۸±۲/۵^{d}	۳۲/۱±۰/۵^{a}
باگاس نیشکر	۶/۴±۰/۰۹^{a}	۲۳۲/۸±۲/۶^{a}	۲۷/۶±۰/۳^{b}
بیوچار ۴۰۰ °C	۵/۸±۰/۰۵^{b}	۲۰۱/۷±۷/۷^{b}	۲۹/۰±۱/۳^{b}
بیوچار ۶۰۰ °C	۵/۳±۰/۰۸^{c}	۱۶۶/۲±۴/۳^{c}	۳۱/۶±۰/۳^{a}

میانگین‌هایی (n=۳) که فاقد یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون **Tukey** در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج این مطالعه نشان داد که افزودن بهساز آلی فراوانی جمعیت میکروبی و نماتدهای خاک را به ترتیب ۱۰۷ و ۸۰ درصد افزایش داد (شکل ۲). کاربرد مواد بهساز با افزایش کربن آلی خاک (شکل ۱) موجب افزایش فراوانی و فعالیت جمعیت میکروبی خاک می‌گردد (Khadem and Raiesi, 2017). همچنین نتایج حاکی است که کاربرد باگاس خام بیشتر از بیوچارهای تهیه شده از آن موجب افزایش فراوانی جمعیت میکروبی و نماتدهای خاک شد (شکل ۲). با افزایش دمای گرماکافت و کاهش مواد آلی ساده قابل دسترس برای جمعیت میکروبی، زیست‌توده میکروبی نیز کاهش یافته (جدول ۲) و به تبع آن با کاهش فراوانی میکروبی مواد غذایی قابل دسترس برای نماتدهای میکروب‌خوار خاک نیز کاهش و از این رو فراوانی آن‌ها کم شده است. همچنین با افزایش دمای گرماکافت و افزایش درصد تخلخل ریز بیوچار، میکروب‌های خاک با اندازه کوچک‌تر در این منافذ مستقر شده و از دسترس نماتدها خارج شده، بنابراین تغذیه این جانداران تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Khadem and Raiesi, 2017).



شکل ۲. تأثیر بهسازهای آلی (CK، شاهد منفی، B0، بقایای خام باگاس نیشکر به‌عنوان شاهد مثبت؛ B4 و B6 به‌ترتیب بیوچارهای فرآوری‌شده در دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس) بر فراوانی جمعیت میکروبی و نماتدهای خاک. میانگین‌هایی (n=۳) که فاقد یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون Tukey در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتیجه‌گیری

یافته های این تحقیق آزمایشگاهی نشان داد که کاربرد بیوچار در خاک‌های آلوده به سرب به‌طور مستقیم (افزایش سوبسترای قابل دسترس) و غیرمستقیم (کاهش سمیت فلز سرب) نقش بسیار مهمی در کاهش پیامد منفی ناشی از تنش این آلاینده بر جامعه میکروبی خاک دارد. از این رو با توجه به اهمیت نقش تغذیه‌ای و زیست‌محیطی بیوچار باگاس نیشکر برای جامعه میکروبی و کیفیت خاک‌های آلوده به فلزات سمی توصیه می‌گردد از این ماده اصلاحی جهت اصلاح و بهبود وضعیت میکروبیولوژیکی خاک و افزایش مواد آلی خاک‌های تحت تنش آلودگی که سطح مواد آلی آن‌ها بحرانی است، استفاده گردد.

فهرست منابع

Alef K. and Nannipieri P. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press. pp. 214–216.

Anderson T.H. and Domsch K.H. (2010). Soil Microbial Biomass: the Eco-physiological Approach. Soil Biology and Biochemistry. 42(12), 2039-2043.

Bashir, S., Hussain, Q., Akmal, M., Riaz, M., Hu, H., Ijaz, S.S., Iqbal, M., Abro, S., Mehmood, S., Ahmad, M. (2018). Sugarcane Bagasse-derived Biochar Reduces the Cadmium and Chromium Bioavailability to Mash Bean and Enhances the Microbial Activity in Contaminated Soil. Soils and Sediments. 18(3), 874–886.

Bunemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M. (2018). Soil Quality–A critical Review. Soil Biology and Biochemistry. 120, 105-125.

Cheng, J., Li, Y., Gao, W., Chen, Y., Pan, W., Lee, X., Tang, Y. (2018). Effects of Biochar on Cd and Pb Mobility and Microbial Community Composition in a Calcareous Soil Planted with Tobacco. Biology and Fertility of Soils. 54, 373-383.

Crombie, K., Masek, O., Sohi, S.P., Brownsort, P., Cross, A. (2013). The Effect of Pyrolysis Conditions on Biochar Stability as Determined by Three Methods. Global Change Biology Bioenergy. 5, 122-131.

Gooris, J. and d'Herde, C.J. (1972). A Method for the Quantitative Extraction of Eggs and Second Stage Juveniles of *Meloidogyne* spp from soil. State Nematology and Entomology Research Station, Merelbeke, Belgium.

Jaafar, N.M., Clode, P.L., Abbott, L.K. (2014). Microscopy Observations of Habitable Space in Biochar for Colonization by Fungal Hyphae from Soil. Integrative Agriculture. 13, 483-490.

Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A.B. (2007). Trace Elements from Soil to Human. Springer Science. Heidelberg. 550p.

Khadem, A. and Raiesi. F. (2017). Responses of Microbial Performance and Community to Corn Biochar in Calcareous Sandy and Clayey Soils. Applied Soil Ecoogy. 114, 16–27.

Kızılkaya, R., Askın, T., Bayraklı, B., Saglam, M. (2004). Microbiological Characteristics of Soils Contaminated with Heavy Metals. European Journal of Soil Biology. 40, 95-102.

Lehmann, J.M.C., Rillig, J., Thies, C.A., Masiello, W., Hockaday, C., Crowley, D. (2011). Biochar Effects on Soil Biota: A review. Soil Biology and Biochemistry. 43, 1812-1836.

Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese, and Copper. Soil Science Society of America Journal. 42(3), 421-428.

Nie, C., Yang, X., Niazi, N.K., Xu, X., Wen, Y., Rinklebe, J., Ok, Y.S., Xu, S., Wang. H. (2018). Impact of Sugarcane Bagasse-derived Biochar on Heavy Metal Availability and Microbial Activity: a Field Study. Chemosphere. 200, 274–282.

Vig, K., Megharaj, M., Sethunathan, N., Naidu, R. (2003). Bioavailability and Toxicity of Cadmium to Microorganisms and their Activities in Soil: A review. Advances in Environmental Research. 8, 121-135.

Xu, Y., Seshadri, B., Sarkar, B., Wang, H., Rumpel, C., Sparks, D., Farrell, M., Hall, T., Yang, X., Bolan, N. (2018). Biochar Modulates Heavy Metal Toxicity and Improves Microbial Carbon use Efficiency in Soil. Science of the Total Environment. 621, 148-159.

The effect of sugarcane bagasse biochar on some bioindicators in a lead-polluted calcareous soil

Abstract

Biochar application is a suitable practice for organic waste management, carbon sequestration in soil, and ecological improvement of the soil fertility level and soil quality. Application of this organic amendment can lower the effects of abiotic stresses on soil microbial community, yet, the effect of this organic amendment on the key soil bioindicators under the stresses induced by toxic metals has been less studied in calcareous polluted soils. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of sugarcane bagasse biochar on some bioindicators in a lead-contaminated calcareous soil. This study was conducted under laboratory conditions using a completely randomized design with 4 treatments of soils unamended with biochar, amended with uncharred bagasse, 400 ^{o}C biochar, and 600 ^{o}C biochar at 1% (w/w) each replicated three times for 120 days. Results showed that addition of sugarcane bagasse biochar alleviated the effect of lead toxicity on the activity, biomass and abundance of soil microbial population by reducing the concentration of available lead, and enhanced soil bioindicators by increasing the content of soil organic carbon and providing microbial substrate for microbial community. Therefore, due to the positive role of biochar in increasing soil organic matter and reducing lead mobilization, this organic amendment is recommended to reduce the negative effects of lead toxicity, to improve the microbiological status and to increase the quality of calcareous soils contaminated with lead.

Keywords: Lead pollution, Bagasse biochar, Microbial community, Pyrolysis temperature

مکانیسم آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی از برخی خاک‌های آهکی استان فارس به‌وسیله محلول‌های مختلف

مهدی نجفی قیری[۱]، حمید رضا بوستانی[۲]

[۱]دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، آدرس الکترونیکی: mnajafighiri@yahoo.com

[۲] دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

چکیده

پتاسیم غیرتبادلی در خاک‌های مناطق خشک می‌تواند آزاد شده و بخشی از نیاز گیاه به پتاسیم را تأمین کند. هدف از این مطالعه، بررسی مکانیسم آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی توسط محلول‌های مختلف از چند خاک آهکی استان فارس بود. شش نمونه خاک سطحی ده بار به‌صورت متوالی با محلول‌های ۰/۰۲۵ مولار کلرید کلسیم، اسید کلریدریک، اسید اگزالیک و اسید سیتریک مورد عصاره‌گیری قرار گرفتند و غلظت پتاسیم، کلسیم و آلومینیم در عصاره‌های حاصل اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که خاک‌های دارای رس بیشتر، پتاسیم بیشتری آزاد کردند. اسید اگزالیک و سیتریک (به‌ترتیب ۱۳۰ و ۱۲۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) دارای توانایی بیشتری نسبت به اسید کلریدریک و کلرید کلسیم (به‌ترتیب ۹۹ و ۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در استخراج پتاسیم از خاک‌های مختلف بودند. اسید اگزالیک و سیتریک از طریق انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار سبب آزادسازی پتاسیم شدند در حالی‌که مکانیسم اصلی آزادسازی پتاسیم به‌وسیله کلرید کلسیم، تبادل کاتیونی بود. اسید کلریدریک در خاک‌های دارای کربنات کلسیم زیاد از طریق تبادل کاتیونی (کلسیم انحلال یافته) و در خاک‌های دارای کربنات کلسیم کم از طریق دو مکانیسم تبادل کاتیونی و انحلال کانی‌ها سبب آزادسازی پتاسیم شد.

واژگان کلیدی: انحلال کانی‌ها، تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم، آزادسازی آلومینیم

مقدمه

به‌طورکلی پتاسیم در خاک به چهار شکل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختمانی وجود دارد. شکل محلول و تبادلی، قابل استفاده گیاه می‌باشند در حالی‌که شکل غیرتبادلی به‌کندی قابل استفاده و شکل ساختمانی غیرقابل استفاده گیاه می‌باشد. خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای مقدار زیادی کانی‌های پتاسیم‌دار هستند که در صورت کاهش مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک، می‌توانند مقداری از پتاسیم غیرتبادلی را جهت جذب گیاه آزاد کنند. جهت بررسی توانایی خاک‌های مختلف در آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک از عصاره‌گیرهای مختلفی مانند محلول‌های نمکی، اسیدهای معدنی، اسیدهای آلی و ... استفاده شده است (Najafi-Ghiri et al. 2019). این محلول‌ها دارای توانایی‌های مختلفی جهت عصاره‌گیری پتاسیم غیرتبادلی خاک هستند و به‌نظر می‌رسد این به‌دلیل واکنش‌های مختلفی باشد که این محلول‌ها با اجزای خاک دارند.

اسیدهای معدنی می‌توانند پتاسیم خاک را از طریق تبادل یون هیدروژن با پتاسیم بین لایه‌ای و یا انحلال کانی‌های خاک آزاد کنند (Gil- Sotres and Rubio 1992). اسیدهای آلی با وزن ملکولی کم مانند اسیدهای اگزالیک و سیتریک نیز از تجزیه ترکیبات آلی و ترشحات میکروبی و ریشه در خاک بوجود آمده و می‌توانند سبب انحلال کانی‌های خاک و آزادسازی عناصر از آنها شوند (Ramos et al. 2014; Shu-Xin et al. 2007).

با توجه به کاهش مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک‌های ایران در سالیان اخیر به‌دلیل کشاورزی فشرده و عدم کاربرد مناسب کودهای پتاسیم‌دار، برخی خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک جنوب ایران دچار کمبود پتاسیم شده‌اند. برخی از خاک‌ها دارای مقدار قابل توجهی پتاسیم به شکل غیرتبادلی هستند که می‌توانند آزاد شوند. هدف از این مطالعه بررسی مقایسه خاک‌های با ویژگی‌های مختلف از نظر شکل‌های مختلف پتاسیم و آزادسازی پتاسیم غیرتبادلی و همچنین مقایسه توانایی عصاره‌گیرهای مختلف در استخراج پتاسیم خاک و مکانیسم‌های این عصاره‌گیرها در آزادسازی پتاسیم بود.

مواد و روش‌ها

بر اساس پژوهش‌های قبلی، شش خاک آهکی که در استان فارس گسترده‌تر بودند انتخاب و از افق‌های سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) با کمک مته نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها پس از خشک شدن و الک کردن به آزمایشگاه منتقل شدند. برخی ویژگی‌های فیزکی و شیمیایی شامل توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و کربنات کلسیم معادل اندازه‌گیری گردید (*Sparks et al., 1996*). شکل‌های مختلف پتاسیم شامل پتاسیم محلول (در عصاره اشباع)، تبادلی (با سه بار عصاره‌گیری با استات آمونیم یک نرمال پ‌هاش ۷)، غیرتبادلی (با عصاره‌گیری با اسید نیتریک یک نرمال جوشان)، کل (با عصاره‌گیری با اسید فلوریدریک) نیز در همه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (*Helmke et al., 1996*).

جهت کانی‌شناسی بخش رس خاک‌ها نیز از روش (*Mehra & Jackson, 1960*) استفاده شد. در این روش پس از حذف کربنات‌ها با استات سدیم پ‌هاش ۵، مواد آلی با آب اکسیژنه و اکسیدهای آهن و منگنز با دیتیونات سیترات بیکربنات در حمام بخار در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و جداسازی بخش رس خاک، تیمارهای مختلف روی نمونه‌های رس انجام و سپس به روش پراش پرتو ایکس نمونه‌ها مورد آنالیز قرار گرفتند.

جهت بررسی قدرت آزادسازی پتاسیم خاک ابتدا نمونه‌ها با کلسیم اشباع شدند تا پتاسیم محلول و تبادلی حذف شوند (*Jalali, 2005*). جهت این کار، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت با محلول کلرید کلسیم یک مولار شیک و سپس شسته شدند. از محلول‌های ۰/۰۲۵ مولار کلرید کلسیم، اسید کلریدریک، اسید اگزالیک و اسید سیتریک جهت عصاره‌گیری پتاسیم غیرتبادلی خاک استفاده شد. به دو گرم از نمونه‌های خاک، ۲۰ میلی‌لیتر از محلول عصاره‌گیر اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه شیک شد. سپس نمونه‌ها صاف و غلظت پتاسیم، کلسیم و آلومینیم در عصاره زلال اندازه‌گیری گردید. مجدداً ۲۰ میلی‌لیتر محلول تازه به نمونه‌ها اضافه و این مراحل ۱۰ بار تکرار شد.

جهت آنالیز آماری نمونه‌ها از نرم افزار *SPSS 20.0* استفاده شد. آنالیز واریانس انجام گردید و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون *Tukey HSD post hoc* در سطح معنی‌داری ۵ درصد استفاده شد. همه اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار انجام شد.

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است. خاک‌های مورد مطالعه دارای تنوع زیادی از نظر ویژگی‌های مختلف بوده و به راسته‌های ورتی‌سولز و انتی‌سولز تعلق داشتند. همه خاک‌ها بجز خاک ۱ (۳ درصد کربنات کلسیم معادل) شدیداً آهکی بوده و مقدار کربنات کلسیم معادل در آنها از ۲۷ تا ۵۶ درصد متغیر بود. مقدار رس در خاک‌های مورد مطالعه نیز دارای دامنه وسیع و از ۹ تا ۵۱ درصد متغیر بود. خاک‌های مورد مطالعه دارای شوری کم بوده و قابلیت هدایت الکتریکی در آنها کمتر از ۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. مقدار ماده آلی نیز از کمتر از ۱ درصد در خاک‌های ۴ و ۶ تا ۱/۷ درصد در خاک ۳ متغیر بود.

مطالعات کانی‌شناسی بخش رس‌های خاک‌های مورد مطالعه نشان داد که تفاوت قابل ملاحظه‌ای از نظر مقدار و نوع رس‌ها بین خاک‌ها وجود دارد. مهمترین کانی‌های موجود در این خاک‌ها، اسمکتیت، ایلیت، کلریت، پالیگورسکیت و کوارتز بودند.

خاک‌های ۱ و ۳ دارای مقدار قابل ملاحظه اسمکتیت بودند در حالی‌که خاک ۴ مقدار زیادی ایلیت داشت. پالیگورسکیت به‌عنوان یک کانی خاص مناطق خشک و نیمه‌خشک، در خاک‌های ۲، ۴، ۵ و ۶ مشاهده گردید. ایلیت در همه خاک‌ها به مقدار متوسط یافت شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و رده‌بندی خاک‌های مورد مطالعه

شماره خاک	رده بندی خاک (USDA)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	پ‌هاش	EC ($dS\ m^{-1}$)	ماده آلی (٪)	CCE (٪)	CEC ($cmol\ kg^{-1}$)	کانی‌شناسی رس
۱	Haploxererts	۱۳	۳۶	۵۱	۷/۶۴	۰/۱۷	۱/۲	۳	۴۱	S>>I
۲	Xerofluvents	۴۳	۴۲	۱۵	۷/۱۹	۱/۹۸	۱/۰	۴۶	۱۳	S=C>I=P
۳	Haploxererts	۲۵	۳۲	۴۳	۷/۸۰	۰/۱۸	۱/۷	۲۷	۳۱	S>>C>I=Q
۴	Calcixererts	۱۵	۴۶	۳۹	۷/۵۰	۰/۲۶	۰/۸	۳۱	۲۵	I=S>C=P
۵	Ustorthents	۱۷	۵۴	۲۹	۷/۶۰	۰/۲۷	۱/۶	۵۶	۲۲	S=P>I>C
۶	Torriorthents	۵۷	۳۴	۹	۷/۴۲	۰/۷۸	۰/۳	۵۴	۱۰	S>C>I>P

S: اسمکتیت؛ I: ایلیت؛ C: کلریت؛ Q: کوارتز؛ P: پالیگورسکیت؛ CCE: کربنات کلسیم معادل

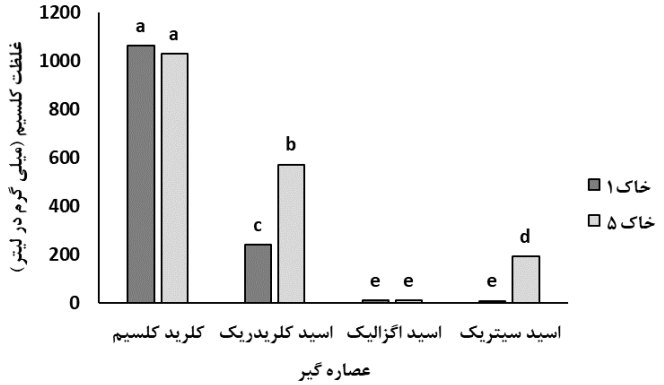
مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم و مقدار کل پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. دامنه تغییرات پتاسیم محلول در خاک‌ها از ۲/۸ تا ۱۵/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. این شکل پتاسیم ارتباطی با شکل‌های دیگر پتاسیم نداشت. کمترین و بیشترین مقدار پتاسیم تبادلی به‌ترتیب ۸۳ و ۴۱۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک‌های ۶ و ۱ مشاهده شد. پتاسیم تبادلی با پتاسیم غیرتبادلی دارای ارتباط مثبت و معنی‌داری (ضریب همبستگی *۰/۸۳) بود. مقدار پتاسیم غیرتبادلی نیز از ۳۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک ۶ تا ۱۰۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک ۴ متغیر بود. این شکل پتاسیم نیز علاوه بر پتاسیم تبادلی با پتاسیم ساختمانی و کل ارتباط مثبت و معنی‌داری داشت (به‌ترتیب *۰/۷۴ و *۰/۸۳). بیشترین مقدار پتاسیم ساختمانی در خاک‌های ۱ و ۴ و کمترین آنها در خاک ۲ مشاهده شد. بین پتاسیم ساختمانی و کل ارتباط معنی‌داری وجود داشت (**۰/۹۹). مقدار پتاسیم کل از ۰/۳۶ تا ۰/۸۸ درصد متغیر بود.

جدول ۲- مقدار شکل‌های مختلف پتاسیم در خاک‌های مورد مطالعه

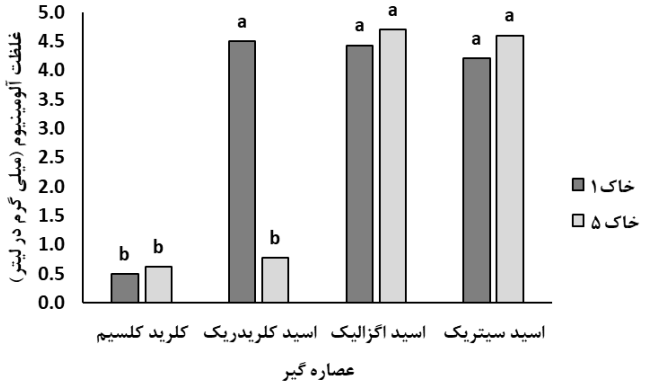
شماره خاک	محلول	تبادلی	غیرتبادلی	ساختمانی	کل
	(میلی‌گرم بر کیلوگرم)				
۱	۳/۲	۴۱۶	۸۹۷	۷۴۳۶	۸۷۵۲
۲	۴/۸	۱۲۶	۵۲۹	۲۹۶۲	۳۶۲۲
۳	۲/۸	۳۲۵	۸۶۰	۵۷۵۸	۶۹۴۶
۴	۲/۹	۲۵۸	۱۰۵۴	۷۲۲۷	۸۵۴۳
۵	۱۵/۴	۳۷۰	۷۴۹	۴۵۲۶	۵۶۶۰
۶	۸/۰	۸۳	۳۲۰	۵۳۳۷	۵۷۴۸

با توجه به رفتار مشابه خاک‌های ۲ تا ۵ و تفاوت آنها با خاک ۱، در شکل‌های ۱ و ۲، تفاوت غلظت کلسیم و آلومینیم استخراج شده از این دو خاک به‌وسیله محلول‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در خاک ۱، غلظت کلسیم در محلول کلرید کلسیم حداکثر بود و تفاوتی از این لحاظ با خاک ۵ مشاهده نشد. غلظت کلسیم در محلول اسید کلریدریک در خاک ۱ به‌طور معنی‌داری کمتر از خاک ۵ بود. اسید کلریدریک سبب انحلال کربنات‌های خاک می‌شود و با توجه به مقدار کمتر کربنات‌ها در خاک ۱ (۳ درصد) در مقابل خاک ۵ (۵۶ درصد)، غلظت کلسیم نیز در محلول اسید کلریدریک متفاوت است. غلظت کلسیم در محلول اسید اگزالیک برای هر دو خاک بسیار کم اما مشابه بود. دلیل این موضوع، واکنش اگزالات با کلسیم و در

نتیجه رسوب آن به شکل اگزالات کلسیم می‌باشد. اسید سیتریک نیز می‌تواند سبب انحلال کربنات‌های خاک در هر دو خاک ۱ و ۵ گردد. با توجه به مقدار کم کربنات‌ها در خاک ۱ و رسوب بخشی از کلسیم محلول با اسید سیتریک، مقدار این کاتیون در محلول کاهش می‌یابد اما در خاک ۵ به دلیل مقدار بالای کربنات‌های کلسیم، غلظت کلسیم بیشتر می‌باشد. حلالیت سیترات کلسیم به مراتب بیشتر از اگزالات کلسیم است و این سبب می‌شود بخشی از کلسیم انحلال یافته به‌وسیله اسید سیتریک در محلول باقی بماند. آزادسازی کلسیم به محلول خاک پس از کاربرد اسیدهای آلی به خاک‌های آهکی به‌وسیله سایر محققان گزارش شده است (Liu, Li, He, Wang, & Zhang, 2016).



شکل ۱- مقدار کلسیم آزاد شده از خاک‌های ۱ و ۵ به‌وسیله عصاره‌گیرهای مختلف



شکل ۲- مقدار آلومینیم آزاد شده از خاک‌های ۱ و ۵ به‌وسیله عصاره‌گیرهای مختلف

مقدار پتاسیم آزاد شده از خاک‌های مختلف پس از ۱۰ بار عصاره‌گیری با محلول‌های ۰/۰۲۵ مولار کلرید کلسیم، اسید کریدریک، اسید اگزالیک و اسید سیتریک در جدول ۳ آورده شده است. خاک‌های مختلف، مقادیر متفاوتی پتاسیم آزاد کردند که از ۴۰ تا ۱۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. ارتباط مثبت و معنی‌داری بین مقدار پتاسیم آزاد شده و رس خاک (*۰/۲) و پتاسیم تبادلی خاک (*۰/۸۷) به‌دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اختلاف معنی‌داری بین عصاره‌گیرهای مختلف از نظر قدرت آزادسازی پتاسیم از خاک‌های مورد مطالعه وجود دارد. به‌طور میانگین، محلول‌های کلرید کلسیم و اسید کلریدریک دارای قدرت مشابهی در استخراج پتاسیم خاک بودند اما این برای همه خاک‌ها صادق نبود و خاک ۱، پتاسیم بیشتری را با کاربرد اسید کلریدریک نسبت به کلرید کلسیم آزاد کرد (۱۷۹ در مقابل ۹۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم). رفتار اسید اگزالیک و اسید سیتریک در آزادسازی پتاسیم در خاک‌های مختلف مشابه بود. به‌طورکلی محلول‌های اسید اگزالیک و سیتریک پتاسیم بیشتری را نسبت به محلول‌های کلرید کلسیم و اسید کلریدریک آزاد کردند.

عصاره‌گیرهای مختلف از طریق دو واکنش می‌توانند سبب آزادسازی پتاسیم از کانی‌های خاک شوند که عبارتند از واکنش تبادل بین کاتیون‌های مختلف از جمله کلسیم با پتاسیم بین لایه‌ای و انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار و آزادسازی پتاسیم از آنها. با توجه به شکل ۱ و غلظت کمتر آلومینیم در عصاره‌گیر کلرید کلسیم می‌توان نتیجه گرفت که انحلال کانی‌ها توسط این عصاره‌گیر کمتر از عصاره‌گیرهای اسیدی بوده است و مکانیسم اصلی آزادسازی پتاسیم به‌وسیله محلول کلرید کلسیم، تبادل کاتیون‌های کلسیم محلول با پتاسیم بین لایه‌ای می‌باشد. غلظت بالای آلومینیم در محلول اسید کلریدریک استخراج شده از خاک ۱ نشان می‌دهد که این عصاره‌گیر قادر است از طریق انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار در خاک‌های دارای کربنات کلسیم کم، سبب آزادسازی پتاسیم شود و نقش کلسیم انحلال یافته توسط اسید کلریدریک در این خاک کم است. اسید کلریدریک در خاک‌های دارای کربنات کلسیم بیشتر (خاک ۵) قادر به انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار نیست و فقط با انحلال کربنات کلسیم سبب افزایش غلظت کلسیم در محلول شده و بنابراین مکانیسم اصلی آزادسازی پتاسیم، واکنش تبادلی می‌باشد. اسید اگزالیک و اسید سیتریک در هر دو خاک سبب انحلال کربنات‌ها و کانی‌های پتاسیم‌دار شده است. اسید اگزالیک در هر دو خاک با رسوب کلسیم محلول به‌شکل اگزالات کلسیم سبب کاهش تبادل کاتیونی کلسیم با پتاسیم و افزایش آزادسازی پتاسیم از طریق انحلال کانی‌های پتاسیم‌دار می‌شود (Kong et al., 2014). اسید سیتریک نیز تا حدودی به‌همین صورت عمل می‌کند اما در خاک‌های دارای مقدار کربنات کلسیم بالا قادر به رسوب همه کلسیم محلول نیست (Ström, Owen, Godbold, & Jones, 2001) و بنابراین بخشی از کلسیم در محلول مانده و از طریق تبادل کاتیونی سبب آزادسازی پتاسیم می‌شود.

جدول ۳- مقدار پتاسیم آزاد شده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) از خاک‌های مورد مطالعه پس از ۱۰ بار عصاره‌گیری با محلول‌های مختلف

شماره خاک	کلرید کلسیم	اسید کلریدریک	اسید اگزالیک	اسید سیتریک
۱	۹۷cd	۱۷۹a	۱۵۳ab	۱۵۲ab
۲	۵۶de	۵۲de	۹۳cd	۷۴d
۳	۱۲۶bc	۱۲۱bc	۱۵۴ab	۱۸۳a
۴	۹۳cd	۹۸cd	۱۶۸ab	۱۴۰bc
۵	۱۱۲c	۱۰۵cd	۱۴۳b	۱۲۷bc
۶	۴۰e	۴۰e	۷۰d	۵۷de
میانگین	۸۷B	۹۹B	۱۳۰A	۱۲۲A

میانگین‌های با حروف کوچک یا بزرگ مشترک دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با آزمون Tukey HSD نیستند.

نتیجه‌گیری کلی

در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، پتاسیم می‌تواند از کانی‌های پتاسیم‌دار خاک آزاد شود. در واقع این پتاسیم می‌تواند از شکل غیرقابل استفاده گیاه به شکل قابل استفاده تبدیل شود و بخشی از نیازهای گیاه را تأمین کند. در این مطالعه نشان داده شد که خاک‌های جنوب ایران قادرند مقدار زیادی از پتاسیم غیرتبادلی خود را آزاد کنند. مقایسه چند عصاره‌گیر مختلف نشان داد که پتاسیم از طریق دو مکانیسم توسط محلول‌های مختلف آزاد می‌شود که عبارتند از واکنش‌های تبادلی و انحلال کانی‌ها. اسیدهای آلی از طریق انحلال کانی‌ها و کلرید کلسیم از طریق تبادل یون کلسیم با پتاسیم بین لایه‌ای کانی‌ها سبب آزادسازی پتاسیم می‌گردد. از طرف دیگر، اسیدکلریدریک در خاک‌های دارای آهک کم از طریق تبادل کاتیونی و انحلال و در خاک‌های دارای آهک زیاد از طریق تبادل کاتیونی سبب آزادسازی پتاسیم می‌گردد. نتایج این تحقیق می‌تواند در مدیریت بهینه پتاسیم در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک که دارای مقدار قابل توجه کانی‌های پتاسیم‌دار هستند مفید باشد.

منابع مورد استفاده

Gil- Sotres, F., & Rubio, B. (1992). Kinetics and structural effects of the extraction of non- exchangeable potassium from the clay fraction of soils of Galicia (NW Spain). Communications in soil science and plant analysis, 23(1-2), 143-156 .

Helmke, P., Sparks, D., Page, A., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., . . . Sumner, M. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods., 551-574 .

Jalali, M. (2005). Release kinetics of nonexchangeable potassium in calcareous soils. Communications in soil science and plant analysis, 36(13-14), 1903-1917 .

Kong, M., Huang, L., Li, L., Zhang, Z., Zheng, S., & Wang, M. K. (2014). Effects of oxalic and citric acids on three clay minerals after incubation .Applied Clay Science, 99, 207-214 .

Liu, H., Li, J., He, Y., Wang, J., & Zhang, D. (2016). Effect of Exogenous Low Molecular Weight Organic Acids on Soil Calcium, Phosphorus Release Kinetics Characteristics. Northern Horticulture, 23, 038 .

Mehra, O & ,Jackson, M. (1960). Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite–citrate system buffered with sodium bicarbonate. Paper presented at the Clays and clay minerals: proceedings of the Seventh National Conference.

Najafi-Ghiri, M., Niazi, M., Khodabakhshi, M., Boostani, H. R., & Owliaie, H. R. (2019). Mechanisms of potassium release from calcareous soils to different salt, organic acid and inorganic acid solutions. Soil Research. doi:10.1071/SR18301

Ramos, M. E., Garcia-Palma, S., Rozalen, M., Johnston, C. T., & Huertas, F. J. (2014). Kinetics of montmorillonite dissolution: An experimental study of the effect of oxalate. Chemical Geology, 363, 283-292 .

Shu-Xin, T., Zhi-Fen, G., & Jin-He, S. (2007). Effect of oxalic acid on potassium release from typical Chinese soils and minerals. Pedosphere, 17(4), 457-466 .

Sparks, D., Page, A., Helmke, P., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., . . . Sumner, M. (1996). Methods of soil analysis, part 3. Chemical methods, 1085-1121 .

Ström, L., Owen, A. G ,.Godbold, D. L., & Jones, D. L. (2001). Organic acid behaviour in a calcareous soil: sorption reactions and biodegradation rates. Soil Biology and Biochemistry, 33(15), 2125-2133. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00146-8

Mechanisms of non-exchangeable potassium release from some calcareous soils of Fars province by different extractants

Mahdi Najafi-Ghiri[1], Hamid Reza Boostani[2]

[1]Associate prof. Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Shiraz, Iran, Email: mnajafighiri@yahoo.com

[2] Associate prof. Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz

Abstract

Non-exchangeable K may be released from soils of arid regions to supply plant K needs. The purpose of this investigation was the study of mechanisms of non-exchangeable K release from some calcareous soils of Fars province by different extractants. Six surface soil samples were extracted successively ten times with 0.025 M $CaCl_2$, HCl, oxalic acid and citric acid and the concentrations of K, Ca and Al in the clear extractants were determined. Results indicated that soils with high clay content released more K than others. The oxalic and citric acids (130 and 122 mg kg^{-1}, respectively) had larger ability than HCl and $CaCl_2$ (99 and 87 mg kg^{-1}, respectively) to extract K form different soils. Oxalic and citric acids extracted K form soils via mineral dissolution, while the main mechanism of K extraction by $CaCl_2$ was the exchange reaction. In the highly calcareous soils, HCl extracted K from exchange reaction of Ca (released from carbonate dissolution), while it extracted K from low carbonate soils from the exchange reaction and mineral dissolution.

Keywords: mineral dissolution, cation exchange, calcium carbonate, Al release

تهیه نقشه سطوح کشت زیر پلاستیک و امکان سنجی آلودگی خاک در استان فارس

علیرضا اوجی[۱]، امیر اسلامی[۲]، علیرضا پورتولری[۳]

۱- دکتری خاکشناسی و کارشناس خاک سازمان جهاد کشاورزی فارس

پست الکترونیکی (claymineral_84@yahoo.com)

۲- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و مدیر آب و خاک سازمان جهاد کشاورزی فارس

۳- مسئول دفتر خاک سازمان جهاد کشاورزی فارس

چکیده

در دهه‌های اخیر استفاده از پلاستیک به طرز چشم‌گیری افزایش پیدا کرده و این موضوع به کشت محصولات کشاورزی هم سرایت کرده است. مصرف بیش از اندازه پلاستیک و رهاسازی آن در محیط از چالش‌های مهم زیست محیطی است. بهره گیری از پلاستیک برای کشت محصولات کشاورزی در نواحی گرم و خشک هرچند در صرفه جویی آب کمک می‌کند، اما در اصل قاتل خاموش محیط زیست محسوب می‌شود، زیرا پلاستیک باقیمانده در خاک به شکل عایق عمل می‌کند و مانع تنفس طبیعی خاک می‌شود. آلودگی پلاستیک در خاک های کشاورزی باعث بروز مشکلات مختلف از جمله بر هم زدن ترکیب و تعادل میکروبی خاک، افزایش رواناب و فرسایش خاک، تاثیر در بهره‌وری آب و همچنین بر چرخه عناصر غذایی خاک از جمله نیتروژن و غیره دارد. آلودگی پلاستیک در خاک های کشاورزی یک نگرانی در حال ظهور محیطی است که برای کاهش مشکل هم به مداخلات علمی و هم سیاست محکم نیاز دارد. همچنین این آلودگی کیفیت و حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بر اساس "قانون حفاظت از خاک" زارعین موظف به جمع‌آوری پلاستیک‌ها از اراضی می‌باشند. استان فارس، از جمله قطب های کشاورزی با دارا بودن ۴۸۶ هکتار اراضی زراعی و ۳۴۸ هکتار باغی با سطح کشت زیر پلاستیک ۵۷۸۵۵ هکتار وزنی معادل ۶۸۲۹ تن پلاستیک استفاده می شود که اگر به جمع آوری این پلاستیک ها توجهی صورت نگیرد سلامت خاک استان دچار چالش اساسی خواهد شد.

واژگان کلیدی: کشت زیر پلاستیک، آلودگی، خاک، مالچ

مقدمه

مالچ (Mulch) به هر گونه پوششی اطلاق می‌شود که برای محافظت و ارتقاء کیفیت خاک، روی سطح خاک گسترده می‌شود. مالچ انواع مختلفی دارد که انتخاب نوع آن باید براساس نیازهای هر محصول یا هر منطقه باشد. مالچها به دو نوع آلی و غیرآلی دسته‌بندی می‌شوند. مالچ‌های آلی یا بیولوژیک شامل مواد طبیعی همچون علف خشک، کاه، کلش، پوست درخت، چوب خردشده، برگ، خاک اره و کمپوست هستند. مالچ‌های غیرآلی یا شیمیایی به پوشش‌هایی از جنس پلاستیک یا پلی اتیلن با ضخامت‌های ۰۰۹-۲ میلی‌متر گفته می‌شود که بر روی خاک گسترده می‌شوند. پلاستیک‌ها از پلیمرهای آلی مصنوعی ساخته شده‌اند که بطور گسترده‌ای در کاربردهای مختلف از جمله در کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Proshad *et al*. 2018). در شش دهه گذشته، پلاستیک به یک محصول ضروری و همه کاره با طیف گسترده‌ای از خواص، ترکیب شیمیایی و کاربردهای آن تبدیل شد. اگرچه، در ابتدا تصور میشد که پلاستیک بی ضرر و بی اثر است، با این حال پس از سال‌ها دفع پلاستیک به محیط زیست منجر به مشکلات متنوع شده است (Alabi *et al*. 2019). تجمع پلاستیک‌ها در محیط یک مسئله جهانی است که اگر شیوه‌های فعلی تولید، مصرف و مدیریت پسماند بدون تغییر باقی بماند، افزایش می‌یابد. پیش‌بینی می‌شود در صورت عدم اقدام ، ۱۲۰۰۰ میلیون تن زباله پلاستیک در محل‌های دفن زباله یا محیط زیست انباشته شود (Geyer *et al*. 2017). مالچ پلاستیک نقش مهمی در کشاورزی مدرن بازی می‌کند. از یک طرف، استفاده گسترده از مالچ پلاستیکی باعث افزایش قابل توجهی عملکرد محصول شده است، که از اهمیت زیادی برای امنیت غذایی برخوردار است (Ma *et al*. 2018) و در سال ۱۹۴۸ در کشاورزی مورد استفاده قرار گرفت (Garnaud. 2000). از فیلم‌های مالچ پلاستیکی کشاورزی در تولید برخی محصولات برای اصلاح دمای خاک، حفظ رطوبت خاک (Kader *et al*. 2017)

کاهش فشار علف‌های هرز (Martín-Closas *et al*. 2017) در نهایت بهبود بهره وری محصول استفاده می‌شود. پلاستیک پلی اتیلنی (PE) رایج ترین مالچ پلاستیکی است زیرا ارزان است، به راحتی پردازش می‌شود، بسیار بادوام و انعطاف پذیر است (Kasirajan and Ngouajio 2012). با این حال، استفاده گسترده از PE، که قابل تجزیه و تخریب پذیر نیست، منجر به آلودگی جدی محیط زیست شده است (He *et al*. 2015; Steinmetz *et al*. 2016). نگرانی فزاینده این است که مالچ‌های پلاستیکی هرگز بطور کامل از یک مزرعه خارج نمی‌شوند و بقایای باقی مانده آن‌ها بعضاً ده‌ها سال در خاک باقی می‌مانند (Briassoulis *et al*. 2015; Ramos *et al*. 2015). Liu et al (2014) طی پژوهشی در چین بیان داشتند که استفاده طولانی مدت از مالچ‌های پلاستیکی منجر به تجمع پلاستیک باقیمانده در خاک سطحی (۰-۲۰ سانتی متر) شده است، که می‌تواند رشد گیاه را دچار اختلال کند. اگر چه تصور میشد که مالچ‌های پلی اتیلنی به عنوان عنصر شیمیایی بی اثر تلقی می‌شود، قطعات PE انباشته شده حتی می‌توانند بر خصوصیات فیزیکی خاک تأثیر بگذارند (Duis and Coors 2016; Huerta Lwanga *et al*. 2016) و می‌تواند وارد زنجیره مواد غذایی شود و بنابراین به طور بالقوه مواد غذایی را برای مصرف انسان آلوده می‌کند و به ناچار منجر به مصرف آن می‌شود. تأثیرات بهداشتی در مصرف ذرات ریز پلاستیک هنوز ناشناخته است و تحقیقات در مورد این موضوع در حال افزایش است (Weithmann *et al*. 2017). در حال حاضر، بیشترین تأثیر منفی مالچ پلاستیکی ممکن است بقایای آن باشد. مالچ پلاستیک یک ترکیب پلیمری هیدروکربن است که عمدتا از پلی اتیلن ساخته شده است، بنابراین تجزیه آن در شرایط طبیعی بسیار سخت است (Liu *et al*., 2014؛ Chang-Rong *et al*., 2014). مرکز ملی نظارت بر محیط زیست چین[1] و همچنین آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده[2] این ترکیب را به عنوان اولویت در کنترل آلاینده ها ذکر کرده اند (Zhiguo *et al*. 2015). وسعت و دامنه بخش کشاورزی به گونه‌ای است که مولفه‌های اصلی اقتصاد مقاومتی از جمله مولد بودن، درون‌زایی و برون‌نگری را پوشش می‌دهد و به اعتقاد بسیاری از کارشناسان حلقه اتصال اقتصاد مقاومتی و بخش کشاورزی، امنیت غذایی است. تامین امنیت غذایی همواره به دلیل وجود برخی عوامل نظیر محدودیت‌های منابع پایه تولید از جمله خاک با مشکل مواجه است؛ مطالعه حاضر می‌کوشد وسعت کشت پلاستیک در استان فارس را مورد پایش قرار دهد تا به عنوان زنگ خطر برای سلامت خاک استان و بررسی تاثیرات این آلودگی بر پیکره ی خاک اهتمام ورزد.

مواد و روش‌ها

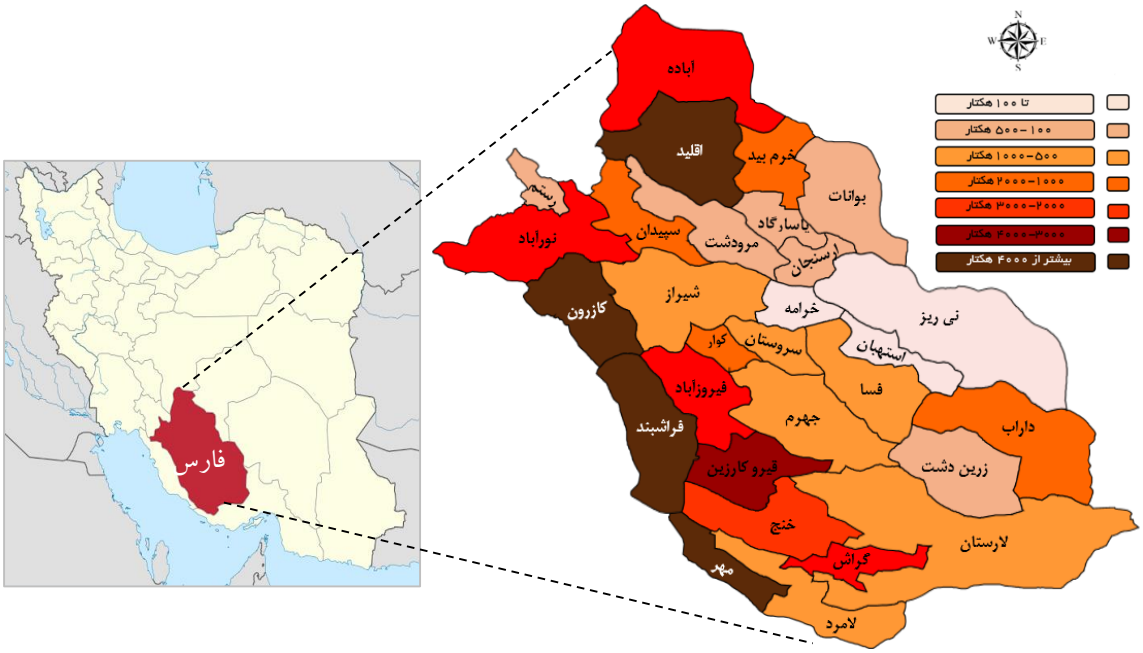
استان فارس یکی از استان‌های ایران است که در جنوب غرب این کشور واقع شده است. این استان با مساحتی در حدود ۱۲۲،۶۰۸ کیلومتر مربع، چهارمین استان بزرگ و با جمعیتی معادل ۴،۸۵۱،۲۷۴ تن، بر طبق برآورد جمعیتی سال ۱۳۹۵ خورشیدی مرکز آمار ایران، چهارمین استان پرجمعیت ایران به‌شمار می‌رود. بر اساس تقسیمات کشوری سال ۱۳۹۸ خورشیدی، استان فارس به ۳۶ شهرستان، ۹۳ بخش و ۱۱۳ شهر تقسیم شده است. استان فارس دارای اکوسیستم‌های متفاوتی می‌باشد و از این رو اراضی استان دارای کاربری‌های مختلفی از جمله جنگل، مرتع، شوره‌زار و ... می‌باشد. تنوع جغرافیایی موجود باعث گردیده است تا در میزان نزولات جوی تغییرات قابل توجهی به وجود آید و اقلیم‌های متفاوتی در سطح استان مشاهده شود. استان فارس با شش اقلیم خشک، فرا خشک، نیمه خشک خفیف، نیمه خشک میانه، نیمه خشک شدید و نیمه مرطوب توانایی تولید بسیاری از محصولات کشاورزی را دارد وگستره دمایی ۲۹- تا ۴۹ درجه و میانگین بارش کمتر از ۱۰۰ تا بیش از ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال را دارا می‌باشد.

با توجه به فواید استفاده از کشت زیر پلاستیک در زمینه‌های گوناگون نظیر جلوگیری از سرمازدگی و کشت خارج از فصل، کنترل علف های هرز، جوانه زنی سریع ورشد سریع محصول به دلیل بالا بودن دمای خاک زیر پلاستیک و به خصوص صرفه جویی در میزان مصرف آب و افزایش راندمان مصرف آب در استان فارس برای محصولاتی نظیر هندوانه، خربزه، طالب، خیار، گوجه‌فرنگی، کدو، بادمجان و غیره رواج داده شده است که متاسفانه به جنبه های آلودگی آن کمتر توجه شده است. داده‌های مربوط به کشت زیر پلاستیک هر شهرستان پس از جمع آوری و دسته بندی، با استفاده نرم افزار ArcMap به صورت نقشه تهیه گردید.

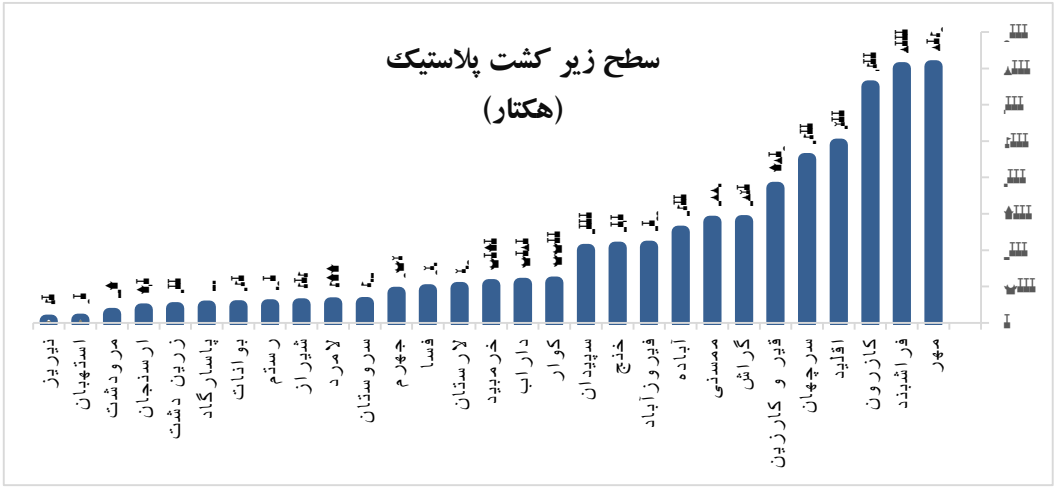
1- Chinese National Environmental Monitoring Centre
2 - U.S. Environmental Protection Agency

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مطالعه بر روی وسعت کشت پلاستیک در استان فارس در شکل ۱ آورده شده است. همانگونه که از این شکل پیدا است شهرستان مهر با سطح زیرکشت بالغ بر ۷۰۰۰ هکتار بیشترین و شهرستان خرامه با سطح زیرگشت ۲۹ هکتار کمترین وسعت کشت زیر پلاستیک را دارا بود. تولید جهانی پلاستیک به سطوح بی سابقه ای رسیده است، به طوری که در سال ۲۰۱۵، ۳۲۲ میلیون تن پلاستیک در سطح جهان تولید شده است (Plastics Europe 2016). در همین سال، ۶،۳۰۰ میلیون تن زباله پلاستیکی تولید شد که ۹٪ بازیافت شده، ۱۲٪ سوزاندن و ۷۹٪ باقی مانده به محل‌های دفن زباله یا نشت به محیط زیست فرستاده شده اند. نتایج نشان داد که تنها در استان فارس میزان ۶۸۲۹ تن پلاستیک ناشی از کشت زیر پلاستیک وارد خاک های استان گردیده است و باعث به خطر افتادن سلامت خاک ها شده است.



شکل ۱- نقشه پراکندگی سطوح کشت زیر پلاستیک در استان فارس

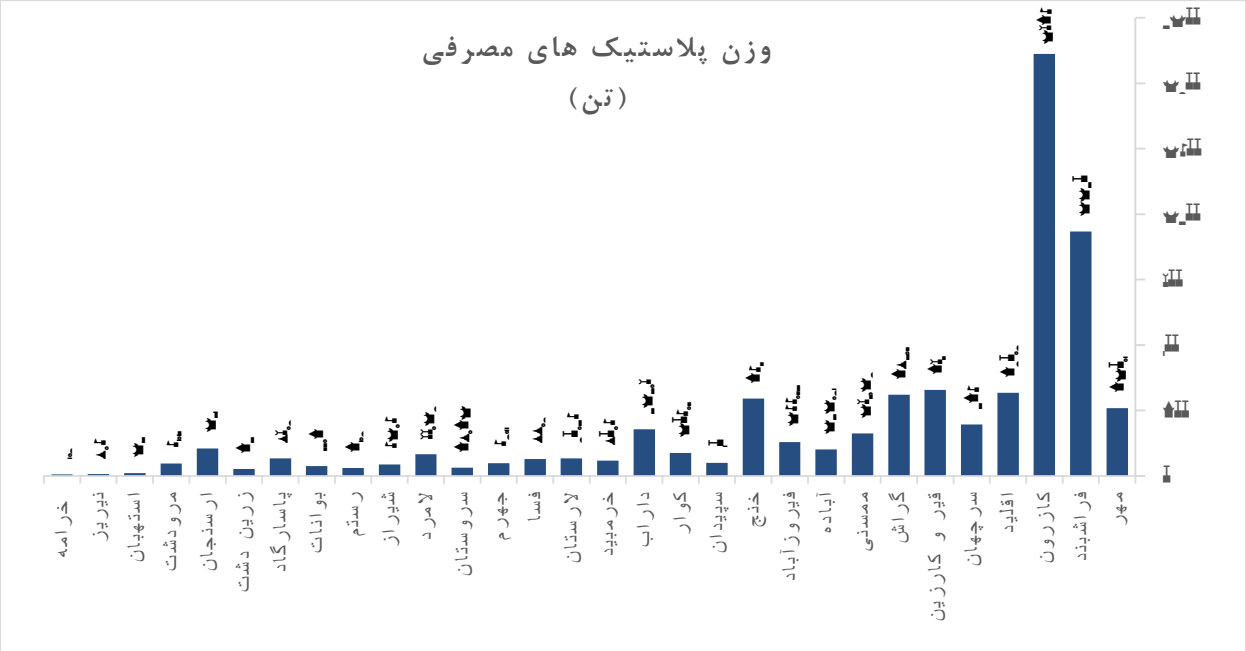


نمودار ۱- سطح کشت زیر پلاستیک در استان فارس

مزایای استفاده از کشت زیر پلاستیک شامل پیش رس کردن محصول و عرضه آن در زمان اوج قیمت، افزایش سطح سبز مزرعه، افزایش سه تا چهار برابری عملکرد، جلوگیری از آفات و بیماری‌ها و رشد علف‌های هرز و استفاده نکردن از سموم علف‌کش و آفت‌کش، کاهش تعداد ساعت کار کارگری و کیفیت بهتر محصول سبب افزایش بازده اقتصادی محصول می‌شود. در کنار بازده اقتصادی، مزایای تولید ارگانیک را نیز باید اضافه کرد. علیرغم این مزایا، معایب این نوع کشت متنوع و بسیار است که شامل هزینه بالای وسایل و لوازم، استفاده از پلاستیک در کشت و جمع آوری نکردن آن بعد از برداشت، کشت حریصانه و بی رویه و تخلیه آبهای زیرزمینی برای آبیاری این کشت‌ها، استفاده از ماشین‌های سنگین برای حمل بار در زمان خیس بودن زمین و مشکل سفت شدن زمین برای شخم، کاشت محصولی غیر ضروری به جای محصولات استراتژیک، استفاده از چاه آب کشاورزی برای زمین‌های غیر تحت شرب آن چاه، آلوده شدن زمین‌های مجاور به پلاستیک‌های زمین کشت شده با انتقال باد به این زمین‌ها، مزاحمت پلاستیک‌ها برای دستگاه‌های کشت و برداشت و جلوگیری از رشد زراعت‌های بعدی اشاره کرد. همچنین پلاستیک به جای مانده از کشت قبل در اراضی مانع نفوذ آب باران به خاک شده و در نتیجه رواناب متمرکز را افزایش می‌دهد و می‌تواند منجر به فرسایش در نتیجه آن شود (van der Meulen *et al*. 2006) که از جمله عوامل فرسایش در خاک های استان فارس می‌تواند باشد. همچنین علاوه بر تغییر در ساختار جامعه میکروبی، مالچ های فیلم پلاستیکی بر عملکرد میکروبی تأثیر می‌گذارند. بر اساس نتایج برخی مطالعات انجام شده فعالیت میکروبی در زیر مالچ افزایش یافته است (Chen *et al*. 2017) در حالی که برخی دیگر کاهش فعالیت را نشان می‌دهند (Moreno and Moreno 2008). تغییرات فعالیت میکروبی در نهایت بر چرخه و ذخیره مواد مغذی تأثیر می‌گذارد. تأثیر پلاستیک بر کربن آلی خاک (SOC) نتیجه تعادل بین افزایش رشد ریشه و ترشح اگزودات و تجزیه میکروبی و از بین رفتن CO_2 است (Nan *et al*. 2016; Wien *et al*. 1993). بنابراین، جای تعجب نیست که مطالعات بررسی SOC تحت مالچ پلاستیکی نتایج مختلط به همراه داشته باشد، که برخی گزارش‌ها باعث افزایش کربن زیست توده میکروبی شده‌اند (An *et al*. 2015) و برخی هیچ تغییری (Munoz *et al*. 2017) یا حتی کاهش SOC را نشان داده‌اند (Cuello *et al*. 2015). لازم به ذکر است که تغییرات در SOC در فواصل زمانی طولانی تر اتفاق می افتد، بنابراین ماهیت کوتاه مدت (یک یا دو فصل) اکثر آزمایش‌های مالچینگ این پویایی‌های بلند مدت را ضبط نمی‌کند. مالچ پلاستیک همچنین بر چرخه و تلفات نیتروژن در خاک تأثیر می‌گذارد (Nan *et al*. 2016; Qin *et al*. 2015). از آنجا که مالچ پلاستیک باعث افزایش بهره‌وری در مصرف آب (WUE) می شود، شسته شدن نیترات کاهش می‌یابد (رومیک و همکاران ، ۲۰۰۳). Qin *et al*. (2015) تا ۶۰٪ افزایش کارایی مصرف نیتروژن (NUE) را در زیر مالچینگ PE در مقایسه با شاهد بدون مالچ تخمین زده است. در مجموعه تصاویر زیر آلودگی‌هایی که مواد پلاستیکی به مزارع و زمین‌های اطراف وارد کرده‌اند نشان داده شده است (شکل ۲).

شکل۲- اراضی با پلاستیک های رها شده از کشت های قبل

نتایج حاصل از مطالعه بر روی وزن پلاستیک‌های اضافه شده به خاک متأثر از کشت پلاستیک در استان فارس حاکی از آن است که شهرستان کازرون بیشترین (۱۹۳۵ تن) و شهرستان خرامه کمترین (۶/۸ تن) مقدار پلاستیک مورد استفاده را داشته اند (نمودار ۲).



نمودار ۲. وزن پلاستیک های مصرفی در کشت زیر پلاستیک در استان فارس

استان فارس، از جمله قطب های کشاورزی با دارا بودن ۴۸۶ هکتار اراضی زراعی و ۳۴۸ هکتار باغی با سطح کشت زیر پلاستیک ۵۷۸۵۵ هکتار وزنی معادل ۶۸۲۹ تن پلاستیک استفاده می‌شود که اگر به جمع آوری این پلاستیک‌ها توجهی صورت نگیرد سلامت خاک استان دچار چالش اساسی خواهد شد. از آنجا که آلودگی از طریق پلاستیک‌های مورد استفاده در کشت، کیفیت و حاصلخیزی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد یکی از راه‌های کاهش این آلودگی، جمع آوری پلاستیک های به جا مانده از کشت قبل است و بر اساس "قانون حفاظت از خاک" زارعین موظف به جمع‌آوری پلاستیک‌ها از اراضی می‌باشند. یک از راه‌ها برای کاهش آلودگی پلاستیک در خاک‌های کشاورزی استفاده از مالچ پلاستیکی تخریب‌پذیر به عنوان جایگزینی برای پلی می‌باشد. مالچ پلاستیکی تخریب‌پذیر برای تجزیه در دی اکسید کربن، آب و زیست توده میکروبی طراحی شده است. مالچ پلاستیکی تخریب‌پذیر بیش از ۱۵ سال در بازار وجود دارد (Lange and Borg 2018)، اما اطلاعات کمی در مورد تأثیر آنها بر سلامت خاک وجود دارد. همچنین ترویج و استفاده از پلاستیک جمع‌کن، دستگاهی مناسب اراضی کشاورزی که به کمک آن می‌توان پوشش‌های پلاستیکی استفاده‌شده در زمین‌های کشاورزی را به شیوه‌ای مناسب، جمع‌آوری کرد.

نتیجه‌گیری

تعریف جامعی که از سلامتی خاک پذیرفته شده است، "ادامه قابلیت خاک برای عملکرد به عنوان یک اکوسیستم زنده و حیاتی است که گیاهان ، حیوانات و انسان را حفظ می کند" می باشد (Moebius-Clune *et al*. 2016). نتایج اغلب به دلیل تفاوت در شیوه های مدیریت، مانند سیستم برداشت و نوع مالچ پلاستیکی تخریب‌پذیر مورد آزمایش، متناقض بوده است. تا به امروز، چند مطالعه در مورد اثر مالچ پلاستیکی تخریب‌پذیر بر سلامت خاک گزارش شده است. برخی مطالعات اثرات حداقل از مالچ پلاستیکی قابل تجزیه را بر ساختارهای میکروبی خاک نشان داده‌اند (Moore-Kucera *et al*. 2014). اما سایرین اثرات قابل توجهی مشاهده کرده‌اند (Liu *et al*. 2014). بنابراین، در تعیین اثرات شیوه های مدیریت، ارزیابی اثرات بر خصوصیات خاک مهم است. کمبود و ناهماهنگی داده های موجود، نیاز به یک ارزیابی جامع در مورد چگونگی استفاده از مالچ پلاستیکی تخریب‌پذیر بر سلامت خاک را برجسته می کند.

فهرست منابع

Alabi, O., Ologbonjaye, K., Awosolu, O., Alalade, O. (2019) Public and Environmental Health Effects of Plastic Wastes Disposal: A Review. Alabi et al. J Toxicol Risk Assess. 5:021 Volume 5 | Issue 1.

An, T., Schaeffer, S., Li, S., Fu, S., Pei, J., Li, H. (2015). Carbon fluxes from plants to soil and dynamics of microbial immobilization under plastic film mulching and fertilizer application using 13 C pulse-labeling. *Soil Biol. Biochem*. 80, 53–61.

Briassoulis, D., Babou, E., Hiskakis, M., Kyrikou, I. (2015). Analysis of longterm degradation behaviour of polyethylene mulching films with pro-oxidants under real cultivation and soil burial conditions. *Environ. Sci. Pollut. Res*. 22, 2584–2598. -9

Chang-Rong, Y., En-Ke, L., Fan, S., Liu, Q., Liu, S.,Wen-Qing, H. (2014) Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China. *J. Agric. Resour. Environ*. 31, 95–102.

Chen, H., Liu, J., Zhang, A., Chen, J., Cheng, G., Sun, B. (2017). Effects of straw and plastic film mulching on greenhouse gas emissions in Loess Plateau, China: a field study of 2 consecutive wheat-maize rotation cycles. *Sci. Total Environ*. 579, 814–824.

Cuello, J.P., Hwang, H.Y., Gutierrez, J., Kim, S.Y., and Kim, P.J. (2015). Impact of plastic film mulching on increasing greenhouse gas emissions in temperate upland soil during maize cultivation. *Appl. Soil Ecol*. 91,48-57.

Duis K. and Coors A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environ. Sci. Eur*. 28:2.

Garnaud J. (2000). " Plasticulture" magazine: A milestone for a history of progress in plasticulture. *Plasticulture*. 1, 30-43.

Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. (2017). 'Production, use, and fate of all plastics ever made', *Science Advanc es*, 3(7).

He, L., Gielen, G., Bolan, N. S., Zhang, X., Qin, H., Huang, H. (2015). Contamination and remediation of phthalic acid esters in agricultural soils in China: a review. *Agron. Sustain. Dev*. 35, 519-534.

Huerta Lwanga, E., Gertsen, H., Gooren, H., Peters, P., Salánki, T., van der Ploeg, M. (2016). Microplastics in the terrestrial ecosystem: implications for Lumbricus terrestris (Oligochaeta, Lumbricidae). *Environ. Sci. Technol*. 50, 2685–2691.

Kader, M.A., Senge, M., Mojid, M.A., Ito, K. (2017). Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil Tillage Res*. 168, 155-166.

Kasirajan S. and Ngouajio M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. Agron. *Sustain. Dev*. 32, 501–529.

Lange K.B. and Borg, A. (2018). Position of European Bioplastics & EuropaBio concerning Fertiliser Regulation: Biodegradable Mulch Film. European Bioplastics e.V./ EuropaBio, Berlin, Germany/Brussels, Belgium.

Liu, E.K., He, W.Q., Yan, C.R. (2014). 'White revolution' to 'white pollution'- agricultural plastic film mulch in China. *Environ. Res. Lett*. 9:3.

Ma, D., Chen, L., Qu, H., Wang, Y., Misselbrook, T., Jiang, R. (2018) Impacts of plastic film mulching on crop yields, soil water, nitrate, and organic carbon in Northwestern China:A meta-analysis. *Agric. Water Manag*. 202,166-173.

Martín-Closas, L., Costa, J., Pelacho, A.M. (2017). "Agronomic effects of biodegradable films on crop and field environment," in Soil Degradable Bioplastics for a Sustainable Modern Agriculture, ed. M. Malinconico (Berlin: Springer), 67-104.

Moebius-Clune, B.N., Moebius-Clune, D.J., Gugino, B.K., Idowu, O.J., Schindelbeck, R.R., Ristow, A.J., van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H.A., McBride, M.B., Kurtz, K.S.M., Wolfe, D.W., Abawi, G.S. (2016). Comprehensive Assessment of Soil Health-The Cornell Framework, 3.2 ed. Cornell University, Geneva, NY.

Moore-Kucera, J., Cox, S.B., Peyron, M., Bailes, G., Kinloch, K., Karich, K., Miles, C., Inglis, D.A., Brodhagen, M. (2014). Native soil fungi associated with compostable plastics in three contrasting agricultural settings. *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 98,6467–6485.

Moreno M.M. and Moreno, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Sci. Hortic*. 116, 256–263.

Munoz, K., Buchmann, C., Meyer, M., Schmidt-Heydt, M., Steinmetz, Z., Diehl, D. (2017). Physicochemical and microbial soil quality indicators as affected by the agricultural management system in strawberry cultivation using straw or black polyethylene mulching. *Appl. Soil Ecol*. 113, 36–44.

Nan, W.G., Yue, S.C., Huang, H.Z., Li, S.Q., Shen, Y.F. (2016). Effects of plastic film mulching on soil greenhouse gases (CO2, CH4 and N2O) concentration within soil profiles in maize fields on the Loess Plateau, China. *J. Integr. Agric*. 15, 451–464.

Plastics Europe (2016). Plastics - the Facts 2016 An analysis of European plastics production, demand and waste data, Brussels: Plastics Europe. Available at: http://www.plasticseurope.org/documents/docu ment/20161014113313-plastics_the_facts_2016_final_version.pdf.

Proshad, R., Islam, M.S., Kormoker, T., Haque, M.A., Mahfuzur Rahman, M.D. (2018) Toxic effects of plastic on human health and environment: A consequences of health risk assessment in Bangladesh Inter J Hlth 6: 1-5.

Qin, W., Hu, C.S., Oenema, O. (2015). Soil mulching significantly enhances yields and water and nitrogen use efficiencies of maize and wheat: a metaanalysis. *Sci. Rep*. 5:16210.

Ramos, L., Berenstein, G., Hughes, E.A., Zalts, A. Montserrat, J. M. (2015). Polyethylene film incorporation into the horticultural soil of small periurban production units in Argentina. *Sci. Total Environ*. 523, 74–81.

Steinmetz, Z., Wollmann, C., Schaefer, M., Buchmann, C., David, J., Troger, J. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation*? Sci. Total Environ*. 550, 690–705.

van der Meulen, E.S., Nol, L. Cammeraat, L.H. (2006). Effects of irrigation and plastic mulch on soil properties on semi-arid abandoned fields. *Soil Science Society of America Journal*, 70, 930-939.

Weithmann, N., Moller, J.N., Loder, M.G.J., Piehl, S., Laforsch, C., Freitag, R. (2018) 'Organic fertilizer as a vehicle for the entry of microplastics into the environment', Science Advances. Zhiguo, L.; Jing, Z.; Cong, Z. Pollution and control countermeasures of farmland mulching film. *Hebei Ind. Sci. Technol*. 2015, 2, 177–182.

Wien, H.C., Minotti, P.L., Grubinger, V.P. (1993). Polyethylene mulch stimulates early root growth and nutrient uptake of transplanted tomatoes. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*. 118, 207–211

Zhiguo, L., Jing, Z., Cong, Z. (2015). Pollution and control countermeasures of farmland mulching film. *Hebei Ind. Sci. Technol*., 2, 177–182.

Preparation of soil pollution map affected by plasticulture in Fars province

Alireza Owji[1], Amir Eslami[2], Alireza Pourtavalari

1- PhD in soil science and soil and water administer expert, Agricultural organization of Fars (claymineral_84@yahoo.com)

2- Fars agriculture and natural resources research and education center, and director soil organization of Fars soil and water administer

3- Head of soil office, Agricultural organization of Fars

Abstract:

In recent decades, the use of plastics has increased dramatically, and this has spread to the cultivation of agricultural products. Excessive consumption of plastic and its release into the environment is one of the major environmental challenges. Using plastic to grow crops in hot, dry areas, although it helps save water, is essentially a silent killer of the environment, because the residual plastic to insulate and prevent normal breathing soils. Plastic pollution in agricultural soil causing various problems including disruption of soil microbial composition and balance, increased runoff and soil erosion, impact on water productivity as well as soil nutrients such as nitrogen cycle and so on. Plastic pollution in agricultural soils is an emerging environmental concern that requires both scientific intervention and strong policy to reduce the problem. This pollution also affects the quality and fertility of the soil and according to the "Soil Protection Law", farmers are obliged to collect plastics from the land. Fars province, including agricultural hubs with 486 hectares of farm land and 348 hectares of orchards with a 57855 hectares plasticulture weighing 6829 tons of plastic is used. If the collection of these plastics is not taken into consideration, the health of the province's soil will face a major challenge.

Keywords: plasticulture, pollution, soil, mulch

تاثیر آبشویی و مقایسه روش‌های عصاره‌گیری مقادیر قابل دسترس مس گندم در خاک‌های شور استان خوزستان

میثم رضائی[۱]، کامبیز بازرگان[۲]، کریم شهبازی[۲]، وحیداله جهاندیده مهجن آبادی[۲]

۱- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ ایمیل: Meisam.rezaei1@gmail.com

۲- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

این پژوهش با هدف مقایسه عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA pH 7.3 در شرایط شور و غیر شور (آبشویی) برای تعیین مقادیر قابل استفاده مس در خاک‌های آهکی و شور استان خوزستان انجام شد. تعداد ۶۳ نمونه خاک از اراضی زیر کشت گندم در این استان جمع‌آوری و در آنها گیاه گندم در شرایط گلخانه با استفاده از طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار کشت شد. مقادیر قابل استفاده مس گیاه در خاک‌ها با عصاره‌گیرهای مذکور قبل و بعد از آبشویی خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که عصاره‌گیر EDTA pH 4.65 در شرایط قبل از آبشویی و عصاره‌گیر EDTA pH 8.6 در شرایط بعد از آبشویی بیشترین مقدار مس را استخراج نمودند. آبشویی (کاهش شوری) مقادیر استخراج شده مس خاک‌ها به وسیله عصاره‌گیرها را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. همبستگی مثبت معنی‌داری بین مس استخراج شده با هر سه عصاره‌گیر و غلظت مس گیاه وجود داشت. این همبستگی برای عصاره‌گیر DTPA pH 7.3 ($r=۰/۳۲$، $P \leq ۰/۰۱$) بیشتر از عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65 ($r=۰/۲۷$، $P ۰/۰۵ \leq$) EDTA pH 8.6 ($r=۰/۲۵$، $P \leq ۰/۰۵$) بود. بر اساس نتایج، به نظر می‌رسد عصاره‌گیر DTPA را می‌توان به‌عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر جهت تعیین مس قابل استفاده گندم در خاک‌های آهکی و شور خوزستان معرفی کرد.

واژگان کلیدی: خاک‌های آهکی، شوری، عصاره‌گیر، فلزات سنگین، گندم

مقدمه

افزایش شوری و غلظت عناصر شیمیایی در محلول خاک سبب پویایی عناصر سنگین سرب، روی، مس، کروم، نیکل و کادمیم می‌شود (Beaton *et al.*, 2000; Du Laing *et al.*, 2008). فلزات سنگین ممکن است با کربنات رسوب کرده و وارد ساختمان آن شوند. یون‌های فلزات سنگین ممکن است بر فرآیندهای رسوب کربنات اثر بگذارند. بیشترین تمایل برای واکنش با کربنات در مورد کبالت، کادمیم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب، استرانسیم، اورانیم و روی گزارش شده است و این فلزات می‌توانند جایگزین کلسیم در کلسایت شوند (بازرگان و همکاران، ۱۳۹۲). مشکلات ناشی از آلودگی خاک به فلزات سنگین در استان خوزستان موجب نگرانی عمومی در مورد آلودگی مواد غذایی و منابع زیست محیطی به‌ویژه در مزارع زیر کشت گیاه گندم شده است. برای شناخت موقعیت و شدت این آلودگی‌ها در خاک‌های اراضی کشاورزی استان خوزستان ضروری است مقادیر فلزات سنگین به ویژه مس در خاک اندازه‌گیری شده و پس از آن بر اساس شدت و قابلیت جذب این عناصر برای گیاهان مختلف، محدوده خطر حضور این عناصر تعیین و راهکارهای مدیریتی کاهش این خطرات تبیین گردد (بازرگان و همکاران، ۱۳۹۲). به دلیل شرایط شور منابع خاک و آب و سطح بالای آب زیرزمینی، ارزیابی عصاره‌گیرهای مختلف مناسب جهت تعیین مقادیر قابل استفاده فلزات سنگین به ویژه مس و پاسخ‌های گیاه گندم در خاک‌های آهکی و شور این استان محدود است که این امر مشکلاتی را در برآورد دقیق مقدار عناصر سنگین در این خاک‌ها به‌وجود آورده است. در سال‌های اخیر از عصاره‌گیرهای مختلفی به‌منظور تعیین مقادیر قابل استفاده عناصر سنگین در خاک استفاده شده است (بابایی بافقی و همکاران، ۱۳۹۶). در میان تعداد زیاد عصاره‌گیرها، DTPA، EDTA و نمک‌های خنثی به‌طور گسترده استفاده و یا پیشنهاد شده‌اند (Wang *et al.*, 2006; Jalali and Khanlari, 2008). بنابراین، این پژوهش با

هدف مقایسه عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA pH 7.3 در تعیین مقادیر قابل استفاده مس در خاک‌های آهکی و شور استان خوزستان و بررسی تاثیر شوری بر مقادیر استخراج شده انجام شد.

مواد و روش‌ها

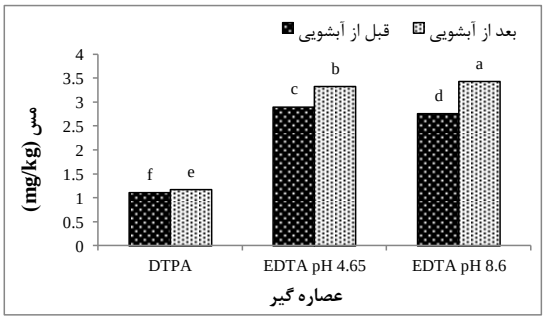
تعداد ۶۳ نمونه خاک مرکب سطحی (عمق صفر تا ۳۰ سانتیمتری) از مناطق مختلف کاربری کشاورزی با سابقه چندین ساله کشت گندم در سطح استان خوزستان جمع‌آوری شد. کلیه نمونه‌ها به‌منظور آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی هواخشک گردیده و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند و مقدار کربنات کلسیم معادل، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، pH خاک گل اشباع و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک در عصاره گل آنها با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. عصاره‌گیری نمونه‌های اولیه و اندازه‌گیری مس قابل استفاده در خاک‌ها با استفاده از عصاره‌گیرهای DTPA pH 7.3 (Page *et al.*, 1982)، EDTA pH 4.65 (Sillanpää and Jansson, 1992) و EDTA pH 8.6 (Trierweiler and Lindsay, 1969) و دستگاه ICP انجام شد. تعدادی از نمونه‌های برداشت شده به دلیل برداشت پس از کشت گندم در سطح استان، قابلیت هدایت الکتریکی بالائی داشتند. با این شرایط کشت گلدانی گندم در این خاک‌ها یا امکانپذیر نبود و یا گیاه با تنش شدید شوری مواجه می‌شد. بنابراین تصمیم گرفته شد که کلیه نمونه خاک‌ها در گلدان آبشویی و سپس کشت در آنها انجام شود. عمل شستشو طی دوبار متوالی انجام گرفت و در طول این کار روی گلدان‌ها پوشانده شد تا از تبخیر جلوگیری شود. یک آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه مؤسسه تحقیقات خاک و آب به اجرا درآمد. مقدار ۵ کیلوگرم از هر خاک شستشو شده، خشک گردیده و پس از کوبیدن دوباره و عبور از الک ۸ میلیمتری درون گلدان‌های ۷/۵ کیلوگرمی ریخته شد. بذر گندم رقم پیشتاز با استفاده از الکل ۹۶ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و محلول رقیق (۵ درصد) هیپوکلریت سدیم به مدت ۵ دقیقه ضد عفونی و جهت حذف هیپوکلریت سدیم باقیمانده بر سطح بذور، چندین مرتبه با آب مقطر استریل شستشو شدند. تعداد ۱۰ بذر جوانه‌دار گندم در هر گلدان در عمق حدود ۱ سانتیمتری از سطح کاشته شدند. عمل تنک کردن ۱۵ روز پس از کاشت صورت گرفت و تعداد گیاهان موجود در هر گلدان به ۶ عدد کاهش یافت. گلدان‌ها در گلخانه با دمای شب/روز حدود ۲ ± ۲۲/۲۵ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۱۵۰۰۰ لوکس و طول روز ۱۲ ساعت نگهداری و در طول این مدت روزانه تا رسیدن به ظرفیت زراعی آبیاری شدند (از طریق توزین روزانه گلدان ها). پس از ۶ هفته اندام هوایی از ناحیه طوقه قطع گردید. به‌منظور برطرف نمودن آلودگی‌های ناشی از گرد و خاک و املاح ناشی از کودپاشی و آبیاری، اندام هوایی با آب مقطر مورد شستشو قرار گرفت. نمونه‌های گیاهی به منظور خشک شدن به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و سپس پودر گردیدند و میزان عناصر سنگین مس، سرب، کادمیم و نیکل آنها پس از هضم به روش خاکستر خشک (Campbell and Plank, 1998) با دستگاه ICP تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که عصاره‌گیر EDTA pH 4.65 در شرایط قبل از آبشویی و عصاره‌گیر EDTA pH 8.6 در شرایط بعد از آبشویی بیشترین مقدار مس را استخراج نمودند. عنصر مس عصاره‌گیری‌شده با عصاره‌گیرها تغییرات زیادی را نشان دادند که بیانگر مکانیسم متفاوت عصاره‌گیرها در استخراج این عنصر است. عصاره‌گیر EDTA بدون توجه به ویژگی‌های خاک به‌دلیل داشتن pH کمتر در مقایسه با عصاره‌گیر DTPA مقدار بیشتری از عناصر کم‌مصرف خاک را عصاره‌گیری می‌کند. از طرف دیگر عصاره‌گیر EDTA توانایی استخراج عناصر پیوند یافته با مواد آلی، اکسیدها و بخش‌هایی از عناصر موجود در کانی‌های رسی را دارا است (Sahuquillo *et al.*, 2003). یکی دیگر از دلایل احتمالی توانایی کمتر DTPA در استخراج عناصر سنگین از خاک‌ها این است که این عصاره‌گیر دارای pH بافر شده با استفاده از تری اتانول آمین و همچنین حاوی کلراید کلسیم ۰/۰۱ مولار است که از انحلال

کربنات کلسیم و آزاد شدن عناصر محبوس شده در آن جلوگیری می‌کند (Lindsay, 1979). به طور مشابه، در مطالعه‌ای عصاره‌گیر EDTA سه برابر بیشتر از عصاره‌گیر DTPA عنصر روی را از خاک‌های آهکی استخراج کرد (Falatah *et al*., 1998).

مقایسه مقادیر عناصر استخراج شده قبل و بعد از آبشویی خاک‌ها نشان داد که آبشویی (کاهش شوری) مقادیر استخراج شده مس خاک‌ها با هر سه عصاره‌گیر را به‌طور معنی‌داری افزایش داد؛ اگرچه پیش‌فرض اولیه ما این بود که در شرایط شور (قبل از آبشویی) به‌دلیل وجود یون کلراید و ایجاد کمپلکس‌های پایدار با عنصر مس، غلظت آنها در محلول خاک و بنابراین در محلول حاصل از هر روش عصاره‌گیری بیشتر است. گزارش شده است که به دلیل قدرت یونی بالا در شرایط شور، رهاسازی فلزات سنگین افزایش می‌یابد و پویایی عناصر سنگین با نوع نمک غالب همبستگی بالایی نشان می‌دهد به‌طوری که کلراید کلسیم و سدیم سبب رهاسازی و پویایی بیشتر کادمیم و سرب، کلراید منیزیم و سولفات سدیم سبب پویایی کادمیم و مس و کربنات‌ها سبب پویایی سرب در خاک می‌شوند (Acosta *et al*., 2011). در شرایط شور احتمالاً نمک‌ها با عصاره‌گیرهای استفاده شده تشکیل کمپلکس داده و سبب کاهش رهاسازی عنص مس (به‌دلیل رقابت) شده‌اند و برعکس در شرایط آبشویی شده عنصر مس در خاک با عصاره-گیرها کمپلکس بیشتری تشکیل داده‌اند (به‌دلیل عدم تداخل نمک) و مقادیر بیشتری از آن استخراج شده است. به نظر می‌رسد بر اساس نوع عصاره‌گیر و نوع نمک غالب در خاک شور تأثیر آبشویی و حذف نمک بر استخراج عنصر مس متفاوت است و در این رابطه بررسی‌های دقیق‌تری لازم است.



شکل ۱- غلظت قابل دسترس مس عصاره‌گیری شده با عصاره‌گیرهای مختلف قبل و بعد از آبشویی خاک‌ها

همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مس عصاره‌گیری شده به‌وسیله هر سه عصاره‌گیر DTPA، EDTA pH 4.65 و EDTA pH 8.6 با ظرفیت تبادل کاتیونی قبل و بعد از آبشویی (مقادیر همبستگی قبل از آبشویی به‌ترتیب ۰/۵۸، ۰/۵۵ و ۰/۷۰ و بعد از آبشویی به‌ترتیب ۰/۵۴، ۰/۶۵ و ۰/۶۸)، مقدار رس قبل و بعد از آبشویی (مقادیر همبستگی قبل از آبشویی به‌ترتیب ۰/۶۲، ۰/۳۷ و ۰/۵۵ و بعد از آبشویی به‌ترتیب ۰/۵۴، ۰/۴۵ و ۰/۴۵) و کربن آلی بعد از آبشویی (مقادیر همبستگی به‌ترتیب ۰/۲۶، ۰/۲۹ و ۰/۲۹) مشاهده شد (جدول ۱). مقدار رس و ظرفیت تبادل کاتیونی نقش مهمی در جذب سطحی مس در خاک ایفا می‌کنند (حسین‌پور و دندان-مزد، ۲۰۱۰). غلظت یون مس در محلول خاک نسبتاً کم است و قسمت عمده آن به کلوئیدهای خاک به‌ویژه مواد معدنی رس و کربن آلی خاک متصل می‌شود (Vlček and Pohanka, 2018). این نتایج به‌خوبی گویای آن است که هر سه عصاره‌گیر به‌خوبی می‌توانند مس جذب سطحی شده بر روی کلوئیدهای رسی را قبل و بعد از آبشویی آزاد کنند. اما به نظر می‌رسد به‌دلیل عدم همبستگی معنی‌دار قبل از آبشویی و وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بعد از آبشویی بین کربن آلی و مس استخراج شده با هر سه عصارگیر بتوان استنباط کرد که شوری زیاد از آزادسازی مس جذب سطحی شده بر روی کلوئیدهای آلی ممانعت می‌کند و این خود می‌تواند مشکلاتی را در اندازه‌گیری مقدار دقیق مس قابل استفاده به‌وجود آورد. تشکیل کمپلکس مس-ماده آلی منجر به کاهش مس محلول در عصاره‌گیرها می‌شود (Singh *et al*., 1990).

جدول ۱- همبستگی ویژگی‌های خاک‌های آبشویی شده و آبشویی نشده و مقدار مس استخراج شده با عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA

شرایط آبشویی	عصاره گیر	pH	EC	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	شن	سیلت	رس
قبل از آبشویی	DTPA	-۰/۰۳^{ns}	-۰/۱۳^{ns}	۰/۵۸**	۰/۰۴^{ns}	۰/۲۱^{ns}	-۰/۵۷**	۰/۲۰^{ns}	۰/۶۲**
	EDTA pH 4.65	-۰/۱۲^{ns}	-۰/۲۳^{ns}	۰/۵۵**	۰/۰۴^{ns}	۰/۰۶^{ns}	-۰/۳۷**	۰/۱۶^{ns}	۰/۳۷**
	EDTA pH 8.6	-۰/۰۸^{ns}	-۰/۲۴*	۰/۷۰**	۰/۰۳^{ns}	۰/۲۱^{ns}	-۰/۵۳**	۰/۲۱^{ns}	۰/۵۵**
بعد از آبشویی	DTPA	-۰/۰۲^{ns}	۰/۰۳^{ns}	۰/۵۴**	۰/۰۲^{ns}	۰/۲۶*	-۰/۵۲**	۰/۲۱^{ns}	۰/۵۴**
	EDTA pH 4.65	-۰/۰۲^{ns}	-۰/۰۲^{ns}	۰/۶۵**	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۲۹*	-۰/۵۰**	۰/۲۹*	۰/۴۵**
	EDTA pH 8.6	-۰/۰۱^{ns}	-۰/۰۳^{ns}	۰/۶۸**	۰/۰۳^{ns}	۰/۲۹*	-۰/۴۸**	۰/۲۶*	۰/۴۵**

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان ۱ درصد و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار.

جدول ۲ همبستگی بین ویژگی‌های خاک‌های شسته شده (بعد از آبشویی) و مقدار عنصر مس در گیاه گندم را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که عنصر مس گیاه همبستگی معنی‌داری با pH نداشت. با توجه به همبستگی منفی عنصر مس گیاه با کربن آلی خاک (r=-۰/۳۴) می‌توان اظهار داشت که مواد آلی سبب تشکیل کمپلکس با مس شده و مقادیر این عنصر را به‌طور معنی‌داری از دسترس گیاه خارج می‌سازند (Steinberg and Hodge, 2018). عنصر مس همبستگی مثبت معنی‌داری با ظرفیت تبادل کاتیونی، شن، رس و سیلت و منفی معنی‌داری با هدایت الکتریکی داشت. میرجلیلی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که بین غلظت مس برگ پسته و درصد رس همبستگی مثبت معنی‌داری (r=۰/۴۰) وجود داشت. رس را می‌توان به‌عنوان یکی از عوامل نگهداری مس در خاک در نظر گرفت که به‌احتمال زیاد این رس‌ها مس را به‌صورت تبادلی بر روی سطح خود نگه می‌دارند و قابلیت استفاده این عنصر را برای گیاه افزایش می‌دهند. ظرفیت تبادل کاتیونی ارتباط مستقیمی با درصد رس دارد. خاک با ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر، عناصر را به‌صورت قابل تبادل نگه داشته و در اختیار گیاه قرار می‌دهد (بابایی بافقی و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول ۲- همبستگی ویژگی‌های خاک‌های آبشویی شده و غلظت مس در گندم

	pH	EC	ظرفیت تبادل کاتیونی	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی	شن	سیلت	رس
مس	-۰/۰۰۷^{ns}	-۰/۷۲**	۰/۷۲**	۰/۲۱^{ns}	-۰/۳۴**	۰/۴۴**	۰/۷۹**	۰/۲۹**

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان ۱ درصد و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار.

مناسب‌ترین عصاره‌گیر برای تعیین قابلیت استفاده عناصر برای گیاه عصاره‌گیری است که بالاترین ضریب همبستگی را بین عنصر استخراج شده به‌وسیله عصاره‌گیر و مقدار عنصر جذب شده توسط گیاه و سایر پاسخ‌های گیاهی نشان دهد (متقیان و همکاران، ۱۳۹۲؛ بابایی بافقی و همکاران، ۱۳۹۶). همبستگی بین مقدار مس استخراج شده با عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA و مقادیر مس جذب شده توسط گیاه در جدول ۳ ارائه شده است. همبستگی مثبت معنی‌داری بین مس استخراج شده با هر سه عصاره‌گیر و غلظت مس گیاه وجود داشت، هرچند این همبستگی برای عصاره‌گیر DTPA (r =۰/۳۲) بیشتر از دو عصاره‌گیر EDTA pH 4.65 و EDTA pH 8.6 (به‌ترتیب r =۰/۲۷ و r=۰/۲۵) بود. روش‌های عصاره‌گیری مختلفی برای تعیین مقدار قابل استفاده مس در خاک گزارش شده است. متقیان و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کردند که در بین عصاره‌گیرهایی که دارای همبستگی معنی‌دار با غلظت مس اندام هوایی گندم بودند، عصاره‌گیر AB-DTPA بیشترین ضریب همبستگی را داشت. همچنین

Hao *et al*. (2009) گزارش کردند که مس عصاره‌گیری شده با DTPA توانایی برآورد مس قابل استفاده برخی از سبزی‌های کشور چین را دارد.

جدول ۳- همبستگی بین مقدار مس استخراج شده خاک با عصاره‌گیرهای EDTA pH 4.65، EDTA pH 8.6 و DTPA و مقدار مس جذب شده توسط گیاه

	مس استخراج شده خاک		
	DTPA	EDTA pH 4.65	EDTA pH 8.6
مس گیاه	۰/۳۲**	۰/۲۷*	۰/۲۵*

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح اطمینان ۱ درصد و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، عصاره‌گیر DTPA را می‌توان به‌دلیل داشتن بالاترین میزان همبستگی با غلظت مس گیاه گندم، به‌عنوان مناسب‌ترین عصاره‌گیر جهت ارزیابی وضعیت مس قابل استفاده گندم در خاک‌های آهکی شور مورد مطالعه در استان خوزستان معرفی کرد. اما با این حال شوری عامل مهمی در ارزیابی غلظت عناصر سنگین است و لذا چون خاک‌های این منطقه از کشور متأثر از شوری (اولیه و ثانویه) هستند نحوه و زمان نمونه برداری خاک و گیاه در مزارع در ارزیابی وضعیت عناصر سنگین خاک و گیاه مهم است و باید تمام جوانب سنجیده شود.

تشکر و قدردانی

از مؤسسه تحقیقات خاک و آب به دلیل فراهم کردن امکانات اجرای این پژوهش قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

بازرگان، ک.، رضایی، م.، فیض الله زاده اردبیلی، م.، معبودی، ن.، اسماعیل زاده، ل.، و جعفرنژادی ع. ۱۳۹۲. تعیین بهترین عصاره گیر به‌منظور ارزیابی مقادیر قابل استفاده عناصر سنگین برای گیاه، در خاکهای آلوده انتخابی. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. ۴۵ ص.

بابایی بافقی س.، تاج آبادی پور، ا.، اسفندیارپوربروجنی، ع. ۱۳۹۶. ارزیابی چند عصاره گیر شیمیایی جهت تعیین روی قابل استفاده نهال های پسته در برخی از خاک های آهکی رفسنجان. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸(۱)، ۱۴۸-۱۳۷.

حسین‌پور، ع.، متقیان، ح.ر. ۱۳۹۲. تاثیر کاربرد لجن فاضلاب و کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) بر قابلیت استفاده و شکل های شیمیایی روی در تعدادی از خاک های آهکی. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۶)، ۱۱۱۰-۱۱۰۰.

میرجلیلی، ا.، حسینی فرد، س.ج.، تاج آبادی، ا.، اخگر.، ع. ۱۳۹۳. ارزیابی گلخانه‌ای و آزمایشگاهی چند عصاره‌گیر شیمیایی به منظور تعیین مس قابل استفاده‌ی پسته در بعضی از خاک‌های آهکی رفسنجان. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی عصر رفسنجان.

متقیان، ح.ر.، حسین‌پور، ع.، رئیسی، ف.، محمدی، ج. ۱۳۹۲. ارزیابی چند عصاره‌گیر جهت تعیین مس قابل استفاده خاک برای گندم (*Triticum aestivum* L.) در خاک‌های آهکی تیمار شده با لجن فاضلاب. علوم و فنون کشتهای گلخانه‌ای. ۴، ۶۴-۵۱.

Beaton, K.W., Mc loughlin, M.J., Graham, R.D. (2000). Salinity increases cadmium uptake by wheat and Swiss chard from soil amended with biosolids. *Soil Research*, 38:37-45.

Du Laing, G., De Vos, R., Vandecasteele, B., Lesage, E., Tack, F.M., Verloo, M.G. (2008). Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 77, 589-602.

Jalali, M., Khanlari, Z.V. (2008). Cadmium availability in calcareous soils of agricultural lands in Hamadan, western Iran. *Soil & Sediment Contamination*, 17(3), 256-268.

Wang, G., Su, M.Y., Chen, Y.H., Lin, F.F., Luo, D., Gao, S.F. (2006). Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China. *Environmental Pollution*, 144, 127–135.

Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (1982). Methods of soil analysis; 2. Chemical and microbiological properties, 2. Aufl. 1184 S., American Soc. of Agronomy (Publ.), Madison, Wisconsin, USA, gebunden 36 Dollar.

Sillanpää, M., Jansson, H. (1992). Status of cadmium, lead, cobolt, and selenium in soils and plants of thirty countries. FAO Soils Bulletin N. 65. Rome.

Trierweiler, JF., Lindsay, W.L. (1969). EDTA ammonium carbonate soil test for zinc. *SSSAP*, 33, 49-54.

Campbell, C.R., Plank, C.O. (1998). Preparation of plant tissue for laboratory analysis. p. 37-50. In Kalra, Y.P. (ed.) Handbook of reference methods for plant analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group.

Sahuquillo, A., Rigol, A., Rauret, G., (2003). Overview of the use of leaching/extraction tests for risk assessment of trace metals in contaminated soils and sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22, 152-159.

Lindsay W.L. (1979). Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons, New York.

Falatah, A.M., Modaihsh, A.S., Al-Mustafa, W.A., Mahjoub, M.O. (1998). Evaluation of some chemical extractants for testing Zn availability to barely grown on calcareous soil. *Agriculture Science*, 10, 85-97.

Acosta, J.A., Jansen, B., Kalbitz, K., Faz, A., Martínez-Martínez, S. (2011). Salinity increases mobility of heavy metals in soils. *Chemosphere*, 85, 1318-24.

Vlček, V., Pohanka, M. (2018). Adsorption of copper in soil and its dependence on physical and chemical properties. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(1), 219-224

Singh, B.P., Das, M., Prasad, R.N. (1990). Evaluation of available Cu status in high altitude wetland rice soils. *Journal of Indian Society of Soil Science*, 38, 464-468.

Steinberg, S.M., Hodge, V.F. (2018). Copper complexation by dissolved organic matter in arid soils: A voltametric study. *Environments*, 5(11), 125.

Hao, X.Z., Zhou, D.M., Huang, D.Q., Cang, H.L., Wang, H. (2009). Heavy metal transfer from soil to vegetable in southern Jiangsu Province, China. *Pedosphere*, 19, 305-311.

Effect of leaching and comparison of extraction methods for available amounts of wheat copper in saline soils of khuzestan province

Meisam Rezaei[1], Kambiz Bazargan[2], Karim Shahbazi[2], Vahid Alah Jahandideh Mahjen Abadi[2]

1- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; E-mail: Meisam.rezaei1@gmail.com

2- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Abstract

This study aims to compare EDTA pH 4.65, EDTA pH 8.6 and, DTPA pH 7.3 extractants to charactrize plant available copper in calcareous and saline soils of Khuzestan province. The total of 63 soil samples from wheat cultivated lands throught the province were collected and in them wheat was planted in three replications under greenhouse conditions using randomized complete design. Plant available copper in soils were measured with the extractants before and after leaching. The results showed that EDTA pH 4.65 before leaching and EDTA pH 8.6 after leaching extracted the highest amount of copper. Leaching (salinity reduction) significantly increased the copper amount of soils extracted by extractants. There was a significant positive correlation between the extracted copper of all three extractants and wheat copper content. This correlation for DTPA pH 7.3 extractant ($r = 0.32$, $P \leq 0.01$) was higher than EDTA pH 4.65 ($r = 0.27$, $P \leq 0.05$) EDTA pH 8.6 ($r = 0.25$, $P \leq 0.05$) extractants. Based on the results, it seems that the DTPA extractant may be introduced as the most suitable extractant to determine the wheat available copper in the calcareous and saline soils of Khuzestan.

Keywords: Calcareous soils, Salinity, Extractant, Heavy metals, Wheat

تأثیر بیوچار بر پتانسیل گیاه‌پالایی ذرت علوفه‌ای در یک خاک طبیعی بسیار آلوده

پروین کبیری[1]، حمیدرضا متقیان[2]، علیرضا حسین‌پور[3]

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، kabirihonor@gmail.com

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، motaghian.h@yahoo.com

۳- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، alirezahosseinpur1347@gmail.com

چکیده

به منظور تأثیر بیوچار بر پتانسیل گیاه‌پالایی ذرت علوفه‌ای، خاک طبیعی آلوده با سطوح ۰، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی-وزنی بیوچار تولیدشده در دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس تیمار و به‌مدت ۴۵ روز در شرایط گلخانه خوابانده شد. پس از خواباندن، در هر گلدان، بذر ذرت کشت و ۸ هفته پس از کشت، اندام هوایی و ریشه گیاه از خاک گلدان جدا و مقدار قابل استفاده روی و سرب (عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA)، pH و EC خاک قبل و پس از کشت تعیین شد. نتایج نشان داد که کاربرد مقادیر مختلف بیوچارهای تهیه‌شده در دماهای گوناگون بر قابلیت استفاده روی و سرب در خاک آلوده اثر معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) داشت. روی و سرب عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA با افزایش مقدار و دمای تولید بیوچار کاهش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) یافت. به گونه‌ای که کاربرد ۲ درصد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، سرب و روی قابل استفاده بعد از کشت را نسبت به شاهد به‌ترتیب ۴۹ و ۳۴ درصد کاهش داد.

واژگان کلیدی: بیوچار، سرب، روی، قابلیت استفاده، خاک بسیار آلوده.

مقدمه

رشد سریع جمعیت، معدن‌کاوی، پیشرفت‌های صنعتی و اختراعات جدید، آلودگی فلزات سنگین را در سراسر جهان افزایش داده است. ورود فلزات سنگین به زنجیره غذایی برای سلامتی انسان خطرناک است (Feng et al., 2020). سرب و روی از جمله این فلزات سمی هستند که در اغلب خاک‌های آلوده وجود دارند و یکی از اصلی‌ترین معضلات محیط زیست در دهه‌های اخیر به شمار می‌آیند. این فلزات با افزایش فعالیت‌های انسانی به‌ویژه معدن‌کاوی در محیط خاک انتشار می‌یابند، اثرات سمی و خطرناکی در خاک داشته و تهدید جدی برای موجودات خاک‌زی محسوب می‌شوند (Gan et al., 2019). بنابراین نیاز است که آلودگی این فلزات در خاک‌های کشاورزی کاهش یابد. بیوچار نوعی ترکیب آلی غنی از کربن است که از گرماکافت زیست‌توده گیاهان در شرایطی با اکسیژن محدود تهیه می‌شود. این ماده با داشتن سطح ویژه، ساختار متخلخل، گروه‌های عامل و pH بالا می‌تواند خطر آلودگی فلزات سنگین در خاک و ورود آنها به زنجیره غذایی را کاهش دهد (Yang et al., 2018). در این پژوهش، تأثیر دما و سطوح مختلف بیوچار بر خاک آلوده به روی و سرب بررسی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

برای تهیه بیوچارها، برگ ریخته‌شده پای درختان گردو در پایان فصل تابستان و از باغ‌های شهر سامان استان چهارمحال و بختیاری جمع‌آوری و پس از شستشو با آب مقطر، به‌مدت یک هفته متوالی هواخشک شد. پس از آسیاب‌نمودن از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های آنها در مطالعه قبلی اندازه‌گیری گردید (Kabiri et al., 2019).

خاک مورد استفاده از منطقه سپاهان‌شهر واقع در جنوب اصفهان و در شمال جاده اصفهان- شیراز برداشته شد. نمونه‌خاک هواخشک و با چکش چوبی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مطالعه قبلی اندازه‌گیری شد (Kabiri et al., 2019).

خاک مورد نظر با مقادیر ۰/۵، ۱ و ۲ درصد (وزنی- وزنی) از بیوچارهای تهیه‌شده در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس مخلوط و پس از ۴۵ روز خواباندن خاک‌ها، در هر گلدان (۳ کیلوگرمی)، ۳ عدد بذر ذرت (رقم سینگل‌کراس ۷۰۴) کشت شد. دو ماه پس از کشت، خاک هر گلدان کاملاً مخلوط و نمونه‌ای از آن برداشته شد. در این نمونه‌ها، pH ((در سوسپانسیون ۲ به ۱ آب به خاک، (Thomas et al., 1996))، قابلیت هدایت الکتریکی ((در عصاره ۲ به ۱ آب به خاک، (Rhoades et al., 1996)) و مقدار قابل استفاده روی و سرب (عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA) (Lindsay and Norvell., 1978) خاک قبل و بعد از کشت تعیین و به وسیله دستگاه جذب اتمی (جی‌بی‌سی، ۹۳۲) اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

تغییرات روی و سرب پس از انکوباسیون (قبل از کشت گیاه)

نتایج تجزیه واریانس دو طرفه اثر دمای تهیه، مقدار بیوچار مورد استفاده و اثر متقابل آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دما، مقدار بیوچار و اثر متقابل آن‌ها بر روی و سرب محلول و عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA پس از انکوباسیون (قبل از کشت) و پس از کشت گیاه.

منبع تغییر	دمای گرماکافت	سطح بیوچار	دما × سطح	خطا	CV (%)	R^2(%)
درجه آزادی	۳	۲	۶	۲۴		
			روی پس از انکوباسیون (قبل از کشت)			
محلول	۰/۲۹۸۷ (۷۴/۳)**	۰/۰۰۰۱(۰/۰۱)ns	۰/۰۰۹۴(۴/۷)ns	۰/۰۱۰۶ (۲۱/۱)	۱۳/۸	۷۸/۹
DTPA-TEA	۳۲۷۹ (۶۶/۴)**	۱۶۴۹۹(۲۲/۲)**	۱۵۶(۶/۷) **	۲۹(۴/۷)	۲/۹	۹۵/۳
			سرب پس از انکوباسیون (قبل از کشت)			
DTPA-TEA	۲۴۷۳۱(۷۱/۱)**	۱۱۰۳۲(۲۱/۱)**	۷۲۰(۴/۱)**	۱۶۰(۳/۷)	۳/۹	۹۶/۳
			روی پس از کشت			
محلول	۰/۰۶۵(۵۰/۴)**	۰/۰۳۸(۱۹/۷)**	۰/۰۱۳(۱۹/۲)**	۰/۰۰۲(۱۰/۶)	۶/۹	۸۹/۴
DTPA-TEA	۲۷۵۵/۵(۷۴/۷)**	۹۹۸/۸(۱۸/۱)**	۵۰/۷(۲/۷۵)ns	۲۰/۷(۴/۴۹)	۲/۹	۹۵/۵
			سرب پس از کشت			
محلول	۰/۱۷۷(۳۶/۸)**	۰/۰۱۹(۲/۷)ns	۰/۰۱۸(۷/۶)ns	۰/۰۳۲(۵۳/۰)	۱۳۹/۷	۷۷/۰
DTPA-TEA	۱۵۰۷۹(۷۶/۲)**	۵۷۵۰(۱۹/۴)**	۲۳۸(۲/۴)**	۴۹(۱/۹۸)	۲/۹	۹۸/۰

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار

CV: ضریب تغییرات؛ اعداد نشان داده شده در پرانتز Eta^2 است. کل ss / عامل ss $= Eta^2$

تغییرات روی و سرب محلول و عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA پس از انکوباسیون (قبل از کشت)

در مطالعه حاضر، با افزایش مقدار کاربرد و دمای تهیه بیوچار، مقدار روی محلول و روی و سرب قابل استفاده در تیمارها کاهش معنی‌داری یافت ($p<۰/۰۵$) (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین روی و سرب عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک تحت تأثیر سطوح و دماهای مختلف تولید بیوچار پس از انکوباسیون (قبل از کشت گیاه)

تیمار	دمای تولید بیوچار	سطح (درصد)			
	(^{0}C)	۰/۵	۱	۲	میانگین
			روی محلول		

شاهد		۰/۹۳±۰/۰۱۲A	۰/۹۳±۰/۰۱۲A	۰/۹۳±۰/۰۱۲A
برگ گردو		۱/۰۳±۰/۰۶۹A	۱/۰±۰/۰۵۳A	۰/۹۳±۰/۱۲۱A
بیوچار	۲۰۰	۰/۷۴±۰/۰۶۵B	۰/۷۵±۰/۰۵۳B	۰/۷۰±۰/۰۷۲B
	۴۰۰	۰/۶۰±۰/۰۲۶B	۰/۶۲±۰/۰۴۲B	۰/۶±۰/۰۰۶B
	۶۰۰	۰/۵۴±۰/۰۵۹B	۰/۵۶±۰/۰۱۲B	۰/۶۸±۰/۰۴۲B
میانگین		۰/۷۲۶	۰/۷۳۱	۰/۷۲۹
			روی DTPA-TEA	
شاهد		۲۲۸/۸±۴/۴A	۲۲۸/۸±۴/۴A	۲۲۸/۸±۴/۴A
برگ گردو		۱۹۶/۵±۱/۷bcB	۱۸۹/۶±۲/۱cdB	۱۸۶/۱±۳/۵dB
بیوچار	۲۰۰	۲۱۴/۱±۳/۷aB	۱۹۳/۰±۲/۹bcdB	۱۷۲/۸±۲/۳eB
	۴۰۰	۲۰۰/۵±۷bB	۱۸۷/۱±۱/۵dB	۱۷۱/۲±۳/۲eB
	۶۰۰	۱۶۰/۰±۱/۸fB	۱۴۹/۷±۱/۷gB	۱۴۷/۴±۱gB
میانگین		۱۹۲/۸	۱۷۹/۹	۱۶۹/۴
			سرب DTPA-TEA	
شاهد		۴۳۲/۸±۱۷/۶A	۴۳۲/۸±۱۷/۶A	۴۳۲/۸±۱۷/۶A
برگ گردو		۳۹۰/۳±۱۰/۹aB	۳۷۸/۰±۴/۹abB	۳۶۷/۷±۴/۳bcB
بیوچار	۲۰۰	۳۷۸/۲±۲/۸abB	۳۴۶/۵±۱۲/۱cB	۲۹۰/۲±۹/۳efB
	۴۰۰	۳۱۴/۷±۵/۰dB	۲۶۳/۸±۴/۰۸ghB	۲۴۲/۷±۴/۰۸hiB
	۶۰۰	۲۹۸/۶±۸/۰۷deB	۲۷۵/۳±۱۰/۲fgB	۲۳۸/۶±۳/۵iB
میانگین		۳۴۵/۴	۳۱۵/۹b	۲۸۴/۸c

هر داده، میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است. حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها با روش Fisher-LSD در سطح احتمال ۵ درصد است. حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها با شاهد، با روش Fisher-LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.

تغییرات روی و سرب محلول و عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA پس از کشت

بر اساس نتایج، تیمار خاک با بیوچار تهیه‌شده در هر دمایی و با هر مقداری، روی محلول را کاهش معنی‌داری داد. مقدار سرب محلول در خاک تیمارشده با بیوچارهای تهیه‌شده در دماهای ۶۰۰، ۴۰۰ و ۲۰۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب ۷۵/۴، ۸۹/۳ و ۸۲/۲ درصد نسبت به بقایا کاهش یافت (جدول ۳). کاربرد بیوچار (در همه مقادیر و دماهای مختلف) مقدار روی و سرب قابل استفاده را در مقایسه با خاک شاهد کاهش معنی‌دار ($p<۰/۰۵$) داد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین روی و سرب محلول و عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA (میلی‌گرم بر کیلوگرم) تحت تأثیر سطوح و دماهای مختلف تولید بیوچار پس از کشت گیاه

تیمار	دمای تولید بیوچار (^0C)	سطح (درصد) ۰/۵	۱	۲	میانگین
			روی محلول		
شاهد		۰/۹۰±۰/۰۰۳A	۰/۹۰±۰/۰۰۳A	۰/۹۰±۰/۰۰۳A	
برگ گردو		۰/۶۱±۰/۰۴abB	۰/۶۳±۰/۰۲abB	۰/۶۵±۰/۰۱aB	۰/۶۳
بیوچار	۲۰۰	۰/۶۲±۰/۰۱abB	۰/۶۰±۰/۰۲abcB	۰/۴۰±۰/۰۰۶fB	۰/۵۴
	۴۰۰	۰/۵۷±۰/۰۲bcdB	۰/۵۳±۰/۰۲cdeB	۰/۴۹±۰/۰۱eB	۰/۵۳
	۶۰۰	۰/۵۲±۰/۰۵deB	۰/۴۲±۰/۰۱fB	۰/۳۳±۰/۰۰۶gB	۰/۴۲
میانگین		۰/۵۸	۰/۵۴	۰/۴۷	
			روی عصاره‌گیری شده با DTPA-TEA		

شاهد		۱۹۰/۴±۰/۹A	۱۹۰/۴±۰/۹A	۱۹۰/۴±۰/۹A	
برگ گردو		۱۸۷/۰±۲/۰A	۱۷۴/۷±۳/۵B	۱۷۰/۰±۰/۷B	۱۷۷/۲a
بیوچار	۲۰۰	۱۶۱/۶±۳/۷B	۱۵۱/۶±۴/۳B	۱۴۸/۸±۰/۹B	۱۵۴/۰b
	۴۰۰	۱۶۴/۰±۲/۳B	۱۵۲/۸±۲/۳B	۱۳۷/۶±۲/۸B	۱۵۱/۵b
	۶۰۰	۱۴۰/۸±۱/۸B	۱۳۹/۲±۰/۹B	۱۲۴/۰±۳/۲B	۱۳۴/۷c
میانگین		۱۶۳/۳a	۱۵۴/۶b	۱۴۵/۱c	
			سرب محلول		
شاهد		۰/۱۱۳±۰/۰۷B	۰/۱۱۳±۰/۰۷B	۰/۱۱۳±۰/۰۷B	
برگ گردو		۰/۱۷۳±۰/۰۹B	۰/۳۶۳±۰/۲۹B	۰/۴۷۷±۰/۱A	۰/۳۳۸a
بیوچار	۲۰۰	۰/۰۵۳±۰/۰۳B	۰/۰۵۷±۰/۰۵B	۰/۰۷۰±۰/۰۷B	۰/۰۶۰b
	۴۰۰	۰/۰۶۷±۰/۰۷B	۰/۰۱۳±۰/۰۱B	۰/۰۲۷±۰/۰۲B	۰/۰۳۶b
	۶۰۰	۰/۰۶۷±۰/۰۷B	۰/۰۷۷±۰/۰۸B	۰/۱۰۷±۰/۰۶B	۰/۰۸۳b
میانگین		۰/۰۹۰	۰/۱۲۸	۰/۱۷۰	
			سرب عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA		
شاهد		۳۳۳/۶±۱۰/۵A	۳۳۳/۶±۱۰/۵A	۳۳۳/۶±۱۰/۵A	
برگ گردو		۳۰۱/۰±۳/۷aB	۲۷۹/۲±۱/۰bB	۲۷۲/۳±۴/۱bB	۲۸۴/۱
بیوچار	۲۰۰	۲۶۸/۳±۳/۲bB	۲۴۷/۵±۳/۵cB	۲۳۳/۶±۴/۴dB	۲۴۹/۸
	۴۰۰	۲۴۰/۹±۷/۴cdB	۲۰۳/۴±۷/۰fB	۱۷۵/۴±۲/۵gB	۲۰۶/۶
	۶۰۰	۲۱۵/۸±۲/۵eB	۱۹۹/۹±۱/۳fB	۱۶۹/۸±۲/۲gB	۱۹۵/۱
میانگین		۲۵۶/۵	۲۳۲/۵	۲۱۲/۸	

هر داده، میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است. حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها با روش Fisher-LSD در سطح احتمال ۵ درصد است. حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها با شاهد، با روش Fisher-LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.

برخی محققین، کاهش قابلیت استفاده فلزات سنگین را به تأثیر بیوچار بر تغییر اجزاء و اشکال فلزات سنگین در خاک نسبت دادند که باعث انتقال آنها به اجزاء پایدارتر خاک گردید (Yang et al., 2015; Ahmad et al., 2016) که این اجزاء در مطالعات قبلی بررسی شده است (Kabiri et al., 2019; Kabiri et al., 2020).

اکثر تحقیقات افزایش pH خاک را از مهم‌ترین عوامل تثبیت فلزات سنگین در خاک بیان کردند (Lwin 2018; Kumar et al., 2018). بر اساس نتایج Zheng et al. (2012) بیوچارها با افزایش pH خاک به طور معنی‌داری مقدار کادمیم و روی قابل استخراج توسط نیترات آمونیوم در خاک را کاهش دادند.

تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی

نتایج تجزیه واریانس دو طرفه نشان داد که اثر دمای تهیه بر pH و EC قبل از کشت و pH پس از کشت معنی‌دار بود. مقدار بیوچار بر pH قبل از کشت و pH پس از کشت معنی‌دار بود (داده‌ها نشان داده نشده است).

تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی پس از انکوباسیون (قبل از کشت)

نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش دمای تهیه بیوچار، pH (به‌جز بیوچارهای تهیه‌شده در دماهای ۲۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) و EC خاک‌های تیمارشده قبل از کشت افزایش یافت. با افزایش مقدار بیوچار به کار برده‌شده از ۰/۵ به ۱ درصد در خاک نیز pH افزایش یافت. اما با کاربرد ۲ درصد نسبت به ۱ درصد بیوچار در خاک، تفاوت pH تیمارها معنی‌دار نبود (جدول ۴). طبق نتایج Mohan et al. (2012) نیز pH و EC تیمارها با افزایش مقدار کاربرد بیوچارهای تهیه‌شده از سبوس برنج (در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس) و بقایای ذرت (در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس) افزایش یافت.

جدول ۴. مقایسه میانگین pH و EC قبل از کشت تحت تأثیر سطوح و دماهای مختلف تولید بیوچار پس از انکوباسیون (قبل از کشت گیاه) و بعد از کشت

تیمار	دمای تولید بیوچار (^0C)	سطح (درصد) ۰/۵	۱	۲	میانگین
			قبل از کشت		
			pH		
شاهد		۷/۴۴±۰/۱۵B	۷/۴۴±۰/۱۵B	۷/۴۴±۰/۱۵B	
برگ گردو		۷/۴۳±۰/۱۲B	۷/۶۵±۰/۱۲B	۷/۷۶±۰/۱۳A	۷/۶۲c
بیوچار	۲۰۰	۷/۶۸±۰/۰۶B	۷/۸۵±۰/۰۵A	۷/۸۶±۰/۰۴A	۷/۸۰b
	۴۰۰	۷/۸۸±۰/۰۸A	۷/۹۰±۰/۰۴A	۷/۹۰±۰/۰۶A	۷/۸۹b
	۶۰۰	۷/۹۰±۰/۰۶A	۸/۱۶±۰/۰۹A	۸/۱۷±۰/۰۹A	۸/۰۸a
میانگین		۷/۷۲b	۷/۸۹a	۷/۹۲a	
			قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)		
شاهد		۰/۸۳±۰/۰۲B	۰/۸۳±۰/۰۲B	۰/۸۳±۰/۰۲B	
برگ گردو		۰/۸۴±۰/۰۲B	۰/۸۷±۰/۰۱B	۰/۹۶±۰/۰۴B	۰/۸۹d
بیوچار	۲۰۰	۰/۹۵±۰/۰۷B	۰/۹۷±۰/۰۳A	۱/۰۳±۰/۰۸A	۰/۹۹c
	۴۰۰	۱/۰۶±۰/۰۲A	۱/۱۳±۰/۰۸A	۱/۱۵±۰/۰۳A	۱/۱۱b
	۶۰۰	۱/۲۰±۰/۰۶A	۱/۲۱±۰/۰۷A	۱/۲۳±۰/۰۱A	۱/۲۱a
میانگین		۱/۰۱	۱/۰۵	۱/۰۹	
			پس از کشت		
			pH		
شاهد		۷/۲۴±۰/۱۲B	۷/۲۴±۰/۱۲B	۷/۲۴±۰/۱۲B	
برگ گردو		۷/۶۰±۰/۰۴A	۷/۶۵±۰/۰۵A	۷/۸۰±۰/۰۱A	۷/۶۸b
بیوچار	۲۰۰	۷/۴۶±۰/۱۵A	۷/۵۱±۰/۰۵A	۷/۸۶±۰/۱۰A	۷/۶۱b
	۴۰۰	۷/۸۱±۰/۰۴A	۷/۸۷±۰/۰۵A	۷/۸۷±۰/۰۴A	۷/۸۵a
	۶۰۰	۷/۹۱±۰/۰۴A	۷/۹۲±۰/۰۸A	۷/۹۲±۰/۰۱A	۷/۹۲a
میانگین		۷/۷۰b	۷/۷۴b	۷/۸۶a	
			هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)		
شاهد		۰/۸۱±۰/۰۲	۰/۸۱±۰/۰۲	۰/۸۱±۰/۰۲	
برگ گردو		۰/۸۴±۰/۰۲	۰/۸۳±۰/۰۲	۰/۸۴±۰/۰۵	۰/۸۴
بیوچار	۲۰۰	۰/۸۲±۰/۰۴	۰/۸۲±۰/۰۱	۰/۸۴±۰/۰۳	۰/۸۲
	۴۰۰	۰/۸۴±۰/۰۳	۰/۸۵±۰/۰۱	۰/۸۰±۰/۰۴	۰/۸۳
	۶۰۰	۰/۸۲±۰/۰۱	۰/۷۷±۰/۰۵	۰/۷۳±۰/۰۳	۰/۷۷
میانگین		۰/۸۳	۰/۸۲	۰/۸۰	

هر داده، میانگین ۳ تکرار ± خطای استاندارد است. حروف کوچک متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها با روش Fisher-LSD در سطح احتمال ۵ درصد است. حروف بزرگ متفاوت نشان دهنده تفاوت معنی‌دار میانگین تیمارها با شاهد، با روش Fisher-LSD در سطح احتمال ۵ درصد است.

تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی پس از کشت

پس از کشت، با افزایش دما و مقدار بیوچار استفاده‌شده در خاک، pH تیمارها نسبت به شاهد افزایش یافت. کاربرد سطوح و دماهای مختلف تهیه بیوچار بر EC تیمارها تأثیری نداشت (جدول ۴). Yang et al (2015) گزارش کردند که هر دو بیوچار تهیه-شده از ساقه تنباکو و خوک مرده pH خاک را افزایش دادند اما تأثیر معنی‌داری بر EC خاک نداشتند.

در مطالعه حاضر، pH خاک شاهد قبل از کشت گیاه، از ۷/۴۴ به ۷/۲۴ پس از کشت گیاه کاهش یافت. Lahori et al (2017) تأثیر بیوچار تهیه‌شده از تنباکو را بر خاک آهکی آلوده به سرب و مس زیر کشت کلم (*Brassica campestris* L.) بررسی کردند. آنان ۴۵ روز پس از کشت، pH و EC خاک‌ها را اندازه‌گیری و بیان کردند که pH خاک شاهد مجاور معدن طلا از ۸/۳۱ قبل از کشت گیاه، به ۸/۱۵ پس از کشت گیاه کاهش یافت. آنان علت کاهش pH خاک را به تأثیر اسیدی ریزوسفر گیاه نسبت دادند.

نتیجه‌گیری

با کاربرد بیوچار تهیه‌شده در هر دمایی و با هر مقداری (به‌جز ۰/۵ درصد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس) pH و EC خاک قبل از کشت گیاه، نسبت به شاهد افزایش یافت. pH خاک پس از کشت گیاه نیز با افزایش مقدار و دمای تهیه بیوچار نسبت به شاهد افزایش یافت. در حالی که کاربرد سطوح و دماهای مختلف تهیه بیوچار بر EC خاک پس از کشت گیاه تأثیری نداشت. روی و سرب عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA با افزایش مقدار و دمای تولید بیوچار کاهش معنی‌دار یافت. کاربرد ۲ درصد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس، سرب و روی قابل استفاده بعد از کشت را نسبت به شاهد به‌ترتیب ۴۹ و ۳۴ درصد کاهش داد.

منابع

1. Ahmad, M., Ok, Y. S., Kim, B. Y., Ahn, J. H., Lee, Y. H., Zhang, M., ... & Lee, S. S. (2016). Impact of soybean stover-and pine needle-derived biochars on Pb and As mobility, microbial community, and carbon stability in a contaminated agricultural soil. *Journal of Environmental Management*, *166*, 131-139.
2. Feng, C., Chen, Y., Zhang, S., Wang, G., Zhong, Q., Zhou, W., ... & Li, T. (2020). Removal of lead, zinc and cadmium from contaminated soils with two plant extracts: Mechanism and potential risks. *Ecotoxicology and environmental safety*, *187*, 109829.
3. Gan, Y., Huang, X., Li, S., Liu, N., Li, Y. C., Freidenreich, A., ... & Dai, J. (2019). Source quantification and potential risk of mercury, cadmium, arsenic, lead, and chromium in farmland soils of Yellow River Delta. *Journal of cleaner production*, *221*, 98-107.
4. Kabiri, P., Motaghian, H., & Hosseinpur, A. (2019). Effects of walnut leaves biochars on lead and zinc fractionation and phytotoxicity in a naturally calcareous highly contaminated soil. *Water, Air, & Soil Pollution*, *230*(11), 1-18.
5. Kabiri, P., Motaghian, H., & Hosseinpur, A. (2021). Impact of biochar on release kinetics of Pb (II) and Zn (II) in a calcareous soil polluted with mining activities. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *21*(1), 22-34.
6. Kumar, A., Tsechansky, L., Lew, B., Raveh, E., Frenkel, O., & Graber, E. R. (2018). Biochar alleviates phytotoxicity in Ficus elastica grown in Zn-contaminated soil. *Science of the Total Environment*, *618*, 188-198.
7. Lahori, A. H., Zhang, Z., Guo, Z., Mahar, A., Li, R., Awasthi, M. K., ... & Huang, H. (2017). Potential use of lime combined with additives on (im) mobilization and phytoavailability of heavy metals from Pb/Zn smelter contaminated soils. *Ecotoxicology and environmental safety*, *145*, 313-323.
8. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.
9. Lwin, C. S., Seo, B. H., Kim, H. U., Owens, G., & Kim, K. R. (2018). Application of soil amendments to contaminated soils for heavy metal immobilization and improved soil quality—a critical review. *Soil science and plant nutrition*, *64*(2), 156-167.
10. Mohan, D., Abhishek, K., Sarswat, A., Patel, M., Singh, P., & Pittman, C. U. (2018). Biochar production and applications in soil fertility and carbon sequestration–a sustainable solution to crop-residue burning in India. *RSC advances*, *8*(1), 508-520.
11. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison. pp. 417-435.
12. Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. In: Sparks D.L. (ed.). Methods of soil Analysis. SSSA, Madison. pp. 475-490.
13. Yang, Q., Wang, X., Luo, W., Sun, J., Xu, Q., Chen, F., ... & Zeng, G. (2018). Effectiveness and mechanisms of phosphate adsorption on iron-modified biochars derived from waste activated sludge. *Bioresource Technology*, *247*, 537-544.

14. Yang, X., Lu, K., McGrouther, K., Che, L., Hu, G., Wang, Q., ... & Wang, H. (2017). Bioavailability of Cd and Zn in soils treated with biochars derived from tobacco stalk and dead pigs. *Journal of soils and sediments*, *17*(3), 751-762.
15. Zheng, R. L., Cai, C., Liang, J. H., Huang, Q., Chen, Z., Huang, Y. Z., ... & Sun, G. X. (2012). The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice (Oryza sativa L.) seedlings. *Chemosphere*, *89*(7), 856-862.

The effect of Walnut leaves biochar on phytoremediation potential of of maize (Zea mays L.) in a highly contaminated soil

P. Kabiri- H.R. Motaghian- A.R. Hosseinpur
Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Shahr-e-Kord University, Shahr-e-Kord, I. R. of Iran

Abstract

In order to investigate the phytoremediation of zinc and lead by maize, samples of a contaminated soil were mixed with 0.5, 1 and 2 % of Walnut leaves biochars produced at 200, 400, and 600 °C. Treatments were incubated under greenhouse conditions for 45 days. After the incubation period, three seeds of maize were sown in each pot, and plants were grown for 8 weeks. Plants were harvested and roots were separated from soils. Some chemical properties of soils (pH, EC, DTPA-extractable of Pb and Zn) were analyzed before and after planting. Results demonstrated that different pyrolysis temperatures and rates of biochar had a significant effect on availability of Zn and Pb in a highly contaminated soil ($p<0.05$). Bioavailable Pb and Zn (DTPA-TEA extraction) decreased by increasing amendments rates and pyrolysis temperatures. In comparison with the control, the 2% biochar produced at 600 °C, significantly ($p<0.05$) decreased the DTPA-extractable Pb and Zn by 49.1 and 34.9 %, respectively.

اثر شوری بر قابلیت استفاده کادمیم در خاک‌های آلوده شنی و رسی

الناز میرزاخانی[۱]، حمیدرضا متقیان[۲]، علیرضا حسین‌پور[۳]

۱-نویسنده مسئول دانشجو، کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ELNAZ.MIRZAKHANI2014@yahoo.com

۲- دانشیار گروه شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، Motaghian.h@yahoo.com

۳- استاد تمام گروه شیمی و حاصلخیزی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، alirezahosseinpur1347@gmail.com

چکیده

فلزات سنگین به‌دلیل تجمع در موجودات و سمیت از جمله عوامل مهم آلودگی محیط زیست به‌شمار می‌آیند. همچنین شوری می‌تواند بر قابلیت استفاده این فلزات مؤثر باشد. بنابراین به‌منظور بررسی شوری بر قابلیت استفاده کادمیم در خاک‌های رسی و شنی آلوده شده (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل فاکتور شوری شاهد، ۲۰ و ۴۰ میلی‌مول کلرید سدیم در کیلوگرم خاک و فاکتور خاک شامل خاک رسی و شنی در ۳ تکرار انجام گرفت. مقدار کادمیم قابل استفاده به‌روش DTPA تعیین شد. شوری کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA و قابلیت هدایت الکتریکی خاک را افزایش داد ($p<۰/۰۵$). شوری اثر معنی‌داری بر pH خاک نداشت ($p>۰/۰۵$). بنابراین شوری می‌تواند با افزایش قدرت یونی و در نتیجه افزایش حلالیت فازهای جامد کنترل کننده فعالیت فلزات سنگین در خاک منجر به افزایش قابلیت استفاده کادمیم گردد.

واژه‌های کلیدی: شوری، کادمیم، قابلیت استفاده.

مقدمه

امروزه با توجه به گسترش شهرها و صنعتی شدن جامعه و نیاز ضروری انسان به تأمین غذا از عوامل مهم آلودگی خاک بیان شده است. هم‌چنین ارتباط بین اکوسیستم‌های خاک، آب و هوا و انتقال آن به انسان در سال‌های اخیر روند توسعه شهرنشینی جوامع در جهان باعث شده آلودگی آب و خاک گریبان گیر انسان شود. آلودگی خاک به فلزات سنگین در جوامعی که در سال‌های اخیر آلوده به لجن فاضلاب شده اند یا ترکیب شیمیایی در آن‌جا دفن شده مشاهده می‌شود بیشترین مشکل آلودگی خاک به‌علت وجود عناصری است که به شکل کاتیون بوده‌اند از جمله عناصری مثل

روی، مس، سرب و کادمیم بوده که به¬دلیل فعالیت‌های معدنی باعث تخریب گیاهان حساس شده اند (محمدی و همکاران،۱۳۸۸).

از جمله منابع مهم آلودگی خاک‌های زراعی به کادمیم کودهای فسفره است. به این دلیل که سنگ فسفاتی که برای تهیه کود مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای مقدار زیادی کادمیم (۱۰ تا ۹۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) است. شوری از مهم‌ترین و اصلی ترین تنش‌های محیطی بوده که عامل مهمی در کاهش محصول گیاهان زراعی به‌شمار می رود. در ایران نیز بخش زیادی از خاک‌ها و حجم چشمگیری از کل منابع آبی موجود در درجات مختلف مبتلا به شوری هستند. در حدود ۵۵/۶ میلیون هکتار از اراضی ایران (۳۴ درصد مساحت کل کشور) دارای خاک‌هایی با درجات مختلف شوری هستند که بیشتر آن‌ها در فلات مرکزی و دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان مشاهده می‌شوند مشکل شوری این اراضی به‌دلیل زیاد بودن تبخیر از سطح خاک، بارندگی کم، آبیاری با آب با کیفیت نا مناسب و سنگ‌های مادری شور است. خاک‌هایی که تحت تأثیر شوری قرار دارند معمولاً به‌علت کمبود ماده آلی، ساختمان ضعیفی دارند (Lehman et al., 2003). Abbaspour et al.(2008) بیان کردند سه نمونه خاک شامل خاک اسیدی، خنثی، آهکی با نیترات کادمیم (۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم) و نیترات سرب (۱۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب) به‌صورت مصنوعی آلوده شدند و شوری کلرید سدیم (۵۰ میلی‌مول بر کیلوگرم) pH در خاک اسیدی ۵/۵۶ و در خاک خنثی ۶/۹۷ و در خاک آهکی ۷/۷۸ بود.. افزودن نمک NaCl به خاک‌های آلوده به Cd و Pb موجب افزایش کادمیم قابل دسترس در خاک‌های اسیدی و آهکی شد، ولی اثر آن بر Pb اندک بود. اثر شوری ناشی از آنیون کلرید در افزایش غلظت کادمیم به‌دلیل تشکیل کمپلکس‌های $Cd\text{-}Cl^{+}$ و $CdCl_2^{+}$ می‌باشد.

گاهی خاک‌های شور با فلزات سنگین آلوده می‌شوند یا خاک‌های آلوده، تحت تأثیر نمک‌های محلول به‌صورت مختلف قرار می‌گیرند. در زمین‌های کشاورزی آبیاری مداوم خاک با آب‌های با کیفیت نامناسب و ورود فلزات سنگین به خاک-ها از طرق مختلف، سبب شوری و تجمع این عناصر در خاک می‌شوند. اگرچه pH خاک نقش مهمی در قابلیت استفاده کادمیم دارد، اما شوری نیز می‌تواند عامل مهمی در تغییر زیست‌فراهمی این عنصر باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و برخی ویژگی‌های خاک‌ها: دو نمونه خاک غیر آلوده با کلاس بافت شنی و رسی از دشت‌های استان چهارمحال و بختیاری برداشته شد. نمونه‌های خاک با چکش چوبی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های خاک از قبیل بافت به روش هیدرومتر (Gee and Bauder,1986)، قابلیت هدایت الکتریکی (Rhoades et al., 1996)، pH (Thomas., 1996)، گنجایش تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم با pH=۷ (Richards, 1954) و کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون اسید باقی‌مانده(Richards, 1954) و ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Richards, 1954) تعیین شد. مقدار کادمیم کل با استفاده از اسیدنیتریک ۴ مولار (Sposito et al., 1982) و مقدار کادمیم قابل استفاده با روش DTPA (Lindsay and Norvell, 1978) عصاره‌گیری شد.

تیمارها و انکوباسیون: ابتدا ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیم از منبع کلرید کادمیم به‌صورت محلول به نمونه خاک‌ها (۲۰۰ گرم) اضافه و با کل خاک مخلوط و مقدار آب لازم جهت تنظیم رطوبت خاک در ۸۰ درصد رطوبت مزرعه به نمونه‌ها اضافه شد. نمونه‌ها به‌مدت ۳ هفته در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس در رطوبت ۸۰ درصد ظرفیت

مزرعه خوابانده شدند سپس، شوری ۲۰ و ۴۰ میلی‌مول بر کیلوگرم از نمک کلرید سدیم در ۳ تکرار به نمونه خاک‌ها اضافه و به‌مدت ۳ ماه در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس در انکوباتور نگه‌داری شدند. پس از پایان دوره خوابانیدن، از هریک از تیمارها نمونه برداشته و مقدار قابل استفاده کادمیم به‌روش DTPA (با استفاده از ۰/۰۰۵ مولار DTPA + ۰/۰۱ مولار $CaCl_2$ + ۰/۱ مولار TEA) با نسبت ۱:۲ خاک عصاره گیر همراه با ۱۲۰ دقیقه تکان عصاره‌گیری شد (Lindsay and Norvell, 1978). مقدار کادمیم در محلول‌ها با دستگاه جذب اتمی مدل GBC 932 اندازه‌گیری شد. همچنین pH و EC نمونه‌ها با عصاره‌گیری ۲ به ۱ تعیین شد.

تجزیه و تحلیل آماری: قبل از تجزیه واریانس در قالب طرح کاملاً تصادفی، فرضیات تجزیه واریانس شامل یکنواختی واریانس‌ها و توزیع نرمال باقیمانده‌ها بررسی شد. برای بررسی شوری در دو نوع خاک و اثر متقابل آن‌ها بر قابلیت استفاده کادمیم از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده‌شد. مقایسه میانگین‌ها با روش حداقل اختلاف معنی‌دار (Least Significant Difference; LSD) در سطح ۵ درصد با نرم‌افزار Statistica 8 انجام شد. . اندازه اثر (Eat^2p) که نشان دهنده سهم هر یک از عوامل در تغییرات هر ویژگی است، به¬صورت زیر محاسبه شد:

$$Eta^2p = \left[\frac{\text{مجموع مربعات هر عامل}(SS_a)}{(\text{مجموع مربعات هر عامل}\ (SS_a)+\text{مجموع مربعات خطا}\ (SS_{error}))}\right] \qquad (۱)$$

نتایج و بحث

برخی ویژگی‌های خاک مورد آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه*

ویژگی	خاک شنی	خاک رسی
pH	۸/۰۵	۷/۹۲
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴۶	۰/۳۱
ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی‌مول بر کیلوگرم)	۲۵/۵	۳۰/۱
کربن آلی (درصد)	۱/۴۲	۰/۳۴
شن (درصد)	۵۳/۲	۲۸/۳
سیلت (درصد)	۳۸/۵	۴۰/۱
رس (درصد)	۸/۱۶	۳۱/۵
کربنات‌کلسیم (درصد)	۲۰/۸	۲۷/۹
کادمیم قابل استفاده(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	nd	nd
کادمیم کل(میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۰/۰۱۳	۰/۲

*خاک: pH و EC در نسبت ۲ به ۱

nd : زیر حد تشخیص دستگاه

تغییرات pH و قابلیت هدایت الکتریکی در خاک‌های مورد مطالعه

نتایج تجزیه واریانس دو طرفه اثر شوری و خاک بر pH و قابلیت هدایت الکتریکی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد که اثر شوری و خاک بر EC خاک معنی‌دار بود ($p<۰/۰۱$). به‌ترتیب شوری و خاک بیشترین تأثیر را بر EC خاک داشتند. همچنین نتایج این جدول نشان داد که اثر شوری و خاک بر pH خاک معنی‌داری نبود ($p>۰/۰۵$).

جدول۲-نتایج تجزیه واریانس اثر شوری و خاک برEC وpH در خاک‌های مورد مطالعه

منابع تغییرات	درجه‌آزادی	میانگین مربعات(MS)	
		EC	pH
اثرات اصلی			
شوری	۲	۲۲/۰۷(۰/۹۹)**	۲۰۵۸۵۱۲۷(۰/۰۸)ns
خاک	۱	۰/۰۲۵(۰/۱۰) **	۵۶۵۸۹۳۹(۰/۰۴)ns
برهمکنش‌ها			
شوری × خاک	۲	۰/۰۱۵ (۰/۱۲) *	۷۳۲۴۳۸۷(۰/۰۵)ns
خطا	۶۶	۰/۰۰۳	۳۵۵۹۴۶۶

اعداد داخل پرانتز مقدار Eta^2_p {SS_{effect} / (SS_{effect} + SS_{error})}را نشان می‌دهد.

ns و ** و * به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد

مقایسه میانگین قابلیت هدایت الکتریکی تحت تأثیر اثر متقابل خاک و شوری در جدول ۳نشان داده شده است. در خاک رسی و شنی به‌ترتیب بیشترین و کمترین قابلیت هدایت الکتریکی در تیمارهای شوری ۴۰ میلی‌مول بر کیلوگرم و شاهد مشاهده شد. در تیمارهای ۲۰ و ۴۰ میلی‌مول بر کیلوگرم قابلیت هدایت الکتریکی در خاک رسی و شنی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p>۰/۰۵$). در حالی‌که در شاهد، قابلیت هدایت الکتریکی در خاک رسی و شنی تفاوت معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$). در حالی‌که قابلیت هدایت الکتریکی در خاک شاهد شنی ۳۳/۳درصد بیشتر از خاک شاهد رسی بود. قابلیت هدایت الکتریکی در خاک رسی و شنی در تیمارهای دارای سطوح مختلف شوری نسبت به خاک شاهد افزایش یافت. در خاک رسی قابلیت هدایت الکتریکی در تیمار شوری ۴۰ میلی‌مول بر کیلوگرم نسبت به شاهد (۶۵۳/۳٪) افزایش یافت. در خاک شنی قابلیت هدایت الکتریکی در تیمار شوری ۴۰ میلی‌مول بر کیلوگرم نسبت به شاهد (۴۶۷/۵٪) افزایش یافت. Gholab and Osman (2007) بیان کردند که در دو خاک با بافت لوم رسی ۷/۶۵ =pH و شنی با pH=۸ با افزایش سطح شوری از صفربه ۶۸/۴ میلی‌مولار کلرید سدیم قابلیت هدایت الکتریکی خاک رسی از ۱/۲۶ به ۱۰/۱ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با خاک شاهد افزایش یافت که معادل(۷۰۱/۵٪) افزایش بود و قابلیت هدایت الکتریکی خاک شنی از ۲/۹۳ به ۱۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت که معادل (۳۵۷/۳٪) افزایش بود.

نتایج نشان داد که کاربرد شوری و خاک بر مقدار pH خاک اثر معنی‌داری نداشت ($p>۰/۰۵$). Khoshgoftar et (2004) al بیان کردند که در خاک آلوده شده مصنوعی با سولفات روی به مقدار (صفر و ۱۵ میلی‌مول بر کیلوگرم) با pH=۷/۸ و سطوح شوری (صفر، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ میلی‌مولار کلرید سدیم و ۱۲۰ میلی‌مولار نیترات سدیم) شوری خاک تأثیر معنی‌داری بر pH خاک نداشت.

جدول۳-اثرات متقابل خاک و شوری بر قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)

خاک	مقدار نمک (میلی‌مول بر کیلوگرم)		
	شاهد	۲۰	۴۰
رسی	۰/۳۱±۰/۰۱d	۱/۲۹±۰/۰۱b	۲/۲۶±۰/۰۱a
شنی	۰/٤٦±۰/۰۱c	۱/۳۱±۰/۰۱b	۲/۲۷±۰/۰۱a

میانگین‌های دارای حروف متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است. (n=۳).

کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA

نتایج تجزیه واریانس دو طرفه اثر شوری و خاک بر کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان داد اثر شوری($p<۰/۰۵$) و خاک ($p<۰/۰۱$) بر کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA معنی‌دار بود. به‌ترتیب خاک و شوری بیشترین تأثیر را بر کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA داشتند.

جدول۴-نتایج تجزیه‌واریانس اثر شوری و خاک بر کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در خاک‌های مورد مطالعه

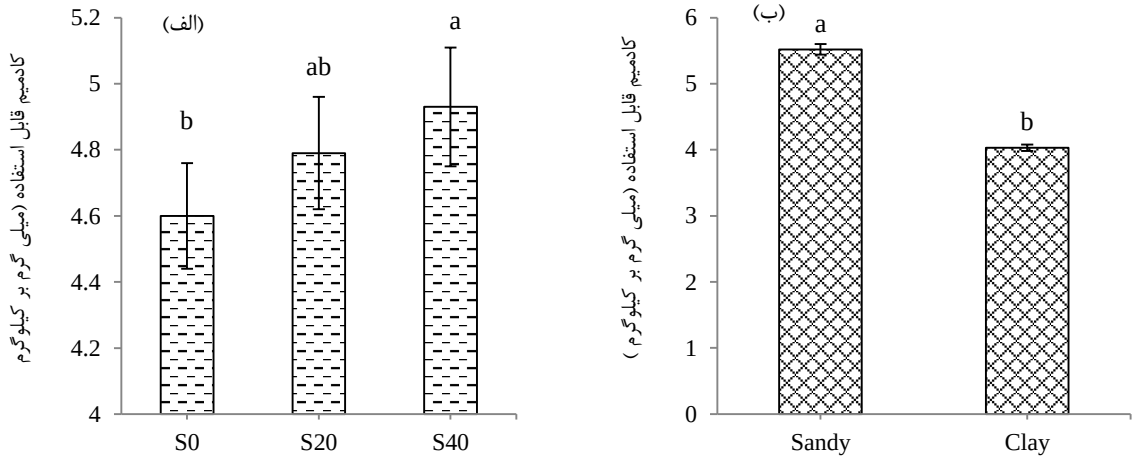
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات(MS)
		DTPA
اثرات اصلی		
شوری	۲	۰/۶۸ (۰/۱۰)*
خاک	۱	۳۹/۸۲ (۰/۷۶)**
برهمکنش‌ها		
شوری× خاک	۲	۰/۰۰۳(۰/۰۰۰۵) ns
خطا	۶۶	۰/۱۸

اعداد داخل پرانتز مقدار Eta^2_p {SS_{effect} / (SS_{effect} + SS_{error})}را نشان می‌دهد.

ns و ** و * به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

مقایسه میانگین کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA تحت تأثیر شوری در شکل ۱- الف نشان داده شده است. میانگین کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در تیمارشوری ۴۰ میلی‌مول بر کیلوگرم نسبت به شاهد (۷/۱٪) ($p<۰/۰۵$) و ۲۰ میلی‌مول بر کیلوگرم (۲/۹٪) افزایش یافت ($p>۰/۰۵$). Osman (2015) بیان کرد در خاک شنی لومی آهکی آلوده‌شده به‌طور مصنوعی با کلرید کادمیم با غلظت‌های ۰/۵، ۱/۵، ۳، ۶، ۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دارای pH= ۷/۸۲ با افزایش شوری از صفر به ۱۲۰ میلی‌مول کلرید سدیم Cd قابل استخراج با DTPA افزایش یافت. نتایج این پژوهش نشان داد که pH خاک با افزایش مقدار نمک کاهش یافت. بنابراین قابلیت دسترسی کادمیم با افزایش شوری افزایش یافته است.Keshavarz et al. (2006) بیان کردند که درخاک رسی با pH=۸/۱ با افزایش سطوح شوری محلول کلریدسدیم و کلرید کلسیم با نسبت اکی‌والان یکسان از صفر به ۱۰/۸ دسی‌زیمنس روی قابل استفاده (۶/۳٪) در مقایسه با شاهد افزایش یافت.

مقایسه میانگین کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA تحت تأثیرخاک در شکل ۱-ب نشان داده شده است. میانگین کادمیم عصاره‌گیری شده با DTPA در خاک شنی نسبت به خاک رسی بیشتر بود ($p<۰/۰۵$).



شکل۱- مقایسه میانگین کادمیم قابل استفاده (میلی‌گرم بر کیلوگرم) تحت تأثیرشوری (الف) و نوع خاک (ب)

خطای استاندارد به صورت خطوط عمودی نشان داده شده است.
حروف مشابه، فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بین تیمارها بر اساس آزمون LSD هستند.
S0 : شاهد؛ S20: مقدار ۲۰ میلی‌مول بر کیلوگرم کلرید سدیم؛ S40: مقدار ۴۰ میلی¬مول بر کیلوگرم کلرید سدیم

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد شوری ناشی از کلریدسدیم تحرک و قابلیت استفاده کادمیم را افزایش می‌دهد. یون سدیم حاصل از نمک می‌تواند برای جذب محل تبادلی روی فاز جامد با فلز سمی رقابت کند و از این طریق با جایگزینی فلز سمی جذب سطحی شده موجب ورود آن به محلول خاک شود و در نتیجه قابلیت دسترسی فلزات سمی افزایش می‌یابد.

فهرست منابع

۱. محمدی، م. فتوت،ا و حق‌نیا، ج. (۱۳۸۸). تأثیر مواد آلی بر عناصر سنگین (نیکل، روی و کروم) در فاضلاب صنعتی. مجله آب و خاک. جلد ۲۳: صفحات ۲۶۲-۲۵۱.

2. Abbaspour, A., Kalbasi, M., Hajrasuliha, S. and Fotovat, A. (2008). Effect of organic matter and salinityon ethylenediaminetetraacetic acid–extractable and solution species of cadmium and lead in three agricultural soils. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 39:983-1005.
3. Gee, G.W. and Bauder ,J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute, A. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part l. 2nd edition.Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin. pp. 404-407.
4. Ghallab, A. and Usman, A.R.A. (2007). Effect of sodium chloride-induced salinity on phyto-availability and speciation of Cd in soil solution. Water, Air, and Soil Pollution. 185: 43-51.

5. Khoshgoftar, A.H., Shariatmadari, H., Karimian, N., Kalbasi, M., Van der Zee, S.E.A.T.M. and Parker,D.R. (2004). Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. Journal of Soil. Science Society of America. 68: 1885-1889.
6. Keshavarz, P.,Malakouti,M.J., Karimian, N., Fotovat, A .(2006). The effects of salinity on extractability and chemical fractions of zinc in selected calcareous soils of Iran. J Agric Sci Technol 8:181–190.
7. Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421-428.
8. Lehmann, J., Silva, J.P., Jr, C., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. Plant and Soil. 249:343–357.
9. Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. 78(2),154p.LWW.
10. Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks, D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison. pp. 417-435.
11. Sposito, G., Lund, L.J. and Chang, A.C. (1982). Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 260-265.
12. Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. In: Sparks, D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis. SSSA, Madison. pp. 475-490.
13. Usman, A.R. (2015). Influence of NaCl-induced salinity and Cd toxicity on respiration activity and Cd availability to barley plants in farmyard Manure-amended soil. Applied and Environmental Soil Science. https://doi.org/10.1155/2015/483836

The effect of salinity on of cadmium available in contaminated sandy and clay soils

Elnaz Mirzakhani [1], Hamid Reza Motaghian [2], Alireza Hosseinpour [3]

1- Author responsible student, Master of Soil Chemistry and Fertility, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, ELNAZ.MIRZAKHANI2014@yahoo.com

2- Associate Professor, Soil Chemistry and Fertility Department, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Motaghian.h@yahoo.com

3- Professor of Soil Chemistry and Fertility Department, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, alirezahosseinpur1347@gmail.com

Abstract

Heavy metals are considered as important causes of environmental pollution due to accumulation in organisms and toxicity. Also, salinity can affect the available of these metals.Therefore, in order to investigate the salinity on the Cd available in two contrasted texture contaminated soils (15 mg/kg Cd), experimental in factorial form in a completely randomized design including control salinity factor, 20 and 40 mmol sodium chloride/Kg-Soil temperature and soil factor including clay and sand were done in 3 replications.The amount of Cd available was determined by DTPA method . The salinity increased Cd extracted by DTPA and electrical conductivity of soil ($p < 0.05$). Effect of salinity on pH wasnot significant ($p > 0.05$). Therefore, salinity can increase Cd available by increasing the ionic strength and thus increasing the solubility of solid phases controlling the activity of heavy metals in the soil.

Keywords: Salinity, cadmium, available.

روش سطح پاسخ در بهینه سازی جذب کادمیم بوسیله لئوناردیت از محلول‌های آبی

مرضیه پیری[۱]، ابراهیم سپهر[۲]، عباس صمدی[۳]، خلیل فرهادی[۴]، محمد علیزاده[۵]

۱- پژوهشگر پسادکتری، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه (ma.piri@urmia.ac.ir)

۲ و ۳- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه ۴- استاد گروه شیمی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه ۵- استاد گروه صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

چکیده

آلودگی آب و خاک توسط فلزات سنگین یک مسئله اصلی جهانی در جوامع توسعه یافته به دلیل فعالیت‌های صنعتی انسان است. جذب یکی از روش‌های موثر در حذف فلزات از خاک و محلول‌های آبی می‌باشد. روش سطح پاسخ می‌تواند در بهینه‌سازی عوامل موثر در فرایند جذب فلزات سنگین به وسیله جاذب‌ها استفاده شود. در این پژوهش بهینه‌سازی جذب کادمیم بوسیله لئوناردیت با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن، آزمایشات ناپیوسته جذب برای ارزیابی اثر متغیرهای مستقل شامل pH، قدرت یونی و غلظت با استفاده از روش ذکر شده انجام گردید. آنالیز واریانس یک طرفه برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. با توجه به مقادیر ضریب تعیین (R^2=۰/۹۹) وR^2 متعادل شده (R^2adj=۰/۹۹)، مدل بدست آمده برای تحلیل داده‌ها مناسب می‌باشد. آنالیز واریانس یک طرفه (p<۰/۰۰۰۱) نشان داد مدل درجه دو بهترین مدل برای تعیین برهمکنش متغیرهای مطالعه می‌باشد. نتایج نشان داد میزان جذب کادمیم با افزایش غلظت اولیه فلز و pH افزایش و با افزایش قدرت یونی کاهش یافت. شرایط بهینه برای جذب حداکثر کادمیم به وسیله لئوناردیت از محلول‌های آبی به ترتیب در محدوده pH ۶ ، غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر لیتر و قدرت یونی ۰/۰۲ مول بر لیتر بدست آمد.

واژگان کلیدی: کادمیم، روش سطح پاسخ، جذب، لئوناردیت، باکس بنکن

مقدمه

کادمیوم یک فلز سمی است که سازمان بهداشت جهانی[۱] حداکثر غلظت کادمیم در آب‌های آشامیدنی را ۰/۰۰۳ میلی‌گرم در لیتر تعیین کرده است (World Health Organization, 2011). اثرات سمیت کادمیم بر روی ریه‌ها، کلیه‌ها، استخوان‌ها و نقص جنینی بوده است و حتی می‌تواند عامل یکسری از مرگ و میرهای انسانی نیز باشد. آسیب ناشی از آن به انسان بیماری به نام ایتای-ایتای (بیماری روماتیسم یا تغییر شکل اسکلتی) می‌باشد(Wang et al. 2019). کادمیم از طریق فرسایش خاک و سنگ بستر، رسوبات آلوده اتمسفری ناشی از کارخانجات صنعتی، پساب مناطق آلوده و استفاده از لجن و کود در کشاورزی، وارد اکوسیستم‌های آبی و خاکی می‌شود.

روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی بکار رفته است که از آن جمله می‌توان به تبادل یون، جذب سطحی، اسمز معکوس، الکترودیالیز، حذف زیستی، استخراج حلال، لخته شدن و فرایند تفکیک پیوسته اشاره نمود. روش جذب سطحی به دلیل کارایی و کاربرد آسان در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. عملکرد فرایند جذب معمولا به پارامترهای از جمله pH، دما، نوع و غلظت جاذب مورد استفاده بستگی دارد (Es-Sahbany et al. 2021). در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت و فراوان برای حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی و خاک، به طور چشم گیری افزایش یافته است.

[1] - World Health Organization

لئونارديت گونه‌ای از لیگنیت هوادیده شده حاوی مقادیر زیادی از کربن و گروه‌های عامل (کربوکسیل، هیدروکسیل، فنلی و کربونیل) بوده که در جذب فلزات سنگین در محیط‌های آبی بسیار موثر می‌باشد (Machovic et al. 2000). گروه‌های عاملی نقش موثری در تبادل یون و تشکیل کمپلکس در طول تثبیت یون‌های فلزی از محلول دارند. Leo-Luque و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که جذب کروم از محلول‌های آبی توسط لئونارديت شدیداً به pH وابسته بوده و بیشترین حذف کروم در محدوده pH ۵-۴، ۷۵/۱۲ میلی‌گرم بر گرم بدست آمد. Sole و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی زدودن روی از محلول‌های آبی گزارش کردند بیشترین جذب روی در محدوده pH ۵-۶ است.

روش سطح پاسخ[۲] (RSM) یکی از روش‌های آماری و ریاضی برای طراحی و بهینه سازی فرایندها است. این روش می‌تواند بررسی اثرات پارامترهای مستقل و اهمیت نسبی برهمکنش بین دو یا چند متغیر بر روی فرایند را نشان دهد. RSM تنها شرایط بهینه را مشخص نمی‌کند، بلکه مدل رگرسیونی مناسب را نیز پیشنهاد می‌نماید. این کار را می‌توان به روش طرح مرکب مرکزی[۳] و یا باکس بنکن[۴] انجام داد (Zolgharnein et al. 2013). هدف از این مطالعه مدل‌سازی جذب کادمیم به وسیله لئونارديت از محلول-های آبی با استفاده از روش سطح پاسخ بر مبنای مدل باکس بنکن برای بررسی اثر متقابل متغیرهای مستقل موثر بر فرایند جذب شامل pH، غلظت و قدرت یونی در وضعیت ناپیوسته می‌باشد.

مواد و روش‌ها

متغیرهای مستقل در این مطالعه شامل غلظت اولیه فلز (A)، pH (B)، قدرت یونی (C) در دو سطح حداقل و حداکثر ۱- و ۱ بودند (جدول۱). تعداد آزمایشات مورد نیاز با استفاده از مدل باکس بنکن از رابطه $N=2K(K-1)+C$ تعیین می‌شود، که N تعداد نمونه آزمایش، K تعداد متغیرها و C تعداد نقطه مرکزی می‌باشد. پارامترهای pH در محدوده ۳ تا ۶، غلظت اولیه فلز در محدوده ۰ تا ۲۰۰ میلی گرم درلیتر و قدرت یونی ۰/۰۱ تا ۰/۰۶ مولار قرار گرفتند (جدول ۱).

جدول ۱- پارامترهای مورد استفاده در طراحی به همراه مقادیر و محدوده در نظر گرفته شده

متغیرهای مستقل		سطح کد داده شده	
		+۱	-۱
غلظت اولیه ($mg\ L^{-1}$)	A	۲۰۰	۰
pH	B	۶	۳
قدرت یونی ($mol\ L^{-1}$)	C	۰/۰۶	۰/۰۱

۰/۱ گرم از لئونارديت در داخل لوله‌های سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و به هر یک از لوله‌ها ۲۵ میلی‌لیتر محلول فلزی با شرایط آزمایش‌های طراحی شده در محلول زمینه نیترات‌سدیم ریخته و به مدت ۳ ساعت تکان داده شدند. پس از سانتریفوژ کردن نمونه‌ها، غلظت کادمیم باقی مانده در محلول رویی صاف شده با استفاده از دستگاه جذب اتمی (شیمادزو[۵]، مدل AA ۶۳۰۰) اندازه‌گیری شد. تنظیم pH با استفاده از محلول‌های اسید هیدروکلریک و هیدروکسید سدیم یک نرمال انجام گردید. میزان جذب کادمیم توسط لئونارديت به‌وسیله رابطه زیر محاسبه شد: (q_e) ($mg\ g^{-1}$)

$$qe = \frac{(C_i - C_e) \times V}{m} \qquad [۱]$$

[2] Response Surface Modeling (RSM)
[3] Central composite
[4] Box-Behnken
[5] Shimadzu

که در آن، C_i غلظت اولیه کادمیم($mg\ L^{-1}$)، C_e غلظت تعادلی ($mg\ L^{-1}$)، m جرم جاذب (۰/۰۵ گرم) و V حجم محلول (۲۵میلی-لیتر) می‌باشد. مقدار جذب فلز در نرم افزار اکسل محاسبه و از نرم افزار Design-Expert 7.0 برای تعیین تعداد آزمایش‌ها، مقدار پارامترها و در نهایت آنالیز داده‌های به دست آمده پس از انجام فرایند مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

مدل‌سازی و آنالیز آماری با استفاده از روش RSM

پس از طراحی تعداد و مقادیر پارامترها، نتایج حاصل از آزمایش به دست آمد (جدول۲). براساس نتایج به دست آمده حداکثر مقدار جذب کادمیم ۱۴ ($mg\ g^{-1}$) شد. به منظور یافتن بهترین مدل، پس از آنالیز واریانس مربوط به مدل‌های مختلف، یک مدل درجه دوم (Quadratic) توسط نرم افزار برای توصیف فرایند جذب کادمیم به وسیله لئوناردیت پیشنهاد شد (جدول۲).

جدول۲- نتایج روش باکس بنکن جذب سرب به وسیله سپیولیت

Run	Ci	pH	IS	Response (sorption mg g^{-1})
	mg L^{-1}		mol L^{-1}	Cd(II)
۱	۰	۳	۰/۰۳	۰
۲	۲۰۰	۳	۰/۰۳	۱۲/۵۷
۳	۰	۶	۰/۰۳	۰
۴	۲۰۰	۶	۰/۰۳	۱۴/۴۳
۵	۰	۴/۵	۰/۰۱	۰
۶	۲۰۰	۴/۵	۰/۰۱	۱۳/۲۴
۷	۰	۴/۵	۰/۰۶	۰
۸	۲۰۰	۴/۵	۰/۰۶	۱۱/۲۳
۹	۱۰۰	۳	۰/۰۱	۷/۶۰
۱۰	۱۰۰	۶	۰/۰۱	۱۰/۱۹
۱۱	۱۰۰	۳	۰/۰۶	۵/۷۳
۱۲	۱۰۰	۶	۰/۰۶	۹/۵۵
۱۳	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۸/۷۵
۱۴	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۸/۹۷
۱۵	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۹/۲۹
۱۶	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۸/۸۲
۱۷	۱۰۰	۴/۵	۰/۰۳	۹/۱۹

مقدار F-value برابر ۱۳۸ و مقدار P-value کوچکتر از ۰/۰۰۰۱ برای مدل نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی برای شبیه سازی جذب کادمیم از محلول‌های آبی توسط لئوناردیت دارای اهمیت است. مدل ارائه شده برای سیستم شامل سه ترم اثرات تک جزئی یا خطی (غلظت، pH، قدرت یونی) و یک اثر انحنا یا درجه دوم است. اما همه این پارامترها در مدل تأثیر معنی‌دار و مهم نداشته و با حذف برخی از این پارامترها مدل ساده‌تر می‌شود.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس برای مدل درجه دو برای جذب کادمیم به وسیله لئوناردیت

P value	F value	Mean square	df	Sum of squares	Source
<۰/۰۰۰۱	۱۳۸/۵۳	۹۰/۹۶	۴	۳۶۳/۸۳	Model
<۰/۰۰۰۱	۵۰۴/۷۲	۳۳۱/۳۹	۱	۳۳۱/۳۹	A-Con
۰/۰۰۳۶	۱۳	۸/۵۴	۱	۸/۵۴	B-pH
۰/۰۷۲۵	۳/۸۷	۲/۵۴	۱	۲/۵۴	C-IS
<۰/۰۰۰۱	۳۲/۵۳	۲۱/۳۶	۱	۲۱/۳۶	A^2
		۰/۶۶	۱۲	۷/۸۸	Residual
۰/۰۰۶۹	۱۸/۰۴	۰/۹۶	۸	۷/۶۷	Lack of Fit
		۰/۰۵۳	۴	۰/۲۱	Pure Error
			۱۶	۳۷۱/۷۱	Cor Total
۰/۹۹۸۸	R^2	۱۸/۹۴	PRESS	۰/۸۱	Std.Dev
۳۳/۹۹	Adeq Precision	۰/۹۹۹۱	Pred-R^2	۰/۹۹۱۷	Adj-R^2

مقدار ضریب تبیین (R^2)، پارامتر مجذور مربعات پیش بینی شده[6] (Pre-R^2) و مقدار پارامتر مجذور مربعات فواصل تنظیم شده (Adj-R^2) برای برابر ۰/۹۹ است، نشان می‌دهد که مدل دارای صحت قابل قبولی است (جدول ۳). همچنین پارامتر دقت مناسب[7] نشان دهنده نسبت سیگنال به نویز است که نسبت بزرگتر از ۴ قابل قبول است، که این پارامتر ۳۴ می‌باشد که نشان دهنده مقدار مطلوب دقت مناسب است (جدول۳). پس از تحلیل‌های آماری مدل پیشنهادی برای جذب کادمیم به صورت معادله درجه دو توسط نرم افزار ارائه شد که در رابطه های زیر نشان داده شده است:

$$Sorb_{(Cd)} = +8.68+6.44*A+1.03*B-0.56*C-2.25*A^2 \quad (۲)$$

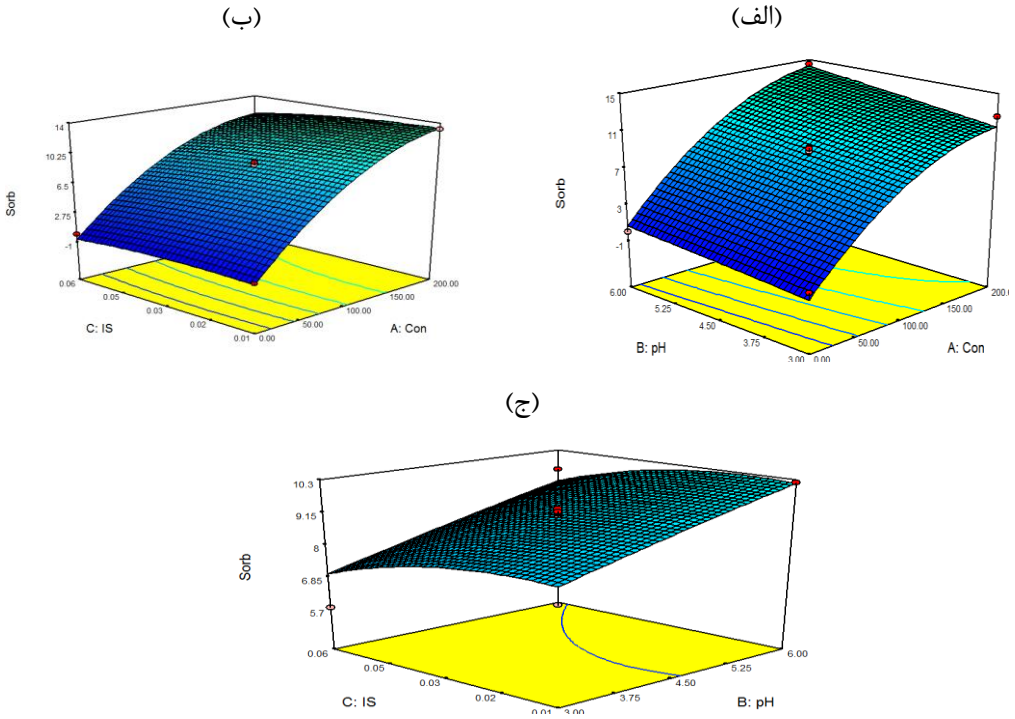
Y پاسخ پیش بینی شده برای جذب کادمیم به وسیله لئوناردیت، پارامترهای A، B، C به ترتیب غلظت، pH و قدرت یونی می-باشند.

نحوه اثر متغیرها در فرایند جذب و بهینه سازی مدل

به منظور بررسی چگونگی اثرگذاری هر متغیر و اثرات متقابل یا اثرات دوگانه متغیرها بر روی پاسخ ایجاد شده توسط مدل، نمودارها با استفاده از نرم افزار طراحی آزمایش تهیه شدند. نمودار سه بعدی پاسخ سطحی مربوط به عملکرد دو متغیر در سطح مرکز از سایر متغیرها نشان می‌دهد. شکل ۱ نمودارهای مربوط جذب کادمیم به صورت تابعی از pH، غلظت اولیه فلز و قدرت یونی را نشان می‌دهد. همان‌طوریکه در شکل ۱-الف نشان داده شده است، دو پارامتر pH و غلظت اولیه (con) کادمیم به عنوان پارامترهای انتخابی بودند که در محدوده پارامترهای تعریف شده، تأثیر غلظت فلز نسبت به pH محلول بیشتر بود و با تغییر غلظت فرایند جذب بیشتر دستخوش تغییرات قرار گرفت و پارامتر pH تأثیرگذاری نسبی کمتری داشت. با افزایش pH و غلظت مقدار جذب بیشتر شد. در شکل ۱-ب اثرات متقابل پارامترهای غلظت (con) و قدرت یونی (IS) در pH ثابت برابر ۴/۵ پارامترهای انتخابی هستند، که در این شکل نیز تأثیر غلظت بیشتر از قدرت یونی داشت. افزایش قدرت یونی اثر معکوس بر میزان جذب دارد.

[6] Predicted R-squared
[7] Adequate Precision

اثرات متقابل pH و قدرت یونی (IS) در غلظت ثابت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر در شکل ۱-ج نشان داده شده است. همانگونه که نشان داده شده است، با افزایش pH و کاهش قدرت یونی مقدار جذب فلز افزایش یافت.



شکل۱- نمودار سه بعدی جذب کادمیم به وسیله لئونارديت الف: اثرات متقابل pH و غلظت (Con) در قدرت یونی ثابت ۰/۰۳، ب: اثرات متقابل قدرت یونی (IS) و غلظت (Con) در pH برابر۴/۵ ج: اثرات متقابل pH و قدرت یونی(IS) در غلظت ثابت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر

با افزایش غلظت تعداد یون‌های فلزی در محلول‌های آبی، رقابت برای دسترسی به محل‌های اتصال افزایش و تمامی محل‌های اتصال در مواجهه با برخورد یون‌ها قرار گرفته و مقدار جذب افزایش می‌یابد، ولی با افزایش خیلی زیاد غلظت سطح جاذب سریع اشباع می‌شود و جذب یون‌های فلزی و درصد حذف کاهش می‌یابد. Katsou et al. 2011 گزارش کردند که با افزایش غلظت اولیه فلزات سنگین، ظرفیت جذب و راندمان حذف کاهش می‌یابد. pH محلول نقش بسیار مهمی در جذب یون‌های فلزی ایفا می‌کند. در pHهای کم (شرایط اسیدیته محلول)، افزایش یون هیدروژن موجب رقابت بیشتر H^+ با کاتیون‌های محلول شده و H^+ به جای یون‌های فلزی جذب جاذب می‌شود (Deng and Ting, 2005). در نتیجه جذب کادمیم در pHهای اسیدی کاهش پیدا می‌کند در pHهای بالاتر به‌علت کاهش H^+ مقدار جذب یون‌های فلزی افزایش یافته و سبب افزایش درصد حذف فلز می‌شود. قدرت یونی نیز عاملی تأثیرگذار بر تعادل گونه‌های جذب شده و جاذب در فاز محلول است، با افزایش قدرت یونی محلول میزان جذب فلز کاهش پیدا می‌کند (Sanchez, 1999). El-sayed et al. 2010 در بررسی جذب کادمیم و نیکل از محلول آبی مشاهده کردند که با افزایش ۱ تا ۱۰ گرم در لیتر NaCl، جذب کادمیم و نیکل کاهش یافت.

بهینه‌سازی مدل و یافتن مقدار بهینه متغیرها در فرایند جذب کادمیم توسط لئونارديت با استفاده از نرم افزار انجام شد. به این منظور در نرم افزار شرایط بهینه‌سازی مربوط به هر متغیر و پاسخ تعیین شد و همه پارامترها در محدوده مربوط به طراحی و میزان جذب در حداکثر مقدار تنظیم شدند. در این شرایط غلظت برابر ۲۰۰ ($mg\ L^{-1}$)، pH برابر ۶ و قدرت یونی ۰/۰۲ مولار برای ج کادمیم بوسیله لئونارديت پیش‌بینی شد.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج بدست آمده، مدل سازی جذب کادمیم از محلول‌های آبی با استفاده از لئوناردیت به روش سطح پاسخ بر مبنای طراحی باکس بنکن، برای بررسی اثر پارامترهای pH، قدرت یونی و غلظت بر روی فرایند جذب با یک مدل درجه دو قابل توضیح است. مدل رگرسیونی بدست آمده نشان داد به ترتیب غلظت و pH مؤثرترین پارامترها در افزایش عملکرد پاسخ (جذب) می‌باشند و قدرت یونی اثر معکوس در مقدار جذب کادمیم از محلول‌های آبی توسط لئوناردیت دارد. بنابراین لئوناردیت به عنوان یک جاذب موثر در حذف یون‌های کادمیم از محلول‌های آبی عمل می‌کند.

Deng S.B., Ting, Y.P. (2005). Characterization of PEI-modified biomass and biosorption of Cu (II), Pb(II) and Ni(II). *Water Research*, 39, 2167–2177.

Es-sahbany, H., El Hachimi, M.L., Hsissou, R et al. (2021). Adsorption of heavy metal (Cadmium) in synthetic wastewater by the natural clay as a potential adsorbent (Tangier-Tetouan-Al Hoceima – Morocco region). Materials Today: Proceedings 24. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.1102.

El-Sayed, G.O., Dessouki, H.A., Ibrahim, S.S.(2010). Biosorption of Ni (II) And Cd (II) ions from aqueous solutions onto rice straw. *Journal Chemical Sciences*, 9, 1-11.

Katsou, E., Malamis, S., Haralambous, K.J. (2011). Industrial wastewater pre-treatment for heavy metal reduction by employing a sorbent-assisted ultrafiltration system. C*hemosphere*, 82(4), 557-64.

Lao-Luque, C., Sole, M., X.G., Valderrama, C.S. D., Dorado, A. (2014). Characterization of chromium (III) removal from aqueous solutions by an immature coal (leonardite) toward a better understanding of the phenomena involved. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16,127–136.

Machovic, V., Mizera, J., Sykorova, I., Borecka , L. (2000). Ion-exchange properties of Czech oxidized coals, Acta Mont, IRSM AS CR Ser. 10 (117), 15–26.

Sanchez, A.G., Ayuso, E.A., De Blas, O.J. (1999). Sorption of heavy metals from industrial waste water by low-cost mineral silicates. *Clay Minerals*, 34, 469-477.

Sole, M., Casas, J.M., Lao, C. (2003). Removal of Zn from aqueous solution by low-rank coal. *Water, Air, & Soil Pollution*, 144, 57-65.

Wang, F., Yang, W., Cheng, P., Zhang, S., Jiao, W., Sun, Y. (2019). Adsorption characteristics of cadmium onto microplastics from aqueous solutions. *Chemosphere*, 235:1073-1080.

Zolgharnein, J., Shahmoradi, A., Ghasemi, J.B. (2013). Comparative study of Box–Behnken, central composite, and Doehlert matrix for multivariate optimization of Pb(II) adsorption onto Robinia tree leaves. *Journal of Chemometrics*, 27(1), 12-20.

Response surface methodology (RSM) for optimizing Cd sorption from aqueous solutions by leonardite

M. Piri[1], E. Sepehr[2], A. Samadi[3], Kh. Farhadi[4], M. Alizadeh Khaledabad[5]

[2]Post-doctoral research fellow, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, [2and3]Prof., Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran [4] Prof., Department of Chemistry Science Faculty of Chemistry, University of Urmia, Iran[5] Prof., Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture., University of Urmia, Iran

Abstract

Water pollution by heavy metals is a main global issue in developed communities due to human and industrial operations. Adsorption is one of the important techniques in Cd removal from aqueous solutions. The purpose of this study was to optimize Cd removal from aqueous solutions by leonardite using response surface method and Box–Behnken methods. The batch experiment was conducted to evaluate the effects of independent variables such as pH, metal concentration, and ionic strength on the metal sorption by above mentioned methods. One-way analysis of variance (ANOVA) was applied for data analysis. High value for R^2 (0.99) and adjusted R^2 (0.99) showed that removal of Cd can be described by response surface method. One-way ANOVA showed ($p < 0.001$) that quadratic model was the best model for determining the interaction variables. The optimal conditions for maximum sorption of Cd from aqueous solution were pH= 6, 200 mg L^{-1} for initial concentration and ionic strength= 0.02 M.

Keywords:Cd, Response surface method, Box-Behnken, sorption, leonardite

ارزیابی شاخص تحمل تنش کادمیم در ارقام مختلف گندم

عاطفه توکلی[1*]، احمد گلچین[2]، سمانه عبداللهی[3]

[1] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان :atefeh.tavakoli92@gmail.com

[2] استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[3] دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

چکیده

به‌دلیل اهمیت گندم در تأمین غذای بشر و هم‌چنین وجود کارخانه‌های صنعتی و مصرف بی‌رویه‌ی کودها و به دنبال آن آلودگی زمین‌های زراعی، انتخاب رقم‌های متحمل به تنش فلزهای سنگین به خصوص کادمیم، در مناطق مستعد آلودگی ضروری می‌باشد. به‌منظور ارزیابی شاخص تحمل تنش کادمیم در چهار رقم گندم یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه به اجرا درآمد. تیمارها شامل پنج سطح آلودگی خاک به کادمیم (صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) از منبع سولفات کادمیم [$3Cd(SO_4).8H_2O$] و چهار رقم گندم (اوروم، پیشگام، زارع و میهن) بودند که در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارها اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.01$) بر شاخص‌های MP، GMP و TOL داشتند. با افزایش سطوح آلودگی خاک به کادمیم شاخص‌های MP وGMP کاهش و شاخص TOL افزایش یافتند. هم چنین با توجه به شاخص‌های MP و GMP، رقم پیشگام تحمل بیش‌تری نسبت به تنش کادمیم نشان داد.

کلمات کلیدی: آلودگی خاک، اوروم، پیشگام، زارع، میهن.

مقدمه

تنش‌های محیطی بزرگ‌ترین عامل محدود کننده عملکرد قابل برداشت نسبت به پتانسیل عملکرد در گیاهان زراعی می‌باشند (Boyer, 1982). هم‌چنین ۹۰ درصد اراضی قابل کشت جهان در معرض یک یا چند تنش قرار دارند (Leopold, 1990; Reynolds *et al.*, 2001). از جمله این تنش‌ها می‌توان به حضور فلزات سنگین در محیط رشد گیاهان اشاره کرد. در میان فلزات سنگین کادمیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا به راحتی از طریق ریشه گیاه جذب می‌شود و اثرات ناشی از سمیت آن تا ۲۰ برابر بیشتر از سایر فلزات سنگین است. کادمیم عنصری غیر ضروری برای انجام فعالیت‌های حیاتی و رشد و نمو گیاه می‌باشد (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۵). مقادیر بالای کادمیم به دلیل ایجاد اختلالات متابولیسمی، باعث افزایش میزان اکسیژن فعال در سلول شده و واکنش‌های تنش اکسیداتیو در گیاه را افزایش می‌دهد (Mostashari, 2002). کادمیم باعث پیچش برگ، کلروزه و نکروزه شدن برگ‌ها، قرمز و قهوه‌ای شدن حاشیه برگ‌ها، کاهش سطح برگ، کاهش ماده خشک کل، قهوه‌ای شدن ریشه و کاهش رشد گیاه می‌شود (علومی و منوچهری کلانتری، ۱۳۸۲). هم‌چنین کادمیم سبب کاهش جذب و انتقال آب توسط ریشه شده و بر روی فرآیند تنفس، فتوسنتز، روابط آبی گیاه و تبادلات گازی روزنه‌ها اثر منفی داشته و در بیوستنز کلروفیل، چرخه کالوین و واکنش نوری فتوسنتز اختلال ایجاد می‌کند (Goncalves *et al.*, 2007). کادمیم باعث جلوگیری از جوانه زدن گیاه می‌شود به‌طوری که بین میزان بازدارندگی جوانه زدن بذر و غلظت کادمیم، همبستگی خطی وجود دارد (Cheng and Zhou, 2002). در بین محصولات کشاورزی گندم جایگاه ویژه‌ای در

* ایمیل نویسنده مسئول: Atefeh.tavakoli92@gmail.com

جیره غذایی بشر دارد، از سوی دیگر کشت گندم در خاک‌هایی که تحت تنش فلزات سنگین به ویژه کادمیم هستند (به‌خصوص در مناطقی مانند استان زنجان که دارای شهرک‌های متعدد سرب و روی می باشد) می‌تواند باعث انتقال این عنصر به چرخه غذایی انسان شود و سلامت بشر را به مخاطره بیندازد. پهنه‌بندی فلز کادمیم با استفاده از کریجینگ معمولی نشان داد که غلظت فلز سنگین کادمیم در بیشتر اراضی نیمه شرقی و مرکزی منطقه زنجان بالای حد آستانه خطر قرار دارد (عبداللهی و همکاران ۱۳۹۱؛ یاری و همکاران، ۱۳۹۵). لذا نتایج فوق این ضرورت را ایجاد کرده که به مطالعه و بررسی تحمل رقم‌های قابل کشت این استان نسبت به تنش فلزات سنگین از جمله کادمیم پرداخته شود تا بتوان رقم‌های مقاوم را نسبت به تنش مذکور انتخاب کرد. از جمله شاخص های ارزیابی گیاه گندم به تنش ناشی از فلز کادمیم می‌توان به شاخص‌های تولید متوسط یا میانگین حسابی (MP)[1] ، شاخص میانگین هندسی تولید (GMP)[2] و شاخص تحمل (TOL)[3] اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی شاخص تحمل تنش کادمیم در ارقام مختلف گندم یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت گلخانه‌ای به اجرا درآمد. تیمارها شامل پنج سطح آلودگی خاک به کادمیم (صفر، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) از منبع سولفات کادمیم [$3Cd(SO_4).8H_2O$] (عبداللهی و گلچین، ۱۳۹۷) و چهار رقم گندم (اوروم، پیشگام، زارع و میهن) بودند که در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند. برای انتخاب خاک مورد نظر جهت اجرای آزمایش، چند نمونه خاک، از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری اراضی اطراف پژوهشکده دانشگاه زنجان تهیه و به گلخانه منتقل گردید. نمونه‌های خاک ابتدا هوا خشک شده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش را در جدول ۱ارائه شده است.. نحوه آلوده کردن خاک بدین صورت بود که ابتدا برای هر سطح آلودگی مقدار نمک سولفات کادمیم محاسبه و پس از توزین، در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد و بر روی نمونه خاک ۵ کیلوگرمی به‌طور کامل و یکنواخت اسپری شد (عبداللهی و گلچین، ۱۳۹۷). بعد از خشک شدن، نمونه تیمار شده را در گلدان‌های پلاستیکی ریخته و بعد از برچسب زدن، گلدان‌ها با افزودن آب مقطر به رطوبت ظرفیت زراعی (FC) رسانیده شدند و وزن نهایی گلدان‌ها یادداشت گردید. سپس برای به تعادل رسیدن خاک‌های تیمار شده در گلدان‌ها به مدت دو ماه دوره‌های تر و خشک شدن اجرا گردید. بعد از گذشت سه ماه، در پایان رشد رویشی و قبل از به خوشه رفتن گیاه، بخش‌های هوایی و ریشه گیاه به‌طور جداگانه برداشت شدند.

با توجه به این‌که فرمول مشخصی برای ارزیابی مقاومت گندم به فلزات سنگین وجود ندارد و با در نظر گرفتن این مطلب که فلزات سنگین نیز یک تنش برای گیاهان محسوب می‌شوند. لذا به منظور ارزیابی مقاومت ارقام مختلف گندم به فلز سنگین کادمیم از فرمول‌های تعریف شده برای شاخص‌های مقاومت یا حساسیت به تنش خشکی یا سایر تنش‌ها استفاده شد (مدرسی و همکاران، ۱۳۹۰؛ سدری، ۱۳۹۵).

$$MP=(Y_P+Y_S)/2 \quad (۱)$$

$$GMP=(Y_{P+}Y_S)^{1/2} \quad (۲)$$

[1] . Mean Productivity (MP)
[2] . Geometric Mean Productivity (GMP)
[3] . TOLerance (TOL)

$$TOL=Y_P-Y_S \quad (۳)$$

که در آن‌ها، Y_S عملکرد تیمار در شرایط تنش و Y_P عملکرد تیمار در شرایط مطلوب (بدون تنش) است. واحد عملکرد در تیمار شاهد (بدون تنش) و تیمار تحت تنش یکسان بود. داده‌های به‌دست آمده از آزمایش به کمک نرم‌افزار آماری SAS در قالب طرح کاملاً تصادفی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت و جداول تجزیه واریانس تشکیل شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز به کمک آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

ویژگی	واحد	مقدار
شن	درصد	۶۵/۵
رس	درصد	۱۷/۱
سیلت	درصد	۱۷/۴
بافت خاک	-	Sandy loam
اسیدیته (گل اشباع)	-	۷/۸
هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	۰/۹
رطوبت ظرفیت مزرعه	درصد	۲۱
کربن آلی	درصد	۰/۶۰
کربنات کلسیم معادل	درصد	۱۱/۹۰
نیتروژن کل	درصد	۰/۳
فسفر قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۱
پتاسیم قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۴۶۰
کادمیم قابل جذب	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۰/۴۷

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف کادمیم خاک و نوع رقم گندم اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($p < ۰/۰۱$) بر شاخص میانگین حسابی (MP)، شاخص میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل (TOL) گیاه گندم داشتند. اما اثر متقابل سطوح کادمیم و نوع رقم گندم بر پارامترهای مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۲).

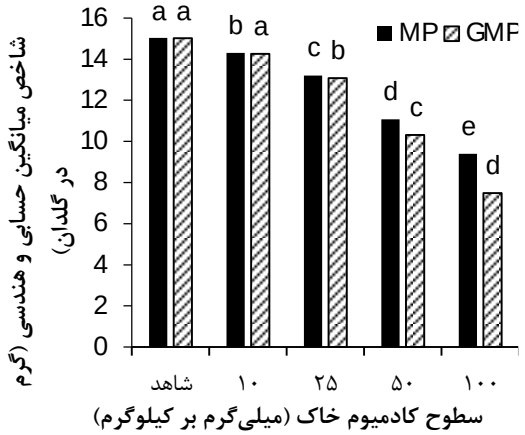
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر وزن خشک بخش‌هوایی، شاخص میانگین حسابی (MP)، شاخص میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل (TOL) گیاه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن خشک بخش هوایی	میانگین حسابی	میانگین هندسی	شاخص تحمل
سطوح کادمیم	۴	۲۶۰/۵۱**	۶۵/۱۱**	۱۱۶/۰۱**	۲۶۰/۵۴**
نوع رقم گندم	۳	۵/۵۶**	۸/۵**	۷/۸۸**	۲/۴۶ns
سطوح کادمیم × نوع رقم گندم	۱۲	۰/۸۱ns	۰/۲ns	۰/۴۲ns	۰/۸۱ns
خطای آزمایش	۴۰	۱/۰۲	۰/۲۵	۰/۴۷	۱/۰۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۹/۹۳	۴	۵/۶۸	۲۰/۷۶

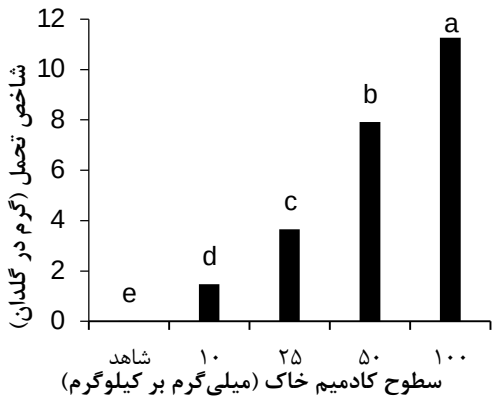
** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار و ns اختلاف معنی‌دار نیست.

تأثیر سطوح مختلف کادمیم بر شاخص میانگین حسابی (MP)، شاخص میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل (TOL) گیاه گندم

مقایسه میانگین‌های تأثیر سطوح مختلف کادمیم خاک بر شاخص میانگین حسابی (MP) ، شاخص میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل (TOL) گیاه گندم نشان داد که با افزایش غلظت کادمیم خاک، شاخص میانگین حسابی (MP) و شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) کاهش و شاخص تحمل (TOL) افزایش یافت. به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، شاخص میانگین حسابی (MP) ۳۷/۶۴ درصد و شاخص میانگین هندسی تولید (GMP) ۴۹/۸۰ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون کادمیم) کاهش نشان دادند (شکل۱). درحالی‌که شاخص تحمل (TOL) گیاه گندم در سطح ۱۰۰ میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک، ۷/۶۶ برابر نسبت به کم‌ترین سطح تنش (۱۰میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) افزایش نشان داد (شکل ۲).



شکل۱-تأثیر سطوح مختلف کادمیم خاک بر شاخص میانگین حسابی و هندسی گندم

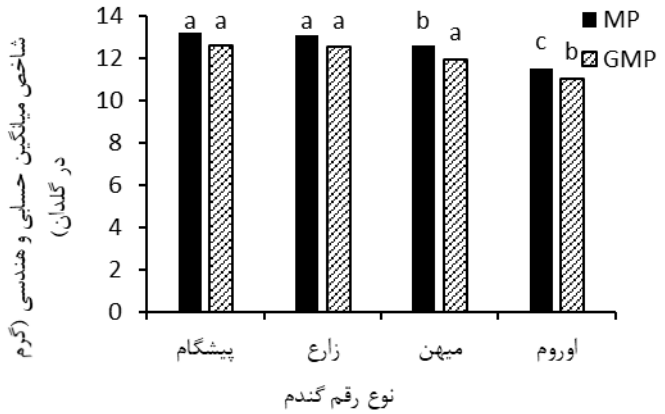


شکل ۲- تأثیر سطوح مختلف کادمیم خاک بر شاخص تحمل گندم

تأثیر نوع رقم گندم بر شاخص میانگین حسابی (MP)، شاخص میانگین هندسی (GMP) و شاخص تحمل (TOL) گیاه گندم

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد که نوع رقم گندم، اثر معنی‌داری بر شاخص تحمل (TOL) گیاه گندم نداشت (جدول ۲). بیش‌ترین میانگین حسابی در ارقام پیشگام و زارع (به ترتیب با میانگین‌های ۱۳/۲ و ۱۳/۰۶ گرم در گلدان) مشاهده گردید. کم‌ترین شاخص میانگین حسابی و هندسی در رقم اوروم به ترتیب با میانگین‌های ۱۱/۵ و ۱۱/۰۴ گرم در گلدان به دست آمد. درحالی که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین ارقام پیشگام، زارع و میهن در شاخص میانگین هندسی مشاهده نگردید (شکل ۳). هرچه مقدار عددی میانگین حسابی و هندسی بیشتر باشد، تحمل نسبی به تنش بیشتر است. بنابراین رقم پیشگام تحمل بالایی نسبت به شرایط تنش (سطوح مختلف کادمیم) دارد.

مدرسی و همکاران (۱۳۹۰) بیان کردند که شاخص های GMP و MP براساس عملکرد یا صفات مهم با عملکرد در گیاه گندم در هر دو شرایط طبیعی و تنش گرما از همبستگی بالا و قابل توجهی برخوردار بودند. آن‌ها بیان کردند این شاخص‌ها قابلیت غربالگری ژنوتیپ‌ها به‌منظور افزایش عملکرد دانه گندم به‌خصوص در شرایط تنش گرما را دارند. نتایج خلیلی و همکاران (۱۳۸۳) بر روی ذرت و کرمی و همکاران (۱۳۸۴) بر روی جو نشان داد، که شاخص GMP معیار مناسبی برای تعیین جهت تفکیک ژنوتیپ‌های تحت تنش از یک‌دیگر است.



شکل ۳- تأثیر نوع رقم گندم بر شاخص میانگین حسابی و هندسی گیاه گندم

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش کادمیم خاک سبب کاهش عملکرد گیاه گندم و در نتیجه کاهش شاخص‌های GMPو MP در سطوح بالای آلودگی خاک به کادمیم گردید.. با این حال رقم پیشگام دارای GMP و MP بالاتری نسبت به سایر رقم‌های مورد مطالعه در این پژوهش بود. بر این اساس این رقم می‌تواند تا حدودی با تنش ناشی از کادمیم مقابله کند و رقم مناسبی برای کشت در اراضی آلوده به کادمیم به‌حساب می‌آید.

منابع

خلیلی، م. کاظمی، ا. شکیبا، م. ا. (۱۳۸۳). ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در مراحل متفاوت رشد ژنوتیپ‌های ذرت. هشتمین کنگره‌ی حفاظت و اصلاح نباتات ایران، دانشگاه گیلان، رشت. ۴۶-۴۱.

درسی، م. محمدی، و. زالی، ع. مردی، م. (۱۳۹۰). بررسی شاخص‌های تحمل تنش گرما در گندم .علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۲ (۳). ۴۶۵-۴۷۴.

سدری، م. ح. (۱۳۹۵). اثر زمان و سطوح مصرف نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن و مقاومت به تنش خشکی در گندم دیم با استفاده از اوره نشاندار با نیتروژن-۱۵. رساله دکتری خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

عبداللهی، س. گلچین، ا. (۱۳۹۷). مقایسه توان تولید زیست‌توده و جذب و انتقال کادمیم در سه رقم کلم. تحقیقات آب و خاک ایران ۴۹ (۲). ۲۵۹-۲۴۳.

عبداللهی، س. دلاور، م. ا. شکاری، پ. (۱۳۹۱).پهنه‌بندی توزیع مکانی سرب، روی و کادمیم و ارزیابی آلودگی خاک‌های منطقه انگوران، استان زنجان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی) ۲۶ (۶). ۱۴۲۰-۱۴۱۰.

علومی، ح. منوچهری کلانتری، خ. (۱۳۸۲). مطالعه اثر کادمیم کلرید بر پارامترهای رشد، محتوای کلروفیل، کاروتنوئیدها، محتوی قند و پروتئین در گیاهک کلزا. مجله پژوهش و سازندگی ۵۹. ۸۰-۷۴.

کرمی، ع. قنادها، م. ر. نقوی، م. ر. مردی، م. (۱۳۸۴). ارزیابی مقاومت به خشکی در جو. علوم کشاورزی ایران ۳۶ (۳). ۵۵۶-۵۴۷.

یاری، ی. ممتاز، ح. ر. طاهری، م. (۱۳۹۵).توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه صنعتی زنجان. دانش آب و خاک ۲۶ (۴). ۲۳۶-۲۲۳.

Boyer, J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, *218*(4571), 443-448.

Cheng, Y., Zhou, Q. X. (2002). Ecological toxicity of reactive X-3B red dye and cadmium acting on wheat (Triticum aestivum). *Journal of Environmental Sciences*, 14(1), 136-140.

Gonçalves, J. F., Becker, A. G., Cargnelutti, D., Tabaldi, L. A., Pereira, L. B., Battisti, V. Schetinger, M. R. (2007). Cadmium toxicity causes oxidative stress and induces response of the antioxidant system in cucumber seedlings. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(3), 223-232.

Leopold, A. C. (1990). Coping with desiccation. In 'Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms'.(Ed. R Alscher. 37–56.

Mostashari, M. (2002). Investigation of Qazvin soils and plants pollution with heavy metals during irrigation with wastewater. Proceefing of the 7th water and Sohl Conference, *the Iranian Society of Irrigation & Water Engineering*, Kerman.

Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, J. I., McNab,A. (2001). Application of physiology in wheat Breeding. Mexico, D.F., CIMMYT.

Evaluation of cadmium stress tolerance index in different wheat cultivars

Tavakoli[*1], A., Golchin[2], A., Abdollahi[3], S.
[1] Ph.D.Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran
[2] Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran
[3] Ph.D. Graduate, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran

Abstract

Due to the importance of wheat in providing human food as well as the existence of industrial factories and Improper use of fertilizers and subsequent contamination of crops, selection of cultivars tolerant to heavy metals, especially cadmium, in areas prone to contamination is essential. In order to evaluate the cadmium stress tolerance index in four wheat cultivars, a factorial experiment was conducted in a completely randomized design in greenhouse conditions. The treatments included five levels of soil contamination to cadmium (0, 10, 25, 50 and 100, mg/kg soil) fromCadmium sulfatesource [$3Cd(SO_4).8H_2O$] and four wheat cultivars (Zare, Pishgam, Mihan and Uroum) Which were studied in three replications. The results of analysis of variance showed that the treatments had a significant effect on the MP, GMP and TOL indices at a probability level of 1%. With increasing levels of soil contamination with cadmium, MP and GMP indices decreased and TOL index increased. Also, according to MP and GMP indices, the Pishgam cultivar showed more tolerance to cadmium stress.

Keywords: soil pollution, uroum, pishgam, zare, mihan.

[*] Corresponding author, Email: atefehtavakoli92@gmail.com

بررسی تغییر کاربری مرتع به کشاورزی و پارک جنگلی بر روی شکلهای متفاوت پتاسیم

شیرزاد جعفری ارگنه [۱]، سهیلاسادات هاشمی [۲*]، شهریار مهدوی [۳]

[۱] دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

[۲] استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر؛ S.hashemi@malayeru.ac.ir

[۳] دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی شکل‌های متفاوت پتاسیم در سه کاربری مختلف مرتع، کشاورزی و پارک جنگلی در دو عمق سطحی (۱۵-۰ سانتی‌متری) و زیرسطحی (۳۰-۱۵ سانتی‌متری) در شهر اشترینان واقع در استان لرستان می‌باشد. نمونه‌برداری در سه کاربری در ۴۵ نقطه در دو عمق به طور کاملا تصادفی انجام شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و هم‌چنین شکل‌های متفاوت پتاسیم در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که میانگین پتاسیم محلول (۱۵/۹ میلی‌گرم برکیلوگرم)، غیرتبادلی (۶۲۷/۵ میلی‌گرم برکیلوگرم) و ساختاری (۳۵۶۳/۲ میلی‌گرم برکیلوگرم) در کاربری پارک جنگلی و پتاسیم تبادلی (۴۸۴ میلی-گرم برکیلوگرم) در کاربری مرتع، بالاترین میزان را بخود اختصاص داده اند. تمام شکل‌های پتاسیم بغیر از پتاسیم ساختاری با افزایش عمق، کاهش داشتند. اثرکاربری در تمامی شکل‌های پتاسیم دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بود، اما عمق اثر معنی‌داری بر روی شکل‌های متفاوت پتاسیم نداشت. نتایج همبستگی نشان داد که پتاسیم محلول تنها با پتاسیم تبادلی رابطه مثبت معنی‌دار دارد (**۴ /۰=r). بین پتاسیم ساختاری با پتاسیم تبادلی (۰/۰۱ >p ، **۴ /۰=r) و غیرتبادلی(۰/۰۵ >p ، *۳ /۰=r) رابطه مثبت معنی‌دار دیده شد. می‌توان نتیجه گرفت که تغییر کاربری اراضی از مرتع به کشاورزی در دراز مدت منجر به کاهش تمام شکل‌های پتاسیم شده، در حالی‌که تغییر به پارک جنگلی برخی شکل‌های پتاسیم را افزایش داده است.

واژگان کلیدی: پتاسیم تبادلی، پتاسیم غیرتبادلی، کاربری

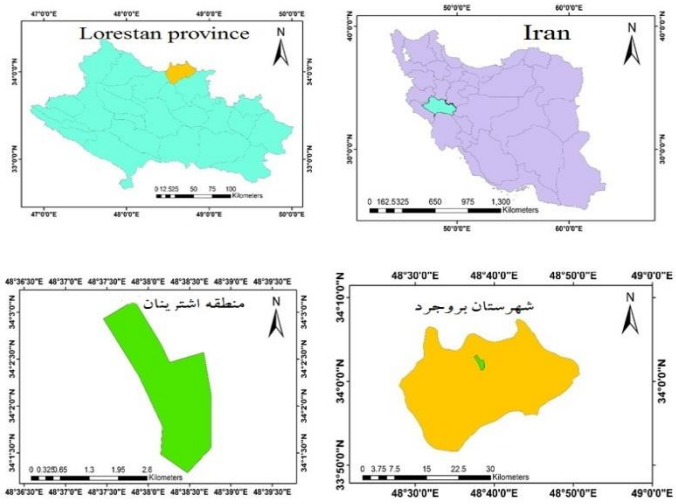
مقدمه

عموماً پتاسیم به شکل محلول، تبادلی، غیرتبادلی و ساختاری در خاک‌ها مشاهده می‌شود و تعادل دینامیکی موجود بین اشکال مختلف آن به شکلی است که سطح پتاسیم محلول در شرایط مختلف، متغیر است و مقدار پتاسیم در دسترس گیاهان در هر زمان می‌تواند، تغییر پیدا کند. در توصیه مصرف کود پتاسیم باید اشکال مختلف پتاسیم موجود و ارتباط آنها با یکدیگر و همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با توجه به وجود تعادل دینامیکی بین آنها توجه نمود (Salomon, 1988). در خصوص تاثیر تغییر کاربری اراضی بر حاصلخیزی خاک و همچنین تاثیر آن بر قابلیت استفاده از عناصر پرمصرف و کم مصرف؛ ثابت شده است که چنانچه تغییرکاربری اراضی بدون بررسی علمی صورت گیرد؛ می‌تواند ویژگی‌های خاک از جمله ساختمان خاک، بافت خاک، ماده آلی و سایر میکروارگانیسم‌های خاک را نیز تغییر دهد. مجموع این تغییرات موجب اثرگذاری بر قابلیت استفاده از عناصر غذایی خاک از جمله پتاسیم، آهن، فسفر، روی و... خواهد شد (Havlin et al, 1999). غلامی و همکاران (۱۳۹۹) در مقاله‌ای با عنوان اثر کشت طولانی مدت برنج بر وضعیت پتاسیم، کانی‌های رسی و تعدادی از خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک‌های آهکی جنوب ایران، دریافتند که خاک‌های شالیزار به دلیل آبشویی پتاسیم بوسیله آب آبیاری و خروج آن از طریق جذب بوسیله گیاه دارای مقادیر کمتر پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی می‌باشند. همچنین بین شکل‌های مختلف پتاسیم و بعضی ویژگی‌های خاک مانند مقدار رس، ظرفیت تبادل کاتیونی و ماده آلی همبستگی معنی‌داری را مشاهده کردند. Azadi and Shakeri (2020) در تحقیقی، دریافتند که شکل‌های پتاسیم محلول و قابل تبادل، تفاوت معنی‌داری در کاربری‌های مختلف زمین داشته، به طوری که

بالاترین سطح آنها به ترتیب در کاربری گندم و سپس اراضی جنگلی مشاهده شد. بالاترین سطح پتاسیم غیرتبادلی را در کاربری جنگل و بالاترین مقدار پتاسیم کل و ساختمانی را در کاربری شالیزار گزارش کردند. بوستانی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیق اثر تغییر کاربری اراضی بر شکل‌های شیمیایی پتاسیم در منطقه داراب استان فارس، دریافتند که پتاسیم تبادلی در خاک جنگل و پتاسیم غیرتبادلی در خاک باغ به طور معنی‌داری بیشتر از سایر کاربری‌ها بود. طبق مطالعات صورت گرفته در منطقه اشترینان از توابع شهرستان بروجرد استان لرستان، مساحتی از اراضی بایر منطقه طی ۱۵ سال به مناطق پارک جنگلی تبدیل شده است. هم-چنین وسعت بالایی از منطقه به اراضی کشاورزی جهت کشت گندم و جو دیم در طی ۳۰ سال اخیر، اختصاص یافته است. تغییر کاربری اراضی صورت گرفته در هر دو کاربری ما را بر آن داشت تا تغییر قابلیت عنصر غذایی پتاسیم را در این منطقه مورد بررسی قرار دهیم. لذا هدف در این پژوهش بررسی شکل‌های متفاوت پتاسیم در دو کاربری ایجاد شده پارک جنگلی و کشاورزی و مقایسه آن با کاربری مرتع می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان لرستان شهرستان بروجرد محدوده اراضی شهر اشترینان، قرار دارد. منطقه شامل سه کاربری مرتع با پوشش گیاهان علفی یکساله، کشاورزی شامل کشت گندم و جو دیم و پارک جنگلی مربوطه شامل پوشش درختان کاج، سرو و اقاقیا می‌باشد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه ایران در محدوده جغرافیایی، در موقعیت عرض ۳۴ درجه و ۱ دقیقه شمالی و طول ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و از سمت دیگر در موقعیت عرض ۳۴ درجه و ۳ دقیقه شمالی و طول ۴۸ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه.

نمونه‌برداری از سه کاربری مرتع، پارک جنگلی و کشاورزی در دو عمق ۱۵-۰ (سطحی) و ۳۰-۱۵ سانتیمتری (زیر سطحی) در ۴۵ نقطه (۱۵ نقطه در هرکاربری) انجام گرفت. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک از جمله، بافت خاک، مقدار کربنات کلسیم معادل، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، pH خاک و میزان مواد آلی اندازه‌گیری شدند.

پتاسیم محلول خاک و میزان پتاسیم تبادلی از تفاضل میزان پتاسیم قابل استخراج بوسیله استات آمونیوم و پتاسیم محلول بدست آمد. پتاسیم غیرتبادلی توسط اسید نیتریک جوشان ۱ نرمال و از تفاضل میزان پتاسیم قابل استخراج با استات آمونیوم و قابل استخراج با اسید نیتریک، میزان پتاسیم غیرتبادلی محاسبه گردید. پتاسیم ساختمانی از روش اسید نیتریک ۴ نرمال اندازه گرفته شد. که در حقیقت میزان پتاسیم شبه ساختمانی را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری مقدار پتاسیم در عصاره‌های حاصل به‌روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر مدل Corning 405 انجام گرفت.

نتایج و بحث

بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیائی اندازه‌گیری شده: همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، محتوی شن از حداقل ۴۵ درصد در کاربری جنگل تا حداکثر ۶۳/۷ درصد در کاربری کشاورزی تغییر می‌کند. میزان سیلت از حداقل ۸/۸ درصد در کابری کشاورزی زیرسطحی تا ۲۵/۸ درصد در کابری جنگل زیرسطحی، و میزان رس از حداقل ۱۷ در مرتع زیرسطحی تا ۲۹/۲ درصد در کاربری جنگل تغییر یافتند. بیشترین میزان ظرفیت تبادل کاتیونی در کاربری مرتع و سپس جنگل، و کمترین آن در عمق زیرسطحی کشاورزی مشهود بود. تغییرات میزان رس و ماده‌آلی در کنار نوع کانی‌های رسی موجود در خاک می‌تواند از پارامترهای مهم برای تغییرات میزان ظرفیت تبادل کاتیونی موجود باشد. بوستانی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که ظرفیت تبادل کاتیونی و ماده آلی در باغات بسیار کمتر از کاربری مرتع و جنگل بوده است.

جدول ۱. میانگین برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیائی خاک‌های مورد مطالعه.

کاربری	عمق (cm)	کربن آلی (٪)	ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmolkg^{-1}$)	pH	کربنات کلسیم (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)
پارک جنگلی	سطحی	۲/۳	۳۷/۸	۷/۹	۴۰/۳	۴۸/۶	۲۳	۲۸/۴
	زیرسطحی	۲/۱	۳۱/۷	۷/۹	۴۰/۵	۴۵	۲۵/۸	۲۹/۲
مرتع	سطحی	۲/۶	۴۱/۶	۷/۷	۳۶/۵	۵۰	۱۳/۶	۲۷/۴
	زیرسطحی	۲/۸	۳۵/۶	۷/۷	۳۶/۹	۶۰	۲۳	۱۷
کشاورزی	سطحی	۲/۱	۲۶/۹	۷/۷	۳۴/۹	۶۳/۷	۲۰	۱۶/۳
	زیرسطحی	۱/۹	۲۲/۱	۷/۵	۳۲/۸	۴۲/۲	۱۸/۸	۱۷

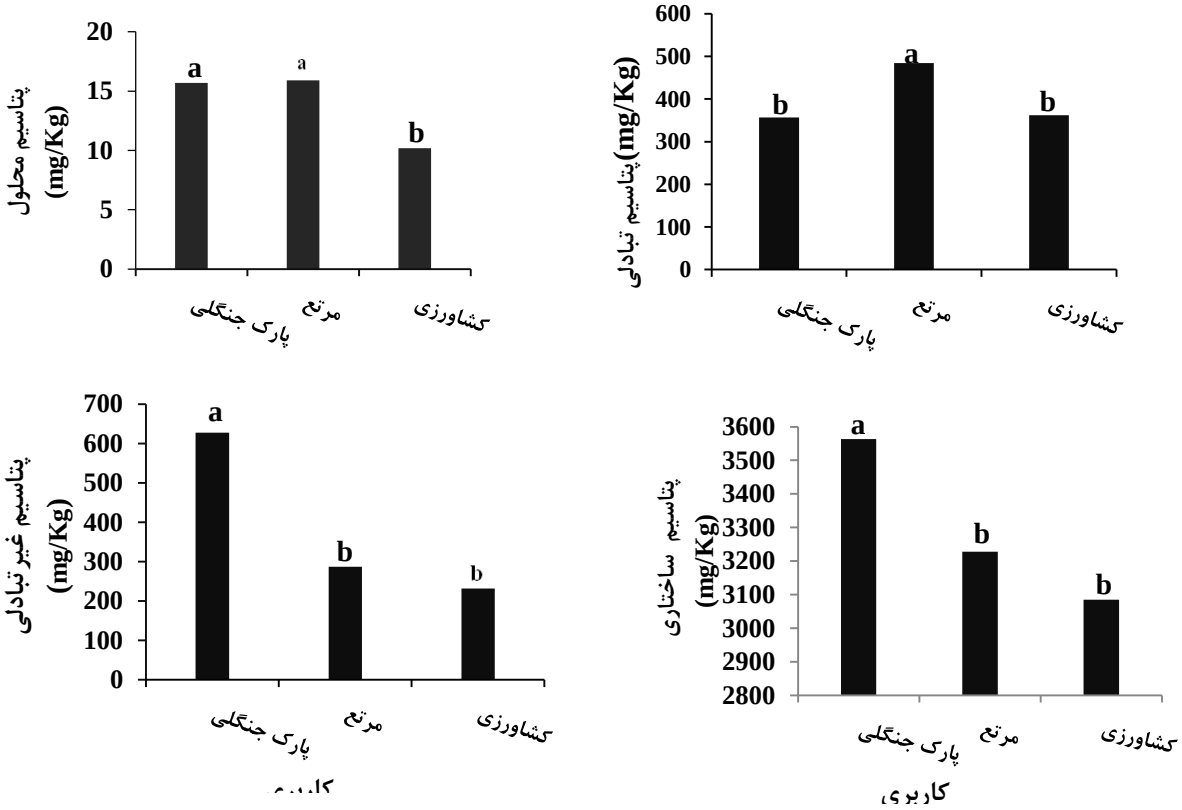
بررسی مقایسه میانگین شکل‌های متفاوت پتاسیم در سه کاربری و دو عمق:

محتوی پتاسیم محلول از حداقل ۹/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کاربری کشاورزی تا ۱۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کاربری جنگل متغییر است (جدول ۲). میزان پتاسیم تبادلی از حداقل ۲۸۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق سطحی کاربری کشاورزی تا ۵۱۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق سطحی مرتع تغییر کرد. پتاسیم غیرتبادلی از حداقل ۱۳۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق زیرسطحی کاربری کشاورزی تا ۴۴۲/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق سطحی جنگل و پتاسیم شبه ساختاری از حداقل ۳۰۷۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در کاربری کشاورزی سطحی تا ۳۵۴۳/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عمق سطحی کاربری پارک جنگلی تغییر یافتند. مقایسه داده‌ها نشان داد که بالاترین میزان پتاسیم محلول، غیرتبادلی و ساختاری در کاربری پارک جنگلی و بالاترین میزان پتاسیم تبادلی در کاربری مرتع می‌باشد. کاربری کشاورزی در هر ۴ شکل پتاسیم کمترین میزان را بخود اختصاص داده است. غلامی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که میزان پتاسیم محلول در کاربری مرتع نسبت به سایر کاربری‌های مورد بررسی بیشتر بوده و میزان این شکل از پتاسیم در کاربری زراعی به شدت کاهش پیدا کرده است. آنها تاثیر عملیات کشاورزی و آبیاری‌های صورت گرفته را در این خصوص موثر دانستند. مقایسه شکل‌های پتاسیم در دو عمق نشان داد که محتوی پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی با افزایش عمق کاهش، اما میزان پتاسیم ساختاری با افزایش عمق در تمام کاربری‌ها افزایش داشته است.

همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تغییر کاربری مرتع به پارک جنگلی تغییری در میزان پتاسیم محلول ایجاد نکرده است. در صورتی که میزان آن در کاربری کشاورزی کاهش داشته و این تفاوت با دو کاربری دیگر معنی‌دار است ($p<۰/۰۱$). پتاسیم محلول شکل قابل استفاده و سهل الوصول برای نیاز گیاهان می‌باشد و هم‌چنین براحتی تحت عملیات کشاورزی و آبشوئی، شسته می‌شود (Havlin, 1999). دلیل کاهش آن را در کاربری کشاورزی می‌توان مصرف گیاه و شستشوی آن توسط عملیات آبیاری دانست.

جدول ۲. میانگین تغییرات شکل‌های متفاوت پتاسیم در سه کاربری و دو عمق خاک.

کاربری	عمق (cm)	پتاسیم محلول($mgKg^{-1}$)	پتاسیم تبادلی($mgKg^{-1}$)	پتاسیم غیرتبادلی($mgKg^{-1}$)	پتاسیم ساختاری ($mgKg^{-1}$)
پارک جنگلی	سطحی	۱۹/۳	۳۹۹/۸	۴۴۲/۶	۳۵۴۳/۱
	زیرسطحی	۱۲/۱	۳۱۳	۳۶۹/۸	۳۵۸۳/۲
مرتع	سطحی	۱۷/۱	۵۱۷/۱	۳۹۱/۳	۳۲۱۴
	زیرسطحی	۱۴/۷	۴۵۰/۸	۱۸۲/۵	۳۲۴۲
کشاورزی	سطحی	۹/۸	۲۸۴/۸	۳۲۶/۴	۳۰۷۳/۶
	زیرسطحی	۱۰/۵	۴۳۹	۱۳۷/۱	۳۰۹۷/۲



شکل ۲. مقایسه میانگین اشکال متفاوت پتاسیم در کاربری‌های جنگل، مرتع و کشاورزی.

مقایسه میانگین پتاسیم تبادلی نشان داد که تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی و پارک جنگلی باعث کاهش این شکل پتاسیم شده، و تفاوت معنی‌داری را با کاربری مرتع نشان داده است ($p<۰/۰۱$). هر چند این تفاوت بین دو کاربری کشاورزی و پارک جنگلی معنی‌دار نبود (شکل ۲). این شکل پتاسیم عمدتا توسط رسها و مواد آلی، جذب شده و به راحتی می‌تواند وارد محلول خاک شده و جذب ریشه گیاه گردد. لذا مصرف آن توسط گیاهان زارعی و درختان کشت شده در پارک جنگلی دلیل کاهش آن نسبت به کاربری مرتع است. نتایج مقایسه میانگین پتاسیم غیرتبادلی نیز بیانگر تفاوت معنی‌دار بین کاربری پارک جنگلی با کاربریهای مرتع و کشاورزی بوده است ($p<۰/۰۱$). کاربری مرتع دارای مقادیری بالاتری نسبت به کاربری کشاورزی بوده، اما تفاوت معنی‌دار نشد (شکل ۲). مقایسه پتاسیم شبه‌ساختمانی بیانگر بالا بودن آن در کاربری جنگل، مرتع و سپس کشاورزی بوده است. این تفاوت بین کاربری جنگل با دو کاربری دیگر در سطح یک درصد کاملا معنی‌دار شد. هاشمی (۱۳۹۹) نشان داد که پتاسیم

محلول و تبادلی بین دو کاربری باغات انگور و اراضی بایر با هم تفاوت معنی‌دار نداشته، اما پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری دارای تفاوت معنی‌دار بودند. عمق تنها برای پتاسیم غیرتبادلی اثر معنی‌دار را نشان داد ($p<۰/۰۱$). دلیل عدم معنی‌دار شدن عمق در سه شکل دیگر پتاسیم را می‌توان تفاوت کم عمق نیز مطرح کرد. چرا که در دو عمق انجام شده، هم فعالیت ریشه و هم نوع کانیها تفاوت قابل توجهی نخواهد داشت.

بررسی تاثیر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر اشکال متفاوت پتاسیم

بررسی همبستگی بین اشکال پتاسیم نشان داد که پتاسیم محلول با پتاسیم تبادلی در سطح یک درصد ارتباط مثبت معنی‌داری دارند (r=۰/ ۴**). Najafi et al., (2011) بیان داشتند که این شکل پتاسیم با سایر شکل‌ها رابطه‌ای بهمراه ندارد. نتایج نیز گویای همین مطلب است. اما بین پتاسیم ساختمانی با تبادلی (r=۰/ ۴**) و غیرتبادلی (r=۰/ ۳*) ارتباط مثبت معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد مشاهده شد (جدول ۳). هم‌چنین بین پتاسیم تبادلی با کربن آلی خاک (r=۰/ ۳۵**)، و ظرفیت تبادل کاتیونی (r=۰/ ۴۴**) در سطح یک درصد همبستگی مثبت معنی‌داری مشاهده شد. بین پتاسیم غیرتبادلی نیز با ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (r=۰/ ۳*)، میزان رس (r=۰/ ۴**) و درصد کربنات‌کلسیم (r=۰/ ۳*) نیز همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد دیده شد. مطاله بوستانی و همکاران (۱۳۹۸) بر روی سه کاربری جنگل، مرتع و باغات نشان داد که بین پتاسیم تبادلی و ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه مثبت معنی‌داری دیده می‌شود. بین پتاسیم شبه ساختمانی و میزان رس خاک نیز ارتباط مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده گردید. به‌طور کل تمامی شکل‌های پتاسیم با رس رابطه مثبتی داشته، و تنها پتاسیم غیرتبادلی و ساختاری داری رابطه معنی‌دار بودند. در مطالعات مشابهی می‌سوت نشان داد که منشا پتاسیم غیرتبادلی در منطقه گاواس ترکیه اغلب ناشی از بخش رسی خاک (کانی ایلیت) است (Mesut et al., 2004).

جدول ۳- همبستگی بین برخی خصوصیات خاک و اشکال متفاوت پتاسیم در تمام خاک‌های مورد مطالعه.

خصوصیات	پتاسیم محلول	پتاسیم تبادلی	پتاسیم غیرتبادلی	پتاسیم ساختاری	کربن آلی%	CEC $Cmolkg^{-1}$	CCE ٪	شن ٪	سیلت ٪	رس ٪
پتاسیم محلول	۱	۰/۴ **	۰/۲ ns	۰/۰۸ ns	۰/۱۵ ns	۰/۲۲ns	۰/۲۲ ns	-۰/۳ *	۰/۲۷ ns	۰/۱ns
پتاسیم تبادلی		۱	۰/۰۵ ns	۰/۴ **	۰/۳۵ *	۰/۴۴ **	۰/۴ **	-۰/۴ n.s	۰/۲ ns	۰/۱ns
پتاسیم غیرتبادلی			۱	۰/۳ *	۰/۰۳	۰/۳ *	۰/۳ *	-۰/۲۷ ns	۰/۲۶ns	۰/۴*
پتاسیم ساختاری				۱	-۰/۱ ns	۰/۱۳ns	۰/۱۳ns	-۰/۲۷ ns	۰/۲ns	/۳۶*
کربن آلی ٪					۱	۰/۲۴ ns	۰/۲۴ ns	۰/۰۸ns	-۰/۰۸	۰/۲ns
CEC						۱	۰/۹۸**	-۰/۲۷ ns	**۰/۳۳	۰/۱ns
CCE%							۱	۰/۳ ns	۰/۳۳ ns	۰/۱ns
شن٪								۱	-۰/۹۲**	۰/۳ns
سیلت٪									۱	۰/۱ns
رس٪										۱

CCE: Calcium Carbonate Equivalent; CEC: Cation Exchange Capacity;

** : معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد؛* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد. ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار؛

نتیجه‌گیری کلی

محاسبه میزان شکل‌های متفاوت پتاسیم نشان داد که حداکثر پتاسیم محلول، غیرتبادلی و ساختاری در کاربری جنگل و پتاسیم تبادلی در کاربری مرتع است. کاربری کشاورزی در تمامی‌شکل‌ها دارای مقادیر کمتری است. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که عمق تنها در پتاسیم تبادلی دارای اثر معنی‌داری است و در سایر شکل‌های اثر معنی‌دار نداشت. اما تیمار کاربری دارای اثر معنی‌داری بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شکل‌های پتاسیم بغیر از پتاسیم محلول با محتوی رس خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی مشاهده شد. تغییر کاربری مرتع به کاربری کشاورزی دارای اثر منفی بیشتری نسبت به تغییر کاربری به پارک جنگلی

بوده است. فلذا برای حفاظت از پتاسیم خاک در مناطق کشت شده زراعی و جهت تامین عنصر، استفاده از کودهـای آلـی و کشـت آیش توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

۱. بوستانی، ح. نجفی قیری، م، و محمودی، ع. (۱۳۹۷). اثر تغییر کاربری اراضی بر شکلهای شیمیایی پتاسیم و قابلیت استفاده برخی عناصر غذایی خاک در منطقه داراب، استان فارس. تحقیقات کاربردی خاک. ۷ (۳). ۱۳۴-۱۴۱.

۲. غلامی، ع. باقرنژاد، م. آزادی، ا. و شاکری، س. (۱۳۹۹). اثر کشت طولانی مدت برنج بر وضعیت پتاسیم، کانی‌های رسی و تعدادی از خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک‌های آهکی جنوب ایران. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۵ (۳). ۱۰۹-۱۲۳.

۳. هاشـمی، س. س. (۱۳۹۸). مطالعه اثر کشت طولانی مدت انگور بر روی کانی‌شناسی اجزاء خاک و شکل‌های مختلف پتاسیم در دو منطقه ملایر. دانش آب و خاک، ۳۴(۲). ۱۸۳-۱۹۸.

4. Azadi, A., Shakeri, S. (2020). Effect of various land uses on potassium forms and some soil properties in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Southwest Iran. *Iran Agricultural Research*, 39(1), 121-131.
5. Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S. and Nelson, W. (1999). Soil Fertility and Fertilizers. Ed. Prentice Hall, New Jersey, 503p.
6. Mesut Cimrin, K., Akca, E., Senol, M., Buyuk, G., Kapur, S. (2004). Potassium potential of the soils of the Gevas region in eastern Anatolia. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28 (14), 259-266.
7. Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S.S., Koohkan, H., (2011). Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid Land Research and Management*, 25(4), 313-327.
8. Salomon, E. (1998). Extraction of soil potassium with 0.01M calcium chloride compared to official Swedish methods. *Commun. Soil Science*, 29 (13), 2841-2854.

Investigation of pasture landuse change to agriculture and forest park on different potassium forms

Hahsemi[*1], S.S., Jafari[2], Sh., Mahdavi[3], Sh
Assistant Professor. Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Malayer University;
E-mail: S.Hashemi@malayeru.ac.ir

Graduate Ms Student, Dept.of Soil Science, College of Agriculture, Malayer University

Association Professor. Dept. of Soil Science, College of Agriculture, Malayer University

Abstract

The purpose of this research is investigation of different potassium (K) form in three agriculture, pasture and forest park land use in two surface (0-15 cm) and subsurface (15-30 cm) depths in Oshtorninan city on the Lorestan province. Soil sampling was done in 45 points in three land use and two depths. Some soil physico-chemical and K different forms were determined in laboratory. The results showed that solution K (15.9 $mgKg^{-1}$) , non exchangeable K (627.5 $mgKg^{-1}$) and structure K (3563.2 $mgKg^{-1}$) mean in forest park and exchangeable K (484 $mgKg^{-1}$) mean in pasture land use had highest amount. All of the form K were reduced with increasing depth, except structural K form. Land use effect in all K forms had different significant ($p> 0.01$), but depth don't have significant effect on K forms. Correlation results showed that soluble K only have positive significant relation with exchangeable K ($r= 0.4$; $p>0.01$). but positive significant correlation between structural K with exchangeable K ($r= 0.4$; $p>0.01$) and non exchangeable K ($r= 0.3$; $p>0.05$) observed. It concluded that land use change from range land to agricultural land use in long term time induced to reduction all of the K forms, while change to forest park land use increased some K forms.

Key Word: Exchangeable Potassium, Non-exchangeable Potassium, Landuse

ارزیابی برخی ویژگی‌های شیمیایی وفیزیکی خاک در کاربرهای مختلف جنگل های زاگرس

مجید پاتو[1*]، علی صالحی[2]، قوام‌الدین زاهدی امیری[3] و عباس بانج شفیعی[4]
[1]استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات آموزش وترویج کشاورزی ومنابع طبیعی استان آذربایجان غربی
[2]دانشیار گروه جنگلداری، دانشکدۀ منابع طبیعی، دانشگاه گیلان
[3]استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدۀ منابع طبیعی، دانشگاه تهران ،کرج
[4]ادانشیارگروه جنگلداری، دانشکدۀ منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

چکیده

آگاهی از ویژگی‌های خاک مناطق جنگلی بسیار مهم و در مدیر یت جنگل تاثیر گذاراست. در این پژوهش تأثیرتغییر کاربری و قطع درختان جنگلی و تبدیل اراضی جنگلی به کاربری دیگر بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک بررسی شد. به این منظور چهار کاربری (بکر، حفاظتی، بهره برداری و باغی) از اراضی جنگلی میرآباد شهرستان سردشت در آذربایجان غربی انتخاب گردید. در هرکاربری ۳۰قطعه نمونه همسان با ابعاد ۲۵×۲۵ متر مشخص شد ، که در داخل هر قطعه نمونه در هر کاربری نمونه خاک در دو عمق۰-۱۵ و۱۵ -۵۰ سانتی متربرداشت گردید. بر اساس نتایج تحقیق مقدار کل مواد آلی خاک(نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، کربن آلی، هدایت الکتریکی، نسبت کربن به نیتروژن، و کربن ذخیره) در کاربری بکر و حفاظتی بیشتر از سایر کاربری ها است . با توجه به نتایج تحقیق در کاربری های بکر و حفاظتی تعادل بهتری بین نهاده ها و ستاده ها وجود داشته و این مسئله بخاطر مقدار بقایای گیاهی وارد شده به خاک و نیز کاهش میزان فرسایش خاک در این مناطق است. یکی از دلایل مهم کاهش میزان مواد آلی در مناطق باغی و بهره برداری شده تخلیۀ موادآلی خاک در اثر مدیریت و کاربری نادرست و در نهایت تخریب خاک است.

کلیدواژه: خاک جنگل، تخریب، موادآلی، کاربری اراضی .

مقدمه

شناخت خاک و ویژگی‌های آن یکی از پایه‌های مدیریت اصولی جنگل است. به‌طوری که بسیاری از گزینه‌های جنگل شناسی از جمله انتخاب گونه، تعیین حاصلخیزی رویشگاه، پیش‌بینی درصد زنده مانی و رشد نهال‌ها، تعیین نرخ رویش به میزان زیادی تحت تاثیر آن قرار دارد (Daniel et al., 1979). خاک فصل مشترک بین عامل زنده و غیر زنده کره زمین (مقدم، ۱۳۸۴) و مجموعه ای از عناصر مختلفی است که از تغییر و تحول سنگ یا هر ماده دیگر تحت تاثیر عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک پدید آمده است (براتی، ۱۳۸۳). تاثیر ترکیب گونه‌های مختلف جنگلی روی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک متفاوت بوده و در سطح رویی خاک بیشتر است. خصوصیات فیزیکی خاک‌ها تحت تاثیر گونه‌های موجود قرار می‌گیرند که نقش فون خاک نیز در این ارتباط موثر است (Augusto et al., 2002). ویژگی‌های بیولوژیکی و شیمیایی خاک نیز از خصوصیات فیزیکی تاثیر می‌پذیرند (Lutz and Chandler, 1949). جذب متفاوت از منابع خاک و بازگشت کربن و عناصر غذایی، از عوامل مهم و اصلی در جریان عناصر غذایی درون سیستم جنگل هستند (Miller, 1984). درختان جنگلی توانایی خاص و منحصربفردی در بهره‌گیری از منابع قابل دسترس دارند و در الگوی ذخیره‌سازی و چرخه دوباره عناصر غذایی از تنوع زیادی برخوردارند (Parrota, 1995; Marschner, 1991). این تفاوت‌ها به خاطر عوامل ژنتیکی و یا واکنش فنوتیپی به محیط و یا قابل دسترس بودن منابع می‌باشد (Van den driessche, 1984; Lugo, 2000). میزان ریزش و متعاقب آن پویایی تجزیه لاشبرگ بر نحوه تشکیل ماده آلی خاک و میزان ذخیره عناصر غذایی موثر است (lugo et al., 1990). به طور کلی درخاک جنگل موجودات زنده جانوری و گیاهی وجود دارند که ترکیب و نحوه ارتباط آنها بوسیله عامل های مهمی مثل اکسیژن، رطوبت،

* نویسندۀ مسئول ایمیل: patomajid@yahoo.com

دما و مواد آلی و غیرآلی خاک تعیین می‌شود. فعالیت این موجودات در خاک باعث دگرگون شدن خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک گردیده و لذا نقش مهمی در حاصلخیزی و پایداری خاک دارند. (Fisher and Binkley, 2000). در جنگل های معتدله میزان لاشبرگ سالیانه متاثر از گونه‌های اشکوب بالا می‌باشد. اما بسته به گونه جنگلی و رویشگاه ترکیب شیمیایی برگ‌ها متفاوت است. برگ گونه‌های پهن برگ معمولا میزان بیشتری عناصر نیتروژن، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در مقایسه با گونه‌های سوزنی‌برگ دارد. بنابراین لاشبرگ پهن‌برگان غنی‌تر از گونه‌های سوزنی‌برگ می‌باشد. همواره گفته شده که درختان سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگ بیشتر موجب اسیدی شدن خاک می شوند (Augusto et al., 2002) ، علت آن غنی بودن آلکالوئیدها و اسیدهای آلی در برگ های آنهاست که می‌توانند منشا تاثیرات مهمی در خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها باشند. جنگل‌زدایی‌های پیاپی سبب کاهش چشمگیر ظرفیت ذخیره کربن آلی خاک به میزان سالیانه ۲۱۲ میلیون تن کربن شده است (Mayaaux et al., 2005 ;Fearnside, 2000). خاک‌ها در تعادل با اکوسیستم جنگل حاوی تراکم بالایی از کربن می‌باشند. تغییر کاربری به‌خصوص تبدیل جنگل به اکوسیستم کشاورزی، ذخیره کربن خاک را کاهش می‌دهد (Lal, 2005). فعالیت‌های مدیریتی جنگل، جنگل‌زدایی، جنگل‌کاری در اراضی بایر و مدیریت اراضی جنگل کاری شده از جمله عوامل انسانی هستند که احتمالاً بر خصوصیات شیمیایی وفیزیکی خاک تأثیرگذار هستند. عوامل مدیریتی که بر ذخیره موادآلی خاک تأثیر می‌گذارند عبارتند از: بهره‌برداری و آماده‌سازی رویشگاه، زهکشی خاک، کاشت گونه‌های سازگار با قابلیت تولید اولیه خالص (NPP) و تولید زی توده زیرزمینی بالا (Hoover, 2008). افزایش درجه حرارت خاک بر فعالیت‌های تجزیه‌ای در اکوسیستم‌های قطبی و بوره‌آل تأثیر گذاشته و منجر به افزایش انتشار کربن آلی می‌شود. خاک‌های نواحی قطبی حاوی مقدار زیادی کربن ناپایدار (۴۱-۹ درصد) هستند که احتمالاً با افزایش درجه حرارت به‌آسانی تجزیه می‌شوند (Hooper and Neff, 2002). هدف از این تحقیق بررسی ارتباط مواد آلی خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از کاربری های اراضی جنگلی در جنگل های میر آباد شهرستان سردشت آذربایجان است .

مواد وروش ها

محدوده مورد مطالعه درشرق رودخانه زاب کوچک، شهر میرآباد از توابع شهرستان سردشت در استان آذربایجان غربی واقع شده است. این منطقه در محدوده طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی قرار دارد و مساحت آن ۲۷۳۰/۹۵ هکتار است.

بر اساس اهداف تحقیق پس از پیمایش منطقه و استفاده از اطلاعات موجود، چهار کاربری متفاوت از زمین به شرح ذیل شناسایی و انتخاب شده اند:

الف) عرصه جنگلی بکر و کمتر دست خورده، به مساحت۶/۴۱ هکتار (کاربری بکر)

ب) منطقه بهره برداری رایج (گلازنی، چوب سوخت و چرای دام) به مساحت ۲۰۱۹/۵۷ هکتار (کاربری بهره برداری)

ج) منطقه حفاظتی (عرصه کوهستانی و پر شیب) به مساحت ۳۱۵/۶۸ هکتار (کاربری حفاظتی)

د) عرصه تغییرکاربری داده شده برای فعالیت های باغی به مساحت ۳۸۹/۲۹ هکتار (کاربری باغی)

در هر کاربری ۳۰ قطعه نمونه همسان انتخاب گردید ودر داخل هر قطعه نمونه برداشت ها انجام شد. در هریک از قطعه نمونه‌های ۲۵×۲۵ متری، ابتدا ۵ چاله به عمق ۵۰ سانتیمتر (پس از کنار زدن لاشبرگ و پوشش گیاهی) در چهارگوشه و مرکز قطعه نمونه هر کاربری حفر گردید. برای به حداقل رساندن خطا و کم کردن تعداد نمونه‌ها، نمونه‌برداری به صورت ترکیبی از دو عمق ۱۵-۰ و ۵۰-۱۵ سانتیمتری انجام گرفت. به این صورت که از هر عمق، دو نمونه خاک از چهارگوشه برداشت شد و سپس نمونه‌ها با هم مخلوط شدند (Zahadi, 1998). بدین ترتیب در هر کاربری از هر عمق، ۱۵۰ نمونه برداشته شد و با ترکیب کردن آنها از هر عمق، ۳۰ نمونه خاک به وزن تقریبی ۲ کیلوگرم داخل کیسه‌های پلاستیکی قرار داده و به آزمایشگاه منتقل شدند. در ابتدا داده‌های به‌دست‌آمده در نرم‌افزار اکسل به‌عنوان بانک اطلاعاتی ذخیره شد. سپس به‌منظور تجزیه‌وتحلیل و مقایسهٔ داده‌ها، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس آنها با آزمون لون بررسی شد. برای مقایسهٔ زی‌توده و محتوای کربن در کاربری‌های مختلف از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) و برای مقایسهٔ چندگانه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. کلیهٔ آنالیزهای آماری توسط نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۲ صورت گرفت.

نتایج وبحث

نتایج بررسی ویژه گی های خاک (نمونه ترکیبی) در دو عمق ۱۵-۰ سانتی متر و عمق ۵۰- ۱۵ سانتی متر خاک در کاربری های مختلف به شرح جدول ۱است.

جدول۱- میانگین (± انحراف معیار) ویژگی های خاک در دو عمق مختلف در کاربری ها†

ویژگی های خاک	عمق(cm)	بکر	حفاظتی	بهره برداری	باغی
آهک (درصد)	۰-۱۵	۲/۳۵ ± (۰/۱۷۲) b	۹/۲۷ ± (۱/۶۴) a	۲/۱۹ ± (۳/۵۷) b	۴/۱۶ ± (۱/۲۴) b
	۱۵-۵۰	۱/۷۲ ± (۰/۱۸۳) b	۱۵/۰۰ ± (۲/۲۳) a	۱/۹۴ ± (۰/۳۷۶) b	۲/۴۶ ± (۰/۶۹۹) b
نیتروژن کل	۰-۱۵	۰/۲۵۷ ± (۰/۰۰۸) a	۰/۲۵۶ ± (۰/۰۰۵) a	۰/۲۳۶ ± (۰/۰۰۹) a	۰/۱۴۴ ± (۰/۰۱۱) b
	۱۵-۵۰	۰/۱۴۱ ± (۰/۰۱۲) b	۰/۲۰۳ ± (۰/۰۱۱) a	۰/۱۹۶ ± (۰/۰۱۱) b	۰/۰۷۱ ± (۰/۰۰۸) c
فسفر قابل جذب (پی .پی . ام)	۰-۱۵	۳۵/۱۴ ± (۶/۰۶) a	۱۰/۱۴ ± (۱/۸۶) b	۱۵/۷۶ ± (۲/۲۰) b	۱۵/۴۰ ± (۱/۷۴) b
	۱۵-۵۰	۱۳/۹۰ ± (۰/۹۲۳) a	۴/۸۷ ± (۰/۷۴۸) c	۷/۵۹ ± (۰/۹۹۸) b	۷/۶۶ ± (۰/۸۷۵) b
پتاسیم محلول (پی .پی. ام)	۰-۱۵	۲۶۴/۹۳ ± (۱۳/۵۸) b	± (۱۱/۸۹) b ۲۳۱/۸۰	± (۲۰/۳۹) a ۳۲۵/۵۰	۱۹۶/۱۶ ± (۱۸/۲۶) c
	۱۵-۵۰	۱۴۲/۱۶ ± (۱۳/۴۲) a	± (۱۰/۱۶) a ۱۴۱/۳۳	± (۱۴/۱۸) a ۱۷۴/۱۶	۱۴۰/۹۰ ± (۱۵/۲۶) a
اشباع (درصد)	۰-۱۵	۵۵/۶۶ ± (۱/۴۴) a	۵۷/۴۰ ± (۰/۹۸۵) a	۴۹/۲۰ ± (۱/۲۸) a	۴۳/۴۶ ± (۰/۹۳۵) a
	۱۵-۵۰	۳۶/۷۰ ± (۰/۵۹۹) a	۵۱/۸۶ ± (۰/۸۰۶) b	۴۵/۸۶ ±(۰/۸۶۷) c	۴۱/۱۰ ± (۰/۸۸۸) d
کربن آلی (درصد)	۰-۱۵	۳/۳۶ ± (۰/۱۳۶)a	۳/۱۹ ± (۰/۰۹۳) a	۲/۷۴ ± (۰/۱۴۴) b	۱/۴۶ ± (۰/۱۳۵) c
	۱۵-۵۰	۱/۳۷ ± (۰/۱۳۶) b	۲/۱۵ ± (۰/۱۴۶) a	۱/۳۷± (۰/۱۲۰) b	۰/۶۴۲± (۰/۰۷۷) c
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰-۱۵	۰/۷۷۳ ±(۰/۰۳۷) a	۰/۶۶۰ ± (۰/۰۲۱) b	۰/۶۰ ± (۰/۰۲۱) b	۰/۶۴۳ ± (۰/۰۲۲) b
	۱۵-۵۰	۰/۶۵۰ ± (۰/۰۳۹) a	۰/۵۶۰ ± (۰/۰۲۲) b	۰/۴۸۶ ± (۰/۰۲۱) b	۰/۹۴۶ ± (۰/۰۲۱) b
نسبت کربن به نیتروژن	۰-۱۵	۱۳/۰۹ ± (۰/۴۵۰) a	± (۰/۲۲۰) ab ۱۲/۴۱	۱۱/۵۳ ± (۰/۲۷۵) b	۹/۹۴ ± (۰/۴۸۵) c
	۱۵-۵۰	۹/۷۳ ± (۰/۲۸۷) ab	۱۰/۷۳ ± (۰/۲۴۹) a	۹/۱۱ ± (۰/۱۸۶) b	۹/۶۷ ± (۰/۵۵۸) ab
اسیدیته	۰-۱۵	۶/۸۲ ± (۰/۰۵۰) b	۷/۳۶ ± (۰/۰۵۵) a	۶/۸۳ ± (۰/۰۶۳) b	۷/۲۱ ± (۰/۲۳۱) a
	۱۵-۵۰	۶/۶۰ ± (۰/۰۵۲) c	۷/۵۳ ± (۰/۰۳۹) a	۶/۷۵ ± (۰/۱۰۶) c	۷/۲۶ ± (۰/۰۶) b
رس (درصد)	۰-۱۵	۱۷/۸۰ ± (۰/۶۱۲) b	۲۳/۸۰ ± (۱/۰۶) a	۲۶/۸۰ ± (۱/۳۷) a	۲۵/۳۶ ± (۱/۶۲) a
	۱۵-۵۰	۱۶/۹۰ ± (۱/۰۶۰) c	۲۴/۷۳ ± (۰/۹۲۹) b	۳۰/۷۰ ± (۱/۹۷) a	۲۶/۲۳ ± (۲/۴۳) ab
شن (درصد)	۰-۱۵	۴۹/۱۳ ± (۰/۹۷۷) a	۲۶/۲۸ ± (۱/۴۵) c	۳۱/۸۶ ± (۲/۱۷) c	۳۷/۳۳ ± (۲/۵۱) b
	۱۵-۵۰	۵۶/۲۰ ± (۱/۸۸) a	۲۸/۵۰ ± (۱/۵۴) c	۳۱/۲۰ ± (۲/۱۹) c	۳۹/۳۰ ± (۳/۲۳) b
سیلت (درصد)	۰-۱۵	۳۳/۰۶ ± (۰/۶۳۰) b	۴۸/۳۳ ± (۱/۱۷) a	۴۱/۲۶ ± (۱/۴۰) b	۳۷/۳۶ ± (۱/۵۹) c
	۱۵-۵۰	۲۶/۸۶ ± (۱/۱۸) c	۴۶/۸۰ ± (۱/۳۱) a	۳۸/۱۰ ± (۱/۴۱) b	۱۳/۱۳ ± (۱/۵۸) b
تخلخل (درصد)	۰-۱۵	۳۱/۸۲ ± (۱/۵۴) c	۳۴/۸۴ ± (۰/۵۷۰) b	۳۰/۱۸ ± (۰/۶۲۰) c	۳۹/۳۷ ± (۰/۲۳۱) a
	۱۵-۵۰	۲۶/۸۰ ± (۱/۰۵) c	۳۸/۹۹ ± (۰/۵۷۴) a	۳۴/۱۸ ± (۰/۶۱۹) b	۳۲/۳۷ ± (۰/۸۸۶) b

جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	۰-۱۵	۱/۷۴۰ ± (۰/۰۳۷) b	۱/۷۲ ± (۰/۰۱۵) b	۱/۸۵۰ ± (۰/۰۱۶) a	۱/۶۳ ± (۰/۰۳۷) c
	۱۵-۵۰	۱/۸۸ ± (۰/۰۲۳) a	۱/۶۱ ± (۰/۰۱۵) c	۱/۷۴ ± (۰/۰۱۶) b	۱/۷۹ ± (۰/۲۳) b
کربن ذخیره شده (تن در هکتار)	۰-۱۵	۹۰/۹۶ ± (۴/۲۲) a	۸۲/۸۵ ± (۲/۶۰) ab	۷۵/۲۶ ± (۴/۱۶) b	۳۴/۷۵ ± (۳/۲۱) c
	۱۵-۵۰	۱۲۸/۹۲ ± (۸۲/۵۸) b	± (۱۱/۹۷) a ۱۷۳/۹۹	± (۱۰/۳۶) b ۱۱۹/۲۶	۵۸/۹۵ ± (۷/۴۱) c

†حروف متفاوت نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار بین میانگین ها در سطح احتمال پنج درصد است.

مطابق جدول (۱) در عمق ۱۵-۰ سانتی متر خاک در کاربری بکر؛ نیتروژن کل، فسفر قابل جذب، کربن آلی، هدایت الکتریکی، نسبت کربن به نیتروژن، شن و کربن ذخیره شده دارای اختلاف معنی داری با سایر کاربری ها بوده و بیشترین مقدار را نشان دادند. هم چنین در عمق ۱۵-۰ سانتی متری؛ آهک، اسیدیته، سیلت در کاربری حفاظتی، در صد تخلخل در کاربری باغی و درصد اشباع و جرم مخصوص ظاهری در کاربری بهره برداری معنی دار و بیشترین مقدار را دارا می باشند. در عمق ۵۰-۱۵ سانتی متر؛ فسفر، پتاسیم، در صد اشباع، هدایت الکتریکی، نسبت کربن به نیتروژن، شن و جرم مخصوص ظاهری در کاربری بکر؛ آهک، نیتروژن کل، پتاسیم کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، اسیدیته، سیلت، کربن ذخیره شده در کاربری حفاظتی؛ رس در کاربری بهربرداری و نسبت کربن به نیتروژن در کاربری باغی بیشترین مقدار است.

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین مقدار ذخیره کربن خاک و ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در کاربری های مختلف منطقه مورد مطالعه

کاربری	بکر		حفاظتی		بهره‌برداری		باغی	
عمق (سانتی‌متر) / ویژگی‌های خاک	۱۵-۵۰	۰-۱۵	۱۵-۵۰	۰-۱۵	۱۵-۵۰	۰-۱۵	۱۵-۵۰	۰-۱۵
آهک (درصد)	۰/۳۸۶ *	۰/۰۹۶	۰/۰۰۵	-۰/۲۰۰	-۰/۲۱۸	-۰/۰۶۷	-۰/۱۲۴	-۰/۱۴۴
هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۰/۲۵۹	۰/۰۲۹	۰/۴۳۳ *	۰/۴۹۹ **	-۰/۰۳۵	-۰/۲۷۵	-۰/۱۰۱	-۰/۳۵۱
رس (درصد)	۰/۲۰۱	۰/۰۷۸	-۰/۱۱۵	-۰/۰۹۲	-۰/۰۶۲	۰/۰۸۹	۰/۰۶۱	۰/۰۵۳
نسبت کربن به به نیتروژن	۰/۵۳۵ **	۰/۱۶۹	۰/۶۶۵ **	۰/۷۳۱ **	۰/۶۰۵ **	۰/۳۳۵	۰/۵۳۵ **	-۰/۲۳۳
کربن آلی (درصد)	۰/۸۶۷ **	۰/۹۸۴	۰/۹۵۶ **	۰/۹۹۰ **	۰/۹۵۹ **	۰/۹۹۴ **	۰/۹۷۴ **	۰/۹۹۷ **
پتاسیم محلول (پی .پی .م)	۰/۴۳۶ *	۰/۲۲۲	۰/۳۱۹	۰/۴۸۳ **	۰/۵۱۷ **	۰/۶۳۵ **	۰/۵۰۸ **	۰/۲۷۴
نیتروژن کل	۰/۶۳۶ **	۰/۹۵۸ **	۰/۸۲۹ **	۰/۹۵۷ **	۰/۸۸۹ **	۰/۹۶۳ **	۰/۸۵۲ **	۰/۹۸۷ **
فسفر قابل جذب (پی .پی. ام)	-۰/۱۱۸	۰/۱۷۴	۰/۰۶۷	-۰/۰۱۶	۰/۳۶۵ *	۰/۴۴۴ **	۰/۴۱۴ *	۰/۰۹۱
اسیدیته	۰/۲۳۸	۰/۱۱۳	۰/۳۰۰	۰/۱۹۹	-۰/۲۵۰	-۰/۰۶۳	-۰/۰۲۶	۰/۰۰۱
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	-۰/۳۸۲ *	-۰/۰۲۸	-۰/۴۳۸ *	-۰/۱۵۰	-۰/۱۰۲	۰/۰۹۲	-۰/۱۳۷	-۰/۴۷۵ **
تخلخل (درصد)	-۰/۱۰۰	-۰/۰۱۲	۰/۴۳۸	۰/۱۵۰	۰/۱۰۲	-۰/۰۹۲	۰/۲۲۵	۰/۴۷۴ **
شن (درصد)	-۰/۲۳۴	۰/۰۸۵	۰/۳۶۹ *	۰/۱۷۸	-۰/۰۵۵	-۰/۰۲۷	-۰/۲۷۸	-۰/۱۳۹
سیلت (درصد)	۰/۱۶۷	-۰/۲۰۳	-۰/۳۳۸	-۰/۱۵۴	۰/۱۳۷	-۰/۰۸۳	۰/۳۷۰ *	۰/۲۰۹
رطوبت اشباع (درصد)	۰/۵۲۹ **	۰/۴۱۵ *	۰/۴۹۰	۰/۷۴۶ **	۰/۴۸۶ **	۰/۴۰۳ *	۰/۳۲۲	۰/۲۹۸

** معنی داری در سطح ($P < 0/01$)، * معنی داری در سطح ($P < 0/05$)

نقش بیوشیمیایی مواد آلی خاک در ایجاد بستر مناسب برای فعالیت های میکروارگانیسم ها و افزایش تعداد و تنوع فعالیت آنها، افزایش عناصر غذایی و ترکیبات آلی در خاک است که به نوبه خود ظرفیت جذب و نگهداری عناصر غذایی را در خاک افزایش می دهد. هرچه توان تولید زی‌توده هوایی و زیرزمینی در گونه‌ها، عرصه‌ها و رویشگاه‌های مختلف بیشتر باشد، ذخیره مواد آلی در پیکره درختان، لاشبرگ و خاک نیز بیشتر می‌شود. تحقیق حاضر نشان داد (جدول ۱) که خصوصیات فیزیکی خاک شامل جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک اختلاف معنی داری در کاربری های مختلف دارند. برابر نتایج (جدول ۲)، جرم مخصوص ظاهری خاک در کاربری بهره برداری در عمق اول اندازه گیری شده خاک بیشتر از کاربری های دیگر است و مقدار این مشخصه در دو کاربری بکر و حفاظتی بعد از کاربری بهره برداری قرار می گیرد. هم چنین مقدار تخلخل خاک نیز در کاربری بهره برداری و در عمق اول خاک کمتر از کاربری های دیگر بود. بالاتر بودن جرم مخصوص ظاهری و به عبارتی دیگر پایین تر بودن درصد منافذ در کاربری بهره برداری و به ویژه در لایهٔ سطحی خاک، در اثر لگدکوبی دام ها به خصوص در چرای زودرس و دیررس و در هنگام مرطوب بودن خاک و همچنین به کمتر بودن بقایای گیاهی و ماده آلی در کاربری های مذکور مربوط است که (کهندل و همکاران، ۱۳۸۵) نیز در تحقیقات خود بیان نمودند که در نتیجه ورود دام به جنگل؛ اولین صدمه وارد به خاک، به صورت متراکم شدن یا فشرده شدن و کاهش حجم خاک ظاهر میگردد. این موضوع در هنگام بارندگی یا پس از آن در سطح خاک های عریان به دلیل کاهش میزان لاشبرگ بیشتر مشهود است. در نتیجه افزایش فشردگی خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک افزایش و درصد خلل و فرج آن کاهش می یابد. بطوریکه حجم جایگاه های ذخیره و مسیرهای نقل و انتقال آب، املاح و گازهای تنفسی به شدت کاهش یافته و به دنبال آن تهویه خاک مختل می شود. بین جرم مخصوص ظاهری و درصد مواد آلی خاک رابطه ای متقابل وجود دارد. به طوریکه افزایش مقدار مادهٔ آلی خاک، جرم مخصوص ظاهری را کاهش و درصد منافذ و میزان نفوذپذیری خاک را افزایش داده و به این طریق باعث کاهش میزان رواناب می شود. در کاربری باغی مقادیر مربوط به جرم مخصوص ظاهری و تخلخل خاک در مقایسه با کاربری بهره برداری وضعیت بهتری را نشان می دهد. به طوری که میزان جرم مخصوص ظاهری در عمق اول خاک در این کاربری نسبت به کاربری های دیگر کمتر و در عوض میزان تخلخل خاک در این عمق و در این کاربری، در مقایسه با دیگر کاربری ها بیشتر است که؛ به دلیل عملیات شخم زنی سالیانه که در اواخر اسفند و اوایل فروردین با استفاده از بیل و کلنگ خاک آن را با دست شخم می زنند و باعث می شود که لاشبرگ در عمق ۱۰ سانتی متر قرار گیرد. به نظر می رسد اگر چه کاربری باغی نیز یک کاربری غیر جنگلی در این مناطق است، اما در مقایسه با کاربری بهره برداری با توجه به دلایل مذکور، شرایط به نسبت مناسب تری را ایجاد کرده است.

برابر نتایج بدست آمده(جدول۲)، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در کاربری های مورد مطالعه اختلافات معنی داری کمتری را نسبت به هم نشان دادند. افزایش آهک موجب افزایشPH و افزایش CEC خاک می گردد. با توجه به اینکه بخشی از تغییرات اسیدیته خاک به سنگ مادری و بخشی دیگر از آن و همراه با هدایت الکتریکی به میزان بارندگی بستگی دارد و با توجه به اینکه مناطق مورد مطالعه دارای مواد مادری یکسان و در یک منطقه آب و هوایی یکسان قرار دارند، میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی آنها کمتر مورد تغییر قرار گرفته است. نتایج تحقیقات (حسین زاده وهمکاران، ۱۳۸۶) آن را مورد بررسی قرار داده وبه نتایج مشابهی دست یافته اند. میزان ازت کل در قسمت های سطحی مناطق بکر و حفاظت شده در مقایسه با کاربری های بهره برداری و باغی به طور معنی داری بیشتر است. در مناطق بکر و حفاظتی همگام با افزایش میزان مواد آلی خاک، میزان ازت خاک هم افزایش یافته است. با توجه به اینکه یکی از راه های اصلی افزایش نیتروژن به خاک، از طریق تجزیه مواد آلی است، افزایش میزان ازت در مناطق یاد شده را می توان به افزایش مواد آلی در این مناطق نسبت داد. اما میزان فسفر قابل جذب در کاربری بکر با سه کاربری دیگر در هر دو عمق، اختلاف معنی داری داشته و میزان آن از کاربری های دیگر بیشتر بود. میزان فسفر خاک را به علت تجمع بیشتر لاشبرگ و افزایش پوشش گیاهی در مناطق بکر و قرق شده بیشتر از مناطق غیر قرق می دانند. به نظر می رسد بدلیل تحرک اندک فسفر در خاک، با افزایش رطوبت خاک، شدت پخش شدن نیز افزایش یافته است. از طرفی فسفر حساس ترین عنصر غذایی نسبت به تغییرات ph است.در مطالعه حاضر نیز عوامل یاد شده دلیل اصلی افزایش میزان فسفر در منطقه بکر می توانند باشند. بیشتر بودن میزان پتاسیم کاربری بهره برداری در عمق (۱۵-۰ سانتی متر) خاک را می توان به این دلیل دانست که، خروج پتاسیم از

خاک یا با برداشت این عنصر توسط گیاه یا در اثر آبشویی و فرسایش صورت می گیرد. لذا تغییرات اعمال شده پتاسیم خاک را می توان در رابطه با برداشت آن توسط گیاهان و اضافه شدن این عنصر توسط تردد دام و اختلاط فضولات دامی و لاشبرگ به خاک نسبت داد.

نتیجه گیری

تبدیل کاربری های بکر و حفاظتی به کاربری های باغی و بهره برداری بیش از توان اکولوژیکی تاثیر زیادی بر کاهش مواد آلی خاک و افزایش انتشار گاز کربنیک و سایر گازها به جو و به تبع آن تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین دارد. در نواحی تغییر کاربری داده شده، علاوه بر تخریب پوشش گیاهی، پیامدهای دیگری مانند فرسایش تشدید شونده خاک و کاهش ذخایر کربن نیز به وقوع خواهد پیوست. بنابر این، کاربری زمین اثرات قابل توجهی بر خصوصیات شیمیایی وفیزیکی خاک دارد.

فهرست منابع

۱. جعفری م.، و سرمدیان ف. ۱۳۸۲ . مبانی خاکشناسی و ردهبندی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.

۲. جعفری حقیقی، م (۱۳۸۲)، روش های تجزیه خاک، نمونه‌برداری و تجزیه‌های مهم فیزیکی و شیمیایی با تأکید بر اصول تئوری و کاربردی، انتشارات ندای ضحی، ۲۳۶ صفحه.

۳. حسین زاده، ج، جلیلوند، ح، تمرتاش، ر، (۱۳۸۶)، « تغییرات پوشش گیاهی و خصوصیات شیمیایی خاک در شدت های مختلف چرا»، مجله تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد۴، شماره ۱۴، ۱۲ صفحه.

۴. کهندل، ا، چایی چی، م، ارزانی، ح، محسنی ساروی، م، زاهدی امیری، ق، (۱۳۸۵)، «تأثیر شدت های چرای دام بر ترکیب پوشش گیاهی، رطوبت، مقاومت مکانیکی و نفوذپذیری خاک»، نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۵۹ صفحه.

۵. مقدم، م،ر (۱۳۸۴)، اکولوژی گیاهان خاکروی، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰۱ صفحه.

6. Augusto L, Ranger J, Binkley D, Rothe A, (2002), “Impact of several common tree species of European temprate forests on soil fertility”, Ann. For. Sci, 59, pp 233-253.
7. Daniel T.W, Helms J.A, Baker F.B. (1979), Principles of silviculture, Mc Graw-Hill, Book Company, 500p.
8. Fearnside P. M, (2000), “Uncertainty in land-use change and forestry sector mitigation options for global warming: Plantation silviculture versus avoided deforestation”, Biomass and Bioenergy, 18, pp 457-468.
9. Fisher R.F, Binkley D. (2000), Ecology and management of forest soils, John Wiley and sons, Inc. Third edition, 489 pp.
10. Hoover CM (ed), (2008), “Field measurements for forest carbon monitoring”, Springer, New York”, Euphytica 121, pp 123–127.
11. Jimenez J.J, Lal R, Leblanc, H.A, Russo R.O, (2011), “Soil organic carbon pool under nativetree plantations in Caribbean lowlands of Costa Rica”, Forest Ecology and Management, 241, 134–144.
12. Lal R, (2005), “Forest soils and carbon sequestration”, Forest Ecology and Management, 220, pp 242–258.
13. Manne Richard, G. Richels, (1991), “Buy ing greenhouse insurance”, http://www.elsevier.com/ Volume 19, Issue 6, July–August 1991, Pages 543–552.
14. Mayaux P, Holmgrean P, Achard F, Eva H, Stibig H.J, Branthomme A, (2005), “Tropical forest cover change in the 1990s and options for future monitoring”, Philosophical Transactions Research Society, 360, pp 373-384.
15. Miller H.G, (1984), “Dynamics of Nutrient cucling in plantation ecosystems”, Nutrition of plantation forests, Academic Press New York, pp 53-
16. Neff J. C, Hooper D.U. (2002), Vegetation and climate controls on potential CO2, DOC and DON production in northern latitude soils, Global Change Biology, 8, 872-882.
17. Paul K. I, Polglase P. J, Nyakuengama J. G, Khanna P. K, (2002), “Change in soil carbon following afforestation”, Forest Ecology and Management, Volume 168, Issues 1-3, 1 September 2002, pp 241-257.

18. Van den Driessche R. (1984), Nutrient storage, retranslocation and relationship of stree to nutrition, In: Bowen, G.D. and Nambiar E.K.S, (Eds.), Nutrition of plantation Forests, Academic Press, New York, pp 181-210.
19. Zahedi Amiri G.H, (1998), "Relation Between Ground Vegetation and Soil Charac-teristics in a Mixed Hardwood Stand", PhD Thesis, University of Ghent, Begum Academic Press, pp 31

IEvaluation of some chemical and physical properties of soils in different uses of Zagros forests

Majid Pato[1], Ali Salehi [2], Ghavamuddin Zahedi Amiri [3] and Abbas Banj Shafiei [4]

Assistant Professor of Research Center for Education and Extension of Agriculture and Natural Resources of West Azerbaijan Province[1]

Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan[2]

Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj[3]

Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University[4]

Abstract

Knowledge of soil properties of forest areas is very important and effective in forest management. In this study, the effect of land use change and deforestation and conversion of forest lands to other uses on some chemical and physical properties of soil was investigated. For this purpose, four uses (virgin, protective, exploitation and garden) were selected from the forest lands of Mirabad, Sardasht city in West Azerbaijan. In each use, 30 identical sample plots with dimensions of 25 × 25 m were identified, which inside each sample plot in each use, soil samples were taken at two depths of 0-15 and 15-50 cm. According to the research results, the total amount of soil organic matter (total nitrogen, absorbable phosphorus, organic carbon, electrical conductivity, carbon to nitrogen ratio, and stored carbon) in virgin and protective land use is higher than other land uses. According to the results of research in pristine and conservation uses, there is a better balance between inputs and outputs and this is due to the amount of plant debris introduced into the soil and the reduction of soil erosion in these areas. One of the important reasons for the reduction of organic matter in orchards and exploited areas is the depletion of soil organic matter due to improper management and use and ultimately soil degradation.

Keywords: Forest soil, degradation, organic matter, land use..

تأثیر میاگروم بر برخی شاخص‌های زیستی در خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب

سپیده چراغی علی اکبری[۱]، علی بهشتی آل آقا[۲]، فرانک رنجبر[۳]، ایرج نصرتی[۴]

۱- دانش اموخته کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک دانشگاه رازی

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه رازی

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه رازی f_ranjbar1980@yahoo.com

۴- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه رازی

چکیده

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر میاگروم بر برخی شاخص‌های زیستی شامل تنفس خاک، تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) و کسر متابولیک (qCO_2) در خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب بود. این آزمایش در سطوح مختلف کادمیوم (۰، ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) و سرب (۰، ۱۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) به صورت کشت گلدانی انجام شد. تنفس تجمعی خاک پس از ۷۰ روز از ۴۳۳ mg C kg^{-1} (۱۶۰۳ mg CO_2 kg^{-1}) در سطح ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم تا ۵۸۸ mg C kg^{-1} (۲۱۷۷ mg CO_2 kg^{-1}) در سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سرب متغیر بود. بیشترین مقدار SIR (۳۰۴ mg C kg^{-1}) و کمترین مقدار آن (۲۳۳ mg C kg^{-1}) به ترتیب مربوط به شاهد و سطوح آلودگی ۵ میلی‌گرم کادمیوم بود. پارامتر MBC از ۳۹ mg C kg^{-1} در شاهد تا ۳۱۷ mg C kg^{-1} در سطح ۳ میلی‌گرم کادمیوم متغیر بود. دامنه qCO_2 از ۰/۰۶۱ mg C mg^{-1} MBC day^{-1} در سطح آلودگی ۳ میلی‌گرم کادمیوم تا ۰/۶۰۲ mg C mg^{-1} MBC day^{-1} در سطح ۶۰۰ میلی‌گرم سرب، متغیر بود. نتایج نشان داد که کشت گیاه میاگروم در خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب مانع از تأثیر منفی این فلزات سنگین بر شاخص‌های زیستی خاک شد.

واژگان کلیدی: میاگروم، شاخص‌های زیستی، فلزات سنگین، آلودگی، تنفس خاک

مقدمه

امروزه، فلزات سنگین که بیشتر از طریق فعالیت‌های انسانی مانند بهره برداری از معدن و بهره‌گیری از کودهای شیمیایی، آفت کش‌ها و لجن فاضلاب در زیستگاه‌ها رها می‌شوند، به یکی از مهمترین آلاینده‌های زیستی تبدیل شده‌اند (Roy and McDonald, 2015). از میان فلزات سنگین، کادمیوم دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا سمیت آن برای گیاه تا ۲۰ برابر سایر فلزات می‌باشد (Jafarnejadi *et al.*, 2011). جذب کادمیوم توسط گیاه منجر به ایجاد آسیب‌هایی مانند تخریب هسته، بازدارندگی فعالیت برخی از آنزیم‌ها، سوختگی و زردی برگ‌ها، کاهش رشد ریشه و ساقه، کاهش جذب آب، کاهش مقدار کلروفیل و کاروتنوئیدها و جلوگیری از باز شدن روزنه‌ها می‌گردد (Sanità di Toppi and Gabrielli, 1999). سرب نیز به دلیل تجزیه نشدن و داشتن تأثیر مخرب بر موجودات زنده در غلظت‌های بسیار کم حائز اهمیت می‌باشد (Sparks, 2003). از جمله اثرات منفی سرب بر رشد گیاه می‌توان به اثر آن بر کاهش زیست‌توده ریشه و اندام هوایی و کاهش عملکرد اشاره کرد. از اثرات سمی سرب بر فتوسنتز گیاهان می‌توان به کاهش بیوسنتز کلروفیل از طریق کاهش غلظت عناصر ضروری منیزیم و آهن در برگ‌ها، ایجاد کمپلکس با پروتئین‌های فتوسنتزی و افزایش فعالیت کلروفیلاز جهت تجزیه کلروفیل اشاره کرد (Sharma and Dubey, 2005).

خاک به عنوان صبورترین بخش طبیعت، دیرتر از سایر بخش‌ها، اختلالات ناشی از آلودگی را بروز می‌دهد، اما در چند دهه اخیر، آلودگی خاک با فلزات سنگین به دلیل تخلیه زباله و فاضلاب ناشی از فعالیت‌های انسانی، به طور چشمگیری رو به افزایش است و به یکی از عوامل تهدید کننده کیفیت خاک تبدیل شده است.

کیفیت خاک به مفهوم ظرفیت خاک تحت مدیریت اکوسیستمی برای حفظ حاصلخیزی خاک، کیفیت محیط زیست و تقویت گیاهان، ریزجانداران و جانوران است. کیفیت خاک را نمی‌توان به طور مستقیم اندازه گیری کرد، بلکه با اندازه گیری چند شاخص، می‌توان برآوردی از آن داشت. به این منظور، باید از شاخص هایی بهره گرفت که دارای حساسیت کافی به تغییرات مدیریتی مختلف باشند (Anderson, 2003). ویژگی‌های زیستی خاک به دلیل ارتباط با چرخه عناصر غذایی در خاک، بهترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت خاک هستند که از میان آن‌ها، می‌توان به تنفس و زیست‌توده میکروبی، معدنی شدن نیتروژن در خاک و به ویژه فعالیت آنزیمی خاک اشاره نمود (Garsía-Gil *et al.*, 2004). به عنوان مثال، نتایج مطالعه ای نشان داد که تنفس خاک با کادمیوم قابل جذب و کادمیوم کل همبستگی منفی داشت (Dai *et al.*, 2004). بر این اساس، در خاک‌های آلوده به کادمیوم با افزایش سطوح آلودگی، میزان کربن معدنی شده کاهش معنی‌داری پیدا کرد. همچنین، محققان در مطالعه دیگری گزارش دادند که با افزایش سطوح آلودگی سرب در خاک، مقدار تنفس میکروبی خاک سیر نزولی در پیش گرفت (Verma *et al.*, 2010).

یکی از راه‌های دوست‌دار محیط زیست و در عین حال مقرون به صرفه برای جلوگیری از افت کیفیت خاک در اثر آلودگی با فلزات سنگین می‌تواند کاشت گیاهان متحمل باشد که توان رشد در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را دارند. گیاه پالایی به عنوان یکی از روش‌های زیستی در پالایش خاک‌های آلوده پذیرفته شده و در حال گسترش است. مطالعات مختلفی در جهت بررسی تأثیر گیاهان مختلف در حذف یا کاهش آلایندگی فلزات سنگین انجام گرفته است. با این حال، کمتر به تأثیر این گیاهان بر حفظ کیفیت زیستی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین پرداخته شده است.

بنابراین، هدف از این مطالعه بررسی تأثیر گیاه میاگروم بر برخی شاخص‌های زیستی خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب است. گیاه میاگروم (*Myagrum perfuliatum*) به به خانواده چلیپاییان (Brassicaceae) تعلق دارند و مطالعات نشان داده اند که گیاهان متعلق به این خانواده در گیاه پالایی عناصر سنگین موفق عمل نموده اند. این گیاه دارای زیست‌توده قابل توجه و برای شرایط اقلیمی ایران به خصوص کرمانشاه مناسب است، دوره رشد طولانی و نیاز آبی بالایی ندارد و کشت آن در خاک‌های آلوده می‌تواند یک راهکار اصلاحی مقرون به صرفه باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار انجام گرفت. برای این منظور، یک نمونه خاک غیر آلوده از عمق ۳۰-۰ سانتی متری مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی به صورت مرکب برداشته شد و پس از هوا خشک شدن، برای انجام کشت گلدانی، از الک ۸ میلی‌متری عبور داده شد. خاک مورد استفاده در این پژوهش دارای پی اچ ۷/۵ در عصاره ۱:۲، ماده آلی ۱/۴۳ درصد، کربنات کلسیم معادل ۲۴ درصد و بافت لوم رسی سیلی بود.

خاک عبور داده شده از الک ۸ میلی‌متری به چند بخش تقسیم شد: بخشی از آن به عنوان نمونه شاهد (بدون آلودگی) در نظر گرفته شد و سایر بخش‌ها به طور جداگانه با سطوح مختلف کادمیوم (۳، ۵ و ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم) و سرب (۱۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) آلوده شدند. برای آلوده کردن خاک‌ها، ابتدا محلول‌های حاوی غلظت‌های مورد نظر با استفاده از نمک‌های نیترات سرب و کادمیوم تهیه گردیدند و سپس، به طور جداگانه، به نمونه‌های جدا کرده از نمونه اولیه اضافه و کاملاً با خاک مخلوط شدند. نمونه‌های آلوده شده قبل از انتقال به گلدان‌ها، به مدت چهار هفته در شرایط نزدیک به رطوبت زراعی نگهداری گردیدند.

در این آزمایش از ۲۱ گلدان یک اندازه از جنس پلاستیک استفاده گردید. ۳ کیلوگرم از نمونه خاک‌های شاهد و آلوده به گلدان‌ها منتقل گردید. سپس، بذر گیاهان میاگروم در عمق ۳-۲ سانتی‌متری و به فواصل مناسب از یکدیگر کاشته و گلدان‌ها آبیاری شدند. در مرحله داشت و نگهداری گیاهان، هر دو تا سه روز یک بار بسته به دمای گلخانه، گلدان‌ها مورد

آبیاری قرار گرفتند، به نحوی که آب از زهکش خارج نشود تا از شسته شدن فلزات سنگین جلوگیری شود. همچنین در طول فصل رشد، تمامی گلدان‌ها از علف‌های هرز پاکسازی شدند تا از رقابت با گیاهان اصلی جلوگیری شود.

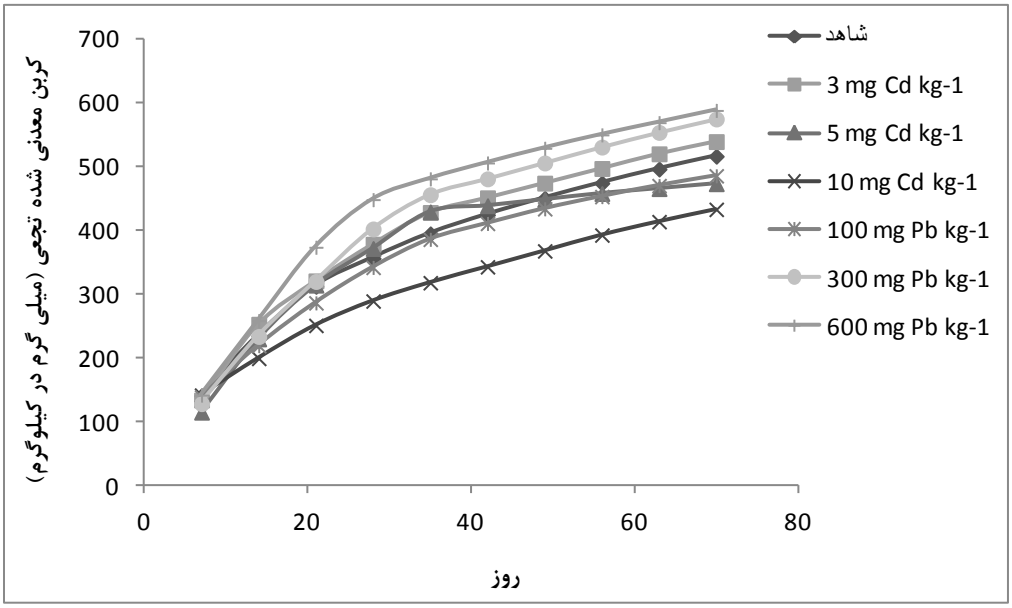
بعد از سپری شدن دوره رشد (حدود پنج ماه)، گیاهان برداشت شدند و خاک هر گلدان برای تعیین شاخص‌های زیستی شامل تنفس خاک (معدنی شدن کربن) در طی ۱۰ هفته (Anderson, 1982)، تنفس برانگیخته با سوبسترا (SIR) (Alef and Nannipieri, 1995)، کربن زیست‌توده میکروبی (MBC) (Jenkinson and Ladd, 1981) و ضریب متابولیک (qCO_2) (Cheng *et al.*, 1993)، مورد استفاده قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به دست آمده از مراحل مختلف با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح خطای ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

تنفس خاک یا معدنی شدن کربن در طی ۱۰ هفته (۷۰ روز) انکوباسیون خاک‌های آلوده و شاهد پس از برداشت میاگروم از گلدان‌ها، در شکل ۱ نشان داده شده است. مقدار تجمعی کربن معدنی شده در پایان انکوباسیون خاک‌ها از $۴۳۳\ mg\ C\ kg^{-1}$ ($۱۶۰۳\ mg\ CO_2\ kg^{-1}$) در سطح آلودگی ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم تا $۵۸۸\ mg\ C\ kg^{-1}$ ($۲۱۷۷\ mg\ CO_2\ kg^{-1}$) در سطح آلودگی ۶۰۰ میلی‌گرم سرب متغیر بود. با توجه به شیب منحنی‌ها، میزان تنفس در ۴ هفته اول با سرعت بیشتر و پس از آن با شیب ملایم‌تری افزایش پیدا کرده است. شدت معدنی شدن بالاتر و به دنبال آن تولید دی اکسید کربن بیشتر در طی هفته‌های اول می‌تواند مربوط ترکیبات آلی که به آسانی تجزیه می‌شوند، باشد که با گذشت زمان و کاهش میزان چنین ترکیباتی، میزان معدنی شدن کربن کاهش می‌یابد. الگوی مشابه همین حالت در مطالعه انجام شده روی خاک‌های زراعی و جنگلی گزارش شده است (Beheshti *et al.*, 2012). تنفس میکروبی در سطوح آلودگی ۵ و۱۰ میلی‌گرم در کیلو گرم کادمیوم و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب نسبت به شاهد کاهش یافت. تنفس خاک نشان دهنده فعالیت میکروبی خاک است و سطح بالای آن نشان‌دهنده شرایط مطلوب خاک برای جمعیت میکروبی می‌باشد. این فرایند از طریق مصرف اکسیژن و تولید دی اکسید کربن از طریق سلول‌های میکروبی زنده انجام می‌گیرد. کاهش تنفس خاک به ویژه در شرایط آلودگی شدید خاک به فلزات سنگین ممکن است به دلیل کاهش رشد و تولید مثل ریزجانداران خاک و همچنین کاهش سنتز و فعالیت آنزیم‌ها باشد که منجر به کاهش تولید دی اکسید کربن می‌گردد (Xiao *et al.*, 2017). در مقابل، افزایش تنفس میکروبی با افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک ممکن است به دلیل کاهش کربن مصرفی در زیست‌توده میکروبی و در نتیجه افزایش انتشار آن به شکل دی اکسید کربن باشد (Zhang *et al.*, 2010). تنفس خاک به دلیل کاهش کربن از اکوسیستم‌ها توجه زیادی را به خود جلب کرده است و مطالعات در این مورد به سرعت رو به افزایش است. تنفس میکروبی نه تنها معیاری برای وضعیت و فعالیت ریزجانداران خاک است، بلکه مشخص کننده فعالیت آنزیمی، روند تجزیه مواد آلی خاک و همچنین چرخه عناصر غذایی در خاک نیز می‌باشد (Luo and Zhou, 2006).

مقادیر SIR در خاک‌های شاهد و آلوده پس از برداشت میاگروم در شکل ۲ (الف) ارائه شده است. این پارامتر نشان دهنده تنفس میکروبی خاک بعد از اضافه کردن یک سوبسترا مانند گلوکز و بیانگر جمعیت میکروبی فعال خاک است (Luo and Zhou, 2006). بیشترین مقدار SIR ($۳۰۴\ mg\ C\ kg^{-1}$) و کمترین مقدار آن ($۲۳۳\ mg\ C\ kg^{-1}$) به ترتیب مربوط به شاهد و سطوح آلودگی ۵ میلی‌گرم کادمیوم بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آلودگی بر SIR معنی‌دار نبود. محققان گزارش کردند که مقادیر SIR در خاک آلوده به کادمیوم بدون حضور گیاه کاهش یافت (Landi *et al.*, 2000). اما، نتایج این مطالعه نشان داد که کشت گیاهان مانع از اثرات منفی فلزات سنگین بر SIR گردید.

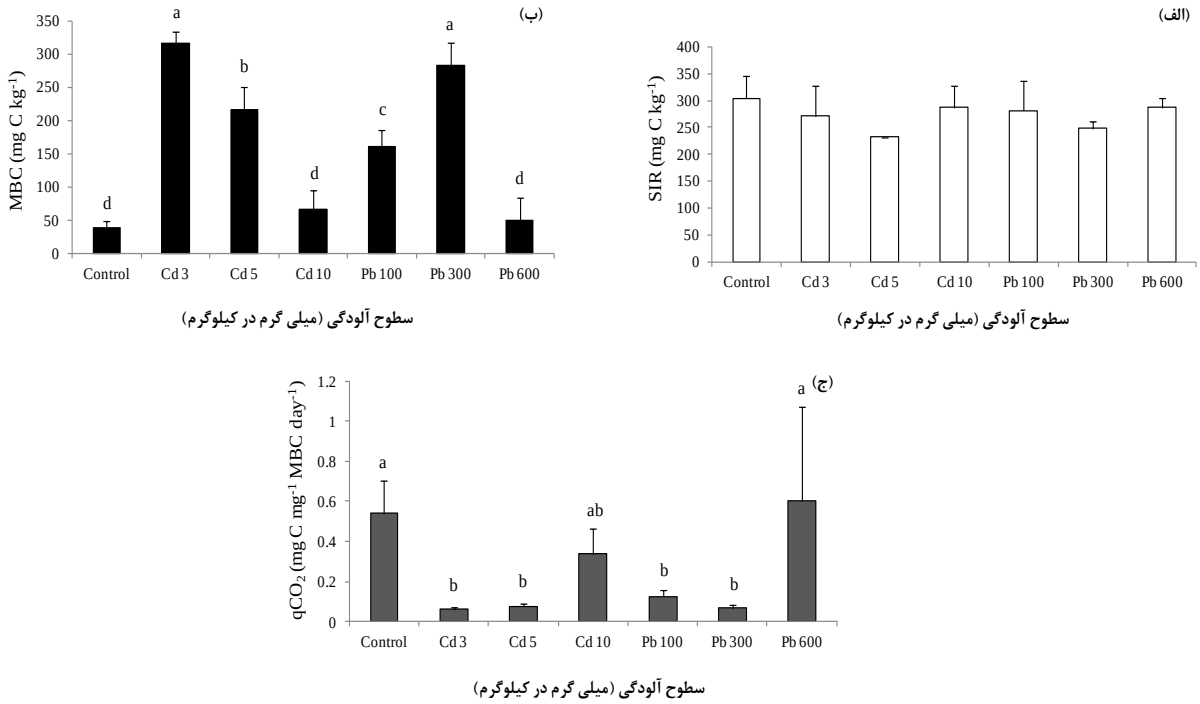


شکل ۱- تنفس خاک‌های شاهد و آلوده در طی ۷۰ روز پس از برداشت میاگروم

نتایج MBC در خاک‌های آلوده و شاهد پس از برداشت میاگروم در شکل۲ (ب) آمده است. این پارامتر از $^{-1}$mg C kg ۳۹ در شاهد تا $^{-1}$mg C kg ۳۱۷ در سطح آلودگی ۳ میلی‌گرم کادمیوم متغیر بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آلودگی بر این پارامتر در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. طبق نتایج مقایسه میانگین، بین مقادیر MBC در شاهد و خاک‌های آلوده به سطوح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم و ۱۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم سرب، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ وجود داشت. گزارش شده است که این شاخص زستی نسبت به وجود فلزات سنگین حساس است و در خاک‌های آلوده به شدت تحت تأثیر قرار می-گیرد (Zhang *et al.*, 2013, 2016). غلظت بالای فلزات سنگین در خاک باعث افزایش مصرف انرژی توسط جمعیت میکروبی خاک و کاهش بستر مورد نیاز برای رشد آن‌ها و در نتیجه کاهش MBC می‌شود (Xiao *et al.*, 2017). به عبارت دیگر، در شرایط تنش‌های ناشی از فلزات سنگین، ریزجانداران خاک انرژی را بیشتر صرف حفظ حیات سلول‌ها می‌کنند تا رشد آن‌ها. بنابراین، مقادیر کمتری کربن، نیتروژن و فسفر در شرایط نامطلوب تولید می شود که می تواند با افزایش تنفس میکروبی پایه و qCO2 همراه باشد. لازم به ذکر است که کاهش MBC در شرایط تنش فلزات سنگین، ضرورتاً به معنی کاهش تنوع جمعیت میکروبی خاک نیست، زیرا در این حالت ریزجانداران مقاوم می‌توانند زنده بمانند و حتی جمعیت آن‌ها در طی چندین سال افزایش یابد (Zhang *et al.*, 2010). از سوی دیگر، نتایج این نشان می‌دهد که استفاده از روش‌های اصلاحی مانند کشت گیاهان متحمل، می‌تواند MBC را افزایش دهد و این نشان‌گر بهبود سلامت و کیفیت خاک است.

مقادیر qCO_2 در خاک‌های شاهد و آلوده پس از برداشت میاگروم در شکل۲ (ج) مشاهده می‌گردد. ضریب متابولیک، میزان تنفس خاک (مقدار کربن معدنی برای تولید انرژی) به ازای هر واحد MBC (مقدار کربن مورد استفاده برای رشد و تشکیل سلول‌های جدید میکروبی) در واحد زمان را بیان می‌کند. دامنه این پارامتر از $^{-1}$MBC day $^{-1}$mg C mg ۰/۰۶۱ در سطح آلودگی ۳ میلی‌گرم کادمیوم تا $^{-1}$MBC day $^{-1}$mg C mg ۰/۶۰۲ در سطح آلودگی ۶۰۰ میلی‌گرم سرب، متغیر بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آلودگی بر روی این پارامتر در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. گزارش شده است که غلظت بالای فلزات سنگین به ویژه کادمیوم منجر به کاهش qCO_2 می‌شود (Landi *et al.*, 2000). با این حال، در مورد تأثیر فلزات سنگین در کاهش یا افزایش این پارامتر بین محققان اختلاف نظر وجود دارد. کاهش مقدار qCO_2 در خاک‌های آلوده

را می‌توان با این واقعیت توضیح داد که ریزجانداران از بسترهای مختلفی در این خاک‌ها استفاده می‌کنند. در مقابل، افزایش مقادیر qCO_2 در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین می‌تواند به این دلیل رخ دهد که ریزجانداران به ازای هر واحد سوبسترای آلی، کربن کمتری برای ساختن زیست‌توده‌های جدید در شرایط تنش مصرف می‌کنند و بخش بزرگی از کربن در طی تنفس مورد استفاده قرار می‌گیرد تا انرژی مورد نیاز برای بقا و زنده مانی ریزجانداران تأمین گردد (Landi *et al.*, 2000). فعالیت میکروبی خاک، تحت تأثیر میزان ماده آلی و ترشحات ریشه گیاهان می‌باشد. بنابراین، افزایش ترشحات ریشه باعث افزایش رشد و فعالیت میکروبی خاک می‌شود، زیرا آزادسازی ترکیبات آلی از ریشه یک عامل مهم در زیست فراهمی کربن در ریزوسفر است.



شکل ۲- شاخص‌های زیستی شامل SIR (الف)، MBC (ب) و qCO_2 (ج) در خاک‌های شاهد و آلوده پس از برداشت میاگروم (میله ها نشان دهنده انحراف معیار تکرارهای آزمایشی هستند)

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که کشت گیاه میاگروم در خاک‌های آلوده به کادمیوم و سرب مانع از تأثیر منفی این فلزات سنگین بر شاخص‌های زیستی خاک شد. بنابراین، کشت گیاهان به ویژه گیاهان بومی و سازگار با منطقه باید بیش از پیش به عنوان یک راهکار مناسب، اقتصادی و دوستدار با محیط زیست در بهبود کیفیت و سلامت خاک‌های آلوده به فلزات سنگین مورد توجه و بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع

Alef, K., Nannipieri, P. (1995). Methods in applied soil microbiology and biochemistry. Academic Press, London. 576 p.

Anderson, J.P.E. (1982). Soil respiration. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties, 2nd ed. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, USA, pp. 831–871.

Anderson, T.H. (2003). Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98, 285–293.

Beheshti, A., Raiesi, F., Golchin, A. (2012). Soil properties, C fractions and their dynamics in land use conversion from native forests to croplands in northern Iran. *Agric. Ecosyst. Environ.* 148, 121–133.

Cheng, W., Coleman, D.C., Carroll, C.R., Hoffman, C.A. (1993). In situ measurements of root respiration and soluble carbon concentrations in the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* 25, 1189–1196.

Dai, J., Becquer, T., Rouiller, J.H., Reversat G., Bernhard-Reversat, F., Lavelle, P. (2004). Influence of heavy metals on C and N mineralization and microbial biomass in Zn-, Pb-, Cu-, and Cd-contaminated soils. *Appl. Soil Ecol.* 25, 99–109.

García-Gil, J.C., PlazacSenesi, N., Brunetti, G., Polo, A. (2004). Effects of sewage sludge amendment on humic acids and microbiological properties of semiarid Mediterranean soil. *Biol. Fertil. Soils* 39, 320–328.

Jafarnejadi, A.R., Homaee, M., Sayyad, G.A. (2011). Large scale spatial variability of accumulated cadmium in the wheat farm grains. Soil and Sediment Contamination Journal 20(1), 93–99.

Jenkinson, D.S., Ladd, J.N. (1981). Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: Paul, E.A., Ladd, J.N. (Eds.), Soil Biochemistry, Marcel Dekker, Inc., NY, pp. 415–471.

Landi, L., Renella, G., Moreno, J.L., Falchini, L., Nannipieri, P. (2000). Influence of cadmium on the metabolic quotient, L-:D-glutamic acid respiration ratio and enzyme activity: microbial biomass ratio under laboratory conditions. *Biol. Fert. Soils* 32, 8–16.

Luo, Y.Q., Zhou X. (2006). Soil respiration and the environment. Academic Press, Elsevier. 328 p.

Roy, M., McDonald, L.M. (2015). Metal uptake in plants and heath risk assessments in metal-contaminated smelter soils. *Land Deg. Dev.* 26, 785–792.

Sanità di Toppi, L. Gabbrielli, R. (1999). Response to cadmium in higher plants. *J. Environ. Exp. Bot.* 41, 105–130.

Sharma, P., Dubey, R.S.H. (2005). Lead toxicity in Plants. *Plant Physiol.* 17, 35–52.

Sparks D.L. (2003). Environmental Soil Chemistry. Second Edition, Academic Press.

Verma, R. K., Yadav, D.V., Singh, C. P., Suman, A., Gaur, A. (2010). Effect of heavy metals on soil respiration of sugarcan (Saccharum of officinarum L.) trashin different soils. *Plant Soil Environ.* 56, 76–81.

Xiao, X.Y., Wang, M.W., Zhu, H.W., Guo, Z.H., Han, X.Q., Zeng, P. (2017). Response of soil microbial activities and microbial community structure to vanadium stress. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 142, 200–206.

Zhang, C., Nie, S., Liang, J., Zeng, G., Wu, H., Hua, S., Xiang, H. (2016). Effects of heavy metals and soil physicochemical properties on wetland soil microbial biomass and bacterial community structure. *Sci. Total Environ.* 557, 785–790.

Zhang, F.P., Li, C.F., Tong, L.G., Yue, L.X., Li, P., Ciren, Y.J., Cao, C.G. (2010). Response of microbial characteristics to heavy metal pollution of mining soils in central Tibet, China. *Appl. Soil Ecol.* 45, 144–151.

Zhang, X., Wang, H., He, L., Lu, K., Sarmah, A., Li, J., Huang, H. (2013). Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20, 8472–8483.

Effect of muskweed on some biological indices in cadmium- and lead-contaminated soils

Sepideh Cheraghi-Aliakbari[1], Ali Beheshti-Alagha[1], Faranak Ranjbar[1], Iraj Nosratti[2]

[1] Department of Soil Science, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University

[2] Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture and Natural Resources, Razi University

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of muskweed on some biological parameters including soil respiration, substrate-induced respiration (SIR), microbial biomass carbon (MBC), and metabolic quotient (qCO2) in cadmium and lead contaminated soils. This experiment was performed in different levels of cadmium (0, 3, 5, and 10 mg kg^{-1}) and lead (0, 100, 300, and 600 mg kg^{-1}) and muskweed cultivation in the greenhouse. After harvesting, biological indices were measured. Cumulative respiration after 70 days of incubation ranged from 433 mg C kg^{-1} (1603 mg CO2 kg^{-1}) at the contamination level of 10 mg cadmium to 588 mg C kg^{-1} (2177 mg CO2 kg^{-1}) at the contamination level of 600 mg lead. The highest (304 mg C kg^{-1}) and the lowest (1233 mg C kg^{-1}) values of SIR were related to control and contamination level of 5 mg cadmium, respectively. The MBC parameter ranged from 139 mg C kg^{-1} in the control to 1317 mg C kg^{-1} at the contamination level of 3 mg cadmium. The qCO2 ranged from 0.061 mg C mg^{-1} MBC day^{-1} at the contamination level of 3 mg cadmium to 0.602 mg C mg^{-1} MBC day^{-1} at the contamination level of 600 mg lead. The results showed that cultivation of muskweed in cadmium- and lead-contaminated soils prevented the negative impact of these heavy metals on soil biological indices.

Keywords: Muskweed, Biological indices, Heavy metals, Contamination, Soil respiration

تاثیر برگ پاشی بیوسورفکتانت باکتریایی و آهن بر رشد لوبیا

اسماعیل کریمی[۱]، مهتاب دروگریان[۲]، علی اصغر علی‌لو[۳]

۱-استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه Email: sm_ka80@yahoo.com
۲-دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
۳- دانشیار، گروه مهندسی تولیدات گیاهی و ژنتیک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه

چکیده

سورفکتانها به دلیل کاهش کشش سطحی آب و افزایش خیس شوندگی سطح برگ به منظور رفع موانع لایه کوتیکولی سطح برگ جهت افزایش کارآیی جذب عناصر برگ‌پاشی شده کاربرد دارند. اغلب سورفکتانها شیمیایی بوده و به علت مخاطرات زیست محیطی امروزه از بیوسورفکتانت‌ها بویژه با منشا میکروبی به عنوان جایگزین استفاده می‌گردد. لذا این مطالعه با دو تیمار محلولپاشی برگی ۳ سطح سولفات آهن و ۲ سطح بیوسورفکتانت حاصل از باکتری *Bacillus nealsonii* 104C با ماهیت گلیکولیپیدی در قالب آزمایشی فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کشت هیدروپونیک روی گیاه لوبیا انجام گردید. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که محلولپاشی آهن بدون افزودن بیوسورفکتانت در غلظتهای یک و دو درصد به ترتیب باعث افزایش ۲/۰۸ و ۲/۸ برابری عملکرد بوته در متر مربع و افزایش سورفکتانت به محلول پاشی به ترتیب در غلظت‌های صفر، یک و دو درصد آهن باعث افزایش ۴، ۳/۳ و ۴/۲ برابری آن نسبت به تیمار شاهد گردید. بیشترین میزان ارتفاع لوبیا، وزن خشک کل، وزن برگ و وزن ساقه و تعداد نیام در تیمار بیوسورفکتانت بعلاوه دو درصد آهن مشاهده گردید. با استناد به یافته‌های این مطالعه کاربرد بیوسورفکتانت به تنهایی یا همراه با غلظت آهن دو درصد جهت برگپاشی لوبیا توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: ارتفاع بوته لوبیا، بیوسورفکتانت گلیکولیپیدی، وزن خشک لوبیا ، عملکرد تک بوته

مقدمه

تغذیه برگی گیاهان در جهت رفع کمبود آهن در گیاهان به دلیل ترسیب کودهای آهن‌دار در خاک‌های کشور به دلیل آهک زیاد و بالا بودن pH راهکار مهمی به شمار می‌رود. جذب عناصر غذایی از طریق برگ به سه مرحله شامل : نفوذ عناصر غذایی از پوستک (کوتیکول) تا دیواره سلولی، جذب سطحی روی غشای پلاسمایی و عبور از غشا پلاسمایی و ورود به سیتوپلاسم تقسیم می‌شود (فرناندز و ایکرت ۲۰۰۹). دربین این مسیرها ماهیت و ساختار کوتیکول یک مشکل در زمینه استفاده از سیستم محلول‌پاشی است، چرا که از مواد مومی تشکیل شده، خاصیت هیدروفوبی داشته و به سبب ممانعت از خیس شدن سطح برگ، علاوه بر کاهش سرعت نفوذ عناصر غذایی محلول پاشی شده، با کاهش نم-پذیری و خیس‌شدگی سطح برگ و تشکیل قطرات درشت‌تر محلول بر روی برگ باعث هدر رفت و کاهش کارایی محلول‌پاشی خواهد گردید. افزودن موادی مانند سورفکتانت‌ها که بتوانند کشش سطحی محلول را کاهش دهند در این زمینه مفید خواهد بود. سورفکتانت‌های تجاری مانند توئین اغلب به صورت شیمیایی و در کارخانجات تولید می‌شود و به دلیل ماهیت شیمیایی زنوبیوتیک خودشان مخاطرات زیست محیطی را در پی دارند (ساچدو و سوارانجیت ۲۰۱۳). با توجه به نیازهای روز افزون در زمینه کاربرد سورفکتانت‌ها امروزه تحقیق و بررسی در خصوص تولید بیوسورفکتانت‌ها تلاش برای حذف سورفکتانت‌های شیمیایی در کانون توجه مجامع علمی قرار گرفته است. بیوسورفکتانت‌ها عمدتا به دلیل سمیت پایین، زیست تخریب‌پذیری بالا، مورد توجه قرار گرفته و مطالعات نشان می‌دهند که علاوه بر پتانسیل کاربردی در برگ‌پاشی به عنوان موادی که می‌توانند باعث افزایش حلالیت عناصر کم مصرف در خاک با تشکیل

کمپلکس فلزی و نهایتا افزایش قابلیت دسترسی زیستی آنها نیز شوند، مورد توجه قرار گرفته‌اند (سینق و همکاران ۲۰۱۸). کشاورزان منطقه آذربایجان برای رفع کمبود آهن در محصولات زراعی در حالی از سکوسترین آهن ۱۳۸ به صورت محلول‌پاشی برگی بهره می‌گیرند که کودی بسیار گران قیمت با درصد آهن بسیار پایین می‌باشد. لذا چنانچه بتوان کارایی جذب برگی سولفات آهن را با کاربرد بیوسورفکتانت افزایش داد موفقیت بسیار بزرگی محسوب خواهد گردید. لذا این مطالعه با هدف بررسی اثر بیوسورفکتانت و محلولپاشی سولفات آهن در غلظت های مختلف بر عملکرد لوبیا انجام گردید.

مواد و روشها

تهیه بیوسورفکتانت: بیوسورفکتانت مورد استفاده در این مطالعه دارای ساختار گلیکولیپیدی بوده و توسط دروگریان (۱۳۹۹) از باکتری *Bacillus nealsonii* 104C استخراج، خالص‌سازی و شناسایی گردیده بود. باکتری مذکور قبلا توسط همتی و همکاران (۱۳۹۶) از توده کمپوستی جداسازی شده بود.

نوع طرح و نحوه اعمال تیمارهای آزمایشی: این آزمایش که به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد، شامل تیمارهای: آهن در سه سطح شاهد (آب مقطر)، محلول یک در هزار و محلول دو در هزار آهن از منبع سولفات آهن، بیوسورفکتات در دو سطح آب مقطر (شاهد) و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. در مجموع شش ترکیب تیماری فوق طی دو مرحله در زمان تکمیل اولین برگ سه‌برگچه‌ای (برگ اصلی تری‌فولیت) و در زمان تکمیل سومین برگ اصلی به صورت محلول‌پاشی برگی انجام گردید. لازم به ذکر است که زمان‌های محلول‌پاشی به عنوان تیمار در نظر گرفته نشدند.

مواد گیاهی و بستر کشت: در این تحقیق، از لوبیا چیتی رقم خمین با نام علمی (*PhaseolusL vulgaris* L.) استفاده شد.کاشت لوبیا در شرایط هیدروپونیک با بستر پرلیت انجام گردید. قبل از استفاده از پرلیت جهت پالایش آن از هر نوع آلودگی با آهن و یا سایر عناصر کم مصرف، پرلیت مورد نظر برای استفاده، ابتدا با اسید هیدروکلریدریک رقیق (۱/. نرمال) شسته شده و سپس سه بار با آب مقطر به طور کامل شست‌وشو داده شد.

محلول‌دهی گیاه لوبیا: با توجه به اینکه آزمایش بر روی عنصر آهن طراحی شده بود از محلول غذایی هوگلند بدون عنصر آهن جهت محلول‌دهی به گیاهان در طول آزمایش استفاده شد. از آنجایی که بذر حبوبات دارای مقادیر بالایی از عناصر هستند و جهت تخلیه این عناصر و عدم تداخل آن‌ها (بویژه آهن) در ابتدا محلول‌دهی با محلول یک چهارم هوگلند بدون آهن شروع شد و بعد از پایان گیاهچه‌ای، از محلول کامل هوگلند بدون آهن استفاده شد. همچنین در این آزمایش جهت جلوگیری از تجمع نمک در گلدان‌ها هر دو هفته یکبار آبشویی با آب مقطر انجام شد.

تعداد برگ (شمارش هر سه روز یکبار) و کلروفیل کل با دستگاه اسپد (ابتدا در ظهور سه‌برگچه اول و عدد دوم در ظهور سه‌برگچه سوم) در طی آزمایش و صفات زیر یک هفته بعد از دومین محلولپاشی مطالعه گردید: وزن تر کل بوته، ارتفاع ساقه (از سطح پرلیت تا ابتدای گل‌آذین)، تعداد نیام در بوته (میانگین تعداد نیام روی سه بوته)، تعداد دانه در نیام (تقسیم تعداد بذر در بوته به تعداد نیام)، تعداد دانه در بوته (حاصل از تقسیم تعداد دانه در گلدان به تعداد بوته در گلدان)، تعداد گل (میانگین تعداد گل روی سه بوته)، وزن خشک برگ، ساقه و کل گیاه (توزین پس از نگهداری ۴۸ ساعته در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد)، درصد آب (درصد آب در نمونه از تقسیم درصد وزن تر بر وزن خشک گیاه بدست آمد)، در نهایت عملکرد تک بوته از رابطه (۱) زیر حساب گردید:

رابطه (۱) عملکرد تک‌بوته = (تعداد دانه در بوته × وزن هزاردانه) /۱۰۰۰

داده های به دست آمده پس از حصول اطمینان از نرمال بودن ، با نرم افزارMSTATC تجزیه آماری شده و مقایسه میانگین ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد گزارش گردید.

نتایج و بحث

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر متقابل تیمار سولفات آهن به همراه بیوسورفکتانت بر ارتفاع ساقه، تعداد برگ، تعداد نیام، تعداد گل، وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه وسطح ویژه برگ در سطح احتمال یک درصد و بر وزن خشک کل گیاه در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار گردید. اثرات خالص تیمارهای ازمایشی نیز در این جدول گویای آن است که اثر اصلی تیمار بیوسورفکتانت و اثر اصلی تیمار سولفات آهن روی صفت ارتفاع ساقه، روی صفت تعداد گل در سطح احتمال آماری یک درصد معنی‌دار شد. اثر اصلی تیمار سولفات آهن در سطح احتمال آماری یک درصد بر تعداد برگ، تعداد نیام ، سطح ویژه برگ، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثر اصلی بیوسورفکتانت روی وزن خشک برگ در سطح احتمال آماری یک درصد و بر وزن خشک ساقه و وزن خشک کل گیاه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر تیمار سولفات آهن و بیوسورفکتانت حاصل از باکتری *Bacillus nealsonii* 104C بر پارامتر بر ویژگیهای رشدی و عملکردی گیاه لوبیا

منابع تغییر	Df	میانگین مربعات							
		وزن تر	ارتفاع ساقه	تعداد برگ	تعداد نیام	تعداد گل	شاخص سطح برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک گیاه
آهن	2	3.35 ns	1098 **	1.08 **	1.08 **	1.75 **	0.086 ns	0.006 ns	0.031 ns
بیوسورفکتانت	1	2.71 ns	3333 **	0.00 ns	0.33 ns	1.33 **	0.027 ns	0.020 *	0.279 *
آهن × بیوسورفکتانت	2	0.88 ns	5198 **	7.75 **	1.08 **	1.58 **	0.145 ns	0.044 **	0.223 *
اشتباه	12	2.62	111.2	0.04	0.09	0.02	0.09	0.004	0.034
ضریب تغییرات (٪)		14.11	11.2	2.5	14	6.7	17.27	15.5	11.8

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵٪ و ۱٪ و ns غیر معنی‌دار

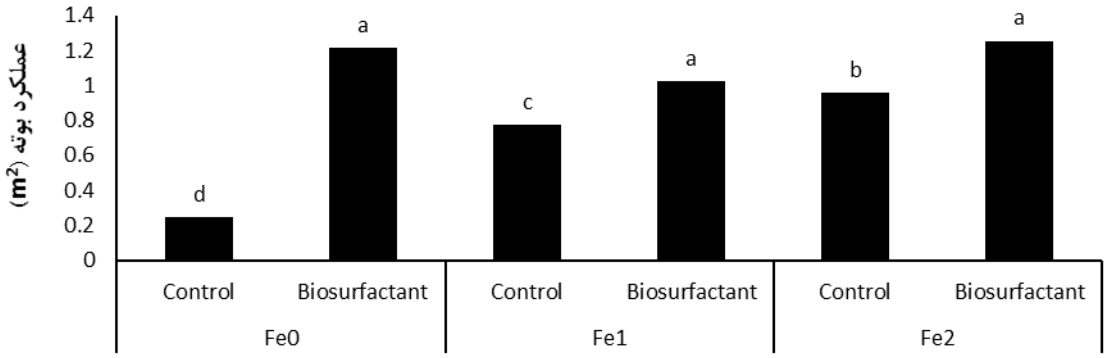
ادامه جدول ۱-

منابع تغییر	Df	میانگین مربعات							
		وزن خشک برگ	سطح ویژه برگ	تعداد نیام	تعداد دانه در نیام	عملکرد بوته	وزن دانه	درصد آب	مساحت برگ
آهن	2	0.02 ns	170727 **	0.019 ns	5.01 *	0.21 **	0.01 ns	7.74 ns	13852 ns
بیوسورفکتانت	1	0.14 **	7667 ns	0.10 ns	6.18 *	0.87 **	0.01 ns	13.70 ns	4392 ns
آهن × بیوسورفکتانت	2	0.09 **	193273 **	0.03 ns	7.90 *	0.091 **	0.01 ns	7.92 ns	23284 ns
اشتباه	12	0.007	22786	0.09	9.85	0.01	0.01	4.79	15845
ضریب تغییرات (٪)		10.5	17.08	28.37	29.11	14.1	49.64	2.47	17.27

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵٪ و ۱٪ و ns غیر معنی‌دار

نتایج مقایسه میانگین داده ها نشان داد که تمامی تیمارهای مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد می توانند به میزان قابل توجهی باعث افزایش عملکرد بوته در متر مربع در گیاه لوبیا چیتی گردند (شکل ۱). به عبارت دیگر عملکرد اقتصادی محصول را افزایش دهند. محلولپاشی آهن بدون افزودن بیوسورفکتانت در غلظتهای یک و دو درصد به ترتیب باعث افزایش ۲/۰۸ و ۲/۸ برابری این صفت گردید. افزایش سورفکتانت به محلول پاشی به ترتیب در غلظت های صفر، یک و دو درصد آهن باعث افزایش ۴، ۳/۳ و ۴/۲ برابری آن نسبت به تیمار شاهد گردید. لذا با استناد به این یافته ها به نظر می‌رسد کاربرد بیوسورفکتانت همراه با محلولپاشی آهن می‌تواند به منجر به افزایش عملکرد اقتصادی لوبیا گردند. نتایج مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای آزمایشی که در جدول ۲ نشان داده شده است، مشخص نمود که خصوصیات مورد مطالعه لوبیا در این پژوهش تغییرات معنی‌داری را نسبت به تیمار شاهد دارند. بیشترین ارتفاع ساقه (۱۵۷ cm) با افزایش ۲/۰۸ برابری نسبت به تیمار شاهد (۵۱ cm)، بیشترین وزن خشک کل گیاه (۱/۶۸ گرم) با

افزایش ۷۵ درصدی نسبت به تیمار شاهد (۰/۹۶ گرم)، بیشترین میزان وزن خشک ساقه (۰/۶۴ گرم) با افزایش ۶۸ درصدی نسبت به تیمار شاهد (۰/۳۸ گرم) در تیمار بیوسورفکتانت بعلاوه آهن دو درصد به دست امد.



شکل ۱ : تاثیر کاربرد بیوسورفکتانت (Biosurfactant) در غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و عدم کاربرد آن بر میانگین عملکرد بوته گیاه لوبیا در متر مربع در غلظت های صفر (fe0) ، یک درصد (fe1) و دو درصد (fe2) آهن

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمار سولفات آهن و بیوسورفکتانت باکتری *Bacillus nealsonii* 104C بر پارامتر رشدی و عملکردی گیاه لوبیا

سولفات آهن	بیوسورفکتانت	وزن خشک			سطح ویژه برگ (cm^2)	ارتفاع ساقه (cm)	تعداد برگ	تعداد نیام	تعداد دانه در نیام	تعداد گل
		برگ (g)	ساقه (g)	کل گیاه (g)						
صفر	عدم کاربرد	0.58^{c}	0.38 ^{c}	0.96 ^{c}	541.97^{c}	51.0 ^{d}	8.50 ^{b}	0.50 ^{c}	1.00 ^{c}	1.00 ^{c}
	کاربرد	1.06^{a}	0.44 ^{b}	1.50 ^{a}	774.66^{b}	107.5 ^{b}	9.00 ^{a}	2.00 ^{a}	4.50 ^{a}	3.00 ^{a}
یک درصد	عدم کاربرد	0.81^{b}	0.53 ^{b}	1.34 ^{b}	978.00^{ab}	115.0 ^{b}	9.50 ^{a}	2.50 ^{a}	3.66 ^{b}	2.00 ^{b}
	کاربرد	0.68^{c}	0.41 ^{b}	1.10 ^{b}	1150.67 ^{a}	67.50 ^{c}	6.50 ^{c}	2.00 ^{a}	5.00 ^{a}	2.50 ^{b}
دو درصد	عدم کاربرد	0.74^{b}	0.33 ^{c}	1.07 ^{c}	1206.20^{a}	66.50 ^{c}	6.50 ^{c}	1.50 ^{b}	4.66 ^{a}	3.50 ^{a}
	کاربرد	1.04^{a}	0.64 ^{a}	1.68 ^{a}	649.19 b	157.50 a	9.00 ^{a}	1.50 ^{b}	3.33 ^{b}	3.00 ^{a}

حروفات مشابه اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ ندارند

محلول‌پاشی عناصر کم مصرف به ویژه آهن می‌تواند به دلیل بهبود جذب کربن، افزایش تولید و انتقال مواد فتوسنتزی، افزایش سنتز متابولیت‌ها و حفظ و نگهداری وضعیت آب در بافت گیاه، باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی گردند (شارما و همکاران ۲۰۱۹). هر چند در این مطالعه کلروفیل سطح برگ در تیمارهای آزمایشی غیر معنی دار بود ولی میزان وزن خشک برگ و سطح ویژه برگ در تمامی تیمارهای این مطالعه نسبت به شاهد افزایش داشت (جدول ۲) بنابر این به نظر می‌رسد افزایش سطح فتوسنتز کننده و دسترسی به منابع کربنه یک از دلایل احتمالی افزایش وزن خشک گیاه و ساقه و نهایتا افزایش عملکرد باشد. علاوه بر این افزایش ارتفاع و در نتیجه افزایش توان بهره‌وری از میزان نور خورشید نیز یکی از دلایل احتمالی افزایش فتوسنتز نیز می‌تواند مطرح باشد. هر چند تعداد برگ‌ها از روند مشخصی تبعیت ننمود و در برخی از تیمارها افزایشی و در برخی دیگر کاهشی بود (جدول ۲). همچنین کمبود آهن می‌تواند با کاهش تعداد گل یا نیام و یا میوه منجر به کاهش عملکرد در گیاهان گردد. گزارش ده که در حد متوسط، کمبود آهن می‌تواند باعث کاهش عملکرد تا ۵۰ درصد نیز گردد (شارما و همکاران ۲۰۱۹). در این مطالعه محلول‌پاشی

سولفات آهن به همراه بیوسورفکتانت در غلظت دو در هزار آهن تعداد گل در بوته لوبیا را افزایش داد و می تواند به عنوان یکی دیگر از عوامل افزایش میزان عملکرد مورد توجه باشد.

در تحقیقی لیو و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که بیوسورفکتانت رامنولیپید باعث افزایش نفوذ علفکش گلیفوزیت از لایه کوتیکولی سطح برگ گردد. علاوه بر این افزایش زمان ماندگاری و طول عمر سوسپانسیون علف کش در سطح برگ نسبت به تیمار شاهد افزایش چشمگیری داشته است یافت. بنابر این به نظر می‌رسد افزایش نفوذ آهن در این تیمارها یکی از دلایل احتمالی افزایش عملکرد بوده و تفاوتهای موجود در میان تیمارهای حاوی بیوسورفکتانت و نبود آن را توجیه نماید. علاوه بر این خود بیوسورفکتانت به عنوان یک عامل افزایش رشد لوبیا در این مطالعه عمل کرد. گزارشات مشابهی وجود دارند که افزایش عملکرد را در اثر کاربرد بیوسورفکتانت گزارش کرده اند. مارکوت و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که افزودن بیوسورفکتانت خالص‌سازی شده باکتری*Bacillus pumilus* 2A در غلظت ۰/۲ درصد به محیط رشد گیاهان لوبیا، تربچه و چغندر قند وزن نشای ۱۸ روزه آنها را به ترتیب چهار، چهار و دو برابر نسبت به شاهد بدون سورفکتانت افزایش دهد. استفاده از غلظت بالاتر ۴/. درصد نتوانست تاثیری بر رشد گیاهان مذکور داشته باشد. اکثر تحقیقات انجام یافته در خصوص تاثیر بیوسورفکتانتها بر رشد گیاه محدود به خاکهای آلوده به هیدروکربن-های نفتی بوده و لذا تحقیقات در مورد مکانیسم اثر این ترکیبات بر رشد گیاه در شرایط عادی بسیار کم است. ولی در خاک فرض بر این است که سورفکتانت‌های میکروبی ممکن است با افزایش قابلیت دسترسی زیستی ترکیبات آبگریز برای میکروارگانیسم‌های ساکن ریزوسفر، به طور غیر مستقیم رشد گیاه را تقویت کنند، البته بایستی توجه داشت که عدم تاثیر سورفکتانتها در غلظت های بالاتر بر رشد گیاه ممکن است ناشی از آسیب به بافت ریشه گیاه باشد (ساکردو و سورانجیت ۲۰۱۳). بنابر این با توجه به نبود اطلاعات، لازم است تحقیقاتی در خصوص فیزیولوژی تاثیر بیوسورفکتانت از طریق برگ گیاه گردد.

نتیجه‌گیری کلی

کاربرد بیوسورفکتانت به تنهایی می‌تواند موجب افزایش عملکرد اقتصادی گیاه لوبیا گردد. جهت برگ‌پاشی آهن برای گیاه لوبیا غلظت دو درصد آهن از منبع سولفات آهن به همراه ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بیوسورفکتانت توصیه می‌گردد.

منابع

دروگریان، م. (۱۳۹۹) . تاثیر بیوسورفکتانت بر کارآیی جذب آهن از طریق برگ‌پاشی در گیاه لوبیا. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه مراغه.

همتی، آ.، علی‌اصغرزاد، ن.، خاک‌ور، ر. (۱۳۹۶). سنجش فعالیت لیگنینازی در میکروارگانیسم های گرمادوست جداسازی شده از خاک و کمپوست. پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان، ۱۵۹-۱۵۴.

Abu- Ruwaida, A. S., Banat, I. M., Haditirto, S., Salem, A., Kadri, M. (1991). Isolation of biosurfactant- producing bacteria, product characterization, and evaluation. *Acta biotechnologica*, 11(4), 315-324.

Fernandez, V., Eichert, T. (2009). Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(1-2), 36-68.

Liu, H., Shao, B., Long, X., Yao, Y., Meng, Q. (2016). Foliar penetration enhanced by biosurfactant rhamnolipid. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 145: 548-554.

Marchut-Mikołajczyk, O., Drozdzynski, P., Polewczyk, A. (2021). Biosurfactant from endophytic *Bacillus pumilus* 2A: physicochemical characterization, production and optimization and potential for plant growth promotion. *Microbial Cell Facttories*, 20 (40): 1-11.

Sachdev, D.P., Swaranjit, S.C. (2013). Biosurfactants in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(3):1005–1016.

Sharma, S., Chandra, S., Kumar, A. (2019). Foliar application of iron fortified bacteriosiderophore improves growth and grain fe concentration in wheat and soybean. Indian Journal of Microbiology 59:344–350.

Singh, R., Glick, B.R., Rathore, D. (2018). Biosurfactants as a biological tool to increase micronutrient availability in soil: a review. Pedosphere 28(2): 170–189.

The effect of foliar application of bacterial biosorfactant and iron on bean growth

Esmaeil Karimi[1], Mahatab Derowgaryan[2], Ali Aasghr Alilo[3]

1. Department of Soil Science and Engineering, University of Maragheh. Email: sm_ka80@yahoo.com
2. Department of Soil Science and Engineering, University of Maragheh.
3. Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Maragheh.

Abstract

Surfactants are used to increase the absorption efficiency of foliar applied elements from the leaf surface cuticle layer. Surfactants are able to reduce water surface tension and increased leaf surface wetting. Most surfactants are chemical synthetic structure so, todays due to environmental hazards, biosurfactants are used as an alternative, especially of microbial origin. this study was conducted to evalution the effects ferrous 3 levels of iron sulfate foliar application and 2 levels of biosurfactant originated from *Bacillus nealsonii* 104C with glycolipid structure. A factorial experiment was desighned based on randomized complete blocks as hydroponic culture with bean. The results showed that foliar application of iron without biosurfactant at concentrations of one and two percent, respectively, increased plant yield 2.08 and 2.8 times per square meter. Using surfactant in foliar application at concentrations of zero, one and two percent iron, respectively, increased this trait 4, 3.3 and 4.2 times vs. control treatment. Based on our findings, biosurfactants co-application with foliar application of iron can increase the economic yield of beans. The highest bean height, total dry weight, leaf and stem dry weight and number of pods were observed in biosurfactant treatment plus 2% iron. So, the use of biosurfactants alone or in combination with a 2% concentration of iron is recommended for bean leaf spraying.

Keywords: Bean plant height, Glycolipid biosurfactant, Bean dry weight, Single plant yield

مروری بر مطالعات متاژنوم و شاخص‌های زیستی خاک‌های آلوده به نفت

شکوفه مرادی [۱]، محمد رضا ساریخانی [۲]، بهمن خوشرو [۱]

۱- دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز-moradishokufeh@gmail.com

۲- دانشیار گروه بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

آلودگی نفتی خاک یکی از بحرانی‌ترین آلودگی‌های زیست‌محیطی به شمار می‌رود. این آلودگی بر ویژگی‌های زیستی و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر می‌گذارد. پیامد آلودگی نفتی بر تنوع و کارکرد جوامع میکروبی در کانون توجه تحقیقات می‌باشد. روش‌های جدیدی مانند متاژنومیکس، ابزار قدرتمندی برای بررسی تنوع زیستی جوامع میکروبی خاک است و کمک شایانی به این موضوع نموده است. متاژنومیکس ازجمله روش‌های مولکولی قوی است که اخیراً برای جستجوی هم‌زمان تاکسونومی باکتری و عملکرد میکروارگانیسم‌های محیط مورد توجه قرارگرفته‌است. از طرفی شاخص‌های زیستی در خاک می‌توانند برای بررسی اثرات یک آلاینده در خاک مورد استفاده قرار بگیرند زیرا میکروارگانیسم‌های خاک به تنش‌های اکوسیستم بسیار حساس هستند و از طریق تنظیم فعالیت، بیومس و تنوع ساختار جامعه خود به‌سرعت به عوامل استرس‌زا پاسخ می‌دهند. روش‌های زیستی مرسوم برای تعیین کمیت فعالیت میکروارگانیسم‌ها در حضور آلودگی هیدروکربنی شامل اندازه‌گیری کربن بیومس میکروبی، تنفس میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی می‌باشد. هدف این نوشتار توجهی به مطالعات متاژنوم و شاخص‌های زیستی خاک در شرایط آلودگی‌های نفتی است.

کلمات کلیدی: هیدروکربن‌های نفتی، متاژنومیکس، آلودگی زیست‌محیطی، بیوانفورماتیک، فعالیت آنزیمی

مقدمه

آلاینده‌های آلی ازجمله ترکیبات نفتی، یک مشکل جهانی برای سلامت محیط زیست و موجودات زنده محسوب می‌شود. اغلب، آلودگی‌های نفتی، درنتیجه اکتشاف نفت، حمل و نقل، ذخیره‌سازی یا کاربرد آن و در پاره‌ای موارد به خاطر حوادث رخ می‌دهد. این آلودگی، پیامدهای گوناگونی بر ویژگی‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی خاک خواهد داشت و درنهایت با به مخاطره انداختن سلامت خاک، بر تولید محصول نیز اثر منفی می‌گذارد (بایست و همکاران، ۲۰۱۰). خاک زیستگاه جوامع میکروبی مختلف است که آلاینده‌های نفتی می‌توانند تنوع و فراوانی جمعیت آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. برخی از میکروارگانیسم‌ها که با چنین شرایطی سازگارند قادر به استفاده و تجزیه ترکیبات نفتی می‌باشند. میکروارگانیسم‌ها می‌توانند نقش‌های مهمی در زیست‌پالایی اکوسیستم‌های آسیب‌دیده از ترکیبات نفتی ایفا کنند. تعیین ساختار جوامع میکروبی در خاک‌های آلوده به نفت، برای ترمیم اکوسیستم و مدیریت محیط زیست، سرنخ‌های ارزشمندی را ارائه می‌دهد (فاست و رائز، ۲۰۱۲)؛ اما بخش قابل‌ملاحظه‌ای از آن‌ها (حدود ۹۹-۹۰ درصد) قابل‌کشت نیستند و تاکنون کمتر از ۱٪ آن‌ها شناسایی شده‌اند. روش‌های مبتنی بر متاژنومیکس، تکنیک‌های مستقل از کشت هستند و برای شناسایی و برآورد فعالیت، عملکرد، تنوع و تکامل میکروارگانیسم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. متاژنومیکس شامل آنالیز ژنوم‌های میکروبی در مقیاس بزرگ می‌باشد (تایس، ۲۰۱۵). علاوه بر آن روش‌های دیگری برای پایش اثرات آلودگی بر خواص و رفتار زیستی خاک وجود دارد. روش‌های بیولوژیکی مرسوم برای تعیین کمیت فعالیت میکروارگانیسم‌ها در حضور آلودگی هیدروکربنی شامل اندازه‌گیری کربن بیومس میکروبی، تنفس میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی می‌باشد (ایبس و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین ارزیابی سمیت آلاینده‌های نفتی در خاک نیاز به انتخاب شناساگرهای مناسب و مجموعه‌ای از آزمون‌های حساس، سریع، تکرارپذیر و مقرون‌به‌صرفه دارد. این خصوصیات زیستی خاک می‌تواند تحت تأثیر گروه وسیعی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی و محیطی باشد (لابود و همکاران، ۲۰۰۷).

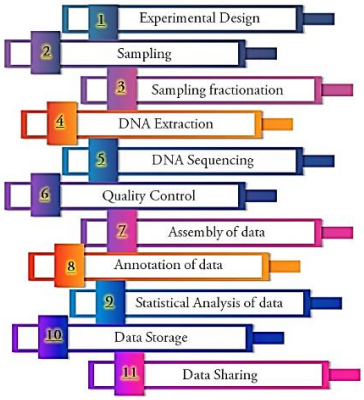
آلاینده‌های نفتی و پیامدهای آن در خاک

کشور ایران حدود ۹ درصد از ذخایر نفتی جهان را دارا می‌باشد و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین تولیدکنندگان نفت دنیا به شمار می‌آید، لذا با توجه به پیشرفت روزافزون صنعت نفت و احداث پالایشگاه‌ها و صنایع پتروشیمی که به تولید، انتقال و ذخیره-سازی بیشتر این مواد منجر می‌شود، هیدروکربن‌های نفتی جز اولین آلاینده‌های زیست‌محیطی در ایران محسوب می‌شود (رجایی و همکاران، ۱۳۹۱). نفت خام شامل هیدروکربن‌های آلیفاتیک و آروماتیک می‌باشد. گرچه هیدروکربن‌های آروماتیک کمتر از ۱۵ درصد وزنی نفت را تشکیل می‌دهند اما ازجمله ترکیبات شیمیایی خطرناک و از آلاینده‌های آلی عمده خاک به شمار می‌آیند. این هیدروکربن‌ها دارای وزن مولکولی بالا بوده و بسیار سمی هستند و توانایی تجمع زیستی در زنجیره‌های غذایی را دارند (لورس و همکاران، ۲۰۱۲). هیدروکربن‌های چندحلقه‌ای (PAH[1]ها) می‌توانند کیفیت خاک به‌ویژه ساختار و ترکیب مواد آلی و همچنین فرآیندهای شیمیایی در اکوسیستم خاک را تحت تأثیر قرار دهند (کوکارتا، ۲۰۱۷). گزارش شده است که PAHها که توسط مواد آلی موجود در خاک جذب می‌شوند، بسیار مقاوم هستند و طی مدت‌زمان طولانی، خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک همچون تخلخل خاک، بیومس میکروبی و دسترسی به عناصر غذایی را تغییر داده و همچنین پوششی غیرقابل نفوذ را در سطح خاک تشکیل می‌دهند که موجب ممانعت از جریان آب و تبادل هوا در خاک می-شوند و علاوه بر این می‌توانند تغییراتی را در وضعیت رشد گیاه ایجاد کنند (استرچ و همکاران، ۲۰۱۸).

متاژنومیکس

درسال‌های اخیر روش‌های مختلف مولکولی و مستقل از کشت برای مطالعه انواع میکروب‌های قابل‌کشت و غیر قابل‌کشت در اکوسیستم‌های طبیعی مورد توجه قرارگرفته‌است که اغلب آن‌ها بر پایه PCR[2] و آنالیزهای ژن‌های rRNA به کمک توالی‌یابی و روش‌های انگشت‌نگاری هستند. در این میان با استفاده از روش‌های مولکولی مستقل از کشت، هزاران گونه باکتریایی و بیش از یک میلیون ژن رمزکننده جدید شناخته شده‌اند (کاکایرد و همکاران، ۲۰۱۰). تاکنون در سیستم‌های پیچیده‌ای همچون خاک که تنوع میکروبی بسیار بالایی دارد، به‌رغم پیشرفت‌های جدید در علم طراحی محیط‌کشت‌های مختلف، تاکنون کمتر از ۱٪ میکروارگانیسم‌های آن شناسایی شده‌اند و حدود ۹۹-۹۰ درصد میکروارگانیسم‌های زنده به دلیل عدم توان جداسازی در محیط کشت‌های آزمایشگاهی و نیز شناخت ناکافی ما از شرایط مناسب برای رشد آن‌ها، ناشناخته باقی‌مانده‌اند. حتی در مورد باکتری‌های قابل‌کشت در محیط‌کشت‌های اختصاصی نیز اطمینانی بر اینکه بین فعالیت آن‌ها در آزمایشگاه و شرایط طبیعی رابطه مستقیمی وجود داشته‌باشد نیست. در طول دو دهه گذشته سنجش‌های مبتنی بر متاژنومیکس برای شناخت و تشریح جوامع میکروبی، تعیین ساختار، کارکرد و پتانسیل متابولیکی جوامع میکروبی (به‌غیراز شمارش میکروبی) در انواع محیط زیست‌ها استفاده شده و می‌شود. بزرگ‌ترین کاربرد توالی‌یابی ژن کدکننده 16S rRNA، تعیین گوناگونی میکروبی و ترکیب جامعه میکروبی خاک است، هرچند ژن‌های نشانگر مختلفی استفاده می‌شوند و پژوهش‌های توالی‌یابی DNA محیطی در حال افزایش می‌باشند. توانایی روش‌های متاژنومیکس برای مشخص کردن میکروارگانیسم‌های محیط زیست بدون اینکه لازم باشد آن‌ها را جداسازی کرده و کشت داد، موجب شناسایی بسیاری از میکروارگانیسم‌های ناشناخته و روشن کردن کارکرد زیست‌محیطی آن‌ها شده است، همانند مشارکت بالای آرکئی‌ها در اکسیداسیون آمونیاک در بسیاری از اکوسیستم‌ها (همت‌جو، ۱۳۹۶). روش‌های آزمایشی و محاسباتی که برای به‌دست آوردن اطلاعات ژنومیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، معمولاً توسط ابزارهای مختلف بیوانفورماتیک تجزیه و تحلیل می‌شود. این تجزیه و تحلیل به غربال‌گری و شناسایی میکروارگانیسم‌های غیر قابل‌کشت که مستقیماً از نمونه‌های محیطی به‌دست می‌آید، کمک می‌کند (شکل ۱) (یاداو همکاران، ۲۰۱۹).

[1] Polycyclic Aromatic Hydrocarbon
[2] Polymerase Chain Reaction



شکل ۱- مراحل مختلف مطالعات متاژنوم.

مطالعه متاژنوم خاک‌های آلوده به نفت

رابطه بین تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم مدت‌هاست که در اکولوژی مورد توجه قرارگرفته‌است، به‌طورکلی می‌توان گفت که آلودگی هیدروکربنی، تنوع زیستی میکروبی را کاهش می‌دهد، به این دلیل که هیدروکربن‌ها برای سلول‌های میکروبی سمی هستند و اثرات منفی روی غشاهای سلولی دارند. بااین‌حال هیدروکربن‌ها می‌توانند توسط بسیاری از گونه‌های میکروبی به‌عنوان منبع کربن مورد استفاده قرار گیرند و حضور آن‌ها می‌تواند جوامع میکروبی خاص را غنی سازد. اغلب مطالعات انجام شده در مناطق آلوده به هیدروکربن‌ها، روی راندمان زیست‌پالایی و تغییرات در ساختار جامعه میکروبی متمرکز شده و توجه کمتری به تغییرات ایجادشده در سایر عملکردهای اکوسیستم شده است. براساس نظریه‌های مطرح‌شده، در یک جمعیت با تنوع بالا احتمال حضور گونه‌هایی که توانایی تحمل یا تجزیه آلاینده‌ها را دارند بیشتر است (جانگ و همکاران، ۲۰۱۶). گریوان و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که جوامع میکروبی خاک با تنوع بالا در مقایسه با تنوع پایین، به اختلالات ناشی از بنزن مقاوم‌تر هستند (جانگ و همکاران، ۲۰۱۶). در جدول ۱ به برخی از مطالعات متاژنومیکس در حضور آلاینده‌های آلی و معدنی مختلف به‌طور خلاصه اشاره شده است. در این جدول تنوع جوامع میکروبی در حضور آلاینده‌های مختلف نشان داده شده است.

جدول ۱: مطالعه متاژنوم در حضور آلاینده‌های آلی و معدنی

آلاینده	جوامع میکروبی شناسایی شده	مراحل انجام متاژنومیکس	منبع
هیدروکربن‌های نفتی	Protozoa, Fungi, Naegleria, Vorticella	DNA extraction, PCR amplification, Sequencing of genomic DNA	کاچینگا و همکاران، ۲۰۱۸
هیدروکربن‌های نفتی	Firmicutes and Proteobacteria	DNA extraction and sequencing, Bioinformatics analysis	زافرا و همکاران، ۲۰۱۶
روغن موتور*[3]	Actinobacteria, Proteobacteria, Streptomyces, Gemmatimonas, Geodermatophilus, Burkholderia, and Pseudomonas	DNA extraction, PCR amplification, library construction, and sequencing, Taxonomic affiliations of metagenomic reads and statistical analyses, Functional analyses of metagenomic reads	سالام و همکاران، ۲۰۱۷
کادمیوم	Proteobacteria, Gemmatimonadetes, Thaumarchaeota and Acidobacteria	DNA extraction, library construction, and metagenomic sequencing, Selection and assembly of sequencing reads, Gene prediction, taxonomy and functional assignment	فنگ و همکاران، ۲۰۱۸
آرسنیک	Firmicutes, Chlamydiae, Proteobacteria, Deferribacteres and Chrysiogenetes	DNA extraction and sequencing, Bioinformatics analysis	ضیائو و همکاران ۲۰۱۶

همت‌جو و همکاران (۲۰۱۸) از متاژنومیکس برای بررسی تأثیرات فلزات سنگین بر تنوع جوامع میکروبی استفاده نمودند. در این مطالعه ترکیب، ساختار و تنوع پروکاریوت‌ها در خاک‌های آلوده به سطوح مختلف سرب و روی مورد ارزیابی قرارگرفت. پس از استخراج کل DNA از خاک‌های آلوده، ژن‌های 16S rDNA با استفاده از آغازگرهای عمومی تکثیر شد، قطعات تکثیری حاصل از PCR مورد توالی‌یابی قرار گرفت و برای شناسایی تنوع پروکاریوتی، آنالیزهای بیوانفورماتیک مورد استفاده قرارگرفت.

[3] Spent engine oil

آن‌ها نشان دادند که اگرچه تنوع باکتری‌های آلفا و بتا، اثرات منفی آلودگی روی و سرب را در جوامع میکروبی خاک‌های آلوده نشان داد، اما تنوع میکروبی خاک‌های آلوده‌شده در معرض تغییرات معنی‌دار قرار نگرفت.

شاخص‌های زیستی منتخب در خاک‌های آلوده به نفت

شاخص‌های زیستی در خاک می‌توانند برای بررسی اثرات یک آلاینده در خاک مورد استفاده قرار بگیرند (جدول ۲) زیرا میکروارگانیسم‌های خاک به تنش‌های اکوسیستم بسیار حساس هستند و از طریق تنظیم فعالیت، بیومس و تنوع ساختار جامعه خود به‌سرعت به عوامل استرس‌زا پاسخ می‌دهند (مورنو و همکاران، ۲۰۱۱). تنفس میکروبی یکی از متداول‌ترین شاخص‌های زیستی است که برای بررسی کیفیت و سلامت خاک مورداستفاده قرار می‌گیرد و می‌تواند وضعیت و فعالیت میکروب‌های خاک و همچنین روند، تعادل و چگونگی تجزیه مواد آلی، فعالیت آنزیمی و چرخه‌های عناصر غذایی را نشان دهد (لیو و همکاران، ۲۰۰۶). یکی از ساده‌ترین روش‌های تخمین مقدار بیومس میکروبی در خاک تنفس برانگیخته (SIR)[4] می‌باشد که با افزودن سوبسترا، تنفس میکروارگانیسم‌ها تحریک می‌شود. معمولاً از گلوکز به‌عنوان سوبسترا استفاده می‌شود زیرا اغلب میکروارگانیسم‌ها می‌توانند آن را به‌عنوان منبع کربن مورد استفاده قرار دهند (استوتزوکی و نرمن، ۱۹۷۸). از سایر شاخص‌های زیستی که نشان‌دهنده سلامت خاک هستند می‌توان بیومس میکروبی را نام برد که نسبت به غلظت زیاد آلاینده‌ها بسیار حساس است. سهم متابولیک و سهم میکروبی، شاخص‌های اکو فیزیولوژیک هستند که برای ارزیابی وضعیت میکروبی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند. سهم متابولیک[5] یا qCO_2 یک پارامتر فیزیولوژیک بوده که از تقسیم میلی‌گرم کربن موجود در دی‌اکسید کربن آزادشده از تنفس پایه در هر ساعت از هر گرم خاک بر گرم کربن بیوماس میکروبی در هر گرم خاک به دست می‌آید. هرچه مقادیر qCO_2 کمتر باشد، بدین معنی است که چرخه‌های میکروبی کارآمدتر هستند. شرایط تنش و کمبود عناصر غذایی موجب کاهش بیومس شده و آزاد شدن CO_2 افزایش می‌یابد. وقتی میزان تنش اکوسیستم زیاد است، مقادیر سهم متابولیک بالا خواهد بود (علی‌اصغرزاد، ۱۳۹۰).

جدول ۲: برخی آنزیم‌های منتخب و سایر شاخص‌های زیستی مورد بررسی در خاک‌های آلوده به نفت

سایر شاخص‌های زیستی	فعالیت آنزیمی	منبع
Microbial biomass C (Cmic)	Dehydrogenase, Phosphatase	آلرومان و همکاران، ۲۰۱۵
Soil microbial activity	Dehydrogenase	سولسکی و همکاران، ۲۰۱۴
Cmic, SIR, Potential nitrification rate (PNR), Earthworm assays, Seed germination assays	Dehydrogenase, Arylphosphatase	داوسان و همکاران، ۲۰۰۷
SIR	Dehydrogenase, Phosphomonoesterase Urease, fluorescein diacetate (FDA)	براون و همکاران، ۲۰۰۱
Microbial properties, Microbial biomass carbon (MBC), Phytotoxicity test (Germination experiments)	Urease, Protease, Phosphatase, b-glucosidase	لابود و همکاران، ۲۰۰۷

فعالیت‌های آنزیمی در خاک

آنزیم‌های موجود در خاک ازنظر منشأ می‌توانند به جامعه میکروبی زنده یا مرده خاک (از قبیل باکتری‌ها، قارچ‌ها) ریشه گیاهان یا جانوران خاک مربوط باشند. آنزیم‌ها، کاتالیزورهایی هستند که بدون اینکه دچار تغییر شوند، سرعت واکنش‌های بیوشیمیایی را افزایش می‌دهند و جزء لازم چرخه عناصر غذایی در خاک می‌باشند. فعالیت آنزیمی خاک متأثر از شرایط خاک و مدیریت‌های اعمال‌شده بر آن می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان معیاری برای ارزیابی فعالیت میکروبی خاک، باروری خاک و اثرات بازدارنده آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گیرد (ساریخانی، ۱۳۹۲). آنزیم‌ها به‌عنوان حسگرهای زیستی، بسیار حساس هستند که برای تشخیص و اندازه‌گیری مقدار و غلظت آلاینده‌ها مورد استفاده هستند به‌گونه‌ای که هم برای تشخیص نشانه‌های اولیه آلودگی مورداستفاده قرار می‌گیرند و هم میزان حذف مؤثر آلاینده و به دست آوردن سلامت و کیفیت مجدد خاک را ارزیابی می‌کنند (رائو و همکاران، ۲۰۱۴). برخی از آنزیم‌هایی که به‌منظور پایش فرآیند زیست‌پالایی موردتوجه قرار می‌گیرند

[4] Substrate-Induced Respiration
[5] Metabolic Quotient

عبارت‌اند از دهیدروژناز، کاتالاز و اوره‌آز و آنزیم‌هایی که در تجزیه هیدروکربن‌های نفتی در خاک فعال هستند شامل لیپاز، لاکاز و فنل‌اکسیداز می‌باشند (دونی و همکاران، ۲۰۱۲) (جدول ۲).

دهیدروژنازها محدوده وسیعی از واکنش‌های اکسایشی را شامل می‌شوند که مسئول تجزیه مواد آلی خاک و انتقال هیدروژن و الکترون از سوبستراها به پذیرندگان آن می‌باشند. این فرایندها بخشی از مسیرهای تنفسی میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشند و همبستگی نزدیکی با نوع خاک و شرایط رطوبتی و تهویه خاک دارد. آنزیم دهیدروژناز فعال، فقط در سلول‌های زنده و سالمی که در خاک حضور دارند وجود دارد و به عبارتی به‌صورت درون‌سلولی عمل می‌کند بنابراین اندازه‌گیری فعالیت این آنزیم در خاک‌ها همبستگی خوبی بین فعالیت زیستی خاک و جمعیت میکروبی خاک (بیوماس میکروبی) برقرار می‌کند (ساریخانی، ۱۳۹۲). فعالیت‌های آنزیمی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر آلاینده‌های نفتی قرار می‌گیرند. نتایج مطالعه لابود و همکاران (۲۰۰۷) حاکی از اثر بازدارندگی هیدروکربن‌های نفتی به‌ویژه بنزین، بر بیومس میکروبی و فعالیت‌های آنزیمی است. آن‌ها بیشترین اثر مهارکنندگی را در فعالیت‌های هیدرولازی درگیر در چرخه‌های نیتروژن، فسفر و کربن مشاهده کردند. همچنین نشان دادند که این آلاینده‌ها اثرات فیتوتوکسیکی بر جوانه‌زنی جو و چاودار دارند. از طرفی افزایش فعالیت متابولیکی برخی میکروارگانیسم‌های زنده که از هیدروکربن‌ها به‌عنوان منبع کربن استفاده کرده بودند، قابل‌توجه بود (لابود و همکاران، ۲۰۰۶). آلرومان و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که آلودگی هیدروکربن‌ها موجب مهار فعالیت آنزیمی ازجمله آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز و همچنین کاهش C_{mic} شده است. خصوصیات خاک نقش مهمی در کنترل اثرات آلاینده‌های هیدروکربنی روی تنوع و عملکرد جوامع میکروبی دارند. به‌عنوان‌مثال مقادیر بالای مواد آلی و رس، اغلب از کاهش بیشتر C_{mic} جلوگیری می‌کنند. گزارش شده است که مواد آلی از میکروارگانیسم‌های خاک در برابر اثرات منفی هیدروکربن‌ها محافظت می‌کنند و منجر به کاهش افت C_{mic} می‌شوند. مواد آلی و رس‌ها می‌توانند هیدروکربن‌ها را جذب کرده و زیست‌فراهمی آن‌ها را کاهش دهند (آلرومان و همکاران، ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری

یکی از عمده‌ترین آلاینده‌های آلی در اکوسیستم‌های آبی و خاکی در سراسر دنیا، هیدروکربن‌های نفتی می‌باشد. می‌توان گفت که آلودگی‌های نفتی یکی از پیامدهای سریع افزایش جمعیت و توسعه صنعتی است. انتشار این آلاینده‌ها و غبارات حاصل از سوخت گازهای همراه نفت به‌مرور زمان اثرات منفی را به خاک وارد می‌کند. از طرفی هرچه عمق نفوذ مشتقات نفتی در خاک افزایش یابد رفع آلودگی دشوارتر و هزینه آن چندین برابر می‌گردد لذا می‌بایست اتخاذ راهکارهای مناسب جهت حذف یا کنترل آن‌ها مورد توجه قرار گیرد. حفظ و نگهداری جامعه میکروبی و تنوع ساختاری و عملکردی آن‌ها در خاک‌هایی که مدت زیادی تحت تأثیر آلاینده‌های نفتی هستند بایستی به‌عنوان یک چالش مهم در نظر گرفته شود که در این راستا بهره‌گیری از تکنیک‌های متاژنومیکس در بررسی اثرات آلودگی نفتی بر متاژنوم و ساختار جمعیت میکروبی در تحقیقات اخیر مورد مطالعه قرارگرفته است. این تکنیک به‌عنوان راهکاری مناسب برای دستیابی به میکروارگانیسم‌های ناشناخته و غیر قابل‌کشت در محیط کشت‌های آزمایشگاهی می‌باشد. از طرفی نیز باتوجه به اینکه جوامع میکروبی خاک، به کوچک‌ترین اختلالات اکوسیستمی و عوامل استرس‌زا حساس هستند می‌توان از شاخص‌های بیولوژیکی به‌عنوان یک شاخص مناسب برای بررسی اثر آلاینده در خاک استفاده کرد. در این میان به دلیل حساسیت فعالیت آنزیمی به اختلالات محیطی، این دسته از فعالیت‌های زیستی می‌تواند انتخاب مناسبی به‌عنوان شاخص کیفیت خاک باشد.

منابع

رجایی س.، رئیسی ف. و سیدی س م. (۱۳۹۱). زیست‌پالایی خاک آلوده به نفت خام مسن به روش‌های افزایش بیولوژیک و گیاه‌پالایی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۰، ۹۰۸ - ۹۲۱.

ساریخانی م ر. (۱۳۹۲). نقش آنزیم‌های میکروبی خاک در فرایندهای بیوشیمی و اندازه‌گیری فعالیت آن‌ها. همایش ملی علوم و فنون کشاورزی، اسفند ماه، دانشگاه ملایر. ملایر.

علی اصغرزاد ن. (۱۳۹۰). روش‌های آزمایشگاهی در بیولوژی خاک .ترجمه، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تبریز.

همت‌جو م ح. (۱۳۹۶). متاژنومیکس: پرده برداری از رازهای سیاره میکروبی ما. ترجمه، چاپ اول، انتشارات اساطیر پارسی، چاپار.

رجایی س.، رئیسی ف. و سیدی س م. (۱۳۹۱). زیست‌پالایی خاک آلوده به نفت خام مسن به روش‌های افزایش بیولوژیک و گیاه‌پالایی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۰ ۹۰۸ - ۹۲۱.

همت‌جو م ح. (۱۳۹۶). متاژنومیکس: پرده برداری از رازهای سیاره میکروبی ما. ترجمه، چاپ اول، انتشارات اساطیر پارسی، چاپار.

ساریخانی م ر. (۱۳۹۲). نقش آنزیم‌های میکروبی خاک در فرایندهای بیوشیمی و اندازه‌گیری فعالیت آن‌ها. همایش ملی علوم و فنون کشاورزی، اسفند ماه، دانشگاه ملایر. ملایر.

علی اصغرزاد ن. (۱۳۹۰). روش‌های آزمایشگاهی در بیولوژی خاک .ترجمه، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تبریز.

Alrumman, S. A., Standing, D. B., & Paton, G. I. (2015). Effects of hydrocarbon contamination on soil microbial community and enzyme activity. Journal of King Saud University-Science, 27(1), 31-41.

Bissett, A., Richardson, A. E., Baker, G., Wakelin, S., & Thrall, P. H. (2010). Life history determines biogeographical patterns of soil bacterial communities over multiple spatial scales. Molecular Ecology, 19(19), 4315-4327.

Brohon, B., Delolme, C., & Gourdon, R. (2001). Complementarity of bioassays and microbial activity measurements for the evaluation of hydrocarbon-contaminated soils quality. Soil Biology and Biochemistry, 33(7-8), 883-891.

Cocârță, D. M., Stoian, M. A., & Karademir, A. (2017). Crude oil contaminated sites: evaluation by using risk assessment approach. Sustainability, 9(8), 1365.

Dawson, J. J. C., Godsiffe, E. J., Thompson, I. P., Ralebitso-Senior, T. K., Killham, K. S., & Paton, G. I. (2007). Application of biological indicators to assess recovery of hydrocarbon impacted soils. Soil Biology and Biochemistry, 39(1), 164-177.

Doni, S., Macci, C., Peruzzi, E., Arenella, M., Ceccanti, B., & Masciandaro, G. (2012). In situ phytoremediation of a soil historically contaminated by metals, hydrocarbons and polychlorobiphenyls. Journal of Environmental Monitoring, 14(5), 1383-1390.

Eibes, G., Cajthaml, T., Moreira, M. T., Feijoo, G., & Lema, J. M. (2006). Enzymatic degradation of anthracene, dibenzothiophene and pyrene by manganese peroxidase in media containing acetone. Chemosphere, 64(3), 408-414.

Faust, K., & Raes, J. (2012). Microbial interactions: from networks to models. Nature Reviews Microbiology, 10(8), 538-550.

Feng, G., Xie, T., Wang, X., Bai, J., Tang, L., Zhao, H., ... & Zhao, Y. (2018). Metagenomic analysis of microbial community and function involved in cd-contaminated soil. BMC Microbiology, 18(1), 11.

Girvan, M. S., Campbell, C. D., Killham, K., Prosser, J. I., & Glover, L. A. (2005). Bacterial diversity promotes community stability and functional resilience after perturbation. Environmental Microbiology, 7(3), 301-313.

Hemmat-Jou, M. H., Safari-Sinegani, A. A., Mirzaie-Asl, A., & Tahmourespour, A. (2018). Analysis of microbial communities in heavy metals-contaminated soils using the metagenomic approach. Ecotoxicology, 27(9), 1281-1291.

Jung, J., Philippot, L., & Park, W. (2016). Metagenomic and functional analyses of the consequences of reduction of bacterial diversity on soil functions and bioremediation in diesel-contaminated microcosms. Scientific Reports, 6(1), 1-10.

Kachienga, L., Jitendra, K., & Momba, M. (2018). Metagenomic profiling for assessing microbial diversity and microbial adaptation to degradation of hydrocarbons in two South African petroleum-contaminated water aquifers. Scientific Reports, 8(1), 1-6.

Kakirde, K. S., Parsley, L. C., & Liles, M. R. (2010). Size does matter: application-driven approaches for soil metagenomics. Soil Biology and Biochemistry, 42(11), 1911-1923.

Labud, V., Garcia, C., & Hernandez, T. (2007). Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. Chemosphere, 66(10), 1863-1871.

Labud, V., Garcia, C., & Hernandez, T. (2007). Effect of hydrocarbon pollution on the microbial properties of a sandy and a clay soil. Chemosphere, 66(10), 1863-1871.

Lors, C., Damidot, D., Ponge, J. F., & Périé, F. (2012). Comparison of a bioremediation process of PAHs in a PAH-contaminated soil at field and laboratory scales. Environmental Pollution, 165, 11-17.

Luo, Y.Q., & Zhou, X. (2006). Soil Respiration and the Environment. Academic Press, Elsevier, 334 p.

Moreno, B., Nogales, R., Macci, C., Masciandaro, G., & Benitez, E. (2011). Microbial eco-physiological profiles to estimate the biological restoration of a trichloroethylene-contaminated soil. Ecological Indicators, 11(6), 1563-1571.

Rao, M. A., Scelza, R., Acevedo, F., Diez, M. C., & Gianfreda, L. (2014). Enzymes as useful tools for environmental purposes. Chemosphere, 107, 145-162.

Salam, L. B., Obayori, S. O., Nwaokorie, F. O., Suleiman, A., & Mustapha, R. (2017). Metagenomic insights into effects of spent engine oil perturbation on the microbial community composition and function in a tropical agricultural soil. Environmental Science and Pollution Research, 24(8), 7139-7159.

Sawulski, P., Clipson, N., & Doyle, E. (2014). Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on microbial community structure and PAH ring hydroxylating dioxygenase gene abundance in soil. Biodegradation, 25(6), 835-847.

Stotzky, G., & Norman, A. G. (1961). Factors limiting microbial activities in soil. Archiv für Mikrobiologie, 40(4), 341-369.

Streche, C., Cocârță, D. M., Istrate, I. A., & Badea, A. A. (2018). Decontamination of petroleum-contaminated soils using the electrochemical technique: Remediation degree and energy consumption. Scientific Reports, 8(1), 3272.

Thies, J. E. (2015). Molecular approaches to studying the soil biota. In Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry (pp. 151-186). Elsevier.

Xiao, K. Q., Li, L. G., Ma, L. P., Zhang, S. Y., Bao, P., Zhang, T., & Zhu, Y. G. (2016). Metagenomic analysis revealed highly diverse microbial arsenic metabolism genes in paddy soils with low-arsenic contents. Environmental Pollution, 211, 1-8.

Yadav, B. S., Yadav, A. K., Singh, S., Singh, N. K., & Mani, A. (2019). Methods in Metagenomics and Environmental Biotechnology. In Nanoscience and Biotechnology for Environmental Applications (pp. 85-113). Springer, Cham.

Zafra, G., Taylor, T. D., Absalón, A. E., & Cortés-Espinosa, D. V. (2016). Comparative metagenomic analysis of PAH degradation in soil by a mixed microbial consortium. Journal of Hazardous Materials, 318, 702-710.

A review of metagenome studies and bio-indicators of oil-contaminated soils

Sh. Moradi [1], M R Sarikhani [2], B. Khoshru [1]

1- Ph.D. Student of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Univ. of Tabriz, Iran.
moradishokufeh@gmail.com

2- Associate Prof. of Soil Biology and Biotechnology, Dept. of Soil Science, Univ. of Tabriz, Iran.

Abstract

Soil oil pollution is one of the most critical environmental pollutions. This pollution affects the biological properties as well as the physical and chemical properties of the soil. The consequences of oil pollution on the diversity and functioning of microbial communities are the focus of research. New methods such as metagenomics are a powerful tool for studying the biodiversity of soil microbial communities and have greatly contributed to this. Metagenomics is one of the strongest molecular methods that has recently been considered for the simultaneous search of bacterial taxonomy and the function of environmental microorganisms. On the other hand, soil bio-indicators can be used to study the effects of a contaminant in the soil because soil microorganisms are very sensitive to ecosystem stresses and respond quickly to stressors by regulating their activity, biomass, and community structure diversity. Conventional biological methods for quantifying the activity of microorganisms in the presence of hydrocarbon contamination include the measurement of microbial carbon biomass, microbial respiration, and enzymatic activity. Some of the enzymes that are considered to monitor the bioremediation process are dehydrogenase, catalase, and urease, and enzymes that are active in the breakdown of petroleum hydrocarbons in the soil include lipase, laccases, and phenol oxidase.

Keywords: Petroleum hydrocarbons, Metagenomics, Environmental pollution, Bioinformatics, Enzymatic activity

تاثیر فعالیت‌های کشاورزی بر پروتوزوآهای خاک‌زی

علیرضا خداشناس[۱]، پرویز رضوانی مقدم[۲]، امیر لکزیان[۳]

۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بجنورد، ایران. E-mail: khodashenas48@yahoo.com

۲و ۳- استاد، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد.

چکیده

در زمره گروه‌های میکروبی، پروتوزوآهای خاک‌زی نقش ویژه‌ای در واکنش‌های حیاتی بوم سازگان‌ها از جمله چرخه عناصر غذایی و معدنی سازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه دارند. برای تعیین تنوع، فراوانی و شناسایی انواع پروتوزوآها در خاک بوم نظام‌های مناطق خشک و نیز تاثیر فعالیت‌های کشاورزی بر این موجودات خاک‌زی، مطالعه‌ای در سه شهرستان شیروان، مشهد و گناباد انجام شد. دو نظام کشاورزی کم‌نهاده و پرنهاده گندم و بوم نظام طبیعی مناطق برای مطالعه انتخاب شدند. در هر منطقه مورد مطالعه از خاک مزارع گندم کم‌نهاده و پرنهاده و واحدهای انتخابی از بوم نظام طبیعی نمونه‌گیری انجام شده و درصد مواد آلی خاک و فراوانی پروتوزوآها تعیین گردید. در این بررسی یک نوع از پروتوزوآها و از گروه مژکداران در خاک بوم نظام‌های مورد مطالعه شناسایی و شمارش گردید. حداکثر فراوانی پروتوزوآها در یک گرم خاک خشک، در نظام پرنهاده مشهد ثبت شد و سایر نظام‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد پروتوزوا نشان ندادند. ظاهرا فراوانی پروتوزوآها در نظام‌های مورد مطالعه تحت تاثیر مواد آلی خاک بوده و با افزایش درصد مواد آلی در خاک افزایش نشان داد.

واژگان کلیدی: پروتوزوآهای خاک‌زی، نظام های زراعی، مژکداران، خدمات بوم سازگانی، زنجیره غذایی خاک

مقدمه

خاک ها منابع اصلی گستره ای از خدمات بوم سازگانی[1] هستند که برای جوامع بشری سودمند است، این خدمات به وسیله تعداد زیادی از موجودات از جمله بی مهرگان خاک زی فراهم می شود که اثرات آنها، به ویژه برای گروه هایی با اندازه جثه کوچکتر، هنوز به خوبی شناسایی نشده است؛ بی مهرگان خاک زی تنوع بسیار زیادی دارند و پروتوزوآها و نماتدها از جمله کوچکترین آنها به شمار می آیند (۱۴). پروتوزوآها فراوان‌ترین موجودات هتروتروفی هستند که در خاک زندگی می‌کنند و اندازه آنها از ۵ تا ۲۰۰ میکرومتر متغیر است (۵،۶،۱۰،۱۱). در اغلب خاک‌ها زیست‌توده پروتوزوآها معادل یا متجاوز از زیست‌توده همه گروه‌های بیولوژیکی به استثناء کرم‌های خاکی است، به‌طوری که پروتوزوآها و کرم‌های خاکی را مهم‌ترین تشکیل دهنده زیست‌توده فون خاک می‌دانند (۴،۸). این موجودات خاک‌زی به چهار گروه اساسی شامل مژکداران (Ciliates)، آمیب‌های‌غلاف‌دار (Testate amoebae)، آمیب‌های‌بدون‌پوشش (Naked amoebae) و تاژکداران (Flagellates) تقسیم می‌شوند (۹،۱۰،۱۳). عموما" پذیرفته شده که باکتری‌ها غذای اصلی پروتوزوآهای خاک‌زی هستند، اگرچه منابع تغذیه‌ای دیگری نیز دارند. قارچ‌ها، ذرات مواد آلی و جلبک‌ها نیز به وسیله تعداد کمتری از پروتوزوآها مورد تغذیه واقع می‌شوند (۹،۱۱). بر اساس نوع تغذیه پروتوزوآها را به گروه‌های کارکردی شامل باکتری‌خواران، قارچ‌خواران، ریزه‌خواران، مصرف‌کننده بی‌مهرگان، ساپروتروف و سایتوتروف (شکارگر سایر پروتوزوآها) تقسیم کرده‌اند (۲).

به خوبی مشخص شده است که پروتوزوآها اولین چراکننده باکتری‌ها هستند و پس از آنها نماتدهای باکتری‌خوار قرار دارند (۱،۲،۵،۶،۷). آمیب‌های کوچک قادرند غذای باکتریائی را از فضای غیرقابل دسترس به‌وسیله نماتدها بدست آورند. این موجودات قادر به ورود به منافذی هستند که قطر دهانه آنها کوچکتر از ۳ میکرومتر می‌باشد و قادرند باکتری‌ها و قارچ‌ها را در فضاهای کوچک که شکارگرهای بزرگتر نمی‌توانند وارد شوند، شکار کنند. از طرفی نماتدها که مهم‌ترین شکارگرهای پروتوزوآها هستند، به‌وسیله منافذ کوچک با قطر دهانه کمتر از ۲۰ یا حتی ۳۰ میکرومتر محدود می‌شوند، بنابراین از طریق پروتوزوآها ارتباط مهمی بین باکتری‌ها و سطوح غذائی

[1] - Ecosystem services

بالاتر تشکیل می‌شود (۹). پروتوزوآهای خاک آشیان اکولوژیک[۲] بحرانی را در چرخه تغذیه خاک اشغال می‌کنند، زیرا از یک طرف شکارگر مستقیم باکتری‌ها و قارچ‌ها بوده و از طرف دیگر منبع غذایی برای نماتدها، کرم‌های خاکی و کنه‌های آستیگماتیک هستند (۴،۸،۹،۱۳). تحقیقات نشان داده است که پروتوزوآها بخش اساسی یا ترکیب اصلی غذای کرم‌های خاکی *Eisenia foetida* به شمار می‌آیند، چنانکه این کرم‌ها برای رسیدن به بلوغ جنسی به حضور پروتوزوآ در غذای خود احتیاج دارند (۴). تخمین‌ها از چندین مطالعه مستقل روی چرخه‌های غذائی بر این نکته تاکید دارد که پروتوزوآها به‌طور متوسط، عامل حدود ۷۰ درصد تنفس، ۱۴ تا ۶۶ درصد از معدنی شدن کربن و ۲۰ تا ۴۰ درصد از معدنی شدن نیتروژن توسط جانوران خاک‌زی هستند و اگر جانوران خاک‌زی از چرخه تجزیه خارج شوند، تجزیه حداقل ۳۳ تا ۳۹ درصد (۸ تا ۱۸ ماه) به تاخیر می‌افتد (۱۳). نسبت کربن به نیتروژن ($\frac{C}{N}$) در پروتوزوآ ۱۰ است اما این نسبت برای باکتری‌ها ۳ تا ۱۰ است، بنابراین با مصرف باکتری‌ها، نیتروژن بیشتری نسبت به کربن مورد نیاز برای فعالیت پروتوزوآ در دسترس این موجودات قرار خواهد گرفت و نیتروژن اضافی بشکل NH_4^+ به محلول خاک آزاد می‌شود (۵،۶،۹).

در ایستگاهی تحقیقاتی در اسکاتلند، متوسط فراوانی پروتوزوآها در هر گرم خاک خشک شامل $۴۶/۴\times۱۰^۳$ عدد تاژکدار، $۱۷/۷\times۱۰^۳$ عدد آمیب بدون پوشش ۱۱×۱۰^۳ عدد آمیب غلاف‌دار و $۴/۳۱\times۱۰^۳$ عدد مژکدار بوده است. غنای گونه‌ای در خاک این ایستگاه طی سه سال آزمایش شامل ۱۰۰ گونه تاژکدار، ۵۳ گونه آمیب بدون پوشش،۱۱۰ گونه آمیب غلاف دار و ۱۰۲ گونه مژکدار بوده است که این تعداد حدود ۳۰ درصد گونه‌های شناخته شده پروتوزوآ در جهان است. نتایج بررسی ۱۵۰۰ نمونه خاک از سراسر جهان نشان داد که فراوانی گونه‌ها در جهان نیز شبیه همین ایستگاه است (۱۰). عملیات کشاورزی پروتوزوآهای خاک زی را تحت تاثیر قرار می‌دهد، زیرا کلیه عواملی که بافت و ساختمان خاک را تغییر می‌دهند، بر این موجودات موثرند. علاوه بر بافت و ساختمان خاک، آفت‌کش‌ها نیز بر این موجودات تاثیر گذارند. الگوی عمومی واکنش پروتوزوآهای خاک‌زی به تنش آفت‌کش‌ها مشابه سایر موجودات است. آفت‌کش‌ها معمولا درجه سمیت بالاتری از علف کش‌ها دارند و جمعیت پروتوزوآهای خاک را تا حد بحرانی تخریب می‌کنند، به گونه‌ای که طی یک آزمایش، پس از گذشت ۶۰ روز از کاربرد آفت‌کش‌ها، جمعیت پروتوزوآها به‌طور کامل بازیافت نشد، به‌نظر می‌رسد قارچ‌کش‌ها اثری بر پروتوزوآهای خاک‌زی ندارند (۱۲). این پژوهش به‌منظور تعیین وجود، فراوانی و نیز بررسی اثر فعالیت‌های کشاورزی بر پروتوزوآهای خاک‌زی، به‌عنوان بخش کارکردی موثر در چرخه‌های عناصر غذایی و تسهیل کننده فعالیت‌های زیستی خاک انجام یافت. شناخت دقیق این موجودات و درک سازوکارهای موثر بر آنها، کمک قابل توجهی به مدیریت نظام‌های کشاورزی و طبیعی بر اساس حفظ و حمایت از این موجودات و کارکردهای مفید آنها نموده و حوزه مدیریتی نظام‌های کشاورزی را از محدوده چند عاملی به نگرشی وسیع‌تر در جهت استفاده از کارکردهای مفید ناشی از تنوع زیستی تغییر خواهد داد.

مواد و روش‌ها

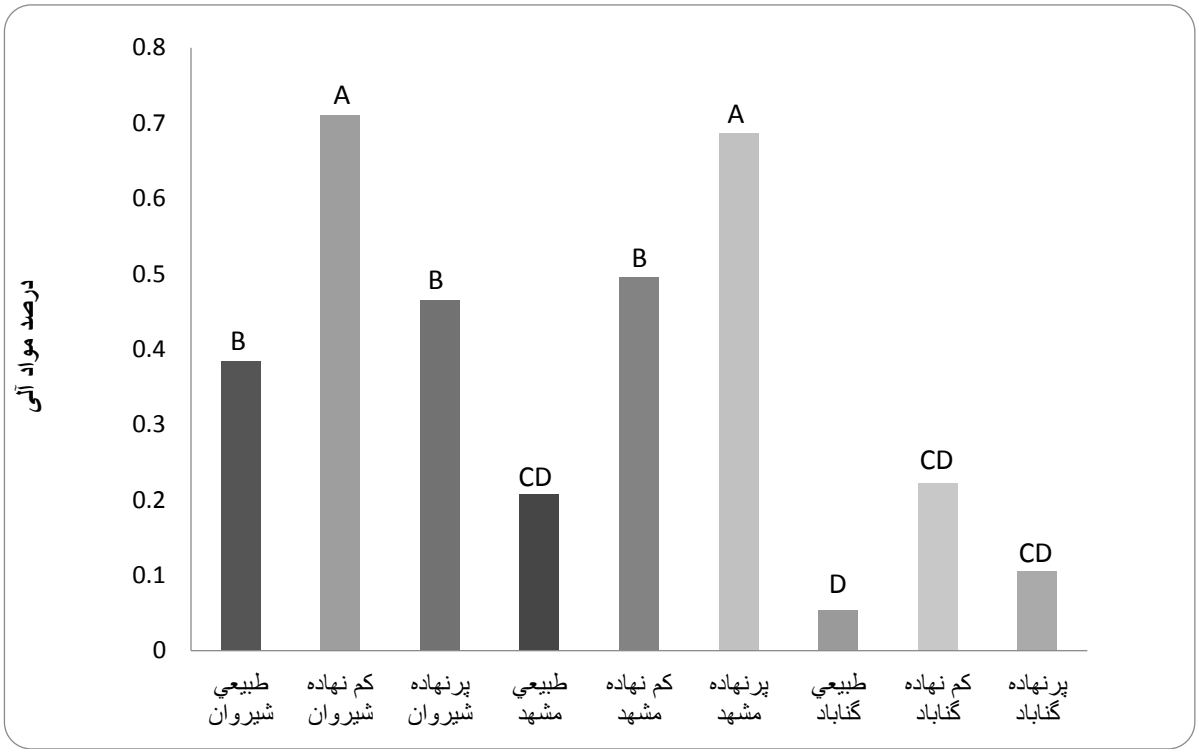
این تحقیق طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۳ در مزارع گندم شهرستان‌های شیروان، مشهد و گناباد به اجرا درآمد. برای ارزیابی اثر فعالیت‌های کشاورزی بر وجود و تنوع پروتوزوآهای خاک‌زی در مزارع گندم، در هر یک از مناطق دو نظام کم‌نهاده و پرنهاده تولید گندم، به‌عنوان نظام زراعی اصلی این مناطق و نیز بوم نظام طبیعی هر منطقه به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی فعالیت‌های کشاورزی بر وضعیت زیستی خاک مدنظر قرار گرفتند. برای بررسی هریک از نظام‌ها در مناطق مختلف، ۱۰ نمونه (مزارع و واحدهای طبیعی انتخابی) به‌عنوان تکرارهای مورد مطالعه انتخاب گردید. مزارع در نظام کم نهاده و پرنهاده بر اساس مصرف کودهای شیمیائی، مصرف سموم علف‌کش، قارچ‌کش و آفت‌کش، انجام عملیات خاک‌ورزی و استفاده از کودهای دامی و رعایت آیش یا تناوب در تولید محصول گندم انتخاب گردیدند. بوم نظام طبیعی از نظر اقلیمی و محیطی شبیه نظام‌های کشاورزی بود اما به‌صورت طبیعی مدیریت شده بود (عرصه های طبیعی در هر منطقه). واحدهای انتخابی از بوم نظام‌های طبیعی هر منطقه نیز به‌عنوان نمونه‌های این نظام ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. در مرحله پرشدن دانه تا رسیدگی کامل گندم، از خاک هر یک از مزارع و واحدهای طبیعی انتخابی نمونه برداری صورت گرفت. مقدار مورد نیاز از این نمونه در ظروف شیشه

[۲] - Nich

ای درب دار مناسب ریخته و سپس درون یونولیت حاوی یخ قرار داده شد. نمونه های خاک با شرایط ذکر شده به آزمایشگاه منتقل و در یخچال نگهداری شد (۱۶؛ ۲). درصد مواد آلی نمونه ها به روش معمول و با استفاده از اکسایش با دی‌کرومات پتاسیم و تیتراسیون باقیمانده دی کرومات با فروسولفات آمونیوم ۰.۵ اندازه گیری شد (۱۵). برای تعیین وجود، تنوع و فراوانی انواع چهارگانه پروتوزوآهای خاک‌زی ابتدا ۰/۵ گرم خاک با ۵ میلی لیتر آب در پتری دیش مخلوط شده و سپس بوسیله پارافیلم درب نمونه ها بسته شد. به مدت ۲۴ ساعت نمونه ها درحرارت اتاق نگهداری شده و سپس با استفاده از میکروسمپلر از هر نمونه ۶ تکرار که هر تکرار حاوی ۲۰ میکرولیتر از محلول خاک بود برداشت شده و بوسیله میکروسکوپ با درشت نمائی ۵۰ برابر تعداد پروتوزآهای زنده موجود در نمونه ها شمارش گردید. سپس بر اساس وزن خشک خاک تعداد آنها در هر گرم خاک خشک محاسبه شد (۱). داده های جمع آوری شده در قالب طرح کاملا تصادفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

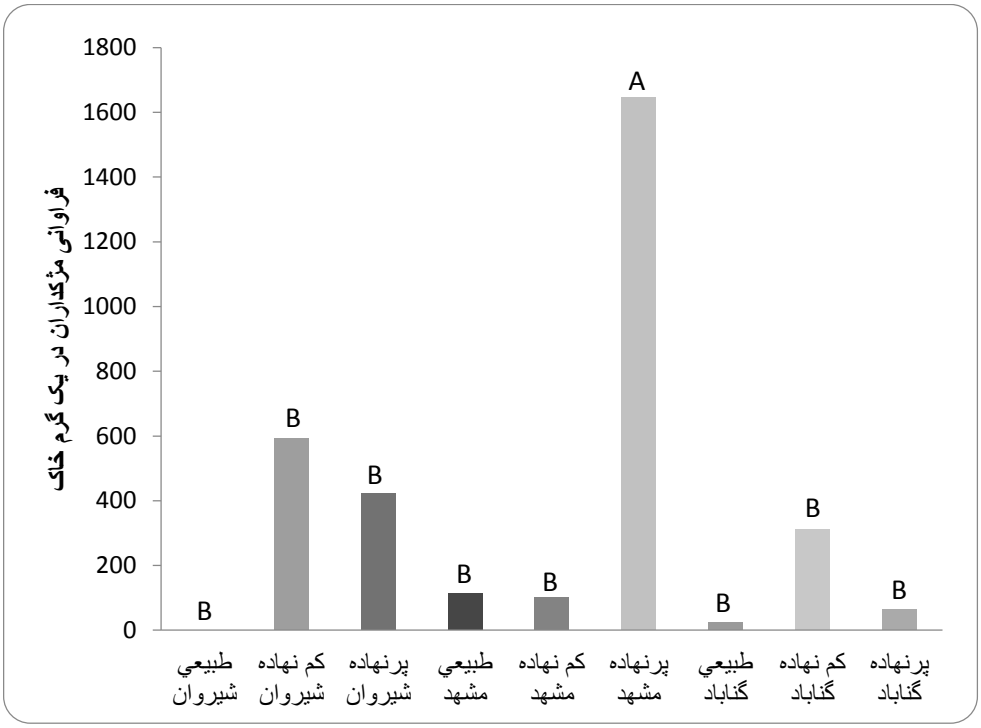
نظام‌های مورد مطالعه از نظر مواد آلی خاک تفاوت معنی‌داری داشتند؛ نظام‌های کم‌نهاده شیروان و پرنهاده مشهد به ترتیب با میانگین ۰/۷۱ و ۰/۶۹ درصد مواد آلی، بیشترین مقدار را نشان دادند و نظام‌های طبیعی مشهد، پرنهاده و طبیعی گناباد به ترتیب با ۰/۲۱ و ۰/۱۱ و ۰/۰۵ درصد کمترین مقدار مواد آلی خاک را به خود اختصاص دادند (شکل ۱).



شکل ۱. درصد مواد آلی خاک در نظام‌های مورد مطالعه (ستون های مشترک در یک حرف، بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد اختلاف معنی داری ندارند)

پروتوزآهای مشاهده شده در تیمارها عموما شکل یکسانی داشتند و در کل نمونه ها دو یا سه مورد نوع کشیده تر نیز دیده شد. با استفاده از میکروسکوپ مجهز به دوربین، از پروتوزآها تصویر تهیه گردیده و برای یکی از محققین صاحب نظر در زمینه پروتوزآهای خاک فرستاده شد. طبق نظر و تشخیص پروفسور فلمینگ اکلاند از کشور دانمارک، پروتوزآهای مشاهده شده در نمونه‌ها جزء مژکداران و از جنس Colpoda بودند. جنس Colpoda، پروتوزآی مشاهده شده در این مطالعه، معمول‌ترین و شاخص‌ترین پروتوزآی مژکدار در خاک است. این جنس، جزء گروه باکتری خواران طبقه‌بندی شده و چندین گونه دارد. مژکداران فعال معمولا طی دوره های مرطوب، زمانی‌که فراوانی باکتریایی حداکثر باشد، یافت می‌شوند. با خشک شدن خاک و کاهش جمعیت باکتری‌ها، فراوانی پروتوزوآها نیز کاهش می‌یابد (۱،۸،۱۳).

نظام‌های مورد مطالعه از نظر فراوانی پروتوزآهای خاک‌زی تفاوت معنی‌داری نشان دادند (شکل ۲). نظام پرنهاده مشهد با میانگین ۱۶۴۵ عدد پروتوزوآ در هر گرم خاک بر سایر نظام‌ها برتری معنی‌داری داشت اما در سایر نظام‌ها تفاوت در تعداد پروتوزآها معنی دار نشد، گرچه این اختلاف قابل توجه بود (شکل۲). فراوانی پروتوزآها در نظام طبیعی گناباد بسیار کم بود و نظام پرنهاده گناباد و نظام‌های کم‌نهاده و طبیعی مشهد نیز از نظر وجود پروتوزآ در خاک فقیر بودند؛ به‌طور کلی نظام‌های کشاورزی از نظر فراوانی پروتوزآها بر نظام‌های طبیعی برتری داشتند. به‌نظر می‌رسد تعدیل شرایط زیستی خاک در نظام‌های کشاورزی، که بر اثر وجود رطوبت و مواد آلی ورودی اتفاق افتاده است، اهمیت بیشتری از شدت تخریب ناشی از عملیات کشاورزی بر پروتوزآهای خاک‌زی داشته و باعث افزایش فراوانی آنها گردیده است. بنابراین نظام‌های کشاورزی مورد مطالعه برتری قابل توجهی نسبت به نظام‌های طبیعی نشان دادند. بر اساس نتایج مطالعه ای نیز گزارش شده‌است که تعداد گونه و فراوانی پروتوزوآها در محیط ریشه گندم از خاک کشت نشده بیشتر است (۹).



شکل ۲. فراوانی پروتوزآها دریک گرم خاک خشک نظام‌های مورد مطالعه (ستون های مشترک در یک حرف، بر اساس آزمون دانکن در سطح یک درصد اختلاف معنی داری ندارند)

فراوانی پروتوزآهای مژکدار در خاک‌های غنی از مواد آلی به ۱۰۰۰۰ عدد در هر گرم خاک می‌رسد. طی مطالعه‌ای در انگلستان تعداد مژکداران ۴۳۰۰ عدد در هرگرم خاک گزارش شده است. فراوانی پروتوزوآها همبستگی معکوسی با اندازه آنها دارد، به‌طوری‌که کوچک‌ترین

پروتوزوآها (تاژکداران) تقریبا″۲۰ برابر فراوان‌تر از بزرگ‌ترین پروتوزوآها (مژکداران) هستند. طی یک بررسی بر روی ۱۵۰ نمونه خاک، متوسط فراوانی پروتوزوآها در هرگرم خاک خشک از ۲۰۰۰ مژکدار (بزرگترین گونه) تا ۴۳۰۰۰ تاژکدار (کوچکترین گونه) متغیر بود. در شرایط خشک یا فقر مواد غذائی یا خاک فرسایش یافته، فراوانی پروتوزآهای فعال به کمتر از چند صد عدد در هر گرم خاک خشک نیز می‌رسد. آب در فعالیت و تغذیه پروتوزآ نقش اساسی دارد زیرا آنها از طریق لایه‌های نازک آب حرکت کرده و شکار می‌کنند. علاوه بر وجود آب یا مواد غذائی نظیر باکتری‌ها، اندازه منافذ خاک نیز اهمیت داشته و عموما خاک‌هائی که به علت عملیات کشاورزی دچار فشردگی هستند، تعداد پروتوزآی کمتری دارند. وجود مواد آلی در خاک نیز نقش بسزائی در فراوانی پروتوزآها ایفا می‌کند و محیط ریشه گیاهان، بدلیل وجود مواد آلی بیشتر، برای حضور میکروارگانیسم‌ها مناسب‌تر بوده و پروتوزآها آن را ترجیح می‌دهند (۱،۳،۱۰،۱۳). همانگونه که از مقایسه شکل‌های ۱ و ۲ برمی آید، در مقایسه نظام‌ها تبعیت تعداد پروتوزوآ از درصد مواد آلی خاک به‌خوبی نمایان است، به‌طوریکه نظام‌های پرنهاده مشهد و کم‌نهاده شیروان که حداکثر درصد مواد آلی خاک را به خود اختصاص داده بودند، حداکثر تعداد پروتوزوآ را نیز نشان دادند و تنها در بوم نظام طبیعی شیروان این وضعیت مشاهده نشد. به نظر می رسد وجود مواد آلی خاک، به‌علت اثری که بر ساختمان خاک و بهبود وضعیت منافذ، نگهداری بیشتر آب در خاک و نیز بر تغذیه باکتری‌ها به‌عنوان اولین حلقه زنجیره غذائی دارد، نقش قابل توجهی در فراوانی پروتوزآها ایفا نموده است.

نتیجه‌گیری

برآیند نتایج حاکی از افزایش فراوانی پروتوزوآهای خاک‌زی در نظام‌های کشاورزی است که به‌نظر می‌رسد این امر ناشی از افزایش درصد مواد آلی خاک در این نظام‌ها باشد. با توجه به اهمیت این موجودات و نقش آنها، باید حفظ و افزایش حاصلخیزی خاک‌ها (به ویژه مواد آلی) در برنامه‌های مدیریتی نظام‌های کشاورزی مد نظر قرار گیرد؛ تدابیر مدیریتی برای افزایش جمعیت و تنوع پروتوزوآهای خاک‌زی نیز ممکن است برای تقویت زنجیره غذایی خاک و منافع حاصل از آن مناسب باشد، ضمن این که مطالعات بیشتری برای ارزیابی این موجودات مورد نیاز است.

فهرست منابع

1. Adl, S.M., Acosta-Mercado, D., Anderson, T.R., Lynn, D.H. (2006). Protoza, supplementary material. p.455-470. In: Page, M.Carter and E.Gregorich(eds). Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd Edition. Lewis Publishers, 822 pp.
2. Adl, S.M., Gupta, B.V.S.R. (2006). Protists in soil ecology and forest nutrient cycling. *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 1805-1817.
3. Becker, J., Makus, P., Schrader, S. (2001). Introduction between soil micro- and mesofauna and plants in an ecofarming system. *European Journal of Soil Biology*, 37, 245-249.
4. Bonkowski, M., Schaefer, M. (1997). Interactions between earthworms and soil protozoa: atrophic component in the soil food web. *Soil Biology and Biochemistry*, 29, 499-502.
5. Clarholm, M. (1994). The microbial loop. p.221-230. In: page, Ritz, K., J. Dighton & K. E. Giller (eds.). Beyond the biomass. John Wiley and sons Inc.
6. Clarholm, M. (2002). Bacteria and protozoa as integral components of the forest ecosystem- their role in creating a naturally varied soil fertility. *Antoine van leawen hoek*, 81, 309-318.
7. Couteaux, M.-M., Darbyshire, J.F. (1998). Functional diversity amongst soil protozoa. *Applied Soil Ecology*, 10, 224-237.
8. Diaz, S., Martin-Gonzalez, A., Gutierrez, J.C. (2006). Evaluationof heavy metal acute toxicity and bioaccumulation in soil ciliated protozoa. *Environmental International*, 32, 711-717.
9. Ekelund, F., RØnn, R. (1994). Notes on protozoa in agricultural soil with emphasis on heterotrophic flagellates and naked amoebae and their ecology. *FEMS Microbiology Reviews*, 15, 321-353.
10. Esteban, G.F., Clarke, K.J., Olmo, J.L., Finlay, B.J. (2006). Soil protozoa–an intensive study of population dynamics and community structure in an upland grassland. *Applied Soil Ecology*, 33, 137-151.

11. Finlay, B.J., Black, H.I.J., Brown, S., Clarke, K.J., Steban, G.F., Hindle, R.M., Olmo, J.L., Rollett, A., Vickerman, K. (2000). Estimation the growth potential of the soil protozoan community. *Protist*, 151, 69-80.
12. Foissner, W. (1997). Protozoa as bioindicators in agroecosystems, with emphasis on farming practices, biocides and biodiversity. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 62, 93-103.
13. Foissner, W. (1999). Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative example. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 74, 95-112.
14. Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.-P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42, 3–15.
15. Mc Gonigle, T.P., Chambers, M.L., White, G.J. (2005). Enrichment over time of organic carbon and available phosphorous in semiarid soil. *Soil Science Society of American Journal*, 69, 1617-1626.
16. Papatheodorou, E.M., Argyropoulou, M.D., Stamou, G.P. (2004). The effects of large- and small-scale differences in soil temperature and moisture on bacterial functional diversity and the community of bacterivorous nematodes. *Applied Soil Ecology*, 25, 37-49.

The effect of agricultural practices on soil protozoa

Alireza khodashenas[1], Parviz Rezvani Moghadam[2], Amir Lakzian[3]
1- Corresponding author, Asistant professor, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bojnord, Iran.
2 and 3- Professor, Agricultural Faculty, Ferdowsi University of Mashhad.

The effect of agricultural practices on soil protozoa

Abstract
As a main part of microbial groups, soil protozoa play an important role in ecosystem functions, such as food webs and plant nutrition. In order to determination of abundance and types of soil protozoa in arid systems, and also to evaluation the effects of agricultural practices on them, a study was conducted in Shirvan, Mashhad and Gonabad regions. In each region, high and low input fields of winter wheat and a natural system were selected for comparison. Soil sampling was done on fields and natural systems. Organic matter and protozoa were measured in soil samples. In this study one type (ciliate) of protozoa was detected and counted in soil samples. Maximum number of protozoa in 1 g dry soil was belonged to high input system of Mashhad and other systems showed no significant difference in the abundance of protozoa. Apparently, the abundance of protozoa in the studied systems was affected by soil organic matter and increased with increasing percentage of organic matter in soil.

Keywords: soil protozoa, agroecosystems, ciliates, ecosystem services, soil food web

خشکی، ترشحات ریشه، جمعیت میکروبی خاک و مرتبط با ریشه

اسحاق نظری[۱]، حسینعلی علیخانی[۲]

۱- دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی دانشگاه تهران isacnazari@gmail.com

۲- استاد بیولوژی گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران

چکیده

آب یک ماده ضروری برای حیات موجودات است، با افزایش دوره‌های خشکی با تغییر آب‌وهوا در بیشتر نقاط جهان، خشکی مخرب‌ترین عامل در عملکرد محصولات و تغییر جوامع میکروبی خاک و جوامع مرتبط با ریشه گیاه است. یکی از روش‌های گیاهان برای مقابله با خشکی، تغییر کیفیت و کمیت ترشحات ریشه است. در این مطالعه ما مطالعات اخیر در مورد تأثیر تنش خشکی بر ترشحات ریشه، جمعیت میکروبی خاک و جمعیت میکروبی مرتبط با ریشه را مورد بررسی قراردادیم. دریافتیم که تنش خشکی بسته به مدت‌زمان با کاهش مقدار آب قابل‌دسترس، کاهش پخشیدگی بستر و مواد غذایی و کاهش اکسیژن خاک موجب تغییر در جمعیت میکروبی خاک شود. همچنین علاوه بر موارد بالا با افزایش انتشار کربن از ریشه به خاک، افزایش سنتز اسمولیت، افزایش کمپلکس اسیدهای آلی و کاهش ترشحات کربن ناپایدار ریشه موجب تغییر در جمعیت میکروبی مرتبط با ریشه می‌شود.

واژگان کلیدی: برهمکنش باکتریها با گیاه، تغییرات میکروبی، تنش خشکی، ریزوسفر

مقدمه

آب یک ماده ضروری برای زندگی است و تقریباً ۸۰ درصد سیتوپلاسم سلول را شامل می‌شود که برای عملکرد اساسی سلول در هر دو میکرو و ماکرو ارگانیسم‌ها ضروری است. علیرغم این ضرورت، در دسترس بودن آب در اکثر اکوسیستم‌های زمینی متأثر از یک جریان مداوم ناشی از الگوی آب‌وهوا و تنوع آب‌وهوایی است (Schimel(2018)). خشکی مخرب‌ترین استرس برای بهره‌وری محصولات است (Leng and Hall(2019)). با افزایش دوره‌های خشکی با تغییر آب‌وهوا در بیشتر نقاط جهان (IPCC 2018)، درک پاسخ گیاهان و سازگاری با خشکی برای حفظ بهره‌وری اکوسیستم‌های مدیریت‌شده و طبیعی بسیار مهم است. باوجود علاقه زیاد به تحمل به خشکی گونه‌های زراعی، در تحقیقات قبلی پاسخ‌های ریشه تا حد زیادی نادیده گرفته‌شده است. ریشه‌ها کلیدی در مدیریت آب گیاه هستند و بسیاری از گیاهان درجه‌ای از انعطاف‌پذیری ریشه (صفات رشد ریشه‌ای که می‌توانند به‌طور موقت با تنش‌های محیطی سازگار شوند) را از خود نشان می‌دهند. Karlowsky et al.(2018b) دریافتند که میزان ترشح ریشه در شرایط خشکی برابر با شرایط کنترل است که نشان می‌دهد ترشحات ریشه جز حیاتی پاسخ گیاه به خشکی است. علاقه به ترشح ریشه با درک اهمیت آن در جذب عناصر غذایی گیاه (Mommer et al.(2016)) و تشکیل کربن (C) آلی خاک پایدار افزایش‌یافته است (Sokol et al.(2019)). علاوه بر این، ترشحات ریشه یک مسیر ارتباطی مستقیم بین گیاهان و میکروب‌های ریزوسفر تشکیل می‌دهند و این پتانسیل را دارند که در تحمل و زنده ماندن گیاه در طی تنش‌های شدید غیرزنده تأثیر بگذارند. تحقیقات اخیر نشان داده است که دوره‌های خشکی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بر ترکیب و فعالیت جوامع باکتریایی وابسته به ریشه گیاهان تأثیر می‌گذارد به شکلی که به طرز چشمگیری در بین گونه‌ها و سایت‌های میزبان حفظ می‌شود (Naylor et al.(۲۰۱۷)؛ Xu et al.(۲۰۱۸) و Fitzpatrick et al.(2018)) درحالی‌که علل اصلی این پدیده تا حد زیادی حل نشده است. باوجود افزایش فعلی انتشارات در مورد فرآیندهای ترشح ریشه و ارتباط آن‌ها با میکروب‌های ریزوسفر ((Karlowsky et al.(2018a); Guyonnet et al.(2018) و de Vries et al.(2019)) تا به امروز یکپارچه‌سازی واکنش‌های شیمیایی و میکروبیولوژیکی ریزوسفر به خشکی تا حد زیادی بررسی نشده است. اگرچه نشان داده‌شده است که مقادیر ترشحات و جوامع میکروبی و فعالیت‌های آن‌ها پاسخگوی خشکی است، علائم شیمیایی خاص از ترشحات ریشه و تعامل آن‌ها با عملکرد میکروبی ریزوسفر به‌صورت رمزگونه باقی‌مانده است. در اینجا ما تأثیر خشکی بر جمعیت میکروبی خاک، ترشحات ریشه گیاه و جمعیت میکروبی مرتبط با ریشه را بررسی می‌کنیم.

اثر خشکی بر جمعیت میکروبی خاک

با توجه به اینکه خاک‌ها مخزن اولیه‌ای هستند که ریشه‌ها میکروبیوم های خود را از آن‌ها استخدام می‌کنند، میکروبیوم ریشه به‌شدت به پاسخ جوامع باکتریایی خاک به خشکی بستگی دارد. به‌طورکلی، به نظر می‌رسد خشکی تأثیر چندانی بر تنوع فیلوژنتیکی باکتریایی جوامع خاک نداشته باشد (Armstrong et al.(2016)؛ Tóth et al.(2017)). این روند ممکن است به زمینه خشکی وابسته باشد، به‌طوری که در یک مطالعه تنوع آلفای فیلوژنتیک در قطعاتی که برای اولین بار در معرض خشکی قرار گرفتند ۴۰ درصد در مقایسه قطعاتی که از قبل در معرض خشکی بودند کاهش یافت (Bouskill et al.(2013)). برخلاف تنوع میکروبی، ترکیب جامعه به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر خشکی است. تغییرات مشاهده‌شده در میکروبیوم خاک تحت خشکی تمایل به تغییر در فراوانی نسبی دارد، نه حذف کامل گونه‌های حساس و ظاهراً توأم با تحمل به خشکی، که به توجیه عدم‌تغییر در تنوع آلفا کمک می‌کند. بویژه در خاک‌های با محدودیت رطوبت، تغییراتی که در فراوانی نسبی دیده می‌شود شامل کاهش در شاخه‌های بزرگ باکتری‌های گرم منفی Proteobacteria، Verrucomicrobia و Bacteroidetes (Acosta-Martínez et al.(2014)) و (Yuste et al.(2014)) و افزایش در شاخه‌های بزرگ باکتری‌های گرم مثبت Firmicutes و Actinobacteria است (Chodak et al.(2015)) و (Hartmann et al.(2017)). غالباً این تغییرات در فراوانی نسبی توسط یک یا چند عضو شاخه انجام می‌شود (Barnard et al(2013)). چندین دلیل برای تغییرات فوق در ترکیب جامعه خاک فرض شده است. اول، تفاوت در اولویت بستر و ظرفیت‌های متابولیکی بین باکتری‌های گرم مثبت و منفی ممکن است تمایز حساسیت به خشکی آن‌ها را توضیح دهد. محیط‌های خشک ازنظر ویژگی «الیگوتروفیک» هستند: یعنی ازنظر مواد مغذی فقیر اما اکسیژن غنی هستند (Naylor and Coleman-Derr(2018)). در خاک‌های خشک، فراوانی بیشتری از ژن‌های باکتریایی درگیر در تخریب پلی‌ساکاریدهای گیاهی پیچیده وجود دارد (Bouskill et al.(2016b)؛ Martiny et al.(2016))، که نشان‌دهنده تکثیر باکتری‌های الیگوتروف است. باکتری‌های گرم مثبت ازنظر متابولیکی «مقاوم» تر از باکتری‌های گرم منفی هستند، در مقابل، باکتری‌های گرم منفی (کپیوتروف) ترکیبات کربن ناپایدار و نیتروژن آلی (Treseder et al.(2011))، خصوصاً به‌صورت ترشحات ریشه گیاه (Balasooriya et al.(2014)) را ترجیح می‌دهند. دلیل دوم و مستقیم‌تر تغییر ترکیب جامعه خاک تحت خشکی مربوط به تفاوت تحمل به از دست دادن رطوبت خاک است. مکانیسم‌های مختلف فیزیولوژیکی که به باکتری‌ها اجازه می‌دهد خشکی را تحمل کنند، ازجمله تولید اسپور و دیواره‌های سلولی ضخیم است (Naylor and Coleman-Derr(2018)). بسیاری از جنس‌های درون شاخه‌های اصلی گرم مثبت به‌عنوان تولیدکننده اسپور شناخته می‌شوند، درحالی‌که شاخه‌های گرم منفی در طی دوره تکامل ظرفیت اسپور را تا حد زیادی ازدست‌داده‌اند (Tocheva et al.(2016)). سومین دلیل فرضی تغییرهای ترکیب جامعه تحت خشکی مربوط به سطح فعالیت‌های باکتریایی عمومی و خاص است. فعالیت کلی باکتری‌ها با در دسترس بودن رطوبت ارتباط مثبت دارد تا جایی که پس از غوطه‌وری مجدد خاک‌های خشک، افزایش گسترده فعالیت و جریان CO_2 مشاهده می‌شود (Armstrong et al.(2016)). در نتیجه محیط بی‌هوازی در خاک‌های مرطوب، فراوانی بیشتری از ژن‌های باکتریایی درگیر در تخمیر بی‌هوازی، محدودیت O_2 و سایر فرآیندهای بی‌هوازی مانند دنیتریفیکاسیون مشاهده می‌شود (Bouskill et al.(2016b)). علاوه بر موارد فوق، طیف وسیعی از فعالیت‌های دیگر ممکن است در روند جامعه نقش داشته باشد. خشکی ممکن است میکروب‌های موجود را وادار به تولید انواع ترکیبات مؤثر بر ثبات جامعه مانند آنتی‌بیوتیک به‌عنوان یک پاسخ فیزیولوژیکی برای رقابت با سایر باکتری‌ها، یا احتمالاً به‌عنوان سیگنال‌هایی برای القای مسیرهای پاسخ به خشکی مانند تشکیل بیوفیلم (Bouskill et al.(2016a)) کند. بعلاوه، باکتری‌های خاصی ترکیباتی را در طول خشکی ایجاد می‌کنند که بر پایداری خاکدانه ریزوسفر (Kohler et al.(2009)) و آب‌گریزی (Elbl et al.(2014)) تأثیر می‌گذارند. سرانجام، اختلاف در توانایی تولید و تجمع اسمولیت‌ها که با حفظ تورژسانس سلولی از ساختارهای ماکرو مولکولی محافظت می‌کند (Welsh(2000))، ممکن است در این امر نقش داشته باشد. علل غیرمستقیم ناشی از تغییر در خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک نیز در شکل‌گیری جوامع میکروبی نقش دارند. به‌عنوان‌مثال، رطوبت کم خاک باعث کاهش اتصال منافذ خاک، افزایش غلظت املاح در آب باقیمانده و محدودیت انتشار بستر می‌شود (Liptzin et al.(2011)).

اثر خشکی بر ترشحات ریشه

ترشحات ریشه ترکیبات حاوی کربن (یون‌ها، قندها، اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها، اسیدهای آلی و موسیلاژ (Preece and Peñuelas(2016)) است که از ریشه‌ها به‌طور غیرمستقیم (از ریشه‌های پیر و / یا لیز سلول‌های ریشه) یا مستقیماً از طریق فرایندی موسوم به 'rhizodeposition' آزاد می‌شوند.گیاهان می‌توانند ترکیب ترشحات ریشه خود را در پاسخ به خشکی تغییر دهند. همچنین پاسخ مقدار مواد ترشحی و ترکیبات آن می‌تواند بین گونه‌های گیاهی متمایز باشد. به‌عنوان‌مثال، آفتابگردان میزان ترشح را پس از دوباره مرطوب کردن افزایش داده (۳۳۰٪ در C) اما ترکیب متابولیت ها تغییر نکرد، درحالی‌که در گیاه سویا میزان ترشح تغییر نکرد اما ترکیب متابولیت ها با افزایش غلظت اسمولیت (پرولین و پینیتول) تغییر کرد ((Canarini et al.(2016)؛ و در بلوط همیشه‌سبز مشخصات متابولیکی ترشحات به مرحله خشکی که در آن نمونه‌برداری شده وابسته است ((Gargallo-Garriga et al.(2018). این یافته‌ها حاکی از آن است که تغییرات ناشی از خشکی در مقدار یا ترکیب ترشحات ریشه ممکن است وابسته به زمینه یا گونه باشد. همچنین در یک مطالعه مقایسه ارقام هیبرید ذرت متحمل و حساس به خشکی ((Song et al.(2012)، مقادیر بیشتری اسیدهای آلی (در این مورد، اسیدهای لاکتیک، استیک، سیتریک و مالئیک) تحت خشکی ترشح کردند. اسیدهای آلی از طریق محلول سازی مواد مغذی مانند آهن، منگنز و فسفر و غیره، تحمل به خشکی گیاه را تقویت می‌کنند ((Ström et al.(2002). افزایش حضور کربن محلول در آب، موسیلاژ، استرول‌ها و چربی‌های قطبی ((Whipps and Lynch(1983)؛ (Svenningsson et al.(1990) در اطراف ریشه‌های تحت تنش خشکی دیده‌شده‌اند. بویژه، در مطالعه Calvo et al.(2016) گیاهان جو تحت کاهش منبع آب، غلظت بیشتری از پرولین، پتاسیم و فیتوهورمون را در ترشحات ریشه به نمایش گذاشتند که البته اگر لزوماً استخدام باکتری‌ها نباشد، در افزایش رشد ریشه، محافظت اسمزی و سیگنالینگ تنش نقش دارند. علاوه بر این، متابولیسم ریشه در تنش خشکی، افزایش قابل‌توجهی در تولید بسیاری از کربوهیدرات‌ها، ازجمله گزایلوز و گلوکز و اسیدهای آمینه، مانند پرولین، ترئونین و آسپاراژین نشان داده است ((Xu et al.(2018). در داخل ریشه‌ها، کاهش تنش خشکی از طریق تنظیم اسمزی (رسوب املاح، مانند اسیدهای آمینه که بدون کاهش محتوای آب پتانسیل آب را کاهش می‌دهد ((Karlowsky et al.(2018a) رخ می‌دهد. karst et al.(2016) اظهار داشت که گیاهان کانال‌های پروتئینی را می‌بندند تا از انتقال قند به ریزوسفر به‌عنوان بخشی از تنظیم اسمزی تحت خشکی جلوگیری کنند. علاوه بر این، مشخص‌شده که انتشار کربن تحت تأثیر خشکی قرار نمی‌گیرد ((Canarini and Dijkstra(2015). انتشار کربن به خاک از هر گرم گیاه در طی خشکی متوسط افزایش دارد، درحالی‌که خشکی شدید می‌تواند این روند را متوقف یا حتی معکوس کند که حاکی از وجود «آستانه» خشکی است ((Preece and Peñuelas(2016). در شرایط خشکی نسبت به شرایط مطلوب‌تر، نسبت بالاتری از C فتوسنتزی، بیش از تولید بیومس به ترشحات اختصاص می‌یابد (به‌عنوان‌مثال در بلوط هولم ((Preece et al.(2018) و صنوبر (karst et al.(2017))، به‌ویژه با افزایش دوز تنش خشکی ((Zang et al.(2014). با توجه به اهمیت ترشحات ریشه در استخدام میکروبی، گیاه می‌تواند با افزایش هجوم کربن به خاک در تغییر جوامع ریشه در واکنش به خشکی نقش داشته باشد.

اثر خشکی بر جمعیت میکروبی مرتبط با ریشه

درحالی‌که انتظار می‌رود تغییرات در شیمی خاک اطراف و ترکیب میکروبیوم خاک و فعالیت آن باعث تغییر مخزن باکتری‌های قابل‌استفاده گیاهان شود، تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمی گیاه ناشی از خشکی حتی ممکن است تأثیر بیشتری بر پویایی میکروبیوم ریشه داشته باشد ((Naylor and Coleman-Derr(2018)؛ مانند خاک، در طول فصل خشک جوامع مرتبط با ریشه فراوانی بالایی را برای اکتینوباکتری‌ها، اسیدوباکتریا و باسیلوس نشان می‌دهند، درحالی‌که در فصل بارانی پروتئوباکتری‌ها و باکتریوئیدها زیاد می‌شوند. در برخی مطالعات، در سطوح بالاتر خشکی اعضای بیشتری از Actinobacteria و Firmicutes ((Naylor et al.(2017) و Santos-Medellín et al.(2017)) در جوامع اندوسفر ریشه و ریزوسفر در مقایسه با خاک اطراف مشاهده شد. گرچه روندهای طبقه‌بندی مشابهی بین جوامع خاک و ریشه در معرض خشکی قابل‌مشاهده است، اما درجه غنی‌سازی و در بعضی موارد گونه‌های خاص ممکن است متفاوت باشد. شناسایی «هسته میکروبیوم» گونه‌های غنی‌شده خشکی در اندوسفرهای ریشه در چندین مطالعه مختلف

((Desgarenneset al.(2014؛ Coleman-Derr et al.(2016) و ((Naylor et al.(2017) نشان داد که این هسته‌ها علاوه بر تبارهای گرم مثبت مرتبط به خشکی حاوی تعداد زیادی اعضای رده‌های آلفا-، بتا- و گاما-پروتئوباکتریها هستند. این روندها ممکن است نشانگر سستی در پارامترهای مورداستفاده برای به دست آوردن میکروبیوم هسته‌ای و همچنین اختلاف بین سایت‌ها باشد ((Coleman-Derr et al.(2016 از سایت‌های مختلف برای رشد سه گونه آگاو استفاده کردند). از طرف دیگر، ممکن است خصوصیات تقویت‌کننده رشد گیاهی ذاتی مانند محلول سازی مواد مغذی یا وجود ACC deaminase که گیاهان تحت خشکی انتخاب می‌کنند در گونه‌های غنی‌شده در پروتئوباکتریها وجود داشته باشد ((Naylor and Coleman-Derr(2018). علاوه بر این، تنوع عملکردی (Li et al.(2014) نشان می‌دهد بخشی از غنی‌سازی میکروبیوم در اطراف ریشه گیاه به دلیل عملکرد آن‌ها است. ساختار جامعه میکروبی پاسخ عملکردی خود را از طریق بیان ژن‌های عملکردی در هنگام تنش خشکی تعیین خواهد کرد ((Fitzpatrick et al.(2018. برای مثال، در طول خشکی، ذرت از ارتباط همزیستی با قارچ‌های میکوریزا آربسکولار بهره‌مند می‌شود که با کاهش بیان ژن‌های مربوط به آکواپورین در ریشه، از دست دادن آب را تعدیل می‌کند ((Quiroga et al.(2017). همچنین ترشحات گیاهی می‌توانند باکتری‌های خاصی را که باعث افزایش حفاظت از خشکی می‌شوند انتخاب کنند. به‌عنوان‌مثال، خشکی باعث افزایش ترشح اسید آلی در ذرت، به‌ویژه اسید مالیک می‌شود ((Henry et al.(2007) که یک ماده شیمیایی کششی مؤثر برای باسیلوس سوبتیلیس است. شایان‌ذکر است که تغییرات ایمنی گیاه ناشی از خشکی نیز ممکن است در شکل‌گیری ساختار جامعه باکتری نقش داشته باشد. گیاهان تا حدی از طریق فعالیت فیتوهورمون، سالیسیلیک اسید ایمنی را تنظیم می‌کنند.به‌عنوان‌مثال، رابطه مثبتی برای ترشح اسید سالیسیلیک و آبسزیک اسید با اکتینوباکتریها و سایر باکتری‌های تولیدکننده ACC deaminase مشاهده‌شده است (Badri et al.(2013). جدا از آزادسازی اسید آلی، انتشار پراکسید هیدروژن به‌عنوان وسیله‌ای برای تحمل به خشکی گیاه برای محافظت در برابر آسیب ROS ((Huang et al.(2017) و حفظ رشد نوک ریشه نقش دارد ((Voothuluru and Sharp(2012). که ممکن است افزایش شیوع جنس‌های اکتینوباکتری مانند استرپتومایسس در اطراف ریشه گیاهان خشک و ریزوسفرها را توضیح دهد (Naylor et al.(2017)، زیرا بسیاری از نژادهای استرپتومایسس قادر به کاهش مؤثر آسیب ROS در گیاهان هستند ((Leiros et al.(2014). همچنین تجزیه‌وتحلیل متاترنسکرپیوم ریزوسفر مربوط به تنش خشکی، افزایش فعالیت ناقلین باکتریایی بسیاری از ترکیبات مترشحه ریشه را نشان داده است ((Xu et al.(2018). یکی از متابولیت های موردعلاقه خاص، واسطه گلیکولیز گلیسرول-۳-فسفات (G3P) است؛ که ریشه‌های سورگوم به‌طور قابل‌توجهی G3P بیشتری در طول تنش خشکی تولید می‌کنند ((Xu et al.(2018). باکتری‌ها می‌توانند از G3P برای تولید اسید تئیکوئیک، پیش ماده لازم برای بیوسنتز پپتیدو گلیکان و تشکیل دیواره سلول استفاده کنند ((Brown et al.(2013). در پی دیواره‌های سلولی بسیار ضخیم‌تر مونودرم‌ها (گرم مثبت)، احتمالاً تقاضای متابولیکی آن‌ها برای G3P افزایش‌یافته ((Yao and Rock.(2013) و باعث می‌شود گیاهان تولیدکننده G3P منبع نسبتاً باارزش‌تری برای آن‌ها باشد.روی‌هم‌رفته، نتایج فوق احتمال جالب‌توجهی را نشان می‌دهد که تغییرات مشاهده‌شده در ترکیب جامعه باکتریایی تحت خشکی ممکن است به تغییرات پاسخ ایمنی یا یک شبکه مربوط به سیگنالینگ استرس در داخل میزبان گره بخورد.

نتیجه‌گیری

آب یکی ماده ضروری برای بقای موجودات زنده است. مقدار رطوبت خاک می‌تواند با تأثیر بر مقدار اکسیژن خاک، پخشیدگی محلول و مواد غذایی خاک و خصوصیات فیریکوشیمیایی آن بر جمعیت میکروبی و اکوسیستم خاک تأثیرگذار باشد. همچنین خشکی می‌تواند خصوصیات مورفولوژی و فیزیولوژی گیاه ازجمله ترکیب و مقدار ترشحات ریشه را تحت تأثیر قرار دهد که بسته به شدت خشکی و نوع گیاه دارد. وجه اصلی ترشحات ریشه ارتباط با میکروارگانیسم‌های ریزوسفر است؛ بنابراین تنش خشکی با تغییر ترشحات ریشه موجب تغییر جوامع میکروبی مرتبط با ریشه می‌شود این یافته‌ها این مفهوم را پشتیبانی می‌کنند که ترشحات ریشه به‌عنوان یک سیگنال ارتباطی انتخابی، مواد جاذب شیمیایی و یا منبع تغذیه‌ای برای بسیاری از میکروارگانیسم‌های مفید عمل می‌کنند اما سیگنال‌های شیمیایی دقیق که این روابط را ترویج می‌کنند همچنان مبهم هستند. برای ایجاد ارتباط صریح برای الگوهای جذب میکروبی توسط ترشحات ریشه گیاه در شرایط خشکی، تحقیقات بیشتری لازم است.

فهرست منابع

Acosta-Martinez, V., Cotton, J., Gardner, T., Moore-Kucera, J., Zak, J., Wester, D., & Cox, S. (2014). Predominant bacterial and fungal assemblages in agricultural soils during a record drought/heat wave and linkages to enzyme activities of biogeochemical cycling. *Applied soil ecology*, *84*, 69-82.

Armstrong, A., Valverde, A., Ramond, J.-B., Makhalanyane, T. P., Jansson, J. K., Hopkins, D. W., et al. (2016). Temporal dynamics of hot desert microbial communities functional responses to water input. Sci. Rep. 6:34434.

Balasooriya, W. K., Denef, K., Huygens, D., and Boeckx, P. (2014). Translocation and turnover of rhizodeposit carbon within soil microbial communities of an extensive grassland ecosystem. Plant Soil 376, 61–73.

Barnard, R. L., Osborne, C. A., and Firestone, M. K. (2013). Responses of soil bacterial and fungal communities to extreme desiccation and rewetting. ISME J. 7, 2229–2241.

Bouskill, N. J., Wood, T. E., Baran, R., Hao, Z., Ye, Z., Bowen, B. P., et al. (2016a). Belowground response to drought in a tropical forest soil. II. Change in microbial function impacts carbon composition. Front. Microbiol. 7:323.

Bouskill, N. J., Wood, T. E., Baran, R., Ye, Z., Bowen, B. P., Lim, H., et al. (2016b). Belowground response to drought in a tropical forest soil. I. Changes

Brown S, Santa Maria JP Jr, Walker S. (2013). Wall teichoic acids of gram-positive bacteria. Annu Rev Microbiol, 67:313-336.

Calvo, O. C., Franzaring, J., Schmid, I., Müller, M., Brohon, N., and Fangmeier, A. (2016). Atmospheric CO2 enrichment and drought stress modify root exudation of barley. Glob. Change Biol. 23, 1292–1304.

Canarini A, Merchant A, Dijkstra FA. 2016. Drought effects on Helianthus annuus and Glycine max metabolites: from phloem to root exudates. Rhizosphere 2: 85–97.

Canarini, A., and Dijkstra, F. A. (2015). Dry-rewetting cycles regulate wheat carbon rhizodeposition, stabilization and nitrogen cycling. Soil Biol. Biochem. 81, 195–203.

Chodak, M., Goł˛ebiewski, M., Morawska-Płoskonka, J., Kuduk, K., and Nikli´nska, M. (2015). Soil chemical properties affect the reaction of forest soil bacteria to drought and rewetting stress. Ann. Microbiol. 65, 1627–1637.

Coleman-Derr, D., Desgarennes, D., Fonseca-Garcia, C., Gross, S., Clingenpeel, S., Woyke, T., ... & Tringe, S. G. (2016). Plant compartment and biogeography affect microbiome composition in cultivated and native Agave species. New Phytologist, 209(2), 798-811.

de Vries, F. T., Brown, C., & Stevens, C. J. (2016). Grassland species root response to drought: consequences for soil carbon and nitrogen availability. *Plant and Soil*, *409*(1), 297-312.

Gargallo-Garriga, A., Preece, C., Sardans, J., Oravec, M., Urban, O., & Peñuelas, J. (2018). Root exudate metabolomes change under drought and show limited capacity for recovery. *Scientific reports*, *8*(1), 1-15.

Hartmann, M., Brunner, I., Hagedorn, F., Bardgett, R. D., Stierli, B., Herzog, C., et al. (2017). A decade of irrigation transforms the soil microbiome of a semi-arid pine forest. Mol. Ecol. 26, 1190–1206.

Henry, A., Doucette, W., Norton, J., and Bugbee, B. (2007). Changes in crested wheatgrass root exudation caused by flood, drought, and nutrient stress. J. Environ. Qual. 36, 904–912.

Huang, Y. M., Zou, Y. N., & Wu, Q. S. (2017). Alleviation of drought stress by mycorrhizas is related to increased root H 2 O 2 efflux in trifoliate orange. *Scientific reports*, *7*(1), 1-9.

Karlowsky, S., Augusti, A., Ingrisch, J., Akanda, M. K. U., Bahn, M., & Gleixner, G. (2018a). Drought-induced accumulation root exudates supports drought recovery of microbes in grassland. *Frontiers in plant science*, *9*, 1593.

Karlowsky, S., Augusti, A., Ingrisch, J., Hasibeder, R., Lange, M., Lavorel, S., ... & Gleixner, G. (2018b). Land use in mountain grasslands alters drought response and recovery of carbon allocation and plant-microbial interactions. *Journal of Ecology*, *106*(3), 1230-1243.

Karst, J., Gaster, J., Wiley, E., & Landhäusser, S. M. (2017). Stress differentially causes roots of tree seedlings to exude carbon. *Tree physiology*, *37*(2), 154-164.

Kohler, J., Caravaca, F., and Roldán, A. (2009). Effect of drought on the stability of rhizosphere soil aggregates of Lactuca sativa grown in a degraded soil inoculated with PGPR and AM fungi. Appl. Soil Ecol. 42, 160–165.

Körner, C. (2015). Paradigm shift in plant growth control. *Current opinion in plant biology*, *25*, 107-114.

Leiros, M., Alonso, E., Sanchez, J. A., Rateb, M. E., Ebel, R., Houssen, W. E., et al. (2014). Mitigation of ROS insults by Streptomyces secondary metabolites in primary cortical neurons. ACS Chem. Neurosci. 5, 71–80.

Leng, G., & Hall, J. (2019). Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*, *654*, 811-821.

Li, X., Rui, J., Xiong, J., Li, J., He, Z., Zhou, J., ... & Mackie, R. I. (2014). Functional potential of soil microbial communities in the maize rhizosphere. *PloS one*, *9*(11), e112609.

Liptzin, D., Silver, W. L., and Detto, M. (2011). Temporal dynamics in soil oxygen and greenhouse gases in two humid tropical forests. Ecosystems 14, 171–182.

Mai-Prochnow, A., Clauson, M., Hong, J., & Murphy, A. B. (2016). Gram positive and Gram negative bacteria differ in their sensitivity to cold plasma. *Scientific reports*, *6*(1), 1-11.

Martiny, J. B., Martiny, A. C., Weihe, C., Lu, Y., Berlemont, R., Brodie, E. L., et al. (2016). Microbial legacies alter decomposition in response to simulated global change. ISME J. 11, 490–499.

Naylor, D., & Coleman-Derr, D. (2018). Drought stress and root-associated bacterial communities. *Frontiers in plant science*, *8*, 2223.

Naylor, D., DeGraaf, S., Purdom, E., and Coleman-Derr, D. (2017). Drought and host selection influence bacterial community dynamics in the grass root microbiome. ISME J. 11, 2691–2704.

Preece, C., and Peñuelas, J. (2016). Rhizodeposition under drought and consequences for soil communities and ecosystem resilience. Plant Soil 409, 1–17.

Preece, C., Farré-Armengol, G., Llusià, J., & Peñuelas, J. (2018). Thirsty tree roots exude more carbon. *Tree physiology*, *38*(5), 690-695.

Reid, C. P. (1974). Assimilation, distribution, and root exudation of 14C by ponderosa pine seedlings under induced water stress. Plant Physiol. 54, 44–49.

Santos-Medellín, C., Edwards, J., Liechty, Z., Nguyen, B., and Sundaresan, V. (2017). Drought stress results in a compartment-specific restructuring of the rice root-associated microbiomes. mBio 8:e00764-17.

Schimel, J. P. (2018). Life in dry soils: effects of drought on soil microbial communities and processes. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, *49*, 409-432.

Sokol, N. W., Kuebbing, S. E., Karlsen-Ayala, E., & Bradford, M. A. (2019). Evidence for the primacy of living root inputs, not root or shoot litter, in forming soil organic carbon. *New Phytologist*, *221*(1), 233-246.

Song, F., Han, X., Zhu, X., and Herbert, S. J. (2012). Response to water stress of soil enzymes and root exudates from drought and non-drought tolerant corn hybrids at different growth stages. Can. J. Soil Sci. 92, 501–507.

Ström, L., Owen, A. G., Godbold, D. L., and Jones, D. L. (2002). Organic acid mediated P mobilization in the rhizosphere and uptake by maize roots. Soil Biol. Biochem. 34, 703–710.

Svenningsson, H., Sundin, P., and Liljenberg, C. (1990). Lipids, carbohydrates and amino acids exuded from the axenic roots of rape seedlings exposed to waterdeficit stress. Plant Cell Environ. 13, 155–162.

Treseder, K. K., Kivlin, S. N., and Hawkes, C. V. (2011). Evolutionary trade-offs among decomposers determine responses to nitrogen enrichment: evolutionary trade-offs among decomposers. Ecol. Lett. 14, 933–938.

Welsh, D. T. (2000). Ecological significance of compatible solute accumulation by micro-organisms: from single cells to global climate. FEMS Microbiol. Rev. 24, 263–290.

Whipps, J. M., and Lynch, J. M. (1983). Substrate flow and utilization in the rhizosphere of cereals. New Phytol. 95, 605–623.

Xu, L., Naylor, D., Dong, Z., Simmons, T., Pierroz, G., Hixson, K. K., ... & Coleman-Derr, D. (2018). Drought delays development of the sorghum root microbiome and enriches for monoderm bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(18), E4284-E4293.

Yao, J and Rock, CO. (2013). Phosphatidic acid synthesis in bacteria. Biochim Biophys Acta, 1831:495-502.

Zang, U., Goisser, M., Häberle, K.-H., Matyssek, R., Matzner, E., and Borken, W. (2014). Effects of drought stress on photosynthesis, rhizosphere respiration, and fine-root characteristics of beech saplings: a rhizotron field study. J. Plant Nutr. Soil Sci. 177, 168–177.

Drought, root exudates, soil microbial population and associated with root

Eshagh Nazari[1], Hosein Ali Alikhani[2]

1- PhD student in Biology and Biotechnology, University of Tehran. isacnazari@gmail.com

2- Professor of Biology, Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran

Abstract

Water is an essential substance for the life of organisms. With the increase of drought periods with climate change in most parts of the world, drought is the most destructive factor in crop yield and change of soil microbial communities and plant root communities. One of the methods of plants to deal with drought is to change the quality and quantity of root secretions. In this study, we reviewed recent studies on the effect of drought stress on root discharge, soil microbial population, and root-related microbial population. We found that drought stress depending on context caused a change in soil microbial population by reducing the amount of available water, reducing substrate and nutrient diffusion, and reducing soil oxygen. In addition to the above, increasing the carbon efflux from the root to the soil, increasing the synthesis of osmolite, increasing the complex of organic acids and reducing the volatile carbon exudates of the root causes changes in the root-related microbial population.

Keywords: Bacteria-plant interactions, drought stress, microbial changes, rhizosphere

تغییرات ترکیب جمعیت اجزای زیستی پریفایتون در فصول مختلف

زهرا حقانی[۱]، کامیار امیرحسینی[۱] و حسینعلی علیخانی*[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه علوم ومهندسی خاک، دانشگاه تهران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

Halikhan@ut.ac.ir

چکیده:

تطابق پذیری جوامع پریفایتیک با شرایط متغیر محیطی، امکان استفاده از آنها را به عنوان شاخص های وضعیت مواد مغذی و نیز نشانگر هایی از کیفیت توده های آبی، فراهم ساخته است. علی رغم تاثیر چشمگیر نوسانات دما بر ترکیب ساختاری پریفایتون، اطلاعات موجود در این زمینه، محدود است. هدف از این مقاله، مطالعه تغییر ترکیب جوامع پریفایتیک و تغییر غنای گونه ای در آنها با توجه به نوسانات فصلی و نیز یافتن بینشی درباره چگونگی انطباق جوامع پریفایتون با نوسانات دمایی می باشد. پاسخ گونه های مختلف پریفایتون موجود در یک اکوسیستم به تغییرات دما در محیط خارجی، در قالب تغییر ترکیب اجزای زیستی آن بروز می نماید. در این رابطه، دیاتومه ها، جامعه غالب در بهار و اوایل تابستان را شامل می شود، و در مقابل، فراوانی ارگانیسم های هتروتروف مانند باکتری ها، در طول تابستان افزایش می یابد. مطالب ارایه شده در این مقاله، با مشخص کردن چگونگی تغییر جوامع پریفایتیک در اثر عوامل محیطی، توضیح مکانیسم های دخیل در افزایش مقاومت آنها نسبت به تغییرات دمایی و نیز بررسی دقیق فراوانی آنها در فصول مختلف، منبع مستندی را برای پژوهشگران فراهم می آورد، و با ایجاد شناختی عمیق از رفتار لایه های زیستی پریفایتیک، در دستیابی به عملکرد مطلوب و تولید پایدار در فصول مختلف، مفید خواهد بود.

واژگان کلیدی: لایه های زیستی پریفایتیک، جلبک، نوسانات دما، دیاتومه، سیانوباکتری

مقدمه:

لایه های زیستی پریفایتیک، در هنگام وجود اختلالات و بروز شرایط نامساعد در اکوسیستم های آبی، نقش های موثری به عنوان شاخص های کیفیت آب ایفا می کنند(Liboriussen & Jeppesen, 2003). با توجه به آنکه تغییرات مواد مغذی منجر به تغییرات در ساختار بیوفیلم های پریفایتیک می شود، می توان از ترکیب جمعیت اجزای زیستی پریفایتون و رشد آنها، به عنوان شاخص مفیدی برای وضعیت تغذیه ای عناصر غذایی استفاده کرد (Jeppesen et al., 2000). با وجود این، اطلاعات محدودی در رابطه با تأثیر فصول مختلف بر عملکرد جوامع میکروبی اعماق دریا موجود می باشد. جوامع میکروبی اعماق دریا، برای حفظ ظرفیت تجمع مواد مغذی، با تغییرات دما سازگار می شوند. تحت تغییرات دما و نوسانات فصلی، لایه های زیستی(بیوفیلم های) پریفایتیک، نقش مهمی را در چرخه های مواد مغذی در اکوسیستم های آبی، ایفا می کند (Sun et al., 2019). عوامل اکولوژیک مختلفی در تعیین ساختار جوامع بیوفیلم پریفایتیک، نقش ایفا می کند. در این رابطه، فاکتور های غیر زیستی شامل موارد فیزیکی، شیمیایی و هیدرولوژیکی می شود (Fletcher et al., 2007; Potapova & Charles, 2002). در این مقاله، به بررسی نوسانات دما، که همراه با سایر خصوصیات محیطی مانند زیستگاه، نوع سوبسترا (Biggs & Smith, 2002) و شدت نور(Gulzar et al., 2017) از جمله عوامل غیر زیستی محسوب می شود، پرداخته شده است.

پریفایتون[۱]:

1- periphyton

پریفایتون یا لایه های زیستی پریفایتیک، به عنوان یک میکرو اکوسیستم یکپارچه و مستقل در اکوسیستم‌های آبی و حاوی اجزای زیستی مختلفی مانند جلبک‌ها، قارچ‌ها، باکتری‌ها، پروتوزوئرها[۲] و متازوآ[۳] و نیز اجزای غیر زنده مانند سوبسترا و ماده پلیمری خارج سلولی[۴]، تعریف شده است .فتواتوتروف‌ها (به عنوان مثال، سیانوباکتری ها و دیاتومه‌ها) و هتروتروف‌ها (به عنوان مثال، باکتری‌ها، قارچ‌ها و پروتوزوآها)، در یک میکرواکوسیستم مشترک خودساخته زندگی می‌کنند و دست‌خوش تعاملات متقابل[۵]، شکاری[۶] و رقابتی[۷] قرار می گیرند.(Wu, 2016) لازم به ذکر است که جلبک ها و سیانوباکتری های همزیست[۸] و درون بافتی [۹]در این تعریف نمی گنجند. زیرا آنها توسط میزبانان خود تا حدی از محیط جدا شده اند (Larned, 2010).

ترکیب بیوشیمیایی پریفایتون[۱۰]:

یک بیوفیلم پریفایتونی می تواند به دو قسمت عمده تقسیم شود: زیست توده سلولی و ماده پلیمری خارج سلولی (EPS). بر اساس پژوهش های علمی صورت گرفته، میزان ماده آلی جزء زیست توده سلولی، از ۱۰ تا ۹۰ درصد متغیر است (Applegate & Bryers, 1991). مواد پلیمر برون سلولی عمدتا شامل پلی ساکارید ها می باشد(Costerton et al., 1978). در راستای تشکیل یک لایه زیستی میکروبی و در اولین مراحل ارتباط جامعه پریفایتیک با سطوح یا بستر های مختلف، ماتریکسی از EPS های موسیلاژی توسط باکتری ها و میکروجلبک ها، ترشح می شود. این ماتریکس آلی، به عنوان یک پیش‌نیاز و یک گام ضروری برای وجود و بقای همه توده‌های میکروبی محسوب می شود. سایر درشت مولکول ها مانند پروتئین ها و نیز اسید های نوکلئیک، در مقادیر متفاوتی در ساختار EPS وجود دارند. محتوای آلی و غیرآلی پریفایتون، بر اساس نوع زیستگاه و سوبسترا، ترکیب طبقه بندی و نیز فشار ناشی از رفتار تغذیه ای، متنوع می باشد.

ترکیب جمعیت اجزای زیستی پریفایتون:

جامعه پریفایتیک شامل جلبک‌های سبز، دیاتومه‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها، تک‌یاخته‌ها، زئوپلانکتون ها و نیز بی‌مهره های کوچک‌تر می باشد(Azim & Asaeda, 2005). از سوی دیگر، جلبک‌های قرمز، کریزوفیسه ها و نیز تریبوفیسه ها، به صورت پراکنده در ساختار پریفایتون یافت می‌شوند. ترکیب ساختاری جامعه پریفایتیک، به عوامل مختلفی از جمله نوع بستر و در دسترس بودن مواد مغذی در محیط خارجی بستگی دارد. به عنوان مثال، جوامع پریفایتیک در آب های روان، معمولاً از موجوداتی متعلق به رده های زیر تشکیل شده اند: (۱) تک یاخته های فتوسنتز کننده شامل دیاتومه[۱۱]ها، کریزوفیتا[۱۲] (جلبکهای قهوه ای زرد) و اوگلنوفیتا (اگلنوئیدها)[۱۳]، (۲) کلروفیتا و رودوفیتا[۱۴] (۳) سیانوباکتری همراه با سایر باکتری های اتوتروف[۱۵] (Allan, 1995)، (۴) پروتوزوئرها، (۵) قارچ ها و (۶) متازوآ ها. در مقابل، جوامع غالب پریفایتون در چشمه های آب گرم، سیانوباکتری ها می باشند. این دسته از موجودات زنده قادر هستند تا دمای ۷۵ درجه سلسیوس را تحمل کنند و زنده بمانند (Brock, 1967).

2- protozoans
3- metazoans
4 -extracellular polymeric substance(EPS)
5 - mutualistic
6 - predatory
7 - competitive
8 - Symbiotic
9 - endophytic
10 - biochemical composition
11 - diatoms
12 -chrysophyta
13 -Euglenophyta
14 - chlorophyta and rhodophyta
15 - cyanobacteria along with other autotrophic bacteria

تنش گرمایی[16]:

به نظر می رسد که مهمترین عامل در تحمل گرمایی جلبک ها در چشمه های آب گرم، شکل منحصر به فرد پروتئین ها در آن ها می باشد. در این رابطه، این چنین پروتئین ها از وابستگی کمتری به پیوند های هیدروژنی در ساختار فضایی خود برخوردار هستند. (Soeder & Stengel, 1974).

علاوه بر این، غشا های سلولی در جلبک های ترموفیل، دارای لیپید ها با زنجیره های کوتاه تر، درجه اشباع بالا تر و نیز نقاط ذوب بیشتر می باشد دمای بهینه برای رشد گونه های ترموفیل که به خوبی با محیط خود سازگار شده اند، نزدیک به دمای محیط می باشد (Brock, 1967). بر اساس تحقیقات صورت گرفته، جوامع پریفایتون آب شیرین، در بازه ی دمایی ۰ تا ۷۵ درجه سلسیوس رشد می‌کنند (Fogg, 1969). در این رابطه، دمای بهینه برای اکثر پریفایتون ها از ۱۰ تا ۳۰ سلسیوس متغیر است و لذا، دما های بالاتر موجب القای تنش حرارتی و کاهش رشد در آنها می شود (DeNicola, 1996). در بیشتر گونه های جلبک، تغییر غلظت آنزیم و کلروفیل a، موجب تطبیق متابولیسم فتوسنتزی با دمای محیط اطراف می گردد. به عنوان مثال، یکی از مکانیسم های تطبیق با دما های پایین، با افزایش غلظت آنزیم های چرخه ی کلوین صورت می پذیرد (Davison, 1991).

برخی از پیامد های فیزیولوژیکی که به شکلی مستقیم از دما های بالا منشا می گیرد، شامل دناتوره شدن پروتئین ها و اسید های نوکلئیک و نیز تجزیه فتوسیستم ها می شود (Davison, 1991; Wahid et al., 2007). همچنین تاثیر رژیم های حرارتی بر الگوهای فضایی در پریفایتون ها، نشان دهنده ی تنوع در قابلیت تحمل این جوامع زیستی در اکوسیستم های آبی می باشد. بر این اساس، بررسی ها در امتداد گرادیان های دمای محیطی ، حاکی از غالب بودن سیانوباکتری ها در نزدیکی منابع حرارتی، و در مقابل، بیانگر غالب بودن دیاتومه ها در نقاط دور و سرد تر بوده است (Squires et al., 1979). براساس شواهد بدست آمده از پژوهش های علمی، پریفایتون ها با تغییر ترکیب اجزای زیستی خود تا حد زیادی، از بروز پیامد های فیزیولوژیک در دمای های بالا جلوگیری می کنند. به عنوان مثال، در جریان هایی که به صورت مصنوعی گرم شده است، حذف رودفیت ها در دماهای ۱۲/۵ درجه بالاتر از دمای محیط، با غالب شدن سیانوباکتری ها همراه بوده است (Wilde & Tilly, 1981).

بررسی تغییرات ترکیب جمعیت اجزای زیستی پریفایتون با دما و در فصول مختلف:

پاسخ گونه های مختلف به تغییرات شرایط محیطی در یک اکوسیستم، در قالب تغییر در ترکیب اجزای زیستی آنها بروز می نماید. به عبارت دیگر، بیوفیلم های پریفایتیک قادر هستند تا با محدوده ی دمایی گسترده ای سازگار شوند. با وجود این، حساسیت های دمایی، باعث تغییرات تنوع در جوامع آنها خواهد شد (Amin et al., 2012; Rogers et al., 1994). هر شکلی از تغییر در محیط طبیعی، می تواند به عنوان یک بازدارنده برای تکثیر برخی از گونه ها عمل کرده و موجب تغییر در درصد ترکیبات اجزای زیستی جامعه شود. لازم به ذکر است که این امر، منجر به تغییر کامل جوامع نمی گردد. در این رابطه، تغییر در یک جامعه فقط زمانی اتفاق می افتد که نوسانات ایجاد شده در عوامل محیطی، در حد تحمل طیف وسیعی از گونه ها قرار داشته باشد.

جامعه پریفایتون، در شرایط محیطی حاکم در فصول مختلف، در معرض فعل و انفعالات عوامل زیستی و غیر زیستی در دریاچه های کم عمق قرار می گیرند(Jorge et al., 2012; Mallory & Richardson, 2005). به این ترتیب، تغییرات دما به عنوان یک عامل غیر زیستی فیزیکی، جوامع پریفایتون را تحت تاثیر قرار می دهد. در این رابطه، نتایج گزارشات مختلف، حاکی از غلبه دیاتومه ها در بین جوامع انگلی[17] در یک رودخانه ی یوتروفیک[18] در فصل بهار و نیز تسلط ارگانیسم های هتروتروفی و به ویژه باکتری ها، در فصل تابستان بوده است (Sand-Jensen, 1989).

16-thermal stress
17 - epiphytic
18 - eutrophic

تغییر یافتن جامعه ی غالب از ریز جلبک های کفزی(میکروبنتیک[19]) به انواع هتروتروفی، به دلایل مختلفی اعم از کاهش کلونیزاسیون جلبک میکروبنتیک،کاهش دسترسی به نور در اعماق آب و نیز تراکم ماکروفیت ها در بهار اتفاق می افتد. متقابلا، تجمع مواد آلی محلول و ذرات معلق در تابستان، موجب ارتقای رشد جوامع هتروتروف می گردد، که این روند در نهایت، با کاهش رشد جوامع جلبک میکرو بنتیک همراه است.

بر اساس گزارشات ارایه شده، سیانوباکتری ها اصلی ترین جزء جامعه پریفایتونی در چشمه های آب گرم می باشند که قادرند در دما های حدود ۷۵ درجه سلسیوس، زنده بمانند. افزایش تنوع سیانوباکتری ها و بعضی از گونه های دیاتومه و جلبک سبز *Chlorella*، می‌تواند در دماهای ۳۰ تا ۵۰ درجه سانتی گراد اتفاق بیافتد (Fogg, 1969; Patrick, 1974; Wallace, 1955).

بررسی های انجام شده نشان داده است که سیانوباکتری ها عموما دماهای بالاتری (بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس) را نسبت به کلروفیت ها تحمل می‌کنند (DeNicola & Hoagland, 1996). گسترده‌ترین تاکسون های پریفایتون گرمادوست، انواع سیانوباکتریوم *ماسیگوکلادیوم لامینوسس* ها[20] هستند.

آزمایشات مستند متعددی پیرامون تشخیص ترکیب اجزای زیستی دیاتومه ها انجام شده است. به عنوان مثال، در مطالعه صورت گرفته توسط Bowker وDenny (۱۹۸۰)، جانشینی فصلی و توزیع جلبک های انگلی رشد یافته در دو استخر مصنوعی بررسی شد. به طور کل، ۵۷ تاکسون جلبکی در این مطالعه مشاهده شد. در این رابطه، *Cyanophytes* با ۸۴ تا ۹۷ درصد از کل، جنس غالب جامعه زیستی در آگوست و ژانویه بوده است. در مقابل، *Chlorophytes* از بیشترین فراوانی (بیش از ۷۰ درصد) در می و ژوئن برخوردار بود. در *Bacillariphyte* ها، حداکثر تولیدات فصلی (۳۵ تا ۴۰ درصد)، مربوط به ماه های مارس و آوریل بود (Bowker & DW, 1980).

در مطالعه ای که از تیر تا دی ماه ۱۳۷۶ در تالاب انزلی صورت گرفت، ۱۷۶ نوع گونه گیاهی و ۱۷ نوع گونه جانوری شناسایی شد. بررسی پیرامون جایگزینی گونه های گیاهی و جانوری در طول مدت مطالعه، نشان دهنده ی افزایش زیست توده دیاتومه ها در فصول بهار و پاییز بود. در مقابل، در فصل تابستان، مقدار زیست توده در یک حد ثابت باقی ماند و در ترکیب گونه ای دیاتومه ها افزایش یافت. گروه های غالب به ترتیب *Chrysophyta* و سپس *Cyanophyta* و *Chlorophyta* بودند. در ماه های تیر و مرداد، جلبک های دیاتومه و سبز-آبی، به طور یکسان در ایجاد زیست توده پریفایتون، نقش داشتند. در سایر ماه ها، جلبک های دیاتومه، از برتری نسبی برخوردار بودند (مومن نیا، ۱۳۷۹) در مطالعه دیگری که در دریاچه نسبتاً غنی از عناصر غذایی کم عمق در آلبرتا از سال ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۸ انجام شد (Hickman, 1982; Klarer & Hickman, 1975)، علی رغم آنکه فلور غالب از دیاتومه تشکیل شده بود، تفاوت اندکی میان ترکیب گونه در مکان گرم شده و شاهد مشاهده شد. با این حال، در مکان گرم شده نسبت به محل کنترل، تغییر یافتن گونه ی غالب از دیاتومه ها به جلبک های سبز رشته ای[21] *Oedogonium* و *Spirogyra* و *Cladophora* مشهود بود. دیاتومه ها در محل شاهد، در درجه اول، *Acbnantbes minutissima* و *Gompbonema gracile* بودند و در نقاط گرم شده *Cocconeis placentula* غالب بود. به طورکل، تنوع در نقاط گرم شده، کمتر از محل کنترل بود. بعد از تخلیه حرارتی در یک سایت گرم شده در سال ۱۹۷۵، گونه ها در عرض یک سال به مناطق شاهد شبیه شدند. این امر را می توان با کاهش اهمیت تاکسون های سبز رشته ای و افزایش چندین گونه دیاتومه جدید، توضیح داد(Hickman, 1982).

فراوانی سیانوباکتری ها و جلبک های سبز در طول تابستان در پریفایتون های سطح بستر خاک، (انواع اپی پلون) در دریاچه های یوتروفیک افزایش می یابد (Hickman, 1978). در دریاچه های اولیگوتروفیک[22] با دمای بالای ۱۵ درجه سلسیوس و بستر مشابه نیز، می توان سیانوباکتری ها را مشاهده کرد(Gruendling, 1971) . به طور کل، در دماهای بالا تر از ۳۰ درجه سلسیوس، فقط برخی

---

19 - microbenthic algae
20 - cyanobacterium *Mastigocladium laminosces*
21 - filamentous green taxa
22 -oligotrophic

از گونه های جلبک سبز، دیاتومه ها و نیز سیانوباکتری ها، غالب می شوند. بنابراین، تحت این شرایط، سطح تنوع زیستی کاهش می یابد (Eloranta, 1982).

در مطالعه ای، ترکیب، تراکم، تنوع پریفایتون، و نیز ضخامت جوامع پریفایتون تشکیل شده، در مناطق ساحلی شمال غربی دریاچه سیمکو، کانادا، طی سال های ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ مورد بررسی قرار گرفت. در تمام سه سال، *Bacillariphyte* گروه غالب بود و گروه های *Chlorophyta* ، *Cyanobacteria* و *Chrysophyta* به طور معمول در جامعه پریفایتون حضور داشتند. در سال ۲۰۰۹، یک جامعه پریفایتون که غالبا از *Navicula* و *Gomphonema* تشکیل شده بود، در سال ۲۰۱۰ به *Achnanthidium* و به انواع *Cocconeis* تغییر یافت. پس از آن، در سال ۲۰۱۱، به *Achnanthidium* و *Navicula* (که همگی متعلق به *Bacillariphyte* بودند) تبدیل شد(Kanavillil & Kurissery, 2013).

در آزمایشی، پاسخ های جوامع پریفایتون به دما و مواد مغذی مورد بررسی قرار گرفت. سیستم مزوکوزم[۲۳] مورد استفاده در Central Jutland، دانمارک قرار داشت. یک آزمایش فاکتوریل تشکیل شده از سه تیمار دمایی و دو سطح ماده مغذی اجرا شد. به طورکل، ۷۸ جنس مختلف (*۸ تا Cyanophyta، ۳۹ تا Chlorophyta، ۲۰ تا Bacillariophyta، و ۱۱ جنس دیگر*) مشاهده شد. در این رابطه، *Bacillariophyta* گروه غالب بود و بیش از ۶۰ درصد فراوانی را در هر فصل به خود اختصاص داده بود.

تعامل دما با نور و مواد مغذی:

تعامل نور و دما در پریفایتون در چندین آزمایش مورد بررسی قرار گرفت (Graham et al., 1985; Graham et al., 1995; O'Neal & Lembi, 1995). Graham و همکاران (1995)، در آزمایشی از دمای ۵۸ درجه سلسیوس و ترکیب نور استفاده کردند. بر اساس نتایج بدست آمده توسط آنها، تابش بهینه برای فتوسنتز با افزایش دما تا ۳۰ درجه سلسیوس افزایش یافت. در مقابل، فتوسنتز خالص در دما های بالا تر، کاهش یافت. کاهش فتوسنتز در دماهای بالا، تا حدودی، ناشی از تنفس نوری بوده است. بر این اساس، غلظت CO_2سلولی سریع تر از غلظت O_2 با افزایش دما، کاهش می‌یابد (Davison, 1991).

محدودیت مواد مغذی:

سرعت رشد پریفایتون همیشه با غلظت مواد مغذی محیط رابطه مثبت ندارد. در حقیقت، روابط رشد و تغذیه می تواند به دلیل کاهش مواد مغذی محیط با رشد سریع پریفایتون، معکوس باشد (Stevenson et al., 2006; Welch et al., 1988). اشکال مولکولی مختلف یک ماده مغذی، در فراهمی زیست آن موثر است. این امر، عدم قطعیت در روابط رشد-غلظت را افزایش می‌دهد (Saito et al., 2008).

گزارشات ضد و نقیضی در رابطه با تاثیر تغییر ترکیب اجزای زیستی پریفایتون بر تجمع نیتروژن و فسفر وجود دارد. به عنوان مثال، در یک مطالعه بر روی بیوفیلم های پریفایتیک جمع آوری شده از Xuanwu Lake، واقع در چین، تاثیر نوسانات دما بر روی ترکیب اجزای جمعیت و ظرفیت تجمع مواد مغذی پریفایتون در سه منطقه مورد بررسی قرار گرفت. تجمع فسفر از آب hyper-eutrophic شبیه سازی شده در دو بیوفیلم پریفایتیک، با اختلالات دمایی و بدون اختلال، مشابه بود. روند مشابهی برای تجمع نیتروژن در هر دو بیوفیلم پریفایتیک مشاهده شد. در این مطالعه، میزان تجمع نیتروژن و فسفر به وسیله ی بیوفیلم کنترل (از Nanjing) و بیوفیلم های منتقل شده درKunming و Xi'an حتی بعد از دو سال، از تفاوت قابل توجهی برخوردار نبود. در نتیجه، ظرفیت تجمع نیتروژن و فسفر در بیوفیلم پریفایتیک، تحت تاثیر نوسانات شدید دما، پایدار باقی ماند (Sun et al., 2019).

این در حالی است که بر اساس تحقیقی که در Central Jutland کشور دانمارک انجام شد، فراوانی در جوامع پریفایتونی، پاسخ های متفاوتی را به مواد مغذی و دما در فصول مختلف، از خود بروز می دهد. غنی سازی مواد مغذی، به طور قابل توجهی، فراوانی

23-mesocosm

پریفایتون ها را در فصول بهار و تابستان (May and August) افزایش می دهد. در مقابل، تاثیر آن در فصول پاییز و زمستان (November and February) ، ناچیز است (Hao et al., 2020).

بر اساس پیشنهاد Rosemond و همکاران (2000)، اثرات افزودن مواد مغذی بر زیست توده و بهره وری پریفایتون در شرایط نوری زیاد بیشتر خواهد بود. زیرا اثرات ماده مغذی و نور بسیار وابسته به یکدیگر بودند. این ممکن است توضیح دهد که چرا پاسخ های فراوانی پریفایتون به مواد مغذی، در بهار / تابستان مثبت و در پاییز / زمستان خنثی بوده است.(Rosemond et al., 2000)

نتیجه گیری:

در این مقاله، اطلاع داشتن از تاثیرات تغییر فصول بر ترکیب جمعیت اجزای زیستی پریفایتون، به عنوان شاخصی مفید برای غنی سازی عناصر غذایی در اکوسیستم های آبی و شالیزار ها بیان شده است. از طرف دیگر، مطالعات متعددی مبنی بر تاثیر دما بر تغییر ترکیب اجزای زیستی پریفایتون مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعات متعدد جریان ها، نشان‌دهنده الگوی فصلی نسبتا منظم در جریان‌های معتدل است. دمای بهینه برای اکثر پریفایتون ها از ۱۰ تا ۳۰ درجه سلسیوس می باشد. دیاتومه‌ها در طول بهار و در اوایل تابستان، بخش عمده‌ای از فلور موجود را تشکیل می‌دهند و دارای توانایی تطبیق با درجه حرارت های مختلف می باشند. با وجود این، ترکیب گونه ای آنها در فصول مختلف، دستخوش تغییر قرار می گیرد. به عنوان مثال، در اکثر مشاهدات صورت گرفته، گروه *Bacillariophyta* نقش مهمی را در تراکم پریفایتون ایفا می کند. در نتیجه، فراوانی کل دیاتومه ها در بهار بیشتر است و اوج ثانویه در فراوانی آنها، می‌تواند در پاییز رخ دهد. با افزایش دما کاهش تنوع این گونه را شاهد هستیم.

در مقابل، تسلط انواع میکروارگانیسم های هتروتروف، به ویژه باکتری ها، با افزایش دما در فصل تابستان اتفاق می افتد. همچنین، افزایش تنوع سیانوباکتری ها و جلبک های سبز در دماهای ۳۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس در فصل تابستان مشاهده شده است. در نتیجه، سیانو باکتری ها در دما های بالا بیشترین فراوانی را دارند. با افزایش دما در سایر گروه ها کلروفیت ها و دیاتوم ها و رودوفیت ها، به ترتیب، با کاهش تنوع مواجه هستیم.

نور و دمای زیاد و همچنین فرآوانی مواد مغذی باعث می شود که ترکیب جامعه پریفایتون طی تغییرات تدریجی به طرف چیرگی توسط جلبک های سبز آبی و لذا، کاهش تنوع زیستی پیش برود. پاسخ های فراوانی پریفایتون به مواد مغذی، در بهار / تابستان مثبت و در پاییز / زمستان خنثی می باشد. در این رابطه، اختلالات تغذیه ای بر بیوفیلم سیانوباکتری ها، بیشترین تاثیر را دارد.

غنی شدگی[۲۴] از جمله مهم‌ترین اختلالات اکوسیستم های رودخانه‌ای به شمار می رود و می‌تواند برآورد کیفیت آب را دشوار سازد. در این شرایط، می توان از برخی تاکسون‌های دیاتومه‌ای غالب مانند *Achnanthes minutissimai* و یا *Amphora pediculus* استفاده کرد. این گونه دیاتومه ها به طور طبیعی در شرایط اوتروفیک یافت می‌شوند و می‌توانند برای تشخیص آلاینده‌های آلی در محیط‌های آبی و بهبود کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، توجه به تفاوت ها و تغییرات در زیست توده، تولید و نیز ساختار جوامع جلبک های کفزی، می تواند به عنوان شاخص بسیار حساسی از شرایط تغذیه ای اراضی غرقاب در نظر گرفته شود و به عنوان شاخصی از کیفیت آب، مورد استفاده قرار گیرد.

فهرست منابع:

مومن نیا، م.۱۳۷۹. ترکیب گونه ای و پراکنش کمی پریفیتون های تالاب انزلی.

Allan, J. D. (1995). Autotrophs. In *Stream Ecology* (pp. 83-108). Springer .

Amin, S. A., Parker, M. S., & Armbrust, E. V. (2012). Interactions between diatoms and bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, *76*(3), 667-684 .

24- eutrophication

Applegate, D. H., & Bryers, J. D. (1991). Effects of carbon and oxygen limitations and calcium concentrations on biofilm removal processes. *Biotechnology and bioengineering*, *37*(1), 17-25 .

Azim, M., & Asaeda, T. (2005). Periphyton structure, diversity and colonization. *Periphyton: ecology, exploitation and management*, 15-33 .

Biggs, B. J., & Smith, R. A. (2002). Taxonomic richness of stream benthic algae: effects of flood disturbance and nutrients. *Limnology and Oceanography*, *47*(4), 1175-1186 .

Bowker, D., & DW, B. (1980). The seasonal succession and distribution of epiphytic algae in the phyllosphere of Lemna minor L .

Brock, T. D. (1967). Relationship between standing crop and primary productivity along a hot spring thermal gradient. *Ecology*, *48*(4), 566-571 .

Costerton, J .W., Geesey, G. G., & Cheng, K.-J. (1978). How bacteria stick. *Scientific American*, *238*(1), 86-95 .

Davison, I. R. (1991). Environmental effects on algal photosynthesis: temperature. *Journal of phycology*, *27*(1), 2-8 .

DeNicola, D. M. (1996). Periphyton responses to temperature at different ecological levels. *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems*, 149-181 .

DeNicola, M., & Hoagland, K. D. (1996). Effects of solar spectral irradiance (visible to UV) on a prairie stream epilithic community. *Journal of the North American Benthological Society*, *15*(2), 155-169 .

Eloranta, P. V. (1982). Periphyton growth and diatom community structure in a cooling water pond. *Hydrobiologia*, *96*(3), 253-265 .

Fletcher, W. J., Boski, T., & Moura, D. (2007). Palynological evidence for environmental and climatic change in the lower Guadiana valley, Portugal, during the last 13 000 years. *The Holocene*, *17*(4), 481-494 .

Fogg, G. (1969). Survival of algae under adverse conditions. Symposia of the society for experimental biology ,

Graham, J. M., Kranzfelder, J. A., & Auer, M. T. (1985). LIGHT AND TEMPERATURE AS FACTORS REGULATING SEASONAL GROWTH AND DISTRIBUTION OF ULOTHRIX ZONATA (ULVOPHYCEAE) 1. *Journal of phycology*, *21*(2), 228-234 .

Graham, J. M., Lembi, C. A., Adrian, H. L & ,.Spencer, D. F. (1995). Physiological responses to temperature and irradiance in Spirogyra (Zygnematales, Charophyceae). *Journal of phycology*, *31*(4), 531-540 .

Gruendling, G. K. (1971). ECOLOGY OF THE EPIPELIC ALGAL COMMUNITIES IN MARION LAKE, BRITISH COLUMBIA 1, 2. *Journal of phycology*, *7*(3), 239-249 .

Gulzar, A., Mehmood, M. A., & Chaudhary, R. (2017). Stream periphyton community: a brief review on ecological importance and regulation. *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture*, *3*-۶۴ ,(۹) .۶۸

Hao, B., Wu, H., Zhen, W., Jo, H., Cai, Y., Jeppesen, E., & Li, W. (2020). Warming effects on periphyton community and abundance in different seasons are influenced by nutrient state and plant type: a shallow lake mesocosm study. *Frontiers in plant science*, *11* .

Hickman, M. (1978). Studies on the epipelic algal community-seasonal changes and standing crops at shallow littoral stations in four lakes. *Archiv für Protistenkunde*, *120*(1-2), 1-15 .

Hickman, M. (1982). The removal of a heated water discharge from a lake and the effect upon an epiphytic algal community. *Hydrobiologia*, *87*(1), 21-32 .

Jeppesen, E., Peder Jensen, J., SØndergaard, M., Lauridsen, T., & Landkildehus, F. (2000). Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater biology* ,(۲)۴۵ , .۲۱۸-۲۰۱

Jorge, D., Correia, G., & Barnhart, C. (2012). Testing the validity of the MIP approach for locating carsharing stations in one-way systems. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *54*, 138-148 .

Kanavillil, N., & Kurissery, S .(۲۰۱۳) .Temporal variation of periphyton communities: a 3-year study from northwest Lake Simcoe, Ontario, Canada. *Inland Waters*, *3*(4), 473-486 .

Klarer, D. M., & Hickman, M. (1975). The effect of thermal effluent upon the standing crop of an epiphytic algal community. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, *60*(1), 17-62 .

Larned, S. T. (2010). A prospectus for periphyton: recent and future ecological research. *Journal of the North American Benthological Society*, *29*(1), 182-206 .

Liboriussen, L., & Jeppesen, E. (2003). Temporal dynamics in epipelic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. *Freshwater biology*, *48*(3), 418-431 .

Mallory, M. A., & Richardson, J. S. (2005). Complex interactions of light, nutrients and consumer density in a stream periphyton–grazer (tailed frog tadpoles) system. *Journal of Animal Ecology*, *74*(6), 1020-1028 .

O'Neal, S. W., & Lembi, C. A. (1995). TEMPERATURE AND IRRADIANCE EFFECTS ON GROWTH OF PITHOPHORA OEDOGONIA (CHLOROPHYCEAE) AND SPIROGYRA SP.(CHAROPHYCEAE) 1. *Journal of phycology*, *31*(5), 720-726 .

Patrick, R. (1974). *Effects of abnormal temperatures on algal communities* .

Potapova, M. G., & Charles, D. F. (2002). Benthic diatoms in USA rivers: distributions along spatial and environmental gradients. *Journal of biogeography*, *29*(2), 167-187 .

Rogers, J., Dowsett, A., Dennis, P., Lee, J., & Keevil, C. (1994). Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm formation and growth of Legionella pneumophila in a model potable water system containing complex microbial flora. *Applied and Environmental Microbiology*, *60*(5), 1585-1592 .

Rosemond, A. D., Mulholland, P. J., & Brawley, S. H. (2000). Seasonally shifting limitation of stream periphyton: response of algal populations and assemblage biomass and productivity to variation in light, nutrients, and herbivores. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *57*(1), 66-75 .

Saito, M. A., Goepfert, T. J., & Ritt, J. T. (2008). Some thoughts on the concept of colimitation: three definitions and the importance of bioavailability. *Limnology and Oceanography*, *53*(1), 276-290 .

Sand-Jensen, K. (1989). Environmental variables and their effect on photosynthesis of aquatic plant communities. *Aquatic Botany*, *34*(1-3), 5 .۲۵-

Soeder, C., & Stengel, E. (1974). Physico-chemical factors affecting metabolism and growth rate. *Botanical monographs* .

Squires, L. E., Rushforth, S. R., & Brotherson, J. D. (1979). Algal response to a thermal effluent: study of a power station on the Provo River, Utah, USA. *Hydrobiologia*, *63*(1), 17-32 .

Stevenson, R. J., Rier, S. T ,.Riseng, C. M., Schultz, R. E., & Wiley, M. J. (2006). Comparing effects of nutrients on algal biomass in streams in two regions with different disturbance regimes and with applications for developing nutrient criteria. In *Advances in algal biology: A commemoration of the work of Rex Lowe* (pp. 149-165). Springer .

Sun, R., Xu, Y., Wu, Y., Tang, J., Esquivel-Elizondo, S., Kerr, P. G., Staddon, P. L., & Liu, J. (2019). Functional sustainability of nutrient accumulation by periphytic biofilm under temperature fluctuations. *Environmental technology*, 1-10 .

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, *61*(3), 199-223 .

Wallace, N. M. (1955). The effect of temperature on the growth of some fresh-water diatoms .

Welch, E., Jacoby, J., Horner, R., & Seeley, M. (1988). Nuisance biomass levels of periphytic algae in streams. *Hydrobiologia*, *157*(2), 161-168 .

Wilde, E. W., & Tilly, L. J. (1981). Structural characteristics of algal communities in thermally altered artificial streams. *Hydrobiologia*, *76*(1), 57-63 .

Wu, Y. (2016). *Periphyton: functions and application in environmental remediation*. Elsevier .

Warming Effects on Periphyton Community and Abundance in Different Seasons

Zahra Haghani [1], Kamyar Amirhosseini[1], and Hossein Ali Alikhani[2*]
1- MSc student, Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran
2- Professor, Department of Soil Science and Engineering, University of Tehran.
* Halikhan@ut.ac.ir

Abstract

Adaptability of periphytic communities to changing external conditions permits their use as effective indexes of quality and nutrient status in aquatic bodies. In spite of the significance of temperature fluctuations in the composition and species richness of periphytic biofilms, related scientific researches on the matter appear rather limited. The aim of the following paper is to study the structural composition and species richness of periphytic communities through different seasons and to further provide novel perspectives on the mechanisms involved in the adaptability of periphytic comminutes to temperature fluctuations. Responses of different periphytic species to varying temperatures in the external medium is disguised as compositional changes in the structure of the community. As a result, diatoms have proved to be the dominant structural component in spring and early summer, while the abundance of heterotrophic organisms such as bacteria increases through the summer. The information provided in the following paper presents a reliable source for researchers through identification of the changing behavior of periphytic

community with respect to varying external conditions, by explanation of the common mechanisms involved in the tolerance of biofilms to temperature extremes and with the aid of a critical evaluation of their abundance in different seasons. Furthermore, the paper will prove useful in deepening of the current understanding of periphytic biofilms to achieve suitable and sustainable production through different seasons.

Keywords: Periphytic biofilms, Algae, Temporal variation, Diatom, Cyanobacteria

تأثیر اسپری برگی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر رشد ذرت در شرایط گلخانه

وحیداله جهاندیده مهجن آبادی[۱]، مژگان سپهری[۲]، هادی اسدی رحمانی[۳]، مهدی زارعی[۴]، مهدیه شمشیری‌پور[۵]

۱- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ Vahid.jahandideh67@gmail.com

۲- گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز

۳- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴- گروه علوم خاک، دانشگاه شیراز

۵- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

باکتری‌های افزایش دهنده رشد گیاه ساکن در فیلوسفر گیاهان مختلف ابزاری برای استفاده کارآمدتر از باکتری‌ها به عنوان منبعی برای تولید کودهای زیستی را فراهم می‌کند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر اسپری برگی باکتری‌های فیلوسفری دارای ویژگی-های محرک رشد گیاه بر رشد ذرت بود. ویژگی‌های محرک رشدی گیاه ۱۰ سویه باکتری اندازه‌گیری شد و تأثیر اسپری برگی آنها در شرایط گلخانه بر رشد ذرت مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای *Microbacterium arborescens*، *Bacillus subtilis* + *Stenotrophomonas maltophilia*، *S. maltophilia*، *Bacillus megaterium* و *Enterobacter hormaechei* به‌طور معنی‌داری وزن خشک شاخساره را به‌ترتیب به‌میزان ۱۰/۴۰، ۹/۵۳، ۸/۸۶، ۸/۷۳ و ۶/۰۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. باکتری‌های *M. arborescens* و *S. maltophilia* از طریق تولید ایندول استیک اسید موجب افزایش وزن خشک شاخساره گیاه شدند. باکتری *E. hormaechei* از فعالیت نیتروژناز، توانایی انحلال فسفات و تولید ایندول استیک اسید بالایی برخوردار بود. به‌طور کلی برگ‌پاشی باکتری‌های دارای ویژگی‌های تحریک‌کنندگی رشد جداسازی شده از فیلوسفر ذرت به‌ویژه *E. hormaechei* به‌دلیل دارا بودن اثرات مفید متعدد بر رشد ذرت، قابلیت بهره‌گیری جهت تولید کودهای زیستی در سیستم‌های کشاورزی پایدار را دارا می‌باشند.

واژگان کلیدی: اسپری باکتری‌ها، ذرت، رشد گیاه، فیلوسفر

مقدمه

امروزه، فن‌آوری مایه‌زنی گیاهان زراعی با استفاده از ریزجانداران افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPMs)[۱] به‌همراه کاربرد سطوح مناسب از کودهای شیمیایی به‌عنوان راهکاری مهم برای مدیریت پایدار و کاهش مشکلات زیست‌محیطی مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است (Adesemoye *et al.*, 2009). زیستگاه‌های ریزوسفر و فیلوسفر (سطح گیاهان) جایگاه سکونت بسیاری از ریزجاندارانی هستند که در برهمکنش با گیاه پیامدهای سودمند فراوانی دارند و افزون بر بهبود رشد و عملکرد، توان روبرویی گیاه را با تنش‌های محیطی را نیز افزایش می‌دهند. استفاده از ظرفیت‌های طبیعی موجودات مفید این زیستگاه‌ها در تولید کودهای زیستی و آمیختن کاربرد این کودها با دیگر روش‌های تغذیه معدنی و آلی گیاهان زراعی، افزون بر کاهش هزینه‌های اقتصادی از جنبه زیست‌محیطی نیز دارای اهمیت بسیاری است (Rossmann *et al.*, 2017). باکتری‌ها به دلیل دارا بودن جمعیت بالا (10^6 تا 10^7 سلول در هر سانتی‌متر مربع برگ) از متداول‌ترین ریزجانداران این زیستگاه می‌باشند و بیشتر مطالعات مربوط به جامعه میکروبی فیلوسفر بر روی آنها انجام شده است (Müller and Ruppel, 2014). باکتری‌های فیلوسفری را می‌توان به دلیل دارا بودن نقش تحریک‌کنندگی رشد گیاه و حفاظت گیاه در برابر عوامل بیماریزای گیاهی در تولید کودهای زیستی و آفت‌کش‌های زیستی استفاده نمود (Zhou *et al.*, 2011; Ali *et al.*, 2012). در این راستا مطالعات متعددی بر روی باکتری‌های دی‌ازوتروفی فیلوسفر شامل پروتئوباکتری‌ها (*Beijerinckia*، *Azotobacter*، *Klebsiella*) و سیانوباکتریها (*Nostoc*، *Scytonema* و *Stigonema*) انجام

[1] - Plant growth promoting microorganisms

شده است (Fürnkranz *et al*., 2008; Rico *et al*., 2014). مطالعه تأثیر باکتری‌های فیلوسفری محرک رشد گیاه به صورت مایه‌زنی به ریشه و به صورت اسپری برگی بر گیاه توت‌فرنگی نشان داد که تلقیح ریشه با *Bacillus* M3 و اسپری برگی با *Pseudomonas* BA-8 یا *Bacillus* OSU-142 موجب افزایش عملکرد و غلظت فسفر، آهن، روی و آهن در گیاه توت‌فرنگی و افزایش قابلیت دسترسی فسفر، منیزیم، پتاسیم، روی و آهن در خاک شد (Esitken *et al*., 2011). با وجود اینکه در تعدادی از مطالعات به نقش باکتری‌های فیلوسفری در کنترل زیستی و بهبود رشد گیاه انجام شده است، اما پژوهشی که بتواند از نگرش جداسازی باکتری‌های بومی فیلوسفر و بررسی ویژگی‌های محرک رشد آنها برای بهبود رشد گیاه استفاده کند، کم است. بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر اسپری برگی باکتری‌های فیلوسفری جداسازی شده از مزارع ذرت بر رشد و عملکرد ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

ده باکتری جداسازی شده از فیلوسفر ذرت (*Bacillus subtilis*، *Bacillus megaterium*، *Bacillus paralicheniformis*، *Bacillus pumilus*، *Microbacterium arborescens*، *Pseudarthrobacter oxydans*، *Pseudomonas putida*، *Stenotrophomonas maltophilia*، *Enterobacter hormaechei* و *Kocuria polaris*) بر اساس مطالعات قبلی (جهاندیده مهجن آبادی و همکاران، ۱۳۹۹) برای اسپری برگی در این مطالعه انتخاب شدند. ویژگی‌های محرک رشدی باکتری‌ها شامل فعالیت آنزیم نیتروژناز (Pariona-Llanos *et al*., 2010)، تولید ایندول استیک اسید (Gordon and Weber, 1951)، تولید پلی‌ساکاریدهای برون‌سلولی (Moraine and Rogovin, 1966) و انحلال فسفات آلی (Mehta and Nautiyal, 2001) بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. جهت کشت گیاهان از گلدان‌های پلاستیکی ۱۰ کیلوگرمی حاوی مخلوط ماسه و پرلیت استریل به نسبت ۲:۱ (v/v) استفاده شد. بذر ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ با استفاده از الکل ۹۶ درصد به مدت ۳۰ ثانیه و محلول رقیق (۵ درصد) هیپوکلریت سدیم به مدت ۵ دقیقه ضد عفونی و جهت حذف هیپوکلریت سدیم باقیمانده بر سطح بذور، چندین مرتبه با آب مقطر استریل شستشو شدند. بذرهای ضدعفونی شده ذرت به صورت یکنواخت بر روی محیط آب-آگار درون پتری‌دیش‌های شیشه‌ای پخش و پس از چند روز خوابانیدن در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد (درون انکوباتور) جوانه‌دار شدند. پس از تنظیم رطوبت بستر کشت گلدان‌ها در حدود ۷۰ درصد رطوبت مزرعه، تعداد ۵ بذر جوانه‌دار ذرت در هر گلدان در عمق حدود ۱ سانتیمتری از سطح کاشته شدند که تعداد گیاهان هر گلدان به ۳ گیاه در هر گلدان تقلیل یافت. گلدان‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه با دمای شب/روز حدود ۲ ± ۲۲/۲۵ درجه سانتی‌گراد، شدت نور ۱۵۰۰۰ لوکس و طول روز ۱۲ ساعت به مدت ۲ ماه قرار داده شده و با محلول غذایی هوگلند آبیاری شدند (Hoagland and Arnon, 1950). جهت تهیه مایه تلقیح باکتری‌ها، کلنی خالص هر سویه در داخل ۲۵۰ میلی‌لیتر محیط کشت نوترینت براس کشت و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد بر روی یک به‌هم‌زن دورانی با دور ۱۲۰ rpm قرار داده شدند. سپس، محیط کشت باکتری‌ها در دور ۵۰۰۰ rpm برای ۵ دقیقه سانتریفیوژ و پس از حذف محلول بالایی، کلنی‌های باکتری جمع آوری شد. جهت حذف کامل محیط کشت باکتری، کلنی‌ها ۲ مرتبه در بافر $MgSO_4$ ۱۰ میلی مولار تعلیق و سانتریفیوژ شدند. سپس، جمعیت هر سویه باکتری با تعلیق آن در $MgSO_4$ ۱۰ میلی‌مولار در حدود 10^8 CFU/ml تنظیم شد (Saleem *et al*., 2017). اسپری برگی باکتری‌ها در دو بازه زمانی ۲ و ۴ هفته پس از کشت گیاهان انجام شد. بدین صورت که برای هرگلدان ۲۰ میلی‌لیتر $MgSO_4$ ۱۰ میلی‌مولار حاوی کلنی‌های باکتری با جمعیت 10^8 CFU/ml در ظروف اسپری استریل ریخته شد و به دقت در سطح بالا و پایینی برگ‌ها اسپری شد. لازم به ذکر است برای تیمارهای ترکیبی مقدار مساوی از هر کدام از باکتری‌ها در حجم نهایی ۲۰ میلی‌لیتر تنظیم و سپس بر روی سطح برگ‌ها اسپری شدند. جهت یکنواخت کردن شرایط آزمایش، گلدان‌های شاهد مربوط به تمام تیمارها با ۲۰ میلی‌لیتر $MgSO_4$ ۱۰ میلی‌مولار فاقد باکتری اسپری شدند. همچنین، سطح گلدان‌ها به‌وسیله پلاستیک کاملاً پوشانده شده تا از نفوذ سوسپانسیون باکتری به داخل گلدان جلوگیری شود (Giri and Pati, 2004). پس از سپری شدن دوره رشد گیاه، اندام هوایی و ریشه گیاهان برداشت و داخل پاکت گذاشته شدند. سپس به مدت ۳ روز در آون با درجه حرارت ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و وزن خشک آنها اندازه‌گیری

شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که اسپری برگی انفرادی باکتری‌های *M. arborescens*، *B. paralicheniformis*، *S. maltophilia*، *B. megaterium*، *P. putida* و *E. hormaechei* سبب افزایش معنی‌دار وزن خشک شاخساره نسبت به شاهد شد. باکتری *M. arborescens* با افزایش ۱۰/۴۰ درصدی وزن خشک شاخساره نسبت به تیمار شاهد، به‌عنوان مؤثرترین تیمار گزارش شد. اسپری-های برگی ترکیبی دوتایی و سه تایی به‌جز *B. subtilis* + *P. putida*، وزن خشک شاخساره بیشتری را نسبت به گیاهان شاهد تولید کردند. وزن خشک ریشه گیاهان تلقیح شده با *M. arborescens* و *E. hormaechei* نسبت به گیاهان تلقیح شده با سایر باکتری‌ها به صورت منفرد و گیاهان شاهد بیشتر بود (جدول ۱).

جدول ۱- اثر برگ‌پاشی باکتری‌ها بر وزن خشک شاخساره و ریشه ذرت در شرایط گلخانه

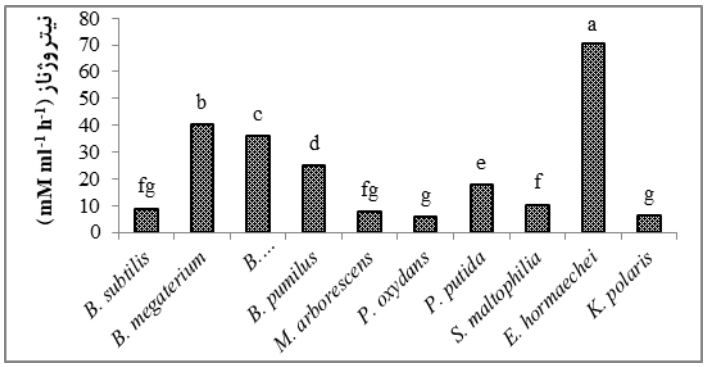
تیمارهای باکتری	وزن خشک شاخساره (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)
بدون باکتری	۶۷/۱۴e	۱۱/۸۱e
B. subtilis	۶۸/۱۲de	۱۳/۵۳cd
B. megaterium	۷۳/۰۰ab	۱۲/۱۳d
B. licheniformis	۷۱/۰۴abcd	۱۲/۹۵cd
B. pumilus	۷۰/۲۶bcde	۱۲/۴۱cd
M. arborescens	۷۴/۱۲a	۱۵/۶۶ab
P. oxydans	۶۸/۵۳cde	۱۳/۶۷bcd
P. putida	۷۱/۰۴abcd	۱۳/۲۴cd
S. maltophilia	۷۳/۰۹ab	۱۲/۰٤cd
E. hormaechei	۷۱/۷۰abc	۱۴/۳۱abc
K. polaris	۶۹/۴۸cde	۱۲/۶۸cd
B. subtilis + *P. putida*	۶۸/۵۲cde	۱۵/۹۲a
B. subtilis + *S. maltophilia*	۷۳/۵۴a	۱۶/۳۴a
P. putida + *S. maltophilia*	۷۱/۳۳abcd	۱۳/۲۲cd
B. subtilis + *P. putida* + *S. maltophilia*	۷۱/۲۱abcd	۱۳/۰۳cd

حروف کوچک متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد است.

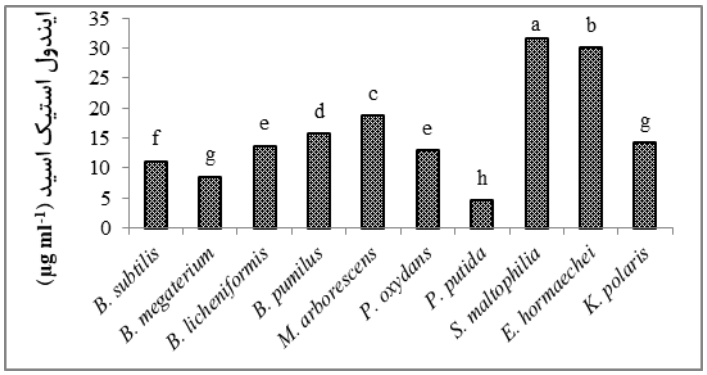
۱۰ سویه باکتری مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای، قادر به تولید مقادیر متفاوت IAA (۴/۵۰-۳۱/۵۶ µg ml^{-1}) بودند. *S. maltophilia*، *E. hormaechei* و *M. arborescens* از توانایی بالایی در تولید IAA برخوردار بودند (شکل ۱الف) و سبب افزایش بیشتر وزن خشک شاخساره گیاه شدند. تأثیر مثبت باکتری‌های تولید کننده IAA بر بهبود رشد گیاه به‌وسیله سایر محققان نیز گزارش شده است (Madhaiyan *et al*., 2005; Vorholt, 2012). نتایج تحقیقات متعدد، نشان‌دهنده نقش مؤثر جامعه باکتریایی فیلوسفر در تثبیت نیتروژن است. نتایج این پژوهش نشان داد که تمام ۱۰ سویه باکتری مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای، دارای توان تثبیت نیتروژن توسط آنزیم نیتروژناز بودند. بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم نیتروژناز به‌ترتیب در سویه‌های *E. hormaechei* و *P. oxydans* مشاهده شد (شکل ۱ب). در یک مطالعه حضور باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن در جمعیت باکتری‌های فیلوسفر را تأیید شده است (Holland, 2011). احتمالاً یکی از دلایل بهبود رشد گیاه به وسیله برگ‌پاشی باکتری‌ها نقش آنها در تثبیت نیتروژن و در نهایت افزایش غلظت نیتروژن در گیاه است. طبق نتایج موجود، در برخی از زیستگاه‌های موجود در مناطق حاره، میکروبیوم فیلوسفر گیاه قادر به تولید بیش از ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار می‌باشند، اگرچه در مورد گیاهان

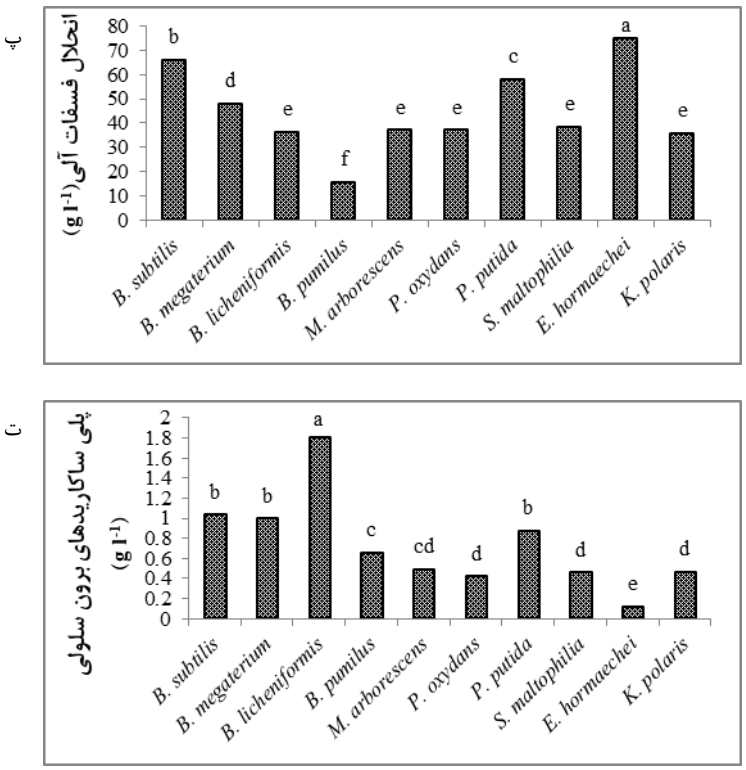
زیستگاه‌های معتدل، این مقدار نسبتاً پایین‌تر می‌باشد (Jones, 1970). حل‌کننده‌گی فسفات یکی از ویژگی‌های مهم باکتری‌های افزایش دهنده رشد گیاه است. بیشترین مقدار حل‌کننده‌گی فسفات آلی نامحلول به میزان ۷۵/۰۵ $g\ l^{-1}$ در باکتری *E. hormaechei* یافت شد و کمترین مقدار آن به میزان ۱۵/۹۰ $g\ l^{-1}$ متعلق به باکتری *B. pumilus* بود (شکل ۱پ). نشان داده شده است که تعداد زیادی از باکتری‌های فیلوسفری قادر به انحلال فسفات نامحلول بودند (Batool *et al*., 2016). باکتری‌های دارای توان حل کننده‌گی فسفات نامحلول که برگ‌پاشی می‌شوند از طریق انتقال از برگ و ساقه به‌سمت ریشه و انحلال فسفات نامحلول در ناحیه ریزوسفر سبب بهبود وضعیت تغذیه‌ای فسفر گیاه می‌شوند. همچنین، احتمالاً تجزیه مواد تراوش یافته از دیواره‌های سلولی برگ توسط باکتری‌های دارای توان حل‌کنندگی فسفات و در نتیجه آزادسازی و مصرف فسفر موجود در آنها، سبب ایجاد یک شیب غلظت فسفر از ریشه به سمت برگ‌ها می‌شود و در اثر آن، جذب فسفر توسط گیاه افزایش می‌یابد، که متعاقباً این امر منجر به بهبود رشد گیاه می‌شود. تولید پلی‌ساکاریدهای برون‌سلولی به‌وسیله باکتری‌ها به نگهداری آب در پیرامون یاخته آنها و در نهایت زنده‌مانی و کلونیزاسیون بهتر آنها کمک می‌کنند ((Vorholt, 2012)؛ بنابراین تولید این مواد به طور غیر مستقیم می‌تواند در افزایش رشد گیاه نقش داشته باشند. نتایج نشان داد که توانایی سویه‌های باکتریایی در تولید اگزوپلی‌ساکارید متفاوت است؛ به‌طوریکه باکتری *B. paralicheniformis* از بیشترین مقدار (۱/۸۰۵ $g\ l^{-1}$) و باکتری *E. hormaechei* از کمترین مقدار (۰/۱۲۰ $g\ l^{-1}$) تولید اگزوپلی‌ساکارید برخوردار بودند (شکل ۱ت).

الف



ب





شکل ۱- ویژگی‌های محرک رشدی سویه‌های باکتری برتر. الف: نیتروژناز، ب: ایندول استیک اسید، پ: انحلال فسفات آلی و ت: پلی ساکاریدهای برون سلولی

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که اسپری برگی باکتری‌ها منجر به بهبود رشد گیاه می‌شود. ارتباط تولید ایندول استیک اسید و فعالیت نیتروژناز با افزایش وزن خشک شاخساره برای برخی از گونه‌های باکتریایی، از جمله *Enterobacter hormaechei* مشهود بود. این نشان می‌دهد که در شرایط اسپری برگی باکتری‌ها، این دو ویژگی تحریک‌کنندگی رشد گیاه از اهمیت زیادی برخوردار هستند.

تشکر و قدردانی

از اعضای هیأت علمی و پرسنل بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب به دلیل فراهم کردن همه امکانات این پژوهش قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

جهاندیده مهجن آبادی، و.ا.، سپهری، م.، اسدی رحمانی، ه.، زارعی، م.، رونقی ع.م.، تقوی، س.م.، ۱۳۹۹. جداسازی و شناسایی باکتری‌های فیلوسفر ذرت و تعیین ویژگی‌های محرک رشدی گیاه آنها. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. ۱۰(۲)، ۶۷-۴۷.

Adesemoye, A.O., Torbert, H.A., Kloepper, J.W. (2009). Plant growth-promoting rhizobacteria allow reduced application rates of chemical fertilizers. *Microbial Ecology*, 58, 921-929.

Ali, N., Sorkhoh, N., Salamah, S., Eliyas, M., Radwan, S. 2012. The potential of epiphytic hydrocarbon-utilizing bacteria on legume leaves for attenuation of atmospheric hydrocarbon pollutants. *Journal of Environmental Management*, 93, 113-20.

Batool, F., Rehman, Y., Hasnain, S. (2016). Phylloplane associated plant bacteria of commercially superior wheat varieties exhibit superior plant growth promoting abilities. *Frontiers in Life Science*, 9, 313-322.

Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M., Gunes, A. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124, 62-66.

Fürnkranz, M., Wanek, W., Richter, A., Abell, G., Rasche, F., Sessitsch, A. (2008). Nitrogen fixation by phyllosphere bacteria associated with higher plants and their colonizing epiphytes of a tropical lowland rainforest of Costa Rica. *The Isme Journal*, 2, 561.

Giri, S., Pati, B. (2004). A comparative study on phyllosphere nitrogen fixation by newly isolated *Corynebacterium* sp. & *Flavobacterium* sp. and their potentialities as biofertilizer. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 51, 47-56.

Gordon, S.A., Weber, R.P. (1951). Colorimetric estimation of indoleacetic acid. *Plant Physiology*, 26, 192-195.

Hoagland, D.R., Arnon, D.I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *California Agricultural Experiment Station Circular*, 347, 1-32.

Holland, M. (2011). Nitrogen: give and take from phylloplane microbes. P 217–230, In: Ploacco, J.C., Todd, C.D. (eds), Ecological Aspects of Nitrogen Metabolism in Plants. Wiley.

Jones, K. (1970). Nitrogen fixation in the phyllosphere of the Douglas Fir, *Pseudotsuga douglasii*. *Annals of Botany*, 34, 239-244.

Madhaiyan, M., Poonguzhali, S., Lee, H., Hari, K., Sundaram, S., Sa, T. (2005). Pink-pigmented facultative methylotrophic bacteria accelerate germination, growth and yield of sugarcane clone Co86032 (*Saccharum officinarum* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 41, 350-358.

Mehta, S., Nautiyal, C.S. (2001). An efficient method for qualitative screening of phosphate-solubilizing bacteria. *Current Microbiology*, 43, 51-56.

Moraine, R., Rogovin, P. (1966). Kinetics of polysaccharide B- 1459 fermentation. *Biotechnology and Bioengineering*, 8, 511-524.

Müller, T., Ruppel, S. (2014). Progress in cultivation-independent phyllosphere microbiology. *FEMS Microbiology Ecology*, 87, 2-17.

Pariona-Llanos, R., de Santi Ferrara, F.I., Gonzales, H.H.S., Barbosa, H.R. 2010. Influence of organic fertilization on the number of culturable diazotrophic endophytic bacteria isolated from sugarcane. *European Journal of Soil Biology*, 46, 387-393.

Rossmann, M., Sarango-Flores, S.W., Chiaramonte, J.B., Kmit, M.C.P., Mendes, R. (2017). Plant microbiome: composition and functions in plant compartments. P 7-20, In: Pylro, V., Roesch, L. (eds), The Brazilian Microbiome, Springer.

Saleem, M., Meckes, N., Pervaiz, Z.H., Traw, M.B. (2017). Microbial interactions in the phyllosphere increase plant performance under herbivore biotic stress. *Frontiers in Microbiology*, 8, 41.

Vorholt, J.A. (2012). Microbial life in the phyllosphere. *Nature Reviews Microbiology*, 10, 828-840.

Zhou, Y., Qiao, X., Li, W.J., Xu, J., Wang, W., Chen, X. (2011). Phyllosphere bacterial communities associated with the degradation of acetamiprid in *Phaseolus vulgaris*. *Journal of Biotechnology*, 10, 3809-3817.

The effect of leaf spray of plant growth-promoting bacteria on maize growth in greenhouse

Vahid Alah Jahandideh Mahjen Abadi[1], Mozhgan Sepehri[2], Hadi Asadi Rahmani[3], Mehid Zarei[4], Mahdieh Shamshiripour[5]

1- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; vahid.Jahandideh67@gmail.com

2- Deptment of Soil Science, Shiraz University

3- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

4- Deptment of Soil Science, Shiraz University

5- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Abstract

The plant growth promoting bacteria (PGPB) inhabiting the phyllosphere of different plants provides a tool for more efficient use of bacteria as a source of biofertilizers. The aim of this study was to investigate the effect of foliar spray of phyllosphere bacteria possessing plant growth-promoting (PGP) traits on maize growth. Growth growth-promoting traits of 10 bacterial strains were measured and the effect of their leaf spray in greenhouse conditions on maize growth was investigated. Treatments *Microbacterium arborescens*, *Bacillus subtilis* + *Stenotrophomonas maltophilia*, *S. maltophilia*, *Bacillus megaterium* and *Enterobacter hormaechei* significantly increased shoot dry weight by 10.40, 9.53, 8.86, 8.73 and 6.00% compared to control, respectively. The *M. arborescens* and *S. maltophilia* increased shoot dry weight of plant by via synthesis of indole-3-acetic acid (IAA). The *E. hormaechei* showed a significant nitrogenase activity, phosphate solubilization and synthesis of IAA. In general, foliar spray of bacteria with PGP traits isolated from maize phyllosphere especially *E. hormaechei*, due to their numerous beneficial effects on maize growth, can be used to produce biofertilizers in sustainable agriculture.

Keywords: Bacteria leaf spray, Maize, Plant growth, Phyllosphere

استفاده از کودهای زیستی: گامی در جهت کشاورزی پایدار

چکیده

بدلیل افزایش جمعیت و تقاضای زیاد برای مواد غذایی، مصرف کودهای شیمیایی به شدت افزایش یافته است. استفاده بی رویه از این کودها باعث عدم تعادل عناصر و مواد غذایی موجود در خاک، کاهش بازده محصولات کشاورزی و به خطر افتادن سلامت انسان‌ها و دیگر موجودات زنده خواهد شد. به همین دلیل برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی، استفاده از کودهای زیستی مورد توجه قرار گرفته است. کودهای زیستی میکروارگانیسم‌های زنده‌ای هستند که باعث افزایش عناصر غذایی مورد استفاده گیاهان بوسیله افزایش حلالیت و تحرک و افزایش قابلیت جذب آنها بوسیله گیاه می شوند. انواع مختلفی از باکتری‌ها و قارچها به عنوان کود زیستی استفاده می‌شوند. در این مطالعه، به معرفی مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در کودهای زیستی مثل تثبیت کنندگان نیتروژن، حل کنندگان و متحرک کنندگان فسفر، حل کنندگان و متحرک کنندگان پتاسیم، محرک‌های رشد گیاه و قارچهای مایکورایزا و مکانیسم عمل آنها در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی برای گیاه پرداخته خواهد شد.

واژگان کلیدی: تغذیه گیاه، حاصلخیزی خاک، کودهای زیستی، میکروارگانیسم‌ها

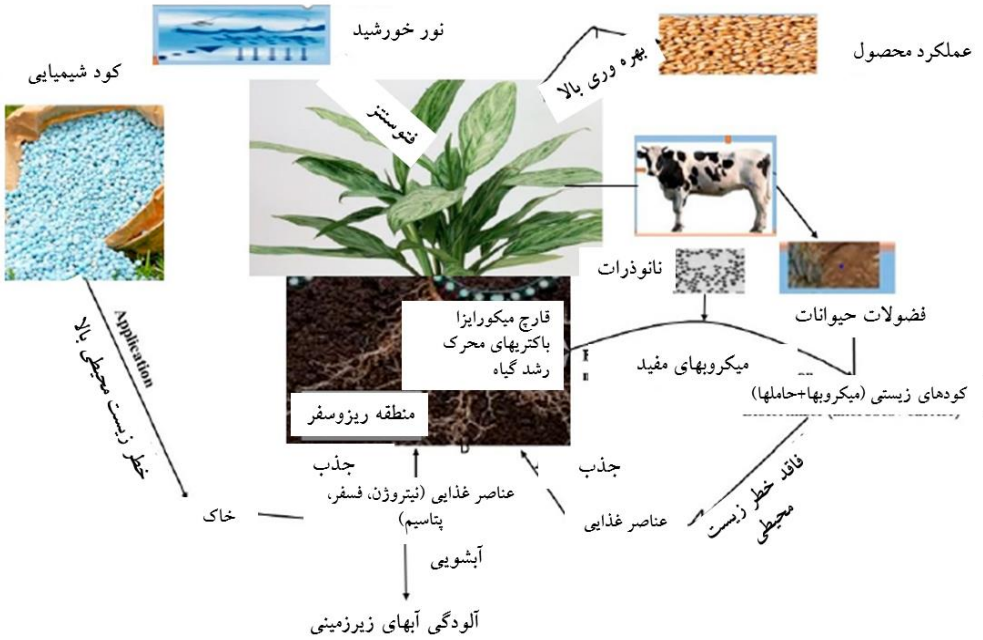
مقدمه

طی چند دهه اخیر به علت افزایش جمعیت و تقاضای روزافزون برای مواد غذایی، مصرف کودهای شیمیایی به منظور افزایش مقدار تولید در واحد سطح بشدت افزایش یافته است، که علاوه بر افزایش هزینه های تولید، پیامدهای نامطلوبی در افزایش آلودگی منابع آب و خاک نیز به همراه داشته است. افزایش قیمت نهاده‌های کشاورزی و بویژه کودهای شیمیایی در سالهای اخیر، تولید محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار داده است. با بروز این وضعیت استفاده بی رویه از کودهای شیمیایی برای تولید هر چه بیشتر فاقد توجیه اقتصادی و زیست محیطی است. بدیهی است مخاطرات زیست محیطی ناشی از مصرف این کودها، تخریب و تراکم خاکها و کاهش مقدار ماده آلی خاک نیز نقش مهمی در این رویکرد داشته است. ایده بازگشت به طبیعت و استفاده کمتر از کودها و سموم شیمیایی و تمایل فزاینده مردم به استفاده از محصولات ارگانیک سبب توجه بیش از پیش به استفاده از کودهای زیستی شده است. به همین جهت، هدف از این مقاله معرفی مهم-ترین میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در کودهای زیستی مثل تثبیت کنندگان نیتروژن، حل کنندگان و متحرک کنندگان فسفر، حل کنندگان و متحرک کنندگان فسفر و محرک‌های رشد گیاه و مکانیسم عمل آنها در افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی برای گیاه است.

ریزوسفر به عنوان منطقه تعامل بین خاک، گیاه و میکروارگانیسم‌ها

ریزوسفر یک منطقه میکرواکولوژیکی در مجاورت مستقیم ریشه گیاه است که در آن، فعل و انفعالات شیمیایی سریع و متعددی انجام شده و محیط آن، رقابتی‌تر از توده خاک می‌باشد. این محیط را بر اساس نزدیکی به ریشه و میزان متاثر شدن از آن، به سه منطقه داخلی، میانی و خارجی تقسیم می کنند (Hu et al., 2018). در واقع می‌توان گفت که ریزوسفر منطقه‌ای با گردش زیاد مواد مغذی و تراکم میکروبی بالا است که در آن عوامل زنده و غیر زنده تحت کنترل دقیق یکدیگر هستند (Hu et al., 2018). نمونه‌هایی از میکروارگانیسم‌هایی که در ریزوسفر یافت می‌شوند شامل باکتری‌های محرک رشد

گیاه و قارچ‌های میکوریزا هستند. تنوع میکروبی ریزوسفر بوسیله تنوع و مقدار مواد مغذی آلی تراوش شده، سیستم ریشه، شیمی ریشه و .... تعیین می شود (شکل ۱) (Pervaiz et al., 2020).



شکل ۱- مروری بر ریزوسفر به عنوان گلوگاه کنترل جذب مواد مغذی توسط گیاهان از طریق استفاده از کودهای شیمیایی و کود زیستی (قارچهای مایکورایز و باکتری‌های محرک رشد گیاه)

انواع کودهای زیستی

کودهای زیستی بر اساس عملکرد و نحوه عملشان به عنوان مختلف طبقه بندی می‌شوند. کودهای زیستی که معمولاً مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل موارد زیر هستند: تثبیت کننده‌های نیتروژن[1]، حل کننده‌های پتاسیم[2]، حل‌کننده‌های فسفر[3] و باکتری‌های محرک رشد گیاه[4] (Mahdi et al., 2010). در یک گرم خاک حاصلخیز، 10^{10} باکتری با وزن تقریبی ۲۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار می‌تواند وجود داشته باشد (Mahdi et al., 2010). حضور باکتری‌ها در خاک بستگی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، میزان ماده آلی خاک، میزان فسفر در خاک و فعالیت‌های طبیعی در خاک دارد (Backer et al., 2018). جدول ۱ شامل خلاصه‌ای از طبقه‌بندی کودهای زیستی بر اساس نوع میکروارگانیسم مورد استفاده و نحوه عملکرد آنها با مثال‌های مناسب است.

جدول ۱- طبقه‌بندی کودهای زیستی، مکانیسم عمل و مثال‌های آنها

کودهای زیستی	مکانیسم	گروه‌ها	مثال‌ها	منابع
		آزادزی	ازوتوباکتر، آنابنا، کلستریدیوم، بیجرینکا،	Choudhury

[1] Biological nitrogen fixation
[2] Potassium solubilizer
[3] Phosphorus solubilizer
[4] Plant growth promoting rhizobacteria

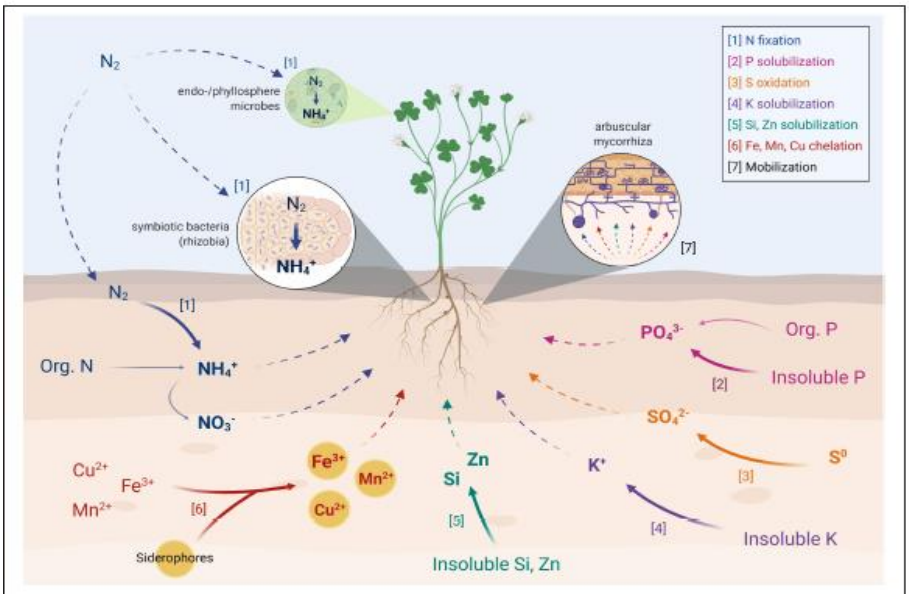
تثبیت کنندگان زیستی نیتروژن	افزایش میزان نیتروژن خاک	همزیست	ریزوبیوم، فرانکیا، آنابنا، آزولا و تریکودسمیوم	and Kennedy, 2004
		همزیستی مشارکتی	آزوسپیریلیوم، هرباسپیریلیوم، آلکالیژن، انتروباکتر،	
حل کنندگان فسفر	با ترشح اسیدهای آلی و کاهش pH خاک، فرمهای نامحلول فسفر را در خاک حل کرده و به فرم محلول تبدیل می کنند.	باکتری	باسیلوس سیرکولان، باسیلوس سابتیلوس، فلاووباکتریوم، میکروکوکوس اگروباکتریوم، ائروباکتریوم	Board, 2004
		قارچ	پنسیلیوم، آسپرژیلوس و تریکودرما	
متحرک کنندگان فسفر[1]	انتقال فسفر از خاک به کورتکس ریشه.	مایکورایزا	آربسکولار مایکورایزا، گلوموس، جیگاسپورا، آکالوسپورا، اسکوتلوسپورا،	Chang and Yang, 2009
حل کنندگان پتاسیم[2]	کمک به انحلال بیشتر پتاسیم با تولید اسیدهای آلی که باعث تجزیه سیلیکاتها شده و به آزادسازی یون های فلزی کمک کرده و در نهایت باعث افزایش قابلیت دسترسی آن یون برای گیاه می شوند	باکتری	باسیلوس، موسیلاژینوس، سیرکولانس، ادافیکوس و آرتروباکتر	Etesami, et al., 2017
		قارچ	آسپرژیلوس نایجر	
متحرک کنندگان پتاسیم[3]	این گروه از میکروبها باعث افزایش تحرک فرمهای غیر قابل دسترس پتاسیم در خاک می شوند.	باکتری	باسیلوس	Jha, 2017
		قارچ	آسپرژیلوس نایجر	
سایر عناصر غذایی ضروری	اکسید کردن گوگرد به سولفاتها که توسط گیاهان قابل استفاده است	اکسید کنندگان گوگرد	تیوباسیلوس	Itelima et al., 2018
	افزایش انحلال روی بوسیله پروتون، تولید لیگاند و کلات کردن و ایجاد شرایط اسیدی	انحلال کنندگان روی	مایکورایزا، سودوموناس و باسیلوس	Kamran et al., 2017
محرکان رشد گیاه	تولید هورمونهایی که باعث افزایش رشد ریشه می شوند، توسعه دسترسی عناصر غذایی و بهبود عملکرد محصول	رایزوباکتریهای محرک رشد گیاه	سودوموناس اگروباکتریوم، سودوموناس فلورسنس، ارتروباکتر، اروینیا، باسیلوس، رایزوبیوم، انتروباکتر، استرپتومایسز و زانتوموناس	Backer et al., 2018

تثبیت کنندگان نیتروژن

نیتروژن یکی از عناصر پرنیاز و مهم برای رشد گیاهان است. بیش از ۷۸ درصد ترکیب گازی جو زمین را نیتروژن مولکولی (N_2) تشکیل می‌دهد. اما با این وجود این عنصر به شکل مولکولی برای گیاهان قابل جذب نیست. گروه خاصی از میکروارگانیسم‌ها توانایی تثبیت نیتروژن و تبدیل آن به اشکال قابل جذب توسط گیاهان را دارند. به این گروه از میکروارگانیسم‌ها، تثبیت کنندگان زیستی نیتروژن گفته می شود (شکل ۲). این باکتری‌ها توانائی تولید آنزیم نیتروژناز را دارند. نیتروژناز نقش یک کاتالیزور در احیای N_2 به NH_3 را بر عهده دارد و در دما و فشار معمولی عمل تثبیت نیتروژن را انجام می‌دهند. آمونیم حاصل، در مراحل بعدی به شکل اسیدهای آمینه و سایر ترکیبات نیتروژنی مورد نیاز سلول در می-آید و یا در مورد دیازوتروف‌های (تغذیه کنندگان از نیتروژن) همزیست، در اختیار گیاه میزبان قرار می‌گیرد (Moreira-

[1] Phosphorus mobilizer
[2] Potassium solubilizer
[3] Potassium mobilizer

Coello et al., 2019). در کشاورزی، بیشترین گروه ارگانیسم‌های تثبیت کننده نیتروژن، باکتری‌های شناخته شده‌ای به نام ریزوبیاها هستند که بیشتر از خانواده Rhizobiaceae هستند مثل Bradyrhizobium, Sinorhizobium, Rhizobium, Azorhizobium, Mesorhizobium, and Sinorhizobium (Ensifer)] (Shamseldin et al., 2017).



شکل ۲- مسیرهای اصلی تغییر شکل و جذب مواد مغذی با واسطه میکروبی در ارتباط با کودهای زیستی. فلش های کامل نشان دهنده تغییر شکل میکروبی است در حالی که فلش‌هایی که به صورت نقطه چین نشان داده شده است نشان دهنده تحرک عناصر غذایی است (https://biorender.com).

دی ازوتروف‌ها براساس وابستگی به گیاهان به منظور تأمین کربن و انرژی برای تثبیت نیتروژن به سه گروه آزادزی، همیار و همزیست تقسیم بندی می‌شوند. ۱) باکتری‌های تثبیت کننده همزیست که در ارتباط نزدیکی با گیاه هستند و با تولید اندام زیستی مشترک با گیاه قادر به تثبیت N_2 می باشند. ۲) باکتری‌های تثبیت کننده همیار که تماس فیزیکی ساده با گیاه برقرار نموده ولی اندام زیستی مشترک و قابل مشاهده با گیاه تشکیل نمی‌دهند. ۳) باکتری‌های تثبیت کننده آزادزی که بدون نیاز به حمایت گیاه قادر به تثبیت نیتروژن می‌باشند (Moreira-Coello et al., 2019). این موجودات کربن و انرژی لازم برای انجام فرآیند تثبیت نیتروژن را به طور مستقل یعنی بدون همکاری یک گیاه میزبان و اکثراً با روش هتروتروفی یعنی استفاده از مواد کربنی ساده موجود در خاک و یا فتوتروفی و از طریق انجام فتوسنتز فراهم می‌کنند.

تثبیت زیستی نیتروژن حدود ۴۰۰-۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار در سال نیتروژن را فراهم می‌کند و باعث افزایش ۱۰-۵۰ درصدی در عملکرد گیاهان می‌شود (شکل ۲). در گیاهان حداکثر ۲۵ درصد نیتروژن کل از طریق تثبیت نیتروژن فراهم می‌شود. ریشه گیاهان موادی را در خاک رها می‌کند که باعث افزایش کلونیزاسیون و تثبیت نیتروژن توسط باکتری‌های موجود در رایزوسفر می شود. آنها می‌توانند باعث جایگزین کردن کودهای شیمیایی شوند (شکل ۲).

شکل ۲- جایگزینی نیتروژن توسط کودهای زیستی (Brahmaprakash and Sahu, 2012)

کودهای زیستی	میزان جایگزینی (هکتار در سال)
رایزوبیوم	۵۰ تا ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن
آزولا	۹/۲ تا ۱۸/۴ کیلوگرم نیتروژن

آزوسپیریلیوم	۲۷/۶ کیلوگرم نیتروژن
جلبکهای سبز آبی	۲۴/۸ تا ۲۹/۹ کیلوگرم نیتروژن
فرانکیا	۸۹/۷ کیلوگرم نیتروژن

میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفر

میکروارگانیسم‌های خاک از طریق مکانیزم‌های مختلف محلول‌سازی و معدنی‌سازی قادر به تبدیل فسفر نامحلول خاک به فرم‌های قابل جذب برای گیاه هستند (شکل ۱). میکروارگانیسم‌های حل کننده فسفر، قادر به حلالیت فسفر غیر آلی (به عنوان مثال تری کلسیم فسفات، هیدروکسی آپاتیت و سنگ‌های فسفر) از طریق تولید و انتشار ترکیبات مختلف هستند. یکی از مکانیزم‌هایی که این میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌کنند ترشح اسیدهای آلی، یون‌های هیدروکسیل و دی اکسید کربن است که باعث حل کردن فسفر نامحلول بوسیله کاهش pH خاک می‌شوند (Wei et al., 2018). این میکروارگانیسم‌ها همچنین می‌توانند کلات‌هایی را از خود ترشح کنند که کاتیون‌ها را از ترکیبات نامحلول فسفر مثل Ca^{+2}، Al^{+3} و Fe^{+3} گرفته و محلول کرده و در نهایت منجر به ترشح فسفات محلول می‌شود (Raiz et al., 2020). یکی دیگر از فرایندهایی که میکروارگانیسم‌های خاک باعث افزایش فراهمی فسفر قابل استفاده خاک می شوند معدنی کردن ترکیبات آلی فسفره (مثل اینوزیتول هگزافسفات و فیتاتها) است (Raiz et al., 2020).

میکروارگانیزم‌های حل کننده پتاسیم

تعداد زیادی از میکروارگانیسم‌های حل کننده پتاسیم مثل باسیلوس موسیلاژینوس‌ها، ازوتوباکتر کروکوم و رایزوبیوم‌ها در خاک زندگی می‌کنند و در مطالعات مختلف گزارش شده است. تولید اسیدهای آلی (مثل تارتاریک، سیتریک، اگزالیک، گلوکونیک، لاکتیک و مالیک اسید) از جمله مکانیزمی است که توسط میکروارگانیسم‌های حل کننده پتاسیم استفاده می‌شود که این روش بهترین استراتژی برای افزایش قابلیت جذب پتاسیم توسط گیاه و بهبود حاصلخیزی خاک است. این اسیدهای آلی منجر به اسیدی شدن محیط اطراف ریشه و در نتیجه آزاد شدن (اسیدولیز) یون پتاسیم از کانی‌ها می‌شود (Macik et al., 2020). سایر مکانیسم‌های مهم انتشار پتاسیم شامل کلات شدن و واکنش های تبادلی است. همچنین تلقیح گیاهان با میکرو ارگانیسم های حل کننده فسفر باعث افزایش عملکرد گیاه می شود.

نتیجه‌گیری

کودهای زیستی رویکرد خوبی برای افزایش بهره وری محصولات است. در سال‌های اخیر، از کودهای زیستی برای تأمین مواد مغذی ضروری گیاه و افزایش قابل توجه عملکرد آن استفاده می‌شود. کودهای زیستی حاوی میکروارگانیسم‌هایی هستند که باعث افزایش حلالیت و افزایش تحرک عناصر غذایی و در نتیجه افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان می‌شوند. این میکروارگانیسم‌ها شامل تثبیت کنندگان نیتروژن، حل کنندگان و متحرک کنندگان فسفر، حل کنندگان و متحرک کنندگان فسفر و محرک‌های رشد گیاه و قارچ‌های مایکورایزا هستند.

فهرست منابع

Backer, R., Rokem, J.S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., Smith, D.L. (2018). Plant growthpromoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473.

Brahmaprakash, G., Sahu, P.K. (2012). Biofertilizers for sustainability. *The Journal of the Indian Institute of Science* , 92, 37–62.

Board, N. (2004). The Complete Technology Book on Bio-Fertilizer and Organic Farming; National Institute of Industrial Research: Delhi, India.

Choudhury, A., Kennedy, I. (2004). Prospects and potentials for systems of biological nitrogen fixation in sustainable rice production. *Biology and Fertility of Soils*, 39, 219–227.

Chang, C. H., Yang, S. S. (2009). Thermo-tolerant phosphate-solubilizing microbes for multi-functional biofertilizer preparation. *Bioresource Technology*, 100, 1648–1658.

Etesami, H., Emami, S., Alikhani, H.A. (2017). Potassium solubilizing bacteria (KSB): Mechanisms, promotion of plant growth, and future prospects A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17, 897–911.

Hu, L., Robert, C.A., Cadot, S., Zhang, X., Ye, M., Li, B., Manzo, D., Chervet, N., Steinger, T., Van Der Heijden, M.G. (2018). Root exudate metabolites drive plant-soil feedbacks on growth and defense by shaping the rhizosphere microbiota. *Nature Communications*, 9, 1–13.

Kamran, S., Shahid, I., Baig, D.N., Rizwan, M., Malik, K.A., Mehnaz, S. (2017). Contribution of zinc solubilizing bacteria in growth promotion and zinc content of wheat. *Frontiers in Microbiology, 8, 2593.*

Jha, Y. (2017). Potassium mobilizing bacteria: Enhance potassium intake in paddy to regulates membrane permeability and accumulate carbohydrates under salinity stress. *Brazilian Journal of Biological Sciences*, 4, 333–344.

Itelima, J., Bang,W., Onyimba, I., Oj, E. A. (2018). review: Biofertilizer; a key player in enhancing soil fertility and crop productivity. *Journal of Microbiology and Biotechnology Reports*, 2, 22–28.

Mahdi, S.S., Hassan, G., Samoon, S., Rather, H., Dar, S.A., Zehra, B. (2010). Bio-fertilizers in organic agriculture. *Journal of Phytological*, 2, 42–54.

Macik, M., Gryta, A., and Frac,M. (2020). Biofertilizers in agriculture: an overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms. *Advances in Agronomy*, 162, 31–87.

Moreira-Coello, V., Mouriño-Carballido, B., Marañón, E., Fernández- Carrera, A., Bode, A., Sintes, E. (2019). Temporal variability of diazotroph community composition in the upwelling region off NW Iberia. *Scientific Reports*, 9:3737.

Pervaiz, Z.H., Contreras, J., Hupp, B.M., Lindenberger, J.H., Chen, D., Zhang, Q., Wang, C., Twigg, P., Saleem, M. (2020). Root microbiome changes with root branching order and root chemistry in peach rhizosphere soil. *Rhizosphere*, 16, 100249.

Riaz, U., Mehdi, S. M., Iqbal, S., Khalid, H. I., Qadir, A. A., Anum, W., et al. (2020). "Bio-fertilizers: eco-friendly approach for plant and soil environment," in Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation, eds K. R. Hakeem, R. A. Bhat, and H. Qadri (Cham: Springer), 188–214.

Shamseldin, A., Abdelkhalek, A., and Sadowsky, M. J. (2017). Recent changes to the classification of symbiotic, nitrogen-fixing, legume-associating bacteria: a review. *Symbiosis*, 71, 91–109.

Wei, Y., Zhao, Y., Shi, M., Cao, Z., Lu, Q., Yang, T. (2018). Effect of organic acids production and bacterial community on the possible mechanism of phosphorus solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. *Bioresource Technology*, 247, 190–199.

Application of Biofertilizers: A Step Towards Sustainable Agriculture

Abstract

Due to the increase in population and increasing demand for food, the use of chemical fertilizers has increased sharply. A high level of dependence on chemical fertilizers, cause imbalance of elements and nutrients in the soil, reduce the yield of agricultural products and endanger the health of humans and other living organisms. For this reason, the application of biofertilizers has been considered to achieve sustainable development in agriculture. Biofertilizers are living microbes that enhance plant nutrition by either by mobilizing or increasing nutrient availability in soils. Various microbial taxa including beneficial bacteria and fungi are

currently used as biofertilizers. In this study, the most important microorganisms used in biofertilizers such as nitrogen fixing, phosphorus solubilizing, phosphorus mobilizing, potassium solubilizing, potassium mobilizing, plant growth promoting and mycorrhiza fungi and their mechanism of action in increasing the uptake of nutrients to the plant will be introduced.

Keywords: Biofertilizers, Microorganisms, Plant nutrition, Soil fertility

تاثیرکودهای ریزوبیومی و میکوریزا در افزایش عملکرد و کاهش مصرف کودهای نیتروژن در لوبیاچیتی

اکبر همتی [۱]

۱ -عضو هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران a.hemati@areeo.ac.ir

چکیده

جهت بررسی تاثیر تلقیح زادمایه حاوی ریزوبیوم و میکوریزا آربسکولار در عملکرد لوبیا چیتی اقدام به اجرای آزمایش تحقیقی ترویجی، طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در مزرعه یکی از کشاورزان شمال استان فارس گردید. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از : ۱- تلقیح بذر لوبیا با باکتری ریزوبیوم، ۲- تلقیح با زادمایه قارچ میکوریزا آربسکولار و ۳- تیمارشاهد(عدم تلقیح). در تیمار اول ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و در تیمارهای دوم و سوم ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار مصرف گردید. نتایج در سال اول نشان داد تیمارهای باکتری ریزوبیوم و قارچ‌های میکوریزا آربسکولار به‌ترتیب با عملکردهای ۱۰۲۸ و ۱۶۳۱ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمار شاهد ۵۶ و۱۴۷ درصد افزایش داشتند. در سال دوم نیز تیمارهای باکتری و قارچ با عملکرد۲۵۲۵ و ۳۲۵۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب ۱۵و ۴۸ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش عملکرد داشتند. این عملکردها در حالی بدست آمده که مقدار مصرف کود نیتروژن در تیمار اول نسبت به تیمارهای دوم و سوم۸۶ درصد کمتر بود. تیمارتلقیح قارچ میکوریزا آربوسکولار نسبت به سایر تیمارها، بیشترین تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک گیاه و وزن صد دانه را داشت. ارزیابی اقتصادی تیمارها نشان داد، تیمارهای حاوی ریزوبیوم و میکوریزا دارای مزیت اقتصادی بوده و تیمار قارچ میکوریزا بهتر ازسایر تیمارها بود.

واژگان کلیدی: باکتری ریزوبیوم، قارچ‌های میکوریزا، عملکرد، لوبیاچیتی

مقدمه

در بین حبوبات لوبیا بعد از نخود بیشترین سطح زیر کشت را دارد (Beebe et al, 2013). در ایران نیز سالانه ۱۰۰ تا۱۲۰ هزار هکتار لوبیا کشت می‌شود(احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). یکی از عوامل مهم افزایش عملکرد در لوبیا مدیریت تغذیه گیاه خصوصاً مصرف نیتروژن است. لوبیا توانایی تثبیت زیستی نیتروژن را داشته و در صورت شرایط مناسب قسمت اعظم نیاز نیتروژنی خود را از این طریق به‌دست می‌آورد(Giller, 1991). البته برای حصول حداکثر عملکرد باید از کودهای معدنی نیتروژن به عنوان مکمل استفاده نمود. اصولا کاربرد نیتروژن باید در حدی باشد که ممانعتی برای گره بندی ایجاد ننماید و بتواند بگونه تکمیلی نیاز ازتی گیاه را برآورده نماید. مقادیر زیاد فرم قابل جذب نیتروژن در خاک، با بازداشتن گره‌بندی سبب عدم پاسخ به مایه‌زنی می‌شود و در نتیجه درصد نیتروژنی که گیاه ازراه تثبیت بدست می‌آورد کاهش می‌یابد(Daba and Haile, 2000).

نقش قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در افزایش توانایی گیاهان میزبان در جذب عناصر غذایی که نسبتاً غیر متحرک هستند مانند فسفر و تعدادی از عناصر کم نیاز از مهمترین پیامدهای مفید شاخته شده قارچ‌های میکوریزی است (Cardoso and Kuyper, 2006). قارچ‌های میکوریز از طریق افزایش رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی در شرایط تنش کم آبی پایداری گیاه به خشکی را افزایش می‌دهند. در شرایط تنش کم آبی در اثر افزایش سطح ریشه و طول ریشه‌های میکوریزی هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه های گیاهان میکوریزی بهتر از گیاهان غیرمیکوریزی می باشد. در این حالت هدایت آبی دو تا سه برابر در واحد طول ریشه افزایش می‌یابد (Troehza,2003).

در راستای کشاورزی پایدار و کاهش مصرف کودهای شیمیایی، در این تحقیق در یک آزمایش تحقیقی ترویجی تاثیر استفاده از مایه‌ی تلقیح حاوی باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا آربسکولار بر عملکرد لوبیا چیتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت تحقیقی ترویجی در مزرعه یکی از کشاورزان استان فارس طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا گردید. برای این منظور قطعه زمینی به وسعت سه هکتار در نظر گرفته شد که به سه قسمت مساوی تقسیم گردید. در قطعه اول در زمان کاشت اقدام به تلقیح بذر لوبیا چیتی با دو کیلو مایه‌ی تلقیح باکتری ریزوبیوم(*Rhizobium leguminosarum* bv. *Phaseoli*) در هکتار گردید. درقطعه دوم از سالول تلقیح حاوی قارچ میکوریزا آربسکولار(مخلوط گونه‌های *Rhizophagus irregularis* و *Glomus mosseae*) تحت عنوان تجاری مایکوروت به مقدار یک لیتر در هکتار در زمان کاشت استفاده شد. در قطعه سوم به عنوان شاهد صرفا از کودهای شیمیایی بر اساس عرف منطقه استفاده گردید. مقدار مصرف کودهای نیتروژن در تیمار اول ۲۰ کیلو در هکتار به عنوان شروع کننده و در تیمارهای دوم و سوم ۱۵۰ کیلو در هکتار طی سه نوبت استفاده شد. سایر عناصر غذایی بر اساس آزمون خاک استفاده گردید.

از سال آزمایش یک نمونه مرکب خاک گرفته شد و خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و جمعیت باکتری بومی خاک اندازه گیری گردید. کلیه عملیات داشت و برداشت به صورت یکسان در تمام تیمارها توسط کشاورز انجام گردید. در زمان برداشت محصول، علاوه بر عملکرد، تعداد دانه در غلاف، تعداد غلاف در بوته، وزن خشک بوته و وزن صد دانه تیمارها تعیین گردید. به منظور تجزیه و تحلیل اقتصادی، با توجه به این که محاسبه هزینه‌های مشترک بین تیمارها، تأثیری بر نتایج تجزیه و تحلیل اقتصادی تیمارها به‌منظور تعیین مناسبترین تیمار از بعد اقتصادی نداشت، از تکنیک بودجه بندی جزئی[1] و معیار بازده ناخالص(GM)[2] که با کنار گذاشتن هزینه‌های مشترک بین تیمارها، از درآمدها و هزینه‌های متغیر بین تیمارها برای تجزیه و تحلیل بهره می‌گیرد، استفاده شد (سلطانی و نجفی، ۱۳۸۵).

نتایج و بحث

همان‌طور که در جدول یک مشاهده می‌شود، خاک سال آزمایش در مزرعه اول آهکی و شور بوده که از نظر اسیدیته در محدوده خنثی قرار دارد. از نظر عناصر غذایی، کربن آلی و فسفر آن کم و مقدار پتاسیم آن بیشتر از حد بحرانی است. در مزرعه دوم نیز خاک غیر شور و آهکی بود. مقدار کربن آلی و فسفر آن کمتر از حد بحرانی و مقدار پتاسیم آن در حد بحرانی است. حد بحرانی عناصر غذایی پتاسیم، فسفر، مس، منگنز، آهن، روی و بر در لوبیا به‌ترتیب برابر ۳۰۰، ۱۵، ۱، ۸، ۱۰، ۲ و ۱ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است(ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۴). مقدار ماده آلی هر دو مزرعه کمتر از یک درصد بود. بافت خاک نیز در هر دو مزرعه لوم رسی بود. فراوانی باکتری ریزوبیوم بومی همزیست لوبیا در نمونه‌های خاک سال‌های آزمایش برابر ۷۴۰ و ۹۶۰۰ باکتری در یک گرم خاک بود. فراوانی باکتری‌ها در خاک به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد لذا عدد استاندارد بین المللی برای آن ارایه نشده است. به عنوان مثال این عدد در استرالیا 10^9، در آفریقای جنوبی و نیوزلند $10^8 \times 1$ و در آمریکا و کانادا $10^6 \times 9/4$ سلول زنده در گرم خاک است(Athar,1998). با توجه به معیار های فوق فراوانی ریزوبیوم بومی در خاک‌های منطقه زیاد نبوده لذا به نظر می‌رسد برای داشتن یک همزیستی مناسب، مایه زنی لوبیا با این باکتری ضروری است.

جدول۱-خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک سال آزمایش

[1] Partial Budjeting
[2] Gross Margin

سال	هدایت الکتریکی dsm^{-1}	اسیدیته	مواد خنثی شونده	کربن آلی	فسفر	پتاسیم	شن	لای	رس	جمعیت باکتری بومی ریزوبیوم
			میلی گرم در کیلوگرم				درصد			سلول در گرم خاک
			درصد							
۱	۶/۴	۷/۴	۴۰	۰/۵	۵/۴	۳۴۸	۳۷/۴	۳۶/۲	۲۶/۴	$۷/۴\times۱۰^{۲}$
۲	۰/۴۷	۷/۷	۳۰	۰/۳	۵	۲۵۸	۴۰/۸	۲۷/۶	۳۱/۶	$۹/۶\times۱۰^{۳}$

تعداد دانه در غلاف :

همان‌طور که در جدول دو ملاحظه می‌شود درهر دو سال اجرای آزمایش، تیمار تلقیح قارچ میکوریزا آربوسکولار(گونه های *Rhizophagus irregularis* و *Glomus mosseae*) بیشترین تعداد دانه در غلاف را داشت. تیمارهای تلقیح باکتری ریزوبیوم (*Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*) سویه‌ی ۱۴۷ و شاهد از نظر تعداد دانه در غلاف در رده های دوم و سوم قرار دارند. در همین راستا گزارش شده که تلقیح توام دو گونه‌ی باکتری ریزوبیوم لگومینوزاروم بیوار فازئولی(سویه های ۱۷۷ و۱۶۶) باعث افزایش تعداد دانه در غلاف لوبیا چیتی شده است(همتی و همکاران، ۱۳۹۶). یکی از دلایل افزایش تعداد دانه در غلاف را، افزایش رشد و بلندی گیاه و تاخیر در پیری زودرس توسط باکتری‌های ریزوبیوم و قارچ میکوریزا گزارش شده است(Bresson, 2013). با طولانی تر شدن طول دوره رشد زایشی، مواد فتوسنتزی بیشتری تولید و در نتیجه گل‌های بیشتری در گیاه تشکیل می‌شود، تشکیل گل‌های بیشتر به معنی تشکیل غلاف‌های بارور و تولید دانه بیشتر است(امیری ده احمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

تعداد غلاف در بوته:

در این آزمایش مشاهده شد استفاده از باکتری ریزوبیوم(*Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*) سویه‌ی ۱۴۷و قارچ‌های میکوریزا (مخلوط گونه‌های *Rhizophagus irregularis* و *Glomus mosseae*) در لوبیا باعث افزایش تعداد غلاف در بوته نسبت به عدم استفاده آنها(تیمار شاهد) شده است(جدول۲). در سال اول، تیمارتلقیح بذر لوبیا با قارچ میکوریزا آربسکولار با متوسط ۶/۳ غلاف در بوته بیشترین و تیمار شاهد با ۵/۸ غلاف در بوته کمترین تعداد غلاف در بوته را داشتند. در سال دوم نیز روند تعداد غلاف در بوته بین تیمارها مشابه سال اول بود. تیمار تلقیح قارچ بیشترین تعداد غلاف (۱۱/۳) و تیمار شاهد کمترین تعداد غلاف(۶/۹) را داشتند(جدول۲) تعداد غلاف در بوته یکی از فاکتور های مهم در عملکرد است. گزارش شده صفت تعداد غلاف در بوته به تنهایی۳۰/۴ درصد از تغییرات عملکرد لوبیا را در شرایط تنش و غیر تنش خشکی به خود اختصاص داده است(دشتکی و همکاران، ۱۳۹۴). به نظر می رسد باکتری‌های ریزوبیوم اثر مثبت بر تشکیل پرچم و دانه گرده داشته، لذا با توجه به اینکه فعالیت پرچم در گیاهان خودگرده افشان به طور طبیعی بالاست، در نتیجه گل‌ها به خوبی بارور شده و تعداد غلاف بیشتری در گیاه تولید می‌شود(Saini and Westgate,2000). گزارش شده که کودهای زیستی خصوصاً قارچ میکوریزا به دلیل توانایی در حلالیت و افزایش جذب فسفر ناسالول موجود در خاک، در مرحله زایشی و باروری گیاه منجر به تشکیل تعداد بیشتر گل در گیاه می‌شوند(محسن آبادی و همکاران، ۱۳۹۴).

جدول ۲- تاثیرتیمارهای آزمایش در عملکرد و برخی از اجزای عملکرد لوبیا چیتی در دو سال آزمایش

ردیف	تیمار	تعداد دانه در غلاف	تعداد غلاف در بوته	وزن خشک بوته gm^{-2}	وزن صد دانه g	عملکرد دانه $kgha^{-1}$

		سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم	سال اول	سال دوم
۱	تلقیح بذر با باکتری ریزوبیوم	۳/۲	۳/۵	۶/۳	۷/۵	۵۸۰	۶۲۵	۳۷	۴۳	۱۰۲۸	۲۵۲۵
۲	تلقیح بذر با قارچ میکوریزا آربسکولار	۳/۸	۴/۳	۶/۶	۱۱/۳	۹۳۰	۷۷۰	۳۸	۴۴	۱۶۳۱	۳۲۵۰
۳	شاهد(عدم تلقیح)	۲/۳	۳/۱	۵/۸	۶/۹	۴۹۰	۵۴۰	۳۲	۴۲	۶۶۰	۲۲۰۰

وزن خشک بوته در واحد سطح:

وزن خشک گیاه ارتباط مستقیمی با عملکرد آن دارد به طوری که با افزایش رشد رویشی ، جذب رطوبت و عناصر غذایی در گیاه افزایش یافته و به تبع آن وزن دانه و عملکرد تولید دانه در گیاه افزایش خواهد یافت. در این آزمایش مشاهده شد که تلقیح بذر لوبیا با قارچ میکوریزا بیشترین مقدار وزن خشک گیاه در واحد سطح را در هر دو سال تولید نمود. همچنین در هر دو سال، تاثیر تلقیح باکتری ریزوبیوم و قارچ میکوریزا در افزایش وزن خشک نیز بیشتر از تیمار شاهد بود(جدول۲). لذا بر اساس این نتایج می‌توان گفت: استفاده از قارچ میکوریزا آربسکولار و یا باکتری ریزوبیوم باعث افزایش وزن خشک بوته لوبیاچیتی خواهد شد. در خصوص تاثیر باکتری‌های ریزوبیوم در افزایش وزن خشک گیاه گزارش‌های متعددی منتشرشده است(صابری و همکاران، ۱۳۹۴، Turan et al, 2010). قارچ‌های میکوریزا نیز از طریق توسعه ریشه باعث افزایش رشد گیاه و وزن خشک آن می‌شوند.گزارش شده توسعه بیشتر ریشه‌ها به جذب بیشتر آب و مواد غذایی و افزایش رشد منجر گردیده است(Rahbarian, 2011).

وزن صد دانه:

نتایج این آزمایش نشان داد بیشترین مقدار وزن صد دانه در هر دو سال در تیمار تلقیح قارچ میکوریزا بود. درسال اول، بیشترین مقدار وزن صد دانه به میزان ۳۸ گرم در تیمارتلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار بود. وزن صد دانه در تیمارهای باکتری ریزوبیوم و شاهد به ترتیب برابر ۳۷ و ۳۲ گرم بود. در سالدوم نیز مقدار وزن صد دانه در تیمارهای ریزوبیوم، قارچ میکوریزا و شاهد به‌ترتیب برابر ۴۳، ۴۴ و ۴۲ گرم بود(جدول۲). در خصوص تاثیر باکتری های ریزوبیوم و قارچ‌های میکوریزا بر افزایش وزن صد دانه، گزارش شده که این ریز جانداران، با طولانی‌تر نمودن دوره پرشدن دانه، سبب می‌شوند مواد فتوسنتزی بیشتری به سمت دانه‌ها هدایت شود که این امر افزایش وزن دانه را در پی‌خواهد داشت(امیری و همکاران، ۱۳۹۴).

عملکرد دانه:

همان طور که در جدول دو ملاحظه می‌شود بیشترین مقدار عملکرد دانه در هر دو سال آزمایش متعلق به تیمار قارچ میکوریزا آربسکولار بود. مقدار عملکرد این تیمار در سال اول ۱۶۳۱ و درسال دوم نیز، ۳۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. این مقدار عملکرد نسبت به تیمار شاهد در سال اول۱۴۷ و در سال دوم ۴۷ درصد افزایش داشت. تیمار باکتری ریزوبیوم با عملکردهای ۱۰۲۸ و ۲۵۲۵کیلوگرم در هکتار نیز نسبت به عملکرد تیمار شاهد در سال اول ۵۶ درصد و در سال دوم ۱۵درصد افزایش داشت. افزایش عملکرد لوبیا توسط باکتری های ریزوبیومی توسط پژوهش‌گران متعددی گزارش شده است(Hemmati and Feizian, 2014 ، Suarez et al, 2008). نتایج این آزمایش نشان داد در هر دو سال اجرای آزمایش تاثیر تیمار قارچ میکوریزا در افزایش عملکرد بیشتر از تیمارهای باکتری ریزوبیوم و شاهد(عدم تلقیح) بود(جدول۲). یکی از دلایل این امر، کمبود مقدار فسفر خاک(جدول۱) و تاثیر قارچ میکوریزا در انحلال و دسترسی بیشتر فسفر خاک برای گیاه می‌باشد(جدول۱). گزارش شده قارچ‌های میکوریزا با افزایش جذب آب و عناصر غذایی خصوصاً فسفر، افزایش رشد و عملکرد لوبیا را در پی خواهند داشت(Bi, 2003).

ارزیابی کودهای مصرفی در تیمارهای آزمایش:

بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول۱)، به علت بالا بودن مقدار پتاسیم قابل دسترس، از مصرف کود پتاسیم در تمام تیمارها خودداری گردید. حد بحرانی پتاسیم خاک در لوبیا برابر۱۹۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است(زارع نیا و همکاران، ۱۳۹۰). بر اساس نتایج آزمون خاک، از آنجا که مقدار فسفر قابل دسترس کمتر از حد بحرانی برای لوبیا بود(جدول۱)، مقدار ۱۵۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل در هکتار به صورت یکنواخت مصرف گردید. حدبحرانی فسفر برای لوبیا بین ۱۳ تا ۱۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است(خودشناس و دادیور، ۱۳۸۶). در خصوص کود نیتروژن، در تیمار اول که از باکتری ریزوبیوم استفاده شده بود فقط ۲۰ کیلو کود نیتروژن از منبع اوره در زمان کاشت به عنوان شروع کننده(Starter) استفاده شد. در تیمارهای دوم و سوم طبق عرف منطقه ۱۵۰ کیلو نیتروژن در هکتار طی سه مرحله(یک سوم زمان کاشت، یک سوم قبل از گل‌دهی و یک سوم بعد از گل‌دهی) از منبع اوره مصرف گردید. به عبارت دیگر مصرف کود اوره در تیمار اول ۸۶/۵ درصد کمتر از تیمارهای قارچ و عدم تلقیح(شاهد) بود. کاهش مصرف کودهای نیتروژن در دراز مدت باعث عدم آلودگی منابع آب و خاک و تولید محصول سالم شده که در راستای کشاورزی پایدار می‌باشد.

نتایج ارزیابی اقتصادی تیمارهای آزمایش:

در این پروژه از نظر ارزیابی اقتصادی، به بررسی اطلاعات مربوط به درآمدها، هزینه ها، بازده ناخالص و تغییرات آن در تیمارهای مختلف پرداخته شده است. بر اساس اطلاعات جدول (۳)، تیمار دوم، بیشترین هزینه را در بین تیمارهای مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. از طرف دیگر، این تیمار سطح درآمدی بالاتری را نسبت به سایر تیمارها داشته است. بر این اساس، تیمار یاد شده دارای بازده ناخالص بیشتری در بین تیمارها می‌باشد. به‌طوری که نرخ تغییرات آن نسبت به تیمار شاهد در سال اول بیش از ۱۵۰ درصد گردیده است. لازم به ذکر است که تیمار اول نیز نسبت به تیمار شاهد از بازده ناخالص بیشتری برخوردار بود و استفاده از کود زیستی ریزوبیوم موجب افزایش ۵۷/۲۲ درصد بازده ناخالص درسال اول شده است. بر این اساس، در یک جمع بندی کلی از بعد اقتصادی موارد زیر قابل استباط می‌باشد:

۱-استفاده از کودهای زیستی در زراعت لوبیا موجب افزایش بازده ناخالص شده است. بر این اساس، استفاده از کودهای زیستی در مزارع لوبیا توصیه می‌گردد.

۲-استفاده از کود زیستی قارچ میکوریزا در زراعت لوبیا نسبت به کود زیستی ریزوبیوم از مزیت اقتصادی بالاتری برخوردار است.

جدول۳- وضعیت درآمدها و هزینه های متغیر بین تیمارهای مورد مطالعه

تیمار		سال - های آزمایش	هزینه کود شیمیایی (ریال در هکتار)	هزینه کود زیستی (ریال در هکتار)	کل هزینه متغیر بین تیمارها (ریال در هکتار)	درآمد کل (ریال در هکتار)	بازده ناخالص (ریال در هکتار)	تغییرات بازده ناخالص (ریال در هکتار)	نرخ تغییرات (درصد)	رتبه در سال
۱	کود زیستی ریزوبیوم		۵۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰۰	۱۵۴۲۰۰۰۰۰	۱۵۲۲۰۰۰۰۰	۵۵۷۰۰۰۰۰	۵۷/۲۲	۲
۲	کود زیستی قارچ میکوریزا	سال اول	۲۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۲۴۴۶۵۰۰۰۰	۲۴۱۶۵۰۰۰۰	۱۴۵۱۵۰۰۰۰	۱۵۰/۴۱	۱
۳	شاهد(بدون کود زیستی)		۲۵۰۰۰۰۰	۰	۲۵۰۰۰۰۰	۹۹۰۰۰۰۰۰	۹۶۵۰۰۰۰۰	۰	۰	۳

۱	کود زیستی ریزوبیوم	سال دوم	۵۰۰۰۰۰	۱۵۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰۰۰	۳۷۸۷۵۰۰۰۰	۳۷۶۷۵۰۰۰۰	۴۹۲۵۰۰۰۰	۱۵/۰۴	۲
۲	کود زیستی قارچ میکوریزا		۲۵۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰۰	۴۸۷۵۰۰۰۰۰	۴۸۴۵۰۰۰۰۰	۱۵۷۰۰۰۰۰۰	۴۷/۹۴	۱
۳	شاهد(بدون کود زیستی)		۲۵۰۰۰۰۰	۰	۲۵۰۰۰۰۰	۳۳۰۰۰۰۰۰۰	۳۲۷۵۰۰۰۰۰	۰	۰	۳

نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان داد گرچه تلقیح قارچ میکوریزا تاثیر بیشتری نسبت به تلقیح باکتری ریزوبیوم بر افزایش عملکرد لوبیا داشت، ولی در عین حال تاثیر هر دو تیمار بر عملکرد لوبیا بیشتراز تیمار شاهد(بدون باکتری و قارچ) بود. لذا بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان توصیه نمود در زراعت لوبیا چیتی در زمان کشت، نسبت به تلقیح بذر با زادمایه پودری باکتری ریزوبیوم به مقدار دوکیلو گرم در هکتار و زادمایه‌ی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار به مقدار یک لیتر در هکتار، همراه با مصرف ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار اقدام گردد.

فهرست منابع

- احمدی، کریم، حمید رضا عبادزاده، هلدا عبدشاه، آرزو کاظمیان و مریم رفیعی. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی، جلد اول، محصولات زراعی. وزارت جهادکشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۱۲۴ص.
- امیری ده احمدی، سید رضا، مهدی پارسا و علی گنجعلی. ۱۳۸۹. کاربرد تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژی بر ویژگی های ریخت شناسیک و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط گلخانه مجله پژوهش های زراعی ایران، ۸ (۱)، صفحات۱۶۶-۱۵۷.
- خودشناس،محمد علی و مسعود دادیور. ۱۳۸۶. بررسی وضعیت پراکنش فسفر خاکهای زیر کشت لوبیا در استان مرکزی . دومین همایش ملی حبوبات ایران. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات تهران. ۱۵-۱۴ آذر.تهران.ص۳۹.
- دشتکی، محمد، محمد علی پوریا مچی و محمد رضا بی همتا. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر تنش رطوبتی آخر فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ های لوبیا در شرایط مزرعه. نشریهٔ پژوهش های حبوبات ایران، ۶ (۲)، صفحات ۱۲۲-۱۰۹.
- زارع نیا، میلاد، علیرضا حسین پور ، محمود رضا تدین و شهرام کیانی.۱۳۹۰. ارزیابی عصاره گیری های مختلف برای تعیین پتاسیم قابل استفاده لوبیا چیتی در برخی از خاک های استان چهار محال و بختیاری، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، ص.۶.
- سلطانی، غلامرضا و نجفی سید بهادالدین. ۱۳۸۵. اقتصاد کشاورزی. ویرایش سوم. چاپ اول. مرکز نشر دانشگاهی. تهران.
-محسن آبادی، غلامرضا، حسان صابری، مجید مجیدیان و سید محمد رضا احتشامی. ۱۳۹۴. کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا در شرایط آب و هوایی شهرستان رشت. نشریهٔ پژوهش های حبوبات ایران، ۶ (۱)، صفحات ۳۱-۲۱.
- ملکوتی،محمد جعفر، فرهاد مشیری، محمد نبی غیبی. ۱۳۸۴. حد مطلوب غلظت عناصر غذایی در خاک و برخی از محصولات زراعی و باغی، نشریه فنی شماره ۴۰۶ موسسه تحقیقات خاک و آب، انتشارات سنا، تهران، ایران. ۲۰ص.
-همتی، اکبر، محمد فیضیان، هادی اسدی رحمانی و خسرو عزیزی. ۱۳۹۶. اثرات باکتری های ریزوبیومی(*Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*) و قارچ های میکوریزآربسکولار(AMF) در جذب عناصر غذایی و عملکرد لوبیا چیتی در شرایط تنش خشکی. پایان نامه دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه لرستان، ۱۶۳ص.

-Athar, M. 1998. Drought tolerance by lentil rhizobia (*Rhizobium Leguminosarum*) for arid and semiarid areas in Pakistan. Microbiology, 26, 38-42.

-Bi, Y. L., X. L. Li and Christie, A. P., 2003. Influence of early stages of arbuscular mycorrhiza on uptake of zinc and phosphorus by red clover from a low phosphorus soil amended with zinc and phosphorus. Chemosphere 50:831–837.

-Bresson, J., F. Varoquaux, T. Bontpart, B. Touraine and D. Vile. 2013. The PGPR strain *Phyllobacterium brassicacearum STM196* induces a reproductive delay and physiological changes that result in improved drought tolerance in Arabidopsis. New Phytologist, 200: 558–569.

-Cardoso, IM. And TW. Kuyper. 2006. Mycorrhizals and tropical soil fertility. Agri. Ecosys. Environ. 116: 72-84.

-Daba, S. and M. Haile. 2000. Effect of rhizobia inoculants and nitrogen fertilizer on yield and nodulation of common bean. Journal of Plant Nutrition, 23:581-591.

-Giller, K. E., and K.J. Wilson. 1991. "Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems". C. A. B International UK.

-Hemmati, A., and M. Feizian. 2014. Improvement of drought tolerance and grain yield in common bean by Rhizobium strains. 9" International Soil Science Congress on "The Soul of Soil and Civilization", 14-16 October, 2014, Side, Antalya, Turkey.

-Rahbarian, R., R.A. Khavari-nejad, A. Ganjeali, A.R. Bagheri and F. Najafi. 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. ACTA Biological Cracoviensia Series Botanica 53: 47-56.

-Saini, H. S. and M.E. Westgate. 2000. Reoroductive development in grain crops during drought. Advances in Agronomy 68: 59-95.

-Troehza loynachan, T. E. 2003. Endomycorrhizal fungi survival in continuous corn, soybean and fallow. Agronomy Journal. 95(1): 224-23.

-Turan, M., M. Gulluce, R. Cakmakci, T. Oztas and F. Sahin. 2010. The effect of PGPR strain on wheat yield and quality parameters. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. www. cabdirect. org/abstracts/20113309723. Htm.

-Wang, B. andY.L. Qiu. 2006. Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizals in land plants. Mycorrhizal 16: 299-363.

-Wang, W., Vinocur, B., and Altman, A., 2003. Plants responses to drough, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, Heidelberg 218 (l): 1-14.

بررسی عملکرد باکتری *باسیلوس سرئوس* ATHH39 تجزیه‌کننده تولوئن به صورت آزاد و تثبیت شده بر روی نانولوله کربنی

فاطمه حیدرنژاد[1*]، مهران هودجی[2]، مهدی شهریاری نور[3]، آرزو طهمورث پور[4]

۱- دکتری خاکشناسی گرایش بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان(خوراسگان)، Email:fatemehheydarnezhad@yahoo.com

۲- استاد گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان(خوراسگان)

۳- استادیار گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت

۴- دانشیار گروه علوم پایه پزشکی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان(خوراسگان)

چکیده

این تحقیق به منظور تثبیت باکتری تجزیه‌کننده تولوئن به‌وسیله نانولوله‌کربنی به عنوان راه حلی برای مشکل جداسازی و امکان استفاده مجدد اجرا گردید. ابتدا اقدام به عامل‌دار کردن نانولوله‌کربنی چندجداره (MWCNTs) و سپس اقدام به تثبیت باکتری به‌وسیله نانولوله‌کربنی گردید. بهینه‌سازی درصد تجزیه تولوئن با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) صورت گرفت. برای حصول اطمینان از استقرار باکتری و تعیین گروه‌های عامل در سطح نانولوله‌کربنی از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌بینی مادون قرمز (FTIR) استفاده شد. طرح آماری RSM در شرایط بهینه pH، دمای انکوباسیون و غلظت اولیه تولوئن راندمان تجزیه حدود ۶۵/۸۵ درصد پیش‌بینی نمود و راندمان تجزیه ۶۴/۱۱ درصدی تولوئن در شرایط بهینه حاصل شد. همچنین راندمان تجزیه ۹۵/۲۱ درصد توسط باکتری تثبیت‌شده با نانولوله‌کربنی در شرایط بهینه حاصل شد. با توجه به نتایج می‌توان دریافت که باکتری تثبیت‌شده توسط نانولوله‌کربنی روشی مناسب و دوستدار محیط زیست برای پاک‌سازی آلاینده‌های هیدروکربنی آروماتیک است.

واژگان کلیدی: بهینه‌سازی، تثبیت، روش سطح پاسخ، نانولوله کربنی.

مقدمه

مدتهاست که مواد نفتی و مشتقات آن در اثر حمل و نقل یا ذخیره‌سازی موجب آلودگی آب و خاک می‌شوند (Abd-Elsalam *et al.* 2009). در این میان هیدروکربن‌های مونوآروماتیک (بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و ایزومرهای زایلن)، موجود در بسیاری از فرآورده‌های نفتی، از جمله تولوئن تهدیدی برای سلامت و محیط زیست محسوب می‌شوند (Singh *et al.* 2009). با توجه به اثرات سمی و سرطان‌زایی تولوئن و ورود آن به آب‌های آزاد و زیرزمینی که زندگی آبزیان، انسان و سایر موجودات را تهدید می‌کند، ضرورت جداسازی میکروارگانیسم‌هایی که قادر به تجزیه زیستی این ترکیب هستند، مشخص می‌شود. به علت آن که اصلاحات ژنتیکی و بهبود فعالیت باکتری، قادر به حل مشکل امکان استفاده مجدد از سلول‌ها در فرآیند توسعه صنعتی نیست، تثبیت‌کردن سلول‌ها به عنوان راهی برای حل مشکل جداسازی میکروارگانیسم و امکان استفاده مجدد از آن، در چند سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است. تثبیت‌کردن سلول‌ها باعث پایداری و مقاومت بیشتر آن‌ها در برابر نوسانات محیطی (مثل مواد سمی، دما، pH) نسبت به سلول‌های آزاد می‌شود (Dursun and Tepe 2005). در سال‌های اخیر به استفاده از مواد نانو به عنوان جاذب و تجزیه‌کننده مواد سمی و مضر از پساب‌ها و هوا توجه زیادی شده است (Yang *et al.* 2006؛ Li *et al.* 2005). مقایسه جاذب‌های مختلف نشان می‌دهد که نانولوله‌های‌کربنی نسبت به سایر جاذب‌ها در حذف ترکیبات آلی و حفاظت از محیط زیست پتانسیل بیشتری دارند (Aivalioti *et al.* 2010؛ Wang *et al.*

2008). ظرفیت جذب بالای نانولوله‌های‌کربنی در حذف آلاینده‌های آلی به علت ساختار متخلخـــــل این نانولوله‌ها و وجود مقادیر زیادی از گروه‌هـــای عامـــل سطحی در آن‌هـــا است. مکانیسم جذب تولوئن توسط نانولوله‌های کربنی عمدتاً ناشی از واکنش بینابینی گیرندگی الکترون و دهندگی الکترون بین حلقه آروماتیک تولوئن و گروه‌های کربوکسیلیک سطحی موجود برروی نانولوله‌های‌کربنی است (Lu *et al.* 2008؛ DE Mello *et al.* 2010).

در این مطالعه بر آن هستیم تا از طریق باکتری‌های مقاوم به تولوئن تثبیت شده توسط نانولوله کربنی، آن را به یـک فیلتـر مناسب برای حذف تولوئن تبدیل نمائیم.

مواد و روش‌ها

طراحی آزمایش

هنگامی که عوامل و روابط زیادی روی متغیر پاسخ تأثیر داشته باشند، روش سـطح پاسخ[1] یکی از ابزارهای موثری است که با کمترین منابع و داده‌های کمی، و با طرح آزمایشی مناسب همزمان چندین متغیر را تعیین می‌کند (Myers *et al.* 2016). طرحی مرکب از ۳ متغیر مستقل pH، دمای انکوباسیون و غلظت اولیه تولوئن تشکیل گردید. برای هر فاکتور نسبت به صفر مقادیری تعیین گردید که به آن‌ها مقادیر کد شده اتلاق می‌گردد. با استفاده از این ۳ فاکتور و ۵ سطح کد شـده ($+\alpha$، ۱ +، ۰ ، ۱ -، $-\alpha$)، با استفاده از نرم افزار Design-Expert 7.1 ۲۰ آزمـایش طراحـی گردیـد (جـداول ۱ و ۲). هدف بهینه‌کردن متغیر پاسخ به‌گونه‌ای است که رابطه درستی بین متغیرهای مستقل (pH، دمای انکوباسیون و غلظت اولیه تولـوئن) و متغیر پاسخ (درصد تجزیه تولوئن) برقرار شود.

جدول ۱- سطوح پارامترهای مورد مطالعه در طرح سطح پاسخ (RSM)

متغیر	واحد	سطوح کد شده متغیر				
		$-\alpha$	-۱	۰	۱	$+\alpha$
pH		۵/۳۲	۶	۷	۸	۸/۶۸
دمای انکوباسیون	°C	۲۱/۵۹	۲۵	۳۰	۳۵	۳۸/۴۱
غلظت اولیه تولوئن	$mg.l^{-1}$	۱۹۵/۴۶	۴۰۰	۷۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۴/۵۴

بررسی تجزیه تولوئن در شرایط آزمایشگاهی

غلظتی معادل با ۰/۵ مک فارلند از باکتری *باسیلوس سرئوس*[2] سویه ATHH39 در محیط کشت اختصاصی[3] (MSM) شامل: ۴ گرم $NaNO_3$، ۱/۵ گرم KH_2PO_4، ۰/۵ گرم Na_2HPO_4، ۰/۲ گرم $MgSO_4.7H_2O$، ۰/۰۰۱۱ گرم $FeSO_4.H_2O$، ۰/۰۱ گرم $CaCl_2$، حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تولوئن تهیه گردید. ۱۰ میکرولیتر از آن بـه ۱۰ میلـی‌لیتـر محـیط کشـت MSM مایع تلقیح گردید مقادیر مختلف pH، دمای انکوباسیون و غلظت اولیه تولوئن بر طبق جدول ۲ تنظیم شد و به مدت ۲۴ ساعت و با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه انکوبه شد. سپس نمونه‌ها بـا سـرعت 6000 g و بـه مـدت ۲۰ دقیقـه سـانتریفیوژ گردید به مایع رویی ۱ میلی‌لیتر هگزان اضافه و به شدت تکان داده شد تا تولوئن موجود در محیط کشت در آن حل گردید.

[1] Response Surface Methodology
[2] *Bacillus cereus*
[3] Minimal Salt Medium

در پایان از فاز رویی که حاوی هگزان و تولوئن بود برای اندازه‌گیری میزان تولوئن در طول موج ۲۶۲ نانومتر استفاده شد (Wang *et al.* 2008).

تعیین صحت مدل سطح پاسخ

برای حصول اطمینان از صحت شرایط بهینه پیش‌بینی شده توسط روش سطح پاسخ، پس از تعیین بهترین مقادیر (طی پیش‌بینی نرم افزار) تجزیه تولوئن توسط باکتری در شرایط بهینه بر طبق جدول ۳ مجدداً به طور تجربی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج حاصله با نتایج پیش‌بینی شده مورد مقایسه قرار گرفت.

عامل‌دار کردن نانولوله کربنی

نانولوله کربنی چندجداره[4] (MWCNT) از شرکت پیشگامان نانومواد ایرانیان در مشهد وارد کننده نانومواد از کمپانی آمریکاییUS Research Nanomaterials تهیه شد. قطر داخلی نانولوله کربنی ۱۰-۵ نانومتر، قطر خارجی ۳۰-۲۰ نانومتر، سطح ویژه ۱۱۰< مترمربع بر گرم و درجه خلوص بالای ۹۸ درصد می‌باشد. جهت عامل‌دار کردن نانولوله‌های کربنی، مقدار ۱ گرم از آن به ۶۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک (۱۵/۶ مولار) و اسید سولفوریک (۱۴/۸ مولار) (با نسبت حجمی ۳ به ۱)، اضافه و به مدت ۳ ساعت با استفاده از اولتراسونیک پراکنده‌سازی گردید (Zhang *et al.* 2011). سپس مخلوط را با صافی ۰/۴۵ میکرون نیترات سلولزی فیلتر کرده پس از آن، مواد اسیدی با عملیات شستشو با آب مقطر و استفاده از سانتریفوژ با سرعت ۹۰۰۰ دور دردقیقه خارج شد تا pH خنثی حاصل شود. در نهایت نانو لوله‌های عامل‌دار شده جمع‌آوری و در ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۲ ساعت در آون خشک گردید (Pan *et al.* 2007).

تجزیه تولوئن توسط باکتری تثبیت شده توسط نانولوله کربنی

سوسپانسیونی از نانولوله‌های کربنی کربوکسیله با مقدار ۰/۰۵ گرم در لیتر آب مقطر استریل تهیه شد. برای پخش بهتر نانولوله کربنی به مدت ۳۰ دقیقه اولتراسونیک گردید. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون نانولوله کربنی کربوکسیله به ۱۰ میلی‌لیتر MSM انتقال داده شد. شرایط بهینه pH، دمای انکوباسیون و غلظت اولیه تولوئن بر اساس جدول ۳ تنظیم گردید. بعد از انکوبه شدن در ۱۵۰ دور در دقیقه به مدت ۲۴ ساعت، در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید پس از عبور از صافی ۰/۴۵ میکرون نیترات سلولزی برای اندازه‌گیری میزان تولوئن در طول موج ۲۶۲ نانومتر با اسپکتروفتومتر استفاده شد.

آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف بینی مارون قرمز(FT IR)

برای حصول اطمینان از استقرار باکتری و تعیین گروه‌های عامل در سطح نانولوله‌کربنی از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌بینی مادون قرمز (FT IR) استفاده شد.

نتایج و بحث

بهینه‌سازی متغیرهای موثر بر تجزیه تولوئن با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)

به منظور بهینه‌سازی پارامترهای موثر بر تجزیه تولوئن از طراحی آزمایش‌ها با روش سطح پاسخ (RSM) استفاده گردید و سطوح بهینه هر پارامتر تعیین شد. آزمایش‌های بهینه طراحی شده RSM و تجزیه تولوئن به عنوان سطوح پاسخ در جدول ۲ آورده شده است. نتایج نشان داد که حداکثر میزان تجزیه تولوئن توسط باکتری *باسیلوس سرئوس* سویه ATHH39 در pH برابر ۷، دمای انکوباسیون ۳۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر تولوئن مشاهده گردید و تجزیه تولوئن معادل ۶۵/۵۴ درصد بوده است.

[4] Multiwalled Carbon Nanotube

جدول ۲- نتایج آزمایش‌های بهینه طراحی شده باکتری *باسیلوس سرئوس* سویه ATHH39 در RSM

شماره آزمایش	pH	دمای انکوباسیون (°C)	غلظت اولیه تولوئن ($mg.l^{-1}$)	تجزیه تولوئن(٪)	
				مقادیر تجربی	مقادیر پیش‌بینی شده
۱	۷	۳۰	۱۹۵/۴۶	۴۷/۴۴	۴۷/۰۲
۲	۶	۲۵	۴۰۰	۴۶/۳۲	۴۷/۴۷
۳	۸	۲۵	۴۰۰	۵۳/۰۶	۵۲/۲۹
۴	۶	۳۵	۴۰۰	۵۶/۶۳	۵۷/۲۵
۵	۸	۳۵	۴۰۰	۵۳/۲۴	۵۴/۲۶
۶	۷	۲۱/۵۹	۷۰۰	۵۴/۵۷	۵۴/۱۷
۷	۵/۳۲	۳۰	۷۰۰	۵۹/۸۹	۵۷/۸۳
۸	۷	۳۰	۷۰۰	۶۵/۴۶	۶۴/۸۰
۹	۷	۳۰	۷۰۰	۶۵/۵۳	۶۴/۸۰
۱۰	۷	۳۰	۷۰۰	۶۵/۵۴	۶۴/۸۰
۱۱	۷	۳۰	۷۰۰	۶۵/۳۳	۶۴/۸۰
۱۲	۷	۳۰	۷۰۰	۶۳/۲۲	۶۴/۸۰
۱۳	۷	۳۰	۷۰۰	۶۳/۳۱	۶۴/۸۰
۱۴	۸/۶۸	۳۰	۷۰۰	۶۴/۰۹	۶۳/۸۶
۱۵	۷	۳۸/۴۱	۷۰۰	۶۳/۴۴	۶۱/۵۳
۱۶	۶	۲۵	۱۰۰۰	۵۴/۷۷	۵۵/۳۷
۱۷	۸	۲۵	۱۰۰۰	۶۴/۵۳	۶۵/۵۳
۱۸	۶	۳۵	۱۰۰۰	۵۹/۷۵	۶۲/۱۵
۱۹	۸	۳۵	۱۰۰۰	۶۴/۰۳	۶۴/۵۱
۲۰	۷	۳۰	۱۲۰۴/۵۴	۶۴/۱۵	۶۲/۲۷

تجزیه زیستی تولوئن در شرایط بهینه pH، دمای انکوباسیون و غلظت اولیه تولوئن

بهینه سطوح متغیرهای مورد آزمایش برای حداکثر درصد تجزیه تولوئن براساس مدل رگرسیون به وسیله روش سطح پاسخ (RSM) پیش‌بینی شد. بهترین شرایط پیش‌بینی شده توسط باکتری در جدول ۳ آورده شده است. لذا آزمایشی بر این اساس انجام شد و درصد تجزیه تولوئن در شرایط واقعی تعیین گردید نتایج در جدول ۳ مشاهده می‌گردد.

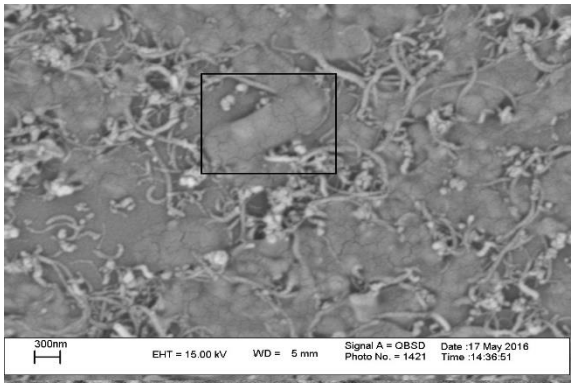
جدول ۳- شرایط بهینه تجزیه تولوئن پیش‌بینی شده توسط روش سطح پاسخ (RSM)

	pH	دمای انکوباسیون (°C)	غلظت اولیه تولوئن ($mg.l^{-1}$)	تجزیه تولوئن(٪)	
				مقدار تجربی	مقدار پیش‌بینی شده
Bacillus cereus ATHH39	۶/۷۲۰	۳۳/۱۶۰	۸۲۴/۱۵۰	۶۴/۱۱	۶۵/۸۵

بررسی عامل‌دار کردن نانولوله کربنی

تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی باکتری تثبیت شده توسط نانولوله کربنی

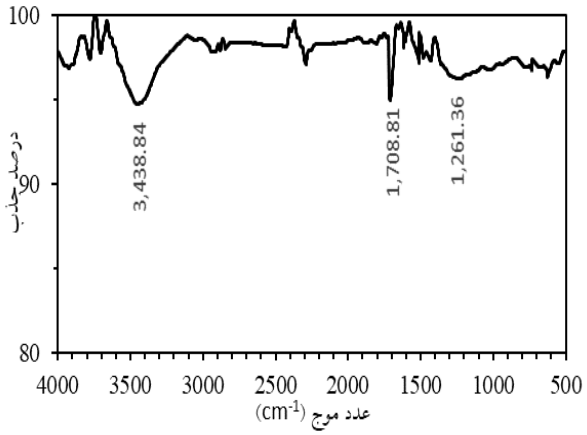
باکتری تثبیت شده توسط نانولوله کربنی را در شرایط ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تولوئن توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مشاهده گردید. شکل ۱ نشان می‌دهد که سلول‌های باکتری در میان نانولوله به دام افتاده است که می‌توان آن را با توجه به فعل و انفعالات سلول‌های باکتری با سطوح خارجی نانولوله دانست. همچنین هیچ تغییر مهمی در مرفولوژی سلول‌های باکتریایی پس از انکوباسیون توسط نانولوله کربنی وجود نداشت. تصاویر SEM نشان می‌دهد که خوشه‌های نانولوله کربنی بدون هیچ آسیبی به دیواره سلولی باکتری می‌چسبند. عدم تغییر ساختار باکتری تثبیت شده توسط نانولوله کربنی پس از جذب تولوئن در این تحقیق از مزایای روش اصلاحی به کار برده شده است که در سایر تحقیقات (Kolangikhah *et al.* 2012) نیز به آن اشاره شده است.



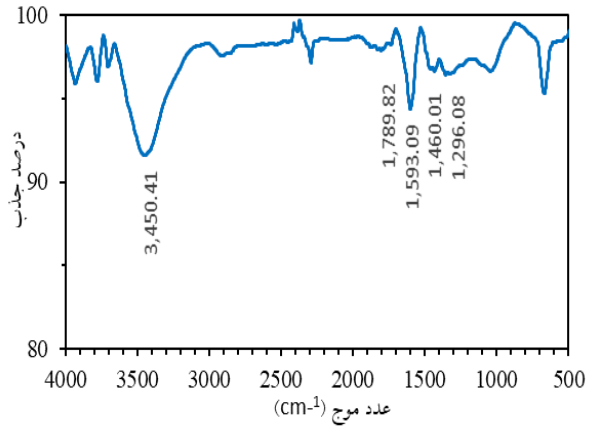
شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانولوله کربنی/ باکتری *باسیلوس سرئوس* سویه ATHH39

طیف‌بینی مادون قرمز به روش فوریر (FT IR)

شکل ۲ و ۳ طیف IR نانولوله‌کربنی و نانولوله‌کربنی/ باکتری *باسیلوس سرئوس* سویه ATHH39 را در حضور ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تولوئن نشان می‌دهد. مقایسه طیف نانولوله‌کربنی/ باکتری *باسیلوس سرئوس* سویه ATHH39 (شکل ۳) با طیف نانولوله‌کربنی فاقد باکتری (شکل۲) حاکی از ظهور یک باند در ناحیه ۱۲۳۸/۲۱ Cm^{-1} است که احتمالاً مربوط به ارتعاشات باند C-N و همچنین ارتعاشات باند C-H گروه عامل متیل ترشح شده توسط باکتری بوده است.



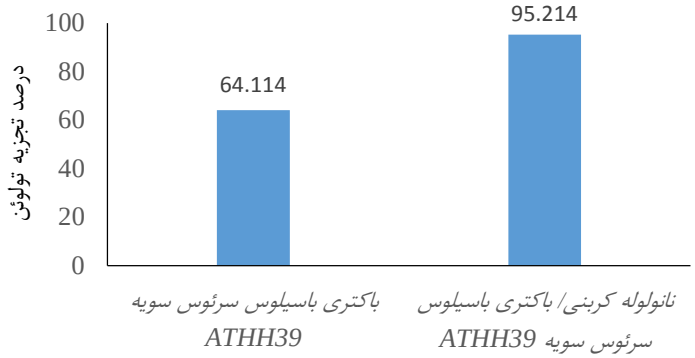
شکل ۲- آنالیز FT IR نانولوله‌های کربنی با عامل کربوکسیلیک



شکل ۳- طیف مادون قرمز نانولوله کربنی/ باکتری *باسیلوس سرئوس* سویه ATHH39

راندمان تجزیه تولوئن در شرایط بهینه توسط باکتری تثبیت شده توسط نانولوله کربنی

حذف ۸۲۴/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر تولوئن به‌وسیله سلول‌های آزاد و تثبیت شده *باسیلوس سرئوس* سویه ATHH39 با مقادیر مختلف نانولوله‌کربنی تحت شرایط بهینه pH ۶/۷۲ و دمای انکوباسیون ۳۳/۱۶ درجه سانتی‌گراد طی مدت ۲۴ ساعت و ۱۵۰ دور در دقیقه انکوباسیون صورت گرفت. نتایج مقایسه راندمان تجزیه تولوئن توسط باکتری و باکتری تثبیت شده توسط نانولوله‌کربنی در شکل۴ در شرایط بهینه pH، دمای انکوباسیون، غلظت اولیه تولوئن و مقدار نانولوله‌کربنی ارائه شده است. تولوئن، در pH برابر۶/۷۲، درجه حرارت ۳۳/۱۶ درجه سانتی‌گراد و غلظت اولیه ۸۲۴/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر، ۶۴/۱۱٪ توسط سلول‌های آزاد و ۹۵/۲۱٪ توسط سلول‌های تثبیت شده *باسیلوس سرئوس* سویه ATHH39 تجزیه گردید. مقایسه راندمان تجزیه تولوئن توسط باکتری و باکتری تثبیت شده توسط نانولوله‌کربنی نشان می‌دهد که راندمان تجزیه توسط باکتری تثبیت شده توسط نانولوله کربنی بیشتر است.



شکل ۴- مقایسه درصد حذف تولوئن توسط سلول‌های آزاد و سلول‌های تثبیت شده *باسیلوس سرئوس* ATHH39 توسط نانولوله کربنی

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که هر دو روش کاربرد باکتری و نانولوله کربنی/ باکتری از کارآیی قابل توجهی برخوردار می‌باشد. با مشاهده افزایش کارآیی تجزیه تولوئن در سیستم حاوی نانولوله کربنی/ باکتری (۹۵/۲۱٪) نسبت به شرایط حضور باکتری (۶۴/۱۱٪) به تنهایی می‌توان نتیجه‌گرفت که نانولوله کربنی/ باکتری تاثیر قابل توجهی در افزایش کارآیی تجزیه تولوئن دارد.

فهرست منابع

Abd-Elsalam, H.E., Hafez, E.E., Hussain, A.A., Amany, G.A., Hanafy, A.A. (2009). Isolation and identification of three-ring polyaromatic hydrocarbons (anthrancene and phenanthrene) degrading bacteria. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 5(1), 31-38.

Aivalioti, M., Vamvasakis, I., Gidarakos, E. (2010). BTEX and MTBE adsorption onto raw and thermally modified diatomite. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1), 136-143.

DE Mello, J.M., De Lima Brandao, H., De Souza, A.A., Da Silva, A., Ulson, S.M. (2010). Biodegradation of BTEX compounds in a biofilm reactor-modeling and simulation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 70(1), 131-139.

Dursun, A.Y. and Tepe, O. (2005). Internal mass transfer effect on biodegradation of phenol by ca-alginate immobilized *Ralstonia eutropha*. *Journal of Hazardous Materials*, 126(1), 105-111.

Kolangikhah, M., Maghrebi, M., Ghazvini, K., Farhadian, N. (2012). Separation of *Salmonella typhimurium* bacteria from water using MWCNTs arrays. *International Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 8(1), 3-10.

Li, Y.H., Di, Z.C., Ding, J., Wu, D., Luan, Z., Zhu Y. (2005). Adsorption thermodynamic, kinetic and desorption studies of Pb^{2+} on carbon nanotubes. *Water Research*, 39(4), 605-609.

Lu, C., Su, F., Hu, S. (2008). Surface modification of carbon nanotubes for enhancing BTEX adsorption from aqueous solutions. *Applied Surface Science*, 254(21), 7035-7041.

Myers, R.H., Montgomery, D.C., Anderson-Cook, C.M. (2016). Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. 4th edition. John Wiley and Sons.

Pan, X., Fan, Z., Chen, W., Ding, Y., Luo, H., Bao, X. (2007). Enhanced ethanol production inside carbon-nanotube reactors containing catalytic particles. *Nature Materials*, 6(7), 507-511.

Singh, A., Sar, P., Bennett, G.N. (2009). Isolation and characterization of benzene degrading bacteria from gasoline contaminated water. *Clean Technology*, 15, 286-289.

Wang, L., Qiao, N., Sun, F., Shao, Z. (2008). Isolation, gene detection and solvent tolerance of benzene, toluene and xylene degrading bacteria from nearshore surface water and Pacific Ocean sediment. *Extremophiles*, 12(3), 335-342.

Yang, K., Wang, X., Zhu, L., Xing, B. (2006). Competitive sorption of pyrene, phenanthrene, and naphthalene on multiwalled carbon nanotubes. *Environmental Science and Technology*, 40(18), 5804-5810.

Zhang, L., Petersen, E.J., Huang, Q. (2011). Phase distribution of 14C-labeled multiwalled carbon nanotubes in aqueous systems containing model solids: Peat. *Environmental Science & Technology*, 45(4), 1356-1362.

Evaluation Performance of Toluene Degradation Bacteria *Bacillus cereus ATHH39* as free and Immobilized by Carbon Nanotubes

Fatemeh Heydarnezhad[1]*, Mehran Hoodaji[2], Mahdi Shahriarinour[3], Arezoo Tahmourespour[4]

1. Ph.D of Soil Biology and Biotechnology, Soil Science Department, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University.
2. Professor of Soil Science, Soil Science Department, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University.
3. Assistant Professor, Department of Microbiology, Rasht Branch, Islamic Azad University.
4. Associated Professor, Basic Medical Sciences Department, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University.

Abstract

This study was performed to immobilize toluene degrading bacteria by carbon nanotubes as a solution to the problem of isolation and reusability. First, multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) were activated and then bacteria were immobilized by carbon nanotubes. The toluene degradation percentage was optimized using the response surface methodology (RSM). Scanning electron microscopy (SEM) and infrared spectroscopy (FTIR) were used to ensure the establishment of bacteria and the determination of operating groups on the surface of carbon nanotubes. RSM statistical design in optimal conditions of pH, incubation temperature and initial concentration of toluene predicted degradation of about 65.85% and degradation of 64.11% of toluene was obtained in optimal conditions. Also, the toluene degradation of 95.21% was achieved by bacteria stabilized with carbon nanotubes under optimal conditions. According to the results, it can be seen that the bacteria stabilized by carbon nanotubes is a suitable and environmentally friendly method for cleaning aromatic hydrocarbon pollutants.

Keywords: Optimization, Immobilization, Response surface methodology, Carbon nanotubes.

ارزیابی توانایی انحلال پتاسیم توسط جدایه‌های باکتری جداسازی شده ریزوسفر برنج از شالیزارهای استان گیلان

مهدی بهشتی[۱]، حسینعلی علیخانی*[۲]، احمد علی پوربابایی[۲]، حسن اعتصامی[۲]، هادی اسدی رحمانی[۳]، مصطفی نوروزی[۴].

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج.

۲- به ترتیب استاد، دانشیار و استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج. halikhan@ut.ac.ir (نویسنده مسئول).

۳- استاد موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

۴- استادیار گروه علوم زیستی، دانشگاه الزهرا، تهران.

چکیده

یکی از روش‌های مهم تأمین پتاسیم مورد نیاز گیاه بهره‌گیری از کانی‌های سیلیکاتی با استفاده از ریزسازواره‌های حل کننده پتاسیم مانند باکتری‌ها است. این مطالعه با هدف جداسازی باکتری‌های حل‌کننده پتاسیم از خاک ریزوسفری برنج و ارزیابی توانایی کمی آزاد سازی پتاسیم از دو منبع بیوتیت و مسکوویت می‌باشد. ۱۰ جدایه جداسازی شده از ریزوسفر برنج توانمند در انحلال پتاسیم در ابتدا از طریق آزمون کیفی غربالگری شدند. در آزمون کمی انحلال پتاسیم نتایج نشان داد باکتری 7BR21 در محیط الکساندروف مایع حاوی بیوتیت و مسکوویت به ترتیب با ۰/۴۶ ± ۵۰ و ۱/۰۴±۳۹/۴ میلی‌گرم در لیتر بالاترین توانایی را نشان داد. همچنین نتایج اندازه‌گیری pH محیط نشان داد که همبستگی منفی و معنی‌داری با میزان آزاد سازی پتاسیم از هر دو منبع دارد. نتایج شناسایی مولکولی جدایه برتر 7BR21 نشان داد که این باکتری ۹۹/۸۶ درصد شباهت به باکتری *Serratia marcescens* دارد که از نوع باکتری‌های گرم منفی خاک است. با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌شود که از این سویه باکتری در مطالعات آینده در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه به منظور بررسی اثرات آن در رشد گیاه استفاده شود. پس از مطالعات تکمیلی این سویه می‌تواند به عنوان یک کود زیستی معرفی شود.

واژگان کلیدی: بیوتیت، پتاسیم، مسکوویت، *Serratia marcescens*.

مقدمه

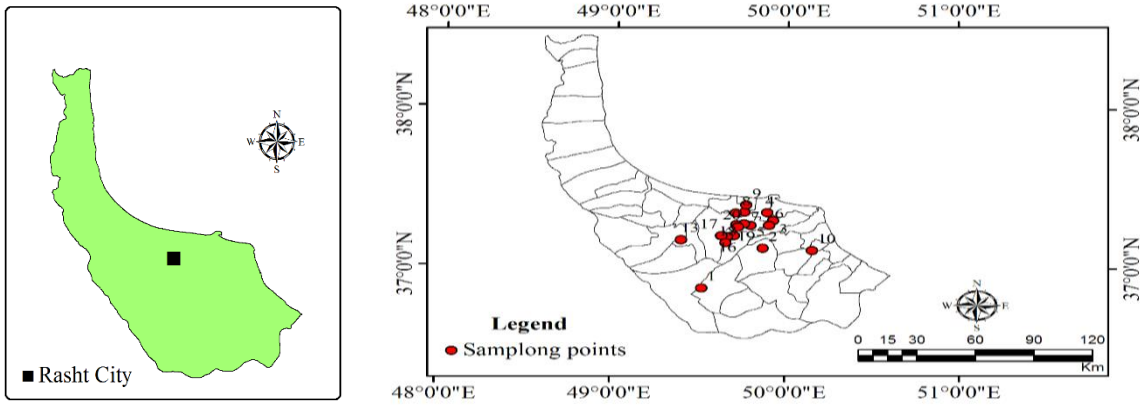
پتاسیم از عناصر ضروری برای گیاه بوده و در فعالیت آنزیم‌ها، ساخت سلول‌های جدید، و تولید پروتئین و ویتامین نقش دارد. به علاوه، مقاومت گیاه به تنش‌های زیستی و غیر زیستی افزایش می‌دهد (AJ, 2005; Maqsood, Shehzad, Wahid, & Butt, 2013). این عنصر در خاک بیشتر به سه شکل، پتاسیم فراهم برای گیاه (محلول و تبادلی)، میان‌لایه‌ای و درون‌ساختاری خاک، دیده می‌شود. مقدار پتاسیم محلول در خاک‌ها بسیار کم بوده (٪ ۲ پتاسیم کل) و بیش از ٪۹۸-۹۰ در خاک به شکل غیر قابل دسترس برای گیاه می‌باشد (Shanware, Kalkar, & Trivedi, 2014). بخش عمده کانی‌های پتاسیم‌دار خاک که پتاسیم مورد نیاز گیاه را از طریق آزادسازی این عنصر تأمین می‌کنند شامل بیوتیت، مسکویت، میکروکلین و فلداسپارها می‌باشند (Sparks, 1987). اگرچه کمبود پتاسیم مانند کمبود نیتروژن و فسفرگسترده نیست اما در بسیاری از خاک‌های کشاورزی که در آغاز از این عنصر غنی بودند با برداشت پی‌درپی گیاه، رواناب، آبشویی و فرسایش خاک با کمبود این عنصر روبرو شده‌اند (Sheng, He, & Huang, 2002). زمانی که پتاسیم محلول و تبادلی خاک به کمتر از حد کفایت گیاه کاهش می‌یابد، پتاسیم غیرتبادلی می‌تواند از بین لایه‌های کانی‌های رسی آزاد شود. امروزه مصرف بالای کودهای شیمیایی برای تامین مواد غذایی مورد نیاز گیاه نمی‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش بهره‌وری از خاک باشد، زیرا باعث افزایش هزینه‌ها، کاهش بهره‌وری از کود و آسیب رساندن به محیط زیست می‌شود (Wani, 1990). کودهای شیمیایی پتاسیمی نسبت به سایر کودهای شیمیایی گرانتر هستند. یکی از گزینه‌های جایگزین، استفاده و بهره‌وری کامل از ذخیره پتاسیم در خاک است. خاک دارای ذخایر غنی از پتاسیم است، اما در این میان تنها ۱/۲ درصد از آن

می‌تواند به‌صورت مستقیم توسط گیاهان جذب شود (Malinovskaya, Kosenko, Votselko, & Podgorskii, 1990). باکتریهای ریزوسفری محرک رشد گیاه نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی خاک دارند. میکروارگانیسم‌های حل‌کننده پتاسیم با تولید اسیدهای آلی مانند گلوکونیک ، الفا-کتوگلوکونیک[1] ، اگزالیک ، سیتریک، استیک، سیتریک و سوکسونیک اسید و همچنین تولید H^+ باعث افزایش حلالیت کانی‌ها در خاک و فراهمی پتاسیم برای گیاه می‌شوند (Meena, Maurya, Verma, & Meena, 2016; Rodríguez & Fraga, 1999). از جمله میکروارگانسیم‌های حل کننده پتاسیم در خاک می‌توان به باکتری‌های *Pseudomonas*، *Bacillus* و *Klebsiella* و قارچ‌های *Penicillium* و *Aspergillus* اشاره کرد (Farhat et al., 2009; Meena et al., 2015; Shanware et al., 2014; Viruel, Lucca, & Siñeriz, 2011). تولید کودهای زیستی بر مبنای باکتری‌ها به نظر راهکار مناسب و کم هزینه برای غلبه بر مشکل کمبود پتاسیم برای گیاهان مختلف است. هدف این مطالعه بررسی توانایی حل‌کنندگی پتاسیم از منابع مختلف توسط باکتری‌های جداسازی شده از ریزوسفر گیاه برنج است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از ریزوسفر گیاه برنج

نمونه‌برداری از ریزوسفر برنج کشت شده در استان گیلان از ۲۰ مزرعه انجام گرفت (شکل ۱). نمونه‌های خاک ریزوسفری به ظروف استریل منتقل و در فلاسک در دمای ۴ درجه سلسیوس جمع‌آوری و در کمترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل و مراحل کشت، جداسازی و خالص‌سازی باکتری‌های دارای توانایی انحلال پتاسیم انجام گرفت.



شکل ۱- نقاط نمونه‌برداری از ریزوسفر خاک برنج در مزارع شالیزاری استان گیلان.

آماده‌سازی کانی‌های میکایی

کانی‌های پتاسیمی مسکوویت و بیوتیت از شرکت توسعه معادن و مواد معدنی آسیا خریداری شده و به وسیله آسیاب پودر و از الک ۶۰ مش عبور داده شدند. سپس با اسید کلریدریک ۰/۰۱ مولار شستشو داده شد تا پتاسیم قابل آن‌ها استفاده خارج گردد. برای اطمینان از خروج کامل پتاسیم قابل استفاده، پتاسیم با روش استات آمونیوم استخراج و اندازه‌گیری و اسید شویی تا حصول اطمینان از خروج کامل پتاسیم قابل استفاده ادامه یافت. سپس تا خشک شدن کامل در آون ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت ۱ گرم نمونه خشک شده به محیط الکساندروف اضافه گردید (Keshavarz Zarjani, Aliasgharzad, & Oustan, 2013).

آزمون کمی توان انحلال پتاسیم نا محلول معدنی

[1] α -ketogluconic acid

برای آزمون کمی از بین ۱۰ جدایه باکتری ریزوسفری غربالگری شده در محیط جامد الکساندروف و بر روی پلیت در طی آزمون کیفی که شاخص HD/CD[۲] بیشتر از ۱/۵ داشتند، انتخاب شدند. برای آزمون کمی توانایی انحلال پتاسیم از محیط اصلاح شده الکساندروف[۳] (MAM) (که حاوی: گلوکز، ۵ گرم؛ منیزیم سولفات هفت آبه، ۰/۵ گرم؛ کلرید آهن، ۰/۰۰۵ گرم؛ کلسیم کربنات، ۰/۱ گرم؛ کلسیم فسفات، ۲ گرم و ۱ گرم میکا از دو منبع مسکوویت و بیوتیت و pH بین ۷/۵-۷) استفاده شد. برای این منظور، به سه ارلن حاوی ۴۰ میلی‌لیتر محیط مایع AM مقدار ۱۰ میکرولیتر از سوسپانسیون باکتری با جمعیت 10^6 CFU.ml^{-1} تلقیح شد. سه محیط مایع AM غیر تلقیح شده به عنوان شاهد گذاشته شد. بعد از ۲۵ روز محلول سانتریفوژ گردید و مقدار pH و پتاسیم محلول با استفاده از فلیم فتومتر (Chorning 410C, UK) اندازه‌گیری شد (Sugumaran & Janarthanam, 2007).

استخراج DAN و تکثیر ژن 16S rRNA باکتری برتر

در ابتدا سویه برتر باکتری بر اساس توانایی انحلال پتاسیم انتخاب شد. این سویه در ۲۵ میلی‌لیتر محیط کشت LB[۴] کشت شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۸ درجه سلسیوس بر روی شیکر با دور ۱۲۰ rpm شیک شدند. به منظور استخراج DNA ژنومی باکتری از کیت استخراج DNA (CinnaGen Co., Ltd. Iran) استفاده شد. برای تکثیر ناحیه ژنی 16S rRNA از آغازگرهای عمومی 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') و 1492R (5′-CGGTTACCTTGTTACGACTT-3′) استفاده گردید (Jiang et al., 2006). تکثیر با استفاده از یک ترموسایکلر GTC96S (Cleaver Scientific Ltd.) در ۲۵ میکرولیتر مخلوط واکنش شامل ۰/۴ میکرولیتر DNA (۵۰ µgml^{-1})، ۲/۵ میکرولیتر بافر پی سی آر 10X [۵۰ KCl mM، Tris-HCl mM ۱۰ با pH=۹ ، NP40 (V/V) ۰/۰۵ درصد و Trition X-100 (v/v) ۰/۰۵ درصد]، ۰/۵ میکرولیتر dNTPs (۰/۲ mM)، ۰/۵ میکرولیتر از هر پرایمر (۱۰ pmol)، ۰/۲ میکرولیتر Taq DNA polymerase (۵ U µl^{-1}) (CinnaGen Co., Ltd. Iran) و ۱۹/۹ میکرولیتر آب مقطر سترون انجام شد. شرایط انجام PCR به صورت زیر تنظیم گردید: واسرشت اولیه[۵] در ۹۴ درجه سلسیوس برای ۱ دقیقه و سپس ۳۰ چرخه : واسرشت در ۹۴ درجه سلسیوس برای ۱ دقیقه، اتصال[۶] در ۵۵ درجه سلسیوس برای ۱ دقیقه و گسترش[۷] در ۷۲ درجه سلسیوس برای ۱ دقیقه و در نهایت گسترش نهایی در ۷۲ درجه سلسیوس برای ۱۰ دقیقه انجام شد. محصول PCR حاصل از تکثیر ناحیه ژنی 16S rRNA به وسیله الکتروفورز در ژل آگاروز ۱/۲ درصد (v/v) رنگ آمیزی شده با DNA Safe Stain، در بافر TBE (1X) (۰/۰۹ M Tris base، ۰/۰۹ M sodium borate، ۲/۵ mM EDTA با pH=۸) با ولتاژ ۱۰۰ ولت به مدت ۱ ساعت عبور داده شد. سپس ژل تحت نور UV نمایان شده و با استفاده از دستگاه ژل داک Alpha Imager (TM1200) تصویر ژل ثبت گردید. مقایسه باند تکثیر شده از یک نشانگر DNA با اندازه ۱۵۰۰ جفت باز[۸] (bp)، تکثیر بخش مورد نظر ژنوم را نشان داد. در پایان و پس از توالی یابی و شناسایی سویه باکتری جداسازی شده، توالی ژن 16S rRNA در GenBank (http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank) ثبت و شماره دسترسی[۹] برای هر یک از آن‌ها به دست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

---

[۲] Hale Diameter/ Colony Diameter

[۳] Modified Aleksandrov medium

[۴] Luria-bertani

[۵] Initial denaturation

[۶] Annealing

[۷] Extension

[۸] Base Pair

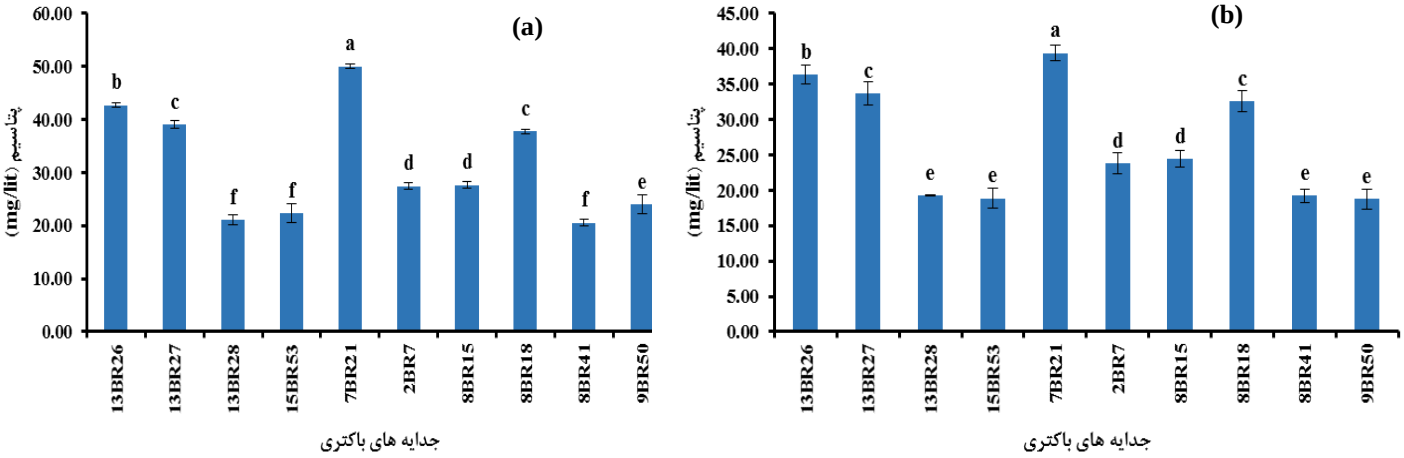
[۹] Accession number

تمام داده‌ها پس از آزمون نرمال بودن با آزمون کولموگروف-اسمیرنف، تجزیه واریانس (ANOVA) آن‌ها محاسبه و برای اختلاف معنی‌داری بین مانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن ($P<0.05$) استفاده شد. از همبستگی پیرسون[10] (R^2) برای بررسی ارتباط بین داده‌ها استفاده شد. از نرم افزار SPSS 24 برای آنالیز داده‌ها و نرم افزار Microsoft Office Excel 2019 برای رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

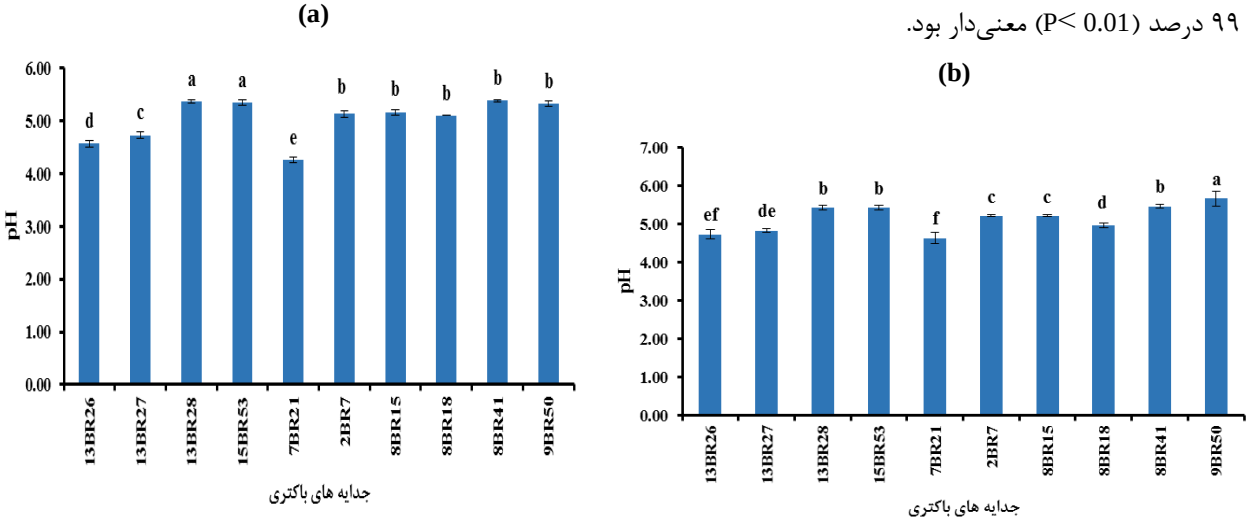
نتایج انحلال پتاسیم

شکل ۱-a نتایج انحلال پتاسیم از منبع بیوتیت را نشان می‌دهد. با توجه به شکل باکتری 7BR21 دارای بیشترین توانایی انحلال پتاسیم با مقدار ۰/۴۶ ± ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و باکتری 8BR41 با ۰/۵۸ ± ۲۰/۵۳ میلی‌گرم در لیتر کمترین مقدار انحلال پتاسیم از این منبع نشان داد. نتایج انحلال پتاسیم از منبع مسکوویت نشان داد که باکتری 7BR21 با ۱/۰۴±۳۹/۴ میلی‌گرم در لیتر بالاترین توانایی را در انحلال پتاسیم را دارد (شکل ۱-b).



شکل ۱- مقدار پتاسیم آزاد شده از دو منبع (a) بیوتیت و (b) مسکوویت توسط جدایه های باکتری

مقدار pH محیط اندازه‌گیری شده در دو محیط الکساندروف اصلاح شده حاوی منبع پتاسیم بیوتیت و مسکوویت در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج کمترین مقدار pH در محیط مایع حاوی بیوتیت مربوط به جدایه 7BR21 با ۰/۰۶±۴/۲۷ بود که با نتایج انحلال پتاسیم در این محیط هم‌خوانی دارد (شکل ۲-a). همچنین کمترین مقدار pH در محیط مایع حاوی مسکوویت مربوط به جدایه 7BR21 با ۰/۱۵ ± ۴/۶۳ اندازه‌گیری شد. همبستگی منفی و معنی‌داری بین مقدار انحلال پتاسیم و pH محیط در هر دو محیط مایع حاوی بیوتیت و مسکوویت به ترتیب با ضریب همبستگی پیرسون ۰/۹۶- و ۰/۹۵- وجود داشت که در سطح ۹۹ درصد ($P< 0.01$) معنی‌دار بود.



مقدار پتاسیم آزاد شده از منبع میکا در محیط الکساندروف توسط سه جدایـه *Pantoea ananatis*، *Entrobacter sp.* و *Rahnella aquatilis* به ترتیب برابر ۷۷/ **شکل ۲- pH محیط الکساندروف در دو منبع (a) بیوتیت و (b) مسکوویت**

حاوی این سه جدایه به ترتیـب برابـر ۲/۵۱±۰/۲۲، ۴/۵۹۲±۰/۳۱ و ۵/۰۳۳±۰/۱۵ بـود (Bakhshandeh, Pirdashti, & Lendeh, 2017). مطالعات متعددی نشان داده است که باکتری‌هـایی ماننـد *Pseudomonas*، *Bacillus*، *Kelbsiella* و *Pantoea* توانـایی آزاد سازی پتاسیم از منبع میکا را با مکانسیم‌هایی مانند تولید اسیدهای آلی دارند (Meena et al., 2015; Shanware et al., 2014).

نتایج شناسایی مولکولی

نتایج شناسایی مولکولی جدایه برتر 7BR21 نشان داد که این باکتری با ۹۹/۸۶ درصد شباهت به باکتری *Serratia* marcescens را دارد و کلنی به رنگ قرمز و گرم منفی بود. این باکتری با شـماره دسترسـی MW404646 در سـایت NCBI ثبـت شـده اسـت. در مطالعه‌ای به اثرات مثبت گونه‌های باکتری *Serratia sp.* بـر روی رشـد گیـاه گنـدم اشـاره شـده اسـت (Zahir, Ghani, Naveed, Nadeem, & Asghar, 2009).

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان داد که به طور کلـی توانـایی جدایـه‌هـای بـاکتری در انحـلال پتاسـیم از منبـع بیوتیـت از مسکوویت بیشتر است. همچنین میزان انحلال پتاسیم با کاهش pH محیط همخوانی دارد که این کاهش می‌تواند بـه دلیـل تولیـد اسیدهای آلی توسط جدایه‌های باکتری باشد. سویه برتر توانمند در انحلال پتاسیم در این مطالعـه بـاکتری *Serratia marcescens* بود که نیاز است از این سویه در پژوهش‌های میدانی (گلخانه‌ای و مزرعه‌ای) به منظـور بررسـی اثـرات آن در رشـد گیـاه در آینـده استفاده شود. همچنین، با توجه به نتایج از باکتری‌های حل کننده پتاسیم جداسازی شده از ریزوسفر برنج به عنوان منبـع جدیـد و مهم تولید کود زیستی در رسیدن به کشاورزی پایدار و مدیریت چرخه عناصر غذایی به خصوص در شالیزارها استفاده کرد.

فهرست منابع

1. AJ, E. E. B. (2005). Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives 2nd Ed Sinauer Sunderland: MA.
2. Bakhshandeh, E., Pirdashti, H., & Lendeh, K. S. (2017). Phosphate and potassium-solubilizing bacteria effect on the growth of rice. *Ecological Engineering, 103*, 164-169 .
3. Farhat, M. B., Farhat, A., Bejar, W., Kammoun, R., Bouchaala, K., Fourati, A., . . . Chouayekh, H. (2009). Characterization of the mineral phosphate solubilizing activity of Serratia marcescens CTM 50650 isolated from the phosphate mine of Gafsa. *Archives of microbiology, 191*(11), 815-824 .
4. Jiang, H., Dong, H., Zhang, G., Yu, B., Chapman, L. R., & Fields, M. W. (2006). Microbial diversity in water and sediment of Lake Chaka, an athalassohaline lake in northwestern China. *Applied and environmental microbiology, 72*(6), 3832-3845 .
5. Keshavarz Zarjani, J., Aliasgharzad, N., & Oustan, S. (2013). Effects of six strains of potassium releasing bacteria on growth and potassium uptake of Tomato Plant. *Water and Soil Science, 23*(2), 245-255 .
6. Malinovskaya, I., Kosenko, L., Votselko, S., & Podgorskii, V. (1990). Role of Bacillus mucilaginosus polysaccharide in degradation of silicate minerals. *Microbiology, 59*(1), 49-55 .
7. Maqsood, M., Shehzad, M. A., Wahid, A., & Butt, A. A. (2013). Improving Drought Tolerance in Maize (Zea mays) with Potassium Application in Furrow Irrigation Systems. *International Journal of Agriculture & Biology, 15*(6).

8. Meena, V. S., Maurya, B. R., Verma, J. P., Aeron, A., Kumar, A., Kim, K., & Bajpai, V. K. (2015). Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica. *Ecological Engineering*, *81*, 340-347 .
9. Meena, V. S., Maurya, B. R., Verma, J. P., & Meena, R. S. (2016). *Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture*: Springer.
10. Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology advances*, *17*(4-5), 319-339 .
11. Shanware, A. S., Kalkar, S. A., & Trivedi, M. M. (2014). Potassium solublisers: occurrence, mechanism and their role as competent biofertilizers. *Int J Curr Microbiol App Sci*, *3*(9), 622-629 .
12. Sheng, X.-F., He, L.-Y., & Huang, W.-Y. (2002). The conditions of releasing potassium by a silicate-dissolving bacterial strain NBT. *Agricultural Sciences in China*, *1*(6), 662-666 .
13. Sparks, D. L. (1987). Potassium dynamics in soils *Advances in soil science* (pp. 1-63): Springer.
14. Sugumaran, P., & Janarthanam, B. (2007). Solubilization of potassium containing minerals by bacteria and their effect on plant growth. *World Journal of Agricultural Sciences*, *3*(3), 350-355 .
15. Viruel, E., Lucca, M. E., & Siñeriz, F. (2011). Plant growth promotion traits of phosphobacteria isolated from Puna, Argentina. *Archives of microbiology*, *193*(7), 489-496 .
16. Wani, S. (1990). Inoculation with associative nitrogen-fixing bacteria: Role in cereal grain production improvement. *Indian Journal of Microbiology*, *30*(4), 363-393 .
17. Zahir, Z. A., Ghani, U., Naveed, M., Nadeem, S. M., & Asghar, H. N. (2009). Comparative effectiveness of Pseudomonas and Serratia sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (Triticum aestivum L.) under salt-stressed conditions. *Archives of microbiology*, *191*(5), 415-424 .

Evaluation of potassium solubility by isolated bacterial isolates of rice rhizosphere from paddy fields of Guilan province

Mehdi Beheshti[1], Hoseinali Alikhani[2*], Ahmadali Pourbabei[2], Hassan Eatsami[2], Hadi Asadi Rahmani[3], Mostafa Noroozi[4].

1. PhD student, Department of Soil Science, University of Tehran, Karaj.

2. Professor, Associate Professor and Assistant Professor , Department of Soil Science, University of Tehran, Karaj, respectively, halikhan@ut.ac.ir (Corresponding author).

3- Professor of Soil and Water Research Institute, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran.

4- Assistant Professor, Biological Science, Alzahra University. Tehran.

Abstract

One of the most important methods of providing potassium required by plants is the use of silicate minerals using potassium-soluble microorganisms such as bacteria. The aim of this study was to isolated potassium-soluble bacteria from rice rhizosphere soil and to evaluate the quantitative ability to release potassium from biotite and muscovite sources. 10 potassium isolates superior isolated from rhizosphere of rice potential of potassium dissolution were first screened through a qualitative test. In quantitative test for potassium solubility, the results showed that 7BR21 showed the highest ability in Aleksandrov liquid medium containing biotite and muscovite with 50±0.46 and 39.4±1.04 $mg.l^{-1}$, respectively. Also, the results of measuring the pH of the environment showed that it has a negative and significant correlation with the amount of potassium release from both sources. The results of molecular identification of the superior isolate 7BR21 showed that this bacterium is 99.86% similar to *Serratia marcescens*, which is a type of gram-negative soil bacteria. According to the obtained results, it is suggested that this bacterial strain be used in future studies in greenhouse and field conditions to investigate its effects on plant growth. After further studies, this isolate can be introduced as a biofertilizer.

Keywords: Biotite, Potassium, Muscovite, *Serratia marcescens.*

استفاده از پتانسیل باکتری‌های ریزوسفری برای مقابله با کمبود روی در گیاهان به‌عنوان یک رویکرد سازگار با محیط زیست

بهمن خوشرو[۱]، محمد رضا ساریخانی[۲]، شکوفه مرادی[۱]

۱- دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز-bahmankhoshru@yahoo.com

۲- دانشیار گروه بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

گیاهان برای رشد طبیعی و عملکرد مطلوب به تعادل مناسب روی (Zn) در بافت خود نیاز دارند. کمبود این عنصر در بسیاری از مناطق جهان شایع است و باعث کاهش معنی‌دار رشد و عملکرد محصولات کشاورزی می‌گردد. استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی علاوه بر هزینه‌های بالا منجربه آلودگی محیط زیست (آب، هوا و خاک) شده و در ادامه باعث کاهش تدریجی حاصلخیزی خاک و تخریب آن می‌گردد که اثرات سو بعدی آن در گیاه، حیوان و انسان ظاهر خواهد شد. تنها بخش کوچکی از کود شیمیایی استفاده شده در خاک، مورد استفاده گیاه قرار می‌گیرد و بخش اعظم آن در خاک باقی‌مانده و دوباره به فرم‌های مختلف روی نامحلول تبدیل می‌شود. برای غلبه بر این مشکل، جامعه علمی توجه خود را به سمت تولید کودهای زیستی که در آن میکروب‌های حل‌کننده روی مورد بهره برداری قرار می‌گیرند، معطوف کرده است تا غلظت روی محلول در خاک را با راهکار سازگار با محیط زیست افزایش دهند. در این مطالعه، پتاسیل میکروب‌های مفید ریزوسفری به ویژه باکتری‌ها برای محلول‌سازی منابع مختلف روی نامحلول خاک به عنوان یک جایگزین دوستدار محیط زیست برای کود شیمیایی روی مورد مطالعه قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: کشاورزی پایدار، باکتری‌های ریزوسفری، عناصر ریزمغذی، اسیدهای آلی، لیگاند، pH

مقدمه

در میان عناصر ریزمغذی، کمبود روی در چندین قسمت از جهان از جمله چین، هند، پاکستان، استرالیا، افغانستان، برزیل، ایران، عراق، ترکیه، آفریقا، ایالات متحده آمریکا و اروپا گزارش شده است که بر سیستم خاک-گیاه و در نهایت تولید محصول تاثیر می‌گذارد (ککمک ۲۰۰۹). تخمین زده می‌شود که ۵۰٪ از زمین‌های کشاورزی زیر کشت غلات در سراسر جهان دچار کمبود روی هستند (ککمک و کوتمام ۲۰۱۸). گیاهان استراتژیک مانند برنج تولید شده در خاک‌های شالیزاری غرقابی و گندم‌های کشت شده در خاک‌های آهکی به کمبود روی حساس هستند (موری و همکاران ۲۰۱۶). گیاه ذرت که در چندین کشور به عنوان غذای اصلی در نظر گرفته می‌شود نیز هنگامی که در خاک دچار کمبود روی کشت می‌شود، علایم کمبود روی را نشان می دهد (نولاس و همکاران ۲۰۱۸). روی یک عنصر کمیاب ضروری است که برای همه محصولات کشاورزی ضروری است. این عنصر یک فلز مهم بوده که تقریباً برای فعالیت‌های زیستی آنزیم‌ها مورد نیاز است. کمبود روی منجر به استرس فیزیولوژیکی می‌شود که در ادامه بسیاری از آنزیم‌ها قادر به انجام عملکرد خود نبوده و سرعت واکنش متابولیک تغییر می‌یابد (آلووی ۲۰۰۹). در حدود ۲۸۰۰ پروتئین از نظر ساختاری و فعالیت زیستی به عنصر روی نیاز دارند (قوش و همکاران ۲۰۱۴). گیاهان عنصر روی را به عنوان یک کاتیون دو ظرفیتی (Zn^{+2}) جذب می‌کنند که برای انجام چندین فرآیند متابولیکی، فتوسنتز، بیوسنتز اکسین، لقاح و مقاومت در برابر برخی از عوامل بیماری‌زای عفونی مورد نیاز است (قوتتی و همکاران ۲۰۱۳). مخازن روی در خاک به‌راحتی برای گیاه در دسترس نیست زیرا اغلب این عنصر به صورت نامحلول در خاک است (صادق‌زاده ۲۰۱۳). فراهمی روی برای گیاه از طریق استفاده از سولفات روی ($ZnSO_4$) به عنوان کود شیمیایی حاصل می‌شود. با این حال، فقط ۱-۵٪ از روی مورد استفاده محصول قرار می‌گیرد و ۹۵٪ باقیمانده به شکل‌های مختلف نامحلول روی از جمله هیدروکسید روی (در خاک با pH بالا)، کربنات روی (در خاک‌های آهکی-کلسیمی)، فسفات روی (خاک قلیایی-خنثی غنی از فسفات) و سولفید روی در خاک‌های غرقابی (احیایی) تبدیل

می شود (کومار و همکاران ۲۰۱۷). علاوه بر این، کودهای شیمیایی گران و ناسازگار با محیط زیست هستند، زیرا محصولات گیاهی را مستعد بیماری می‌کنند و باعث کاهش حاصلخیزی خاک در طولانی مدت می‌شوند. همچنین، استفاده بی رویه از کود شیمیایی منجر به آلودگی آب و خاک شده که برای گیاه و همچنین سلامت انسان خطرناک است. این امر منجر به بازگشت تمایل مصرف‌کنندگان و کشاورزان نسبت به محصولات ارگانیک شده است. یک راهکار مناسب برای مرتفع سازی این مشکل و یک جایگزین مناسب، استفاده از کودهای زیستی حاوی باکتری‌های توانمند حل‌کننده روی(ZSB[1]) می‌باشد (خوشرو و همکاران ۲۰۲۰). در واقع کودهای زیستی متشکل از میکروب‌های زنده و فعال و سازگار با محیط زیست هستند و نقشی اساسی در حفظ باروری خاک و پایداری کشاورزی در طولانی مدت ایفا می‌کنند (و همکاران ۲۰۱۵). از آنجایی که این میکروب‌ها توانایی خود را برای محلول‌سازی منابع مختلف روی نامحلول در تحقیقات مختلف نشان داده‌اند لذا می‌توان از توانایی این ریزجانداران برای انحلال شکل‌های مختلف روی نامحلول برای افزایش فراهمی زیستی روی برای گیاهان استفاده کرد (مدهیان و همکاران ۲۰۰۴، کومار و همکاران ۲۰۱۷، خوشرو و همکاران ۱۳۹۸).

فراهمی روی در خاک

ترکیب ژئوشیمیایی و هوازدگی سنگ بستر، دو عامل تعیین‌کننده مقدار روی در توسعه خاک می‌باشند (سور و همکاران ۲۰۱۸). ترکیب روی در پوسته زمین ۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که در سنگ‌های بستری مختلف متفاوت است. به عنوان مثال، در سنگ‌های ماگمایی، مقدار روی ۴۰-۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سنگ‌های رسوبی ۸۰-۱۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، ماسه سنگ ۱۵ تا ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در دولومیت و سنگ آهک ۱۰-۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (دومج و همکاران ۲۰۰۰). در سراسر جهان محدوده روی خاک بین ۳۵-۱۲۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (نیلسن ۲۰۱۲). ترکیب روی در خاک‌های آلوده، به هر دو منبع آلودگی و موقعیت خاک بستگی دارد (کاباتا پندیس ۲۰۰۱). به عنوان مثال، خاک‌های معدن روی در یونان دارای ۱۶۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و خاک‌های منطقه معدن غیرفعال در انگلیس دارای ۲۲۰ تا ۶۶۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی خاک گزارش شده‌اند. توزیع ناهمگن روی در خاک‌های کشاورزی نیز از ۱۰-۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (آلووی ۲۰۰۹).

روی فعال در خاک یا به شکل دو ظرفیتی (Zn^{2+}) و یا به صورت کمپلکس مانند $ZnOH^{+}$، $ZnHCO3^{+}$، $Zn(OH)^{3-}$ و ZnO^{2-} وجود دارد. شکل‌های مختلف روی را در پوسته زمین در شکل ۱ آورده شده است.

شکل ۱: شکل‌های مختلفی روی در پوسته زمین

در داخل خاک، روی در پنج مخزن مختلف یعنی محلول در آب[2]، تبادلی[3]، متصل به مواد آلی[4]، جذب سطحی شده[5] و کلاته[6] وجود دارد (چاهال و همکاران ۲۰۰۵). مقاومت این شکل‌ها توانایی آنها را در جذب گیاه و شستشو از خاک تعیین می‌کند.

[1] Zinc Solubilizing Bacteria
[2] Water-soluble
[3] Exchangeable
[4] Organically bound
[5] Adsorbed

علاوه بر این، تعادل بین اشکال مختلف روی تحت تأثیر غلظت روی محلول، pH و وجود فلزات دیگر (به طور عمده آهن و منگنز) می‌باشد (ریوورتس و همکاران ۱۹۹۵). روی به شدت بر روی کربنات کلسیم ($CaCO_3$)، کربنات منیزیم ($MgCO_3$)، اکسید آهن (FeO) یا اکسید منگنز (MnO) جذب می‌شود (ریوورتس و همکاران ۱۹۹۵). جذب سطحی کاتیونهای روی قابل تعویض در خاک به شرح زیر است:

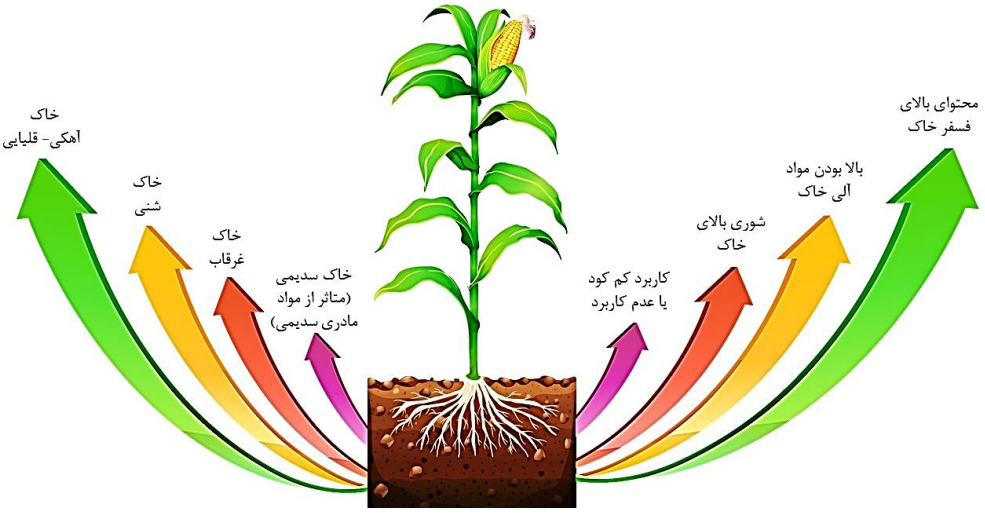
$$Zn^{2+} + M\text{-}Soil \longleftrightarrow Zn\text{-}Soil + M^{2+}$$

فراهمی زیستی روی در گیاهان تا حد زیادی تحت تأثیر محتوای روی کل خاک قرار دارد که به نوبه خود به وضعیت هوازدگی خاک، درصد مواد آلی، محتوای $CaCO_3$، غلظت کاتیون‌های دیگر (Na، Ca و Mg)، آنیون‌های بی‌کربنات و شکل‌های فسفات محلول مرتبط هستند (آلووی ۲۰۰۹).

روی در گیاهان

مقدار روی در گیاهان ۳۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است که در کمتر از آن منجر به بروز کمبود این عنصر خواهد شد (صادقزاده و رنگل ۲۰۱۱). روی در گیاه عملکردهای مختلف فیزیولوژیکی و متابولیکی انجام می‌دهد. این ماده سازنده آنزیم کربنیک آنیدراز[۷] و ریبولوز ۱،۵-بی‌فسفات کربوکسیلاز[۸] (RuBPC) است که در فتوسنتز نقش مهم و حیاتی دارند. کمبود روی باعث کاهش ۵۰-۷۰٪ خالص فتوسنتز می‌شود. روی همچنین در سنتز DNA، RNA و تنظیمات ژنی نقش دارد. از RNA ریبوزومی[۹] در برابر حمله ریبونوکلئاز محافظت می‌کند. روی دارای فعالیت ریبونوکلئازی است و همچنین از پراکسیداسیون لیپیدها و پروتئین‌ها تحت تاثیر گونه‌های فعال اکسیژنی (ROS[۱۰]) جلوگیری می‌کند. جدا از این، روی در تعامل با فسفولیپیدها و گروه‌های سولفیدریل، یکپارچگی غشا را نیز حفظ می‌کند (ولچ و گراهام ۲۰۰۴). در گیاهان، ژن‌های مسئول تحمل تنش محیطی به روی وابسته هستند (هان و همکاران ۲۰۱۳). روی برای تولید اکسین و برای رشد طبیعی میوه و گل‌ها مهم است (حافظ و همکاران ۲۰۱۳). علائم مشهود کمبود روی شامل رشد کم، کلروز برگی، میانگره‌های کوتاه (در غلات) و کوچک برگی[۱۱] است. برگ‌های جوانتر عمدتاً تحت تأثیر کمبود روی قرار می‌گیرند و می‌توانند علائم کلروز بین رگبرگی را آشکار کنند. گیاهان دچار کمبود روی، پتانسیل کامل برای تولید را از دست می‌دهند و ممکن است بیشتر در معرض آسیب یا عفونت باشند (قندی و مورالیدهاران ۲۰۱۶). کمبود روی می‌تواند تحت تاثیر عوامل مختلفی باشد که بر محتوی کل روی خاک و در ادامه روی جذب شده توسط گیاه تاثیر می‌گذارند (شکل ۲).

[6] Chelated
[7] Carbonic anhydrase
[8] Ribulose 1,5- biphosphate carboxylase
[9] rRNA
[10] Reactive oxygen species
[11] Rosetting



شکل۲- عوامل موثر بر کمبود روی در محصولات کشاورزی

اکثر محصولات زراعی در سراسر جهان مانند غلات، میوه‌های مختلف، سبزیجات، گل کلم، پنبه و کتان تحت تأثیر کمبود روی قرار دارند. در چندین کشور، ذرت ، برنج و گندم حساس‌ترین غلات به کمبود روی هستند (حافظ و همکاران ۲۰۱۳).

مکانیسم جذب روی توسط گیاهان

اگرچه در اغلب خاک‌ها مقدار کافی روی کل وجود دارد، اما کمبود روی در گیاه به دلیل کمبود روی محلول در خاک است. در خاک اسیدی با وضعیت اکسیدی، روی به راحتی در گیاه متحرک می‌شود در حالی که روی در خاک‌های خنثی تا قلیایی با وضعیت احیایی، بی تحرکت است. در محلول خاک، روی بصورت کاتیون دو ظرفیتی آزاد یا کمپلکس شده با لیگاندهای مختلف از طریق سیستم‌های مختلف انتقال مانند جریان توده‌ای[۱۲]، انتشار[۱۳] و گسترش ریشه به سوی ریشه‌ها انتقال می‌یابد (سوزوکی و همکاران ۲۰۰۸، یانیاما و همکاران ۲۰۱۵). اکثر جذب روی از طریق سیستم انتقال فعال و هنگامی که روی از ریشه به شاخه‌ها انتقال می‌یابد، رخ می‌دهد. مقدار کمی از روی در گره پایه حفظ می‌شود که توزیع روی در گیاهان را کنترل کند. انتقال روی در هر دو بافت آوند چوبی و آبکش انجام می‌شود. درون آوند چوبی، روی با پروتئین محلول به نام فیتات[۱۴]تشکیل کمپلکس داده و جابجایی این ترکیب از طریق مسیر سیمپلاست[۱۵] و آپوپلاست[۱۶] بوسیله تعرق اتفاق می‌افتد در حالی که داخل آوند آبکش، روی با نیکوتینامین[۱۷] که لیگاند غالب در این آوند هست همراه می‌شود (گوپتا و همکاران ۲۰۱۶).

کارایی کودهای شیمیایی روی در خاک

پی بردن به دلایل کمبود روی در خاک می‌تواند به رفع این مشکل با راهکارهای مناسب برای بهبود حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول کمک کند. امروزه محبوب‌ترین روشی که برای رفع کمبود روی استفاده می‌شود، استفاده از کودهای شیمیایی-زراعی است که انتخاب آنها به صرفه اقتصادی، نحوه اجرا و راحتی مصرف و قابل قبول بودن از نظر امنیت غذایی و زیست محیطی بستگی دارد (خطرات کم برای انسان و محیط زیست). به طور کلی، کودهای روی بصورت کمپلکس‌های معدنی، آلی طبیعی و کلات‌های مصنوعی (سنتتیک) طبقه‌بندی می‌شوند. منابع روی غیرآلی (معدنی) شامل ZnO، $ZnCO_3$، $ZnSO_4$، $Zn_3(PO4)_2$ و

[12] Mass flow
[13] Diffusion
[14] Phytate
[15] Symplast
[16] Apoplast
[17] Nicotinamine

$ZnCl_2$ است. سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$) موثرترین کود روی است که به راحتی در دسترس بوده و ارزان است و از طریق خاک یا محلول پاشی استفاده می‌شود. اکسید روی (ZnO) با ۸۰٪ روی دارای حلالیت بسیار کمی در آب است، بخصوص هنگامی که به صورت گرانوله استفاده شود. فسفات روی ($Zn_3(PO_4)_2$) برای پاشش روی دانه کارآمد است و ارزانتر از اکسید روی است (مورتود و گیلکس ۱۹۹۳). کودهای آلی روی نیز شامل ترکیبات مختلفی هستند که عمده آن فنولات روی[۱۸]، Zn-EDTA و لیگنوسولونات روی[۱۹] است. Zn-EDTA جذب فسفر را افزایش می‌دهد و در مقایسه با سولفات روی با کارایی بیشتری توسط گیاهان جذب می‌شود. فعالیت کلات‌های زیست‌تخریب‌پذیر IDHA[۲۰] و EDDS[۲۱] یا کمپلکس‌هایی مانند گلوکونات[۲۲] و لیگنوسولفونات که محصولات جانبی صنایع غذایی و کاغذ هستند نیز نتایج خوبی بعنوان کود آلی روی نشان داده‌اند (لوپز-رایو و همکاران ۲۰۱۶). کودهایی مانند اوره غنی شده با روی[۲۳]، سوپر فسفات غنی شده با روی[۲۴] و سوپر فسفات دارای بر[۲۵] هنگامی که با ریزمغذی‌ها مخلوط می‌شود منجربه افزایش باروری خاک و رفع کمبود ریزمغذی‌ها در گیاهان می‌شوند. به دلیل تاثیرگذاری کم و مسائل اقتصادی، کودهای آلی روی کمتر مورد قبول کشاورزان قرار می‌گیرند. کودهای شیمیایی پرهزینه و ناسازگار با محیط زیست هستند و باعث می‌شوند محصولات کشاورزی در معرض بیماری قرار بگیرند و حاصلخیزی خاک در طولانی مدت کاهش پیدا کند. استفاده بی‌رویه از این نوع کودها باعث آلودگی آب، هوا و خاک شده که برای گیاه و همچنین سلامت انسان خطرناک است. همچنین، استفاده گسترده از مواد شیمیایی مدرن منجر به تخریب خاک و کاهش کیفیت محیط زیست و هزینه‌های اقتصادی خواهد گردید. فقط ۱-۵٪ کود استفاده شده توسط گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد و ۷۵٪ روی باقی‌مانده در خاک طی هفت روز دوباره به بخش‌های مختلف روی نامحلول تبدیل می‌شود. برای غلبه بر این مشکلات، جامعه علمی توجه خود را به سمت تولید کودهای زیستی که در آن میکروب‌های حل‌کننده روی مورد بهره برداری قرار می‌گیرند، معطوف کرده است تا غلظت روی محلول در خاک را با راهکار سازگار با زیست محیط افزایش دهند (رانی و همکاران ۲۰۲۰).

باکتری‌های حل‌کننده روی

برای غلبه بر کمبود روی، بهره‌برداری از باکتری‌های حل‌کننده روی می‌تواند به افزایش فراهمی زیستی روی نامحلول به شکل قابل دسترس برای گیاه کمک کند و در نتیجه منجر به عملکرد بهتر گیاه شود (خوشرو و همکاران ۲۰۲۰). چندین پژوهش اثر باکتری‌های ریزوسفری را در انحلال ترکیبات نامحلول روی، هم در شرایط درون‌شیشه‌ای[۲۶] و هم در شرایط مزرعه گزارش کرده‌اند (انورادها و همکاران ۲۰۱۵، باپیری و همکاران ۲۰۱۲، داکد و همکاران ۲۰۱۷، قوتتی و همکاران ۲۰۱۳). تلقیح باکتری‌های حل‌کننده روی به صورت تنها یا همراه با ترکیبات نامحلول روی ارزان قیمت، می‌تواند هزینه تولید محصولات کشاورزی را کاهش دهد. گزارش‌های متعددی وجود دارند که نشان می‌دهند میکروب‌های مختلف قادر به انحلال و متحرک‌سازی عناصری مانند پتاسیم، فسفر، آهن و روی برای ریشه گیاهان می‌باشند (داکد و همکاران ۲۰۱۷، خوشرو و همکاران ۱۳۹۸). اثربخشی باکتری *Bacillus* sp. بر محلول‌سازی روی نشان داده شده است. پیشنهاد شده است که استفاده از این باکتری به تنهایی یا در ترکیب با روی نامحلول ارزان تر مانند ZnO، $ZnCO_3$ و ZnS می‌تواند یک جایگزین مناسب و موثر برای کود شیمیایی $ZnSO_4$ گران قیمت باشد (مهدی و همکاران ۲۰۱۰). گزارش‌هایی مبنی بر توانایی انحلال روی توسط باکتری‌های مختلف از جمله *Gluconacetobacter diazotrophicus*، *B. subtilis*، *B. thuringiensis*، *Thiobacillus thioxidans*، *Pseudomonas*

[18] Zn-phenolate
[19] Zn-lignosulfonate
[20] [N-(1,2-carboxyethyl)-D, Laspartic acid]
[21] Ethylene diamine disuccinic acid
[22] Gluconates
[23] Zincated urea
[24] Zincated super
[25] Boronated super
[26] In-vitro condition

striata، *P. fluoregnence*، *Burkholderia cenocepacia*، *Cyanobacteria*، *Acinetobacter* و *Serratia* وجود دارد که گزارش شده که این میکروب‌ها پتانسیل بهره‌برداری به عنوان کود زیستی را دارند (حسین و همکاران ۲۰۱۵، عبیداله و همکاران ۲۰۱۵، باپیری و همکاران ۲۰۱۲، فاسیم و همکاران ۲۰۰۲). برخی از کودهای زیستی حاوی ZSB در کشورهای مختلف تولید و مورد استفاده قرار می‌گیرند برای مثال کود زیستی مایع ZSB محصول شرکت مزرعه سبز[۲۷] که در کشور رومانی قرار دارد. کود دیگری که توسط شرکت رشد سبز[۲۸] در کشور هند تولید می‌شود با نام کود زیستی مایع ZSB می‌باشد. کود دیگر که محصول شرکت PBL[۲۹] می‌باشد با عنوان ZSB-PEB بوده که یک کود زیستی مایع حاوی جمعیت CFU/ml ۱۰^۸ باکتری حل‌کننده روی می‌باشد(https://www.indiamart.com/proddetail/zinc-solubilizing-bacteria-zsb-pep-19272359348.html). در ایران نیز اخیراً شرکت زیست فناور سبز اقدام به تولید کود زیستی با نام تجاری روی و آهن بارور کرده است که حاوی باکتری *Pseudomonas japonica* سویه‌های FZ.29-1 و FZ.21-1 با جمعیت (CFU/g) ۱۰^۸-۱۰^۷بوده و به گفته شرکت سازنده، این سویه‌های باکتریایی تولید کننده سیدروفور بوده و قادر به تحمل دما تا ۴۵ درجه، اسیدیته ۵ تا ۹ و شوری تا ۷ درصد هستند (http://greenbiotech-co.com/rtc/385). از نتایج اثربخشی این کود فعلا گزارشی در دست نیست.

ارزیابی توان حل‌کنندگی جدایه‌ها برای روی نامحلول

برای بررسی نیمه‌کمی توان حل‌کنندگی روی نامحلول در جدایه‌ها از محیط پایه TMS[۳۰] جامد دارای ۰/۱ ٪ روی کم‌محلول استفاده می‌گردد که در این محیط می‌توان منابع مختلف کم‌محلول مانند اکسید روی، کربنات روی و فسفات روی استفاده کرد. جدایه‌ها در پلیت‌ها کشت شده و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس بمدت ۷ روز انکوبه می‌شوند. بعد از این مدت قطر هاله به کلنی برای جدایه‌ها تعیین می‌گردد (ساراوانان و همکاران ۲۰۰۷). برای بررسی دقیق‌تر توان حل‌کنندگی روی نیز از محیط TMS مایع حاوی منابع روی کم‌محلول (۰/۱ درصد) استفاده می‌شود. برای اینکار مقدار ۵۰ میلی‌لیتر محیط مایع در ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته و اتوکلاو کرده و بعد از استریل و سرد شدن محیط ، اقدام به تلقیح باکتری‌ها به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر کرده و سپس در شیکر انکوباتور گرماگذاری می‌گردند (دمای ۲۸ درجه سلسیوس بمدت ۷ روز). سپس نمونه‌ها از انکوباتور بیرون آمده و پس از سانتریفوژ (۶۰۰۰ rpm بمدت ۱۰ دقیقه) اقدام به اندازه‌گیری pH و غلظت Zn در محلول صاف رویی توسط دستگاه جذب اتمی می‌کنند (ساراوانان و همکاران ۲۰۰۷).

مکانیسم‌های انحلال روی نامحلول توسط باکتری‌ها

تشکیل روی نامحلول در اثر استفاده از کود شیمیایی روی، یک تهدید جدی برای سیستم خاک-گیاه است. باکتری‌های محلول‌ساز روی (ZSB[۳۱]) یک گزینه بالقوه برای تبدیل روی نامحلول به فرم روی محلول و قابل دسترس است. در طی رشد، باکتری‌های خاک اسیدهای آلی را تولید می‌کنند در نتیجه باعث کاهش pH خاک اطراف خود می‌شوند این اسیدها با سطح مواد معدنی موجود در ذرات خاک ترکیب شده و کاتیون‌های روی را کلات می‌کنند. اسیدهای آلی آنیونی مانند گلوکونیک و کتوگلوکونات در چندین ترکیب می‌توانند روی را از طریق گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل کلات کنند و حلالیت روی را افزایش داده و در نتیجه جذب روی و سایر عناصر معدنی را توسط گیاه افزایش دهند (ویدیاشری و همکاران ۲۰۱۸). بسته به منبع روی معدنی، اسیدهای آلی مختلفی تولید می‌شود که شامل کتو- D- گلوتارات، اسید پروپیونیک، اسید فرمیک، اسید لاکتیک، اسید گلوکونیک، اسید سیتریک، اسید سوکسینیک، اسید مالیک و اسید اگزالیک می‌باشد (ویدیاشری و همکاران ۲۰۱۸، ساراوانان

[27] Green Farm
[28] Green growth
[29] Peptech Biosciences Limited
[30] Tris minimal salt
[31] Zinc solubilizing bacteria

و همکاران ۲۰۰۴). غیر از تولید اسید آلی، احتمالاً فرآیندهای دیگری مانند تولید سیدروفورها (ساراوانان و همکاران ۲۰۱۱)، سیستم اکسیداسیون غشای سلولی (واکاتسوکی ۱۹۹۵) و لیگاندهای کلات کننده (ساراوانان و همکاران ۲۰۰۷) در انحلال روی نقش داشته باشند. برای مثال گزارش شده است که توانایی انحلال روی در باکتری‌های خاکزی *Bacillus* sp. و *Pseudomonas* sp. از طریق تولید اسیدهای آلی مانند اسید فرمیک، اسید استیک، اسید پروپیونیک، اسید لاکتیک، اسید گلیکولیک، اسید فوماریک و اسید سوکسینیک می‌باشد (عثمان و همکاران ۲۰۱۷). اثر باکتری *Pseudomonas* spp. در محلول‌سازی ZnO و $Zn_3(PO_4)_2$ نامحلول از طریق تولید اسید گلوکونیک و ۲-کتو گلوکونیک اسید نشان داده شده است (دینش و همکاران ۲۰۱۸). مکانیسم‌های انحلال روی گزارش شده در تحقیقات مختلف برای سویه‌های *باسیلوس* شامل تولید لیگاندهای کلات کننده و اسیدهای آلی، ترشح پروتون، سیستم‌های اکسید و احیاکننده غشایی و مکانیسم‌های غیرمستقیم دیگری مانند تولید اسیدهای آمینه، تولید هورمون‌های گیاهی و غیره می‌باشد (ساراوانان و همکاران ۲۰۱۲). در یک آزمایش درون شیشه‌ای نشان داده شد که در میان سویه‌های مختلف *باسیلوس*، *Bacillus aryabhattai* با تشکیل بیشتر از ۱۰ میلی‌متر هاله شفاف در اطراف کلنی خود در محیط حداقل معدنی تریس[۳۲]- جامد که حاوی منابع مختلف روی نامحلول بود سویه برتر بوده و در انحلال روی نامحلول بسیار موثر عمل می‌کند (انورادها و همکاران ۲۰۱۵). در یک مطالعه آزمایشگاهی گزارش شده است که *Gluconacetobacter diazotrophicus* PAl5، یک باکتری گرم منفی پتانسیل محلول‌سازی بالایی برای انحلال منابع روی نامحلول ZnO، $ZnCO_3$ و $Zn_3(PO_4)_2$ دارد. در ادامه گزارش شده است که این باکتری با استفاده از ساکارز یا گلوکز به عنوان منبع کربن، ZnO را با کارآیی بیشتری نسبت به $ZnCO_3$ یا $Zn_3(PO_4)_2$ حل می‌کند. در ادامه با یک آزمایش گلدانی مشخص شد که تلقیح این باکتری به همراه منابع روی نامحلول در گیاه ذرت منجر به رفع نشانه‌های کمبود روی در گیاه گردید (ساراتامبال و همکاران ۲۰۱۰). مطالعات HPLC[۳۳] بر روی تولید اسیدهای آلی تولید شده برای انحلال روی نامحلول توسط باکتری‌های *B. aryabhattai*، *Pseudomonas taiwenensis* و *Bacillus* sp. نشان داده است که یازده اسید آلی برای انحلال منابع مختلف روی از جمله ZnO، $ZnCO_3$ و $Zn_3(PO_4)_2$ توسط سه جدایه مذکور تولید شده است که اسید لاکتیک، اسید مالونیک، اسید مالیک، اسید سیتریک و اسید سوکسینیک مهمترین اسیدهای آلی تولید شده بودند. باکتری *B. aryabhattai* در مقایسه با *P. taiwenensis* و *Bacillus* sp. تقریباً همه اسیدهای آلی را در هنگام محلول‌سازی روی تولید کرده است. در این آزمایش همچنین مشخص گردید که ترشح اسیدهای آلی توسط باکتری‌های *باسیلوس* و *سودوموناس* بسته به ترکیب منبع روی نامحلول و نیز اجزای محیط کشت متفاوت خواهد بود (ویدیاشری و همکاران ۲۰۱۸). برخی از مکانیسم های بکارگرفته شده توسط ZSB در تحقیقات مختلف در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مکانیسم‌های بکارگرفته شده توسط باکتری‌های حل‌کننده روی برای انحلال منابع مختلف روی نامحلول

ردیف	باکتری حل کننده روی	منبع نامحلول روی	مکانیسم بکار گرفته شده	منبع
۱	*Pseudomonas fluorescens*	$Zn_3(PO_4)_2$	تولید اسیدهای آلی و سیدروفور	دی سیماین و همکاران ۱۹۹۸
۲	*Pseudomonas aeruginosa*	ZnO, $Zn_3(PO_4)_2$	گلوگونیک اسید و اسید کتوگلوگونیک	فاسیم و همکاران ۲۰۰۲
۳	*Pseudomonas sp.* *&Bacillus sp.*	ZnO, ZnS and $ZnCO_3$	اسیدهای آلی و ترشح پروتون	ساراوانان و همکاران ۲۰۰۴
۴	*Gluconacetobacter Diazotrophicus*	ZnO $ZnCO_3$ or $Zn_3(PO4)_2$	اسید گلوگونیک و اسید ۵-کتوگلوکونیک	ساراتامبال و همکاران ۲۰۱۰
۵	*Klebsiella sp.* *Pseudomonas sp.*	ZnO, $Zn_3(PO_4)_2$	اسید لاکتیک- اسید مالیک و تولید سیدروفور	شارما و همکاران ۲۰۱۴
۶	*Acinetobacter calcoaceticus*	ZnO, $ZnCO_3$	تولید لیگاند و اسیدهای آلی	قوتتی و همکاران ۲۰۱۳
۷	*Bacillus cereus*	ZnO, $Zn_3(PO4)_2$	اسید سیتریک، اسید اگزالیک، اسید مالونیک	کومار و همکاران ۲۰۱۷

[32] Tris minimal salt -Agar
[33] High Performance Liquid Chromatography

۸	*B. aryabhattai*	ZnO, $Zn_3(PO4)_2$ $ZnCO_3$	اسید پروپیونیک، اسید مالیک، اسید مالونیک، گلوکونیک اسید، اسید سیتریک و کتو دی گلوتارات اسید	ویدیاشری و همکاران ۲۰۱۸
۹	*B. megaterium*, KY687496	ZnO, $Zn_3(PO4)_2$ $ZnCO_3$	گلوگونیک اسید	دینش و همکاران ۲۰۱۸
۱۰	*Pseudomonas taiwenensis*	ZnO, $Zn_3(PO_4)_2$ $ZnCO_3$	اسید اگزالیک، اسید سیتریک، اسید پروپیونیک، اسید کتو دی گلوتارات	حسین و همکاران ۲۰۱۵
۱۱	*Acinetobacter sp.* (TM56), *Serratia sp.* (TM9)	ZnO $ZnSO_4$	گلوگونیک اسید	عثمان و همکاران ۲۰۱۷

نتیجه‌گیری

در حال حاضر، کودهای شیمیایی با تمرکز بر عملکرد بیشتر محصول بیش از حد مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه‌بر این، تنها به عناصر پرمصرف (مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم) اهمیت بیشتری داده می‌شود که منجر به کاهش تدریجی مخازن عناصر ریزمغذی در خاک می‌شود. از آنجا که روی یکی از عناصر ریزمغذی مهم در گیاهان است، کاهش این عنصر در خاک منجر به بروز کمبود آن در گیاهان می‌گردد. اگرچه صنایع مختلف همراه با جامعه علمی در تلاشند تا بهره‌وری و کیفیت محصولات را برای مقابله با کمبود روی با استفاده از راهکارهای تقویت شیمیایی مکمل افزایش دهند، اما به دلیل گران بودن و پرزحمت بودن این استراتژی‌ها موفقیت چشمگیری حاصل نمی‌گردد. همچنین، اقشار ضعیف جامعه از نظر اقتصادی توانایی پرداخت این مکمل‌های شیمیایی را ندارند. از این رو، برای دستیابی به پیشرفت‌های مقرون به صرفه و سودمند و با درنظر گرفتن بحث امنیت غذایی و حفظ محیط زیست، به‌ناچار باید بر راهکارهای جدید و دوستدار محیط زیست مانند پتانسیل میکروب‌های مفید خاکزی-ریزوسفری برای مقابله با کمبود روی تمرکز گردد. همانطور که در این مقاله مرور شد، چندین سویه از میکروب‌های حل‌کننده روی می‌توانند رشد گیاه، عملکرد و کیفیت محصولات را تقویت کرده و مهم‌تر از آن پتانسیل جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی روی موجود در بازار را دارند. بکاری‌گیری این سویه‌های میکروبی محلول‌ساز روی نه‌تنها به غلبه بر معایب مصرف کودهای شیمیایی کمک می‌کند بلکه به افزایش جذب سایر عناصر ریز و درشت مغذی مانند فسفر، نیتروژن، پتاسیم و آهن نیز کمک خواهد کرد. علاوه بر این، استفاده از کودهای زیستی همچنین برای کنترل میکروب‌های بیماریزای گیاه بسیار مهم هستند که در نهایت منجر به افزایش عملکرد گیاه و کیفیت محصولات می‌شود. با نگاهی به تقاضای فعلی برای کشاورزی پایدار، اقتصادی‌ترین راه سازگار با محیط زیست و رویکرد جدید استفاده از باکتری‌های محرک رشد حل‌کننده روی است که به تنهایی یا در ترکیب با مواد آلی می تواند فراهمی زیستی عنصر روی و همزمان سایر مواد ریز و درشت مغذی را افزایش دهد

فهرست منابع

خوشرو ب.، ساریخانی م ر.، جعفری ع.، جودتی ع. و رحمدل ف. (۱۳۹۸). غربالگری و جداسازی باکتریهای حل‌کننده روی. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۵ تا ۷ شهریور. زنجان. ایران.

Abaid-Ullah, M., Nadeem, M., Hassan, M., Ganter, J., Muhammad, B., Nawaz, K., & Hafeez, F. Y. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria: an alternate way to improve yield and quality of wheat (Triticum aestivum). *International Journal of Agriculture and Biology*, *17*(1).

Alloway, B. J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental geochemistry and health*, *31*(5), 537-548.

Anuradha, P., Syed, I., Swati, M., & Patil, V. D. (2015). Solubilization of insoluble zinc compounds by different microbial isolates in vitro condition. *International Journal of Tropical Agriculture*, *33*(2 (Part II)), 865-869.

Bapiri, A., Asgharzadeh, A., Mujallali, H., Khavazi, K., & Pazira, E. (2012). Evaluation of Zinc solubilization potential by different strains of Fluorescent Pseudomonads. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, *16*(3).

Cakmak, I. (2009). Enrichment of fertilizers with zinc: An excellent investment for humanity and crop production in India. *Journal of trace elements in medicine and biology*, *23*(4), 281-289.

Cakmak, I., & Kutman, U. Á. (2018). Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science*, *69*(1), 172-180.

Chahal, D. S., Sharma, B. D., & Singh, P. K. (2005). Distribution of forms of zinc and their association with soil properties and uptake in different soil orders in semi- arid soils of Punjab, India. *Communications in soil science and plant analysis*, *36*(19-20), 2857-2874.

Dhaked, B. S., Triveni, S., Reddy, R. S., & Padmaja, G. (2017). Isolation and screening of potassium and zinc solubilizing bacteria from different rhizosphere soil. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, *6*(8), 1271-1281.

Di Simine, C. D., Sayer, J. A., & Gadd, G. M. (1998). Solubilization of zinc phosphate by a strain of Pseudomonas fluorescens isolated from a forest soil. *Biology and Fertility of Soils*, *28*(1), 87-94.

Dinesh, R., Srinivasan, V., Hamza, S., Sarathambal, C., Gowda, S. A., Ganeshamurthy, A. N., & Divya, V. C. (2018). Isolation and characterization of potential Zn solubilizing bacteria from soil and its effects on soil Zn release rates, soil available Zn and plant Zn content. *Geoderma*, *321*, 173-186.

Domej, W., Krachler, M., Goessler, W., Maier, A., Irgolic, K. J., & Lang, J. K. (2000). Concentrations of copper, zinc, manganese, rubidium, and magnesium in thoracic empyemata and corresponding sera. *Biological trace element research*, *78*(1), 53-66.

Fasim, F., Ahmed, N., Parsons, R., & Gadd, G. M. (2002). Solubilization of zinc salts by a bacterium isolated from the air environment of a tannery. *FEMS microbiology letters*, *213*(1), 1-6.

Gandhi, A., & Muralidharan, G. (2016). Assessment of zinc solubilizing potentiality of Acinetobacter sp. isolated from rice rhizosphere. *European Journal of Soil Biology*, *76*, 1-8.

Ghosh P.K., Hazra K.K., Kumar N., Nadarajan N. and Venkatesh M.S., (2014). Resource Conservation Technology n Pulses, 'Zinc in crops and human health - an overview', Scientific Publishers, 213-223.

Goteti, P. K., Emmanuel, L. D. A., Desai, S., & Shaik, M. H. A. (2013). Prospective zinc solubilising bacteria for enhanced nutrient uptake and growth promotion in maize (Zea mays L.). International journal of microbiology. 12, 28-36.

Gupta, N., Ram, H., & Kumar, B. (2016). Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, *15*(1), 89-109.

Hafeez, B., Khanif, Y. M., & Saleem, M. (2013). Role of zinc in plant nutrition-a review. *Journal of Experimental Agriculture International*, 374-391.

Hahn, A., Kilian, J., Mohrholz, A., Ladwig, F., Peschke, F., Dautel, R., & Wanke, D. (2013). Plant core environmental stress response genes are systemically coordinated during abiotic stresses. *International journal of molecular sciences*, *14*(4), 7617-7641.

Hussain, A., Arshad, M., Zahir, Z. A., & Asghar, M. (2015). Prospects of zinc solubilizing bacteria for enhancing growth of maize. *Pakistan journal of agricultural sciences*, *52*(4). 210-221

Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). Trace elements in soils and plants, 3rd edn CRC Press. *Boca Raton, FL, USA*.

Khoshru, Bahman, Debasis Mitra, Bhaswatimayee Mahakur, Mohammad Reza Sarikhani, Rittick Mondal, Devvret Verma, and Kumud Pant. "Role of soil rhizobacteria in utilization of an indispensable micronutrient zinc for plant growth promoting." Journal of Natural Remedies 21, no. 6 (2020).

Kumar, A. S., Meenakumari, K. S., & Anith, K. N. (2017). Screening for Zn solubilisation potential of soil bacteria from Zn deficient soils of Kerala. *Journal of Tropical Agriculture*, *54*(2), 194.

López- Rayo, S., Nadal, P., & Lucena, J. J. (2016). Novel chelating agents for iron, manganese, zinc, and copper mixed fertilisation in high pH soil- less cultures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*(4), 1111-1120.

Madhaiyan, M., Saravanan, V. S., Jovi, D. B. S. S., Lee, H., Thenmozhi, R., Hari, K., & Sa, T. (2004). Occurrence of Gluconacetobacter diazotrophicus in tropical and subtropical plants of Western Ghats, India. *Microbiological Research*, *159*(3), 233-243.

Mahdi, S. S., Hassan, G. I., Samoon, S. A., Rather, H. A., Dar, S. A., & Zehra, B. (2010). Bio-fertilizers in organic agriculture. *Journal of phytology*, *2*(10), 42-54.

Mori, A., Kirk, G. J., Lee, J. S., Morete, M. J., Nanda, A. K., Johnson-Beebout, S. E., & Wissuwa, M. (2016). Rice genotype differences in tolerance of zinc-deficient soils: evidence for the importance of root-induced changes in the rhizosphere. *Frontiers in plant science*, *6*, 1160.

Mortvedt, J. J., & Gilkes, R. J. (1993). Zinc fertilizers. In *Zinc in soils and plants* (pp. 33-44). Springer, Dordrecht.

Nielsen, F. H. (2012). History of zinc in agriculture. *Advances in Nutrition*, *3*(6), 783-789.

Noulas, C., Tziouvalekas, M., & Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, *49*, 252-260.

Othman, N. M. I., Othman, R., Saud, H. M., & Wahab, P. E. M. (2017). Effects of root colonization by zinc-solubilizing bacteria on rice plant (Oryza sativa MR219) growth. *Agriculture and Natural Resources*, *51*(6), 532-537.

Rani, N., Kaur, R., & Kaur, S. (2020). Zinc solubilising bacteria to augment soil fertility–a comprehensive review. *Int J AgriSci Vet Med*, *8*(1), 38-44.

Rieuwerts, J. S., Thornton, I., Farago, M. E., & Ashmore, M. R. (1998). Factors influencing metal bioavailability in soils: preliminary investigations for the development of a critical loads approach for metals. *Chemical Speciation & Bioavailability*, *10*(2), 61-75.

Sadeghzadeh, B. (2013). A review of zinc nutrition and plant breeding. *Journal of soil science and plant nutrition*, *13*(4), 905-927.

Sadeghzadeh, B., & Rengel, Z. (2011). Zinc in soils and crop nutrition. *The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops*, 335-375.

Sarathambal, C., Thangaraju, M., Paulraj, C., & Gomathy, M. (2010). Assessing the Zinc solubilization ability of Gluconacetobacter diazotrophicus in maize rhizosphere using labelled 65 Zn compounds. *Indian journal of microbiology*, *50*(1), 103-109.

Saravanan, V. S., Kalaiarasan, P., Madhaiyan, M., & Thangaraju, M. (2007). Solubilization of insoluble zinc compounds by Gluconacetobacter diazotrophicus and the detrimental action of zinc ion (Zn2+) and zinc chelates on root knot nematode Meloidogyne incognita. *Letters in applied microbiology*, *44*(3), 235-241.

Saravanan, V. S., Kumar, M. R., & Sa, T. M. (2011). Microbial zinc solubilization and their role on plants. In *Bacteria in agrobiology: plant nutrient management* (pp. 47-63). Springer, Berlin, Heidelberg.

Saravanan, V. S., Subramoniam, S. R., & Raj, S. A. (2004). Assessing in vitro solubilization potential of different zinc solubilizing bacterial (ZSB) isolates. *Brazilian Journal of Microbiology*, *35*(1-2), 121-125.

Sharma, P., Kumawat, K. C., Kaur, S., & Kaur, N. (2014). Assessment of zinc solubilization by endophytic bacteria in legume rhizosphere. *Indian J Appl Res*, *4*(6), 439-441.

Suhr, N., Schoenberg, R., Chew, D., Rosca, C., Widdowson, M., & Kamber, B. S. (2018). Elemental and isotopic behaviour of Zn in Deccan basalt weathering profiles: chemical weathering from bedrock to laterite and links to Zn deficiency in tropical soils. *Science of The Total Environment*, *619*, 1451-1463.

Suzuki, M., Tsukamoto, T., Inoue, H., Watanabe, S., Matsuhashi, S., Takahashi, M., & Nishizawa, N. K. (2008). Deoxymugineic acid increases Zn translocation in Zn-deficient rice plants. *Plant molecular biology*, *66*(6), 609-617.

Vidyashree, D. N., Muthuraju, R., Panneerselvam, P., & Mitra, D. (2018). Organic acids production by zinc solubilizing bacterial isolates. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, *7*(10), 626-633.

Wakatsuki, T. (1995). Metal oxidoreduction by microbial cells. *Journal of industrial microbiology*, *14*(2), 169-177.

Welch, R. M., & Graham, R. D. (2004). Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. *Journal of experimental botany*, *55*(396), 353-364.

Yoneyama, T., Ishikawa, S., & Fujimaki, S. (2015). Route and regulation of zinc, cadmium, and iron transport in rice plants (Oryza sativa L.) during vegetative growth and grain filling: metal transporters, metal speciation, grain Cd reduction and Zn and Fe biofortification. *International journal of molecular sciences*, *16*(8), 19111-19129.

Using of the potential of rhizobacteria to deal with zinc deficiency in plants as an eco-friendly approach

B. Khoshu [1], M R Sarikhani [2], Sh. Moradi[1]

1- Ph.D. Student of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Univ. of Tabriz, Iran.
bahmankhoshru@yahoo.com

2- Associate Prof. of Soil Biology and Biotechnology, Dept. of Soil Science, Univ. of Tabriz, Iran.

Abstract

Plants for normal growth and favorable performance are required to proper balance if Zn in their tissue. The deficiency of this element is common in many parts of the world and reduces the growth and performance of agricultural products. Excessive use of chemical fertilizers, in addition to high costs, lead to environmental pollution (water, air and soil) and further reduces soil fertility and degradation that its subsequent effects appear in the plant, animal and humans. The only small part of the Zn chemical fertilizer used in the soil is used by the plant and most of it remains in the soil and again becomes insoluble into various forms. To overcome this problem, the scientific community focused on the production of biofertilizers in which Zn solubilizing microbes are exploited to increase Zn concentration on the soil solution with an eco-friendly solution. In this study, the potential of beneficial rhizosphere microbes, especially bacteria, for solubilization of various sources of insoluble Zn in the soil as an environmentally friendly alternative to chemical Zn fertilizer has been studied.

Keywords: Sustainable agriculture, micronutrients, organic acids, ligands, pH

بررسی کارایی باکتریهای ریزوسفری در انحلال منابع نامحلول عنصر روی در شرایط درون شیشه‌ای

بهمن خوشرو[۱]، محمد رضا ساریخانی[۲]، علی لطف الهی[۳]، امیر کهنمویی[۴]

۱- دانشجوی دکترای بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز-bahmankhoshru@yahoo.com

۲- دانشیار گروه بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

روی یک عنصر ریزمغذی ضروری است که برای رشد مطلوب گیاه مورد نیاز است. باکتری‌های حل‌کننده روی گزینه‌های بالقوه‌ای برای تامین این عنصر هستند و فرم‌های معدنی نامحلول روی را از طریق مکانیسم‌هایی مانند تولید سیدروفور، تولید اسیدهای آلی و ترشح پروتون به فرم‌های قابل دسترس برای گیاه تبدیل می‌کنند. در این مطالعه پتاسیل ریزوباکتری‌های حل‌کننده روی جدا شده از ریزوسفر گیاهان ذرت برای ارزیابی انحلال روی از منابع نامحلول شامل فسفات روی، اکسید روی و کربنات روی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در شرایط درون شیشه‌ای با طرح آماری کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر نمونه انجام شد. نتایج نشان داد که جدایه ZP13 با ۲۴/۶۴ میلی‌گرم بر لیتر از منبع فسفات روی، ایزوله ZC10 با ۱۹/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر از کربنات روی و ایزوله ZO11 با ۲۶/۵ میلی‌گرم بر لیتر از اکسید روی دارای بیشترین حلالیت بودند. میزان انحلال روی از منابع مورد آزمایش از این ترتیب (اکسید روی > فسفات روی > کربنات) تبعیت نمود. در این آزمایش همبستگی منفی و معنی‌داری بین انحلال روی و تغییرات pH مشاهده گردید .

واژگان کلیدی: کشاورزی پایدار، باکتری‌های ریزوسفری، تولید اسید، pH

مقدمه

گیاهان می‌توانند عنصر روی (Zn) را به عنوان کاتیون دو ظرفیتی جذب کنند اما فقط قسمت بسیار کمی از کل روی به عنوان فرم قابل جذب توسط گیاهان در محلول خاک وجود دارد (کاباتا و پندیس ۲۰۰۱). بقیه روی به صورت کمپلکس‌ها و مواد معدنی نامحلول برای گیاه قابل استفاده نیست (آلووی ۲۰۰۸). به دلیل کافی نبودن روی قابل دسترس برای گیاهان در خاک، کمبود روی بروز می‌دهد که یکی از گسترده‌ترین کمبودهای عناصر غذایی است. برای کاهش کمبود روی، از مدت‌ها قبل از کودهای شیمیایی روی به شکل سولفات روی (وایت و برود لی ۲۰۰۵) یا Zn-EDTA (کاراک و همکاران ۲۰۰۵) استفاده شده است، اما استفاده از کودهای شیمیایی باعث هزینه‌های اقتصادی و آسیب‌های زیست محیطی می‌شود. این کودها در خاک‌های آهکی در عرض ۷ روز به فرم‌های نامحلول و غیرقابل دسترس برای گیاه تبدیل می‌شوند (راتان و شوکلا ۱۹۹۱). در برخی مناطق مختلف برای بهبود جذب روی توسط گیاهان از تناوب کشت و کشت مخلوط بصورت منظم استفاده شده است (زو و ژانگ ۲۰۰۹). روش‌های دیگر شامل رویکردهای انتقال ژن و مهندسی ژنتیک است (گاستین و همکاران ۲۰۱۵). با این حال، این روش‌ها گران، پرزحمت و دیرپاسخده هستند. یک جایگزین مناسب برای همه این روش‌ها استفاده از ریزوباکتری‌های حل‌کننده روی می‌باشد (خوشرو و همکاران ۲۰۲۰). باکتری‌های حل‌کننده روی (ZSB[۱]) با استفاده از مکانیسم‌های مختلف، عنصر روی را حل می‌کنند که یکی از آنها تولید اسید است. این میکروب ها اسیدهای آلی در خاک تولید می‌کنند که کاتیون‌های روی را آزاد می‌کند و pH خاک اطراف میکروب را کاهش می‌دهد (الکساندر ۱۹۹۷). علاوه بر این، آنیون‌ها نیز می‌توانند روی را کلاته کنند و حلالیت روی را

[1] Zinc Solubilizing Bacteria

افزایش دهند (جونز و داراه ۱۹۹۴). مکانیسم‌های دیگری که احتمالاً در انحلال روی نقش دارند شامل تولید سیدروفورها، ترشح پروتون، سیستم‌های اکسیداسیون و احیای موجود بر روی غشای سلول و نیز لیگاندهای کلات‌کننده می‌باشند (ساراوانان و همکاران ۲۰۱۱، خوشرو و همکاران ۱۳۹۸، چانگ و همکاران ۲۰۰۵، واکاتسوکی ۱۹۹۵). سویه‌های باکتریایی که انحلال روی را در شرایط آزمایشگاهی نشان داده‌اند شامل *Pseudomonas aeruginosa* (فاسیم و همکاران ۲۰۰۲)، *Gluconacetobacter diazotrophicus* (ساراوانان و همکاران ۲۰۰۷)، *Bacillus sp.*، *Serratia liquefaciens* و *Bacillus thuringiensis* (عبیداله و همکاران ۲۰۱۵) می‌باشد. تلقیح این باکتری‌ها در گیاهان باعث افزایش رشد و محتوی روی گردیده است (خانده و همکاران ۲۰۱۷). در ایران استفاده از پتانسیل باکتری‌های ریزوسفری برای انحلال روی و بهره‌برداری از این ریزجانداران به عنوان کود زیستی روی کمتر مورد توجه قرار گرفته است ولی اخیراً شرکت زیست فناور سبز اقدام به تولید کود زیستی با نام تجاری روی و آهن بارور کرده است که حاوی باکتری *Pseudomonas japonica* سویه‌های FZ.29-1 و FZ.21-1 با جمعیت (CFU/g) 10^{8}-10^{7}بوده و به گفته شرکت سازنده، این سویه‌های باکتریایی تولید کننده سیدروفور بوده و قادر به تحمل دما تا ۴۵ درجه، اسیدیته ۵ تا ۹ و شوری تا ۷ درصد هستند (http://greenbiotech-co.com/rtc/385). از نتایج اثربخشی این کود فعلا گزارشی در دست نیست.

با توجه به موارد ذکر شده در بالا، آثار زیانبار استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی بر همگان آشکار شده و جهت مقابله با این مشکل نیاز به راهکارهایی در راستای کشاورزی پایدار شدیداً احساس می‌گردد. برای حل مشکل کمبود روی، بکارگیری توانایی‌های مفید و متنوع باکتری‌های ریزوسفری مناسب‌ترین راهکار برای این منظور می‌باشد بر این اساس در این تحقیق جداسازی و بررسی توانایی باکتری‌های ریزوسفری برای انحلال روی نامحلول از منابع مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

جداسازی باکتری‌ها

برای این منظور، از خاک‌های ریزوسفری مزارع ذرت در شهرستان تبریز نمونه‌برداری شد و پس از تهیه سری‌های رقت، از رقت‌های پایانی (رقت 10^{-9}، 10^{-8}، 10^{-7} و 10^{-6}) در ۳ تکرار به میزان ۱۰۰ میکرولیتر بر روی محیط‌های جامد اختصاصی انتقال داده شد. برای این منظور از محیط TMS[2]-Agar دارای ۰/۱ ٪ روی کم‌محلول از سه نوع منبع روی شامل اکسید روی، کربنات روی و فسفات روی بطور مجزا استفاده گردید (دینش و همکاران ۲۰۱۸). بعد از گسترده نمودن سوسپانسیون میکروبی از رقت‌های موردنظر در محیط‌های کشت، بر اساس فنوتیپ و ریخت کلنی باکتری‌ها و تشکیل هاله شفاف، اقدام به جداسازی باکتری‌ها شد تا آزمایشات بعدی روی آن‌ها انجام گیرد.

آزمون توان حل‌کنندگی جدایه‌ها برای روی کم محلول

برای بررسی توان حل‌کنندگی روی در جدایه‌ها و تاثیر آنها روی pH محیط، از محیط TMS- broth با روی کم‌محلول ۰/۱ درصد از سه نوع منبع روی شامل اکسید روی، کربنات روی و فسفات روی بصورت جداگانه استفاده شد. مقدار ۵۰ میلی‌لیتر محیط مایع در ارلن مایر ۱۰۰ میلی‌لیتر ریخته و اتوکلاو شد و بعد از استریل و سرد شدن محیط مایع، اقدام به تلقیح باکتری‌ها به مقدار ۱۰۰ میکرولیتر کرده و سپس در شیکر انکوباتور گرماگذاری گردیدند (دمای ۲۸ درجه سلسیوس بمدت ۷ روز). سپس نمونه‌ها از انکوباتور بیرون آمده و پس از سانتریفوژ (۶۰۰۰ rpm بمدت ۱۰ دقیقه) اقدام به اندازه‌گیری pH و غلظت Zn در محلول صاف رویی توسط دستگاه جذب اتمی شد (ساراوانان و همکاران ۲۰۰۷).

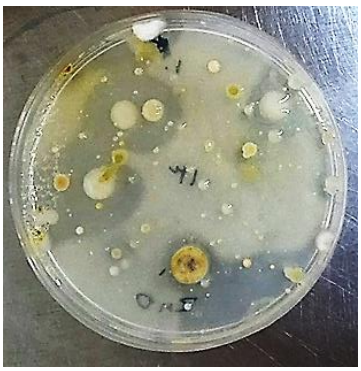
طرح آماری

[2] Tris minimal salt

آزمایش در شرایط آزمایشگاهی و درون شیشه‌ای بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید، فاکتورهای آزمایش شامل نوع باکتری و نوع منبع روی بود که با اعمال ۳ تکرار برای هر نمونه انجام شد. داده‌ها از طریق نرم افزار آماری SPSS آنالیزشده و نمودارها نیز از طریق نرم افزار Excel ترسیم شد.

نتایج و بحث

در مجموع ۲۰ جدایه باکتری از خاک‌های ریزوسفری گیاه ذرت با توجه به ریخت‌شناسی و توانایی رشد و تشکیل هاله در محیط کشت جامد TSM بدست آمد (شکل ۱). این جدایه‌ها شامل ZC5، ZC10، ZP3، ZP5، ZP6، ZP7، ZP9، ZP10، ZP13، ZP14، ZP15، ZO6، ZO9، ZO10، ZO11، ZO13-1، ZO13-2، ZO13-3، ZO13-4 و ZO14 بودند.

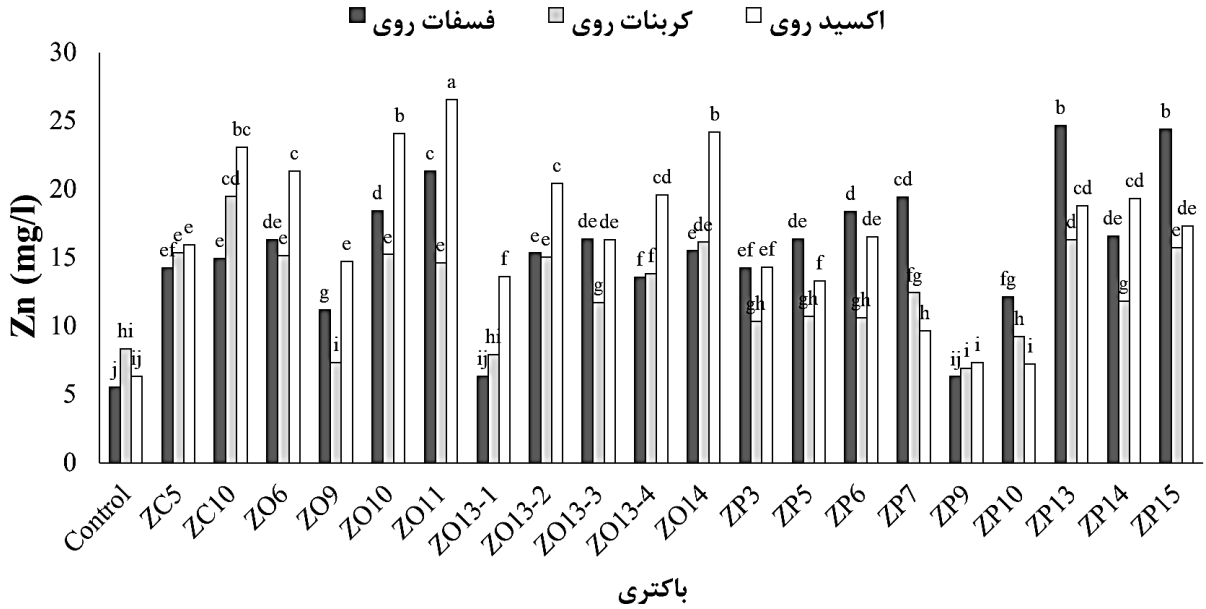


شکل۱- غربالگری باکتری‌های حل‌کننده روی –منبع فسفات روی

ارزیابی انحلال روی

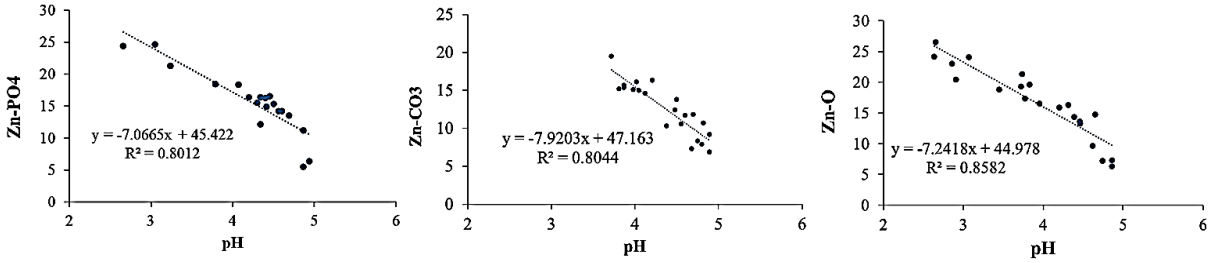
نتایج نشان داد که بین جدایه‌ها از نظر انحلال روی از منبع مختلف روی کم‌محلول تفاوت معنی‌داری وجود دارد (*P<0.01*). با نگاه کلی به نمودار مشاهده می‌گردد که بیشترین روی آزاد شده مربوط به منبع اکسید روی بوده که توسط باکتری ZO11 انجام گرفته است. در رتبه بعدی باکتری‌های ZP13 و ZP15 از منبع فسفات روی، جدایه‌های ZO14، ZO10 و ZC10 از منبع اکسید روی و جدایه ZC10 از منبع کربنات روی بیشترین انحلال روی را نشان دادند (شکل ۲). برای توضیحات بیشتر، هر منبع نامحلول روی را بطور جداگانه در زیر مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در منبع فسفات روی، بیشترین حلالیت برای ایزوله ZP13 با مقدار ۲۴/۶۴ میلی گرم بر لیتر بدست آمد که در مقایسه با تیمار شاهد ۷۷/۶۲ درصد افزایش انحلال روی را نشان داد. ZP15 و ZO11 به ترتیب با ۲۴/۴۱ و ۲۱/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر در رده های بعدی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین انحلال فسفات روی و تغییرات pH رابطه قوی وجود دارد (شکل ۲). ضریب همبستگی این دو پارامتر نیز بالا و معنی‌دار و در جهت عکس بود (r = -0.898** ، جدول ۲). در منبع کربنات روی جدایه ZC10 با ۱۹/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر بالاترین حلالیت را نشان داد، که در مقایسه با تیمار شاهد ۵۷/۱۳ درصد انحلال بیشتری داشت. جدایه‌های ZP13، ZO14 و ZP15 نیز در رده های بعدی بودند (شکل ۲). نتایج این بخش همچنین نشان داد که تأثیر pH بر انحلال کربنات روی زیاد و قابل توجه است (r = -0.897** ، جدول ۲). در منبع اکسید روی جدایه ZO11 با مقدار ۲۶/۵۴ میلی‌گرم در لیتر بیشترین حلالیت را داشت که ۷۶/۱۷ درصد انحلال بیشتری از تیمار شاهد نشان داد. جدایه‌های ZO14، ZO10 و ZC10 به ترتیب در رتبه‌های بعدی بودند (شکل ۲). همبستگی بین pH و انحلال اکسید روی توسط جدایه‌ها نشان داد یک همبستگی منفی و معنی‌دار بود (r = -0.926** ، جدول ۲).



شکل۲- ارزیابی انحلال روی از منابع مختلف روی کم محلول توسط جدایه‌های باکتریایی

ارزیابی انحلال روی از سه منبع فسفات، اکسید و کربنات روی نشان داد که اختلاف معنی‌داری در توانایی انحلال بین جدایه‌های باکتریایی وجود دارد، در حالی که مقدار روی در هر سه منبع برابر بود (۰/۱ درصد)، اما میزان انحلال روی در سه منبع یکسان نبود و بیشترین روی آزاد شده از سه منبع به ترتیب در اکسید روی (۲۶/۵ میلی گرم در لیتر)> فسفات روی (۲۴/۶۴ میلی گرم در لیتر)> کربنات روی (۱۹/۴۸ میلی گرم در لیتر) بود. در یک مطالعه گزارش شده است که ZSB توانایی موثری در انحلال منابع کم‌محلول روی (اکسید و کربنات روی) دارد، اگرچه سرعت انحلال در اکسید روی بیشتر از کربنات روی بوده است. در این تحقیق عنوان شد جدایه ZSB3 با ۶۲/۴۸ میلی‌گرم بر لیتر بالاترین میزان انحلال روی را در محیط کشت ثبت کرد. همچنین بین حل شدن روی و تغییرات pH همبستگی منفی به دست آمد (دینش و همکاران ۲۰۱۸). این همبستگی منفی بین انحلال روی و تغییرات pH توسط خوشرو و همکاران (۱۳۹۸) نیز گزارش شده است.



شکل۳- بررسی رابطه بین انحلال روی از منابع مختلف روی و pH

جدول۲- ضریب همبستگی پیرسون بین انحلال روی و تغییرات pH

ضریب همبستگی	فسفات روی	کربنات روی	اکسید روی
pH	-0.898**	-0.897**	-0.926**

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱.

بررسی همبستگی بین تغییرات pH و انحلال روی نشان داد که رابطه قوی و معکوس بین این دو پارامتر وجود دارد و در بین منابع مختلف روی کم‌محلول بکار گرفته شده در این تحقیق، در حضور اکسید روی در مقایسه با دو منبع دیگر میزان افت pH بیشتری مشاهده شد و بیشترین میزان انحلال روی نیز از این منبع به دست آمد. لذا می‌توان گفت که طبق نتایج این تحقیق، در بین

مکانیسم‌هایی که برای انحلال روی توسط میکروب‌ها به ویژه باکتری‌ها به کار گرفته می‌شود احتمالاً کاهش pH بواسطه ترشح پروتون و یا تولید اسیدهای آلی برای محلول‌سازی روی موثرترین سازوکار نسبت به سایر مکانیسم‌ها مانند تولید سیدروفور و سیستم‌های اکسیداسیون و احیای موجود روی غشای سلول باکتری می‌باشد. هرچند نیاز به آزمایشات بیشتر و تکمیلی جهت اثبات این گفته لازم می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به ماهیت آهکی خاک‌های کشور ما و به دلیل pH بالا و غیر مطلوب، بسیاری از عناصر از جمله روی در این خاک‌ها برای گیاهان غیرقابل دسترس بوده که در ادامه شاهد ظهور کمبود روی در گیاهان و کاهش عملکرد محصول خواهیم بود. استفاده از کودهای شیمیایی روی ممکن است در کاهش کمبود روی و افزایش عملکرد محصول مقرون به صرفه نباشد. علاوه بر این استفاده از کودهای شیمیایی سلامت عمومی و محیط زیست را تهدید می‌کند. در حال حاضر استفاده از کودهای شیمیایی در بسیاری از کشورها کاهش یافته است و تولیدکنندگان در حال بازگشت به کشاورزی ارگانیک هستند. در راستای کشاورزی پایدار استفاده از پتانسیل طبیعی میکروبیوم ریزوسفری، طبق نتیجه این تحقیق و تحقیقات زیاد دیگر می‌تواند نیازهای عناصر مغذی گیاه را تامین و پشتیبانی کند بدون اینکه آسیبی به محیط زیست وارد سازد. طبق نتیجه این تحقیق مشخص شد که مکانیسم موثر و اصلی باکتری‌ها برای انحلال روی، کاهش pH به واسطه ترشح پروتون و تولید اسیدهای آلی می‌باشد که همین امر می‌تواند به افزایش سایر عناصر مغذی به غیر از روی مانند فسفر، آهن، منگنز و مس برای گیاه کمک‌کننده باشد.

فهرست منابع

خوشرو ب.، ساریخانی م ر.، جعفری ع.، جودتی ع. و رحمدل ف. (۱۳۹۸). غربالگری و جداسازی باکتریهای حل‌کننده روی. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۵ تا ۷ شهریور. زنجان. ایران

Abaid-Ullah M., Hassan M. N., Jamil M., Brader G., Shah M. K. N., Sessitsch A., et al. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria: an alternate way to improve yield and quality of wheat (*Triticum aestivum*). Int. J. Agric. Biol. 17, 51–60

Alexander, M. (1978). Introduction to soil microbiology. Soil Science, 125(5), 331.

Alloway B. J. (2004). Zinc in Soil and Crop Nutrition. Belgium: International Zinc Association.

Chang H. B., Lin C. W., Huang H. J. (2005). Zinc induced cell death in rice (*Oryza sativa* L.) roots. Plant Growth Regul. 46, 261–266.

Dinesh, R., Srinivasan, V., Hamza, S., Sarathambal, C., Gowda, S. A., Ganeshamurthy, A. N.,& Divya, V. C. (2018). Isolation and characterization of potential Zn solubilizing bacteria from soil and its effects on soil Zn release rates, soil available Zn and plant Zn content. Geoderma, 321, 173-186.

Ebrahimipak, N., Tafteh, A., AsadiKapourchal, S., Egdernezhad, A. (2020). Evaluation of production functions to estimate potato yield in different irrigation treatments. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(6), 1721-1732.

Fasim F., Ahmed N., Parsons R., Gadd G. M. (2002). Solubilization of zinc salts by a bacterium isolated from the air environment of a tannery. FEMS Microbiol. Lett. 213, 1–6.

Gustin, J. L., Loureiro, M. E., Kim, D., Na, G., Tikhonova, M., & Salt, D. E. (2009). MTP1- dependent Zn sequestration into shoot vacuoles suggests dual roles in Zn tolerance and accumulation in Zn- hyperaccumulating plants. The Plant Journal, 57(6), 1116-1127.

Jones, D. L., & Darrah, P. R. (1994). Role of root derived organic acids in the mobilization of nutrients from the rhizosphere. Plant and soil, 166(2), 247-257.

Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001). Trace Elements in Soils and Plants. London: CRC Press.

Karak, T., Singh, U. K., Das, S., Das, D. K., & Kuzyakov, Y. (2005). Comparative efficacy of ZnSO4 and Zn-EDTA application for fertilization of rice (Oryza sativa L.). Archives of Agronomy and Soil Science, 51(3), 253-264.

Khande R., Sushil K. S., Ramesh A., Mahaveer P. S. (2017). Zinc solubilizing *Bacillus* strains that modulate growth, yield and zinc biofortification of soybean and wheat. Rhizosphere 4, 126–138.

Khoshru, Bahman, Debasis Mitra, Bhaswatimayee Mahakur, Mohammad Reza Sarikhani, Rittick Mondal, Devvret Verma, and Kumud Pant. "Role of soil rhizobacteria in utilization of an indispensable micronutrient zinc for plant growth promoting." Journal of Natural Remedies 21, no. 6 (2020).

Rattan, R. K., & Shukla, L. M. (1991). Influence of different Zn carriers on the utilization of micronutrients by rice. J. Indian Soc. Soil Sci, 39, 808-810.

Saravanan V. S., Kumar M. R., Sa T. M. (2011). Microbial zinc solubilization and their role on plants, in Bacteria in Agrobiology: Plant Nutrient Management, ed Maheshwari D. K. (Berlin: Springer, 47–63.

Saravanan V. S., Madhaiyan M., Thangaraju M. (2007). Solubilization of zinc compounds by the diazotrophic, plant growth promoting bacterium *Gluconacetobacter diazotrophicus*. Chemosphere 66, 1794–1798.

Wakatsuki T. (1995). Metal oxidoreduction by microbial cells. J. Ind. Microbiol. 14, 169–177.

White, P. J., & Broadley, M. R. (2005). Biofortifying crops with essential mineral elements. Trends in plant science, 10(12), 586-593.

Zuo, Y., & Zhang, F. (2009). Iron and zinc biofortification strategies in dicot plants by intercropping with gramineous species. A review. Agronomy for Sustainable Development, 29(1), 63-71.

Evaluation of rhizospheric bacteria efficiency in solubilizing of insoluble sources of zinc under in vitro condition

B. Khoshu [1], M R Sarikhani [2], A Lotfollahi [3], A Kahnamoyee [4]

1- Ph.D. Student of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, Univ. of Tabriz, Iran.
bahmankhoshru@yahoo.com

2- Associate Prof. of Soil Biology and Biotechnology, Dept. of Soil Science, Univ. of Tabriz, Iran.

3- Graduate Master of Horticulture, Faculty of Agriculture, Tabriz University

4- M.Sc. Student of Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Abstract

Zinc is an essential micronutrient needed for optimal plant growth. Zinc-solubilizing bacteria are potential alternatives to zinc micronutrient supplementation, converting insoluble mineral forms of zinc into forms available to the plant through mechanisms such as siderophore production, organic acid production, and proton secretion. In this study, the potential of zinc solubilizing rhizobacteria isolated from rhizosphere of maize plants was investigated to evaluate the dissolution of zinc from insoluble sources including zinc phosphate, zinc oxide and zinc carbonate. Experiments were performed in in-vitro condition with a completely randomized statistical design with three replications for each sample. The results showed that ZP13 isolate by 24.64 mg / l of zinc phosphate source, ZC10 isolate by 19.48 mg / l of zinc carbonate and ZO11 isolate by 26.5 mg / l of zinc oxide had the highest solubility. The dissolution rate of zinc from the experimented sources was as follows zinc oxide> zinc phosphate> zinc carbonate. In this experiment, a significant negative correlation was observed between zinc dissolution and pH changes.

Keywords: Sustainable agriculture, Rhizosphere bacteria, Acid production, pH

نشانه قارچ‌های درون‌زی بر گشایش کانی‌های خاک فسفات تیمار شده با گلوکز در کشتگاه جامد

***سمیرا عبدالرحیمی کودکان[۱]، علی اکبر صفری سنجانی[۲]**

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان (samira.abduolrahimi@gmail.com)،

[۲] استاد گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

چکیده

قارچ‌ها در فرایندهایی برای حل کردن سنگ فسفات پیش از کاربرد کود در خاک می‌توانند سودمند باشند و آنها یک جایگزین کم هزینه برای فرآوری کودهای فسفره می‌توانند باشند. این پژوهش با هدف بررسی توان ۱۵ گونه قارچ درون‌زی گیاه در افزایش زیست‌فراهمی کلسیم در کشتگاه جامد (خاک فسفات) انجام شد. پژوهش در کشتگاه جامد با دو غلظت یک و هفت درسد گلوکز با آزمایش فاکتوریل در طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. به‌گزینی قارچ‌ها به روش کیفی و توان کمی آنها در دگرش برخی از ویژگی‌های خاک مانند رسانندگی الکتریکی و کلسیم محلول برای ۳۰ روز بررسی شد. بررسی داده‌ها نشان داد که رهاسازی کلسیم با افزایش رسانندگی الکتریکی کشتگاه جامد همراه بوده و قارچ‌ها کارکرد بیشتری در کشتگاه دارای گلوکز هفت درسد داشته‌اند. همه قارچ‌ها توان رهاسازی کلسیم را داشته‌اند ولی روهمرفته همانند آنچه که در بررسی رسانندگی الکتریکی دیده شد، کلسیم محلول کشتگاه‌های دارای گلوکز بیشتر و مایه‌زنی شده با *آکرومونیوم، آلترناریا، کرولاریا، آسپرژیلوس و فوزاریوم* بالاتر بود که با گذشت زمان افزایش و در پایان آزمایش به بیشترین اندازه‌های خود رسید. یافته‌های این پژوهش نشان داد که قارچ‌های درون‌زی جدا شده از گیاهان می‌توانند برای کاهش زیان کمبود فسفر و همچنین بهبود کلسیم برای گیاه در خاک‌های کشاورزی بهره‌گیری شوند.

کلمات کلیدی: سنگ فسفات، قارچ‌های رشته‌ای، زیست‌فراهمی کلسیم

مقدمه

کشاورزان برای بهبود باروری خاک و برداشت بیشینه به گونه ای پیوسته کودهای شمیایی فسفره بکار می‌برند (Novais et (1999 .al. این فرایندی است که هزینه‌ی بالائی دارد و مایه آسیب به زیستگاه‌ها می‌شود (Vassilev et al.(2006a . بازیابی فسفر داده شده به خاک‌ها کار ساده‌ای نیست زیرا آنها به گونه برگشت ناپذیری بر رویه دانه‌های خاک با گذشت زمان برای گیاهان نافراهم می‌شوند (Novais et al.(1999 . بسیاری از قارچ‌ها و باکتری‌های خاک توان حل کردن فسفات‌های کانی و رهاسازی عناصر خوراکی را دارند (Illmer and Schinner(1992 . ریزجانداران گشاینده فسفات[1] کارایی ویژه‌ای را در فراهمی عناصر برای گیاهان دارند، و راندمان بازیابی کودهای فسفاته را بالا می‌برند. گزارش شده است که بهره‌گیری از PSMها در کشتزارها مایه افزایش کارکرد و برداشت فرآورده‌های گیاهی می‌شوند. برخی ریزجانداران، به ویژه گونه‌های قارچی از جنس‌های *Aspergillus* و *Penicillium* توانایی بالایی در رها کردن فسفر از ترکیب‌های کانی آن با اسیدی کردن زیستگاه از راه ساخت اسیدهای آلی دارند (Illmer et al.(1995 . گزارش شده است که قارچ‌ها در برابر باکتری‌ها توانایی بیشتری در حل کردن فسفات نامحلول خاک دارند (Nahas(1996 . این ریزجانداران در فرایندهایی برای حل کردن سنگ فسفات پیش از کاربرد کود در خاک می‌توانند سودمند باشند و آنها یک جایگزین کم هزینه

[1] P-solubilizing microorganisms, PSMs

برای فرآوری کودهای فسفره می‌توانند باشند Vassilev(2006b) . بنابراین هدف از این بررسی آزمون و شناخت توان حل کنندگی خاک فسفات و رهاسازی عناصر خوراکی مانند کلسیم با برخی از قارچ‌های همزیست گیاه است تا بتوان از این قارچ‌های سازگار با گیاه برای افزایش زیست‌فراهمی عناصر خوراکی در کانی‌های کم محلول فسفر بهره گیری کرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از ۳۰ قارچ درون‌زی جدا شده از گیاهان خانواده اسپناج بومی زیستگاه‌های خشک و شور بهره‌گیری شد آل طه و همکاران(۲۰۱۹). کار کشت و فراوان سازی هر یک از آنها در پتری دیش‌های دارای کشتگاه PDA [1] برای مایه‌زنی، انجام شد. برای گزینش بهترین قارچ‌های کارای دگرگون کننده کانی‌های فسفره، تکه‌ای به اندازه ۰/۵ در ۰/۵ سانتیمتر از پرگنه جوان هر یک از قارچ‌ها از کشتگاه PDA برای مایه‌زنی در کشتگاه جامد و سترون پیکوفسکایا[2] که دارای کانی سنگ فسفات (RP, 35% P_2O_5) است، در پتری دیش سترون بکار رفت و در دمای ۲۷ درجه سانتیگراد برای ۷ روز خوابانیده شد. پس از آن کلنی‌های قارچی که بهترین هاله روشن را پیرامون پرگنه خود نشان دادند، کاراترین قارچ‌ها در گشودن کانی فسفره بوده و برای آزمایش کمی گزینش شدند. بر این پایه از میان ۳۰ جدایه قارچی پانزده جدایه *Acromonium sp1*، *Acromonium sp2*، *Acromonium sp3*، *Alternaria botrytis*، *Alternaria consortialis*، *Aschochyta caulina*، *Aspergillus calidoustus*، *Aspergillus terreus*، *Curvolaria spicifera*، *Curvolaria spicifera*، *Fusarium brachygibbosum*، *Fusarium solani*، *Fusarium sp*، *Giberlla thapsina* و *Penicilium sp* گزینش شد. برای سنجش کمی توان جدایه‌های گزینش شده از کشتگاه جامد خاک فسفات تیمار شده با محلول پیکوفسکایا در دو غلظت گلوکز ۱ و ۷ درسد بهره گیری شد که در جدول ۱ آورده شده است. به اندازه ۴۰ گرم خاک فسفات در فلاسک‌های ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و در دو تیمار با کشتگاه پیکوفسکایا در دو غلظت گلوکز ۱ و ۷ درسد به اندازه‌ای آبیاری شد که به نمناکی گنجایش کشاورزی (FC) برسند. برای مایه‌زنی از میسیلیوم‌های جوان هر یک از ۱۵ جنس قارچ به‌گزین شده به اندازه ۰/۵ در ۰/۵ سانتیمتر در کشتگاه جامد (خاک فسفات) بهره گیری شد. سپس همه نمونه‌ها در تاریکی برای ۳۰ روز در نم FC و در دمای آزمایشگاه نگهداری شد. در این گام EC در عصاره خاک Sparks et al.(1996) و کلسیم محلول Tucker and Kurtz(1961) خاک فسفات برای یک دوره ۳۰ روزه بررسی شد. در این پژوهش آزمایشی فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. داده‌های به دست آمده از آزمایش نمونه‌های ۳۰ روزه به گونه جداگانه به کمک نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شد. آزمون میانگین داده‌های آزمایشی به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در پایه آماری ۵ درسد انجام و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel بهره‌گیری شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک فسفات و کشتگاه پیکوفسکایا بکاررفته برای کشت قارچ‌ها

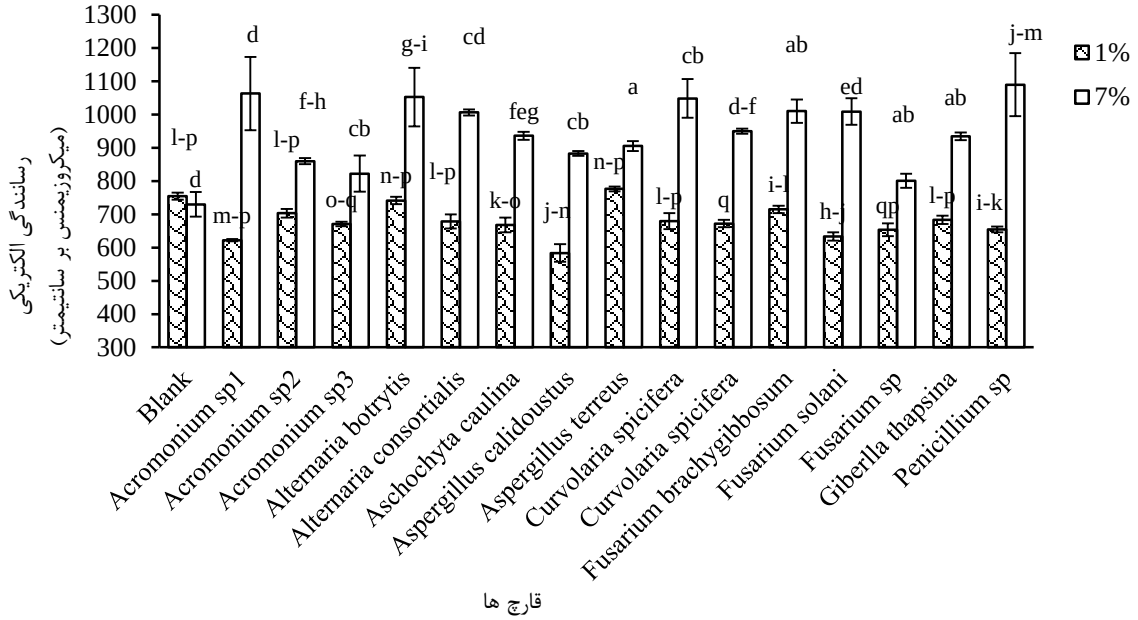
	بخش های سازنده	منابع
خاک فسفات#	کادمیوم ۱۰، فسفر ۳۵، آهن ۴،کلسیم ۴۹، فلور ۲، کلر ۰/۱۸ پی پی ام	مجتمع فسفات اسفوردی یزد
پیکوفسکایا	گلوکز ۱۰ یا ۷۰، فسفات کلسیم ۵، سولفات منیزیم ۷ آبه ۰/۱، سولفات آمونیوم ۰/۵، عصاره مخمر ۰/۵، کلرید پتاسیم ۰/۲، کلرید سدیم ۰/۲، سولفات آهن ۰/۰۰۲، سولفات منیزیم ۷ آبه ۰/۰۰۲ گرم بر لیتر	پیکوفسکایا (۱۹۴۸)

ویژگی‌های خاک فسفات از مجتمع فسفات اسفوردی یزد گرفته شده اند.

نتایج و بحث

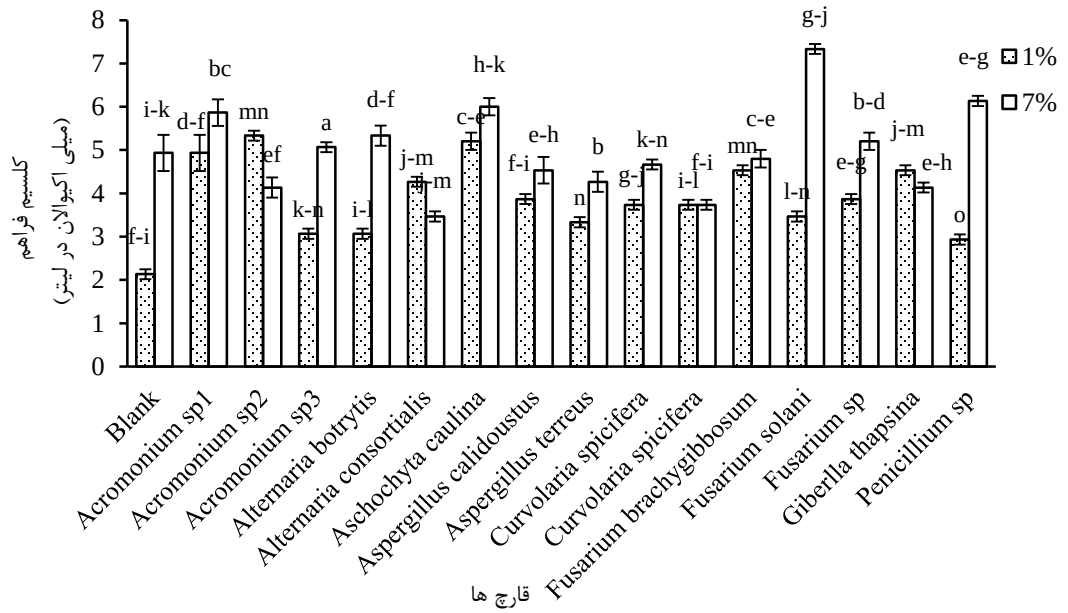
[1] Potato dextrose agar
[2] Pikovskaya

اندازه‌گیری رسانندگی الکتریکی کشتگاه (شکل ۱) نشان داد که قارچ‌ها مایه افزایش آن شده و این افزایش تا روز سی‌ام برای بیشتر تیمارها در برابر گواه آزمایش از دیدگاه آماری چشم‌گیر است ($P\leq0.05$). برای روز سی‌ام بترتیب تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ‌های *Penicillium sp*، *Acromonium sp1*، *Alternaria botrytis*، *Curvolaria spicifera* و *Fusarium brachygibbosum* با گلوکز هفت درسد با اندازه ۱۰۸۹/۶۶، ۱۰۶۳/۳۳، ۱۰۵۲/۶۶، ۱۰۴۸/۳۳ و ۱۰۱۰/۳۳ دسی‌زیمنس بر متر افزایش بیشتری را نشان دادند.



شکل ۱– آزمون میانگین رسانندگی الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتیمتر) در کشتگاه جامد دارای ۱ و ۷ درسد گلوکز برای هر یک از قارچ‌ها در روز سی‌ام کشت. بودن دست کم یک واژ یکسان در روی ستون‌ها نشان‌دهنده نبود ناهمانندی آماری چشم‌گیر در پایه آماری ۵٪ است. نوارهای خطا (Error Bars) انحراف از معیار می‌باشند (n=3)

میانگین کلسیم محلول در کشتگاه قارچ‌ها برای بیشتر تیمارها با هر دو غلظت گلوکز یک و هفت درسد در هر چهار زمان نمونه‌برداری به اندازه چشم‌گیری بیشتر از آن در گواه آزمایش بود ($P\leq0.05$).تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ‌های *Penicillium sp*، *Fusarium solani*، *Aschochyta caulina*، *Acromonium sp1* و *Alternaria botrytis* با گلوکز هفت درسد در روز سی‌ام با اندازه ۷/۳۳، ۶/۱۳، ۶، ۴/۹۳ و ۵/۳۳ میلی‌اکیوالان در لیتر کلسیم محلول بالاتری را داشتند (شکل ۲).



شکل ۲– آزمون میانگین کلسیم فراهم (میلی‌اکی والان در لیتر) در کشتگاه جامد دارای ۱ و ۷ درسد گلوکز برای هر یک از قارچ‌ها در روز سی‌ام کشت. بودن دست کم یک واژ یکسان در روی ستون‌ها نشان‌دهنده نبود ناهمانندی آماری چشم‌گیر در پایه آماری ۵٪ است. نوارهای خطا (Error Bars) انحراف از معیار می‌باشند (n=3)

روهمرفته همانند آنچه که در بررسی رسانندگی الکتریکی دیده شد، کلسیم محلول کشتگاه‌های دارای گلوکز بیشتر و مایه‌زنی شده با *آکرومونیوم، آلترناریا، کرولاریا، آسپرژیلوس و فوزاریوم* بالاتر بود که با گذشت زمان افزایش و در پایان آزمایش به بیشترین اندازه‌های خود رسید. با اینکه ساخت اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم و کاهش پی‌اچ مایه گشایش کانی‌ها می‌شوند، چنین نیست که آنها تنها سازوکار رشد قارچ‌ها در کشتگاه با کمبود فسفر باشند، زیرا دیگر سازوکارها نیز همان اندازه می‌توانند کارایی داشته باشند (2007) .Rosling et al ، مانند توان ویژه قارچ‌ها در جذب فسفر در کشتگاه‌های با کمبود فسفر. بنابراین آزمون توان قارچ‌ها با اندازه‌گیری هاله روشن در کشتگاه‌های جامد شاید نشان دهنده توان ویژه آنها در افزایش زیست‌فراهمی فسفر نباشد و کاهش پی‌اچ در گزینش گونه‌ها چندان کارایی نداشته باشد. گونه‌های قارچی توان ناهمانندی را در افزایش زیست‌فراهمی فسفر در خاک فسفات تیمار شده با غلظت‌های گوناگون کربن آلی (یک و هفت درسد گلوکز) نشان دادند. قارچ‌ها کارکرد بیشتری را در کشتگاه با اندازه بیشتری از گلوکز داشتند. ساخت اسیدها و کاهش پی‌اچ وابسته به فراهمی کربن آلی کشتگاه بود. بررسی پرادهان و ساکلا (۲۰۰۵) نشان داد که ساخت اسیدها، هم وابسته به اندازه و هم وابسته به گونه کربن آلی کشتگاه است. در میان خاستگاه کربن آلی دو کشتگاه گلوکز و مالتوز پی‌اچ را بهتر کاهش می‌دهند و بالاترین فسفر محلول را بدست می‌دهند. توانایی گشایش یک ریزجاندار به توان ساخت اسیدهای آلی آن وابسته است، گذشته از آن به گونه اسید ساخته شده نیز وابسته است Vassileva et al.(1998) . خاک فسفات بکار رفته، افزون بر کانی‌های فسفره دارای کانی و عناصر دیگری است که می‌تواند همانند بافری توان اسیدهای آلی را کاهش دهند. رهاسازی برخی از عناصر شیمیایی مانند Mn, Zn, Fe و Cu در اکسیدها و هیدروکسیدها می‌تواند از کاهش پی‌اچ با اسیدهای آلی جلوگیری کند Mendes et al.(2013) . اسیدهای آلی می‌توانند با فلزهای گشوده شده همتافته (کمپلکس)های پایدار بسازند که به افزایش زیست‌فراهمی فسفر می‌انجامد. اسیدهای اگزالیک و سیتریک گنجایش بیشتری داشته و در کشتگاه قارچ‌ها می‌تواند مایه رهاسازی فسفر از خاک فسفات و کانی‌های خاک شود Mendes et al.(2013) . بنابراین اسیدهای آلی می‌توانند غلظت فسفر فراهم را با واکنش‌های تبادل لیگاندی یا با همتافتگی با یون‌های فلزی رها شده در محلول افزایش دهند، و از ته نشینی فسفر با این یون‌ها جلوگیری کند Welch et al.(2002) . در این پژوهش اندازه‌گیری کلسیم محلول و رسانندگی الکتریکی کشتگاه جامد نشان داد که

مایه‌زنی قارچ‌ها پیامد چشم‌گیری بر آنها داشته است و مایه افزایش آنها در برابر گواه آزمایش شد که این افزایش تا روز سی‌ام به گونه پیوسته‌ای نمایان بود. گونه‌های قارچ با رهاسازی اسیدهای آلی مایه گشایش کانی‌ها در کشتگاه خاک فسفات شده‌اند. قارچ‌ها می‌توانند مایه گشایش کانی‌های فسفر، همچنین جذب زیستی کاتیون‌ها در جایگاه‌های تبادلی در دیواره یاخته شوند و از سوی دیگر می‌توانند مایه جذب و کاهش زیست‌فراهمی فسفر با انباشت آن به ریخت کانی‌های نوین در میسلیوم خود شوند Rosling (2007) et al.

نتیجه‌گیری پایانی

بررسی روند افزایش پیوسته رسانندگی الکتریکی و کلسیم محلول در آزمایش سی روزه بویژه در کشتگاه با گلوکز بیشتر نشان از توان قارچ‌ها در اسید زایی و سپس گشایش کانی‌های کشتگاه دارد. این پژوهش نشان داد که قارچ‌های درون‌زی جدا شده از گیاهان در زندگی آزاد و ساپروفیتی خود می‌توانند از راه‌های دیگری به رشد گیاهان کمک کنند. آنها با گشایش کانی‌های فسفره و اسیدزایی و از راه رهاسازی و اندوختن عناصر خوراکی در هیف‌های خود می‌توانند برای کاهش زیان کمبود فسفر و کلسیم در خاک‌های کشاورزی بهره‌گیری شوند و یا با افزایش راندمان جذب فسفر نیاز به کودهای فسفاته را کاهش دهد. آنها با جذب فسفر در هیف‌ها و اندوختن آن به گونه آلی یا کانی کودهای زیستی فسفره کارآمدی بوده که می‌توانند همانند یک خواستگاه کودی کندرها زیست‌فراهمی فسفر در خاک را بالا نگهدارند که این نیاز به پژوهش ویژه دارد.

منابع

آل طه، ر. صفری سنجانی، ع. ا. ضفری، د. (۲۰۱۹). ارزیابی توان رشد در گیاه اسپناج مایه زنی شده با قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا، مایکوریزا و قارچ های دیواره تاریک در تنش خشکی. نشریه به زراعی کشاورزی (۲۰) ۲ ۵۱۷-۵۳۱.

Illmer, P., Barbato, A., and Schinner, F. 1995. Solubilization of hardly-soluble AlPO4 with P-solubilizing microorganisms. Soil Biol. Biochem. 27:3. 265–270.

Illmer, P., and Schinner, F. 1992. Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganisms. Soil Biol. Biochem. 24. 389-395.

Mendes, G. O., Dias, C.S., Silva, I.R., Junior, J.I., Pereira, O.L., and Costa, M. D. 2013. Fungal rock phosphate solubilization using sugarcane bagasse. Microbiol Biotechnol. 29;1. 43–50.

Nahas, E. 1996. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil. World J Microb Biot. 12. 567–572.

Novais, R.F., and Smith, T.J. 1999. Fósforo em solo e planta em condições tropicais (1st ed). Editora UFV. Viçosa. 399p.

Pradhan, N., and Sukla, L. B. 2005. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. Afr. J. Biotechnol. 5:10. 850-854.

Rosling, A., Suttle, K. B., Johansson, E., Van Hees, P. A. W., and Banfield, J.F. 2007. Phosphorous availability influences the dissolution of apatite by soil fungi. Geobiology. 5. 265–280.

Sparks, D. L., Page A., Helmke, P., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., Johnston, C., and Sumner M. 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical methods. Soil Science Society of America.Inc. 1309p.

Tucker, B. B., and Kurtz L. T. 1961. Calcium and Magnesium Determinations by EDTA Titrations. Soil SCI SOC AM J. 25:1. 27-29.

Vassilev, N., Vassileva, M., and Nikolaeva, I. 2006a. Simultaneous Psolubilizing and biocontrol activity of microorganisms: potentials and future trends. Appl Microbiol Biotechnol. 71:2. 137–144.

Vassileva, M., Vassilev, N., and Azcon, R. 1998. Rock phosphate solubilization by Aspergillus niger on olive cake-based medium and its further application in a soil-plant system. microbiol biotechnol. 14:2. 281–284.

Vassilev, N., Medina, A., Azcon, R., and Vassileva, M. 2006b. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agroindustrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. Plant Soil. 287:1–2. 77–84.

Welch, S. A., Taunton, A. E., and Banfield, J.F. 2002. Effect of microorganisms and microbial metabolites on apatite dissolution. Geomicrobiol. J. 19:3. 343–367.

The Effect of Endogenous Fungi on the Transformation of Phosphorus Minerals in Solid Media

Abstract

Fungi can be useful in processes for dissolving phosphate ore before fertilizer application in the soil and can be a low-cost alternative to processing phosphorus fertilizers.The aim of this study was to investigate the potential of 15 endogenous fungi species in increasing phosphorus bioavailability in solid medium (soil phosphate).The study was carried out in a solid mediume with two concentrations of glucose by one and seven percent by factorial experiment in a completely randomized design with 3 replications. Fungal selection was studied qualitatively and some soil properties such as electrical conductivity and soluble calcium were quantitatively evaluated for 30 days. Examination of the data showed that the release of calcium was associated with increased electrical conductivity of the solid medium and the fungi had more function in the Culture medium with glucose of seven percent. All fungi were able to release calcium, but overall, as seen in the electrical conductivity study, calcium was a solution in higher glucose and inoculated with *Acromonium*, *alternaria*, *Curvolaria*, *Aspergillus*, and *Fusarium*, which increased over time. The findings of this study showed that endogenous fungi isolated from plants can be used to reduce the damage of phosphorus deficiency and also to improve calcium for the plant in agricultural soils.

Keywords: Phosphate rock, filamentous fungi, calcium dissolution

نقش کرم خاکی بر جزءبندی سرب در یک خاک آهکی آلوده تحت تأثیر سطوح شوری

فاطره کریمی[۱]، قاسم رحیمی[۲]

۱- دانش آموخته دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
(Fatereh_84@rocketmail.com)

۲- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

چکیده:

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر فعالیت کرم خاکی و سطوح مختلف شوری بر جزءبندی فلز سرب در یک خاک آهکی آلوده طبیعی اطراف معدن سرب و روی آهنگران واقع در استان همدان اجرا گردید. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط آزمایشگاه گروه علوم خاک دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. تیمار کرم خاکی گونه ی ایزینیا فتیدا (*Eisenia fetida*) در ۲ سطح (با و بدون کرم خاکی) و تیمار شوری آب آبیاری در ۵ سطح (آب مقطر، دو، چهار، شش و هشت دسی زیمنس بر متر) به خاک آهکی آلوده اضافه گردید. در ظرفهای مربوط به تیمار کرم خاکی ۱۲ عدد کرم خاکی به هر ظرف وارد شد و ظرف‌ها در یک محفظه اقلیمی با ۱۶ ساعت نور و هشت ساعت تاریکی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۲ روز نگه‌داری شدند. نتایج نشان داد که فعالیت کرم خاکی موجب کاهش غلظت فلز سرب بخش تبادلی خاک گردید؛ بطوریکه با حضور کرم خاکی در سطح شوری صفر (کاربرد آب مقطر)، میزان سرب بخش تبادلی از ۸/۶۹ به ۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش یافت. بنابراین فعالیت کرم خاکی موجب تغییر شکل فلز سرب از بخش‌هایی با تحرک بیشتر به بخش‌های پایدار و کم تحرک‌تر گردید.

واژگان کلیدی: جزءبندی، سرب، شوری، کرم خاکی

مقدمه

فلزات سنگین در خاک ممکن است از طریق فعالیتهای کشاورزی، شهرنشینی، صنعتی و معادن وارد محیط زیست شوند و بدلیل ماهیت سمی و غیرقابل تجزیه بودنشان، خطرات جبران‌ناپذیری بر سلامت انسان، کیفیت خاک و سیستم‌های زیست محیطی به دنبال داشته باشند (Merain *et al*. 2004). فلزات سنگین از جمله مهمترین آلاینده‌های محیط زیست به شمار می آیند که در چند دهه اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته اند. تجمع فلزات سنگین در خاک، به ویژه در زمینهای کشاورزی، امری تدریجی بوده و غلظت عناصر سنگین می‌تواند به سطحی برسد که که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید (Kabata-Pendias *et al*. 2011).

بنابراین بهره‌گیری از روشهای زیستی مانند استفاده از موجودات خاکزی از جمله کرم‌های خاکی، روشی نو و امید بخش برای بهسازی خاکهای آلوده می باشد. این روش با کمترین دست خوردگی خاک قابل اجراست و به دلیل طبیعی بودن و سازگاری با محیط زیست اثرات جانبی خاصی ندارد. Li *et al*. (2010) و Nannoni *et al*. (2014) گزارش کردند که کرم های خاکی می‌توانند در محیط های آلوده، فلزات سنگین را در بافتهای بدنشان جمع آوری کنند. برای محیط های خاکی، کرم‌های خاکی یکی از موجودات زنده ای هستند که برای آزمون استاندارد سمیت خاک استفاده می‌شوند و برای ارزیابی فراهم زیستی فلزات مناسب هستند (Li *et al*. 2010., Spurgeon *et al*. 2003)

غلظت کل فلزات سنگین خاک که بعنوان معیاری برای تعیین آلودگی خاک استفاده میشود، اطلاعات دقیقی درمورد قابلیت دسترسی این عناصر برای جذب توسط موجودات زنده و پیش بینی انتقال این آلاینده ها به زنجیره غذایی در اختیار ما قرار نمی‌دهد، بنابراین ضروری است که اشکال شیمیایی فلزات سنگین در خاک به منظور درک بهتر سرنوشت این فلزات در این سیستم مشخص شود. جزءبندی فلزات سنگین در میان اجزای خاک یکی از عوامل مهم تأثیرگذار و نشاندهنده تحرک و جذب فلزات توسط موجودات زنده خاک می‌باشد. بنابراین روش جزءبندی پی در پی، یک رویکرد

قابل توجه به منظور تعیین قابلیت دسترسی و سمیت فلزات سنگین و ارزیابی توزیع مجدد فلزات به اشکال شیمیایی مختلف موجود در خاک می‌باشد (Nannoni *et al*. 2014) .

شوری بعنوان یک فاکتور مهم موجب تغییر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و فعالیتهای میکروبی می‌شود، بطوریکه تغییر این خصوصیات می تواند جزءبندی، تغییر شکل و سمیت بیولوژیکی فلزات و در نتیجه زنده ماندن میکرو ارگانیسم‌ها بویژه کرم‌های خاکی را تحت تأثیر قرار دهد (Zhang *et al*. 2010). نتایج تحقیقات Owojori *et al*. (2009) نشان داد که که شوری اثرات زیانباری بر رشد و زنده ماندن کرم‌های خاکی داشته است. Acosta *et al*. (2011) نیز بیان کردند که شوری تحرک فلزات سنگین در خاک را افزایش می‌دهد. اگرچه مطالعاتی در مورد تأثیر شوری بر جمعیت کرم های خاکی (Owojori *et al*. 2008، Weyers and Spokas 2011، رحیمی و کریمی، ۱۳۹۹) و تحرک فلزات سنگین (Du Laing *et al*. 2008، Acosta *et al*. 2011). گزارش شده است. ولی تاکنون تحقیقاتی در مورد تأثیر کرم های خاکی بر جزءبندی و توزیع مجدد فلزات سنگین در خاک آلوده تیمارشده با سطوح مختلف شوری انجام نشده است. بنابراین جزءبندی فلز سرب تحت تأثیر سطوح مختلف شوری با حضور کرم خاکی در خاک آهکی آلوده معدن سرب آهنگران واقع در استان همدان شهرستان ملایر مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق روی یک خاک آلوده طبیعی که از زمین های اطراف معدن سرب و روی آهنگران انجام شد. نمونه خاک مورد مطالعه از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آماده شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت به روش هیدرومتری، pH وEC با نسبت ۱:۵ خاک به آب، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک اندازه گیری شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

خصوصیات	بافت	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	pH	EC (dSm^{-1})	$CaCO_3$ (%)	CEC (Cmol (+) Kg^{-1})
	لوم رسی	۳۳/۲	۳۶	۳۰/۸	۸/۲	۰/۲۳	۱/۵	۲۹/۳

این آزمایش در ظروف پلاستیکی به ابعاد (۱۷×۱۳× ۱۸ سانتی‌متر) به صورت فاکتوریل و طرح کـاملاً تـصادفی با سه تکرار در شـرایط محیطی آزمایشگاه گروه علـوم خـاک دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. تیمار کرم خاکی گونه‌ی ایزینیا فتیدا در دو سطح (با و بدون کرم خاکی) و شوری در ۵ سطح (آب مقطر و ۲، ۴ ، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر) به خاک آلوده اضافه گردید. ۵۰۰ گرم از خاک هوا خشک در هر ظرف قرار داده شد و سپس در ظرف‌های مربوط به تیمار کرم خاکی ۱۲ عدد کرم خاکی به هر ظرف وارد شد. ظرفهای آزمایش با یک درپوش سوراخ دار به منظور محدود کردن تلفات آب ناشی از تبخیر پوشانده و در یک محفظه اقلیمی با ۱۶ ساعت نور و هشت ساعت تاریکی در دمای ۲۵ درجه سلسیوس نگه‌داری شد. در طول اجرای آزمایش، کرم‌های خاکی مرده به منظور جلوگیری از اثر آنها بر روی کرم‌های دیگر حذف شدند. پس از گذشت ۴۲ روز از شروع آزمایش، هر نمونه خاک پس از هوا خشک شدن و گذراندن از الک دو میلی‌متری، به منظور تعیین جزءبندی فلز سرب مورد بررسی قرار گرفتند. برای بررسی جزءبندی فلز سرب از روش عصاره‌گیری پی‌درپی اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) استفاده شد. غلظت فلز سرب توسط دستگاه جذب اتمی مدل ۲۲۰ واریان (Varian Spectra AA 220) اندازه‌گیری شد (Udovic and Lestan. 2010). غلظت فلزات سنگین کل در

نمونه خاک قبل از شروع آزمایش نیز در **جدول (2)** آورده شده است. داده‌ها با نرم‌افزار آماری SPSS و MSTATC تجزیه آماری گردید. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین کل خاک مورد استفاده در آزمایش

غلظت فلزات سنگین کل خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)	سرب	مس	روی	نیکل	کادمیوم
	۴۳۸۰	۲۵۰	۳۳۵	۷۰	۶/۲

نتایج و بحث

جزءبندی فلز سرب:

نتایج تجزیه واریانس جزءبندی سرب (**جدول ۳**) نشان داد که فعالیت کرم خاکی و سطوح مختلف شوری بر تمام بخش‌های فلز سرب تأثیر معنی‌داری (در سطح احتمال ۱٪) داشت. در حالیکه اثرات متقابل کرم خاکی× شوری فقط بر میزان سرب بخش های تبادلی و آلی (در سطح احتمال ۱٪) معنی‌دار بود.

جدول ۳- میانگین مربعات اثر کرم خاکی و سطوح مختلف شوری بر جزءبندی فلز سرب

منابع تغییرات	درجه آزادی	بخش تبادلی	بخش آلی	بخش کربناته	بخش باقیمانده
کرم خاکی	۱	۵۲/۳۱**	۴۰۵۴**	۵۹۹۰۹**	۷۳۲۴**
سطوح شوری	۴	۲۲۴/۳۵**	۷۱۰۹۸**	۲۶۲۶۷**	۲۰۲۰۴**
کرم خاکی × سطوح شوری	۴	۱۲/۰۹^{ns}	۱۹۱/۱۳**	۷۷۳/۴۳^{ns}	۱۰۹/۸۶^{ns}
خطا	۲۰	۵/۰۹	۶/۶۴	۱۱۸۸/۴۷	۱۰۷/۴۲
ضریب تغییرات (٪)	-	۱۵/۴۲	۱/۲۴	۱/۲۵	۰/۷۹

^{ns} , * , ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۵ ٪ و ۱ ٪.

سرب بخش تبادلی خاک:

جدول مقایسه میانگین برهمکنش کرم خاکی × شوری بر جزءبندی فلز سرب نشان داد که فعالیت کرم خاکی در تمام سطوح شوری موجب کاهش غلظت سرب بخش تبادلی نسبت به تیمار بدون کرم خاکی گردید. بطوریکه با حضور کرم خاکی در سطح شوری صفر (کاربرد آب مقطر)، میزان سرب بخش تبادلی از ۸/۶۹ به ۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش یافت. افزایش pH ناشی از فعالیت کرم های خاکی ممکن است موجب بالا رفتن تمایل خاک برای جذب فلزات سنگین بدلیل وجود بارهای سطحی وابسته به pH کلوییدها شود که در نتیجه منجر به کاهش غلظت فلزات سنگین در فاز محلول می‌گردد (Cao *et al*. 2001., Ruiz *et al*. 2009). با افزایش سطوح شوری نیز غلظت فلز سرب بخش تبادلی افزایش یافت، بنابراین تیمار کاربرد شوری ۸ دسی زیمنس بر متر در غیاب کرم خاکی بیشترین غلظت فلز سرب بخش تبادلی خاک (۲۷/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را به خود اختصاص داد (**جدول ۴**). Acosta *et al*. (2011) نیز دریافتند که افزایش شوری موجب افزایش تحرک سرب گردید. Stevens *et al*. (2003) دریافتند که تمایل زیاد فلزات سنگین به تشکیل کمپلکس با کلرید و همچنین بالا رفتن حلالیت فاز جامد کنترل کننده این عناصر به دلیل افزایش قدرت یونی، باعث افزایش قابلیت استفاده فلزات سنگین در خاک شد. شوری زیاد نیز با افزایش غلظت کاتیونهای اصلی نظیر Na، K، Ca و Mg و رقابت آنها با فلزات سنگین برای مکانهای جذبی فاز جامد، منجر به دفع فلزات سنگین و افزایش قابلیت دسترسی آنها میشود (Du Laing *et al*. 2008).

جدول ۴- اثر متقابل کرم خاکی و سطوح مختلف شوری بر جزبندی سرب (میلی گرم بر کیلوگرم)

کرم خاکی	سطوح شوری	بخش تبادلی	بخش آلی	بخش کربناته	بخش باقیمانده
	۰	۷^{e}	۶۵^{i}	۲۹۰۰^{a}	۱۴۰۶^{a}
با کرم خاکی	۲	۱۰/۳۸$^{c-e}$	۹۵/۶۳^{g}	۲۸۴۱^{ab}	۱۳۸۸^{ab}
	۴	۱۳/۲۱$^{b-e}$	۱۶۶/۸۸^{e}	۲۸۰۳$^{a-c}$	۱۳۶۶^{b}
	۶	۱۶/۳۸^{b}	۲۳۶/۸۸^{c}	۲۷۶۲$^{b-d}$	۱۳۱۹^{c}
	۸	۱۹/۸۳^{a}	۳۴۲/۵^{a}	۲۷۰۰^{de}	۱۲۶۹^{d}
بدون کرم خاکی	۰	۸/۶۹^{de}	۴۹/۳۸^{j}	۲۷۷۲$^{b-d}$	۱۳۷۸^{ab}
	۲	۱۱/۰۶$^{c-e}$	۸۶/۲۵^{h}	۲۷۵۰$^{b-d}$	۱۳۶۹^{b}
	۴	۱۴/۸۸$^{b-d}$	۱۲۸/۷۵^{f}	۲۷۲۵$^{c-e}$	۱۳۲۵^{c}
	۶	۱۷/۸۸^{b}	۲۱۳/۱۳^{d}	۲۶۸۴^{de}	۱۲۸۸^{d}
	۸	۲۷/۵^{a}	۳۱۳/۱۳^{b}	۲۶۲۸^{e}	۱۲۳۱^{e}

در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن ندارد.

سرب بخش آلی خاک:

مطابق جدول (۴) با فعالیت کرم خاکی غلظت فلز سرب بخش آلی در تیمار شاهد (کاربرد آب مقطر) از ۴۹/۳۸ به ۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. با افزایش سطوح شوری نیز افزایش معنی‌داری در غلظت فلز سرب بخش آلی مشاهده گردید. بطوریکه بیشترین غلظت فلز سرب بخش آلی به میزان ۳۴۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شوری ۸ دسی زیمنس بر متر در حضور کرم خاکی بدست آمد. افزایش فلزات سنگین در بخش آلی احتمالا به علت تحریک فرایند معدنی شدن ماده آلی و هوموسه شدن توسط کندن دالانهای زیرزمینی، تغذیه و فعالیت کرم خاکی است Edwards (2004). کرم‌های خاکی جمعیت میکروبی خاک و فعالیت متابولیک خاک را با تولید مواد آلی افزایش می‌دهند (Binet *et al*. 1998., Wen *et al*. 2004)، که حاصل آن تجزیه ماده آلی به اجزای محلول در آب و وزن مولکولی کم است. کرم‌های خاکی نیز می‌توانند بخش آلی فلزات را از طریق دفع ترکیبات آلی و تجزیه مواد آلی (Brown *et al*. 2000) که ممکن است منجر به تشکیل کمپلکس قوی با فلزات (Kızılkaya and Hepşen, 2004) شوند را افزایش دهند. نوروزی (۱۳۹۴) بیان کردند که فعالیت کرم خاکی باعث می‌شود که گروههای عاملی هیدروکسید و هیدروکسیل عرضه شده توسط تجزیه مواد آلی، محل‌های اتصال را برای تشکیل کمپلکس آلی با فلزات افزایش دهند، بنابراین غلظت فلز سرب در بخش پیوند یافته به مواد آلی همراه با فعالیت کرم خاکی افزایش یافت.

سرب بخش کربناته خاک:

غلظت فلز سرب بخش کربناته با فعالیت کرم خاکی افزایش یافت. کانتی و پایرس (۲۰۰۳) بیان کردند که بسیاری از گونه های کرم خاکی کربنات کلسیم را به شکل گرانولهایی از غدد تخصصی خود ترشح می‌کنند که این گرانولها عمدتا به شکل کلسیت با مقدار کمی از آمورف کربنات کلسیم و آراگونیت می‌باشد (Fraser *et al*. 2011., Brinza *et al*. 2013). Wen *et al*. (2004) نیز گزارش کردند که میزان فلزات سنگین در بخش محلول، تبادلی و کربناته با حضور کرم خاکی افزایش یافت. از طرفی Cheng and Wong (2002) نشان دادند که افزودن کرم خاکی میزان فلزات سنگین قابل تبادل و کربناته خاک را کاهش داد، اگرچه اختلاف در نتایج براساس نوع خاک بکاربرده شده در آزمایش متفاوت است. این نتایج متنوع را می‌توان به ویژگی‌های مختلف خاک و تفاوتهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی در میان گونه های کرم خاکی نسبت داد. با افزایش سطوح شوری نیز غلظت فلز سرب بخش کربناته کاهش یافت، بطوریکه سطح شوری ۸ دسی زیمنس بر متر در غیاب کرم خاکی موجب کاهش غلظت فلز سرب بخش کربناته از ۲۷۷۲ به ۲۶۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به تیمار شاهد (کاربرد آب مقطر) گردید. Chu *et al*. (2015) گزارش کردند که با افزایش شوری، بخش تبادلی فلز سرب افزایش و بخش کربناته آن کاهش یافت.

سرب بخش باقیمانده خاک:

نتایج جدول (۴) نشان داد که غلظت سرب بخش باقیمانده خاک با فعالیت کرم خاکی افزایش و با افزایش سطوح شوری کاهش یافت. با افزایش شوری از سطح صفر به ۸ دسی زیمنس بر متر، غلظت فلز سرب بخش باقیمانده از ۱۳۷۸ به ۱۲۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در غیاب کرم خاکی و از ۱۴۰۶ به ۱۲۶۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در حضور کرم خاکی کاهش یافت. این نتایج با یافته های نوروزی (۱۳۹۴) مطابقت دارد که دریافتند غلظت فلز سرب بخش باقیمانده با فعالیت کرم خاکی افزایش یافت.

نتیجه گیری

افزودن کرم خاکی به خاک آلوده تیمار شده با سطوح مختلف شوری موجب کاهش غلظت فلزات سنگین در بخش تبادلی و افزایش غلظت فلزات سنگین در بخش باقیمانده خاک گردید. که نشاندهنده نقش موثر کرم‌های خاکی در مهندسی خاک و غیرمتحرک کردن فلزات سنگین و کاهش اثرات منفی ناشی از کاربرد شوری می‌باشد. در واقع می‌توان با بکارگیری کرم‌های خاکی در اراضی شور و آلوده با مدیریت صحیح اقدام به اصلاح و بهسازی این مناطق نمود .

فهرست منابع

رحیمی، ق و کریمی، ف. (۱۳۹۹). تأثیر شوری آب آبیاری بر میزان رشد و زنده‌مانی کرم خاکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۴ (۶): ۱۲۷۷-۱۲۸۵

نوروزی‌گلدره، ف. (۱۳۹۴). تاثیر فعالیت های بیولوژیکی در روند تغییرات فلزات سنگین در خاک آلوده. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

Acosta, J., Jansen, B., Kalbitz, K., Faz, A., Martínez-Martínez, S. (2011). Salinity increases mobility of heavy metals in soils. Chemosphere, 85(8), 1318-1324.

Binet, F., Fayolle, L., Pussard, M., Crawford, J., Traina, S., & Tuovinen, O. (1998). Significance of earthworms in stimulating soil microbial activity. Biology and fertility of soils, 27(1), 79-84.

Brinza, L., Quinn, P. D., Schofield, P. F., Mosselmans, J. F. W., & Hodson, M. E. (2013). Incorporation of strontium in earthworm-secreted calcium carbonate granules produced in strontium-amended and strontium-bearing soil. Geochimica et Cosmochimica Acta, 113, 21-37.

Brown, G. G., Barois, I., & Lavelle, P. (2000). Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activityin the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. European journal of soil biology, 36(3-4), 177-198.

Canti, M. G., & Piearce, T. G. (2003). Morphology and dynamics of calcium carbonate granules produced by different earthworm species: The 7th international symposium on earthworm ecology· Cardiff· Wales· 2002. Pedobiologia, 47(5-6), 511-521.

Cao, X., Chen, Y., Wang, X., & Deng, X. (2001). Effects of redox potential and pH value on the release of rare earth elements from soil. Chemosphere, 44(4), 655-661.

Cheng, J., & Wong, M. H. (2002). Effects of earthworms on Zn fractionation in soils. Biology and fertility of soils, 36(1), 72-78.

Chu, B., Chen, X., Li, Q., Yang, Y., Mei, X., He, B., . . . Tan, L. (2015). Effects of salinity on the transformation of heavy metals in tropical estuary wetland soil. Chemistry and Ecology, 31(2), 186-198.

Du Laing, G., De Vos, R., Vandecasteele, B., Lesage, E., Tack, F. M., & Verloo, M. G. (2008). Effect of salinity on heavy metal mobility and availability in intertidal sediments of the Scheldt estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 77(4), 589-602.

Edwards, C. A. (2004). The importance of earthworms as key representatives of the soil fauna. Earthworm ecology, 2, 3-11.

Fraser, A., Lambkin, D., Lee, M., Schofield, P., Mosselmans, J., & Hodson, M. (2011). Incorporation of lead into calcium carbonate granules secreted by earthworms living in lead contaminated soils. Geochimica et Cosmochimica Acta, 75(9), 2544-2556.

Kabata-Pendias, A. (2011). Trace elements in soils and plants., 4th edn.(CRC Press: Boca Raton, FL).

Kızılkaya, R., & Hepşen, S. ü. (2004). Effect of biosolid amendment on enzyme activities in earthworm (Lumbricus terrestris) casts. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 167(2), 202-208.

Li, L., Xu, Z., Wu, J., Tian, G. 2010. Bioaccumulation of heavy metals in the earthworm Eisenia fetida in relation to bioavailable metal concentrations in pig manure. Bioresource Technology 101 (10): 3430-3436.

Merain E, Anke M, Inant M, Stoeppler M (2004) Elements and their compound in the environment, 2nd edn. Wiley-VCH GMBH 8 CO, KGA, Weinheim, p 1247.

Nannoni, F., Rossi, S., & Protano, G. (2014). Soil properties and metal accumulation by earthworms in the Siena urban area (Italy). Applied Soil Ecology, 77, 9-17.

Owojori, O. J., Reinecke, A., Voua-Otomo, P., & Reinecke, S. (2009). Comparative study of the effects of salinity on life-cycle parameters of four soil-dwelling species (Folsomia candida, Enchytraeus doerjesi, Eisenia fetida and Aporrectodea caliginosa). Pedobiologia, 52(6), 351-360.

Ruiz, E., Rodríguez, L., & Alonso-Azcárate, J. (2009). Effects of earthworms on metal uptake of heavy metals from polluted mine soils by different crop plants. Chemosphere, 75(8), 1035-1041.

Sposito, G., Lund, L., & Chang, A. (1982). Trace Metal Chemistry in Arid-zone Field Soils Amended with Sewage Sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in Solid Phases 1. Soil Science Society of America Journal, 46(2), 260-264.

Spurgeon, D. J., Weeks, J. M., & Van Gestel, C. A. (2003). A summary of eleven years progress in earthworm ecotoxicology: The 7th international symposium on earthworm ecology· Cardiff· Wales· 2002. Pedobiologia, 47(5-6), 588-606.

Stevens, D. P., McLaughlin, M. J., & Heinrich, T. (2003). Determining toxicity of lead and zinc runoff in soils: salinity effects on metal partitioning and on phytotoxicity. Environmental Toxicology and Chemistry, 22(12), 3017-3024.

Udovic, M., and Lestan, D. 2010. Fractionation and bioavailability of Cu in soil remediated by EDTA leaching and processed by earthworms (Lumbricus terrestris L.). Environmental Science and Pollution Research 17: 561-570.

Wen, B., Hu, X. y., Liu, Y., Wang, W. s., Feng, M. h., & Shan, X. q. (2004). The role of earthworms (Eisenia fetida) in influencing bioavailability of heavy metals in soils. Biology and fertility of soils, 40(3), 181-187.

Weyers, S. L., & Spokas, K. A. (2011). Impact of biochar on earthworm populations: a review. Applied and Environmental Soil Science.

Zhang, S., Chao, Y., Zhang, C., Cheng, J., Li, J., & Ma, N. (2010). Earthworms enhanced winter oilseed rape (Brassica napus L.) growth and nitrogen uptake. Agriculture, Ecosystems & Environment, 139(4), 463-468.

The role of earthworm on fractionation of lead in a calcareous contaminated soil under the influence of salinity levels

Abstract

The present study was carried out with the aim of investigating the effect of earthworm activity and different salinity levels on lead metal fractionation in a naturally contaminated calcareous soil from the area surrounding the old Ahangaran lead-zinc mine. The experiment was carried out as a factorial experiment based on completely randomized design with three replications under environmental conditions of the laboratory of Soil Sciences Department of Bu-Ali Sina University in Hamedan. Experimental factors included earthworms *Eisenia fetida* species in 2 levels (with and without earthworms) and irrigation water salinity treatment in 5 levels (distilled water, 2, 4, 6 and 8%) were added to contaminated calcareous soil. 12 earthworms were introduced into each container, and the containers were stored in a climatic chamber with 16 hours of light and 8 hours of darkness at 25 ° C for 42 days. The results showed that earthworm activity reduced the concentration of lead metal in the exchange part of soil; So that with the presence of earthworms at zero salinity level (use of distilled water), the amount of lead in the exchange part decreased from 8.69 to 7 mg kg^{-1}. Therefore, earthworm activity caused the shift of lead metal from more mobile fractions to more stable and less mobile fractions.

Keywords: Fractionation, Salinity, Lead, Earthworm

هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بررسی پتانسیل آزولا برای حذف نیکل از محیط‌های آبی

جعفر صوفیان[۱]، فاطمه سلیمانی[۲]، آرمن آوانس[۳] ، قاسم کریم نژاد [۴]

۱- دانشجوی دکتری علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان (jafar.sufiyan67@gmail.com)

۲- دانش اموخته کارشناسی ارشد،گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۳۱-۷۳۳۳۵ تهران، ایران

۳- استادیار گروه شیمی دانشکده علوم پایه، دانشگاه مراغه

۴- دانشیار گروه شیمی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۳۱-۷۳۳۳۵ تهران، ایران

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی ظرفیت گیاه آزولا برای حذف فلز سنگین نیکل از محیط آبی آلوده به نیکل بود. گیاهان زیادی قادر به تجمع فلزات سنگین در بافت‌های خود هستند که بسیار انباشتگر نامیده می شود، یکی از این گیاهان آزولا می‌باشد. در خلال یک آزمایش ۱۴ روزه آزولا در محیط رشد حاوی مقادیر مختلف شامل ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ میلی‌گرم نیکل در لیتر رشد داده شد. پس از پایان آزمایش، غلظت نیکل در بافت‌های گیاه نیز اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری غلظت نیکل در بافت‌های آزولا نشان داد که با افزایش غلظت نیکل در محیط رشد مقدار آن در بافت‌های آزولا افزایش یافت به‌طوریکه بیشترین غظت در بافت در سطح ۴۰ میلی گرم نیکل در لیتر با میانگین ۲۱۶۹/۴۳ میلی گرم در کیلوگرم اندازه گیری گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که آزولا گیاه مناسبی برای گیاه پالایی نیکل از محیط‌های آبی می‌باشد.

واژگان کلیدی: گیاه پالایی، نیکل، آزولا

مقدمه

صنعتی شدن و شهرسازی منجر به افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط‌های آبی شده است (Stêpniewska *et al.*, 2005). معمولا فلزات سنگین به عنوان فلزاتی با وزن مخصوص بیشتر از ۵/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب تعریف می‌شوند. فلزات سنگین آلاینده معمولا کادمیم، نیکل، کروم، مس، جیوه، سرب و روی هستند. منبع اصلی آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، صنایع ذوب فلز، ضایعات شهری، زهکش‌های صنعتی، لجن فاضلاب، فعالیت‌های پالایشی و پتروشیمیایی، استفاده از کودهای آلی و آفت‌کش‌های حاوی ترکیبات فلزی عنوان شده است (Stêpniewska et al., 2005). نیکل یکی از ترکیبات کاتالیستی مورد استفاده در صنایع پتروشیمی است (جاوید و صمدیار، ۱۳۸۶). یون نیکل دو ظرفیتی با غلظت های مختلف در فاضلاب خام صنایعی مانند آبکاری و فلزات غیر آهنی یافت می‌شود. بر اساس استاندارد مقررات ملی زیست محیطی ایران، حداکثر غلظت قابل قبول برای فلز نیکل در پساب خروجی صنایع ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد (میرباقری و همکاران، ۱۳۸۹).

روش های شیمیایی حذف فلزات سنگین از محیط های آبی هزینه بر و مشکل می باشد. امروزه گیاه پالایی برای کاهش یا حذف آلودگی خاک‌ها، آب‌های زیرزمینی و فاضلاب‌ها به دلیل کم هزینه بودن بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Kaur *et al.*, 2008). در همین راستا ، روش های اسمز معکوس، تبادل یونی، سیستم های بیوراکتوری با غشاء تبادل یونی، احیاء کاتالیتیک و دیگر روش های مبتنی بر فرایندهای زیستی، شیمیایی و فیزیکی را می‌توان نام برد (Antunes *et al.*, 2001). گیاه پالایی که روشی مؤثر در حفظ کیفیت منابع آب است (Cohen-Shoel *et al.*, 2002). گیاه پالایی به صورت بکارگیری گیاهان سبز جهت خارج کردن مواد خاص از خاک می باشد. این اصطلاح را همچنین می توان برای پالایش برخی از عناصر از آب یا حتی هوا بکار برد. گیاه پالایی یک

تکنیک پالایشی است که شامل جذب، تغییر شکل، تجمع و یا تصعید آلاینده‌ها با کمک گیاهان برای زدودن آلودگی های آب، خاک و هوا می باشد. این روش را برای زدودن آلودگی های نفتی نیز بکار می برند. گیاه پالایی با استفاده از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به کار برده می‌شود (Fogarty *et al.*, 1999). گیاهان زیادی وجود دارند که می‌توانند فلزات سنگین را محصور کنند که به آن‌ها بسیار انباشتگر (hyperaccumulator) گویند (Abbas and Meharg, 2008). آزولا سرخس آبزی کوچکی است که با یک جلبک آبی سبز بنام آنابنا همزیستی دارد و به عنوان یک سیستم تثبیت کننده نیتروژن در برنجزارها، باتلاق‌ها و محیط های آبی حائز اهمیت می‌باشد (Volesky, 2001). در این زمینه تحقیقاتی نیز به انجام رسیده است. صوفیان و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی توانایی گیاه آزولا برای جذب آرسنیک از محیط های آبی را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که آزولا توانایی خوبی در جذب آرسنیک دارد و گیاه مناسب برای پالایش آرسنیک از محیط‌های آبی می‌باشد. همچنین چرم و همکاران (۱۳۸۹) از عدسک آبی برای پالایش فلز سنگین نیکل از محیط شبیه سازی شده استفاده کردند. ایشان نیز طی ۱۴ روز غلظت نیکل را از محیط کشت اندازه گیری نمودند، همچنین غلظت نهایی و غلظت نیکل در بافت-های عدسک آبی را نیز بدست آوردند. این پژوهش به منظور بررسی پتانسیل آزولا در جذب نیکل از محیط‌های آبی انجام گرفت.

مواد و روش ها

به منظور بررسی پتانسیل آزولا در جذب و حذف نیکل از محلول‌های غذایی با شوری‌های مختلف دو آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا شد. در این آزمایش‌ها سطوح مختلف نیکل عبارت بود از صفر ، ۵ ، ۱۰ ، ۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر که از منبع سولفات نیکل تأمین و به محلول غذایی اپستین (Epstein, 1972) اضافه شد تا غلظت‌های ذکر شده حاصل گردد. در این آزمایش از محلول غذایی اپستین با نصف غلظت یا قدرت یونی استفاده شد. ترکیب محلول غذایی اپستین به شرح جدول ۱ است. آزولا از تالاب های شهرستان بابل در شمال ایران جمع آوری شد. پس از شستشوی آزولا با آب مقطر، با کاغذ خشک کن خشک شده و مقدار ۲۰ گرم از آزولا به ظروف کشت حاوی محلول غذایی اپستین با سطوح مختلف نیکل انتقال داده شد. ظروف کشت با قطر ۲۰، ارتفاع ۳۵ سانتی متر بود. سپس، دمای گلخانه ۲۵+۱ درجه سانتیگراد با طول روشنایی روز حدود ۱۵ ساعت و تاریکی ۹ ساعت بود. مدت زمان آزمایش ۱۴ روز بود که در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زنجان انجام گرفت. ظروف محیط کشت با ۳ لیتر محلول حاوی عناصر غذایی و سطوح مختلف نیکل پر شد. در انتهای روز چهاردهم آزولا برداشت شده با آب مقطر به منظور حذف یون های چسبیده به سطح گیاه شستشو داده شد پس و خشک کردن آزولا و گرفتن آب آزاد، توزین شد. پس از اندازه‌گیری وزن اولیه گیاهان، آن‌ها در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. نمونه‌های خشک شده کاملاً پودر و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند نمونه های آزولا با روش هضم تر، هضم شدند و غلظت نیکل در بافتهای آزولا اندازه گیری گردید (Kalra, 1998).

جدول ۱- ترکیب محلول غذایی در این آزمایش (اپستین ۱۹۷۲)

ترکیب	غلظت محلول ذخیره (گرم در لیتر)	نوع محلول	حجم محلول ذخیره در هر لیتر محلول نهایی (میلی لیتر)
KNO3	۱۰۱/۱۰	A	۶/۰
Ca(NO3)24 H2O	۲۳۶/۱۶		۴/۰
NH4H2PO4	۱۱۵/۰۸		۲/۰
MgSO4 7H2O	۲۴۶/۴۹		۱/۰
KCl	۳/۷۲۸	B	۱/۰
H3BO3	۱/۵۴۶		
MnSO4 .H2O	۰/۳۳۸		
ZnSO4. 7H2O	۵۷۵/۰		
CuSO4. 5H2O	۱۲۵/۰		
H2MoO4 (%85 MoO4)	۰۸۱/۰		
Fe-EDTA	۹۲۲/۰	C	۱/۰

نتایج و بحث

براساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها، تاثیر سطوح نیکل در محلول غذایی بر غلظت نیکل گیاه آزولا در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، با افزایش غلظت نیکل از سطح شاهد تا سطح ۴۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نیکل در بافت‌های گیاه آزولا افزایش یافت. بیشترین غلظت نیکل در سطح ۴۰ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۲۱۶۸/۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد. بین بقیه سطوح اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری وجود داشت. نمودار نشان دهنده رابطه مستقیم غلظت نیکل در محلول غذایی و نیکل موجود در بافت‌های گیاه می‌باشد. همچنین این نمودار نشان دهنده قدرت بالای جذب نیکل بوسیله این گیاه است. با توجه به اینکه غلظت های اعمال شده در این تحقیق اثر سمی زیادی بر آزولا نداشت و رشد و نمو آزولا تا روز ۱۴ کاملا متوقف نشد، گیاه پالایی نیکل توسط آزولا بخوبی انجام گرفت.

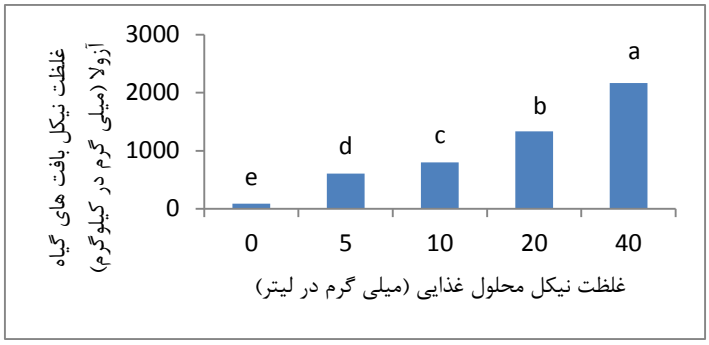
گیاه آزولا با جذب مقادیر بالایی از فلز سنگین نیکل، گیاه مناسبی جهت گیاه پالایی می‌باشد و می‌توان از آزولا برای پالایش محیط‌های آلوده استفاده نمود. Kara *et al.*, (2003) در ۳ روز کشت عدسک آبی و بررسی اثرات نیکل بر آن را بررسی کردند که جذب نیکل را توسط عدسک بسیار خوب توصیف کردند. چرم و همکاران (۱۳۸۹) از عدسک آبی برای پالایش فلز سنگین نیکل از محیط شبیه سازی شده استفاده کردند. ایشان نیز طی ۱۴ روز غلظت نیکل را از محیط کشت اندازه گیری نمودند، همچنین غلظت نهایی و غلظت نیکل در بافت‌های عدسک آبی را نیز بدست آوردند. نتایج ایشان با نتایج این تحقیق مبنی بر کاهش چشمگیر غلظت نیکل طی این مدت زمان و افزایش غلظت نیکل در بافت‌های عدسک آبی مطابقت داشت.

Duman and Ozturk (2010) تجمع نیکل و تأثیر آن بر زیست‌توده، محتوای پروتئین و آنزیم‌های آنتی اکسیدان در ریشه و برگ ترتیزک آبی (*Nasturtium officinale R.Br.*) مورد تحقیق قرار دادند، ترتیزک آبی به مدت ۱، ۳، ۵ و ۷ روز در معرض

غلظت‌های نیکل (۱ – ۲۵ میلی‌گرم در لیتر) قرار داده شد. که مقدار قابل ملاحظه‌ای نیکل در گیاه بخصوص در ریشه تجمع پیدا کرد و در غلظت‌های متوسط بیشترین کارایی را داشت. در غلظت‌های پایین نیکل، زی‌توده افزایش یافت اما در غلظت‌های بالا تغییر قابل اندازه‌گیری در زیتوده مشاهده نشد. ایشان بیان کردند که حداکثر نیکل تجمع یافته در ترتیزک آبی ۵۷۵۷/۹ میکروگرم در گرم ماده خشک مربوط به تیمار ۲۵ میلی‌گرم نیکل در لیتر و مدت زمان تماس ۷ روز بود.

جدول ۲- تاثیر سطوح مختلف نیکل محلول غذایی بر غلظت نیکل در بافت‌های گیاه آزولا

غلظت نیکل محلول غذایی (میلی گرم در لیتر)	۰	۵	۱۰	۲۰	۴۰
غلظت نیکل بافت های گیاه آزولا (میلی گرم در کیلوگرم)	۸۷	۶۰۶/۵	۷۹۸/۳۳	۱۳۳۵/۴	۲۱۶۹/۴۳



شکل ۱- تاثیر سطوح مختلف نیکل محلول غذایی بر غلظت نیکل در بافت‌های گیاه آزولا

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که آزولا توانایی بالایی برای حذف نیکل از محیط های آبی آلوده به این فلز سنگین دارد. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش غلظت نیکل در محلول غذایی بر غلظت آن در گیاه افزوده شد. گیاه آزولا، گیاه بسیار مناسبی برای گیاه پالایی نیکل بوده و قادر است غلظت‌های بسیار بالای نیکل را در بافت‌های خود تجمع دهد.

منابع

احیایی، م. بهبهانی زاده، ع. (۱۳۷۲). شرح روش های تجزیه شیمیایی خاک، جلد اول، نشریه شماره ۸۹۳، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

جاوید، ا .ح . صمدیار، ح. (۱۳۸۶). مدلسازی تأثیر pH در انتقال فلزات سنگین (نیکل و کادمیوم) ناشی از فعالیتهای پتروشیمی بندر امام خمینی در خلیج فارس (خور موسی). علوم و تکنولوژی محیط زیست ۹(۴):۱۳-۱.

چرم، م.،پرنیان، ا. جعفرزاده حقیقی فرد، ن. ا. دیناروند، م. (۱۳۸۹). پالایش نیکل از زه آب ها توسط گیاهان آبزی. سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.

صوفیان، ج. گلچین، ا. آوانس، آ. حاجی ملکی، خ. (۱۳۹۱). توانایی گیاه آزولا برای جذب آرسنیک از محیطهای آبی. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. وزارت کشور. ۶ص.

میرباقری، س. شمس، ا. هاشمی، س. شمس، ه. (۱۳۸۹). حذف نیکل دو ظرفیتی از فاضلاب صنایع آبکاری به روش اسمز معکوس. علوم و تکنولوژی محیط زیست. ۱۲ (۱): ۱-۱۱.

Abbas, M.H.H., Meharg, A.A. (2008). Arsenate, arsenite and dimethyl arsinic acid (DMA) uptake and tolerance in maize (Zea mays L.). *Plant Soil*. 304, 277–289

Antunes, A.P.M., Watkins, G.M., Duncan, J.R. (2001). Batch studies on the removal of gold (III) from aqueous solution by Azolla filiculoides. *Biotechnol. Lett*. 23, 249–251.

Duman, F. and Ozturk, F. (2010). Nickel accumulation and its eect on biomass, protein content and antioxidative enzymes in roots and leaves of watercress (Nasturtium ocinale R. Br.). *J. Environm. Sci*, 22(4): 526–532.

Epstein, E. (1972). Mineral Nutrition in Plants: Principles and Perspectives. John Wiley and Sons, New York.

Fogarty, R.V., Dostalek, P., Patzak, M., Votruba, J., Tel-Or, E., Tobin, J.M. (1999). Metal removal by immobilised and non-immobilised Azolla filiculoides. *Biotechnol. Tech.* 13, 53–538.

Kara, Yesim, et al. (2003). Bioaccumulation of nickel by aquatic macrophyta Lemna minor (duckweed). *International journal of agriculture & biology*, 281–283.

Kaur, L., Gadgi, K. and Sharma, S. (2008). Phytoremediation of nickel from contnaminated water by Duckweed (Lemna minor). *Environm. Research and Develop.*, 3(2): 388-394.

Kramer, U. (2005). Phytoremediation: novel approaches to cleaning up polluted soils. *Current Opinion in biotech*, 16: 133-141.

Sasmaz, A. and Obekb, E. (2009). The accumulation of arsenic, uranium, and boron in Lemna gibba L. exposed to secondary effluents. *Ecological Eng*, 35: 1564–1567.

Stêpniewska, Z, Bennicelli, R.P. Balakhnina,T.I,. Szajnocha, K,. Banach, A. and Woliñska, A. (2005). Potential of Azolla caroliniana for the removal of Pb and Cd from wastewaters. *Institute of Agrophysics, Polish Academy Sc*i, 19: 251-255

Volesky, B. (2001). Detoxification of metal-bearing effluents: biosorption for the next century.

Investigation of Azolla potential for removal of Nickel from aqueous media

Sufian[*1], J., Soilmani, F., Avanes[3], A. and Karim-Nezhad, G[4].
[1] Ph.D.Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran
[2] Department of Chemistry, Payame Noor University, Tehran, Iran
[3] Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Maragheh, Maragheh, Iran
[4] Department of Chemistry, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract
The objective of this study was to evaluate the capacity of Azolla plant to remove nickel heavy metal from nickel contaminated aquatic environment. Many plants are able to accumulate heavy metals in their tissues, which is called highly accumulating, one of these plants is Azolla. During a 14-day experiment Azolla was grown in a medium containing different amounts including 0, 5, 10, 20, 40 mg of nickel per liter. At the end of the experiment, the concentration of nickel in plant tissues was measured. Measurement of nickel concentration in azolla tissues showed that with increasing nickel concentration in growth medium, its amount increased in azolla tissues so that the highest concentration in tissue at the level of 40 mg nickel per liter with an average of 2169.43 mg / kg. The results of this study showed that Azolla is a suitable plant for phytoremediation of nickel from aquatic environments.

Keywords: Azolla, Phytoremediation, Nickel.

[*] Corresponding author, Email: Jafar.sufiyan67@gmail.com

توانایی رشد و تولید اکسین توسط چهار باکتری محرک رشد غیر بومی در ریزوسفر گندم

اسماعیل کریمی[۱]، زهرا محمدی [۲] و عزت اله اسفندیاری[۳]

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه مراغه Eamail: sm_ka80@yahoo.com

۲- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه مراغه

۳- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه مراغه

چکیده

جداسازی باکتری‌ها محرک رشد مولد اکسین از ریزوسفر گرامینه‌های وحشی، به دلیل مقاومت مطلوب آنها در برابر شرایط نامساعد محیطی، قدرت بالای تولید محرک رشدی، می‌تواند به موفقیت در تولید کودهای زیستی کمک موثری نماید. در این بین توانایی رشد و تولید اکسین توسط این باکتری‌ها در ریزوسفر گیاهان زراعی به عنوان میزبان اهلی، مورد سوال می‌باشد. برای بررسی این موضوع چهار باکتری جداسازی شده از ریزوسفر گرامینه‌های وحشی با نام‌های *Bacillus simplex* 16 ، *Bacillus simplex* 52، *Bacillus velezensis* 45و *Bacillus zhangzhouensis* 23 انتخاب گردیده و توانایی رشد آنها در ترشحات ریشه‌ای گندم و محیط کشت رایج LB مورد ارزیابی قرار گرفت. توانایی تولید اکسین در حضور اسید آمینه تریپتوفان به عنوان پیش ماده ساخت و در عدم حضور آن در هر دو محیط با معرف سالکوکسی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اولا اگر چه تمامی باکتری‌های مورد مطالعه قادر به رشد مطلوب در هر دو محیط کشت مصنوعی و طبیعی هستند ولی رشد باکتری‌ها در حضور ترشحات ریشه به طور متوسط ۴۰ درصد کمتر از محیط LB است. دوما باکتری‌ها مورد بررسی زمانی اکسین تولید می‌کنند که تریپتوفان در اختیار آنها قرار بگیرد. لذا با استناد به یافته‌های این تحقیق می‌توان انتظار داشت که علی‌رغم توانایی رشد مطلوب در ریزوسفر گندم، چنانچه هدف از تولید مایه تلقیح این باکتری‌ها بهره‌مندی از متابولیت‌های میکروبی مانند اکسین باشد بایستی رقم‌هایی از گندم را انتخاب نمود که قادر به ترشح تریپتوفان از ریشه خود باشند. در غیر اینصورت بایستی ترکیب یاد شده با کاربرد خارجی در اختیار باکتری قرار داده شود.

کلمات کلیدی: *باسیلوس*، ترشحات ریشه گندم، تریپتوفان

مقدمه

باکتری‌های محرک رشد فراگرد ریشه یا به اختصار PGPR[۱]ها به سبب تولید انواع متابولیتهای میکروبی با تاثیر بر قابلیت دسترسی زیستی عناصر مورد نیاز گیاه و یا ایجاد تغییرات فیزیولوژیکی در گیاه نقش بسیار مهمی را در تحریک رشد گیاهان ایفا می‌نمایند و با این دیدگاه تولید و کاربرد مایه تلقیح های میکروبی به عنوان یک روشی زیستی و سالم در راستای نیل به کشاورزی پایدار بسیار مورد توجه قرار گرفته است (نظیر و همکاران ۲۰۱۸). در سالیان اخیر این موضوع به خوبی درک شده است که باکتریهای محرک رشد موجود در ریزوسفر گیاهان غیر زراعی نسبت به گیاهان غیر زراعی در زمینه خصوصیات محرک رشدی گیاه، توانمندتر عمل می نمایند. توان استقرار در ریزوسفر و بهره مندی غذایی از ترکیبات ترشح شده ریزوسفر گیاهان در کاربردهای این نوع از مایه تلقیح های میکروبی بسیار حایز اهمیت بوده و نیازمند بررسی می باشد (تیموسک و همکاران ۲۰۱۴). علاوه بر این بهبود فرآیند هدف از تلقیح کود میکروبی نیز یکی از عوامل بسیار مهمی است که می‌تواند نقش بسیار مهمی را درعرصه موفقیت تلقیح کودهای میکروبی ایفا نماید. تولید اکسین به عنوان یکی از مهمترین متابولیت‌های محرک رشد توسط اینگونه باکتری‌ها بوده و بالغ بر ۸۰ درصد باکتری‌های ریزوسفری قادر به تولید آن هستند (احمد و کیبرت ۲۰۱۴). یافته‌های علمی نشان می‌دهند که این متابولیت میکروبی قادر است با تغییر معماری ریشه و ویژگیهای بافتی آن به نفع تامین نیازهای گیاه و هم چنین با تنظیم سطوح داخلی اکسین در

[1] Plant Growth Promoting Rhizobacteria

گیاه بر فرآیندهای متابولیسمی و فیزیولوژی رشد و نمو گیاهان اثر مثبت اعمال نماید (آمبرین و شهیدا ۲۰۱۴). حضور تریپتوفان از ضروریات تولید اکسین بوده و در این راستا مصطفی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش نموده‌اند که بین میزان تریپتوفان موجود و اکسین تولید شده ارتباط مستقیم وجود دارد. دسوزا و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که افزودن تریپتوفان به خاک می‌تواند منجر به افزایش تولید اکسین توسط PGPRها شود. هیدرولیز پروتئین‌های موجود در ماده آلی خاک عمده‌ترین و در برخی مواقع به صورت جزئی ترشحات ریشه گیاه میزبان از منابع تامین تریپتوفان در خاک می‌باشند، مصطفی و همکاران (۲۰۱۸) معتقدند که محدودیت در تأمین تریپتوفان در اثر کمبود ماده آلی خاک یا ترشح محدود از ریشه گیاه، عامل اصلی کاهش تولید اکسین توسط ریزوباکتری‌ها بوده و کاربرد خارجی تریپتوفان را در رفع موانع یاد شده مؤثر می‌دانند. برای بررسی موضوعات ذکر شده ۴ باکتری جداسازی شده از ریشه گرامینه های غیر زراعی از نظر توانایی رشد در حضور ترشحات ریشه گندم و توانایی تولید اکسین و بهبود این فرایند مورد بررسی قرار گرفتند. تولید اکسین از آنجایی به عنوان موضوع این مطالعه انتخاب گردید که علی رغم اهمیت آن، ماده آلی خاک که منبع اصلی تأمین تریپتوفان مورد نیاز برای بیوسنتز اکسین توسط ریزوباکتری‌ها بوده در بخش قابل توجهی از خاک‌های کشور کمتر از نیم درصد می‌باشد، لذا احتمال محدودیت در عرضه‌ی این اسید آمینه دور از انتظار نیست.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از ۴ باکتری بنام‌های *Bacillus simplex* 16، *Bacillus simplex* 52، *Bacillus velezensis* 45 و *Bacillus zhangzhouensis* 23 که از توان بالایی در تولید هورمون اکسین از نوع ایندول استیک اسید[2] برخوردار بوده و از ریزوسفر گیاهان علفی غیر زراعی توسط کریمی و همکاران (Karimi *et al.*, 2019) جداسازی و شناسایی شده بودند، استفاده شد.

ارزیابی توان تولید اکسین توسط باکتری‌ها در محیط کشت مصنوعی: بدین منظور، ابتدا باکتری‌ها در محیط کشت TSB[3] واکشت گردیده و پس از ۱۲ ساعت، ۲۰۰ میکرولیتر از آنها به صورت جداگانه به دو سری از محیط کشت LB[4] (جدول ۱) یک سری حاوی ۵ میلی‌مولار تریپتوفان و سری دیگر بدون افزودن تریپتوفان منتقل شدند وبه‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری و مدام تکان داده شدند. سپس، سوسپانسیون حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. در ادامه، یک میلی‌لیتر از محلول رویی با ۴ میلی‌لیتر از معرف سالکوفسکی (۱۵۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ، ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۵/۷ میلی‌لیتر کلرید آهن نیم‌مولار) مخلوط گردیدند. مخلوط حاصل به‌مدت یک ساعت در دمای اتاق و در تاریکی نگهداری و سپس، میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۳۵ نانومتر قرائت شد. از مقادیر صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر ایندول استیک اسید به عنوان استاندارد استفاده گردیده و مشابه با نمونه‌ها واکنش آن با محلول سالکوفسکی ارزیابی و اعداد حاصله جهت ترسیم نمودار استاندارد ثبت شدند.

تولید اکسین در حضور ترشحات ریشه گندم: برای اینکار ابتدا به منظور جمع آوری ترشحات ریشه، بذور ضد عفونی شده گندم با هیپوکلریت سدیم (۱۰ درصد حجمی-حجمی، به مدت ۱۰ دقیقه و سپس شستشو به صورت ۳ بار متوالی با آب مقطر استریل) در پتری‌دیش‌های استریل کشت گردیده و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و تاریکی جوانه‌دار شدند. گیاهچه‌های به دست آمده پس از آن، به ظروف دارای ۲۰ میلی‌لیتر محیط کشت استریل MS منتقل گردیده و جهت جلوگیری از ورود آلاینده ها اطراف آن با پنبه استریل پوشش داده شده و به‌مدت یک هفته در حضور نور با شدت ۸۰۰۰ لوکس و دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد بر روی شیکر با دور کند در زیر هود میکروبی قرار گرفتند (شکل ۱). در طی این مدت با رشد گیاهچه‌ها ترشحات ریشه در محلول آزاد می‌شدند که پس از خارج ساختن کامل گیاهچه‌ها از درون این محلول به عنوان یک محیط کشت طبیعی جهت کشت باکتریها در نظر گرفته شدند.

---

[2]- Indol acetic acid
[3]- Trypticase soy broth
[4]- Luria-Bertani

جهت ارزیابی تولید اکسین در این محیط کشت دقیقا مثل مرحله قبل در محیط کشت مصنوعی و در دو سری یکی با افزودن تریپتوفان (۵ میلی‌مولار) و سری دیگر بدون افزودن تریپتوفان عمل گردید. تیمار بدون تلقیح باکتریایی نیز به‌عنوان شاهد این بخش در نظر گرفته شد.

شکل ۱- کشت گیاهچه‌های گندم در ظروف دارای محیط تغییر یافته MS جهت استخراج ترشحات ریشه به منظور تهیه محیط کشت طبیعی برای رشد باکتری‌ها

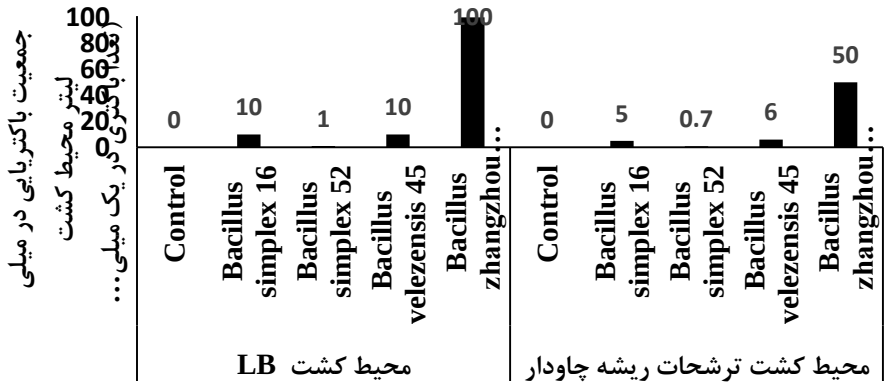
شمارش باکتریها به منظور ارزیابی توان رشد آنها در محیط کشت مایع تهیه شده از ترشحات ریشه به روش ذکر شده در بالا و مقایسه آن با توانایی رشد در محیط کشت LB در ۱۵۰ میلی‌لیتر از محیط کشت های مذکور که هر کدام با ۱۰۰ میکرولیتر از کشت ۱۲ ساعته باکتریها در محیط کشت LB مایه زنی شده بودند، پس از ۱۶ ساعت با روش برفورد انجام گرفت.

تجزیه آماری

داده‌های به دست آمده از این پژوهش پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم افزار MSTATC تجزیه آماری گردیدند. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

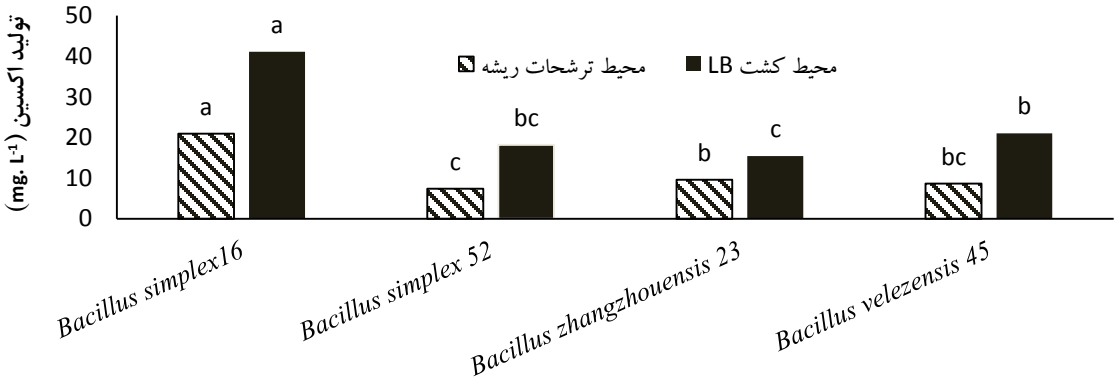
نتایج حاصل از بررسی رشد باکتری‌ها در محیط کشت‌های مایع حاصل از ترشحات ریشه و LB نشان داد که تمامی باکتری‌های مورد مطالعه رشد قابل قبولی در ترشحات ریشه داشتند، اگر چه میزان رشد باکتری‌ها در محیط کشت ترشحات ریشه کمتر از از محیط کشت LB می‌باشد (شکل ۲). رشد باکتری‌ها با یکدیگر در هر دو محیط رشد باهم متفاوت بود و بیشترین میزان جمعیت باکتریایی در هر دو محیط کشت متعلق به باکتری *Bacillus zhangzhouensis* 23 بود. با توجه به این یافته به نظر می‌رسد باکتریهایی که سرعت رشد ومطلوبی داشته و بتوانند نیازهایی غذایی خود را از ترشحات ریزوسفری گندم به دست آورند، برای تهیه مایه تلقیح مناسب ترند و شاید بتوانند بر رقابتهای میکروبی در خاک غلبه نموده و در روند کلنیزاسیون موفق تر عمل نمایند.



شکل ۲ – مقایسه جمعیت میکروبی باکتری‌های مورد مطالعه در یک میلی‌لیتر از محیط کشت ترشحات ریشه گندم و محیط کشت LB پس از ۱۶ ساعت.

تولید اکسین

ارزیابی انجام شده در رابطه با توانایی تولید اکسین توسط باکتری‌ها نشان داد که اکسین در محیط کشت LB زمانی تولید می‌شود که تریپتوفان به ترکیبات افزوده گردد. هیچکدام از باکتری‌ها قادر نبودند در محیط کشت LB فاقد تریپتوفان اکسین تولید کنند (شکل ۳). نتیجه مشابهی نیز در محیط کشت تهیه شده از ترشحات ریشه به عنوان شبیه‌سازی شرایط واقعی به‌دست آمد و اکسین زمانی توسط باکتری‌ها تولید شد که تریپتوفان در اختیار آنها قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۲-

مقایسه توانایی تولید هورمون اکسین در محیط کشت‌های LB و ترشحات ریشه گندم در حضور تریپتوفان با غلظت ۵ میلی‌مولار توسط باکتری‌های مورد پژوهش. به دلیل اینکه میزان اکسین تولیدی در محیط‌های فاقد تریپتوفان صفر برآورد شدند، داده‌ها در نمودار لحاظ نشده است.

پژوهش‌ها نشان می‌دهند که ۱۰ تا ۴۰ درصد تولیدات فتوسنتزی گیاه، به صورت ترشحات ریشه، از ریشه گیاه دفع می‌گردد که این مواد به‌خوبی می‌توانند رشد باکتری‌ها را حمایت کنند و به واسطه وجود این ترشحات، محیط ریزوسفر گیاهان در خاک یکی از غنی‌ترین محیط‌ها برای رشد ریزجانداران خاک به شمار می‌رود (مو ۲۰۱۳). نتایج این پژوهش نیز نشان داد که ترشحات ریشه گندم به خوبی می‌تواند موجبات رشد باکتری‌های مورد مطالعه را فراهم کند. اما از آنجایی که تریپتوفان پیش ماده ساخت اکسین می‌باشد (احمد و کیبرت ۲۰۱۴) و با توجه به اینکه در شرایط آزمایشگاهی بویژه در محیط کشت ترشحات ریشه، تولید اکسین زمانی مشاهده گردید که تریپتوفان در اختیار باکتری قرار گرفت، به همین دلیل احتمال اینکه تریپتوفان در ترشحات ریشه گندم وجود نداشته باشد، بالا می‌باشد، که همسو با نتیجه مطالعات کاوازاکی و همکاران (۲۰۱۶) مبنی بر عدم ترشح تریپتوفان از ریشه گیاه می‌باشد. نکته دیگری که بایستی مورد تأکید قرار داد تولید دو برابری اکسین در محیط کشت LB نسبت به محیط ترشحات ریشه بود (شکل

۳). محیط کشت LB نسبت به ترشحات ریشه محتوای غنی‌تری داشته و بنابراین رشد باکتری‌ها را به صورت مطلوب‌تری حمایت می‌کند. به علاوه اینکه در هر دو محیط دامنه تولید اکسین با وجود یکسان بودن شرایط رشد متفاوت بود که بیانگر تأثیر نوع باکتری بر روند تولید آن محسوب می‌گردد (شکل ۲). به طور کلی نتایج این بخش علاوه بر اینکه بیانگر توانایی رشد باکتری در حضور ترشحات ریشه گندم می‌باشد، می‌تواند بطور غیر مستقیم بیانگر القای تولید اکسین در ریزوسفر با افزودن اسید آمینه تریپتوفان به بستر رشد گندم باشد.

نتیجه گیری کلی

ترشحات ریشه گندم می‌تواند رشد باکتری‌های مختلف غیر بومی را مورد حمایت قرار دهد. اما به نظر می‌رسد که قبل از هر نوع تلقیح میکروبی بهتر است مراکز تولید سرعت و توانایی رشد مطلوبتر این نوع از باکتری ها را نیز در حضور ترشحات این گیاه جهت کلنیزاسیون مطلوب تر به عنوان یکی از معیار های گزینش مد نظر قرار دهند. اگر چنانچه هدف از کاربرد مایه تلقیح تولید متابولیت میکروبی مانند اکسین مد نظر باشد بهتر است گونه هایی از گندم که توانایی ترشح اسید آمینه تریپتوفان در ریزوسفر را دارند انتخاب گردند. به عبارت دیگر لازم است ارتباط تنگاتنگی بین متخصصان فیزیولوژی گیاه، اصلاحگران گیاه و متخصصین بیولوژی خاک ایجاد گردد.

منابع

کریمی، ا، علی‌اصغرزاد ن. نیشابوری مر، اسفندیاری ع. (۱۳۹۸). جداسازی، شناسایی مولکولی و ارزیابی ویژگی‌های محرک رشدی باکتری‌های تشکیل دهنده بیوفیلم از ریزوسفر گیاهان غیرزراعی در شمال غرب ایران. تحقیقات کاربردی خاک ۷ (۲):۲۸-۱۴.

Ahemad, M., Kibret, M. (2014). Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. *Journal of King Saud University Science*, 26:1–20.

Ambreen, A., Shahida, H. (2014). Auxins as One of the Factors of Plant Growth Improvement by Plant Growth Promoting Rhizobacteria. *Polish Journal of Microbiology*, 63 (3): 261–266.

De_Souza, R., Ambrosini, A., Passaglia, L.M.P. (2015). Growth-promoting bacteria as inoculants in agricultural soils. *Genetics and Molecular Biology*, 38(4):S1415.

Kawasaki, A., Donn, S., Ryan, P.R., Mathesius, U., Devilla, R., Jones, A. (2016). Microbiome and Exudates of the Root and Rhizosphere of *Brachypodium distachyon*, a Model for Wheat. *PLOS ONE*, 11(10):32-45.

Moe, L.A. (2013). Amino acids in the rhizosphere: From plants to microbes. *American Journal of Botany*, 100: 1692–1705.

Mustafa, A., Imran, M., Ashraf, M., and Mahmood, K. (2018). Perspectives of using L-tryptophan for improving productivity of agricultural crops: A review. *Pedosphere*, 28(1): 16–34.

Nazir, N., Kamili, A., Shah, D. 2018. Mechanism of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth – A Review. International Journal of Management, *Technology and Engineering*, 8: 709-721.

Timmusk, S,, Abd El-DaimI, A, Copolovici, H., Tanilas, T., Kannaste, A., Behers, L., Nevo, E., Seisenbaeva, G., Stenström, E., Niinemets. U. (2014). Drought-Tolerance of Wheat Improved by Rhizosphere Bacteria from Harsh Environments: Enhanced Biomass Production and Reduced Emissions of Stress Volatiles, *PLOS One* 9(5): e96086.

Growth ability and production of auxin by four non-native growth-promoting bacteria in wheat rhizosphere

Esmaeil Karimi[1], Zahra Mohammadi[2] and Ezzatallah Esfandyari[3]

1- Assistant professor, Soil Science and Engineering Department, University of Maragheh. E-mail: sm_ka80@yahoo.com
2- Former MSc student, Soil Science and Engineering Department, University of Maragheh
3- Professors of Plant Production Engineering and Genetics Department, University of Maragheh

Abstract

Isolation of auxin-producing growth-promoting bacteria from the rhizosphere of wild grasses, due to their favorable resistance to adverse environmental conditions and high growth stimulus action, can guaranty the success of bio-fertilizer production. In the meantime, the ability of these bacteria to grow and produce auxin in the rhizosphere of crops as domestic hosts is questioned. To investigate this issue, four isolated bacteria from the rhizosphere of wild

grasses named *Bacillus simplex* 16, *Bacillus simplex* 52, *Bacillus velezensis* 45 and *Bacillus zhangzhouensis* 23 were selected. So, their ability to grow on wheat root exudate and common LB medium was evaluated. The ability to produce auxin was evaluated in the presence or absence of the amino acid tryptophan as a precursor with the salkoxy reagent. The results showed that firstly, although all the studied bacteria are able to grow optimally in both artificial and natural culture media, but the growth of bacteria in the presence of root exudate is on average 40% less than the LB medium. Secondly, the under tested bacteria produce auxin just they are given tryptophan. Therefore, based on the findings, it can be expected that despite the ability to grow optimally in the rhizosphere of wheat, if the purpose of inoculating these bacteria is to benefit from microbial metabolites such as auxin, wheat cultivars should be choose that are able to secrete tryptophan from their roots. If not, this compound should be given to the bacterium with external use.

Keywords: *Bacillus*, wheat root exudate, tryptophan

نشانه قارچ‌های درون‌زی بر گشایش کانی‌های خاک فسفات تیمار شده با گلوکز در کشتگاه جامد

***سمیرا عبدالرحیمی کودکان[۱]، علی اکبر صفری سنجانی[۲]**

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان (samira.abduolrahimi@gmail.com)،

[۲] استاد گروه علوم خاک، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

چکیده

قارچ‌ها در فرایندهایی برای حل کردن سنگ فسفات پیش از کاربرد کود در خاک می‌توانند سودمند باشند و آنها یک جایگزین کم هزینه برای فرآوری کودهای فسفره می‌توانند باشند. این پژوهش با هدف بررسی توان ۱۵ گونه قارچ درون‌زی گیاه در افزایش زیست‌فراهمی کلسیم در کشتگاه جامد (خاک فسفات) انجام شد. پژوهش در کشتگاه جامد با دو غلظت یک و هفت درسد گلوکز با آزمایش فاکتوریل در طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. به‌گزینی قارچ‌ها به روش کیفی و توان کمی آنها در دگرش برخی از ویژگی‌های خاک مانند رسانندگی الکتریکی و کلسیم محلول برای ۳۰ روز بررسی شد. بررسی داده‌ها نشان داد که رهاسازی کلسیم با افزایش رسانندگی الکتریکی کشتگاه جامد همراه بوده و قارچ‌ها کارکرد بیشتری در کشتگاه دارای گلوکز هفت درسد داشته‌اند. همه قارچ‌ها توان رهاسازی کلسیم را داشته‌اند ولی روهمرفته همانند آنچه که در بررسی رسانندگی الکتریکی دیده شد، کلسیم محلول کشتگاه‌های دارای گلوکز بیشتر و مایه‌زنی شده با *آکرومونیوم، آلترناریا، کرولاریا، آسپرژیلوس و فوزاریوم* بالاتر بود که با گذشت زمان افزایش و در پایان آزمایش به بیشترین اندازه‌های خود رسید. یافته‌های این پژوهش نشان داد که قارچ‌های درون‌زی جدا شده از گیاهان می‌توانند برای کاهش زیان کمبود فسفر و همچنین بهبود کلسیم برای گیاه در خاک‌های کشاورزی بهره‌گیری شوند.

کلمات کلیدی: سنگ فسفات، قارچ‌های رشته‌ای، زیست‌فراهمی کلسیم

مقدمه

کشاورزان برای بهبود باروری خاک و برداشت بیشینه به گونه ای پیوسته کودهای شمیایی فسفره بکار می‌برند (Novais et (1999 .al. این فرایندی است که هزینه‌ی بالائی دارد و مایه آسیب به زیستگاه‌ها می‌شود (Vassilev et al.(2006a . بازیابی فسفر داده شده به خاک‌ها کار ساده‌ای نیست زیرا آنها به گونه برگشت ناپذیری بر رویه دانه‌های خاک با گذشت زمان برای گیاهان نافراهم می‌شوند (Novais et al.(1999 . بسیاری از قارچ‌ها و باکتری‌های خاک توان حل کردن فسفات‌های کانی و رهاسازی عناصر خوراکی را دارند (Illmer and Schinner(1992 . ریزجانداران گشاینده فسفات[1] کارایی ویژه‌ای را در فراهمی عناصر برای گیاهان دارند، و راندمان بازیابی کودهای فسفاته را بالا می‌برند. گزارش شده است که بهره‌گیری از PSMها در کشتزارها مایه افزایش کارکرد و برداشت فرآورده‌های گیاهی می‌شوند. برخی ریزجانداران، به ویژه گونه‌های قارچی از جنس‌های *Aspergillus* و *Penicillium* توانایی بالایی در رها کردن فسفر از ترکیب‌های کانی آن با اسیدی کردن زیستگاه از راه ساخت اسیدهای آلی دارند (Illmer et al.(1995 . گزارش شده است که قارچ‌ها در برابر باکتری‌ها توانایی بیشتری در حل کردن فسفات نامحلول خاک دارند (Nahas(1996 . این ریزجانداران در فرایندهایی برای حل کردن سنگ فسفات پیش از کاربرد کود در خاک می‌توانند سودمند باشند و آنها یک جایگزین کم هزینه

[1] P-solubilizing microorganisms, PSMs

برای فرآوری کودهای فسفره می‌توانند باشند Vassilev(2006b) . بنابراین هدف از این بررسی آزمون و شناخت توان حل کنندگی خاک فسفات و رهاسازی عناصر خوراکی مانند کلسیم با برخی از قارچ‌های همزیست گیاه است تا بتوان از این قارچ‌های سازگار با گیاه برای افزایش زیست‌فراهمی عناصر خوراکی در کانی‌های کم محلول فسفر بهره گیری کرد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از ۳۰ قارچ درون‌زی جدا شده از گیاهان خانواده اسپناج بومی زیستگاه‌های خشک و شور بهره‌گیری شد آل طه و همکاران(۲۰۱۹). کار کشت و فراوان سازی هر یک از آنها در پتری دیش‌های دارای کشتگاه PDA [1] برای مایه‌زنی، انجام شد. برای گزینش بهترین قارچ‌های کارای دگرگون کننده کانی‌های فسفره، تکه‌ای به اندازه ۰/۵ در ۰/۵ سانتیمتر از پرگنه جوان هر یک از قارچ‌ها از کشتگاه PDA برای مایه‌زنی در کشتگاه جامد و سترون پیکوفسکایا[2] که دارای کانی سنگ فسفات (RP, 35% P_2O_5) است، در پتری دیش سترون بکار رفت و در دمای ۲۷ درجه سانتیگراد برای ۷ روز خوابانیده شد. پس از آن کلنی‌های قارچی که بهترین هاله روشن را پیرامون پرگنه خود نشان دادند، کاراترین قارچ‌ها در گشودن کانی فسفره بوده و برای آزمایش کمی گزینش شدند. بر این پایه از میان ۳۰ جدایه قارچی پانزده جدایه *Acromonium sp1*، *Acromonium sp2*، *Acromonium sp3*، *Alternaria botrytis*، *Alternaria consortialis*، *Aschochyta caulina*، *Aspergillus calidoustus*، *Aspergillus terreus*، *Curvolaria spicifera*، *Curvolaria spicifera*، *Fusarium brachygibbosum*، *Fusarium solani*، *Fusarium sp*، *Giberlla thapsina* و *Penicilium sp* گزینش شد. برای سنجش کمی توان جدایه‌های گزینش شده از کشتگاه جامد خاک فسفات تیمار شده با محلول پیکوفسکایا در دو غلظت گلوکز ۱ و ۷ درسد بهره گیری شد که در جدول ۱ آورده شده است. به اندازه ۴۰ گرم خاک فسفات در فلاسک‌های ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و در دو تیمار با کشتگاه پیکوفسکایا در دو غلظت گلوکز ۱ و ۷ درسد به اندازه‌ای آبیاری شد که به نمناکی گنجایش کشاورزی (FC) برسند. برای مایه‌زنی از میسیلیوم‌های جوان هر یک از ۱۵ جنس قارچ به‌گزین شده به اندازه ۰/۵ در ۰/۵ سانتیمتر در کشتگاه جامد (خاک فسفات) بهره گیری شد. سپس همه نمونه‌ها در تاریکی برای ۳۰ روز در نم FC و در دمای آزمایشگاه نگهداری شد. در این گام EC در عصاره خاک Sparks et al.(1996) و کلسیم محلول Tucker and Kurtz(1961) خاک فسفات برای یک دوره ۳۰ روزه بررسی شد. در این پژوهش آزمایشی فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار انجام شد. داده‌های به دست آمده از آزمایش نمونه‌های ۳۰ روزه به گونه جداگانه به کمک نرم افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شد. آزمون میانگین داده‌های آزمایشی به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در پایه آماری ۵ درسد انجام و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel بهره‌گیری شد.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک فسفات و کشتگاه پیکوفسکایا بکاررفته برای کشت قارچ‌ها

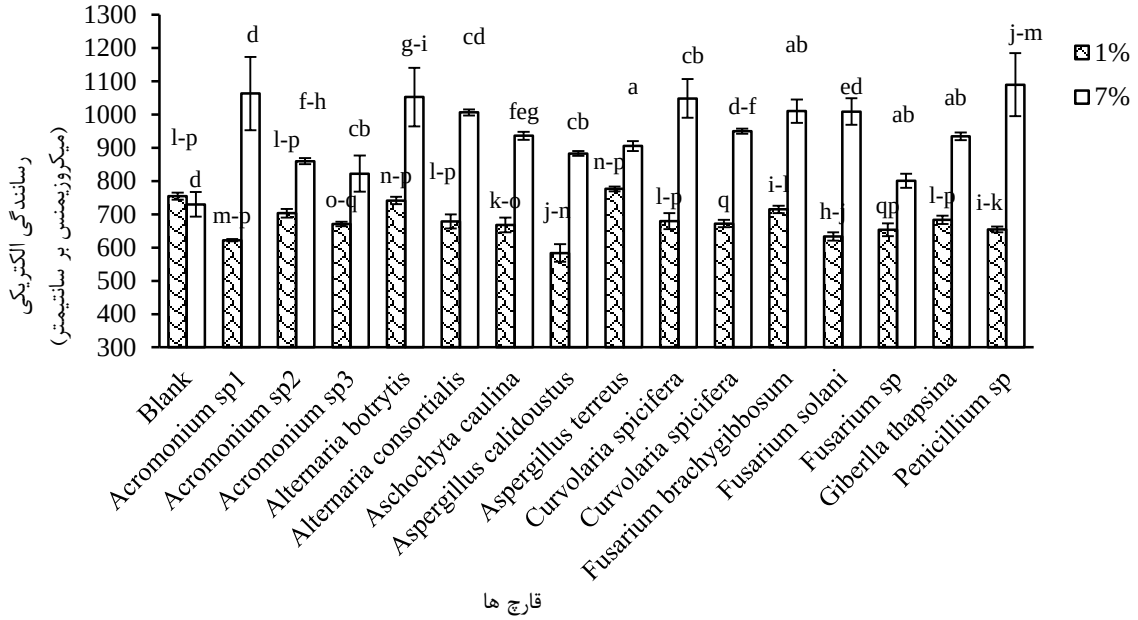
	بخش های سازنده	منابع
خاک فسفات#	کادمیوم ۱۰، فسفر ۳۵، آهن ۴،کلسیم ۴۹، فلور ۲، کلر ۰/۱۸ پی پی ام	مجتمع فسفات اسفوردی یزد
پیکوفسکایا	گلوکز ۱۰ یا ۷۰، فسفات کلسیم ۵، سولفات منیزیم ۷ آبه ۰/۱، سولفات آمونیوم ۰/۵، عصاره مخمر ۰/۵، کلرید پتاسیم ۰/۲، کلرید سدیم ۰/۲، سولفات آهن ۰/۰۰۲، سولفات منیزیم ۷ آبه ۰/۰۰۲ گرم بر لیتر	پیکوفسکایا (۱۹۴۸)

ویژگی‌های خاک فسفات از مجتمع فسفات اسفوردی یزد گرفته شده اند.

نتایج و بحث

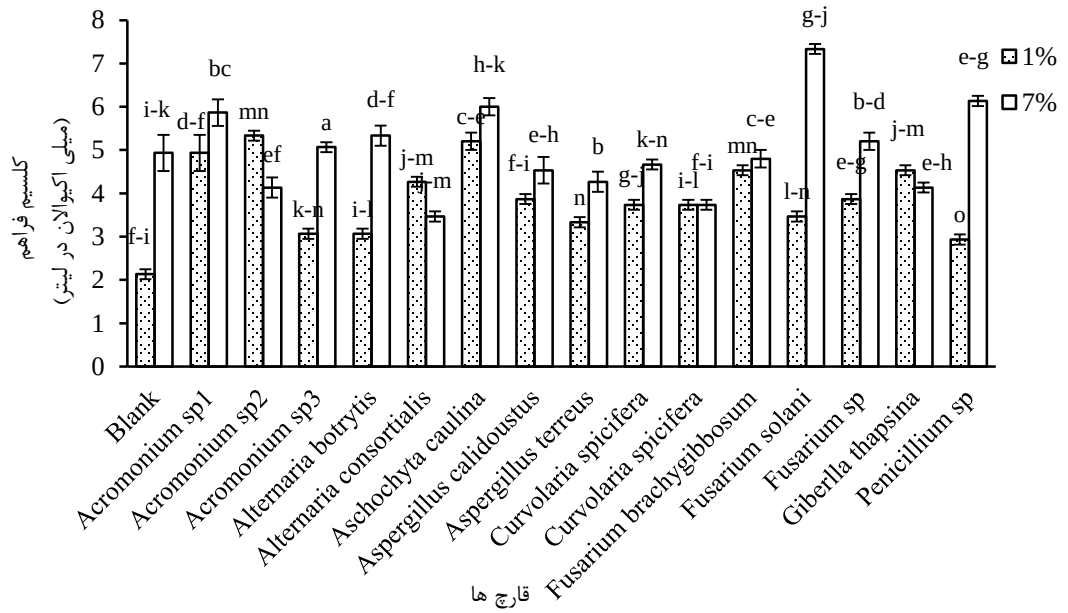
[1] Potato dextrose agar
[2] Pikovskaya

اندازه‌گیری رسانندگی الکتریکی کشتگاه (شکل ۱) نشان داد که قارچ‌ها مایه افزایش آن شده و این افزایش تا روز سی‌ام برای بیشتر تیمارها در برابر گواه آزمایش از دیدگاه آماری چشم‌گیر است ($P\leq0.05$). برای روز سی‌ام بترتیب تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ‌های *Penicillium sp*، *Acromonium sp1*، *Alternaria botrytis*، *Curvolaria spicifera* و *Fusarium brachygibbosum* با گلوکز هفت درسد با اندازه ۱۰۸۹/۶۶، ۱۰۶۳/۳۳، ۱۰۵۲/۶۶، ۱۰۴۸/۳۳ و ۱۰۱۰/۳۳ دسی‌زیمنس بر متر افزایش بیشتری را نشان دادند.



شکل ۱– آزمون میانگین رسانندگی الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتیمتر) در کشتگاه جامد دارای ۱ و ۷ درسد گلوکز برای هر یک از قارچ‌ها در روز سی‌ام کشت. بودن دست کم یک واژ یکسان در روی ستون‌ها نشان‌دهنده نبود ناهمانندی آماری چشم‌گیر در پایه آماری ۵٪ است. نوارهای خطا (Error Bars) انحراف از معیار می‌باشند (n=3)

میانگین کلسیم محلول در کشتگاه قارچ‌ها برای بیشتر تیمارها با هر دو غلظت گلوکز یک و هفت درسد در هر چهار زمان نمونه‌برداری به اندازه چشم‌گیری بیشتر از آن در گواه آزمایش بود ($P\leq0.05$).تیمارهای مایه‌زنی شده با قارچ‌های *Penicillium sp*، *Fusarium solani*، *Aschochyta caulina*، *Acromonium sp1* و *Alternaria botrytis* با گلوکز هفت درسد در روز سی‌ام با اندازه ۷/۳۳، ۶/۱۳، ۶، ۴/۹۳ و ۵/۳۳ میلی‌اکیوالان در لیتر کلسیم محلول بالاتری را داشتند (شکل ۲).



شکل ۲– آزمون میانگین کلسیم فراهم (میلی‌اکی والان در لیتر) در کشتگاه جامد دارای ۱ و ۷ درسد گلوکز برای هر یک از قارچ‌ها در روز سی‌ام کشت. بودن دست کم یک واژ یکسان در روی ستون‌ها نشان‌دهنده نبود ناهمانندی آماری چشم‌گیر در پایه آماری ۵٪ است. نوارهای خطا (Error Bars) انحراف از معیار می‌باشند (n=3)

روهمرفته همانند آنچه که در بررسی رسانندگی الکتریکی دیده شد، کلسیم محلول کشتگاه‌های دارای گلوکز بیشتر و مایه‌زنی شده با *آکرومونیوم، آلترناریا، کرولاریا، آسپرژیلوس و فوزاریوم* بالاتر بود که با گذشت زمان افزایش و در پایان آزمایش به بیشترین اندازه‌های خود رسید. با اینکه ساخت اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم و کاهش پی‌اچ مایه گشایش کانی‌ها می‌شوند، چنین نیست که آنها تنها سازوکار رشد قارچ‌ها در کشتگاه با کمبود فسفر باشند، زیرا دیگر سازوکارها نیز همان اندازه می‌توانند کارایی داشته باشند (2007) .Rosling et al ، مانند توان ویژه قارچ‌ها در جذب فسفر در کشتگاه‌های با کمبود فسفر. بنابراین آزمون توان قارچ‌ها با اندازه‌گیری هاله روشن در کشتگاه‌های جامد شاید نشان دهنده توان ویژه آنها در افزایش زیست‌فراهمی فسفر نباشد و کاهش پی‌اچ در گزینش گونه‌ها چندان کارایی نداشته باشد. گونه‌های قارچی توان ناهمانندی را در افزایش زیست‌فراهمی فسفر در خاک فسفات تیمار شده با غلظت‌های گوناگون کربن آلی (یک و هفت درسد گلوکز) نشان دادند. قارچ‌ها کارکرد بیشتری را در کشتگاه با اندازه بیشتری از گلوکز داشتند. ساخت اسیدها و کاهش پی‌اچ وابسته به فراهمی کربن آلی کشتگاه بود. بررسی پرادهان و ساکلا (۲۰۰۵) نشان داد که ساخت اسیدها، هم وابسته به اندازه و هم وابسته به گونه کربن آلی کشتگاه است. در میان خاستگاه کربن آلی دو کشتگاه گلوکز و مالتوز پی‌اچ را بهتر کاهش می‌دهند و بالاترین فسفر محلول را بدست می‌دهند. توانایی گشایش یک ریزجاندار به توان ساخت اسیدهای آلی آن وابسته است، گذشته از آن به گونه اسید ساخته شده نیز وابسته است Vassileva et al.(1998) . خاک فسفات بکار رفته، افزون بر کانی‌های فسفره دارای کانی و عناصر دیگری است که می‌تواند همانند بافری توان اسیدهای آلی را کاهش دهند. رهاسازی برخی از عناصر شیمیایی مانند Mn, Zn, Fe و Cu در اکسیدها و هیدروکسیدها می‌تواند از کاهش پی‌اچ با اسیدهای آلی جلوگیری کند Mendes et al.(2013) . اسیدهای آلی می‌توانند با فلزهای گشوده شده همتافته (کمپلکس)های پایدار بسازند که به افزایش زیست‌فراهمی فسفر می‌انجامد. اسیدهای اگزالیک و سیتریک گنجایش بیشتری داشته و در کشتگاه قارچ‌ها می‌تواند مایه رهاسازی فسفر از خاک فسفات و کانی‌های خاک شود Mendes et al.(2013) . بنابراین اسیدهای آلی می‌توانند غلظت فسفر فراهم را با واکنش‌های تبادل لیگاندی یا با همتافتگی با یون‌های فلزی رها شده در محلول افزایش دهند، و از ته نشینی فسفر با این یون‌ها جلوگیری کند Welch et al.(2002) . در این پژوهش اندازه‌گیری کلسیم محلول و رسانندگی الکتریکی کشتگاه جامد نشان داد که

مایه‌زنی قارچ‌ها پیامد چشم‌گیری بر آنها داشته است و مایه افزایش آنها در برابر گواه آزمایش شد که این افزایش تا روز سی‌ام به گونه پیوسته‌ای نمایان بود. گونه‌های قارچ با رهاسازی اسیدهای آلی مایه گشایش کانی‌ها در کشتگاه خاک فسفات شده‌اند. قارچ‌ها می‌توانند مایه گشایش کانی‌های فسفر، همچنین جذب زیستی کاتیون‌ها در جایگاه‌های تبادلی در دیواره یاخته شوند و از سوی دیگر می‌توانند مایه جذب و کاهش زیست‌فراهمی فسفر با انباشت آن به ریخت کانی‌های نوین در میسلیوم خود شوند Rosling (2007) et al.

نتیجه‌گیری پایانی

بررسی روند افزایش پیوسته رسانندگی الکتریکی و کلسیم محلول در آزمایش سی روزه بویژه در کشتگاه با گلوکز بیشتر نشان از توان قارچ‌ها در اسید زایی و سپس گشایش کانی‌های کشتگاه دارد. این پژوهش نشان داد که قارچ‌های درون‌زی جدا شده از گیاهان در زندگی آزاد و ساپروفیتی خود می‌توانند از راه‌های دیگری به رشد گیاهان کمک کنند. آنها با گشایش کانی‌های فسفره و اسیدزایی و از راه رهاسازی و اندوختن عناصر خوراکی در هیف‌های خود می‌توانند برای کاهش زیان کمبود فسفر و کلسیم در خاک‌های کشاورزی بهره‌گیری شوند و یا با افزایش راندمان جذب فسفر نیاز به کودهای فسفاته را کاهش دهد. آنها با جذب فسفر در هیف‌ها و اندوختن آن به گونه آلی یا کانی کودهای زیستی فسفره کارآمدی بوده که می‌توانند همانند یک خواستگاه کودی کندرها زیست‌فراهمی فسفر در خاک را بالا نگهدارند که این نیاز به پژوهش ویژه دارد.

منابع

آل طه، ر. صفری سنجانی، ع. ا. ضفری، د. (۲۰۱۹). ارزیابی توان رشد در گیاه اسپناج مایه زنی شده با قارچ پیریفورموسپورا ایندیکا، مایکوریزا و قارچ های دیواره تاریک در تنش خشکی. نشریه به زراعی کشاورزی (۲۰) ۲ ۵۱۷-۵۳۱.

Illmer, P., Barbato, A., and Schinner, F. 1995. Solubilization of hardly-soluble AlPO4 with P-solubilizing microorganisms. Soil Biol. Biochem. 27:3. 265–270.

Illmer, P., and Schinner, F. 1992. Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganisms. Soil Biol. Biochem. 24. 389-395.

Mendes, G. O., Dias, C.S., Silva, I.R., Junior, J.I., Pereira, O.L., and Costa, M. D. 2013. Fungal rock phosphate solubilization using sugarcane bagasse. Microbiol Biotechnol. 29;1. 43–50.

Nahas, E. 1996. Factors determining rock phosphate solubilization by microorganisms isolated from soil. World J Microb Biot. 12. 567–572.

Novais, R.F., and Smith, T.J. 1999. Fósforo em solo e planta em condições tropicais (1st ed). Editora UFV. Viçosa. 399p.

Pradhan, N., and Sukla, L. B. 2005. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. Afr. J. Biotechnol. 5:10. 850-854.

Rosling, A., Suttle, K. B., Johansson, E., Van Hees, P. A. W., and Banfield, J.F. 2007. Phosphorous availability influences the dissolution of apatite by soil fungi. Geobiology. 5. 265–280.

Sparks, D. L., Page A., Helmke, P., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., Johnston, C., and Sumner M. 1996. Methods of Soil Analysis. Part 3-Chemical methods. Soil Science Society of America.Inc. 1309p.

Tucker, B. B., and Kurtz L. T. 1961. Calcium and Magnesium Determinations by EDTA Titrations. Soil SCI SOC AM J. 25:1. 27-29.

Vassilev, N., Vassileva, M., and Nikolaeva, I. 2006a. Simultaneous Psolubilizing and biocontrol activity of microorganisms: potentials and future trends. Appl Microbiol Biotechnol. 71:2. 137–144.

Vassileva, M., Vassilev, N., and Azcon, R. 1998. Rock phosphate solubilization by Aspergillus niger on olive cake-based medium and its further application in a soil-plant system. microbiol biotechnol. 14:2. 281–284.

Vassilev, N., Medina, A., Azcon, R., and Vassileva, M. 2006b. Microbial solubilization of rock phosphate on media containing agroindustrial wastes and effect of the resulting products on plant growth and P uptake. Plant Soil. 287:1–2. 77–84.

Welch, S. A., Taunton, A. E., and Banfield, J.F. 2002. Effect of microorganisms and microbial metabolites on apatite dissolution. Geomicrobiol. J. 19:3. 343–367.

The Effect of Endogenous Fungi on the Transformation of Phosphorus Minerals in Solid Media

Abstract

Fungi can be useful in processes for dissolving phosphate ore before fertilizer application in the soil and can be a low-cost alternative to processing phosphorus fertilizers.The aim of this study was to investigate the potential of 15 endogenous fungi species in increasing phosphorus bioavailability in solid medium (soil phosphate).The study was carried out in a solid mediume with two concentrations of glucose by one and seven percent by factorial experiment in a completely randomized design with 3 replications. Fungal selection was studied qualitatively and some soil properties such as electrical conductivity and soluble calcium were quantitatively evaluated for 30 days. Examination of the data showed that the release of calcium was associated with increased electrical conductivity of the solid medium and the fungi had more function in the Culture medium with glucose of seven percent. All fungi were able to release calcium, but overall, as seen in the electrical conductivity study, calcium was a solution in higher glucose and inoculated with *Acromonium*, *alternaria*, *Curvolaria*, *Aspergillus*, and *Fusarium*, which increased over time. The findings of this study showed that endogenous fungi isolated from plants can be used to reduce the damage of phosphorus deficiency and also to improve calcium for the plant in agricultural soils.

Keywords: Phosphate rock, filamentous fungi, calcium dissolution

تأثیر قارچ های میکوریزی بر افزایش صفات رشدی پایه های متداول بادام در شرایط تنش کم آبی

محمود محمدی[۱] ، مجید فرزان[۲]

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران Email: m.mohamadi@areeo.ac.ir

۲- کارشناس بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران: Email: mj.farzan@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش اثر قارچ‌های میکوریزی بر صفات رشدی و مقاومت به تنش کم آبی در پایه‌های متداول بادام در آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای این تحقیق شامل فاکتور اول، قارچ میکوریز در دو سطح **M**: بدون مصرف و **M_1**: مصرف قارچ میکوریزی، فاکتور دوم پایه بادام در چهار سطح (GN، GF، محلی شوراب ۲ و تلخ) و فاکتور سوم تنش کم آبی در چهار سطح (I_1: بدون تنش، I_2: ۲۰ درصد، I_3: ۴۰ درصد و I_4: ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه بودند. نتایج نشان داد بین چهار پایه مورد آزمایش اختلاف معنی داری بین صفات مورد بررسی وجود داشت. حداکثر مقادیر صفات از پایه GF حاصل شد. تیمار تنش کم آبی منجر به تفاوت معنی‌دار در صفات مورد بررسی شد. با افزایش تنش کم آبی از تیمار (I1) به تیمار (I4)، وزن خشک ریشه کاهش یافت. تلقیح قارچ‌های میکوریزی باعث افزایش ۲۷ درصدی وزن خشک ریشه شد. بیشترین میزان رشد طولی درخت، رشد قطری ساقه، وزن خشک اندام هوایی از تیمار GF+I1 بدست آمد. بر اساس نتایج این پژوهش با تلقیح قارچ‌های میکوریزی، صفات رشدی افزایش و اثرات منفی تنش کم آبی کاهش یافتند.

واژگان کلیدی: بادام، کم‌آبی، رشد رویشی، وزن خشک

مقدمه:

بسیاری از خصوصیات آناتومیکی، فیزیولوژیکی، آنزیمی، تغذیه‌ای و عملکرد کمی و کیفی بادام تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرند (فلکساس و همکاران، ۲۰۰۹). علاوه بر سیستمهای حفاظتی ذاتی گیاهان در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی، تعدادی از ریز جانداران در خاک وجود دارند که برآیند اثرات متقابلشان با محیط خاک و ریشه موجب افزایش جذب عناصر غذائی، افزایش عملکرد، تعدیل اثرات نامطلوب انواع تنش‌ها و بهبود ویژگی‌های خاک می‌گردند. از جمله این ریز جانداران قارچ میکوریزا و همزیستی این قارچ‌های خاکزی با ریشه گیاهان است (اسمیت و رد، ۲۰۰۸). همزیستی میکوریزی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش تبادلات گازی برگ و میزان فتوسنتز، تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، اصلاح محیط ریزوسفر، بهبود ساختار خاک از طریق تشکیل خاکدانه‌های پایدار، گسترش ریسه‌های خارجی و تغییر مورفولوژی ریشه، باعث افزایش سطح و توان جذب ریشه شده که به گیاه میزبان کمک می‌کند تا میزان آب و مواد غذایی بیشتری از خاک جذب نماید (اسمیت و رد، ۲۰۰۸؛ یان و همکاران، ۲۰۱۶ ؛ مردحیاح و همکاران، ۲۰۱۶). باقری و همکاران (۱۳۹۰) گزارش نمودند قارچ میکوریز باعث افزایش رشد رویشی و بهبود روابط آبی دو رقم پایه‌ای پسته در شرایط خشکی می‌شود. زارعی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش نمودند در شرایط تنش کم آبی، رابطه همزیستی میکوریزی در مرکبات با پایه رافلمون درصد کلنیزاسیون ریشه، عملکرد ماده خشک ریشه و اندام هوایی، شاخص کلروفیل، وزن خشک گیاه و

پتانسیل آب برگ گیاه را افزایش و رشد گیاه را بهبود بخشید. برای اولین بار رلدان و همکاران(۱۹۸۲) امکان برقراری همزیستی درختان بادام وحشی را با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نشان دادند وگزارش نمودند، گونه *Funneliformiss mosseae* قادر است حداکثر ۵۳ درصد و گونه بومی خاکهای اسپانیا حداکثر۶۱ درصد ریشه درخت بادام وحشی را کلنیزه نماید اما کالوت و همکاران (۱۹۹۵) گزارش نمودند درخت دو رگه هلو و بادام تا ۹۰ درصد توسط گونه‌های قارچی*Clariodeoglumus etunicatum*، *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformiss mosseae* کلنیزه می‌شود. آقابابائی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش نمودند تلقیح نهال‌های بادام توسط قارچهای میکوریزا، شاخص‌های رشد گیاه، سطح برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، طول ریشه، وزن تر و خشک و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه بادام شامل غلظت کلروفیل کل برگ، سرعت فتوسنتز خالص و بازده آب مصرفی در تیمارهای میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد غیر میکوریزی افزایش، ولی سرعت تبخیر و تعرق از سطح برگ گیاه کاهش یافت. تحقیقات زیادی در خصوص تلقیح قارچ‌های میکوریزی با گیاهان زراعی و علفی انجام شده است، اما در تحقیقات اندکی به بررسی تلقیح درختان با این قارچها پرداخته شده است. نهال‌های بادام در مقایسه با درخت آن حساس تر و ضعیف تر بوده و به بیماریها و آفات حساس ترند اما به دلیل دارا بودن ریشه های ترد و شکننده، پتانسیل لازم برای ایجاد همزیستی با قارچهای اندو میکوریز را دارند. از این رو قارچهای میکوریزی می‌توانند به استقرار بهتر آنها در محیط‌های جدید منجر شوند. با توجه به اهمیت استراتژیک بادام و نقش‌های مفید قارچهای میکوریز آربسکولار در همزیستی با گیاهان، ازجمله درخت بادام این پژوهش با هدف بررسی تأثیر استفاده از قارچهای میکوریزی بر خصوصیات رشدی و میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی بر روی چهار پایه بادام مرسوم در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌ها کامل تصادفی در سه تکرار و سه گیاه در هر واحد در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی شهرکرد انجام شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از فاکتور اول، قارچ میکوریزا در دو سطح شامل $\mathbf{M_0}$: بدون مصرف قارچ میکوریزی به‌عنوان شاهد و $\mathbf{M_1}$: مصرف قارچ میکوریزی، فاکتور دوم پایه بادام در چهار سطح (GN، GF، محلی شوراب ۲ و تلخ) و فاکتور سوم تنش کم آبی در چهار سطح (I_1: بدون تنش به‌عنوان شاهد، I_2: تنش ۲۰ درصد، I_3: تنش ۴۰ درصد و I_4: تنش ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه). تلقیح قارچ میکوریزی به میزان۱۰۰ گرم از مخلوط سه گونه قارچ میکوریزایی*Clariodeoglumus etunicatum*، *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformiss mosseae* برای هر پایه در زیر ریشه قرار داده شد. قارچ‌های میکوریزی از بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. بعد از مرحله استقرار، گلدان‌ها به فضای باز انتقال داده شده و تیمارهای تنش آبی اعمال شدند. افزایش آب به گلدان‌ها ازطریق اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت سنج TDR[1] و جبران آب کاهش یافته در هر یک از سطوح رطوبتی فوق انجام شد. جهت تعیین مقدار آب مورد نیاز تیمارهای تنش، ابتدا میزان رطوبت خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحه فشاری تعیین شد و با اندازه گیری رطوبت حجمی خاک در عمق توسعه ریشه با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج و با استفاده از فرمول عمق آب آبیاری محاسبه و به گلدان‌ها اضافه شد. در این مرحله پس از محاسبه میزان رطوبت در تیمارهای تنش آبیاری و محاسبه میزان آب در هر تیمار، روزانه رطوبت خاک در گلدان‌ها اندازه گیری و به محض رسیدن رطوبت گلدان به نقطه رطوبتی مورد نظر آبیاری گلدان‌ها انجام شد. گیاهان به مدت شش هفته تحت تنش قرار داده شدند و خصوصیات رشدی پایه های بادام شامل صفات قطر ساقه و ارتفاع نهال درقبل و در انتهای تیمارهای تنش آبی با استفاده از کولیس دیجیتالی، خط‌کش و متر اندازه‌گیری شدند. در انتهای

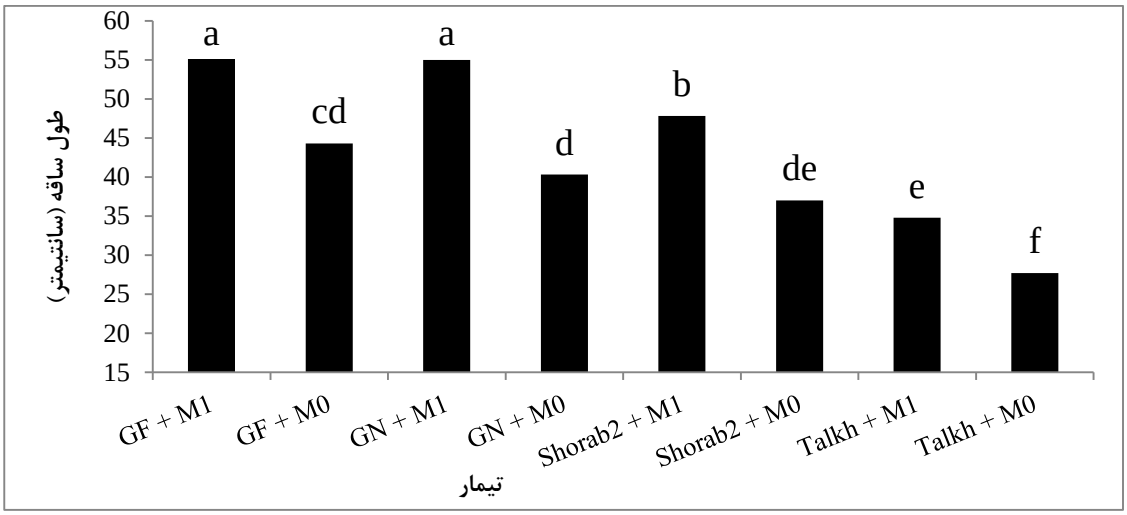
[1] Time Domain Reflectometry (TDR)

آزمایش پایه‌ها را به طور کامل از خاک خارج نموده و ریشه را از ساقه از محل طوقه جدا نموده و و در ادامه وزن خشک ریشه با گذاشتن ریشه‌ها داخل پاکت و درون آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت اندازگیری شد. در پایان داده ها توسط نرم افزار SAS 9.2 تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

طول ساقه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر پایه، سطوح تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر افزایش طول ساقه معنی‌دار شد. بیشترین میزان افزایش طول ساقه از پایه GF حاصل شد. با افزایش تنش کم آبی افزایش طول ساقه کاهش یافت به گونه‌ای‌که تیمار I_1 نسبت به تیمار I_4، ۲۸/۵ درصد افزایش نشان داد. صرف نظر از نوع پایه و سطح تنش کم‌آبی با مصرف قارچ های میکوریزی افزایش ۳۰ درصدی طول ساقه پایه ها مشاهده شد (جدول ۱). از بین اثرات متقابل تنها اثر متقابل پایه در قارچ میکوریز معنی دار شد. مطابق شکل شماره یک حداکثر میزان طول ساقه به میزان ۵۵/۱۰ سانتیمتر از تیمار ترکیبی (GF+M1) بدست آمد که نسبت به تیمار حداقل (M0 + تلخ)، افزایش ۵۰ درصد داشت.



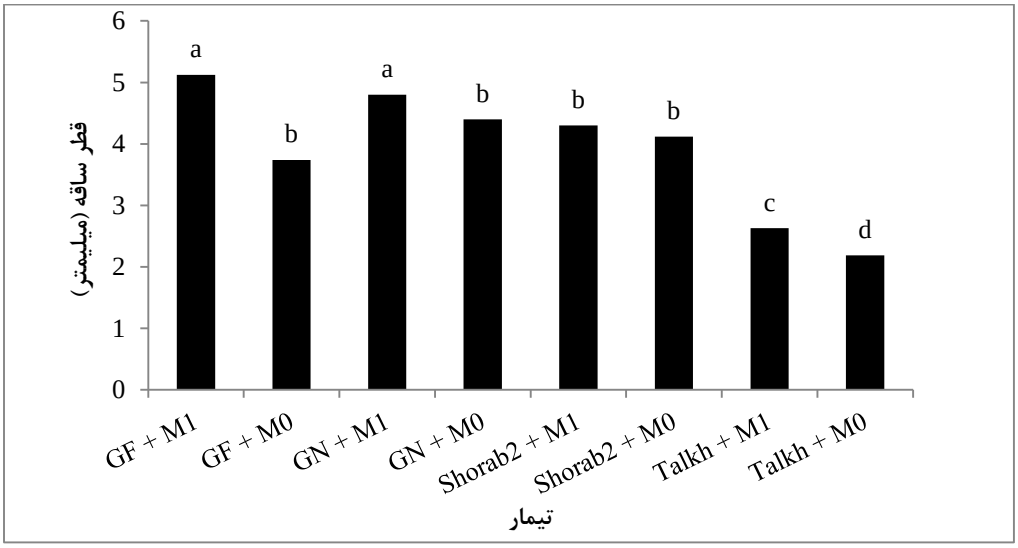
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و قارچ میکوریز بر طول ساقه

قطر ساقه

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر رشد قطری ساقه معنی‌دار شد. بیشترین میزان افزایش قطر ساقه از پایه GF به میزان ۴/۶ میلیمتر بدست آمد که در مقایسه با پایه تلخ افزایش ۹۲ درصدی داشت (جدول ۱). با افزایش تنش کم آبی میزان قطر ساقه کاهش یافت به گونه‌ای‌که حداکثر افزایش قطر ساقه از تیمار I1 به میزان ۴/۴۵ میلی‌متر حاصل شد که نسبت به تیمار (I4)، ۲۷ درصد افزایش نشان داد. مصرف قارچ های میکوریزی در مقایسه با عدم مصرف باعث افزایش ۱۷ درصدی قطر ساقه شدند (جدول ۱). از بین اثرات متقابل تنها اثر متقابل پایه در قارچ میکوریز معنی دار شد. مطابق شکل شماره دو حداکثر افزایش قطر ساقه به میزان ۵/۱۱ میلمتر از تیمار (GF+M1) بدست آمد که نسبت به تیمار حداقل (Talkh + M0)، ۱۳۴ درصد افزایش نشان داد. این نتایج با نتایج تحقیقات زارعی و همکاران (۱۳۹۲) و حقیقت‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. از دلایل افزایش قطر ساقه پتانسیل رشدی بالاتر پایه GF و تأثیرپذیری بیشتر آن به مصرف قارچ‌های میکوریزی می‌باشد.

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات تأثیر پایه، سطوح کم آبی و قارچ میکوریزا بر صفات رویشی پایه های مورد بررسی

رقم	طول درخت	قطر ساقه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
	سانتیمتر	میلیمتر	گرم	گرم
GF	۴۹/۶a	۴/۶۰a	۶۶/۲a	۱۸/۵a
GN	۴۷/۶a	۴/۴۲a	۶۱/۴b	۱۷/۲b
Shorab2	۴۲/۳b	۴/۲۰a	۶۰/۶b	۱۷/۲b
Talkh	۳۱/۲c	۲/۴۰ b	۴۴/۱c	۱۳/۸c
I_1	۴۸a	۴/۴۵a	۶۱/۴a	۲۰/۱a
I_2	۴۴/۵b	۴/۰۵b	۵۸/۸b	۱۷/۴b
I_3	۴۰/۸c	۳/۶۴c	۵۷/۲c	۱۵/۷c
I_4	۳۷/۴d	۳/۴۷c	۵۵d	۱۳/۶d
M_0	۳۷/۲b	۳/۶۰b	۵۵/۲b	۱۴/۷b
M_1	۴۸/۲a	۴/۲۰a	۶۱a	۱۸/۷a



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل پایه و قارچ میکوریز بر افزایش قطر ساقه

وزن خشک اندام هوایی

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد اثر اصلی پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریزا بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار شد. بیشترین میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی در طول مدت این آزمایش از پایه GF به میزان ۶۶/۲ گرم حاصل شد که نسبت به پایه تلخ ۵۳ درصد افزایش را نشان داد. پایه محلی شوراب ۲ و GN اختلاف معنی داری با هم نداشتند. با افزایش تنش کم آبی میزان افزایش وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت به گونه‌ایکه تیمار بدون تنش (تیمار I1) نسبت به تیمار

حداکثر تنش (تیمار I4)، ۱۲ درصد اختلاف وجود داشت. مصرف قارچ های میکوریزی باعث افزایش ۱۱ درصدی وزن خشک اندام هوایی شد (جدول ۱). از بین اثرات متقابل تنها اثر متقابل پایه در قارچ میکوریز بر روی این صفت معنی دار شد. حداکثر میزان وزن خشک اندام هوایی به میزان ۷۱ گرم از تیمار ترکیبی (GF+M1) بدست آمد که نسبت به تیمار حداقل (M0 +تلخ)، ۶۶ درصد افزایش را نشان داد. این نتایج با نتایج باقری و همکاران (۱۳۹۰)، آقابابایی و همکاران (۱۳۹۰)، زارعی و همکاران (۱۳۹۲)، کالوت و همکارن، (۲۰۰۴) و لی و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد. افزایش و گسترش رشد سیستم ریشه‌ای و دسترسی به منافذ و حجم بیشتر خاک و جذب آب و مواد غذایی بیشتر می‌تواند از دلایل افزایش بیشتر وزن ماده خشک اندام هوایی در پایه GF باشد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهدکه ریشه گیاه در تیمار تلقیح با قارچ میکوریز در مقایسه با تیمار بدون تلقیح ریشه گیاه توانایی بیشتری در دسترسی به آب و مواد غذایی موجود در خلل و فرج بسیار ریز خاک و حجم بیشتری از خاک دارد. همچنین در شرایط اعمال تنش کم آبی موجب افزایش جذب آب موجود در خاک شده و با بهبود شرایط رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی مفید برای گیاه باعث افزایش تولید ماده خشک بیشتری شده است (گلارتا و رئیسی، ۲۰۰۷).

وزن خشک ریشه

الگوی اثر تیمارها بروزن خشک ریشه، تقریبا مشابه با وزن خشک اندام هوایی بود. در بین پایه های مورد بررسی بیشترین میزان وزن خشک ریشه از پایه GF بدست آمد. با افزایش تنش خشکی از تیمار I1 به تیمار I4 روند کاهش در میزان وزن خشک ریشه مشاهده شد. تلقیح پایه های بادام با قارچ، وزن خشک ریشه ها را در مقایسه با تیمار شاهد (بدون تلقیح) ۲۷ درصد افزایش داد. تنش خشکی منجر به کاهش فتوسنتز و کاهش رشد گیاه شده و متعاقب آن کاهش ماده خشک می‌شود. کاهش در وزن خشک ریشه تحت تنش کم آبی ناشی از کاهش تجمع کربوهیدرات‌های ریشه می‌باشد. از این‌رو گیاهان با مقادیر بالاتر وزن خشک در شرایط تنش خشکی به عنوان ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی معرفی می‌گردند (شائو و همکاران، ۲۰۰۸). افزایش رشد و گسترش ریشه از عوامل افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش خشکی می‌باشد که این مهم با استفاده از قارچ‌های میکوریزی افزایش می‌یابد. قارچ میکوریزی با بهبود وضعیت تغذیه‌ای و روابط آبی و تغییر در سطح ترکیبات هورمونی گیاه باعث تغییر و افزایش انشعابات و حجم ریشه گیاه شده و می‌توانند از این طریق باعث افزایش عملکرد مادهٔ خشک ریشه شود. پتانسل افزایش رشد و گسترش ریشه در پایه GF نسبت به دیگر پایه‌ها بیشتر است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش تنش کم آبی، رشد و صفات رشدی کاهش یافت. تأثیرپذیری پایه GF نسبت به تلقیح قارچ‌های میکوریزی به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای انبوه و با سرعت رشد بالا بیشتر بود و از صفات رشدی بالاتری برخوردار بود. تلقیح قارچ‌های میکوریز آربسکولار می‌تواند از طریق مکانیسم‌هایی از قبیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه، طول ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی، تولید پروتون، ترشح اسیدهای آلی، سیدروفورها، ترکیبات کلات‌کننده، فسفاتآز اسیدی منجر به افزایش رشد و صفات رشدی ریشه در شرایط طبیعی شود. افزایش همزیستی ایجاد شده ناشی از کاربرد قارچ‌های میکوریزی باعث افزایش صفات رشدی و بهبود مقاومت پایه‌های بادام به تنش کم آبی در این پژوهش شد.

فهرست منابع

۱. آقابابائی، ف.، رئیسی، ف.، و نادیان، ح. (۱۳۹۰). اثر همزیستی میکوریزایی بر میزان کلروفیل، فتوسنتز و راندمان مصرف آب در چهار ژنوتیپ بادام در استان چهارمحال و بختیاری. ۵۶: ۱۰۱-۹۱.

۲. باقری، و.، شمشیری، م.ح.، شیرانی، ح.، و روستا، ح. (۱۳۹۰). اثر قارچ میکوریزآربسکولار و تنش خشکی بر رشد، روابط آبی، تجمع پرولین و قندهای محلول در نهال‌های دو رقم پایه‌ای پسته اهلی (Pistacia vera L.). مجله علوم باغبانی ایران، ۴۲(۴): ۳۷۷-۳۶۵.

۳. زارعی، م.، پیمانه، ز.، رونقی، ع .ا.، کامکار حقیقی، ع.ا.، و شهسوار، ع. ر. (۱۳۹۲).اثر قارچ مایکوریز آربوسکولاربررشد و پارامتر های فیزیولوژیک پایه رافلمون در شرایط تنش کم آبی. نشریه آب و خاک) علوم و صنایع کشاورزی (۳ :۴۸۵-۴۹

4. Calvet, C., Estan, V., Camprub, A., Hernandez-Dorrego, A. Pinochet, J., and Moreno, M.A. (2004). Aptitude for mycorrhizal root colonization in Prunus rootstocks. Scientia Horticulturae, 100:39–49.
5. Haghighatnia H., Nadian, H.A., and Rejali, F. (2011). Effects of mycorrhizal colonization on growth, nutrients uptake and some other characteristics of Citrus volkameriana rootstock under drought stress. World Applied Sciences Journal, 13 (5):1077-1084.
6. Lee, B. R., Muneer, S. J. Avice, C., Jung, W. J. and Kim, T. H. (2012). Mycorrhizal colonisation and P-supplement effects on N uptake and N assimilation in perennial ryegrass under well-watered and drought-stressed conditions. Mycorrhiza. 22(7): 525-534.
7. Mardhiah, U., Caruso, T., Gurnell, A., and Rillig, M. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment. Applied Soil Ecology, 99:137–140.
8. Roldan-Fagardo, B.E., Barea, J. M., Ocampo, J. A. and Azcon-Aguilar, C. (1982). The effect of season on VA mycorrhiza of the almond tree and of phosphate fertilization and species of endophyte on its mycorrhizal dependency. Plant and Soil, 68:361–367.
9. Smith, S. E., and Read, D. J. (2008). Mycorrhizal symbiosis, third ed. Academic Press, London. UK.
10. Yin, N., Zhang, Z., Wang, L., and Qian, K. (2016). Variations in organic carbon, aggregation, and enzyme activities of gangue-fly ash-reconstructed soils with sludge andarbuscular mycorrhizal fungi during 6-year reclamation. Environmental Science andPollution Research 23(17): 17840–17849.

The effect of mychorhizae fungi on growth properties increase of common Almond rootstock in water deficit stress condition

M. Mohammadi[1], M. Farzan[2]

1- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Shahrekord, Iran; Email: m.mohamadi@areeo.ac.ir

2-Researcher in Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Shahrekord, Iran ; Email: mj.farzan@yahoo.com

Abstract

The effect of mycorrhizal fungus on growth characteristics and resistance to water deficit stress in current almond (*Prunus amygdalus)* rootstock a factorial experiment was conducted as a completely randomized design in three replications in this research. The treatments consist of two level of mycorrhizal fungus (M_0: without and M_1 with using of of mycorrhizal fungus), four kinds of rootstock (bitter, local Shorab 2, GF and GN) and four levels of water deficit stress (without stress as a control, slight, moderate and severe water stress which based on ratio of depletion of plant available water). The results revealed that the significant effect exist between studied parameters in four rootstocks of rootstock. The maximum amount of these parmeters was obtained from GF rootstock. Water deficit stress treatment was significant on studied parameters. With increasing water deficit t stress from I_1 to I_4 treatment the decreasing trend of root dry weight was observed. Using of mycorrhizae fungi caused to increase 27 percent of root dry weight. The maximum amounts of stem length, diameter and plant dry weight were obtained from GF +I1 treatment. Therefore based on these experiment results the use of mycorrhizal fungus caused to increase growth properties and decreasing harmful effect of water stress.

Key words: Almond (*Prunus amygdalus)*, Drought strerss, Dry weight, Vegetative growth

تأثیر قارچ های میکوریزی بر کلونیزاسیون ریشه وشاخص کلروفیل پایه های متداول بادام در شرایط تنش کم آبی

محمود محمدی[۱]، بیژن حقیقتی[۲]

۱ - استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران ;Email: m.mohamadi@areeo.ac.ir

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران ;Email: bhaghighati@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش اثر قارچ‌های میکوریزی بر میزان کلونیزاسیون و شاخص کلروفیل در پایه‌های متداول بادام در آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفت. فاکتورهای این تحقیق شامل فاکتور اول، قارچ میکوریز در دو سطح **M_0** بدون مصرف و **M_1**: مصرف قارچ میکوریزی، فاکتور دوم پایه بادام در چهار سطح (GN، GF، محلی شوراب ۲ و تلخ) و فاکتور سوم تنش کم آبی در چهار سطح (I_1: بدون تنش، I_2: ۲۰ درصد، I_3: ۴۰ درصد و I_4: ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه بودند. نتایج نشان داد بین چهار پایه مورد آزمایش اختلاف معنی داری بین صفات مورد بررسی وجود داشت. حداکثر مقادیر صفات از پایه GF حاصل شد. تیمار تنش کم آبی منجر به تفاوت معنی‌دار در صفات مورد بررسی شد. با افزایش تنش کم آبی از تیمار (I1) به تیمار (I4)، میزان کلونیزاسیون ریشه، شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل کاهش یافتند. تلقیح قارچ‌های میکوریزی باعث افزایش ۴۰ درصدی کلونیزاسیون ریشه شد. حداکثر میزان کلنیزاسیون ریشه از تیمار ترکیبی M_1 +I1 بدست آمد. بر اساس نتایج این پژوهش با تلقیح قارچ‌های میکوریزی، صفات مورد بررسی افزایش و اثرات منفی تنش کم آبی کاهش یافتند.

واژگان کلیدی: بادام، کم‌آبی، کلروفیل، کلونیزاسیون

مقدمه:

علاوه بر سیستمهای حفاظتی ذاتی گیاهان در مقابل تنش‌های زیستی و غیر زیستی، تعدادی از ریز جانداران در خاک وجود دارند که برآیند اثرات متقابلشان با محیط خاک و ریشه موجب افزایش جذب عناصر غذائی، افزایش عملکرد، تعدیل اثرات نامطلوب انواع تنش‌ها و بهبود ویژگی‌های خاک می‌گردند. از جمله این ریز جانداران قارچ میکوریزا و همزیستی این قارچ-های خاکزی با ریشه گیاهان است (اسمیت و رد، ۲۰۰۸). همزیستی میکوریزی از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، افزایش تبادلات گازی برگ و میزان فتوسنتز، تولید آنزیم‌های آنتی اکسیدانی، اصلاح محیط ریزوسفر، بهبود ساختار خاک از طریق تشکیل خاکدانه‌های پایدار، گسترش ریسه‌های خارجی و تغییر مورفولوژی ریشه، باعث افزایش سطح و توان جذب ریشه شده که به گیاه میزبان کمک می‌کند تا میزان آب و مواد غذایی بیشتری از خاک جذب نماید (اسمیت و رد، ۲۰۰۸؛ یان و همکاران، ۲۰۱۶ ؛ مردحیاح و همکاران، ۲۰۱۶). قارچ‌های میکوریزی در گیاهانی که دارای ریشه‌های فرعی کم انشعاب هستند از کارآیی بیشتری برخوردار هستند (برندرت و همکاران، ۱۹۹۶). مطالعاتی که در زمینه کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی به وسیله میکروارگانیسمها صورت گرفته، بیانگر بهبود تبادلات گازی و روابط آبی گیاهان تلقیح شده با آنها نسبت به گیاهان تلقیح نشده است. تغییرات ناشی از تلقیح دو گونه قارچ گلوموس در رشد گیاه و مورفولوژی سیستم

ریشه در *Prunus cerasifera* توسط برتا و همکاران (۱۹۹۵) مورد بررسی قرار گرفت و گزارش گردید کلنیزاسیون ریشه توسط قارچ میکوریز آربسکولار منجر به افزایش وزن ریشه، ساقه، برگ، سطح برگ، طول ریشه و سطح مخصوص برگ می‌شود. زارعی و همکاران (۱۳۹۲) گزارش نمودند در شرایط تنش کم آبی، رابطه همزیستی میکوریزی در مرکبات با پایه رافلمون درصد کلنیزاسیون ریشه، عملکرد ماده خشک ریشه و اندام هوایی، شاخص کلروفیل، وزن خشک گیاه و پتانسیل آب برگ گیاه را افزایش و رشد گیاه را بهبود بخشید. برای اولین بار رلدان و همکاران(۱۹۸۲) امکان برقراری همزیستی درختان بادام وحشی را با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نشان دادند و گزارش نمودند، گونه *Funneliformiss mosseae* قادر است حداکثر ۵۳ درصد و گونه بومی خاکهای اسپانیا حداکثر ۶۱ درصد ریشه درخت بادام وحشی را کلنیزه نماید اما کالوت و همکاران (۱۹۹۵) گزارش نمودند درخت دو رگه هلو و بادام تا ۹۰ درصد توسط گونه‌های قارچی *Clariodeoglumus etunicatum*، *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformiss mosseae* کلنیزه می‌شود. آقابابائی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش نمودند تلقیح نهال‌های بادام توسط قارچهای میکوریزا، شاخص‌های رشد گیاه، سطح برگ، ارتفاع گیاه، قطر ساقه، طول ریشه، وزن تر و خشک و شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه بادام شامل غلظت کلروفیل کل برگ، سرعت فتوسنتز خالص و بازده آب مصرفی در تیمارهای میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد غیر میکوریزی افزایش، ولی سرعت تبخیر و تعرق از سطح برگ گیاه کاهش یافت. نهال‌های بادام در مقایسه با درخت آن حساس تر و ضعیف تر بوده و به بیماریها و آفات حساس ترند اما به دلیل دارا بودن ریشه های ترد و شکننده، پتانسیل لازم برای ایجاد همزیستی با قارچهای اندو میکوریز را دارند. از این رو قارچ‌های میکوریزی می‌توانند به استقرار بهتر آنها در محیط‌های جدید منجر شوند. با توجه به اهمیت استراتژیک بادام و نقش‌های مفید قارچ‌های میکوریز آربسکولار در همزیستی با گیاهان، ازجمله درخت بادام این پژوهش با هدف بررسی تأثیر استفاده از قارچ‌های میکوریزی بر کلونیزاسیون ریشه و میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی بر روی چهار پایه بادام مرسوم در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک‌ها کامل تصادفی در سه تکرار و سه گیاه در هر واحد در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی شهرکرد انجام شد. فاکتورهای آزمایشی عبارت بودند از فاکتور اول، قارچ میکوریزا در دو سطح شامل **M_0**: بدون مصرف قارچ میکوریزی به‌عنوان شاهد و **M_1**: مصرف قارچ میکوریزی، فاکتور دوم پایه بادام در چهار سطح (GN، GF، محلی شوراب ۲ و تلخ) و فاکتور سوم تنش کم آبی در چهار سطح (I_1: بدون تنش به‌عنوان شاهد، I_2: تنش ۲۰ درصد، I_3: تنش ۴۰ درصد و I_4: تنش ۶۰ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده گیاه). تلقیح قارچ میکوریزی به میزان۱۰۰ گرم از مخلوط سه گونه قارچ میکوریزایی*Clariodeoglumus etunicatum*، *Rhizophagus intraradices* و *Funneliformiss mosseae* برای هر پایه در زیر ریشه قرار داده شد. قارچ‌های میکوریزی از بخش بیولوژی خاک موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شد. بعد از مرحله استقرار، گلدان‌ها به فضای باز انتقال داده شده و تیمارهای تنش آبی اعمال شدند. افزایش آب به گلدان‌ها ازطریق اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه رطوبت سنج TDR[1] و جبران آب کاهش یافته در هر یک از سطوح رطوبتی فوق انجام شد. جهت تعیین مقدار آب مورد نیاز تیمارهای تنش، ابتدا میزان رطوبت خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه صفحه فشاری تعیین شد و با اندازه گیری رطوبت حجمی خاک در عمق توسعه ریشه با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج و با استفاده از فرمول عمق آب آبیاری محاسبه و به گلدان‌ها اضافه شد. در این مرحله پس از محاسبه میزان رطوبت در تیمارهای تنش آبیاری و محاسبه میزان آب در هر

[1] Time Domain Reflectometry (TDR)

تیمار، روزانه رطوبت خاک در گلدان‌ها اندازه گیری و به محض رسیدن رطوبت گلدان به نقطه رطوبتی مورد نظر آبیاری گلدان‌ها انجام شد.

گیاهان به مدت شش هفته تحت تنش قرار داده شدند. شاخص کلروفیل برگی با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج اندازه-گیری شد. همچنین غلظت کلروفیل a، b و کل پس از عصاره‌گیری و سانتریفیوژ، به روش طیف سنجی (اسپکتروفتومتری) قرائت و نهایتاً برحسب میلی‌گرم درگرم برگ تر برآورد گردید (ولبرن، ۱۹۹۴). درصد کلنیزاسیون ریشه به روش تقاطع خطوط شبکه [۲] اندازه‌گیری شد(کورمانیک و مک‌گراو، ۱۹۸۲). در پایان داده ها توسط نرم افزار SAS 9.2 تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین ها به روش آزمون چند دامنه ای دانکن انجام شد.

شاخص کلروفیل، محتوای کلروفیل a، b و کل

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد، اثر پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریز بر شاخص کلروفیل، محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی‌دار شد. بیشترین میزان شاخص کلروفیل برگ، محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل از پایه GF حاصل شد(جدول ۱). در خصوص تیمارهای تنش آبی حداکثر شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل a، b و کل از تیمار I1 حاصل شد. با افزایش شدت تنش، شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل روند کاهشی را نشان می‌دهند. با مصرف قارچ میکوریز این پارامترها افزایش یافتند (جدول ۱). از بین اثرات متقابل تیمارهای مورد بررسی تنها اثر متقابل پایه در تنش کم آبی بر شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل a و b معنی‌دارشد.. حداکثر شاخص کلروفیل، محتوی کلروفیل a و b از تیمار GF+I1 و حداقل از تیمار (I4 +تلخ) بدست آمد. غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی به عنوان نشانگری مهم در

جدول ۱- مقایسه میانگین صفات تأثیر پایه، سطوح کم آبی و قارچ میکوریزا بر صفات رویشی پایه های مورد بررسی

رقم	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کلنیزاسیون ریشه
	میلی‌گرم بر گرم برگ تازه			درصد
GF	۱/۴۰a	۰/۴۷a	۱/۸۷a	۶۲a
GN	۱/۳۴b	۰/۴۲b	۱/ ۷۷b	۵۶/۲b
Shorab2	۱/۳۴b	۰/۳۶c	۱/۷۱b	۳۸/۶c
Talkh	۱/۱c	۰/۳۵c	۱/۴۵ c	۴۱c
I_1	۱/۴۶a	۰/ ۴۵a	۱/۹۱a	۶۱/۷a
I_2	۱/۳۴b	۰/۴۲b	۱/ ۷۶b	۵۳/۶b
I_3	۱/۲۶c	۰/۴۰c	۱/ ۶۵c	۴۶/۲c
I_4	۱/۱۲d	۰/۳۶d	۱/۴۸d	۳۶/۲d
M_0	۱/۲۲b	۰/ ۳۸b	۱/ ۶۱b	۴۱/۲b
M_1	۱/۳۷a	۰/۴۲a	۱/۷۹a	۵۷/۷a

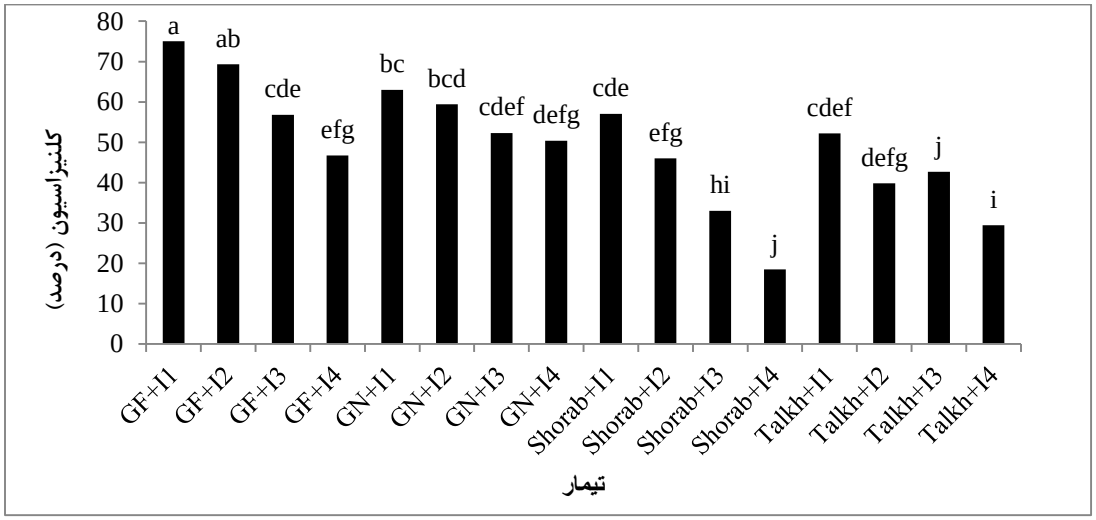
ارزیابی میزان تحمل به تنش خشکی می‌باشند (سرخه و همکاران، ۲۰۱۲).کاهش میزان آب در برگ نه تنها از ساخته شدن کلروفیل جلوگیری می‌کند بلکه منجر به تجزیه رنگیزه‌های برگ نیز می‌شود. افزایش شاخص کلروفیل و محتوای کلروفیل با مصرف میکوریز با نتایج تحقیقات آقابابائی و رئیسی، ۱۳۹۰ و زارعی و همکاران، ۱۳۹۲مطابقت دارد. مقدار کلروفیل گیاه به ویژگی‌های ژنتیکی و ذاتی گیاه، شرایط تغذیه‌ای و محیطی بستگی دارد. از این رو هر چه شرایط تغذیه‌ای و محیطی، مانند عنصرهای غذایی، نور، رطوبت، کنترل آفات و بیماریها برای رشد گیاه مناسب‌تر باشد، توان گیاه در تولید کلروفیل بیشتر

[۲] Gridline intersection method

است. همزیستی میکوریزایی از عامل‌هایی است که سبب بهبود برخی از این شرایط شده و بر میزان کلروفیل اثر می‌گذارد. افزایش قرائت کلروفیل‌سنج در تیمار میکوریزی به علت نقش مفید و مؤثر قارچ‌های میکوریزی در افزایش جذب عناصر غذایی گیاه از جمله فسفر، نیتروژن، منیزیوم، روی و آهن می‌باشد. این عناصر در ساخت کلروفیل نقش کلیدی داشته و با افزایش غلظت این عناصر در گیاه سنتز کلروفیل افزایش پیدا می‌کند (مارشنر، ۱۹۹۴). دراین پژوهش پایه GF به‌دلیل داشتن پتانسل بالاتر در افزاش رشد ریشه و جذب عناصر غذایی از غلظت و شاخص کلروفیل بالاتری برخوردار بود.

کلنیزاسیون ریشه

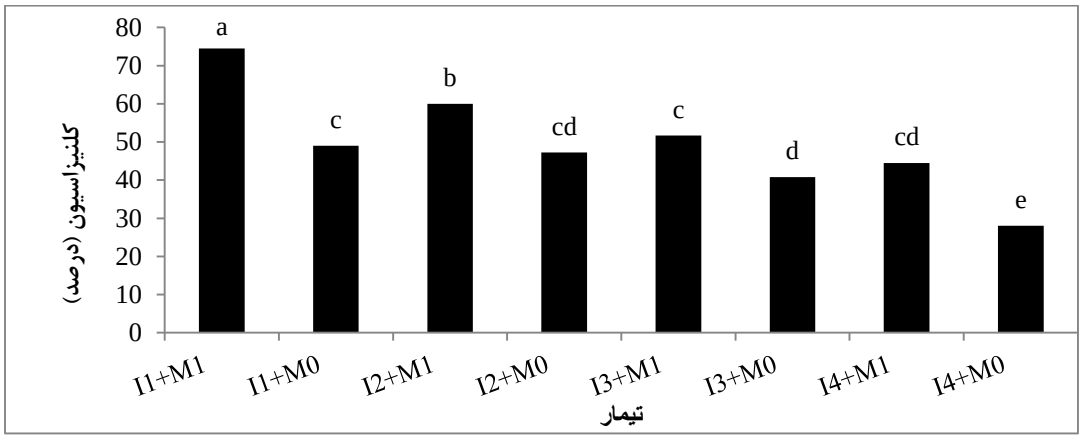
نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر اصلی پایه، تنش کم آبی و قارچ میکوریز و اثر متقابل پایه در تنش کم آبیاری آبیاری و تنش کم آبیاری در قارچ میکوریز بر کلنیزاسیون ریشه معنی‌دار شد (جدول ۱). در میان پایه‌ها حداکثر کلنیزاسیون ریشه به میزان ۶۲ درصد از پایه GF حاصل شد. بین پایه بادام تلخ و محلی شوراب ۲ اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. با افزایش شدت تنش خشکی کلنیزاسیون ریشه کاهش یافت. درصد کلنیزاسیون در تیمار I1 نسبت به تیمار I4، ۵۰ درصد افزایش داشت. تلقیح پایه های بادام با قارچ میکوریز منجر به افزایش ۴۰ درصدی کلنیزاسیون ریشه نسبت به شاهد شد. در خصوص اثر متقابل معنی‌دار تیمار پایه در سطوح تنش کم آبی، حداکثر میزان کلنیزاسیون ریشه از تیمارترکیبی GF+I1 به‌میزان ۷۵ درصد حاصل شده که نسبت به تیمار حداقل (Talkh + I4)، ۱۵۵ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴). از دلایل افزایش کلونیزاسیون ریشه در پایه GF می‌تواند به دلیل سیستم ریشه‌ای و سرعت رشد بیشتر آن باشد. سیستم ریشه‌ای پایه GF نسبت به پایه بادام تلخ از سرعت رشد و ظرفیت گسترش بیشتری برخوردار می‌باشد. در تمام



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی پایه در تنش کم آبی بردرصد کلنیزاسیون ریشه

پایه‌های مورد آزمایش درصد کلنیزاسیون ریشه با افزایش شدت تنش کم آبی کاهش یافت که با نتایج تحقیقات عزیزی و همکاران (۱۳۹۸) و رامبرگ و همکاران (۲۰۱۵) وو و گزیا (۲۰۰۶) مطابقت دارد. وو و گزیا (۲۰۰۶) گزارش نمودند تنش خشکی کلنیزاسیون ریشه مرکبات را کاهش می‌دهد. با کاهش رطوبت میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و این عامل بر روی کمیت و کیفیت ترشحات ریشه‌ای اثر گذاشته و بر روی جوانه‌زنی اسپور و گسترش هیف‌های میکوریزی نیز تأثیرگذار است.کاهش کلنیزاسیون تحت شرایط کمبود آب می‌تواند به علت مقاومت کم گیاه به تنش‌های غیر زیستی باشد (رامبرگ و همکاران، ۲۰۱۵). در خصوص اثر متقابل سطوح تنش و قارچ میکوریزا حداکثر درصد کلنیزاسیون ریشه از تیمار ترکیبی I1+M به میزان ۷۴/۵ درصد بدست آمد که نسبت به تیمار حداقل (تیمار I4 -M)، ۱۴۸ درصد افزایش نشان داد

(شکل ۵). این نتیجه با نتایج یافته‌های حقیقت‌نیا و همکاران (۲۰۱۱)، امیری و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد. میزان کمتر کلنیزاسیون قارچ‌های میکوریزی در شرایط تنش آبی می‌تواند ناشی از کاهش کربن در دسترس گیاه میزبان و کاهش جوانه‌زنی اسپور قارچی باشد (وو و همکاران، ۲۰۱۳). با افزایش کلنیزاسیون ریشه‌ای، سیستم ریشه‌ای گیاه میزبان توسعه یافته و در نتیجه سطح جذب ریشه‌ها به علت نفوذ هیف‌های قارچ در خاک و ایجاد پوشش میسلیومی در منطقه تارهای کشنده، افزایش یافته و ریشه به حجم بیشتری از خاک دسترسی پیدا کرده و کارآیی جذب آب و عناصر غذایی افزایش می-یابد. همچنین تولید از طریق تولید پروتون، ترشح اسیدهای آلی، سیدروفورها، ترکیبات کلات‌کننده و فسفات‌آز باعث ایجاد شرایط مناسب جهت آزادسازی و تأمین عناصر غذایی برای گیاه میزبان در شرایط کمبود فسفر و نیتروژن می‌گردد.



شکل۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای آزمایشی سطوح تنش آبی و میکوریزا برکلنیزاسیون ریشه

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش تنش کم آبی، میزان و شاخص کلروفیل و درصد کلنیزاسیون ریشه کاهش یافت. تأثیرپذیری پایه GF نسبت به تلقیح قارچ‌های میکوریزی به دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای انبوه و با سرعت رشد بالا بیشتر بود و از صفات رشدی بالاتری برخوردار بود. تلقیح قارچ‌های میکوریز آربسکولار می‌تواند از طریق مکانیسم‌هایی از قبیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه، طول ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی، تولید پروتون، ترشح اسیدهای آلی، سیدروفورها، ترکیبات کلات‌کننده، فسفات‌آز اسیدی منجر به افزایش کلنیزاسیون ریشه، جذب عناصر غذایی و شاخص کلروفیل در شرایط طبیعی شود. افزایش همزیستی ایجاد شده ناشی از کاربرد قارچ‌های میکوریزی باعث افزایش صفات مورد بررسی و بهبود مقاومت پایه‌های بادام به تنش کم آبی در این پژوهش شد.

فهرست منابع

۱. آقابابائی، ف.، رئیسی، ف.، و نادیان، ح. (۱۳۹۰). اثر همزیستی میکوریزایی بر میزان کلروفیل، فتوسنتز و راندمان مصرف آب در چهار ژنوتیپ بادام در استان چهارمحال و بختیاری. ۵۶: ۱۰۱-۹۱.

۲. زارعی، م.، پیمانه، ز.، رونقی، ع .ا.، کامکار حقیقی، ع.ا.، و شهسوار، ع. ر. (۱۳۹۲).اثر قارچ مایکوریز آربوسکولاربررشد و پارامتر های فیزیولوژیک پایه رافلمون در شرایط تنش کم آبی. نشریه آب و خاک) علوم و صنایع کشاورزی (۳ :۴۸۵-۴۹۶).

3. Berta, G., Trotta, A., Fusconi, A., Hooker, J., Munro, M., Atkinson, D., Giovannetti, M., and Morini, S. (1995). Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant growth and root system morphology. Tree Physiol. 15: 281-293.
4. Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T. and Malajczuk, N. (1996) .Working withmycorrhizas in forestry and agriculture. Australian centre for international agricultural research, Canberra. Pp 374.
5. Calvet, C., Estan, V., Camprub, A., Hernandez-Dorrego, A. Pinochet, J., and Moreno, M.A. (2004). Aptitude for mycorrhizal root colonization in Prunus rootstocks. Scientia Horticulturae, 100:39–49.
6. Haghighatnia H., Nadian, H.A., and Rejali, F. (2011). Effects of mycorrhizal colonization on growth, nutrients uptake and some other characteristics of Citrus volkameriana rootstock under drought stress. World Applied Sciences Journal, 13 (5):1077-1084.
7. Kormanik, P. P., and McGraw, A. C. (1982). Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. IN: Methods and principles of mycorrhizal research (N. C. Schenck, Ed.), pp. 37-47. The American
8. Mardhiah, U., Caruso, T., Gurnell, A., and Rillig, M. (2016). Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment. Applied Soil Ecology, 99:137–140.
9. Roldan-Fagardo, B.E., Barea, J. M., Ocampo, J. A. and Azcon-Aguilar, C. (1982). The effect of season on VA mycorrhiza of the almond tree and of phosphate fertilization and species of endophyte on its mycorrhizal dependency. Plant and Soil, 68:361–367.
10. Smith, S. E., and Read, D. J. (2008). Mycorrhizal symbiosis, third ed. Academic Press, London. UK.
11. Wellburn, A. R. 1994. The spectral determination of chlorophyll a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolutions. Journal of Plant Physiology, 144: 307-313.
12. Wu, Q.S. and Xia, R.X. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163(4):417–425.
13. Yin, N., Zhang, Z., Wang, L., and Qian, K. (2016). Variations in organic carbon, aggregation, and enzyme activities of gangue-fly ash-reconstructed soils with sludge andarbuscular mycorrhizal fungi during 6-year reclamation. Environmental Science andPollution Research 23(17): 17840–17849.

The effect of mychorhizae fungi on root colonization and chlorophyll index of common Almond rootstock in water deficit stress condition

M. Mohammadi[1], B. Haghighatii[2]

1- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Shahrekord, Iran; Email: m.mohamadi@areeo.ac.ir

2- Assistant Professor, , Soil and Water Research Department Department, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Shahrekord, Iran; Email: bhaghighati@yahoo.com

Abstract

The effect of mycorrhizal fungus on growth **root colonization and chlorophyll index** in current almond (*Prunus amygdalus)* rootstock a factorial experiment was conducted as a completely randomized design in three replications in this research. The treatments consist of two level of mycorrhizal fungus (M_0: without and M_1 with using of of mycorrhizal fungus), four kinds of rootstock (bitter, local Shorab 2, GF and GN) and four levels of water deficit stress (without stress as a control, slight, moderate and severe water stress which based on ratio of depletion of plant available water). The results revealed that the significant effect exist between studied parameters in four rootstocks. The maximum amount of these parmeters was obtained from GF rootstock. Water deficit stress treatment was significant on studied parameters. With increasing water deficit stress from I_1 to I_4 treatment the decreasing trend of root chlonization, chlorophyll indexChlorophyl a,b,and total chlorophyll was observed. Using of mycorrhizae fungi caused to increase 40 percent of root chlonization. The maximum amounts of root chlonizationwase obtained from I1+ **M_1** treatment. Therefore based on these experiment results the use of mycorrhizal fungus caused to increase studied parameters and decreasing harmful effect of water stress.

Key words: Almond (*Prunus amygdalus),* Drought strerss, Root colonization , Chlorophyll

نحوه کاربرد و استفاده از کودهای زیستی

هوشنگ خسروی[1]

[1] دانشیار پژوهش مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ hkhosravi@areeo.ac.ir

چکیده

موضوع امنیت و سلامت غذایی و افزایش مصرف محصولات ارگانیک باعث افزایش استفاده از کودهای زیستی در دهه‌های اخیر شده است. تاکنون روش مصرف و استاندارد جهانی واحد برای مصرف کودهای زیستی تدوین نشده است. کودهای زیستی عمدتا به شکل‌های پودری، مایع و گرانول تولید می‌شوند. روش عمده مصرف کودهای زیستی به صورت بذرمال بوده که برای محصولات زراعی، سبزیجات و گیاهان زینتی کاربرد دارد. روش دیگر، مصرف کود زیستی در خاک است که برای باغات مناسب‌تر است. غوطه‌ورسازی بذر، نشاء، قلمه یا نهال، روش دیگر مصرف کودهای زیستی است. اسپری کودهای زیستی بر روی برگ و اندام هوایی گیاه نیز برای برخی از کودها قابل استفاده است. در سیستم‌های آبیاری سطحی، قطره‌ای، بارانی و زیرزمینی مصرف کودهای زیستی به روش کود آبیاری نیز قابل کاربرد است.

کلمات کلیدی: بذرمال، ریزجانداران، مایه تلقیح.

مقدمه

مصرف کودهای شیمیایی یکی از راه‌های مرسوم برطرف کردن نیاز تغذیه‌ای محصولات کشاورزی بوده و از پرمصرف‌ترین نهاده‌های کشاورزی در تولید محصول می‌باشند. گرچه کودهای شیمیایی به آسانی و به سرعت عناصر مورد نیاز گیاه را تامین نموده و موجبات رشد آن را فراهم می‌کنند با اینحال، از پتانسیل آلوده‌سازی بالایی برخوردار بوده بطوریکه استفاده بی‌رویه و نامتعادل از کودهای شیمیایی موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش، آلودگی آب و خاک و در نهایت موجب مسمومیت گیاه، دام و انسان می‌شوند. بنابراین ارائه راهکارهای مبتنی بر توسعه پایدار و توجه به حفظ سلامت محیط زیست برای افزایش تولید محصولات کشاورزی موضوعی ضروری است. یکی از روش‌های افزایش تولید محصولات کشاورزی استفاده از پتانسیل ریزجانداران مفید خاکزی است. کودهای زیستی فرآورده‌هایی هستند که حاوی تعداد مناسبی از یک یا چند ریزجاندار مفید و یا متابولیت‌های حاصل از فعالیت آنها می‌باشند که قادرند رشد گیاه را افزایش داده و یا بخشی از نیازهای غذایی گیاه به یک و یا چند عنصر را تأمین و یا موجب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌هایی همانند شوری، خشکی، گرما، سرما و عوامل بیماری‌زای گیاهی شوند. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، کودهای زیستی را به عنوان یکی از منابع تأمین‌کننده عناصر غذایی گیاهان به رسمیت شناخته است. هر کود زیستی مرکب از یک یا چند ریزجاندار و یک حامل می‌باشد. حامل، وسیله‌ای است که ریزجاندار را از کارخانه به مزرعه به صورت زنده و در تعداد مناسب منتقل کند. مصرف صحیح کودهای زیستی موجب افزایش کارایی و اثربخشی آنها می‌شود. در این مقاله به طور اجمال به چگونگی و روش مصرف انواع رایج کودهای زیستی پرداخته می‌شود.

روش‌های مصرف کودهای زیستی

کودهای زیستی به اشکال مایع، پودری، گرانول، ژله‌ای و فریز-خشک تولید می‌شوند. کودهای زیستی به صورت آغشته کردن بذر، محلول‌پاشی، کودآبیاری، مصرف در خاک، غوطه‌ور کردن ریشه، نهال یا قلمه مصرف می‌شوند.

[1]- نویسنده مسئول، آدرس :کرج، مشکین دشت، بلوار امام خمینی، ص .پ. ۳۱۱-۳۱۷۸۵

کاربرد بر روی بذر

کاربرد بر روی بذر یا بذرمال کردن یکی از روش‌های مرسوم کاربرد کودهای زیستی است که از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌ها نیز می‌باشد. در کودهای زیستی با حامل جامد و پودری همانند پرلیت که چسبندگی آنها به سطح بذر کم است معمولا نیاز است که قبل از تلقیح، سطح بذر بوسیله مواد چسباننده مناسب همانند صمغ عربی[۲]، صمغ سلولز (CMC)[۳]، پلی وینیل پیرووِیدون (PVP)[۴]، روغن‌های گیاهی و محلول شکر آغشته شود. عمل تلقیح می‌تواند به روش دستی و در پلاستیک‌های خیاری یا سطل انجام شود. همچنین می‌توان از مخلوط کن‌های مختلف دستی و برقی استفاده نمود (شکل‌های ۱ و ۲). روش بذرمال برای انواع حبوبات، غلات، دانه‌های روغنی، گیاهان علوفه‌ای، گیاهان علفی و گیاهان زینتی کاربرد دارد.

شکل ۱- مخلوط کن‌های دستی و برقی- دستی

شکل ۲- نحوه اختلاط کود زیستی و بذر بوسیله مخلوط کن دستی

روش محلول‌پاشی

یکی دیگر از روش‌های مصرف کودهای زیستی محلول‌پاشی و اسپری آنها بر روی اندام هوایی بویژه برگ‌های گیاه است. در انواعی از کودهای زیستی، ممکن است باکتری توسط سانتریفیوژ، خالص شده و در یک محلول غذایی یا سرم فیزیولوژیک، سوسپانسیون شده و سپس بر روی گیاه اسپری شود. با اینحال عمده کودهای زیستی مورد استفاده برای محلول‌پاشی، فاقد سلول زنده ریزجانداران بوده و معمولا حاوی عصاره‌ای از اسیدهای آمینه، هورمون‌ها، عناصر غذایی و سایر متابولیت‌های حاصل از فعالیت ریزجانداران می-

2 - Arabic gum
3 - Carboxymethyl cellulose (CMC)
4 - Polyvinylpyrollidone

باشند. برای اینکار ابتدا مقدار آب مصرفی برای محلول‌پاشی مزرعه محاسبه و سپس اسپری برگی با استفاده از سم‌پاش انجام می‌شود. عملیات محلول‌پاشی بهتر است که در طی چند مرحله صورت گیرد. اسپری برگی با کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه معمولاً در دو تا سه مرحله قبل از گلدهی توصیه می‌شود. در روش اسپری برگی، به لحاظ اقتصادی می‌بایست کود مورد نظر رقیق شود. بر اساس جمعیت ریزجانداران مؤثر موجود در کود، رقیق‌سازی تا صد مرتبه مجاز است. اسپری برگی بهتر است در بعدازظهر و هنگام غروب آفتاب انجام شود تا از تأثیرات منفی امواج ماوراء بنفش نور خورشید جلوگیری شده و همچنین از فرصت کافی برای نفوذ به برگ برخوردار باشد. در مورد مصرف کودهای زیستی به روش محلول‌پاشی در باغات معمولا یک لیتر از کود زیستی برای یک هکتار مصرف می‌شود با اینحال ممکن است توصیه تولیدکننده، کمتر یا بیشتر از این مقدار باشد.

روش کود آبیاری

وارد کردن هر نوع ماده شیمیایی محلول در آب و یا قابل سوسپانسیون شدن از جمله کودهای شیمیایی، آلی و زیستی همراه با آب آبیاری، کودآبیاری[5] نامیده می‌شود. این روش می‌تواند در سیستم‌های آبیاری سطحی، قطره‌ای، بارانی و زیرزمینی استفاده شود. البته همه اشکال کودهای زیستی برای استفاده در آب آبیاری مناسب نیستند. معمولا کودهایی که به شکل مایع بوده و حلالیت خوبی در آب دارند و یا انواع جامد قابل حل در آب راحت‌تر می‌توانند به همراه آب آبیاری مصرف شوند. لازم به ذکر است که فقط حالت فیزیکی کود تعیین‌کننده روش مصرف نیست زیرا برخی از کودهای زیستی مثلاً می‌بایستی حتما بصورت بذرمال استفاده شوند تا مقدار کافی از ماده یا ریزجاندار در نزدیک هر بذر یا ریشه گیاه مستقر شود. اگر کود زیستی مورد نظر به صورت محلوپاشی مصرف می‌شود کودآبیاری به روش بارانی مناسب‌تر است. در درختان اگر کود زیستی در چال‌کود و یا کانال‌کود توصیه شده است کودآبیاری به روش قطره‌ای و یا زیر زمینی می‌تواند روش مناسبی باشد.

روش کاربرد در خاک

مصرف کودهای زیستی در محصولات زراعی به روش کاربرد مستقیم در خاک کمتر معمول است زیرا مقادیر زیادی کود زیستی برای مصرف در خاک لازم است. با این حال می‌توان کودهای زیستی را به نسبت چهار به صد در مخلوط با کودهای آلی و کمپوست‌ها به صورت خاکی مصرف نمود. مصرف خاکی کودهای زیستی در باغات و برای انواع درختان میوه، لگوم‌های درختی و زراعت چوب کاربرد دارد. در انواعی که به صورت مایع در خاک مصرف می‌شوند مقدار مورد نظر کود زیستی در مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ لیتر آب شرب سوسپانسیون یا محلول شده و در سطح یک هکتار خاک توزیع می‌شود. پهاش آب بهتر است در حدود خنثی باشد. مقدار توصیه شده کود را می‌توان به روش چال‌کود یا کانال‌کود استفاده کرد (شکل‌های ۳ و ۴).

[5] - ***Fertigation***

شکل ۳- کاربرد کودهای زیستی در چال‌کود

شکل ۴- کاربرد کودهای زیستی در کانال‌کود

روش غوطه‌ورسازی

روش غوطه‌ورسازی برای کودهای مایع مناسب‌تر از انواع پودری و جامد است. در این روش، بذر، نشاء، قلمه یا نهال در درون کود زیستی غوطه‌ور می‌شود. معمولا ۵۰۰ گرم کود زیستی با ۲/۵ لیتر آب مخلوط و قبل از انتقال نشا به زمین اصلی استفاده می‌شود. مدت زمان نگهداری نشا سبزیجات در سوسپانسیون کود زیستی ۱۵ تا ۳۰ دقیقه و برای نشای برنج ۸ تا ۱۲ ساعت توصیه می‌شود. برای جلبک‌های سبز-آبی (سیانوباکترها) به مقدار ۱۰ کیلوگرم در هکتار در یک هفته پس از نشا انجام می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. خسروی ه. ۱۳۸۸. دستیابی به دانش فنی تولید کود بیولوژیک ازتوباکتر برای مزارع گندم. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۱۴۵۰. ۲۴ صفحه.

۲. خسروی ه. و محمودی ح. ۱۳۹۲. بررسی اثرات مایه تلقیح ازتوباکتر به همراه کود دامی بر رشد گندم دیم. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۳(۲): ۲۱۹-۲۰۵.

۳. خسروی ه. و همکاران. ۱۳۹۳. تاثیر مایه‌زنی جدایه‌های بومی ازتوباکتر بر عملکرد و شاخص‌های رشد گندم آبی در ایران. نشریه زیست شناسی خاک، ۲(۲): ۱۵۸-۱۴۹.

۴. رجالی ف. ۱۳۹۶. آشنایی با قارچ های میکوریزی و کاربرد آنها در اکوسیستم های مختلف. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی. ۱۵۴ صفحه.

۵. شمشیری پور م.، اصغرزاده ا.، اسدی رحمانی ه.، خاوازی ک.، اسمعیلی زاد ا.، همتی و. و ثقفی ک. ۱۳۹۰. بررسی تاثیر محلول پاشی باکتری های فیلوسفری محرک رشد گیاه بر رشد و جذب عناصر غذایی در ذرت. مجله کشاورزی بوم شناختی ۲(۱): ۹۴-۸۴.

۶. قربانی نصرآباد ق. ۱۳۹۴. کودآبیاری. نشریه ترویجی شماره ۲۰۴، مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی.

7. Bashan, Y., 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. Biotechnology advances, 16(4), pp.729-770.
8. Drew, E., Herridge, D., Ballard, R., O'Hara, G., Deaker, R., Denton, M., Yates, R., Gemell, G., Hartley, E., Phillips, L. and Seymour, N., 2012. Inoculating legumes: a practical guide. Grains Research and Development Corporation.
9. García-Fraile, P., Menéndez, E. and Rivas, R., 2015. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. AIMS Bioeng, 2(3), pp.183-205.
10. Giri, S., and Pati, B. (2004). A comparative study on phyllosphere nitrogen fixation by newly isolated Corynebacterium sp. &Flavobacterium sp. and their potentialities as biofertilizer. Acta microbiologica et immunologica Hungarica,51, 47-56.
11. Khosravi, H., Samar, S.M., Fallahi, E., Davoodi, H. and Shahabian, M., 2009. Inoculation of 'Golden Delicious' apple trees on M9 rootstock with Azotobacter improve nutrient uptake and growth indices. Journal of plant nutrition, 32(6), pp.946-953.
12. Nagy, P.T. and Pintér, T., 2015. Effects of foliar biofertilizer sprays on nutrient uptake, yield, and quality parameters of Blaufrankish (Vitis vinifera L.) Grapes. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46(sup1), pp.219-227.
13. Saleem, M., Meckes, N., Pervaiz, Z. H., and Traw, M. B. (2017). Microbial interactions in the phyllosphere increase plant performance under herbivore biotic stress. Frontiers in Microbiology,8, 41.
14. Thomas, L. and Singh, I., 2019. Microbial biofertilizers: types and applications. In Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment (pp. 1-19). Springer, Cham.
15. USDA. 2015. Legume Seed Inoculation Plant Materials. Natural resource Conservation Service Technical Note, No: TX-PM-15.

Methods of Application and Use of Biofertilizers

Houshang Khosravi[۶]

Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran; E-mail: hkhosravi@areeo.ac.ir

Abstract

The issue of food safety and health and the increase in the consumption of organic products has led to an increase in the use of biofertilizers in recent decades. A global standard for biofertilizers has not yet been developed. Biofertilizers are mainly produced in the form of liquid, powder, and granular. The main method of using biofertilizers is in the form of seeds, which is used for crops, vegetables and ornamental plants. Another method is to use biofertilizer in the soil, which is more suitable for orchards. Immersion of seeds, cuttings, transplantation or

[6] - Corresponding author: Soil Biology Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

seedlings is another method of using biofertilizers. Sprays on the leaves and shoots of plant can also be used for some biofertilizers. In surface, drip, sprinkler and underground irrigation, biofertilizer application can also be used.

Keywords: Inoculum, Seed inoculation, Microorganisms.

تأثیر سودوموناس (*Pseudomonas sp*) و سراشیا مارسنس (*Serratia marcescens*) بر تغییر و تحول کانی سپیولیت در محیط ریشه نهال‌های پسته تحت تنش شوری

ریحانه نژاد اسدی[۱]، عیسی اسفندیارپور بروجنی[۲]، محسن حمیدپور[۲]، پیمان عباس‌زاده دهجی[۳]، سید جواد حسینی‌فرد[۴]

[۱] دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
r.nejadasadi@stu.vru.ac.ir

[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

[۳] استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

[۴] استادیار مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، رفسنجان

چکیده

با توجه به تحقیقات بسیار کم اثر باکتری‌ها بر هوادیدگی کانی سپیولیت در محیط ریشه گیاهان، پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات در آزادسازی عناصر از کانی سپیولیت، تحت تنش شوری در ریشه نهال‌های پسته انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو سویه باکتری (سودوموناس و سراشیا مارسنس) تحت چهار سطح تنش شوری (صفر، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم بر کیلوگرم شن کوارتزی) بر روی نهال‌های پسته (رقم قزوینی) در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. نتایج حاکی از تأثیر بسزای باکتری بر آزادسازی عناصر سیلیسیم، منیزیم و آهن از کانی سپیولیت بود. علاوه بر آزادسازی مقدار قابل توجه عناصر از این کانی، سویه‌های باکتری قادر به تغییر ساختار کانی و تبدیل بخشی از آن به کانی پالی‌گورسکیت در محیط ریشه نهال‌های پسته بودند. به‌نظر می‌رسد که حضور این سویه‌های باکتری به‌صورت همیار با گیاهان، تأثیر معنی‌داری بر آزادسازی عناصر از کانی‌ها و جذب آن توسط گیاه و در نتیجه بهبود وضعیت تغذیه گیاه و تغییر ساختار کانی خواهد داشت.

واژگان کلیدی: باکتری‌های حل‌کننده سیلیکات، پالی‌گورسکیت، پراش پرتو ایکس، هوادیدگی بیولوژیکی

مقدمه

ایلیت، کلریت، ورمیکولیت، اسمکتیت، کائولینیت و کانی‌های فیبری پالیگورسکیت و سپیولیت از جمله کانی‌های غالب در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند (Wilson, 1999). هوادیدگی و تغییر و تبدیل کانی‌های رسی در این مناطق، اغلب متأثر از شرایط محیطی موجود (شوری و خشکی)، ترشحات ریشه‌ای و همچنین اسیدهای آلی ترشح‌شده از میکروارگانیسم‌های خاک می‌باشد (مشکوه، ۱۳۸۶). سپیولیت، یکی از کانی‌های رشته‌ای (فیبری) محسوب می‌شود که در گروه کانی‌های سیلیکات ورقه‌ای (فیلوسیلیکات‌ها) بـا ساختار ۲:۱ قرار گرفته است. این کانی، جزو کـانی‌های سیلیکاتی تری‌اکـتاهدرل و آبدار به‌شمار می‌آید که هر واحد ساختمانی آن از دو صفحه چهاروجهی غنی از سیلیسیم در اطراف و یک صفحه هشت‌وجهی غنی از منیزیم در مرکز تشکیل شده است. فرمول ساختمانی ایده‌آل این کانی به‌صورت $Mg_8Si_{12}O_{30}(OH)_4(H_2O)_4.8H_2O$ می‌باشد (Perraki and Orfanoudaki, 2008). از آن‌جا که کانی مزبور، نسبتاً ناپایدار است؛ قادر به تغییر رفتار شیمیایی عناصر مختلف (مانند منیزیم، سیلیسیم و آهن) در خاک بوده و بر روی ترکیب محلول خاک و کاتیون‌های تبادلی اثرگذار می‌باشد (Galan, 1996). پسته، به‌دلیل سازگاری و مقاومت بالا در شرایط نامساعد محیطی از جمله تنش‌های شوری و خشکی، در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Rahneshan *et al.*, 2018). هرچند مطالعات متعددی (مانند: Shirvani and Nourbakhsh, 2010; Miura *et al.*, 2012; Baldermann *et al.*, 2018; Mulders *et al.*, 2018) در مورد نحوه تشکیل و پایداری کانی سپیولیت انجام شده است؛ لیکن

اطلاعات اندکی در رابطه با تبدیل و یا تغییر شکل این کانی در محیط ریشه گیاه، به‌ویژه ریشه پسته، موجود می‌باشد. لذا با توجه به اثبات وجود کانی سپیولیت در خاک‌های منطقه رفسنجان به‌عنوان یکی از مناطق مهم پسته‌کاری ایران (Khademi and Mermut, 1998؛ حجتی، ۱۳۸۹؛ نورمندی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳)، پژوهش حاضر در راستای امکان‌سنجی تغییر و تحول این کانی در محیط ریشه پسته در ارتباط با باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد تحت تنش شوری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

کانی سپیولیت استفاده‌شده در این پژوهش از معدن الیاتو[1] فریمان (′۴۰ °۵۹ تا ′۴۲ °۵۹ طول شرقی و ′۳۷ °۳۵ تا ′۳۹ °۳۵ عرض شمالی) تهیه شد. قبل از انجام مطالعات مورد نظر، به‌منظور آگاهی از ترکیب اولیه این کانی، آنالیز تجزیه عنصری[2] با استفاده از دستگاه XRF مدل 1800 ساخت شرکت شیماتزو[3] ژاپن با ولتاژ ۲۰ ولت و آمپراژ ۵ میلی‌آمپر در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گرفت. سپس خالص‌سازی کانی به روش کیتریک و هوپ[4] (۱۹۶۳) انجام شد و به‌منظور تهیه پراش‌نگار پرتو ایکس، مقداری از نمونه بعد از اشباع نمودن با پتاسیم و منیزیم، به آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی مرکز تبریز ارسال شد. همچنین به‌منظور بررسی اندازه و شکل کانی سپیولیت از میکروسکوپ الکترونی روبشی[5] (SEM) استفاده شد.

آزمون گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه پژوهشکده پسته رفسنجان اجرا شد. در این آزمایش از دو سویه باکتری سودوموناس (*Pseudomonas sp*) و سراشیا مارسنس (*Serratia marcescens*) و چهار سطح شوری (صفر، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم خاک) به‌منظور بررسی تأثیر شوری بر هوادیدگی کانی سپیولیت در محیط رشد نهال پسته (رقم قزوینی) استفاده شد.

برای اجرای طرح گلخانه‌ای مزبور از گلدان‌های یک کیلوگرمی استفاده شد. همچنین از شن کوارتزی به‌عنوان ماده پُرکننده گلدان‌ها استفاده گردید. شن کوارتزی مورد استفاده از معدن سیلیس همدان تهیه و میانگین قطر ذرات آن، بزرگتر از اندازه کانی و در محدوده ۰/۳ تا ۱ میلی‌متر بود. ابتدا در انتهای هر گلدان یک کاغذ صافی واتمن[6] قرار داده شد و سپس، ۱۰۰ گرم شن ته هر گلدان ریخته و بر روی آن، مخلوط شن به‌همراه ۲۰ گرم کانی سپیولیت قرار داده شد (۲/۵ درصد وزنی) و پس از قرار دادن بذرهای جوانه‌دار شده پسته در مرکز هر گلدان و در عمق سه سانتی‌متری، ۱۰۰۰ میکرولیتر از مایه‌تلقیح باکتری با جمعیت 10^8 سلول در هر میلی‌لیتر را روی بذرها ریخته و سپس روی آن‌ها با ۱۰۰ گرم شن کوارتزی پوشانده شد. برای آبیاری گلدان‌ها نیز از آب مقطر و محلول غذایی استگنر (Stegner, 2002) بدون منبع منیزیم استفاده شد. تیمار شوری نیز بعد از استقرار کامل گیاه (۷۰ روز پس از کشت بذرها) در چند مرحله همراه با آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد. پس از اتمام دوره کشت (۱۵۰ روز) ریشه‌های موجود در تمام گلدان‌ها جدا شدند و کانی چسبیده به ریشه‌ها، با استفاده از الک جداسازی شد. مقداری از کانی جدا شده از ریشه، بعد از تیمار نمودن به روش کیتریک و هوپ (۱۹۶۳)، به‌منظور تهیه پراش‌نگار پرتو ایکس مجدداً به آزمایشگاه سازمان زمین-شناسی و اکتشافات معدنی مرکز تبریز ارسال شد. به‌منظور بررسی تغییرات عنصری سپیولیت در محیط ریشه نهال‌های پسته، آنالیز عنصری نیز بر روی کانی استخراج‌شده از محیط ریشه، توسط دستگاه XRF انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به ترکیب عنصری کانی سپیولیت مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ ارایه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بر پایه ترکیب عنصری این کانی، میزان آلومینیم، سدیم، پتاسیم، فسفر، منگنز و تیتانیم در این نمونه کانی ناچیز

---

[1] Iliato

[2] X-ray fluorescence (XRF)

[3] Shimadzu

[4] Kittrick and Hope

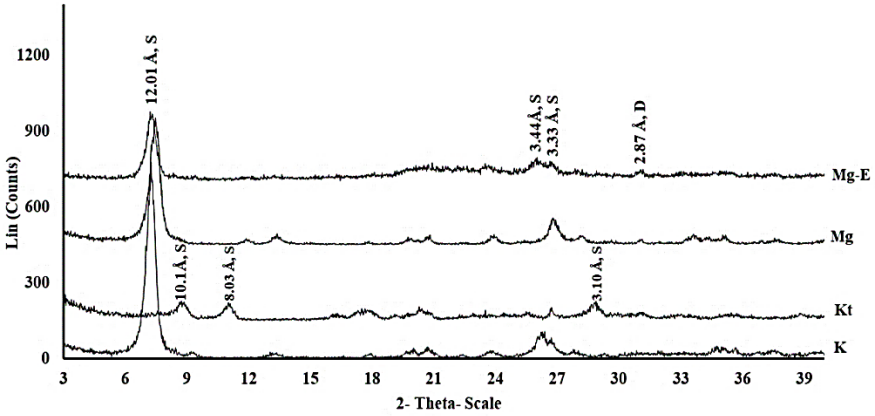
[5] Scanning Electron Microscope

[6] Whatman

بود؛ حال آنکه مقادیر قابل توجهی سیلیسیم و منیزیم در آن مشاهده شد. پراش‌نگار پرتو ایکس کانی سپیولیت نیز نشانگر وجود یک پیک قوی ۱۲/۱ آنگستروم و پیک‌های با شدت متوسط ۴/۴۷، ۴/۲۷، ۳/۷۴، ۳/۳۴ و ۳/۱۸ آنگستروم بود. همچنین کانی دولومیت (پیک ۲/۸۷ آنگستروم) به‌عنوان کانی همراه با کانی سپیولیت به میزان ناچیز در نمونه وجود داشت (شکل ۱). تصویر حاصل از مطالعه کانی مزبور در زیر میکروسکپ الکترونی روبشی (شکل ۲) نیز نمایانگر فیبری شکل (رشته‌ای) بودن آن و به‌نوعی مکمل نتایج حاصل از پراش پرتو ایکس بود.

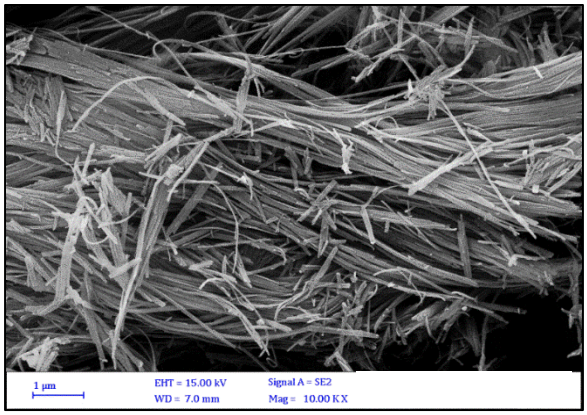
جدول ۱- نتایج XRF کانی سپیولیت مورد استفاده در پژوهش حاضر (قبل از کشت)

اکسید عناصر (درصد)										
Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	SUM
۰/۰۱	۳۸/۹۷	۰/۶۴	۵۵/۴۲	۰/۰۱	۰/۰۹	۲/۵۶	۰/۰۶	۰/۰۲	۲/۰۴	۹۹/۸۲



شکل ۱- پراش‌نگار پرتو ایکس نمونه کانی سپیولیت مورد استفاده

Mg-Eg= نمونه اشباع‌شده با منیزیم و اتیلن گلیکول، Mg= نمونه اشباع‌شده با منیزیم، Kt= نمونه اشباع‌شده با پتاسیم پس از حرارت‌دادن تا ۵۵۰ درجه سلسیوس؛ K= نمونه اشباع‌شده با پتاسیم؛ S=سپیولیت و D= دولومیت.



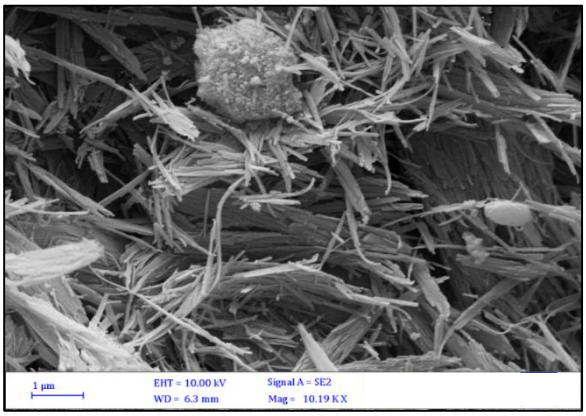
شکل ۲- تصویر میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) سپیولیت مورد استفاده (قبل از کشت)

نتایج تجزیه و تحلیل ترکیب شیمیایی سپیولیت پس از جداسازی از محیط ریشه نهال‌های پسته در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقادیر عناصر سیلیسیم و منیزیم در سپیولیت نسبت به XRF اولیه (جدول ۱) به‌طور قابل توجهی

کاهش یافته است که نشان‌دهنده انحلال سپیولیت و آزاد شدن عناصر است. در مقابل، میزان عناصر آهن، آلومینیم و کلسیم افزایش یافته است. در رابطه با افزایش میزان کلسیم نمونه کانی به استناد نتایج آنالیز میکروسکپ الکترونی روبشی نمونه جدا شده از محیط ریشه (شکل ۳) می‌توان بیان نمود که کلسیم موجود در محیط ریشه با منیزیم آزادشده از کانی سپیولیت ترکیب شده و به‌صورت کانی دولومیت رسوب نموده و وارد فاز جامد شده است.

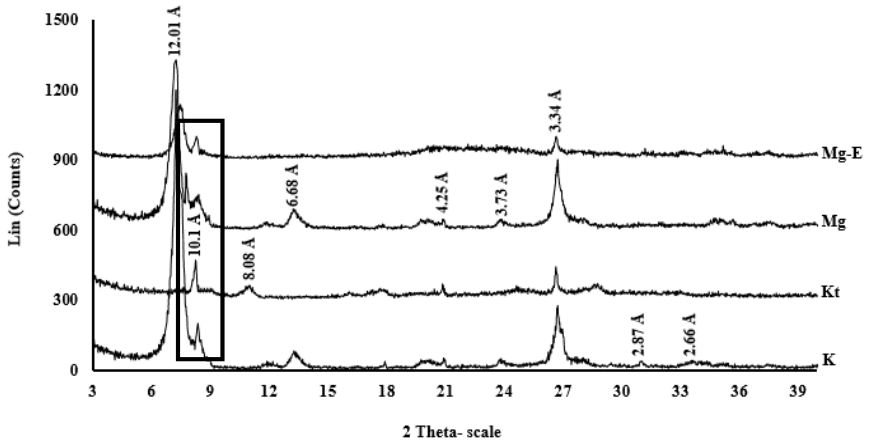
جدول ۲- نتایج XRF کانی سپیولیت جدا شده از محیط ریشه نهال پسته در انتهای دوره کشت

اکسید عناصر (درصد)							
Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	K_2O	CaO	Fe_2O_3
۰/۰۲	۲۶/۸۶	۱/۷۹	۵۹/۹	۰/۰۵	۰/۴۱	۶/۲۴	۴/۰۳
SUM	Cl	Cr_2O_3	NiO	SrO	SO_3	TiO_2	MnO
۹۹/۹۸	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۵



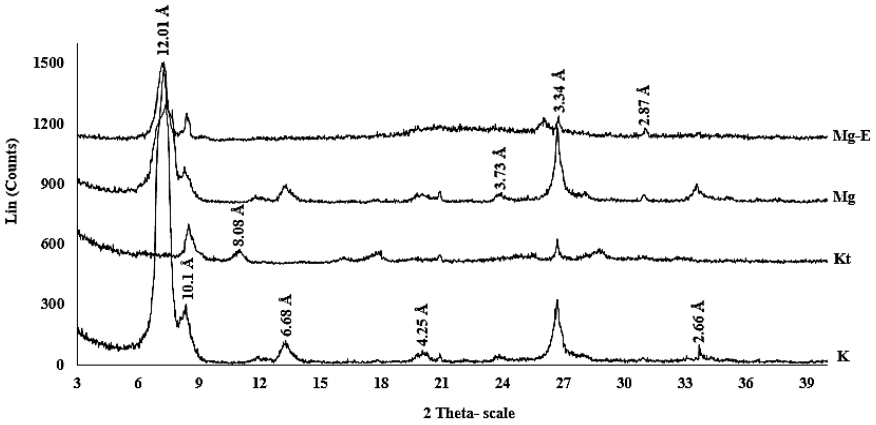
شکل ۳- تصویر میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) سپیولیت پس از جداسازی از ریشه نهال پسته تلقیح‌شده با سویه سودوموناس تحت شوری ۸۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم

مقایسه پراش‌نگارهای پرتو ایکس کانی سپیولیت استخراج‌شده از محیط ریشه نهال‌های پسته تحت تنش شوری و تلقیح‌شده با سویه‌های سراشیا مارسنس و سودوموناس (به‌ترتیب شکل‌های ۴ و ۵)، با کانی سپیولیت اولیه (شکل ۱) نشان‌دهنده تبدیل بخشی از سپیولیت به کانی پالی‌گورسکیت در محیط ریشه است. کانی پالی‌گورسکیت دارای یک آستانه قوی در ۱۰/۰۴ تا ۱۰/۱ آنگستروم (کادر مستطیلی‌شکل ترسیم‌شده در شکل ۴) و آستانه‌های با شدت متوسط در محدوده‌های بین ۶/۳ تا ۶/۴، ۵/۳ تا ۵/۴، ۴/۴۶ تا ۴/۴۹، ۴/۲۴ تا ۴/۲۶ و ۳/۶۱ تا ۳/۶۹ آنگستروم می‌باشد (خرمالی و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۴- پراش‌نگار پرتو ایکس نمونه سپیولیت جدا شده از ریشه نهال پسته تلقیح‌شده با سویه سراشیا مارسنس تحت شوری ۱۲۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم

Mg-Eg= نمونه اشباع‌شده با منیزیم و اتیلن گلیکول، Mg= نمونه اشباع‌شده با منیزیم، Kt= نمونه اشباع‌شده با پتاسیم پس از حرارت دادن تا ۵۵۰ درجه سلسیوس؛ K= نمونه اشباع‌شده با پتاسیم



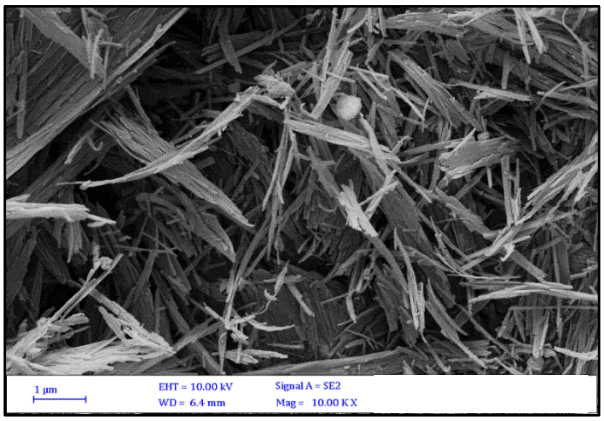
شکل ۵- پراش‌نگار پرتو ایکس نمونه سپیولیت جدا شده از ریشه نهال پسته تلقیح‌شده با سویه سودوموناس تحت شوری ۸۰۰ میلی‌گرم کلرید سدیم در کیلوگرم

Mg-Eg= نمونه اشباع‌شده با منیزیم و اتیلن گلیکول، Mg= نمونه اشباع‌شده با منیزیم، Kt= نمونه اشباع‌شده با پتاسیم پس از حرارت دادن تا ۵۵۰ درجه سلسیوس؛ K= نمونه اشباع‌شده با پتاسیم

شبیه به اسمکتیت‌ها، کانی‌های رسی فیبری در طیف وسیعی از محیط‌ها، از جمله خاک‌های خشک، رسوبات دریایی و در نزدیکی مکان‌های هیدروترمال ایجاد می‌شوند و برای پایداری، نیازمند پی‌اچ‌های قلیایی و فعالیت بالای سیلیسیم و منیزیم در محلول هستند. به‌علاوه، پالی‌گورسکیت برای پایداری، نیازمند مقادیر کافی آلومینیم و آهن نیز می‌باشد (Singer, 1989). به‌نظر می‌رسد که آزادسازی منیزیم و سیلیسیم از سپیولیت و کاهش آن‌ها در ساختار کانی و همچنین افزایش تفریقی آلومینیم به‌دلیل کاهش منیزیم و سیلیسیم سبب تبدیل کانی سپیولیت به پالی‌گورسکیت در شرایط تنش شوری شده است. بیرسوی[1] (۲۰۰۲) با بررسی دیاگرام‌های پایداری سپیولیت- پالیگورسکیت، عوامل مؤثر بر تشکیل و پایداری دو کانی مزبور را میزان منیزیم، سیلیسیم، آلومینیم و پی‌اچ محلول گزارش نمود. شکل ۶ تصاویر حال از میکروسکپ الکترونی روبشی کانی جدا شده از نهال‌های پسته را

[1] Birsoy

نشان می‌دهد. مورفولوژی پالیگورسکیت بسیار شبیه سپیولیت است و تشخیص آن‌ها از یکدیگر در تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی کار دشواری است؛ هرچند برخی عقیده دارند که رشته‌های سپیولیت تفاوت‌هایی با پالیگورسکیت داشته و انتهای آن‌ها صاف‌تر و صیقلی‌تر است (Singer, 1989).



شکل۶- تصویر میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM) کانی جداشده از ریشه نهال پسته تلقیح‌شده با سویه باکتری B7

مطالعاتی که تاکنون در رابطه با تغییر کانی‌های فیبری در محیط ریشه گیاهان صورت گرفته است انحلال کامل و یا تبدیل این کانی‌ها به کانی‌های دیگر از جمله اسمکتیت‌ها را گزارش نموده‌اند. از جمله آن‌ها می‌توان به پژوهش بخشنده[1] و همکاران (۲۰۱۱) در رابطه با انحلال کامل سپیولیت و پالی‌گورسکیت در محیط ریشه سورگوم و پژوهش خادمی و آروسنا[2] (۲۰۰۸) در رابطه با نوتشکیلی کائولینیت در ریزوسفر گیاهان جو، یونجه و کلزا از کانی‌های سپیولیت و پالیگورسکیت اشاره نمود. از آن‌جا که تفاوت اصلی مطالعات مذکور با مطالعه حاضر در نوع گیاه مورد استفاده است، این تغییر در روند انحلال سپیولیت در محیط ریشه را می‌توان به نوع گیاه و سیستم ریشه‌ای آن نسبت داد. گیاهان استفاده شده در پژوهش‌های پیشین از خانواده گیاهان زراعی با ریشه افشان می‌باشند و سطح تماس کانی با ریشه گیاه و همچنین ترشحات ریشه‌ای بیشتری دارند (خیامیم و خادمی، ۱۳۸۹)؛ حال آن‌که نهال‌های پسته، دارای ریشه راست بوده و از ترشحات ریشه‌ای کمتری برخوردار می‌باشند. مطالعاتی که تاکنون کانی‌های فیبری را در ایران گزارش نموده‌اند به حضور این کانی‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی با غالبیت پالی‌گورسکیت نسبت به سپیولیت در خاک اشاره داشته‌اند (Khademi and Mermut, 1998؛ حجتی، ۱۳۸۹؛ نورمندی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳) حال آن‌که گزارش ذخایر بکر و انبوهی از سپیولیت در منطقه فریمان (حجتی و خادمی، ۱۳۹۲)، امکان حضور سپیولیت در مناطق خشک را اثبات می‌کند و می‌تواند گریزی به این موضوع باشد که گزارش حضور میزان کم سپیولیت در مقابل پالی‌گورسکیت در خاک‌ها می‌تواند به‌دلیل پایداری کمتر سپیولیت و امکان تبدیل آن به کانی پالی‌گورسکیت باشد تا عدم تشکیل و حضور ابتدایی آن در خاک‌های ایران.

نتیجه‌گیری

بررسی حلالیت کانی سپیولیت در محیط ریشه پسته نشان داد که سویه‌های سودوموناس و سراشیا مارسنس، نقش مؤثری در آزادسازی بخش عمده منیزیم و سیلیسیم از ساختار این کانی داشتند. همچنین تأثیر توأم حضور سویه‌های باکتری و تنش شوری در ریشه نهال‌های پسته سبب تبدیل بخشی از سپیولیت به کانی پالی‌گورسکیت شد. بنابراین به‌نظر می‌رسد در صورت تلقیح این باکتری‌ها به خاک‌های تحت کشت موجود در این مناطق، میزان انحلال سیلیسیم (به‌عنوان یک عنصر مفید برای گیاهان) و منیزیم

[1] Bakhshandeh

[2] Khademi and Arocena

(به‌عنوان یک عنصر مهم و ضروری برای گیاهان) از کانی‌های فیبری موجود در این خاک‌ها افزایش یابد. این سویه‌ها علاوه بر توانایی آزادسازی مقادیر قابل توجهی عناصر از کانی سپیولیت، خصوصیات محرک رشد بالایی مانند تولید سیدروفور و حل‌کنندگی ترکیبات نامحلول فسفر و روی دارند و این دو توانایی باکتری‌ها در آزادسازی عناصر از کانی سپیولیت و صفات محرک رشدی می‌توانند نقش بسیار مؤثری در بهبود وضعیت رشد، تغذیه و عملکرد گیاهان در خاک‌های مناطق خشک دارای این کانی داشته باشند.

منابع

حجتی، س. ۱۳۸۹. الگوی توزیع، تشکیل و پایداری کانی‌های فیبری در خاک‌های تشکیل‌شده بر روی برخی رسوبات دوران سوم زمین‌شناسی و مواد مادری آن‌ها در بخشی از ایران مرکزی و زاگرس، رساله دکترای خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۲۰ صفحه.

حجتی، س. و خادمی، ح. ۱۳۹۲. بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کانی‌شناسی ذخایر سپیولیت شمال خاور ایران. نشریه علوم زمین، جلد ۲۳ (شماره ۹۰): ۱۶۵-۱۷۴.

خرمالی، ف.، ابطحی، س.ع. و تازیکه، ح. ۱۳۹۱. کانی‌های رسی (ویژگی‌ها و شناسایی). دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۳۱۵ صفحه.

خیامیم، ف. و خادمی، ح. ۱۳۸۹. توانایی سه گونه گیاهی در جذب پتاسیم از فلوگوپیت. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، جلد ۱۷ (شماره ۴): ۱۰۹-۹۱.

مشکوه، م. ع. ۱۳۸۶. خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک. مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی، ۱۶۰ صفحه.

نورمندی‌پور، ف.، فرپور، م.ه. و سرچشمه‌پور، م. ۱۳۹۳. چگونگی تشکیل، رده‌بندی و کانی‌شناسی رسی خاک‌های گچی نمکی منطقه کشکوئیه - انار کرمان. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، جلد ۲۲ (شماره ۲): ۲۶۹-۲۸۰.

Bakhshandeh, S. H., Khormali, F., Dordipour, E., Olamaei, M. and Kehl, M. 2011. Comparing the weathering of soil and sedimentary palygorskite in the rhizosphere zone. Applied Clay Science, 54: 235-241.

Baldermann, A., Mavromatis, V., Frick, P. and Dietzel, M. 2018. Effect of aqueous Si/Mg ratio and pH on the nucleation and growth of sepiolite at 25°C. Geochimica et Cosmochimica Acta, 227: 211–226.

Birsoy, R. 2002. Formation of sepiolite-palygorskite and related minerals from solution. Clays and Clay Minerals, 50(6): 736–745.

Galan, E. 1996. Properties and applications of palygorskite–sepiolite clays. Clay Minerals, 31: 443-453.

Khademi, H. and Arocena, J. M. 2008. Kaolinite formation from palygorskite and sepiolite in rhizosphere soils. Clays and Clay Minerals, 56(4): 429–436.

Khademi, H. and Mermut, A. R. 1998. Source of palygorskite in gypsiferous Aridisols and associated sediments from central Iran. Clay Minerals, 33: 561-578.

Kittrick, J. A. and Hope, E. W. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. Soil Science, 96(5): 312–325.

Miura, A., Nakazawa, K., Takei, T., Kumada, N., Kinomura, N., Ohki, R. and Koshiyama, H. 2012. Acid, base, and heat-induced degradation behavior of Chinese sepiolite. Ceramics International, 38(6): 4677-4684.

Mulders, J. J. P. A., Harrisona, A. L., Christa, J. and Oelkers, E. H. 2018. Non-stoichiometric dissolution of sepiolite. International Carbon Conference, 10–14 September 2018, Reykjavik, Iceland, 146: 74–80.

Perraki, T. and Orfanoudaki, A. 2008. Study of raw and thermally treated sepiolite from the Mantoudi area, Euboea, Greece, X-ray diffraction, TG/DTG/DTA and FTIR investigations. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 91(2): 589–593.

Rahneshan, Z., Nasibi, F. and Ahmadi Moghadam, A. 2018. Effects of salinity stress on some growth, physiological, biochemical parameters and nutrients in two pistachio (*Pistacia vera L.*) rootstocks. Plant Interactions, 13(1): 73–82.

Shirvani, M. and Nourbakhsh, F. 2010. Desferrioxamine-B adsorption to and iron dissolution from palygorskite and sepiolite. Applied Clay Science, 48(3): 393–397.

Singer, A. 1989. Palygorskite and sepiolite group minerals. In: Dixon, J. B. and S. B. Weed (eds.), *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, WI, pp: 829–872.

Stegner, R. 2002. *Plant Nutrition Studies*. Maryland, USA: Lamotte Company.

Wilson, M. J. 1999. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. Clay Minerals, 34(1): 7–25.

The effect of *Pseudomonas sp* and *Serratia marcescens* on the alteration of sepiolite in the root environment of pistachio seedlings under salinity stress

Nejadasadi[1], R., Esfandiarpour Boroujeni, I.[2], Hamidpour, M.[2], Abbaszadeh-Dahaji, P.[3], Hosseinifard, S. J.[4]

[1] PhD Student, Soil Science and Engineering Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
[2] Associate Prof., Soil Science and Engineering Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
[3] Assistant Prof., Soil Science and Engineering Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
[4] Assistant Prof., Horticultural Sciences Research Institute (HSRI), Iran

Abstract

As limited research has been conducted on the effect of soil bacteria on the weathering of sepiolite in plant root environment, the present study aimed to investigate the efficiency of silicate solubilizing bacteria in the release of elements from sepiolite, under salinity stress in the roots of pistachio seedlings. The experiment was done as factorial with completely randomized design with two strains of bacteria (*Pseudomonas sp* and *Serratia marcescens*) under four salinity stress levels (0, 400, 800 and 1200 mg sodium chloride per kg of quartz sand) on pistachio seedlings (Qazvini) in greenhouse condition. The results showed a great impact of bacteria on the release of Si, Mg and Fe from the sepiolite. In addition to releasing significant amounts of elements from this mineral, bacterial strains were able to change the mineral structure and convert part of it to palygorskite in the root environment of pistachio seedlings. It seems that the presence of these bacterial strains in symbiosis with plants will have a significant effect on the release of elements from minerals and its absorption by the plant and thus improve plant nutrition and change the mineral structure.

Keywords: Silicate solubilizing bacteria, Palygorskite, X-ray diffraction, Biological weathering

مقایسه اثر اسیدهای آلی بر کاهش اثرات تنش خشکی در گیاه کلزا

محمد پسندیده*[1]، مجید رجایی[2]، حسین زینل‌زاده تبریزی[3]

[1] استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل (مغان)، ایران mpassandideh@yahoo.com

[2] استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

[3] استادیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل (مغان)، ایران

چکیده

تنش خشکی یکی از عمده‌ترین عوامل محدودکننده رشد کلزا در ایران می‌باشد. در کشاورزی نوین، استفاده از محرک‌های رشد گیاه، یکی از راه‌کارهای مقابله با اثرات تنش خشکی است. به منظور مقایسه اثرات محرک‌های رشد بر عملکرد کلزا در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی، شامل آبیاری کامل و تنش در کرت اصلی و کرت فرعی نیز شامل شش تیمار؛ شاهد؛ محلول‌پاشی اسیدآمینه؛ کاربرد کود آبیاری اسیدهیومیک؛ محلول‌پاشی اسیدفولویک؛ محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و مصرف توأم اسیدآمینه، اسید فولویک و اسید هیومیک بودند. نتایج نشان داد که تأثیر کاربرد محرک‌های رشد در شرایط تنش و بدون تنش خشکی می‌تواند کاملاً متفاوت بوده و می‌توان با کاربرد اسیدهای آلی، اثرات تنش را کاهش داد. در شرایط آبیاری کامل، به ترتیب تیمارهای مصرف توأم محرک‌های رشد> اسید هیومیک> اسید فولویک> عصاره جلبک دریایی> اسیدآمینه با افزایش ۲۲/۷، ۱۴/۳، ۶/۴، ۶/۳ و ۳/۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد، بیشترین اثربخشی را در افزایش عملکرد داشتند. در شرایط تنش خشکی، بیشترین افزایش عملکرد به‌ترتیب مربوط به تیمارهای مصرف توأم محرک‌های رشد> اسیدآمینه> عصاره جلبک دریایی> اسید فولویک> اسید هیومیک به‌ترتیب با افزایش ۳۱/۹، ۲۱/۳، ۱۵/۹، ۱۱/۹ و ۱۱/۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که با مصرف توأم محرک‌های رشد گیاهی، از جمله، اسیدآمینه، اسید هیومیک و عصاره جلبک دریایی، در سه مرحله رشدی آبیاری دوم، خروج از رزت و شروع گلدهی، ضمن بهبود عملکرد کلزا، می‌توان تحمل آن را به تنش خشکی افزایش داد.

واژگان کلیدی: تنش رطوبتی، رژیم آبیاری، عصاره جلبک دریایی، فولویک اسید، هیومیک اسید

مقدمه

کلزا به دلیل ترکیب مناسب اسیدهای چرب و میزان روغن آن‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در دنیا شناخته شده است. روغن آن در مقایسه با روغن‌های حاصل از دانه‌های روغنی نظیر آفتابگردان، ذرت و سویا به دلیل بالا بودن اسیدهای چرب غیراشباع و فاقد کلسترول، از کیفیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار است (Jian et al., 2019). در ایران نیز بیش از یک دهه است که به‌عنوان یک محصول دانه روغنی مهمی شناخته شده است و نقش عمده‌ای در تأمین خودکفایی روغن خوراکی دارد (Rameeh, 2016). تولید محصولات زراعی از جمله کلزا، غالباً تحت تنش‌های محیطی صورت می‌گیرد و با محدودیت مواجه هستند. به دلیل نیاز مبرم گیاهان به آب، خشکی از عمده‌ترین تنش برای تولید موفق محصولات زراعی است. برای مواجهه با این معضل و به منظور یافتن یک راه‌حل اساسی، راهی جز

توسل به روش‌های نوین کشاورزی وجود ندارد. به طورکلی، محرک‌های زیستی در کشاورزی امروزه شامل موادی به غیر از کودهای شیمیایی می‌باشند که در صورت کاربرد در مقادیر کم، موجب تحریک رشد گیاه و افزایش تأثیر کودهای شیمیایی رایج و بهبود مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی می‌گردند؛ لذا، با توجه به اثرات مثبت کاربرد این ترکیبات، اغلب کشاورزان و محققین در سراسر جهان به این نتیجه رسیده‌اند که این نهاده‌ها باید به‌عنوان بخشی از برنامه کوددهی در نظر گرفته شوند (El-Ghamry et al., 2009). به نظر می‌رسد کشاورزی نوین می‌تواند به‌وسیله شیوه‌های نوین تغذیه گیاهی، سمت و سویی جدید را جهت مبارزه با تنش‌های خشکی رهنمون سازد؛ لذا، با توجه به عدم وجود مطالعات کافی در خصوص اثرات طیف وسیعی از محرک‌های رشد بر عملکرد کلزا، در تحقیق حاضر، اثرات چهار محرک رشد گیاهی بر کاهش تنش خشکی کلزا در منطقه مغان مقایسه شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (پارس‌آباد مغان) بین مدارهای ۳۹ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این منطقه دارای اقلیم منطقه نیمه‌خشک و معتدل با هوای گرم و مرطوب در تابستان و زمستان‌های معتدل و مرطوب می‌باشد. در این منطقه، میانگین بارندگی سالانه در دوره زمانی ۳۰ ساله (۱۳۶۳ تا ۱۳۹۳)، ۲۷۵ میلی‌متر و میانگین، حداکثر و حداقل دمای سالانه هوا به‌ترتیب ۱۵/۲، ۴۱ و ۱۶- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. به منظور بررسی اثر مواد محرک رشد گیاهی بر کاهش خسارت ناشی از تنش خشکی در زراعت کلزا، آزمایشی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مغان انجام شد. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. کرت اصلی شامل دو سطح کامل و تنش آبیاری (آبیاری بعد از ۷۰ الی ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A و آبیاری بعد از ۱۳۰ الی ۱۴۰ میلیمتر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) بوده و کرت فرعی نیز شامل شش سطح؛ شاهد؛ کاربرد کودهای شیمیایی مطابق آزمون خاک؛ محلول‌پاشی اسیدآمینه با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله خروج از رزت و شروع گلدهی؛ کاربرد کود آبیاری اسیدهیومیک به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله از رشد (آبیاری دوم و خروج از رزت)؛ محلول‌پاشی اسیدفولویک با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله خروج از رزت و شروع گلدهی؛ محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله خروج از رزت و شروع گلدهی و مصرف توأم محلول‌پاشی اسیدآمینه، اسیدهیومیک و عصاره جلبک دریایی بودند که در سه مرحله آبیاری دوم، خروج از رزت و شروع گلدهی مصرف شدند. کاشت کلزای رقم دلگان (رقم جدید آزادگرده‌افشان معرفی‌شده برای منطقه مغان) در ۱۵ مهر ماه انجام گرفت. ابعاد هر کرت ۲/۴×۵ متر با چهار ردیف کاشت بود که در هر کدام از این کرت‌ها، مقادیر ۰/۰۰۶ کیلوگرم اسیدهیومیک مصرف شده بود. نمونه اسید هیومیک استفاده‌شده دارای ۵۲/۹۵ درصد اسید هیومیک، اسیدآمینه حاوی ۳۶/۷۹ درصد اسیدآمینه آزاد، اسید فولویک استفاده‌شده دارای ۲۲/۱ درصد اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی استفاده‌شده دارای ۱۰ درصد اسید آلجینیک بود. قبل از شروع آزمایش، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک، نمونه مرکبی تهیه شد. بعد از انجام عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و مسطح‌سازی، برای کنترل علف هرز از علف‌کش پیش‌کاشت ترفلان به مقدار دو لیتر در هکتار استفاده شد. ضمناً کود سرک اوره (سرک اول ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار) نیز پس از سبز شدن مصرف شد. برای رفع نیاز گیاه به عناصر کم‌مصرف، محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن با غلظت سه در هزار در مرحله در دو مرحله خروج از مرحله روزت و قبل از گلدهی انجام گرفت. در این پژوهش صفات ارتفاع بوته، تعداد خورجین در شاخه اصلی، تعداد خورجین در شاخه فرعی، تعداد کل خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. قبل از تجزیه واریانس، نخست وجود یا عدم وجود داده‌های پرت با استفاده از آزمون گراب شناسایی شدند. سپس نرمال‌بودن داده‌ها توسط آزمون شاپیرو-ویلک انجام یافت. در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها انجام و مقایسه میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح آماری یک و پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه: محرک‌های رشد، به ترتیب، موجب افزایش ۳/۴، ۶/۴ و ۶/۳ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد شده بودند. بجز تیمار اسید آمینه، بقیه تیمارها با تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری داشتند. بیشترین عملکرد مربوط به مصرف توام محرک‌های رشد بود که موجب افزایش ۲۲/۷ درصدی عملکرد شده بود. در شرایط تنش خشکی، اسیدهیومیک، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی با وجود افزایش ۱۱/۱، ۹/ ۱۱ و ۱۵/۹ درصدی عملکرد نسبت به تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری نسبت به هم نداشتند. همه تیمارهای کودی با تیمار شاهد اختلاف آماری معنی‌داری داشته و بیشترین عملکرد مربوط به مصرف توام محرک‌های رشد بود که در مقایسه با تیمار شاهد، موجب افزایش ۳۱/۹ درصدی شده بود.

وزن هزاردانه: وزن هزار دانه مربوط به تیمارهای اسیدآمینه، اسید فولویک، اسید هیومیک به لحاظ آماری در یک گروه قرار داشته و این تیمارها به ترتیب موجب افزایش ۱۵/۵، ۱۲ و ۹/۳ درصدی وزن هزاردانه نسبت به تیمار شاهد شدند. پورمراد و همکاران (Pourmorad et al., 2018) نشان دادند که در شرایط تنش، مصرف اسید هیومیک (به مقدار ۲۰ کیلوگرم بر هکتار) و اسید فولویک (غلظت ۵ گرم در لیتر) هریک به تنهایی اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه گندم (Triticum aestivum) ندارد اما مصرف توأم آنها باعث افزایش معنی‌دار و ۱۴/۷ درصدی وزن هزار دانه گیاه گندم شد. تأثیر معنی‌دار کاربرد عصاره جلبک دریایی بر وزن هزار دانه در تحقیقات راتور و همکاران (Rathor et al., 2008) نیز گزارش شده است.

ارتفاع بوته: اثر اصلی تیمارهای محرک رشد بر ارتفاع بوته نشان داد که مصرف توام محرک‌های رشد، اسید هیومیک، اسید آمینه و عصاره جلبک دریایی موجب افزایش ۱۲/۲، ۵/۸، ۵/۸ و ۴/۵ درصدی ارتفاع بوته نسبت به تیمار شاهد شد. پاپکو و همکاران (Popko, et al, 2014) و ال-سعید و مهدی (El-Said, and Mahdy, 2016) نتایج مشابهی را در تحقیقات خود گزارش کرده و درخصوص تأثیر اسیدهای آمینه بر ارتفاع بوته گیاه بیان کرده‌اند که هرچند گیاهان می‌توانند اسیدهای آمینه تولید کنند، اما این سنتز بسیار انرژی مصرف می‌کند. لذا استفاده از اسیدهای آمینه سنتز شده برای گیاه، این امکان را فراهم می‌سازد که گیاه در شرایط تنش انرژی خود را بجای ساخت اسیدآمینه در رشد و توسعه خود بکار ببرد.

تعداد خورجین در ساقه اصلی: با توجه به اثر اصلی تیمارهای محرک رشد (جدول ۴)، بیشترین تعداد خورجین در ساقه اصلی مربوط به تیمار مصرف توأم محرک‌های رشد بود که موجب افزایش ۳۵/۲ درصدی تعداد خورجین در ساقه اصلی نسبت به تیمار شاهد شد. تیمار اسیدآمینه، فولویک‌اسید و عصاره جلبک دریایی با تیمار شاهد اختلاف آماری معنی‌داری در سطح پنج درصد داشته و به ترتیب موجب افزایش ۱۶/۶، ۱۶/۶ و ۶/۵ درصدی تعداد خورجین در ساقه اصلی نسبت به تیمار شاهد شدند. با توجه به جدول ۵، در شرایط نرمال و بدون تنش خشکی، بیشترین تعداد خورجین در ساقه اصلی به‌ترتیب در تیمارهای مصرف توأم > اسید هیومیک > اسیدآمینه > اسید فولویک> عصاره جلبک دریایی مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی نیز بیشترین تعداد خورجین به‌ترتیب در تیمارهای مصرف توأم> اسید هیومیک> اسید فولویک> اسیدآمینه> عصاره جلبک دریایی بودند. به طور کلی، تنش خشکی موجب عرضه کمتر مواد فتوسنتزی، ریزش گل و خورجین‌های در حال رشد می‌گردد. علت کاهش تعداد خورجین در اثر تنش خشکی را می‌توان کاهش تعداد گل‌هایی که در آخر به خورجین تبدیل می‌شود، دانست (Fayaz et al., 2007).

تعداد خورجین در ساقه فرعی و تعداد کل آن: مصرف توأم محرک‌های رشد موجب افزایش ۱۹/۵ درصدی تعداد خورجین در ساقه فرعی نسبت به تیمار شاهد شد. تیمارهای اسید هیومیک و اسیدآمینه موجب افزایش ۱۱/۷ درصدی تعداد خورجین در ساقه فرعی نسبت به تیمار شاهد شدند. حیدری و خلیلی (Heidari and Khahlil, 2014) و ایافر و همکاران (Aiyafar et al., 2015) در تحقیقات خودشان به اثر مثبت و معنی‌دار کاربرد اسیدهای آلی بر تعداد خورجین و یا خورجین‌های بوته چای و کلزا اشاره کرده‌اند.

تعداد دانه در خورجین: مصرف توأم محرک‌های رشد موجب افزایش ۱۶/۸ درصدی تعداد دانه در خورجین نسبت به تیمار شاهد شد. (جدول ۴). گزارش‌های ارائه‌شده از تحقیقات، نشان‌دهنده تأثیر متفاوت کاربرد اسیدهای آلی در افزایش تعداد دانه در محصولاتی همچون گندم و برنج است. پورمراد و همکاران (Pourmorad et al., 2018) نشان دادند که کاربرد اسید هیومیک به تنهایی تأثیری در افزایش تعداد دانه در خوشه گندم را نداشتند اما کاربرد توأم اسید هیومیک و اسید فولویک موجب افزایش ۹/۳۷ درصدی تعداد دانه در خوشه نسبت به شاهد گردید.

نتیجه‌گیری کلی: به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که: **الف**: تأثیر کاربرد محرک‌های رشد در شرایط تنش و بدون تنش خشکی می‌تواند کاملاً متفاوت بوده و می‌توان با کاربرد توام محرک‌های رشد، اثرات تنش خشکی را تا ۳۱/۹ درصد کاهش داد. **ب:** در شرایط آبیاری کامل و بدون تنش، به ترتیب تیمارهای مصرف توأم محرک‌های رشد> اسید هیومیک> اسید فولویک> عصاره جلبک دریایی> اسیدآمینه با افزایش ۲۲/۷، ۱۴/۳، ۶/۴، ۶/۳ و ۳/۴ درصدی نسبت به تیمار شاهد، بیشترین اثربخشی را داشتند. **ج:** در شرایط تنش خشکی، بیشترین تأثیر به‌ترتیب مربوط به تیمارهای مصرف توأم محرک‌های رشد> اسیدآمینه> عصاره جلبک دریایی> اسید فولویک> اسید هیومیک به‌ترتیب با افزایش ۳۱/۹، ۲۱/۳، ۱۵/۹، ۱۱/۹ و ۱۱/۱ درصدی نسبت به تیمار شاهد بود. **د:** توصیه می‌شود به منظور کاهش اثر منفی ناشی از اعمال تنش، مصرف توأم محلول‌پاشی اسیدآمینه با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله خروج از رزت و شروع گلدهی؛ کاربرد کود آبیاری اسیدهیومیک به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله از رشد (آبیاری دوم و خروج از رزت)؛ و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله خروج از رزت و شروع گلدهی توصیه می‌شود.

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی خصوصیات گیاه کلزا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	تعداد خورجین در شاخه اصلی	تعداد خورجین در شاخه فرعی	تعداد کل خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
تکرار	2	7.53 ns	ns 9.53	21.4 ns	57.3 ns	0.44 ns	0.02 ns	27240ns
آبیاری (کرت اصلی)	1	56. 5 ns	20.2 ns	69.4 ns	169ns	0.03 ns	0.38 ns	126736ns
خطا (کرت اصلی)	2	17. 8 ns	14.1 ns	33.4 ns	13.0 ns	0.44 ns	0.08 ns	48154ns
محرک رشد (کرت فرعی)	5	241^{**}	99.9^{**}	251^{**}	650^{**}	10.9^{**}	0.32^{**}	465997^{**}
آبیاری× محرک رشد	5	17.1 ns	7.12^{*}	29.7 ns	36.9 ns	2.89 ns	0.06 ns	80579^{**}
خطا (کرت فرعی)	20	18.8	2.60	19.7	25.5	1.61	0.02	9942
ضریب تغییرات (٪)	-	2.64	4.48	4.54	3.77	4.98	4.83	2.80

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم معنی‌داری، اثر معنی‌دار در سطح پنج درصد و در سطح یک درصد می‌باشد.

جدول ۲- اثر اصلی تیمارهای آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

	ارتفاع بوته	تعداد خورجین در شاخه اصلی	تعداد خورجین در شاخه فرعی	تعداد کل خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
نرمال	165 [a]	36.8[a]	99.2 [a]	136 [a]	25.5 [a]	3.3 [a]	3620 [a]
خشکی	162 [a]	35.3 [a]	96.4 [a]	131 [a]	25.4 [a]	3.1 [a]	3502 [a]

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف آماری مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD، تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۳- اثر اصلی تیمارهای محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

محرک های رشد	ارتفاع بوته	تعداد خورجین در شاخه اصلی	تعداد خورجین در شاخه فرعی	تعداد کل خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
شاهد	156 [d]	30.7 [d]	89.5 [d]	120 [e]	23.7 [c]	2.91 [d]	3181 [d]
اسید آمینه	165 [b]	35.8 [b]	100 [b]	136 [bc]	25.2 [bc]	3.36 [b]	3560 [bc]
اسید هیومیک	165[b]	39.7 [a]	100 [b]	140 [b]	25.3 [b]	3.18 [bc]	3588 [b]
اسید فولویک	159 [cd]	35.8 [b]	95.0 [c]	130 [cd]	24.8 [bc]	3.26 [bc]	3467 [c]
عصاره جلبک دریایی	163[bc]	32.7 [c]	93.2 [cd]	125 [de]	26.2 [ab]	3.16 [c]	3528 [bc]
مصرف توأم	175 [a]	41.5 [a]	107 [a]	149 [a]	27.7 [a]	3.61 [a]	4044 [a]

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف آماری مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD، تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

جدول ۴- تأثیر برهمکنش سطوح آبیاری و تیمارهای محرک رشد بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا

سطوح آبیاری	محرک‌های رشد	تعداد خورجین در شاخه اصلی	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)
نرمال	شاهد	32.0	3326 [d]
	اسید آمینه	36.0 [b]	3438 [cd]
	اسید هیومیک	40.7 [a]	3802 [b]
	اسید فولویک	35.3 [bc]	3539 [c]
	عصاره جلبک دریایی	32.7 [bc]	3537[c]
	مصرف توأم	44.0 [a]	4082 [a]
خشکی	شاهد	29.3 [d]	3036 [d]
	اسید آمینه	35.7 [b]	3682 [b]
	اسید هیومیک	38.7 [a]	3374 [c]
	اسید فولویک	36.3 [b]	3395 [c]
	عصاره جلبک دریایی	32.7 [c]	3519 [bc]
	مصرف توأم	39.0 [a]	4006 [a]

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف آماری مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD، تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

فهرست منابع

1. Aiyafar, S., Minab Poudineh, H., Forouzandeh, M. 2015. Effect of humic acid on qualitative and quantitative characteristics and essential oil of black cumin *(Nigella sativa* L.) under water deficit stress. DAV. Int. J. Sci, 4, 89-102.
2. El-Ghamry, A. M, Abd El–Hai, K. M., Ghoneem, K. M .2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clayey soil. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 3(2): 731-739
3. El-Said, M.A.A., Mahdy, A.Y., 2016. Response of two wheat cultivars to foliar application with amino acids under low levels of nitrogen fertilization. Middle East Journal of Agriculture Research. 5: 462-472.
4. Fayaz, F., Naderi Darbaghshahi, M., Shirani Rad, A.H. 2007. Evaluation of drought stress effects on yield and yield components of advanced rapeseed varieties at Esfahan region. New Finding in Agriculture, 1: 177-189. (In Persian)
5. Heidari, M., and Khahlil, S. 2014. Effect of humic acid and phosphorus fertilizer on seed and flower yield, hotosynthetic pigments and mineral elements concentration in sour tea (*Hisbiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Field Crop* Science. 45(2): 191-199. (In Persian)
6. Jian, H, Zhang, A., Ma, J., Wang, T., Yang, B., Shuang, L.S Liu, L. 2019. Joint QTL mapping and transcriptome sequencing analysis reveal candidate flowering time genes in *Brassica napus* L. BMC Genomics, 20: 21.
7. Popko, M., Wilk, R., Gorecki, H., 2014. New amino acid biostimulators based on protein hydrolysate of eratin. Molecules. 93:1012-1015.
8. Pourmorad, M., Malakouti, M. J. Tehrani, M. M. 2018. Study on the effect of humic acid and fulvic acid on the wheat yield and water use efficiency under drought stress. Journal of Water and Soil. 32 (5): 977-985. (In persian)
9. Rameeh, V. 2016. Correlation and path analysis in advanced lines of rapeseed *Brassica napus*) for yield components. Journal of Oilseed Brassica, 1: 56-60.
10. Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Bhatt, B.P., Zodape, S.T., and Patolia, J.S. 2008. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrition uptake of soybean (*Glycine max*) under rain-fed conditions. South African Journal of Botany. 75 (2): 351-355.

The effect of some organic acids on reducing the effects of drought stress on canola

Mohammad Passandideh[1*], Majid Rajaei[2], Hossein Zeinalzadeh-Tabrizi[3]

[1]Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil (Moghan), Iran mpassandideh@yahoo.com

[2]Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

[3]Assistant Professor, Crops and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil (Moghan), Iran

Abstract

Drought stress is one of the major environmental limiting factors for the successful production of canola, in Iran. One effective strategy to reduce the adverse effects of drought stress is to use growth biostimulants. To compare the effect of some plant growth biostimulants under drought stress conditions an experiment was conducted as a split-plot in a randomized complete block design with three replications at Moghan Agricultural Research Station in the 2018-2019 crop years. Treatments included the main factor of irrigation regime at two levels, and the sub-plots included six treatments; control, amino acid foliar application, humic acid with irrigation, fulvic acid foliar application, seaweed extract foliar application, and the combination of second, third, and fifth treatments. The results showed that the effect of growth biostimulants could be different in non-stress and drought stress conditions, and biostimulants can reduce the effects of drought stress. In regular irrigation, the combined treatment uses of growth stimulants> humic acid> fulvic acid > seaweed extract> amino acid increased by 22.7%, 14.3%, 6.4%, 6.3%, and 3.4%, respectively, compared to the control treatment and were most effective on

yield increase. In drought stress conditions, the highest effect was related to the combined use of growth stimulants> amino acids> seaweed extract> fulvic acid > humic acid, respectively, with an increase of 31.9%, 21.3%, 15.9%, 11.9%, and 11.1%, respectively, compared to the control treatment. It can be concluded that the application of the combined use of growth biostimulants including and amino acid, humic acid and seaweed extract in three growth period of canola (second irrigation, end of rossete stage and flowering initiation) while improving canola yield, can increase its tolerance to drought stress.

Keywords: Drought stress, Fulvic acid, Humic acid, Irrigation regime, Seaweed extract

تأثیر بیوچار بر بهبود فعالیت‌های میکروبی در یک خاک آلوده به تتراسایکلین

سیده ریحانه کشیک‌نویس رضوی[۱]، امیر فتوت[۲]، رضا خراسانی[۳]، امیر لکزیان[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد reyhaneh.razavi@mail.um.ac.ir

۲- استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

تجمع تتراسایکلین در محیط خاک به‌طور بالقوه می‌تواند سلامت اکوسیستم‌های خاکی را تهدید کند. امروزه، بیوچار به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک برای بهبود خصوصیات خاک استفاده می‌شود که ممکن است بر سرنوشت و رفتار آلاینده‌ها در خاک تأثیر بگذارد. تحقیق حاضر باهدف بررسی تأثیر کابرد بیوچار و بیوچار فعال‌شده با متانول بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک (تنفس میکروبی و زیست‌توده میکروبی) در خاک آلوده به تتراسایکلین انجام شده‌است. بنابراین، آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام‌شد. فاکتورها عبارت بودند از دو سطح بیوچار (پوست چوبی گردو (WBC) و بیوچار فعال‌شده با متانول (WBCM) در سطح صفر (K) و ۵ درصد وزنی) و دو سطوح تتراسایکلین (صفر (TC0) و ۴۰۰ (TC400) میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) که در زمان‌های ۱۰، ۳۰ و ۵۰ روز اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان‌داد تتراسایکلین تأثیر معنی‌داری ($P>0.05$) روی تنفس میکروبی نداشت اما باعث کاهش معنی‌دار زیست‌توده میکروبی (تا ۲۴ درصد) در زمان‌های ۱۰ و ۳۰ روز شد ($P<0.05$). کاربرد WBC و WBCM باعث شد اثر منفی تتراسایکلین روی زیست‌توده میکروبی تنها در زمان ۱۰ روز معنی‌دار باشد. به‌نظر می‌رسد کاربرد بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده می‌تواند به‌کاهش اثرات منفی تتراساکلین روی اکوسیستم‌های خاکی و بهبود سلامت خاک کمک کند.

واژگان کلیدی: آلاینده آلی، تنفس میکروبی، زیست‌توده میکروبی

مقدمه

امروزه، مصرف بیش از حد آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین باعث افزایش حضور آن در محیط خاک شده‌است. تخلیه غیر قانونی فاضلاب‌ها، استفاده از کودها و آب آبیاری آلوده به تتراسایکلین از راه‌های ورود آنتی‌بیوتیک تتراسایکلین به خاک هستند. تتراسایکلین با کاهش فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی خاک، مهار فعالیت باکتریایی و افزایش ژن‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی می‌تواند روی سلامت اکوسیستم‌های خاکی تأثیر بگذارد پان و چو (۲۰۱۷). افزایش ژن‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی در خاک یک خطر بالقوه برای سلامت انسان درنظر گرفته‌می‌شود. بنابراین ارائه اقدامات مؤثر در جهت کاهش اثرات منفی این آلاینده آلی روی فعالیت‌های میکروبی جامعه خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بیوچار محصول کربنی فرآیند پیرولیز بوده که می‌تواند به‌عنوان اصلاح‌کننده در مدیریت پایدار خاک استفاده‌شود. بیوچار خصوصیات منحصربفرد مانند سطح ویژه بالا، بار سطحی، تلخلخل، گروه‌های عاملی سطحی و ساختارهای آروماتیکی دارد. این خصوصیات که بیش‌تر تحت تأثیر ماده اولیه و دمای پیرولیز قرار می‌گیرد می‌تواند رفتار زیست‌محیطی انواع آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین را در محیط‌های مختلف تحت تأثیر قرار دهد بهشتی و همکاران (۲۰۱۸). علاوه‌براین، فعال‌سازی بیوچار یک تکنیک رایج به‌منظور اطمینان پیداکردن از تأثیر بیوچار روی تتراسایکلین در غلظت‌های بالای آنتی‌بیوتیک است. عامل فعال‌کننده معمولا محلول‌های اسیدی و بازی با غلظت‌های متفاوت هستند جینگ و همکاران (۲۰۱۴). تاکنون، اثرات مثبت بیوچار برروی کاهش اثرات منفی تتراسایکلین روی جامعه میکروبی خاک تنها در چند مطالعه (یو و همکاران، ۲۰۱۹؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۰) بررسی شده‌است. درک بهتر ازاثرات کاربرد بیوچار در خاک آلوده به تتراسایکلین بر روی کاهش اثرات منفی این آلاینده و بهبود فعالیت‌های میکروبی خاک نیازمند مطالعات بیش‌تری است. بنابراین در این مطالعه تأثیر کاربرد بیوچار پوست گردو و بیوچار فعال‌شده با متانول در یک خاک آلوده به تتراسایکلین روی کاهش اثرات منفی تتراسایکلین بر فعالیت‌های میکروبی خاک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه از لایه سطحی (۰-۳۰ سانتی متر) یک مزرعه کشاورزی واقع در مشهد در استان خراسان رضوی، شمال‌شرقی ایران جمع‌آوری و سپس به آزمایشگاه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده‌است. آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح بیوچار(تولیدشده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد از پوست چوبی گردو (WBC) و بیوچار چوبی فعال‌شده با متانول (WBCM) در سطح صفر (K) و ۵ درصد وزنی) و سطوح تتراسایکلین (صفر (TC0) و ۴۰۰ (TC400) میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) بود. ابتدا WBC و WBCM به‌خوبی با خاک مخلوط شدند. برای انتخاب سطوح غلظتی تتراسایکلین در مطالعات آزمایشگاهی به‌منظور بررسی تأثیر آلاینده بر روی فعالیت‌های میکروبی خاک غلظت آلاینده چند برابر بیش‌تر از غلظتی که در طبیعت وجود دارد در نظر گرفته می‌شود. بر مبنای منابع کمترین غلظت مؤثر بر روی کاهش فعالیت‌های میکروبی خاک سطح ۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تتراسایکلین بود. برای آلوده‌کردن نمونه‌ها به تتراسایکلین، ابتدا مقدار مناسب از آنتی‌بیوتیک در آب دیونیزه (به‌ازای هر یک کیلوگرم خاک، ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه استفاده شد.) حل و به نمونه‌ها اسپری شد. تیمارها در ظروف درب‌دار ریخته و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد با رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه به مدت ۱۰، ۳۰ و ۵۰ روز نگهداری شدند. پس از گذشت زمان‌های انکوباسیون، پارامترهای تنفس پایه میکروبی اندرسون (۱۹۸۲) و زیست‌توده میکروبی جنکینسون و لاد (۱۹۸۱) در نمونه‌ها اندازه‌گیری‌شد. برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹,۴ استفاده شد. رسم شکل‌ها در نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی انجام گرفت.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک مورد مطالعه

خصوصیات خاک	واحد	مقدار اندازه‌گیری شده
نیتروژن کل	$mg\ kg^{-1}$	۵۰۵/۱۳
فسفر قابل‌دسترس	$mg\ kg^{-1}$	۵/۰۹
پتاسیم قابل‌دسترس	$mg\ kg^{-1}$	۷۹/۶۲
مس قابل جذب	$mg\ kg^{-1}$	۰/۶۱
کربن آلی	%	۰/۲۹
کربنات کلسیم معادل	%	۰/۱۵
رطوبت ظرفیت زراعی (FC)	$g\ g^{-1}$	۱۵
هدایت الکتریکی (EC)	$dS\ m^{-1}$	۱/۵۸
pH	-	۷/۴۲
بافت خاک	-	لوم
رس	%	۲۲
سیلت	%	۳۴
شن	%	۴۴

نتایج و بحث

نتایج مربوط به برخی از خصوصیات اندازه‌گیری شده در WBC و WBCM به‌صورت خلاصه در جدول ۲ ارائه شده‌است. pH و محتوای کربن بالای WBC ممکن‌است ناشی‌از دمای پیرولیز بالا باشد. احمد و همکاران (۲۰۱۲) گزارش‌کردند که دمای بالای پیرولیز با آزادسازی عناصر قلیایی از ماده‌خام اولیه می‌تواند باعث افزایش pH و درصد کربن بیوچار شود. فعال‌سازی با متانول

pH بیوچار را تغییر نداد که می‌تواند به‌دلیل pH خنثی متانول بوده‌باشد. این درحالی است که در مطالعه لئو و همکاران (۲۰۱۸) محلول قلیایی KOH باعث افزایش pH بیوچار شده‌بود.

جدول ۲- برخی از خصوصیات بیوچار پوست گردو (WBC) و بیوچار فعال‌شده با متانول (WBCM)

	کربن	نیتروژن	هیدروژن	اکسیژن	$pH_{(1:10)}$	EC ($dS\ m^{-1}$)
	درصد					
بیوچار پوست گردو (WBC)	۸۴/۸	۰/۷	۱/۹۶	۳/۶	۸/۹	۴/۵
بیوچار فعال شده (WBCM)	۸۶/۳	۰/۵	۱/۹۳	۳/۹	۸/۵۹	۴/۵

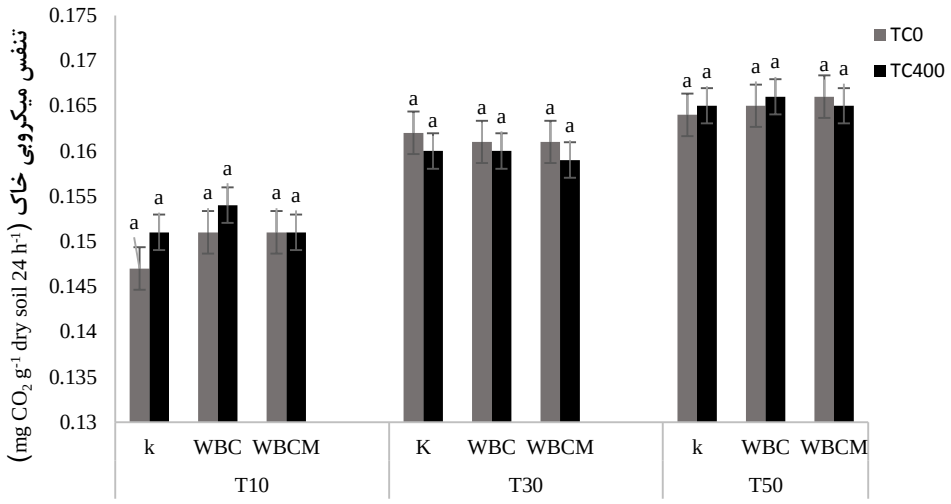
نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده و متقابل کاربرد اصلاح‌کننده (WBC و WBCM) و غلظت آنتی‌بیوتیک (TC0 و TC400) بر میزان تنفس پایه میکروبی و زیست‌توده میکروبی خاک در زمان‌های ۱۰، ۳۰ و ۵۰ روز در جدول ۳ ارائه شده‌است. نتایج اثر فاکتورهای آزمایشی نشان‌داد که اثرات ساده و متقابل تیمارها بر روی تنفس میکروبی خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار نبوده‌است. این درحالی‌است که همه فاکتورها تأثیر معنی‌دار ($P<0.05$) بر روی زیست‌توده میکروبی خاک داشتند.

جدول ۳- تجزیه واریانس میزان تنفس پایه و زیست‌توده میکروبی خاک در طول آزمایش

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تنفس پایه میکروبی			زیست‌توده میکروبی		
		T10	T30	T50	T10	T30	T50
بیوچار	۲	۰/۰۱۵^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۳۶۲/۰۲*	۲۱۸/۵۷*	۲/۰۹^{ns}
تتراسایکلین	۱	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۰۰۹^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۱۴۳۶۰/۰۲*	۶۶۷/۳۱*	۰/۶۹^{ns}
بیوچار×تتراسایکلین	۲	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۲۴۳/۳۶*	۲۸۵/۷۸*	۵/۸۲^{ns}
خطای آزمایش	۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۵۸	۰/۰۰۱	۱۰/۱۱	۹/۲۸	۱۳/۴۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۰۳۲	۴/۷۳۴	۶/۴۶۹	۱/۴۹	۱/۳۴	۱/۵۸

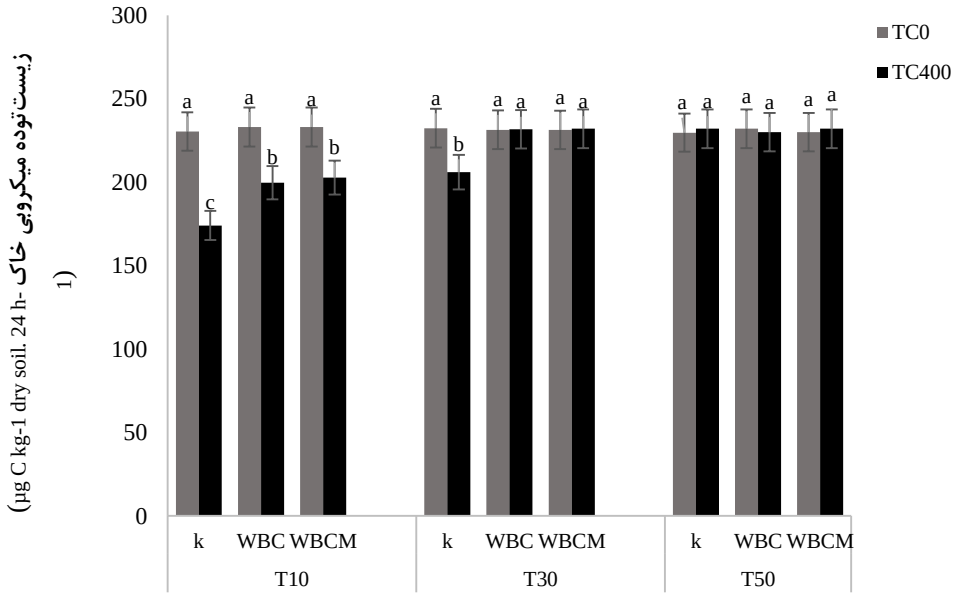
*: معنی‌دار در سطح پنج درصد ^{ns}: عدم تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد

شکل ۱ تأثیر متقابل بیوچار و تتراسایکلین را بر میزان تنفس پایه خاک نشان می‌دهد. نتایج نشان‌داد که اثرات متقابل سطوح آلودگی و کاربرد بیوچار در طول زمان انکوباسیون تأثیری روی میزان تنفس پایه میکروبی خاک نداشته‌است ($P<0.05$). مطالعات گزارش‌کردند به‌دلیل تغییر ساختار جامعه میکروبی در خاک آلوه به تتراسایکلین، تأثیر منفی این آلاینده روی گونه‌های منفرد در تنفس میکروبی خاک نشان‌داده نمی‌شود. همچنین بوهن و بک (۲۰۰۵). همچنین محتوای بالا مداده الی و رس خاک به دلیل تشکیل کمپلکس‌های پایدار با تتراسایکلین باعث کاهش دسترسی میکروارگانیسم‌های خاک به تتراسایکلین شده و تنفس میکروبی خاک کاهش پیدا نمی‌کند لیو و همکاران (۲۰۰۹). در تحقیق حاضر نیز محتوای بالای رس (جدول ۱) احتمالاً با ایجاد کمپلکس پایدار با تتراسایکلین توانسته‌است دسترسی میکروارگانیسم‌های خاک را به تتراسایکلین محدود کرده و تنفس پایه کاهش تغییر پیدا نکند. عدم تأثیر کاربرد بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده بر روی تنفس میکروبی خاک نیز می‌تواند به دلیل دمای بالای پیرولیز مربوط باشد که با خروج مواد سهل الوصول از ماده خام اولیه نتوانسته مواد غذایی لازم را برای رشد میکروبی فراهم کند و درنتیجه تنفس میکروبی خاک در طول آزمایش تغییر پیدا نکرده‌است (زاوالونی و همکاران، ۲۰۱۱).



شکل ۱- اثر متقابل تیمارهای بیوچار و تتراسایکلین بر تنفس میکروبی خاک (تیمارها شامل شاهد (K)، بیوچار پوست گردو (WBC)، بیوچار فعال‌شده با متانول (WBCM)، غلظت صفر تتراسایکلین (TC0) و غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (TC400) بودند که در زمان‌های ۱۰ (T10)، ۳۰ (T30) و ۵۰ (T50) روز اندازه‌گیری شدند.

شکل ۲ تأثیر متقابل بیوچار و تتراسایکلین را بر میزان زیست‌توده میکروبی خاک نشان می‌دهد. آلودگی خاک به تتراسایکلین باعث کاهش معنی‌دار ($P<0.05$) زیست‌توده میکروبی در زمان‌های ۱۰ و ۳۰ روز شد.



شکل ۱- اثر متقابل تیمارهای بیوچار و تتراسایکلین بر تنفس میکروبی خاک (تیمارها شامل شاهد (K)، بیوچار پوست گردو (WBC)، بیوچار فعال‌شده با متانول (WBCM)، غلظت صفر تتراسایکلین (TC0) و غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (TC400) بودند که در زمان‌های ۱۰ (T10)، ۳۰ (T30) و ۵۰ (T50) روز اندازه‌گیری شدند.

استفاده از WBC و WBCM به‌عنوان اصلاح‌کننده باعث شد اثرات منفی تتراسایکلین تنها در زمان ۱۰ روز روی کاهش زیست‌توده میکروبی خاک به‌میزان ۱۴/۷ و ۱۶/۵ درصد ($P<0.05$) معنی‌دار باشد. کاربرد بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده در خاک آلوده می‌تواند از طریق از طریق افزایش کربن آلی و چرخه مواد غذایی، فراهم کردن پناهگاه و زیستگاه برای میکروارگانیسم، تشکیل کمپلکس پایدار با آلاینده‌ها و کاهش دسترسی میکروارگانیسم به آلاینده باعث افزایش زیست‌توده میکروبی خاک شود. در این تحقیق مقایسه زیست‌توده میکروبی بین تیمارهای آلوده به تتراسایکلین و آلوده‌نشده نشان‌داد به دلیل تولید بیوچار در دمای بالا و از دست رفتن کربن و مواد غذایی تأثیر بیوچار از طریق فراهم آوردن مواد غذایی برای میکروارگانسیم در طول آزمایش کم بوده‌است. هالینگ-سورنسن و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند تتراسایکلین با داشتن ضریب توزیع بالا می‌تواند با محتوای ماده آلی کمپلکس‌های پایدار برقرار کرده و در نتیجه اثرات منفی تتراسایکلین روی جامعه میکروبی خاک کاهش پیدا کند. بنابراین در پژوهش حاضر اثرات مثبت کاربرد بیوچار به عنوان اصلاح‌کننده روی بهبود زیست‌توده میکروبی در خاک آلوده به تتراسایکلین به دلیل افزایش محتوای ماده آلی خاک بوده‌است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که آلودگی خاک با تتراسایکلین تأثیر منفی بر روی میزان زیست‌توده میکروبی خاک داشت. کاربرد بیوچار پوست گردو و بیوچار فعال‌شده با متانول اگرچه در خاک آلوده‌نشده تأثیری روی میزان تنفس‌پایه میکروبی و زیست‌توده میکروبی خاک نداشت اما آنها توانستند اثرات منفی تتراسایکلین را بر رویی زیست‌توده میکروبی خاک کاهش دادند. بنابراین به‌نظر می‌رسد کاربرد بیوچار در خاک‌های آلوده به تتراسایکلین به عنوان یک تکنیک مقرون به‌صرفه می‌تواند روی سلامت خاک تأثیر مثبت داشته‌باشد.

فهرست منابع

Ahmad, M., Lee, S. S., Dou, X., Mohan, D., Sung, J.-K., Yang, J. E., Ok, Y. S. (2012). Effects of pyrolysis temperature on soybean stover-and peanut shell-derived biochar properties and TCE adsorption in water. *Bioresource Technology, 118: 536-544.*

Anderson J.P.E. (1982). Soil respiration. In: Miller R.H and Keeney D.R (eds). *Methods of soil analysis part 2. Chemical and Microbiological Properties. The American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin,* 831-871.

Beheshti, M., Etesami, H., Alikhani, H. A. (2018). Effect of different biochars amendment on soil biological indicators in a calcareous soil. *Environmental Science and Pollution Research, 25(15): 14752-14761.*

Halling-Sørensen, B., Sengeløv, G., Ingerslev, F., Jensen., L. B. (2003). Reduced Antimicrobial Potencies of Oxytetracycline, Tylosin, Sulfadiazin, Streptomycin, Ciprofloxacin, and Olaquindox Due to Environmental Processes. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 44(1): 7-16.*

Jenkinson D.S and Ladd J.N. (1981). Microbial biomass in soil: Measurment and turnover. *In: Paul E.A and Ladd J.N (eds). Soil Biochemistry, New York, USA, 5:415-471.*

Jing, X.-R., Wang, Y.-Y., Liu, W.-J., Wang Y.-K., Jiang, H. (2014). Enhanced adsorption performance of tetracycline in aqueous solutions by methanol-modified biochar. *Chemical Engineering Journal, 248: 168-174.*

Liu, F., Ying, G.-G., Tao, R., Zhao, J.-L., Yang, J.-F., Zhao, L.-F. (2009). Effects of six selected antibiotics on plant growth and soil microbial and enzymatic activities. *Environmental Pollution, 157(5): 1636-1642.*

Liu, HY., Song, C., Zhao, S., Wang, SG. (2020). Biochar-induced migration of tetracycline and the alteration of microbial community in agricultural soils. *Science of The Total Environment, 706: 136086.*

Luo, J., Li, X., Ge, C., Müller, K., Yu, H., Huang, P., Li, J.T., sang, DCW., Bolan, NS., Rinklebe, J., Wang, H. (2018). Sorption of norfloxacin, sulfamerazine and oxytetracycline by KOH-modified biochar under single and ternary systems. *Bioresource Technology, 263: 385-392.*

Pan, M. and Chu L. M. (2016). Adsorption and degradation of five selected antibiotics in agricultural soil. *Science of The Total Environment, 545-546: 48-56.*

Thiele-Bruhn, S. and Beck, I.-C. (2005). Effects of sulfonamide and tetracycline antibiotics on soil microbial activity and microbial biomass. *Chemosphere, 59(4): 457-465.*

Yue, Y., Shen, C., Ge, Y. (2019). Biochar accelerates the removal of tetracyclines and their intermediates by altering soil properties. *Journal of Hazardous Materials, 380: 120821.*

Zavalloni, C., Alberti, G., Biasiol, S., Vedove, G. D., Fornasier, F., Liu, v., Peressotti, A. (2011). Microbial mineralization of biochar and wheat straw mixture in soil: A short-term study. *Applied Soil Ecology, 50: 45-51.*

The Effect of Biochar on Improvement in Microbial Activities in a Tetracyclie-polluted Soil

Keshik nevis razavi[*1], R., Fotovat[2], A., Khorassani[3], R., Lakzian[2], A.

1- M. Sc. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Abstract
Tetracycline accumulation in soil environment potentially can threaten agroecosystem safety. Nowadays, biochar is widely used as a soil amendment to improve soil properties, which might affect the fate and behavior of contaminants in soil. The present research aimed to investigate the effect of biochar and methanol-activated biochar application on improvement of soil microbial activities (soil respiration and mictobial biomass) in a tetracycline-polluted soil. A factorial experiment was conducted as a completely randomized design. Factors were included two biochar levels (0% (K), 5% walnut shell biochar (WBC), and methanol-activated biochar (WBCM)), two tetracycline levels (0 (TC0) and 400 (TC400) mg/kg soil), which were measured at 10, 30, and 50 days. The results revealed that WBC and WBCM had no significant effect on microbial respiration ($P<0.05$), but it had significant decrease (up to 24%) on microbial biomass at 10 and 30 days ($P<0.05$). WBC and WBCM applications caused the negative effects of tetracycline on soil microbial biomass to be only evident at 10 days. It seems that biochar application as an amendment may ameliorate the adverse effects of tetracycline on soil ecosystems and improve its health.

Keywords Organic pollutant, microbial respiration, microbial biomass

[*] Corresponding author, Email: reyhaneh.razavi@mail.um.ac.ir

بررسی ژن مقاومت به تری‌متوپریم در *E. coli* جدا شده از رودخانه زرجوب

محمدباقر فرهنگی[۱]، نسرین قربان‌زاده[۲]، شاهرخ قوتی[۳]

۱-استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان و وابسته پژوهشی دپارتمان مهندسی آب و محیط‌زیست، پژوهشکده حوضه آبی خزر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. (E-mail: m.farhangi@guilan.ac.ir)

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۳- استادیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

چکیده

فاضلاب‌های شهری و پساب‌های کشاورزی از مهم‌ترین منابع ورود ریز جانداران مقاوم به آنتی‌بیوتیک و ژن‌های مقاومت به آنها در محیط هستند. آلودگی رودخانه‌ها به باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک سبب پخش ژن‌های مقاومت در محیط و ورود آنها به زنجیره غذایی می‌شود که تهدیدی جدی برای سلامت عمومی است. هدف این پژوهش بررسی حضور ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک تری‌متوپریم در باکتری *ایشریشیا کولای* جدا شده از رودخانه زرجوب بود. برای بررسی تغییرات زمانی، از آب رودخانه در نقطه خروجی شهر رشت و در ماه‌های میانی چهار فصل سال ۱۳۹۸ نمونه‌برداری شد. نخست، کلی‌فرم‌های آب و رسوب پس از رقیق‌سازی در محیط کشت جدایشی ائوزین-متیلن بلو (EMB) کشت شدند و کلنی سبز با جلای فلزی به عنوان باکتری *ایشریشیا کولای* جداسازی شد. سپس حضور ژن مقاومت به تری‌متوپریم؛ *dfrA17* و *dfrA1*در این باکتری مورد بررسی قرار گرفت. از واکنش PCR برای تکثیر DNA باکتری استفاده شد. نتایج نشان داد که *ایشریشیا کولای* جدا شده از نمونه‌های آب و رسوب در تابستان دارای ژن *dfrA17* و باکتری جدا شده از نمونه آب در پاییز دارای ژن *dfrA1* بودند. بنابراین استفاده از آب رودخانه زرجوب در آبیاری و آبزی‌پروری در پایین دست، سبب ورود این ژن-های مقاومت به زنجیره غذایی خواهد شد.

واژگان کلیدی: *ایشریشیا کولای*، ژن مقاومت آنتی‌بیوتیکی، *dfrA1*، *dfrA17*

مقدمه

رودخانه‌ها از مهم‌ترین منابع تامین کننده آب شرب و کشاورزی هستند و آلودگی آن‌ها تهدیدی برای زندگی انسان و دیگر جانداران محسوب می‌شود. از عوامل آلودگی رودخانه‌ها می‌توان به حضور بیش از اندازه باکتری‌های مختلف در آب اشاره کرد. مقاوم شدن باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها در محیط‌های آبی چالش جدی بهداشت عمومی است (Singh *et al.*, 2019). محیط‌های آبی به ویژه رسوبات ممکن است به عنوان مخزن دارای باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک و یک مسیر برای تکثیر انتشار مقاومت آنتی‌بیوتیکی در محیط‌ها باشند (Suzuki *et al.*, 2017). این نقش بیشتر به دلیل در دسترس بودن مواد غذایی آلی و معدنی محلول در محیط آب است که باعث افزایش تکثیر باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک می‌شود. برای جلوگیری و کنترل این نوع آلودگی، شناسایی درست منابع تولید و پخش آنتی‌بیوتیک‌ها، باکتری‌ها و ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها در رودخانه‌های شهری ضروری است.

آنتی‌بیوتیک‌ها به طور گسترده در درمان بیماری‌های انسانی و دامی به کار می‌روند. اما در دهه‌های اخیر از آن‌ها در

مقادیر فزاینده‌ای استفاده شده است. با وجود سودمندی آن‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها به دلیل پیامدهای منفی احتمالی بر زیست‌بوم و سلامت انسان به عنوان آلاینده در محیط‌های آبی شناخته شده‌اند (Wang *et al.*, 2020). چراکه سبب مقاوم شدن باکتری‌ها در فرایند انتخاب طبیعی و دشواری فرآیند درمان می‌شوند. مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌ها جان انسان‌ها و سایر جانداران را تهدید می‌کند (McArthur *et al.*, 2016). آنتی بیوتیک ها ممکن است از پساب بیمارستان‌ها، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و ... وارد آب‌ها شوند (Barkovskii *et al.*, 2015). هسو و همکاران (۲۰۱۵) در نمونه آب رودخانه‌ای در تایوان هفت ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک شامل ژن‌های bla_{TEM}، *tet(B)*، *str(A)*، *cmlA*، *sul1* و *mecA* که به ترتیب مقاومت به آنتی-بیوتیک‌های بتا-لاکتام، تتراسایکلین، استرپتومایسین، کلرامفنیکل، سولفونامید و متی‌سیلین را ایجاد می‌کنند، شناسایی کردند (Hsu *et al.*, 2015).

بطور کلی مقاومت در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها توسط ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک[۱] (ARGs) تعیین می‌شود (Zhang *et al.*, 2009). باکتری‌ها ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها را از محیط و بیشتر از راه روش انتقال افقی ژن[۲] به دست می‌آورند که یک فرایند رایج در اکوسیستم‌های آبی و رسوبات است و باعث گسترش ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک از باکتری‌هایی که چنین ژنی را دارند به دیگر باکتری‌های بیماری‌زا و غیربیماری‌زا می‌شود (Berglund, 2015). روی‌هم رفته، بسیار روشن است که محیط‌های آبی آسان کننده پخش ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها هستند. بنابراین، برای اطلاع از عوامل و شرایط محیطی موثر در تکامل و گسترش ژن‌های مقاومت در محیط بررسی آنها در باکتری شاخص آلودگی آب‌ها مانند *ایشریشیا کولای*[۳] (*E. coli*) در رودخانه‌ها برای کاهش پخش و تکامل مقاومت آنتی‌بیوتیکی بسیار مهم است.

رودخانه زرجوب به دلیل عبور از شهر رشت، محل تخلیه فاضلاب و پساب شهری و احتمالاً بیمارستانی است و به همراه رودخانه گوهررود منبع آلودگی اصلی تالاب انزلی است (باقری‌نیا و همکاران، ۱۳۹۵). به همین دلیل ممکن است ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها به این محیط وارد شده باشند. بنابراین این پژوهش با هدف بررسی حضور ژن مقاومت به آنتی-بیوتیک تری‌متوپریم در باکتری شاخص *ایشریشیا کولای* در رودخانه زرجوب انجام شد. برای مطالعه توزیع ژن نمونه‌برداری از آب رودخانه در ماه‌های میانی چهار فصل از یک سال (۱۳۹۸) و در نقطه خروجی رودخانه از شهر انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از رودخانه زرجوب و جداسازی باکتری

آنالیز ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک تری‌متوپریم در باکتری *ایشریشیا کولای* جدا شده از رودخانه زرجوب انجام شد. برای جداسازی باکتری، نمونه‌برداری از آب رودخانه در جایی که رودخانه از شهر خارج می‌شد با مختصات جغرافیایی طول ً۴۹°۳۴′۲۰ شرقی و عرض ً۳۷°۱۸′۴۸ شمالی انجام شد. برای بررسی نوسان‌های فصلی حضور ژن مقاومت به تری-متوپریم در باکتری، نمونه‌برداری از رودخانه در ظروف سترون در ماه‌های میانی چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان ۱۳۹۸ انجام شد و نمونه‌های جمع‌آوری شده بر روی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند.

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های آب به مدت یک دقیقه سانتریفیوژ (۱۰۰۰ دور در دقیقه) شدند تا ذرات شناور احتمالی جدا شوند. سپس رقت مناسبی از آب و سوسپانسیون ذرات ته‌نشین شده در نمک سدیم پیروفسفات ۰/۱۸

---

۱. Antibiotic resistant genes

۲. Horizontal gene transfer

۳ *Escherichia coli*

درصد، در محیط کشت جدایشی ائوزین-متیلن بلو (EMB) مایه‌زنی شد. پس از ۲۴ گرماگذاری در دمای ۳۷ درجه سلسیوس، کلنی‌های سبز با جلای فلزی به عنوان باکتری *E. coli* از این محیط جدا شده و با کشت خطی در محیط جدید خالص‌سازی شدند (صفری سنجانی و همکاران، ۱۳۹۰).

شناسایی و استخراج DNA

برای استخراج DNA از روش جوشاندن استفاده شد. یک پرگنه از تک کلونی‌های *ایشریشیا کولای* کشت شده به روش خطی در ۴۰۰ میکرولیتر آب دوبار تقطیر سترون در میکروتیوب ریخته شد. سوسپانسیون حاصل به مدت ۵ دقیقه با دور ۸۰۰۰ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شد. ۱۰۰ میکرولیتر NaOH ۵۰ میلی‌مولار داخل میکروتیوب ریخته و محیط یکنواخت شد. سپس میکروتیوب‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در بن‌ماری و در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس انکوبه شدند. پس از هم دما شدن در محیط، ۵۰ میکرولیتر بافر تریس ۲۰ میلی‌مولار به میکروتیوب ها اضافه شد. میکروتیوپ ها در دمای ۴ درجه سلسیوس با دور ۱۲۰۰۰ سانتریفیوژ شدند و محلول رویی حاوی DNA به میکروتیوب سترون جدید انتقال داده شد. غلظت و خلوص DNA استخراج شده توسط دستگاه نانودراپ[۱] اندازه‌گیری و ارزیابی شد (شهبازی و نارنجی، ۱۳۹۳).

آغازگرهای دو ژن *dfrA17* و *dfrA1* با استفاده از توالی ژنی موجود در سایت NCBI و نرم‌افزار اختصاصی طراحی پرایمر Primer permier نسخه ۵ برای جستجوی ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک تری‌متوپریم در باکتری *ایشریشیا کولای*، طراحی و بررسی شدند. توالی آغازگرهای منتخب به صورت *AF169041F* (AATGGCGTAATCGGTAGTGGT) و *AF169041R* (TTCTATTGAAGGAAAAACTAGGACG) و *X00926F-1* (TACCCAACCGAAAGTATGCG) و *X00926F-2* (GAATCCGTTGCTGCCACTTGTT) بود.

انجام واکنش PCR[۲]

واکنش PCR برای شناسایی و تکثیر ژن‌های *dfrA17* و *dfrA1* مقاوم به آنتی بیوتیک در باکتری *E. coli* در حجم نهایی ۲۵ میکرولیتر انجام شد. ۱۱ میکرولیتر Master mix (سینا ژن) و ۱۰ میکرولیتر آب مقطر استریل، یک میکرولیتر از هر پرایمر رفت و برگشت با غلظت ۵ پیکامول و ۲ میکرولیتر از DNA الگو به ازای هر واکنش اضافه شد. واکنش PCR برای ژن‌های *dfrA17* و *dfrA1* به ترتیب مطابق جدول ۱ بهینه‌سازی و انجام شد. محصولات PCR جهت بررسی بر روی ژل آگارز ۱/۵ درصد الکتروفورز و پس از رنگ‌آمیزی با اتیدیوم برماید زیر پرتو فرابنفش مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول .Error! No text of specified style in document۱- **فرایند PCR در دستگاه ترموسایکلر برای ژن‌های *dfrA17* و *dfrA1***

dfrA17	دما (درجه سلسیوس)	زمان (ثانیه)	چرخه
Primary denaturation	۹۵	۲۴۰	۱
Denaturation	۹۵	۳۰	۳۵
Annealing	۵۸	۲۵	
Extension	۷۲	۲۰	
Final Extension	۷۲	۶۰	۱

[۱] Nano Drop

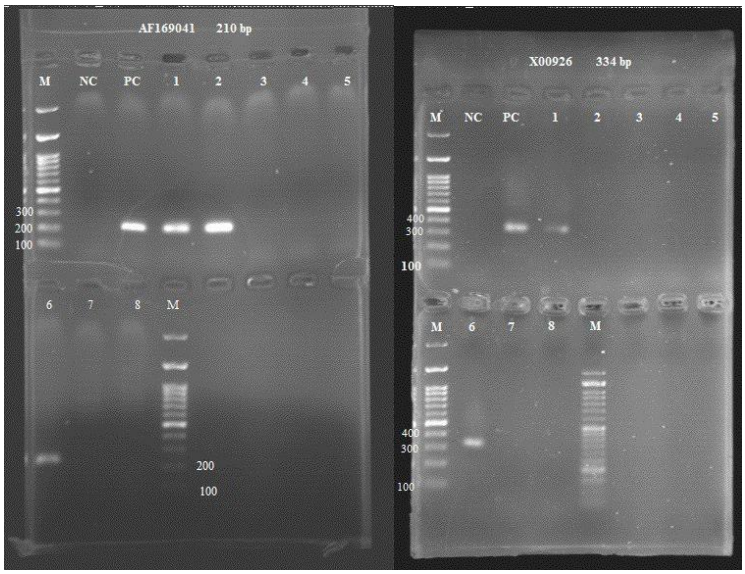
[۲]. Polymerase chain reaction

dfrA1			
Primary denaturation	۹۵	۲۴۰	۱
Denaturation	۹۴	۳۰	
Annealing	۵۷	۳۰	۳۷
Extension	۷۲	۳۰	
Final Extension	۷۲	۱۸۰	۱

نتایج و بحث

ژنوم باکتری *ایشریشیا کولای* جدا شده از آب و رسوب در هر چهار فصل سال برای دو ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک تری-متوپریم؛ *dfrA17* و *dfrA1* آنالیز شدند. آنالیز ژن *dfrA17* نشان داد که باکتری‌های *E. coli* جدا شده از آب و رسوب در فصل تابستان (به ترتیب ستون ۲ و ۱ در شکل –۱ سمت چپ) دارای ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک تری‌متوپریم بودند. آنالیز ژن *dfrA1* نیز نشان داد که باکتری‌های *E. coli* جدا شده از رسوب فصل تابستان (ستون ۱ در شکل ۱- سمت راست) و جدا شده از نمونه آب فصل پاییز (ستون ۶ در شکل ۱-سمت راست) دارای ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک تری‌متوپریم بودند. این مشاهده‌ها نشان دهنده آن است که *E. coli* به عنوان شاخص کلی‌فرم‌ها رفتار متفاوتی از نظر دارا بودن ژن مقاومت نشان می‌دهد که علت آن می‌تواند تغییرات دمایی (تغییر فصل) و یا کاهش ورود فاضلاب‌های شهری در این دو فصل به رودخانه باشد.

بررسی آنالیز دو ژن *dfrA17* و *dfrA1* بیانگر آن است که فصل تابستان نقش مهمی در کسب یا دارا بودن ژن مقاومت به آنتی‌بیوتیک تری‌متوپریم در باکتری *E. coli* جدا شده از رسوب دارد. در پژوهش‌ها افزایش تعداد کلی‌فرم‌ها و *E. coli* در آب رودخانه در تابستان گزارش شده است و این افزایش در رسوبات تا ۳۰۰ برابر بیشتر نیز بوده است که هشدار بزرگی برای امکان انتقال ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک نیز هست (Purohit *et al.*, 2020). تغییرات فصلی به واسطه تغییر دما و pH، از عواملی هستند که بر انتقال پلاسمید و مقاومت آنتی‌بیوتیکی اثر می‌گذارند به طوری که در فصول سرد سال انتقال ژن مقاومت کمتر از فصول دیگر است (Awad *et al.*, 2014). ضمن این‌که کاهش سرعت رشد باکتری‌ها در زمستان نیز در این راستا تاثیرگذار است (Freixa *et al.*, 2016). در رودخانه‌ای در کوبا تغییر فصل به عنوان فاکتور مهم در حضور و فراوانی ژن‌های مقاومت به آنتی‌بیوتیک و همچنین انتقال آن‌ها در فصول مرطوب در مقایسه با فصول خشک گزارش شد (Knapp *et al.*, 2012). بررسی فراوانی ژن‌های مقاومت به تتراسایکلین، فلوروکینولون و سولفونامید در رودخانه‌ای در چین نیز نشان از بالاتر بودن آن‌ها در تابستان در مقایسه با زمستان را داشت (Guo *et al.*, 2018).



شکل ۱- الکتروفورز آگارز محصولات PCR **ژن** *dfrA17* **(چپ) و ژن** *dfrA1* **(راست): به ترتیب از چپ به راست،** M**: مارکر** 100bp**،** NC**:** **کنترل منفی و** PC**: کنترل مثبت و ستون‌های ۱ تا ۸ ایزوله‌های** *ایشریشیا کولای* **جدا شده از آب و رسوب در چهار فصل سال (به ترتیب ۱ و ۲: نمونه رسوب و آب تابستان، ۳ و ۴: نمونه رسوب و آب زمستان، ۵ و ۶: نمونه رسوب و آب پاییز و ۷ و ۸: نمونه رسوب و آب بهار).**

در ایران مقاومت آنتی‌بیوتیکی در باکتری‌های گرم-منفی به ویژه *E. coli* رو به افزایش است. در گیلان نیز *E. coli* دارای ژن بتالاکتاماز (bla_{TEM}) ردیابی و گزارش شده است. حقیقت‌پناه و همکاران (۲۰۱۶) پس از بررسی نمونه‌های بیمارستانی در بیمارستان‌های رشت دیدند که به ترتیب ۷۹/۳ سویه‌های *E. coli* جدا شده از نمونه ادرار بیماران و ۹۰ درصد سویه‌های جدا شده از بخش‌های دیگر (خون و زخم) به آموکسی‌سیلین مقاوم بودند. نیکوگفتار رنجبر و همکاران (۱۳۹۵) پس از بررسی ۱۲۰ نمونه از پساب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب قم در فصول بهار، تابستان و زمستان دیدند که ۵۶ درصد باکتری‌های *E. coli* جدا شده در فصل بهار به آنتی‌بیوتیک‌های آمپی‌سیلین، پنی‌سیلین G و تری‌متوپریم-سولفامتوکسازول مقاوم بودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که فاضلاب می‌تواند منبع مهم گسترش سویه‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در محیط باشد. همچنین حضور ژن bla_{TEM} در چراگاه‌ها و خاک‌های کشاورزی پیرامون معادن در استان همدان نیز بررسی شد و ۵ جدایه دارای این ژن شناسایی شدند که حداقل به یک آنتی‌بیوتیک مقاوم بودند (یونسی و همکاران، ۱۳۹۶).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش پیامد تغییرات فصلی بر حضور ژن مقاومت به تری‌متوپریم در باکتری شاخص *E. coli* در رودخانه زرجوب رشت بررسی شد. در نمونه‌های آب تابستان و پاییز و نمونه رسوب تابستان ژن‌های مقاومت به این آنتی‌بیوتیک (*dfrA17* و *dfrA1*) در باکتری شناسایی شدند. بنابراین به نظر می‌رسد در فصل گرم سال با کاهش دبی ورودی آب، شرایط رشد و تکثیر باکتری فراهم شده و سبب بقا و حضور ژن مقاومت به این آنتی‌بیوتیک در باکتری‌ها شده است. رسوبات نیز به عنوان مخزن باکتری‌های حامل ژن مقاوم به آنتی‌بیوتیک عمل کرده به طوری‌که در پاییز در نمونه آب همچنان ژن مقاومت یافت شد. طبق نتایج به نظر می‌رسد آب این رودخانه در فصل تابستان تهدیدی برای محیط زیست آبی پایین دست خود مانند تالاب انزلی باشد و احتمالاً استفاده از آب رودخانه در آبیاری و آبزی‌پروری سبب ورود ژن‌های مقاومت به زنجیره

غذایی خواهد شد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از پژوهشکده حوضه آبی خزر به دلیل حمایت مالی از انجام این پژوهش سپاس‌گزاری می‌نمایند.

فهرست منابع

باقری نیا، ع.، دادفر، س.، بابایی، م.، مقسمی، م. (۱۳۹۵). بررسی اثرات توسعه شهرها بر آلودگی رودخانه های درون شهری (نمونه موردی: رودخانه های زرجوب و گوهر رود رشت)، دومین کنفرانس ملی توسعه پایدار در سیستم های مهندسی انرژی، آب و محیط زیست، تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

شهبازی، ب.، نارنجی، ه. (۱۳۹۳). مقایسه چهار روش استخراج DNA از باکتری های گرم منفی و گرم مثبت، مجله علوم پزشکی زانکو، ۱۵ (۴۵).

صفری سنجانی، ع.ا.، شریفی، ز.، صفری سنجانی، م. (۱۳۹۰). روشهای آزمایشگاهی در میکروبیولوژی خاک، چاپ اول انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۴۵۷ صفحه.

نیکوگفتار رنجبر، س.، پوربابایی، ا.ع.، داوری، ک. (۱۳۹۵). فراوانی جدایه های کلیفرم مقاوم به آنتی بیوتیک درفاضلاب شهری قم. مجله دانشگاه علوم پزشکی قم. ۱۰(۱۰)، ۶۹-۷۷.

یونسی، ن.، صفری سنجانی، ع.ا.، خداکرمیان، غ. (۱۳۹۶). ردیابی ژن بتالاکتاماز در باکتری های جداشده از خاک های کشاورزی، چراگاه و معدن پیرامون معادن استان همدان، ایران. زیست شناسی میکروارگانیسم ها. ۶(۲۳)، ۳۵-۴۸.

Allen, H.K., Donato, J., Wang, H.H., Cloud-Hansen, K.A., Davies, J., Handelsman, J. (2010). Call of the wild: antibiotic resistance genes in natural environments. *Nature Reviews Microbiology*, 8(4), 251-259.

Awad, Y.M., Kim, S.C., Abd El-Azeem, S.A.M., Kim, K.H., Kim, K.R., Kim, K., Jeon, C., Lee, S.S., and Ok, Y.S. (2014). Veterinary antibiotics contamination in water, sediment, and soil near a swine manure composting facility. *Environmental Earth Science*, 71, 1433–1440.

Barkovskii, A., Babb, C., Hurley, D., Shin, E. (2015). Origins and environmental mobility of antibiotic resistance genes, virulence factors and bacteria in a tidal creek's watershed. *Journal of applied microbiology*, 118(3), 764-776.

Berglund B. (2015). Environmental dissemination of antibiotic resistance genes and correlation to anthropogenic contamination with antibiotics. *Infection Ecolology and Epidemiology*, 5, 28564.

Cantón, R., González-Alba, J.M., Galán, J.C. (2012). CTX-M enzymes: origin and diffusion. *Frontiers in microbiology*, 3, 110.

Freixa, A., Ejarque, E., Crognale, S., Amalfitano, S., Fazi, S., Butturini, A., and Romaní, A.M. (2016). Sediment microbial communities rely on different dissolved organic matter sources along a Mediterranean river continuum. *Limnology and Oceanography*, 61, 1389-1405.

Guo, X.P., Liu, X., Niu, Z.S., Lu, D.P., Zhao, S., Sun, X.L., Wu, J.Y., Chen, Y.R., Tou, F.Y., Hou, L. and Liu, M. (2018). Seasonal and spatial distribution of antibiotic resistance genes in the sediments along the Yangtze Estuary, China. *Environmental Pollution*, 242, 576-584.

Haghighatpanah, M., Mozaffari Nejad, A.S., Mojtahedi, A., Amirmozafari, N., and Zeighami, H. (2016). Detection of extended-spectrum β-lactamase (ESBL) and plasmid-borne bla CTX-M and bla TEM genes among clinical strains of *Escherichia coli* isolated from patients in the north of Iran. *Journal of Global Antimicrobal Resistance*, 7, 110–113.

Hsu, C.Y., Hsu, B.M., Ji, W.T., Chang, T.Y., Kao, P.M., Tseng, S.F., Shen, T.Y., Shih, F.C., Fan, C.W., Liu, J.H. (2015). A potential association between antibiotic abuse and existence of related resistance genes in different aquatic environments. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(1), 2235.

Knapp, C.W., Lima, L., Olivares-Rieumont, S., Bowen, E., Werner, D., and Graham, D.W. (2012). Seasonal variations in antibiotic resistance gene transport in the Almendares River, Havana, Cuba. *Frontiers in Microbiology*. 3, 396.

McArthur, J.V., Fletcher, D., Tuckfield, R.C., and Baker-Austin, C. (2016). Patterns of multi-antibiotic-resistant Escherichia coli from streams with no history of antimicrobial inputs. *Microbial Ecology*, 72(4), 840-850.

Purohit, M., Diwan, V., Parashar, V., Tamhankar, A.J. and Lundborg, C.S. (2020). Mass bathing events in River Kshipra, Central India-influence on the water quality and the antibiotic susceptibility pattern of commensal *E. coli*. *Plos one*, 15(3), 0229664.

Singh, R., Singh, A.P., Kumar, S., Giri, B.S. and Kim, K.H. (2019). Antibiotic resistance in major rivers in the world: a systematic review on occurrence, emergence, and management strategies. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1484-1505.

Suzuki, S., Pruden, A., Virta, M., Zhang, T. (2017). Antibiotic resistance in aquatic systems. *Frontiers in microbiology*, 8, 14.

Wang, G., Zhou, S., Han, X., Zhang, L., Ding, S., Li, Y., Zhang, D., and Zarin, K. (2020). Occurrence, distribution, and source track of antibiotics and antibiotic resistance genes in the main rivers of Chongqing city, southwest China. *Journal of Hazardous Materials*, 389, 122110.

Zhang, X.-X., Zhang, T., Fang, H.H. (2009). Antibiotic resistance genes in water environment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82(3), 397-414.

Evaluation of Trimethoprim Resistance Gene in *E. coli* Isolated from Zarjoub River

Mohammad Bagher Farhangi[1], Nasrin Ghorbanzadeh[2], Shahrokh Ghovvati [3]

1- Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of agricultural Science, and Water and Environmental Engineering Department, Caspian Sea Basin Research Institute, University of Guilan, Rasht, Iran (E-mail: m.farhangi@guilan.ac.ir)

2- Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran.

3- Assistant Professor, Animal Science Department, Faculty of agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran

Abstract

Municipal wastewater and agricultural effluents are the most important resources of antibiotic resistant microorganisms and genes in the environment. Contamination of rivers with antibiotic-resistant bacteria grounds the antibiotic resistance gene to spread in the environment and their enterance to the food chain, which is a serious threat to public health. The aim of this study was to investigate the presence of trimethoprim resistance genes in *Escherichia coli* isolated from Zarjoub River. To study the temporal variations, water sampling was carried out at the outlet of River from Rasht city in the middle months of four seasons, in 2019-2020. First, water and sediment coliform bacteria were cultured in Eosin-Methylene Blue (EMB) selective medium, and the colony with green metalic sheen was isolated and re-streaked as *Escherichia coli*. Then, the presence of trimethoprim resistance genes; *dfrA17* and *dfrA1* in *E. coli* was investigated. PCR reaction was used to amplify bacterial DNA. Result showed that *E. coli* isolated from water and sediment samples in summer contained *dfrA17* gene and bacteria isolated from water in autumn had *dfrA1* gene. Therefore, the use of Zarjoub River water in irrigation and aquaculture at downstream will introduce these antibitic resistance genes into the food chain.

Keywords: Antibiotic resistance gene, *Escherichia coli*, *dfrA1*, *dfrA17*.

مطالعه قابلیت انحلال زیستی کانی‌های سیلیکاتی پتاسیم توسط پریفایتون‌های سطح خاک برخی از شالیزارهای استان گیلان

شهرزاد زند پارسا[۱]، متین علیبخشی فرد[۱]، حسینعلی علیخانی[۲*]، حسن اعتصامی[۳]، هادی اسدی رحمانی[۴]، سمیه امامی[۵]

*استاد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (Halikhan@ut.ac.ir)

[۱، ۲، ۳، ۵] به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، استادیار و محقق پسادکتری گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۴] استاد، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

چکیده

پریفایتون معمولاً در بسیاری از اکوسیستم‌های آبی مانند دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، نهرها، برکه‌ها و شالیزارها حضور داشته و نقش مهمی در چرخه عناصر مانند پتاسیم و برخی دیگر از عناصر غذایی ایفا می‌کند. مطالعه حاضر به بررسی نقش میکروبیوم اپی‌پلون برنج در حل کنندگی کانی‌های مختلف سیلیکاتی (مسکوویت و بیوتیت) پرداخته است. برای این منظور ۲۰ نمونه اپی‌پلون از شالیزارهای استان گیلان تهیه شد و تغییرات میزان پتاسیم در محیط رشدی آن‌ها (BBM اصلاح شده با مسکوویت و بیوتیت) در یک دوره ۲۵ روزه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اپی پلون‌های مختلف توانایی مناسبی در انحلال کانی‌های سیلیکاتی دارند. باکتری‌ها در مراحل اولیه تشکیل و گسترش اپی‌پلون قادرند سیلیکات‌ها را تجزیه کرده و پتاسیم و سایر عناصر را آزاد کنند. در نتیجه میزان پتاسیم محلول در روزهای ابتدایی (تا روز پنجم) روندی افزایشی داشت. پس از روز پنجم اجزاء جلبکی بر روی بستره ساکن می‌شوند و مواد معدنی مورد نیاز مانند پتاسیم محلول را جذب می‌نمایند در نتیجه میزان پتاسیم محلول کاهش نشان داد. در نهایت این مطالعه نشان داد که میکروبیوم اپی‌پلون برنج نقش بسزایی در چرخه پتاسیم داشت.

واژه‌های کلیدی: اپی‌پلون، باکتری سیلیکاتی، بیوتیت، پتاسیم، مسکوویت.

مقدمه

عنصر پتاسیم یکی از عناصر ضروری رشد گیاه بوده و اهمیت آن درکشاورزی به خوبی شناخته شده است. گیاه، پتاسیم مورد نیاز خود را عمدتا از پتاسیم طی اضافه کردن کودهای شیمیایی و یا پتاسیم موجود در خاک تأمین می‌نماید. مهمترین منابع پتاسیم درخاک کانی‌های معدنی آلومینوسیلیکاتی و عمدتا فلدسپارها و میکاها می باشند. پتاسیم همچنین در ایلایت و ورمیکولایت نیز وجود دارد (Sparks and Huang, 1985). کانی‌های میکا مهمترین منبع طبیعی پتاسیم درخاک‌ها می‌باشند (Malakouti *et al*. 2005).

عموماً، بیشتر تحقیقات انجام شده روی جامعه میکروبی محرک رشد گیاه در شالیزارها تنها بر دو فاز آبی و خاکی متمرکز بوده است و اهمیت جامعه میکروبی بین آن‌ها به عنوان سومین فاز در این اراضی نادیده یا دست کم گرفته شده است (Lu *et al*. 2017). جلبک‌های رشته‌ای با پیوستن به سطح خاک/ رسوب و اجتماع آن با باکتری، قارچ و دیگر میکرو و مزوارگانیسم‌های خاک (مثلا پروتوزوا و متازوا) لایه‌ای را تشکیل می‌دهد که به عنوان لایه زیستی پریفایتیک شناخته می‌شود (Liu *et al*. 2017; Wu *et al*. 2016). پریفایتون بعنوان میکروبیومی با اجزاء اتوتروف و هتروتروف شامل (باکتری-ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها، پروتوزوئرها و متازوآ) تعریف و مشخص شده است که به بسترهای مختلف از جمله، سطح گیاهان غوطه‌ور در آب، سنگ‌ها، رسوبات بستر و ... متصل می شود (Larned, 2000). پریفایتون بسته به اینکه بر روی یا درون: رسوبات بستر (sediment) و یا بر روی یا درون سطوح جامد (solid surface) شکل گرفته باشد به ترتیب به دو نوع

herpobenthos و *haptobenthos* تقسیم بندی می‌شوند. پریفایتون رشد کرده بر روی یا درون سطح خاک را بر اساس نوع بستر به هشت دسته طبقه‌بندی می‌کنند که این هشت دسته شامل *Epiphyton*، *Epilithon*، *Epizoon*، *Epipsammon*، *Epixylon*، *Endozoon*، *Endophyton* و *Endolithon* هستند. *Epiphyton* به گیاهان، قطعات گیاهی، ماکروفیت و یا میکروالگ‌های بزرگ متصل می‌شود. Epilithon به مواد سختی مانند سنگ متصل می‌شوند. *Epipelon* در سطح رسوبات (خاک بستر) زندگی می‌کنند. *Eppesammon* بر روی دانه‌های شن و ماسه رشد می‌کند. Epixylon به چوب متصل شده است. چند نوع دیگر از جمله آن‌هایی که درون حیوانات Endozoon، درون گیاهان Endophyton و درون سنگ Endolithon هستند نیز در محیط‌های آبی مشاهده شده است. اما پریفایتون‌هایی که بر روی یا درون رسوبات تشکیل می شوند به ۴ دسته *Metaphyton*، *Epipelon*، *Endopelon* و *Endopsammon* طبقه بندی می‌شوند. (Poulíčková *et al.* 2008). *Metaphyton* بر روی رسوبات منشا می‌گیرد و لایه‌های جلبکی به طور آزاد شناورند و به هیچ بستری نمی‌چسبند (علیخانی و همکاران، ۱۴۰۰).

پریفایتون نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی در اکوسیستم‌های آبی ایفا می‌نمایند (Bowes *et al.* 2012). علاوه بر گردش عناصر غذایی پریفایتون می‌تواند در تغییر و تبدیل شکل عناصر غذایی و نیز انتقال عناصر غذایی بین آب و سطح خاک در اکوسیستم های آبی تاثیر گذار باشد در نتیجه تاثیر پریفایتون در تغذیه گیاهان کاملا معنی‌دار است (Saikia *et al.* 2013). لذا در شالیزارها با تشکیل و توسعه پریفایتون و متعاقبا برخورداری از منافع آن بویژه ارتقاء وضعیت چرخه عناصر غذایی می‌توان در بهبود رشد و عملکرد گیاه تاثیر گذاشت. بر این اساس در این مطالعه توان آزاد سازی پتاسیم توسط میکروبیوم اپی‌پلون از کانی‌های مختلف سیلیکاتی (مسکوویت و بیوتیت) مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از توده اپی‌پلون

ابتدا ۲۰ مزرعه شالیزار در استان گیلان (بر اساس سازمان تحقیقات برنج) انتخاب و نمونه‌های پریفایتون از سطح خاک(اپی پلون مزارع شالی به وسیله کاردک ضد عفونی شده برداشته و درون لوله های آزمایش استریل قرار داده شد.

(Yang *et al.* 2016). نمونه‌ها داخل جعبه‌های حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند و در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. جدول ۱ نقاط نمونه‌برداری از مزارع شالیزار در استان گیلان را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نقاط نمونه‌برداری از شالیزارهای استان گیلان

ردیف	منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	رستم آباد	N 36 5235.23	E 49 3058.63
۲	سیاهکل	N 370744.99	E 49 5203.36
۳	آستانه اشرفیه	N 371812.82	E 49 5529.38
۴	لشت نشاء	N 372106.42	E 49 5322.82
۵	کوچه اصفهان	N 371617.25	E 49 4737.75
۶	خشکاروندان	N 371622.9	E 49 54 02.6
۷	خشکبیجار (پشکه)	N 372117.03	E 49 4534.05
۸	فرشم بالا	N 372054.39	E 49 4228.88
۹	باغچه بنه	N 372355.05	E 49 4604.98
۱۰	مریدان	N 370700.06	E 500904.47
۱۱	کوچه اصفهان- محله لاله دشت	N 371650.40	E 49 4522.91
۱۲	سنگر	N 371222.00	E 49 4159.20
۱۳	شفت	N 371040.72	E 492337.64

۱۴	ایستگاه گیله پردرسر ۱	N 371153.50	E 49 3933.69
۱۵	ایستگاه گیله پردرسر ۲	N 371200.43	E 49 3932.63
۱۶	مرکز تحقیقات برنج ۱	N 371217.77	E 49 3731.20
۱۷	مرکز تحقیقات برنج ۲	N 371219.28	E 49 3733.48
۱۸	فشتام	N 370942.27	E 49 3906.30
۱۹	جعفر آباد ۱	N 371635.03	E 49 4244.11
۲۰	جعفر آباد ۲	N 371544.69	E 49 4318.24

آزمون کمی توان انحلال پتاسیم نامحلول معدنی توسط نمونه‌های میکروبیوم اپی‌پلون

برای بررسی توان انحلال پتاسیم توسط کمپلکس میکروبی (لایه زیستی) اپی‌پلون از محیط کشت BBM اصلاح شده با کانی‌های سیلیکاتی مسکوویت و یا بیوتیت استفاده شد. به این منظور در تهیه محیط BBM نمک‌های NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4 به ترتیب جایگزین KH_2PO_4 و K_2HPO_4 شدند تا منابع محلول پتاسیمی در محیط کشت حذف گردند. برای تامین پتاسیم مورد نیاز جامعه زیستی اپی‌پلون از دو شکل نامحلول میکا (مسکوویت و یا بیوتیت به میزان ۲/۵ گرم در لیتر) در محیط کشت استفاده شد. سپس محیط کشت‌های تهیه شده با پنج میلی لیتر از ۲۰ نمونه اپی‌پلون بازکشت و رشد یافته در گلخانه تلقیح شد و در روزهای ۰-۵-۱۰-۱۵-۲۰ و ۲۵ میزان ۱۵میلی لیتر از هر نمونه اپی‌پلون توسط سمپلر برداشته شده و میزان پتاسیم محلول موجود در محیط با دستگاه فلیم فتومتر و همچنین میزان pH در محلول با استفاده از pH متر اندازه گیری و ثبت شد.

آنالیز آماری

آزمون‌های انجام شده در این بخش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شدند. تجزیه واریانس و محاسبات آماری با استفاده از برنامه کامپیوتری SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش Tukey در سطح پنج درصد انجام پذیرفت.

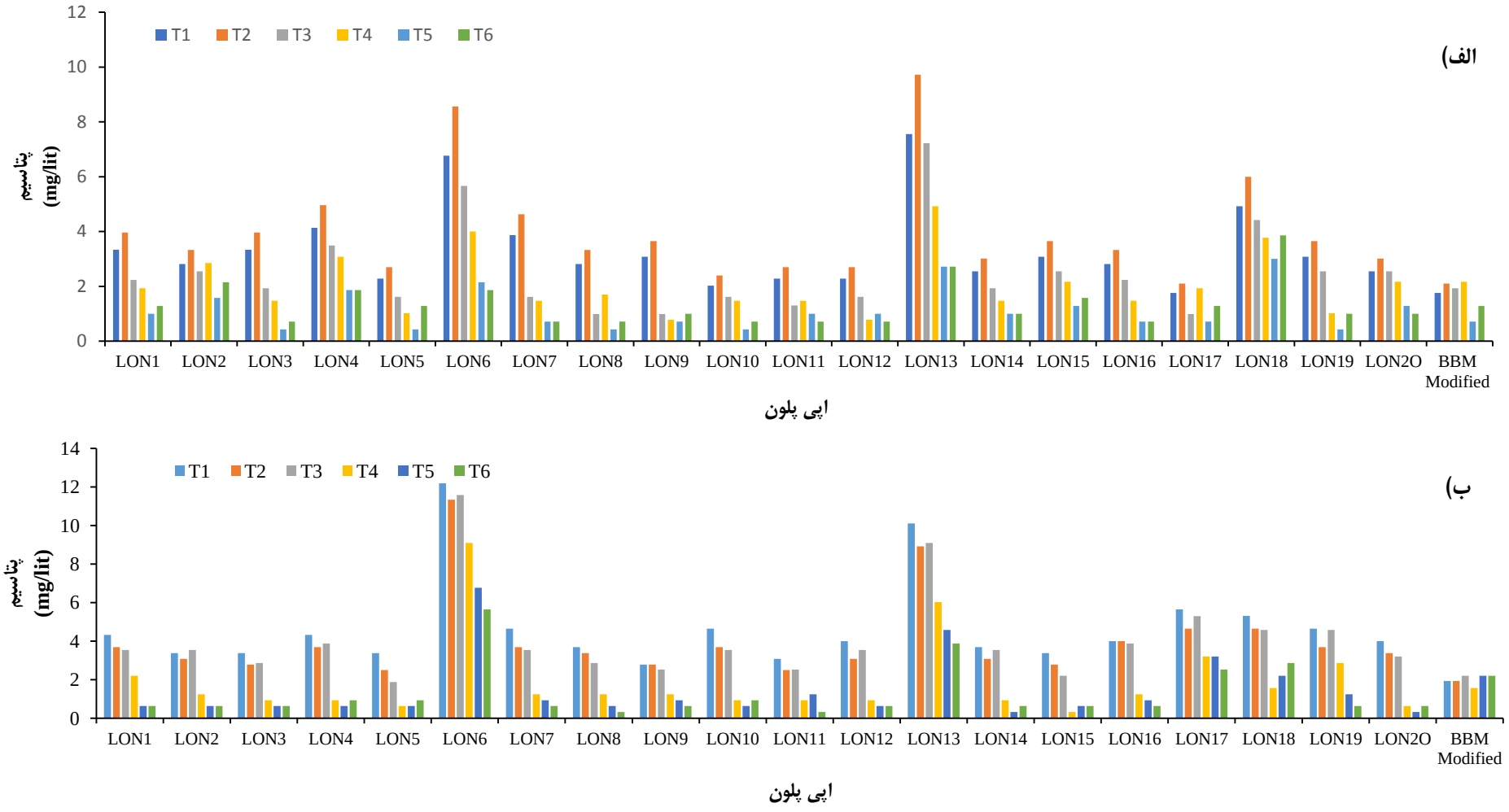
نتایج و بحث

شکل ۱ تغییرات میزان پتاسیم محلول در محیط BBM اصلاح شده با مسکوویت و بیوتیت در طول رشد اپی‌پلون در بازه‌های زمانی ۰-۵-۱۰-۱۵-۲۰- و ۲۵ روزه را نشان می‌دهد. در محیط BBM حاوی مسکوویت نمونه های اپی‌پلون‌های شماره ۱۳ و ۶ در تمام زمان‌ها دارای بیشترین میزان پتاسیم محلول بودند؛ همچنین این اپی‌پلون‌ها توانایی بیشتری در انحلال بیوتیت نسبت به سایر اپی‌پلون‌ها داشتند. در تمام نمونه‌های اپی‌پلون تا روز پنجم میزان پتاسیم محیط روندی افزایشی دارد اما پس از روز پنجم میزان پتاسیم در محیط کاهش می‌یابد. تغییرات میزان پتاسیم در محیط را می‌توان با فرآیند تشکیل اپی‌پلون توجیه کرد. به طور کلی، توسعه یک جامعه پریفایتیک بر روی یک سوبسترا/ سطح توسط رسوب یک لایه از مواد آلی محلول (عمدتاً اسیدهای آمینه و موکو پلی ساکاریدها) توسط نیروهای الکترواستاتیک آغاز می‌شود. در عرض چند ساعت یک پوشش باکتری توسط واکنش‌های هیدروفوبیک شروع به تشکیل می‌کند. ذرات مواد آلی حل شده و غیرزنده به عنوان حامی برای چسبیدن و متابولیسم باکتری‌ها بکار می‌روند. سپس باکتری‌ها به طور فعال با استفاده از رشته‌های موسیلاژی به بستر متصل می‌شوند. کلونیزاسیون باکتریایی یک پیش نیاز لازم برای پیوستن دیگر اجزاء است. موسیلاژ تولید شده توسط باکتری‌ها، مکان‌های اتصال احتمالی برای انواع مختلف عناصر کلوئیدی، آلی و معدنی را فراهم می‌کند. باکتری‌ها همچنین آنزیم‌های خارج سلولی را که سهم قابل توجهی در پردازش مواد آلی حل شده دارند، به ویژه برای تخریب بخش‌های بزرگتر مولکول‌های آلی به مولکول‌های با وزن کمتر قابل جذب همانند مواد معدنی تولید می‌کنند. هنگامی که نور کافی در دسترس است، جلبک‌ها متعاقباً می‌چسبند و ساختار اصلی پریفایتون در

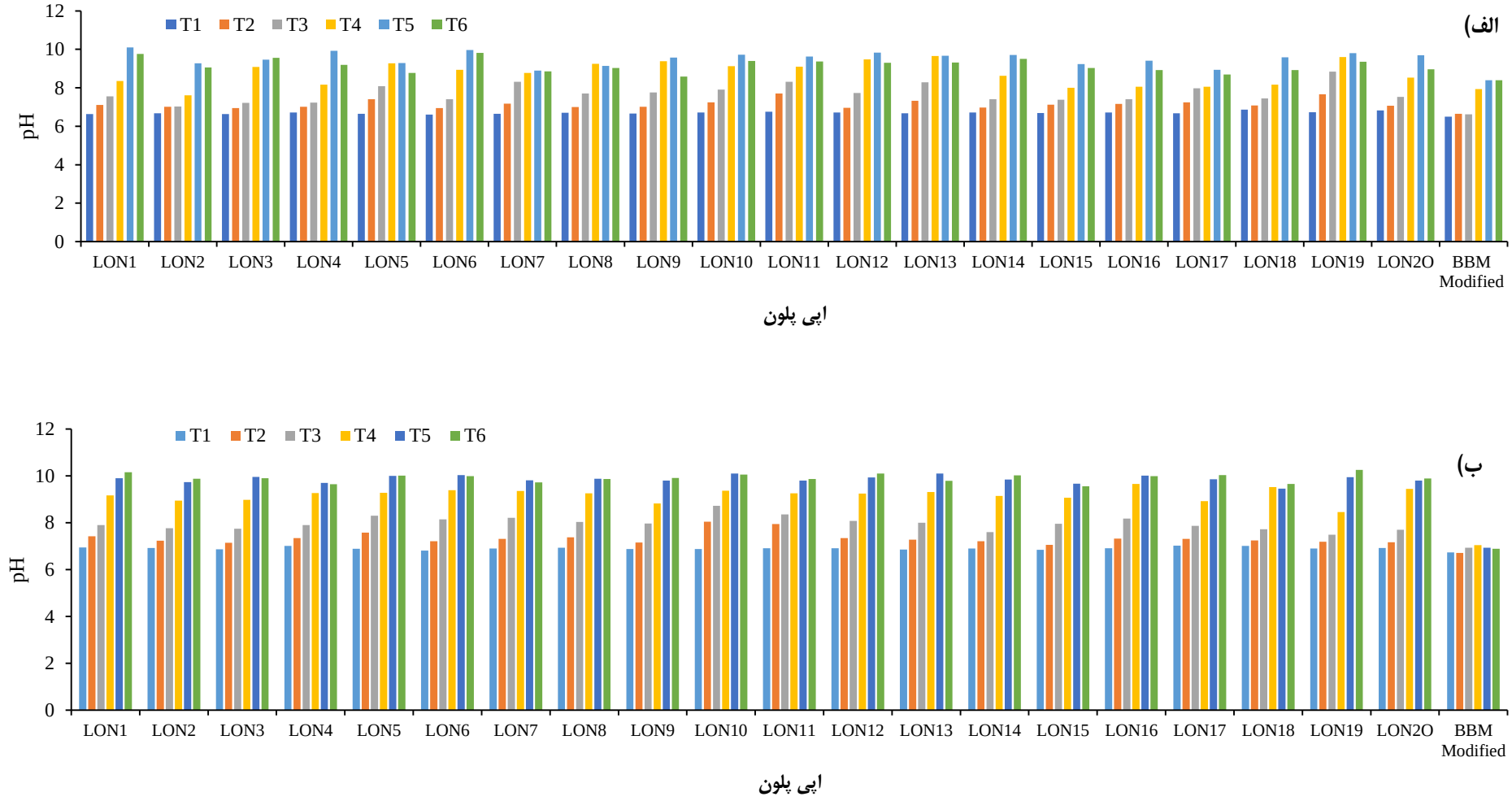
حال توسعه را تشکیل می‌دهند. چند روز پس از کلونیزاسیون باکتریایی، دیاتوم‌های کوچک می‌توانند به ماتریکس آلی که توسط باکتری ترشح می‌شوند، بپیوندند. در گام بعد گونه‌هایی که دارای پایه‌های بلند هستند و بعد دیاتم‌هایی که به شکل روزت و یا دارای پدهای موسیلاژی هستند ظاهر می‌شوند. با توجه به این فرآیند، رشد و گسترش باکتری‌ها در مراحل اولیه تشکیل اپی‌پلون غالب بوده و قادرند سیلیکات‌ها را تجزیه کرده و پتاسیم و سایر عناصر را آزاد کنند. در نتیجه میزان پتاسیم محلول در روزهای ابتدایی (تا روز پنجم) روندی افزایشی دارد. پس از روز پنجم اجزاء جلبکی بر روی بستره ساکن می‌شوند و مواد معدنی مورد نیاز مانند پتاسیم را جذب می‌نمایند در نتیجه میزان پتاسیم محلول کاهش می‌یابد. آزادسازی پتاسیم توسط باکتری‌های ریزوسفری را در شرایط تغذیه‌ای و محیطی بررسی کردند. تلقیح ۲۰ سو (Parmar and Sindhu, 2013).یه باکتری در ۱۳۷ محیط کشت سبب آزادسازی مقدار چشمگیری پتاسیم از منابع نامحلول میکا شد. مقدار پتاسیم آزاد شده با سویه‌های گوناگون باکتری از ۱۵ تا ۴۹ میلی‌گرم بر لیتر بود. بیشترین غلظت پتاسیم آزادشده با سویه‌های باکتری زمانی دیده شد که pH نمونه‌ها بر روی ۷ تنظیم شده بود. با وجود اینکه مطالعات فراوانی بر روی آزادسازی پتاسیم توسط باکتری‌های ریزوسفری و غیرریزوسفری صورت گرفته است، تاکنون مطالعه‌ای بر روی رفتار جامعه زیستی پریفایتون و بویژه انواع اپی پلون بر روی پتاسیم در شرایط درون شیشه ای انجام نگرفته یا گزارش نشده است.

در مقایسه با اجتماعات میکروبی منفرد، پریفایتون جامعه میکروبی چند گونه و با ساختارهای پیچیده‌تر و همچنین دارای عملکردهای پایدار از نظر محیط زیست هستند (Yang *et al*. 2016). به عنوان مثال، میکرو منافذ زیادی در سطح پریفایتون وجود دارد. (Lu *et al*. 2014). که به عنوان مکان‌های جذب عمل می‌کنند و امکان انتقال مواد مغذی مانند پتاسیم و فسفر را در حفره‌های آن به طور مستقیم از آب فراهم می‌کنند (Wu *et al*. 2011). میکروبیوم اپی‌پلون به عنوان یک جامعه زیستی که عمدتاً از فتواتوتروف‌ها تشکیل شده است، می‌تواند مقدار زیادی از مواد غذایی را جذب کند، آنزیم‌های خارج سلولی مختلفی تولید کند و pH و شرایط رداکس را از طریق مصرف دی‌اکسید کربن و آزادسازی اکسیژن در طی فرآیند فتوسنتز تغییر دهد (Ellwood *et al*. 2012; Liu *et al*. 2016). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود pH در محیط BBM در حضور کانی مسکوویت و بیوتیت در طول رشد اپی‌پلون به علت فرآیند فتوسنتز افزایش یافته است.

وجود پریفایتون در اوایل دوره رشد در مزرعه شالیزار با نشاء برنج منجر به رقابت برای مواد مغذی و فضا می شود. البته به نظر می رسد این مساله نقطه قوت پریفایتون به عنوان منبع ذخیره پتاسیم و جلوگیری از هدر رفت آن محسوب می شود. با توسعه پریفایتون این رقابت به نفع گیاه برنج می باشد که پریفایتون در این مرحله نقش منبع را ایفا می کند و می تواند پتاسیم را در شالیزار به شکل مناسبی مدیریت کند. فعل و انفعالات رقابتی حاصل باید برای بررسی تأثیر آنها بر رشد بوته برنج و تولید محصولات در نظر گرفته شود. در حقیقت ، معلوم می‌شود که میکروبیوم اپی‌پلون در حد واسط بین خاک و آب در مزارع شالیزار در همه جا وجود دارد (Liu *et al*. 2016). و بنابراین کم و بیش وضعیت فیزیکی و شیمیایی رابط خاک و آب به ویژه pH را تغییر می دهد. معذالک نقش این میکروبیوم در آزادسازی/مدیریت عنصر پتاسیم و نقش آن در جوانه زنی و رشد گیاه برنج کاملا مشخص نیست و نیاز به بررسی بیشتر در مراحل مختلف رشد دارد.



شکل ۱- مقایسه میانگین تغییرات میزان پتاسیم توسط اپی پلون‌های مختلف در بازه‌های زمانی مختلف؛ الف) منبع مسکوویت، ب) منبع بیوتیت



شکل ۲- تغییرات میزان pH در محیط رشدی اپی‌پلون در محیط حاوی الف) مسکوویت و ب) بیوتیت

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که میکروبیوم اپی‌پلون شالیزار توانایی مناسبی در انحلال کانی‌های سیلیکاتی دارد و بیشترین مقدار پتاسیم محلول در محیط حاوی بیوتیت در نمونه‌های شماره ۶ و ۱۳ به ترتیب به میزان ۱۲/۲ و ۱۰/۱ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد. لذا توسعه این میکروبیوم در مزارع شالیکاری می‌تواند اهمیت قابل توجهی در رشد و عملکرد گیاه برنج داشته باشد. در مراحل اولیه تشکیل اپی‌پلون، رشد و گسترش باکتری‌ها غالب بوده و قادرند سیلیکات‌ها را تجزیه کرده و پتاسیم و سایر عناصر را آزاد کنند. در نتیجه میزان پتاسیم محلول در روزهای ابتدایی روندی افزایشی داشت. پس از آن میزان پتاسیم محلول در محیط BBM اصلاح شده (با کانی مسکوویت و بیوتیت) کاهش یافت. به نظر می‌رسد در مقایسه با اجتماعات میکروبی منفرد مانند باکتری‌ها، میکروبیوم اپی‌پلون شالیزاری، جامعه میکروبی چند جزیی و با ساختارهای پیچیده‌تر حاوی میکرو منافذ زیادی در سطح است که به عنوان مکان‌های جذب عمل می‌کنند. همچنین رشد اجزای فتوتروف خصوصا" جلبکی نیاز به پتاسیم دارد که منجر به کاهش پتاسیم محلول می گردد. با توجه به این مساله به نظر می رسد در بازه ای از مرحله رشدی گیاه، میکروبیوم اپی‌پلون می تواند پتاسیم را در ساختار خود ذخیره کرده و از هدرفت آن جلوگیری کند و در مراحل بعدی رشد گیاه آن را در اختیار گیاه قرار دهد و به این ترتیب عنصر پتاسیم را در شالیزار به شکل مناسبی مدیریت کند. با توجه به نتایج پیشنهاد می شود که این نمونه‌های اپی‌پلون در پژوهش‌های آتی (گلخانه‌ای و مزرعه‌ای) بیشتر مورد مطالعه قرارگیرند و امید است که گام جدید و مهمی در راستای تولید کودهای زیستی در رسیدن به کشاورزی پایدار از طریق مدیریت بهینه تغذیه پتاسیم در شالیزارها باشد.

منابع

علیخانی، ح. امامی، س. اعتصامی، حسن. (۱۴۰۰). پریفایتون و نقش کلیدی آن در شالیزار ها و سلامت محیط زیست. تحقیقات آب و خاک ایران.

Bowes, M. J., Ings, N. L., McCall, S. J., Warwick, A., Barrett, C., Wickham, H. D., ... & Lehmann, K. (2012). Nutrient and light limitation of periphyton in the River Thames: implications for catchment management. *Science of the Total Environment*, *434*, 201-212.

Ellwood, N. T., Di Pippo, F., & Albertano, P. (2012). Phosphatase activities of cultured phototrophic biofilms. *Water research*, *46*(2), 378-386.

Larned, S. T., & Santos, S. R. (2000). Light-and nutrient-limited periphyton in low order streams of Oahu, Hawaii. *Hydrobiologia*, *432*(1-3), 101-111.

Liu J, Liu W, Wang F, Kerr P and Wu Y, (2016). Redox zones stratification and the microbial community characteristics in a periphyton bioreactor. *Bioresource technology* 204: 114-121.

Liu, J., Wu, Y., Wu, C., Muylaert, K., Vyverman, W., Yu, H. Q. & Rittmann, B. (2017). Advanced nutrient removal from surface water by a consortium of attached microalgae and bacteria: a review. *Bioresource technology*, 241, 1127-1137.

Lu, H., Liu, J., Kerr, P. G., Shao, H., & Wu, Y. (2017). The effect of periphyton on seed germination and seedling growth of rice (Oryza sativa) in paddy area. *Science of the Total Environment*, 578, 74-80.

Lu, H., Yang, L., Shabbir, S., & Wu, Y. (2014a). The adsorption process during inorganic phosphorus removal by cultured periphyton. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(14), 8782-8791.

Malakouti, M.J., Shahabi, A., and Bazargan, K. (2005). Potassium in Iran agriculture. *Sana Press*, 292p.

Parmar, P., and S.S. Sindhu. (2013). Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions. *Journal of Microbiology Research*, 3(1), 25-31.

Poulíčková, A., Hašler, P., Lysáková, M., & Spears, B. (2008). The ecology of freshwater epipelic algae: an update. *Phycologia*, *47*(5), 437-450.

Saikia, S. K., Nandi, S., & Majumder, S. (2013). A review on the role of nutrients in development and organization of periphyton. J*ournal of Research in Biology*, 3(1), 780-788.

Sparks, D.L., and Huang, P.M. (1985). Physical chemistry of soil potassium. P201-276, In: R.D. Munson (Ed.), Potassium in agriculture. Am. Soc. Agron. Crop Sci. Soc. Am. Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.

Wu, Y., Liu, J., Lu, H., Wu, C., & Kerr, P. (2016). Periphyton: an important regulator in optimizing soil phosphorus bioavailability in paddy fields. Environmental Science and Pollution Research, 23(21), 21377-21384.

Wu, Y., Liu, J., Yang, L., Chen, H., Zhang, S., Zhao, H., & Zhang, N. (2011). Allelopathic control of cyanobacterial blooms by periphyton biofilms. *Environmental Microbiology*, *13*(3), 604-615.

Yang J, Tang C, Wang F and Wu Y, (2016). Co-contamination of Cu and Cd in paddy fields: Using periphyton to entrap heavy metals. *Journal of hazardous materials* 304: 150-158.

Study of bio-solubilization of potassium silicate minerals by Epipelon in some paddy fields of Guilan province

Shahrzad Zandparsa[1], Matin Alibakhshifard[1], Hossein Ali Alikhani[2], Hassan Etesami[3], Hadi Asadi Rahmani [4], Somayeh Emami[5]

*Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran (Halikhan@ut.ac.ir).

[1,2,3,5] MSc student, Professor, Assistant Professor, postdoctoral researcher, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

[4] Professor, Soil and Water Research Institute of Iran

ABSTRACT

Periphyton is commonly found in many aquatic ecosystems such as lakes, rivers, streams, ponds, and paddy fields, and plays an important role in the cycle of elements such as potassium and some other nutrients. The present study investigated the role of rice epipelon microbiome in solubilization of various silicate minerals (muscovite and biotite). For this purpose, 20 epipelon samples were prepared from paddy fields of Gilan province and changes in the amount of potassium in their growth medium (BBM modified with muscovite and biotite) were measured over a period of 25 days. The results showed that different epiplones have a good ability to dissolve silicate minerals. Bacteria are able to break down silicates and release potassium and other elements in the early stages of epiplone formation. As a result, the amount of soluble potassium in the early days (up to the fifth day) had an increasing trend. After the fifth day, the algal components settle on the substrate and absorb the required minerals such as soluble potassium, thus the amount of soluble potassium decreased. Finally, this study showed that the rice epipelon microbiome played an important role in the potassium cycle.

Keywords: epipelon, silicate bacteria, biotite, potassium, muscovite.

اثر غنی شدن ورمی‌کمپوست بدست آمده از پسماندهای آلی مختلف بوسیله باکتری‌های حل کننده فسفات و تثبیت کننده ازت بر خصوصیات شیمیایی آنها

مرجان عشاقی[۱]، سپیده ریزانه[۲]، ژیلا بهارلوئی[۳]، یونس لیث صفار[۴]

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد علوم کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان،ایران، marjanoshaghi@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان. ایران

۳- دانشیار گروه خاک. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان. ایران

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان، ایران

چکیده

استفاده‌ی مجدد از ضایعات نه تنها گام موثری در جهت حفظ محیط زیست می‌باشد، بلکه با تبدیل آنها به مواد قابل استفاده، منافع اقتصادی فراوانی را عاید خواهد کرد. در سالهای اخیر استفاده از کرم‌های خاکی برای بازیافت محدوده وسیعی از مواد زائد آلی و تولید ورمی‌کمپوست مورد توجه قرار گرفته است. تلقیح باکتریهای مفید به کمپوست‌های آلی به افزایش فسفر محلول و نیتروژن آن جهت رشد گیاهان کمک می‌کند. پژوهش حاضر با هدف تولید ورمی‌کمپوست از پسماندهای آلی نظیر کود گاوی، پسماند بستر قارچ دکمه‌ای و ذرت چاپرشده و غنی‌سازی آنها توسط باکتری‌های تثبیت کننده ازت و حل کننده فسفر، به منظور دستیابی به ترکیب بهتر در تولید ورمی‌کمپوست جهت رفع برخی مشکلات تغذیه‌ای گیاهان به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تیمار نوع بستر و سه نوع تلقیح باکتریایی و شاهد بدون تلقیح در سه تکرار در گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد که تلقیح باکتری *ازتوباکتر کروکوکوم* به بسترها منجر به افزایش میزان نیتروژن و تلقیح باکتری *باسیلوس مگاتریوم* منجر به افزایش میزان فسفر قابل جذب بسترها شد و حداکثر تاثیر باکتری‌ها تا زمان ۶۰ روز پس از تلقیح بدست آمد.

کلمات کلیدی: *ازتوباکتر کروکوکوم*، *باسیلوس مگاتریوم* ، پسماندهای آلی، غنی‌سازی، ورمی‌کمپوست

مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل رشد سریع جمعیت، کشاورزی متراکم و صنعتی شدن، مقدار زیادی ضایعات آلی از جمله فاضلاب‌ها، کودهای دامی، ضایعات کشاورزی و زباله‌های شهری و صنعتی تولید می‌شود (آراکون و همکاران، ۲۰۰۴; پاتما و ساکتیول، ۲۰۱۲). که با توجه به محدود بودن منابع تجدید ناپذیر طبیعی، استفاده مجدد از مواد زاید در آینده نزدیک امری اجتناب ناپذیر است. ورمی‌کمپوست به طور غیر مستقیم از طریق تاثیر بر میکروفلور خاک، رشد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (گوبرنا و همکاران، ۲۰۱۱). در حال حاضر نگرش‌های جدید مرتبط با کشاورزی که تحت عنوان کشاورزی پایدار، ارگانیک و بیولوژیک مطرح می‌باشد با بهره‌گیری از ریزجانداران مفید خاکزی جهت تهیه کودهای زیستی استوار است ولی به دلیل از دست دادن نیتروژن، اثر ضایعات کشاورزی و کود به حداقل می‌رسد، که با تلقیح باکتری‌هایی که آنزیم‌های حل کننده نیتروژن و فسفر را دارند می‌توان این مشکل را نیز برطرف کرد. تلقیح باکتریهای مفید به کمپوست‌های آلی به افزایش فسفر محلول و نیتروژن آن جهت رشد گیاهان کمک می‌کند (مادهایان و همکارن۲۰۱۰). افزایش گره‌زایی، تثبیت بیولوژیکی نیتروژن مولکولی، بهبود جذب عناصر غذایی توسط گیاهان و مقابله با عوامل بیماری‌زای خاکزی از جمله مکانیسم‌های مستقیم اثر بخشی انواع باکتری‌های محرک رشد گیاه محسوب می‌شوند (روتبالر و همکاران، ۲۰۰۹). اسکروینو و همکاران (۲۰۱۰) از باکتری‌های اتوتروف قابل افزودن به ورمی‌کمپوست به باسیلوس و ازتوباکتر اشاره کردند. همچنین رجا و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که ورمی‌کمپوست قادر به افزایش میزان بقای موجودات زنده در آن برای بیش از یکسال می‌شود اما مطالعه بیش‌تر کودهای بیولوژیک جهت بقا *ازتوباکترکروکوکوم*، *باسیلوس* و *ریزوبیوم* در سطح مقیاس وسیع جهت بهره‌وری محصولات کشاورزی و باغبانی ضروری است. دلیا و همکاران (۲۰۱۳) طی پژوهشی اثر ازتوباکتر را بر برخی از فعالیت‌های بیولوژیکی خاک مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد *ازوتوباکتر کوروکوکوم* منجر به افزایش تولید برخی هورمون‌های گیاهی مانند ایندول استیک اسید، اسید جیبرلیک و سیتوکنین ، همچنین افزایش میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل دسترس شد. بنابراین پژوهش حاضر با هدف تولید ورمی‌کمپوست از پسماندهای آلی نظیر کود گاوی، پسماند بستر قارچ دکمه‌ای و ذرت چاپرشده و غنی‌سازی آنها توسط باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت و حل کننده فسفر، به منظور دستیابی به ترکیب بهتردر تولید ورمی‌کمپوست انجام شده است.

مواد و روش

این طرح پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تیمار نوع بستر و ۳ نوع تلقیح باکتریایی و شاهد بدون تلقیح در ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل ۱۲ بستر مختلف کشت شامل پسماند کمپوست قارچ برگشتی، کود گاوی+ ذرت چاپر شده و کود گاوی بدون تلقیح، تلقیح با *ازتوباکتر*، تلقیح با *باسیلوس* و تلقیح با هر دو میکروارگانیسم *ازتوباکتر* و *باسیلوس* بود. پردازش داده‌ها مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال۵ درصد و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت.

تلقیح باکتری‌های محرک رشد گیاه

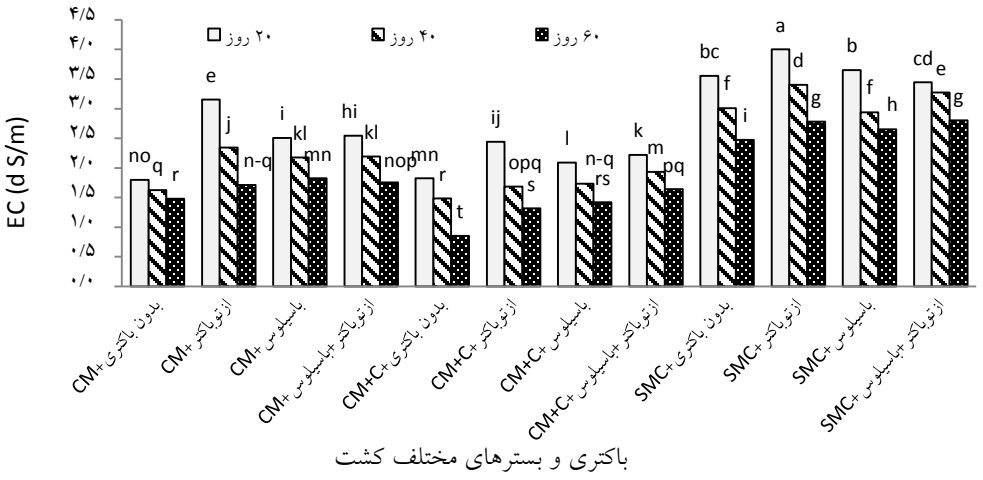
پس از گذشت دو ماه از ورمی کمپوست شدن به ازای هر یک گرم ورمی‌کمپوست، ۲۵ میلی‌لیتر مایه تلقیح از باکتری‌های حل کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن بر حسب تیمار مورد نظر به ورمی‌کمپوست‌ها افزوده شد و کاملا با ورمی‌کمپوست مخلوط گردید. پس از تلقیح میکروبی روند کمپوست شدن ۶۰ روز دیگر ادامه یافت. در روزهای صفر، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز پس از تلقیح میکروبی از ورمی‌کمپوست‌ها نمونه‌برداری برای انجام تجزیه‌های شیمیایی صورت گرفت. هدایت الکتریکی عصاره

بسترهای آلی با نسبت ۱:۱۰با آب مقطر اندازه گیری شد (هوآنگ و همکاران،۲۰۱۴). نیتروژن کل مواد بستری از روش کجلدال(بولتز و هوول،۱۹۷۸) محاسبه گردید. جهت اندازه‌گیری فسفر موجود در بسترها از روشDTPA استفاده شد (Bs.EN،۲۰۰۱).

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بیشترین هدایت الکتریکی مربوط به تیمار کمپوست برگشتی قارچ +*ازتوباکتر* برابر با ۳/۴۴ دسی‌زیمنس بر متر در زمان ۲۰ روز پس از تلقیح باکتری و کمترین هدایت الکتریکی مربوط به تیمار کود گاوی + ذرت بدون تلقیح باکتری برابر با ۰/۸۵ دسی‌زیمنس بر متر در زمان ۶۰ روز بعد از تلقیح بود که با تمامی تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند (شکل ۱). کاهش هدایت اکتریکی در بستر کود گاوی +ذرت نسبت به سایر تیمارها ممکن است به علت پایین بودن املاح در آن باشد. اولین و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که بعضی از میکروارگانیسم‌ها خصوصا باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن قادرند تحت شرایط تنش شوری مقاومت کنند و با فعالیت‌های خود از جمله تثبیت نیتروژن سبب بهبود عملکرد شوند. بر اساس تحقیقی که توسط هیکس و همکاران (۲۰۰۳) بر روی سه گونه *ازتوباکتر* به نام‌های *ازتوباکتر بیجرینک*، *ازتوباکتر وینلندی* و *ازتوباکتر کروکوکوم* انجام شد، گزارش کردند این گونه‌ها علاوه بر تثبیت نیتروژن مولکولی و افزایش میزان تولید فیتوهورمون در شوری‌های بالا نیز فعالیت می‌کنند.

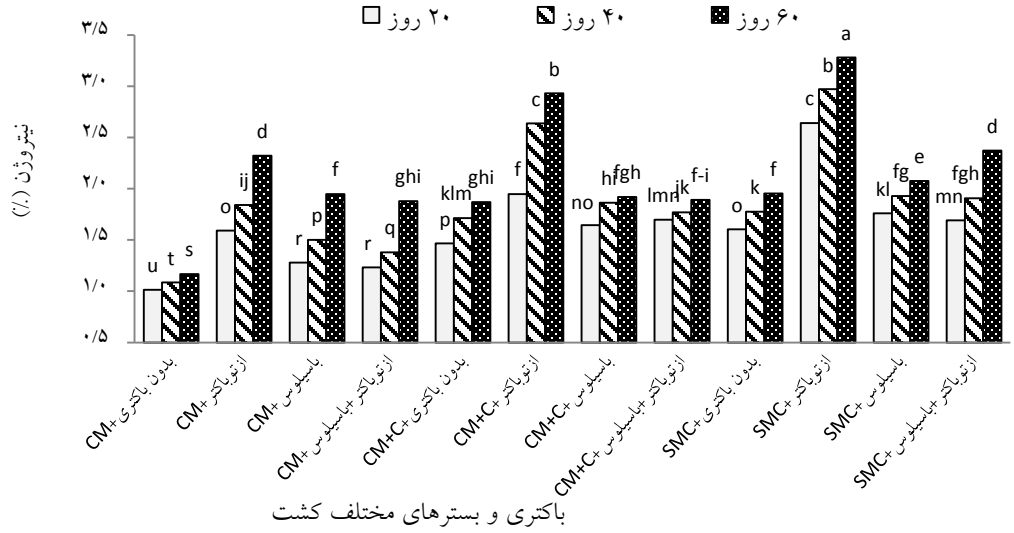


شکل-۱ تاثیر زمان، باکتری و بستر اولیه بر هدایت الکتریکی ورمی‌کمپوست‌های تولید شده

نیتروژن

همانطور که در شکل (۲) مشاهده شد بیشترین میزان نیتروژن کل در زمان ۶۰روز پس از تلقیح باکتری مربوط به بستر کمپوست برگشتی قارچ +*ازتوباکتر* و بعد از آن تیمار کود گاوی + ذرت +*ازتوباکتر* به ترتیب برابر با ۳/۲۸ و ۲/۳۲ درصد و کمترین میزان نیتروژن مربوط به تیمار کود گاوی بدون تلقیح باکتری بود که با تمامی تیمارها اختلاف معنی‌دار داشتند. موادی هم‌چون کمپوست برگشتی قارچ که منجر به افزایش تخلخل و نگهداری رطوبت می‌شود به صورت غیر مستقیم موجب

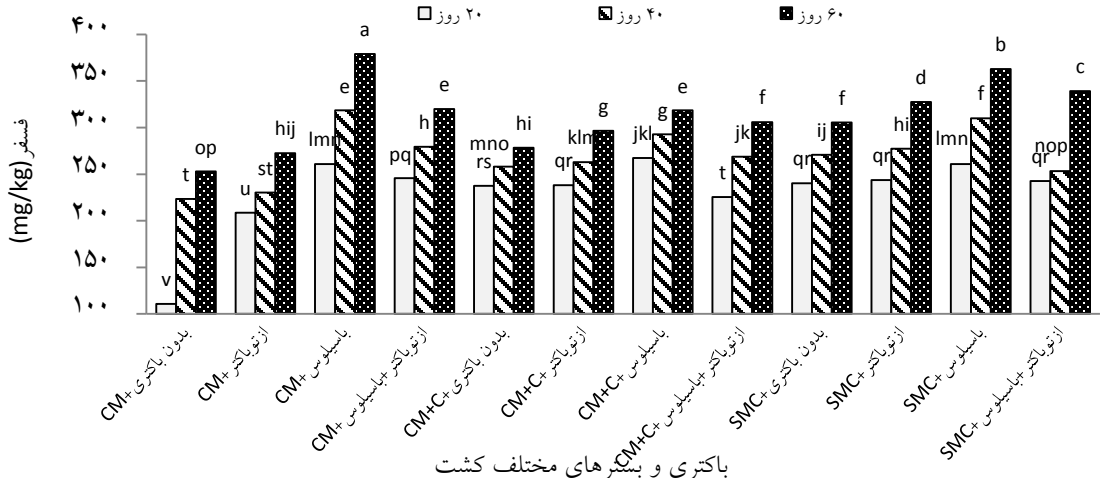
به دام انداختن آمونیاک خواهد شد و این به نوبه خود به مقابله با کاهش ازت کمک می‌کند (شهاتا و خواس، ۲۰۰۳). نتایج گزارش شده حاکی از آن بود که این باکتری علاوه بر تحمل شرایط نامساعد قادر است نیتروژن موجود در اتمسفر را تثبیت کند (موهر و همکاران، ۲۰۱۰). تعداد کمی از کرم‌های خاکی به دلیل اینکه در محیط جدید نمی‌توانند خودشان را وفق دهند، می‌میرند. بنابراین کرم‌های مرده می‌توانند دلیل دیگری برای افزایش میزان نیتروژن در ورمی‌کمپوست‌ها باشند (هوآنگ و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل۲-تاثیر زمان، باکتری و بستر اولیه بر نیتروژن ورمی‌کمپوست‌های تولید شده

فسفر قابل جذب

مقایسه میانگین‌ها نشان داد، فسفر قابل جذب در بستر ورمی‌کمپوست کود گاوی + *باسیلوس* پس از گذشت ۶۰ روز از تلقیح باکتری به صورت معنی‌داری بیشتر از سایر بسترها بوده و کمترین میزان آن در بستر کود گاوی بدون تلقیح باکتری در زمان ۲۰ روز پس از تلقیح باکتری مشاهده شد. نتایج حاکی از آن است که، بیش‌ترین مقدار فسفر در تمامی بسترهای کشت، مربوط به نمونه‌های تلقیح شده با باکتری *باسیلوس* بوده است (شکل۳). فسفر عنصر لازم برای ایجاد بذر، رشد ریشه، انتقال انرژی و تنظیم خواص ژنتیکی گیاه می‌باشد (تیسدل و همکاران، ۱۹۹۳). محمدی آریا و همکاران (۲۰۱۰) مشاهده کردند که تلقیح باکتری *باسیلوس* به ورمی‌کمپوست منجر به افزایش فسفات محلول از طریق تولید اسیدهای آلی شد. در نتیجه ورمی‌کمپوست تلقیح شده با *باسیلوس* تاثیرات مثبتی بر تبدیل فسفات معدنی به فسفر قابل جذب داشت (بوزاتو و همکاران، ۲۰۱۲). جایاکومار و نتارجان (۲۰۱۳) به این نتیجه رسیدند باکتری‌های حل کننده فسفات دارای مجموعه‌ای از عوامل رشد گیاهی مانند ایندول استیک اسید، دی‌آمیناز، سیدروفور و فعالیت‌های ضد قارچی هستند. در تحقیقی جهت بررسی میزان تغییرات فسفر در تولید ورمی‌کمپوست غنی شده با باکتری‌های حل کننده فسفات که توسط جدر و همکاران (۲۰۱۲) انجام شد، نتایج نشان داد که مقدار فسفر تا گذشت ۶۰روز از ورمی کمپوست شدن افزایش یافت که این افزایش، ۱۵ درصد بیش از نمونه شاهد بدون تلقیح بود.



شکل ۳ -تاثیر زمان، باکتری و بستر اولیه بر فسفر ورمی‌کمپوست‌های تولید شده

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر تلقیح *ازتوباکتر کروکوکوم* و *باسیلوس مگاتریوم* به میزان ۲۵ میلی‌لیتر به به ازای هر یک گرم از ورمی کمپوستها و در زمان ۲ ماه پس از ورمی کمپوست شدن احتمالا کافی به نظر می رسد. به طوریکه تاثیر مثبت باکتریها در افزایش میزان عناصر غذایی تا ۶۰ روز پس از تلقیح مشاهده گردید. تلقیح توام دو باکتری منجر به کاهش کربن آلی بستر و کاهش پ-هاش در مقایسه با تلقیح جداگانه باکتری‌ها و نمونه فاقد باکتری شد. به نظر می‌رسد که تلقیح توام دو باکتری به دلیل اثر رقابتی یا آنتاگونسمی نقش کمتری در بهبود خصوصیات شیمیایی بسترها داشته است. به طور کلی تلقیح ورمی‌کمپوست به وسیله باکتری *ازتوباکتر* و باکتری *باسیلوس* به صورت جداگانه و یا همراه با یکدیگر در مقایسه با نمونه‌های فاقد تلقیح باکتریایی منجر به افزایش میزان عناصرغذایی ازت و فسفر در بسترها گشت و حداکثر تاثیر این باکتری‌ها تا زمان ۶۰ روز پس از تلقیح بود.

منابع

Arancon NQ, Edwards CA, Bierman P, Welch C and Metzger JD.(2004). The influence of vermicompost applications to strawberries. Part 1. Effects on growth and yield. Bioresour. Technol. 93, 145–153.

Boltz DF, Howell JA.(1978). Colorimetric Determination of Nonmetals. Johan Wiley and Sons, New York, PP: 197-202.

Busato JG, Lima LS, Aguiar NO, Canellas LP and Olivares FL.(2012). Changes in labile phosphorus forms during maturation of vermicompost enriched with phosphorus-solubilizing and diazotrophic bacteria. Bioresource Technology. Accepted.

Dalia A, Abd El-Fattah A, Wedad E, Eweda B, Mona S, Zayed B, Mosaad K and Hassanein A.(2013). Effect of carrier materials, sterilization method, and storage temperature on survival and biological activities of *Azotobacter chroococcum* inoculants. Annals of Agricultural Science,58(2), 111–118.

Evelin H, Kapoor R and Giri B.(2009). Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress, Journal of Annals of Botany, 104:1263-1280.

Goberna M, Podmirseg SM, Waldhuber S, Knapp BA, García C and Insam H. (2011). Pathogenic bacteria and mineral N in soils following the land spreading of biogas digestates and fresh manure. Appl. Soil Ecol. 49, 18–25.

Hicks WT, Harmon ME and Myrold DD.(2003). Substrate controls on nitrogen fixation and respiration in woody debris from the Pascific Northwest, UAS. Forest Ecol. Manag. 176, 25e35.
Huang K, Li F, Wei Y, Fu X and Chen X.(2014). Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes.Journal of Bioresource Technology, 170:45–52
Jayakumar P and Natarajan S. (2013). Molecular and functional characterization of bacteria isolated from straw and goat manure based vermicompost. Applied Soil Ecology, 70 : 33– 47.
Jader G. Busato A, Lívia S, Lima B, Natália O, Aguiar b, Luciano P, Canellas B, Fábio L and Olivares B.(2012). Changes in labile phosphorus forms during maturation of vermicompost enriched with phosphorus-solubilizing and diazotrophic bacteria. Bioresource Technology, 110: 390–395.
Madhaiyan M, Poonguzhali S, Lee JS, Lee KC, Saravanan VS and Santhanakrishnan P.(2010). *Microbacterium azadirachtae sp*. nov., a plant-growth-promoting actinobacterium isolated from the rhizoplane of neem seedlings. Int. J. Syst. Evol.Microbiol. 60, 1687–1692.
Mohammady Aria M, Lakzian A, Haghnia GH, Berenji AR, Besharati H and Fotovat A. (2010). Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. Bioresour. Technol. 101, 551–554.
Mohr W, Grosskopf T, Wallace DW and LaRoche J.(2010). Methodological underestimation of oceanic nitrogen fixation rates. PloS One 5, e12583.
Pathma J and Sakthivel N.(2012). Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. Springer Plus 1, 26-30
Raja Sekar K and Karmegam N.(2010). Earthworm casts as an alternate carrier material for biofertilizers: assessment of endunate carrier material for biofertilizers: assessment of endurance and viability of *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium leguminosarum*, Scientia Horticulturae. 124(2) :286–289.
Rothballer M, Schmid M and Hartmann A.(2009). Diazotrophic endophytes in Gramineae and other plants., 273-302. In: Pawlowski K, Prokaryotic Symbionis in Plant, Vol. 8, Springer- Verlag, Berlin.
Shehata M M and E L-Khawas S A.(2003). Effect of two biofertilizers on growth parameters , yield character, nitrogenous components, nucleic acids content, minerals, oil content, protein profiles and DNA banding pattern of sunflower yield. Pakistan Journal of Biologic Sciences 6: 14. 1257-1268.
Scervino JM, Mesa MP, Mónica ID, Recchi M, Moreno NS and Godeas A. (2010). Soil fungal isolates produce different organic. Journal of Biologic Sciences ,41:190-198.
Tisdale SL, Nelson WL, Beaton JD and Havlin JL. (1993). Soil Fertility and Fertilizers. 5thed, USA, Macmillan publishing co.

Abstract
A return use of debris not only is an important step for protection of environment but also changing it to usable materials has a lot of economic benefits. In recent years using earth worm for recovery is considered widely for organic debris and production of vermicompost. Bacterization to organic composts is helpful for solving soluble phosphorous and increasing nitrogen and plant growth. This study was done to produce vermicompost from organic residues such as manure, medium hysteresis of mushroom and harvested maize and environment of them with nitrogen fixing bacteria and phosphorous dissolvent for finding the best compound in production of vermicompost in order to solve nutritional problems of plants. The study was done in form of factorial in a completely randomized design, with 3 treatments of media types and 3 types of bacterization and control without inoculation in 3 replications. Results show that adding vermicompost in all media cause to increase of nitrogen and phosphorous. Bacterization of *Azetobacter chroococcum* to media increases the amount of nitrogen, and bacterization of bacillus megaterium causes a better yield on amount of phosphorous without bacteria samples, separate and conjugate bacterization increase amount of nutrients and improve physical characteristics of media. Highest effect of bacteria was reached 60 days after inoculation.

Keywords: organic residues, enrichment, vermicompost, *Azetobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium.*

ارزیابی کارایی اپی‌فایتون‌های شالیزارهای استان گیلان در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی

متین علیبخشی فرد[۱]، شهرزاد زند پارسا[۱]، حسینعلی علیخانی[۲*]، حسن اعتصامی[۳]، احمدعلی پوربابایی[۴]، سمیه امامی[۵]

*استاد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (Halikhan@ut.ac.ir)

[۱، ۲، ۳، ۴، ۵] به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استاد، استادیار، دانشیار و محقق پسادکتری گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

پریفایتون و یا بیوفیلم‌های پریفایتیک یکی از مهمترین جوامع زیستی به شمار می‌آیند که در شالیزارها می‌توان آن‌ها را یافت و نقش مهمی در بقای اکوسیستم دارند. در این مطالعه توان رهاسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی توسط اپی‌فایتون در شرایط گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ۲۰ نمونه اپی‌فایتون از شالیزارهای استان گیلان تهیه شد و تغییرات میزان پتاسیم در محیط رشدی آن‌ها (BBM اصلاح شده با مسکوویت و بیوتیت) در یک دوره ۲۵ روزه اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که انواع مختلف اپی‌فایتون توانایی مناسبی در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی دارد که نمونه اپی‌فایتون شماره ۸ با رهاسازی پتاسیم به میزان ۱۳/۹۵، ۱۳/۰۶، ۱۳/۷۶، ۹/۵۱، ۸/۳ و ۷/۲ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در روزهای صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی گرم بر لیتر از منبع بیوتیت بیشترین توانایی را در میان ۲۰ نمونه اپی فایتون نشان داد. این مقادیر برای کانی مسکوویت به ترتیب ۸/۶، ۱۱/۳، ۸/۵، ۵/۸، ۵/۶ و ۴/۷ میلی‌گرم بر لیتر بود. با توجه به نقش لایه زیستی پریفایتون در رهاسازی پتاسیم از کانی مسکوویت و بیوتیت به نظر می‌رسد این پژوهش می تواند گام مهمی در راستای تولید کودهای زیستی کندرهش جهت نیل به کشاورزی پایدار باشد.

واژگان کلیدی: اپی‌فایتون، شالیزار، پتاسیم، کانی سیلیکاتی.

مقدمه

با توجه به سرعت رشد جمعیت در جهان و علی رغم پیشرفت‌های شگرف دانش و فناوری به ویژه در بهره‌وری هر چه بیشتر و بهتر از تمامی منابع طبیعی و نیروی انسانی، هر چند به افزایش حجم تولید و تنوع فرآیند های غذایی منجر گردیده اما با این وجود، هنوز از مصرف همگانی و روز افزون محصول برنج کاسته نشده است. در حال حاضر نیز برنج یکی از محصولات اصلی در تغذیه بشر می‌باشد، که تقریبا ۳/۵ میلیارد نفر، معادل نیمی از کل جمعیت دنیا آن را به عنوان غذای اصلی مصرف می‌نمایند (IRRI 2013). این گیاه در ایران، به عنوان دومین غذای اصلی بعد از گندم با سطح زیر کشت حدود ۶۰۰ هزار هکتار، شناخته می‌شود. مناطق جنوبی دریای خزر، حدود ۷۰ درصد برنج تولیدی ایران را به خود اختصاص داده است (Amiri-Larijani *et al*. 2011). بنابراین یافتن راه های علمی و اجرایی در جهت افزایش تولید این محصول در مواجهه با این روند صعودی افزایش جمعیت، ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از چالش‌هایی که بویژه در دهه های اخیر در دستور کار محققین کشاورزی در شالیزارها قرار گرفته است، بهینه‌سازی مصرف کودهای پتاسیمی است. پتاسیم یکی از عناصر مهم تشکیل دهنده بافت غلات بوده و مقدار آن درگیاهان مختلف ۲/۵ تا ۵ درصد وزن ماده خشک است. پتاسیم عنصری ضروری و پرمصرف برای همه موجودات زنده است و در فیزیولوژی و متابولیسم گیاه نه تنها از نظر مقدار آن در بافت‌های گیاهی، بلکه از نظر وظایف فیزیولوژیکی و

شـــیمیایی یکـــی از مهمتـــرین کاتیون‌ها است. بـه دلیـل غلظت زیاد در سیتوسُل و کلروپلاست، پتاسیم آنیون‌هـای آلی و معدنی محلول و غیر محلول را خنثـی کـرده و pH این بخش‌ها را بین ۷ تا ۸ ثابت حفظ می‌کند که برای اکثر واکنش‌های آنزیمی الزامی است (Marschner 1995). پتاسـیم نقش تعیین کننده‌ای در رشد و افزایش عملکرد غـلات از جمله برنج ایفا می‌کند که شامل افزایش اندازه و وزن دانه، افزایش مقاومت به شرایط آب و هوایی نامطلوب، افزایش مقاومت گیاه در برابر بیماری‌هـا و نیـز افـزایش اسـتحکام ساقه و همچنین کاهش ورس (خوابیدگی ساقه) می‌باشـد (Marschner 1995).

امروزه جهت دسترسی گیاه به عناصر غذایی مورد نیاز و عملکرد بهینه، استفاده از کودهای شیمیایی امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. افزایش قیمت کود شیمیایی، اتمام مواد اولیه تولید کودها و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف کودهای شیمیایی محققین را بر آن داشته تا راهکار مناسبی جهت کاهش مصرف این نهاده‌ها ارائه نمایند. یکی از این راهکارها استفاده از کودهای زیستی است که می‌تواند سبب بهبود وضعیت خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی شوند (امامی و همکاران، ۱۳۹۹). طبق مطالعات پیشین، در شالیزارها پریفایتون از جهت ایجاد خصوصیات محرک رشد گیاهی می‌تواند نقش مهمی در حیات، رشد و عملکرد گیاه برنج ایفا کند (بهشتی و همکاران، ۱۴۰۰). پریفایتون یا لایه زیستی پریفایتیک یک جامعه میکروبی نامتجانس شامل انواعی از اتوتروف (غالبا" جلبک‌ها، سیانوباکتر و دیاتومه ها) و هتروتروف ها (عمدتا" باکتری‌ها و قارچ‌ها) می‌باشد که با چسبیدن و اتصال به بسترهای سخت در اکوسیستم‌های آبی بویژه غرقاب ولی کم عمق زندگی می‌کند (Gillett *et al.* 2016).

اجزاء اولیه تشکیل پریفایتون نقش مهمی در چرخه عناصر غذایی در اکوسیستم‌های آبی ایفا دارند (Bowes *et al.* 2012). بطور مثال، پریفایتون قادر است نقش قابل توجهی به عنوان منبع/مخزن عناصر غذایی برای تغذیه بهینه گیاه داشته باشد (Saikia *et al.* 2013)، همچنین در گردش و تغییر و تبدیل عناصر غذایی و نیز انتقال عناصر غذایی بین آب و خاک در اکوسیستم‌های آبی (یعنی بعنوان فاز سوم، بین دو فاز خاک و آب غرقاب) در شالیزارها تاثیرگذار باشد (Battin *et al.* 2003). لذا توسعه و تاثیرگذاری لایه زیستی پریفایتون تشکیل یافته در شالیزارها می‌تواند اهمیت قابل توجهی در رشد و عملکرد گیاه برنج داشته باشد. در این صورت در شالیزار با تشکیل و توسعه پریفایتون و بدنبال آن برخورداری از منافع آن بویژه ارتقاء وضعیت چرخه عناصر غذایی و از جمله پتاسیم می‌توان در بهبود رشد و عملکرد گیاه تاثیر گذاشت. لذا در این مطالعه توان آزاد سازی پتاسیم توسط میکروبیوم اپی فایتون (پریفایتون‌های تشکیل شده بر روی ساقه های برنج، غرقاب در شالیزارها) از کانی‌های سیلیکاتی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش

نمونه‌برداری از توده اپی‌فایتون

جهت بررسی توان رهاسازی پتاسیم توسط میکروبیوم اپی‌فایتون از کانی‌های سیلیکاتی، نمونه‌برداری از ۲۰ مزرعه شالیزاری در استان گیلان با مشخصات جغرافیایی مشخص شده در جدول (۱) انجام گرفت. نمونه‌های اپی‌فایتون از سطح گیاهان مزارع شالی به وسیله کاردک ضد عفونی شده برداشته و درون لوله‌های آزمایش استریل قرار داده شد (Yang *et al.* 2016). نمونه‌ها داخل جعبه‌های حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شدند و در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند.

جدول ۱- نقاط نمونه‌برداری از شالیزارهای استان گیلان

ردیف	منطقه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
۱	رستم آباد	N 36 5235.23	E 49 3058.63
۲	سیاهکل	N 370744.99	E 49 5203.36
۳	آستانه اشرفیه	N 371812.82	E 49 5529.38

۴	لشت نشاء	N 372106.42	E 49 5322.82
۵	کوچه اصفهان	N 371617.25	E 49 4737.75
۶	خشکاروندان	N 371622.9	E 49 54 02.6
۷	خشکبیجار (پشکه)	N 372117.03	E 49 4534.05
۸	فرشم بالا	N 372054.39	E 49 4228.88
۹	باغچه بنه	N 372355.05	E 49 4604.98
۱۰	مریدان	N 370700.06	E 500904.47
۱۱	کوچه اصفهان- محله لاله دشت	N 371650.40	E 49 4522.91
۱۲	سنگر	N 371222.00	E 49 4159.20
۱۳	شفت	N 371040.72	E 492337.64
۱۴	ایستگاه گیله پردرسر ۱	N 371153.50	E 49 3933.69
۱۵	ایستگاه گیله پردرسر ۲	N 371200.43	E 49 3932.63
۱۶	مرکز تحقیقات برنج ۱	N 371217.77	E 49 3731.20
۱۷	مرکز تحقیقات برنج ۲	N 371219.28	E 49 3733.48
۱۸	فشتام	N 370942.27	E 49 3906.30
۱۹	جعفر آباد ۱	N 371635.03	E 49 4244.11
۲۰	جعفر آباد ۲	N 371544.69	E 49 4318.24

بازکشت اپی‌فایتون

نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه در محیط انتخابی BBM کشت شدند. برای هر نمونه یک ظرف حاوی ۱۰۰ میلی‌لیتر محیط اختصاصی و ۵ قطعه حامل سلولوزی در نظر گرفته شد. پس از استریل کردن ارلن‌های حاوی محیط کشت، هر ارلن با ۵ میلی‌لیتر از هر یک از ۲۰ نمونه اپی‌فایتون تلقیح شد. نگهداری نمونه‌ها درون گلخانه به مدت ۱ ماه در شدت نور ۶۰۰۰ لوکس و دوره نوری روشنایی/ تاریکی، ۱۴/۱۰ انجام گرفت.

بررسی توان رهاسازی پتاسیم توسط میکروبیوم اپی‌فایتون از کانی مسکوویت

برای بررسی توان رهاسازی پتاسیم توسط میکروبیوم اپی‌فایتون از محیط کشت BBM اصلاح شده با کانی سیلیکاتی مسکوویت استفاده شد. به این منظور در تهیه محیط BBM نمک‌های NaH_2PO_4 و Na_2HPO_4 به ترتیب جایگزین KH_2PO_4 و K_2HPO_4 شدند تا منابع محلول پتاسیمی در محیط کشت حذف گردند. برای تامین منبع پتاسیم نامحلول در محیط کشت از کانی پتاسیم مسکوویت به میزان ۲/۵ گرم در لیتر استفاده شد. سپس محیط کشت‌های تهیه شده درون ظروف ارلن با پنج میلی لیتر از ۲۰ نمونه اپی‌فایتون بازکشت شده و رشد یافته در گلخانه تحت شرایط استریل تلقیح شد. پس از تلقیح، انکوباسیون به مدت ۲۵ روز در دمای ۲۶درجه سلسیوس صورت گرفت. نمونه ها به منظور هوادهی، روزانه و بصورت دستی و به آرامی هم زده می‌شدند. و در روزهای ۰-۵-۱۰-۱۵-۲۰ و ۲۵ میزان ۱۵میلی لیتر از هر نمونه اپی‌فایتون توسط سمپلر برداشته شده و میزان پتاسیم محلول موجود در محیط با دستگاه فلیم فتومتر و همچنین میزان pH در محلول با استفاده از pH متر اندازه گیری و ثبت شد.

بررسی توان آزاد سازی پتاسیم توسط میکروبیوم اپی فایتون از کانی بیوتیت

بررسی توان آزاد سازی پتاسیم توسط میکروبیوم اپی فایتون از کانی بیوتیت دقیقا مشابه روش رهاسازی پتاسیم از کانی مسکوویت انجام گرفت با این تفاوت که بجای کانی مسکوویت از بیوتیت استفاده شد.

آنالیز آماری

آزمون‌های انجام شده در این بخش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شدند. تجزیه واریانس و محاسبات آماری با استفاده از برنامه کامپیوتری SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش Tukey در سطح پنج درصد انجام پذیرفت.

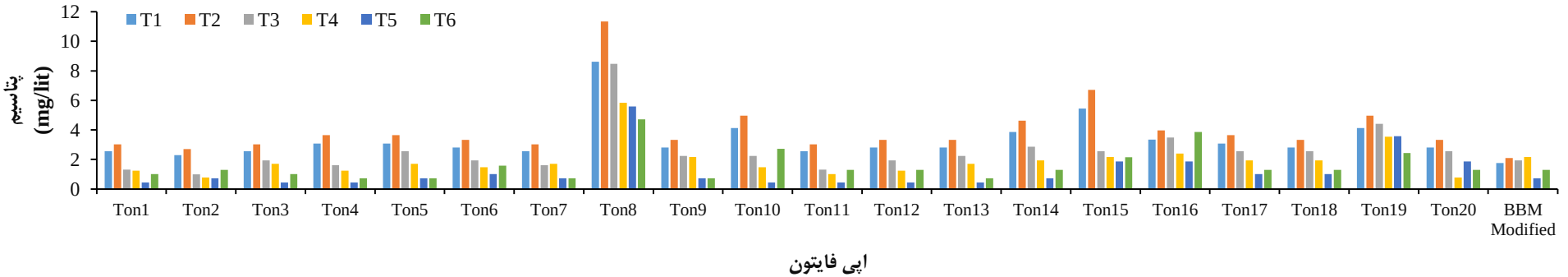
نتایج و بحث

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از اندازه‌گیری پتاسیم رها شده از کانی‌های بکار رفته در محیط BBM اصلاح شده در محیط کشت مایع اپی‌فایتون درون ظروف ارلن، نشان داد که اپی‌فایتون‌های بکار رفته از تاثیر معنی‌داری در پایه آماری یک درصد بر رهاسازی پتاسیم دارند. آزمون میانگین ویژگی‌های یاد شده نشان داد که میزان پتاسیم شناور در محیط کشت نمونه اپی فایتون شماره ۸ در محیط کشت حاوی بیوتیت بیشترین مقدار بود و از دیدگاه آماری اختلاف چشمگیری با تیمار کنترل آزمایش در بازه‌های زمانی مختلف نشان داد (شکل ۱الف و ب). اپی فایتون به عنوان یک جامعه میکروبی در هم تنیده ترکیبی از مخلوط موجودات میکروسکوپی فتواتوتروف چند لایه (شامل: سیانوباکترهای تک سلولی و رشته ای، دیاتومه ها و نیز جلبک های سبز میکروسکوپی) و انواع هتروتروف باکتری، قارچ و پروتزوئرها می‌باشند (Guzzon *et al*. 2008). به نظر می‌رسد باکتری‌ها و قارچ‌های موجود در توده میکروبی اپی‌فایتون پتاسیم موجود در ساختار کانی‌های سیلیکاتی مسکوویت و بیوتیت را با تولید و ترشح اسیدهای آلی و ترکیبات پلی سارکاریدی (و تشکیل کمپلکس های پلی سارکارید اسیدی) به شکل محلول در آورده اند. Meena *et al*. (2015) بیان کردند باکتری‌های آزاد کننده پتاسیم با مکانیزم‌هایی مانند: اسیدزایی، کلاته کردن و واکنش‌های تبادلی منجر به رهاسازی پتاسیم می‌شوند. مطالعات نشان داده که دو جنس *باسیلوس* و *سودوموناس* با تولید سیدروفور، اگزوپلی ساکاریدهای متعدد، اسیدهای آلی بویژه اگزالیک و اسید سیتریک، توانایی فعالیت در محدوده وسیعی از نمک و pH و استفاده از منابع متعدد کربوهیدراتی، قابلیت حل‌کنندگی پتاسیم را دارا می‌باشند. پلی‌ساکاریدها، اسیدهای آلی و سیدروفورها را به شدت جذب کرده و منجر به تشکیل غلظت بالائی از اسیدهای آلی در نزدیکی سطح کانی شده و با اکسید سیلیسیم موجود در سطح کانی کمپلکس ایجاد کرده و این عناصر از سطح کانی آزاد شده و وارد محیط کشت محلول می‌شود (Shanware *et al*. 2014).

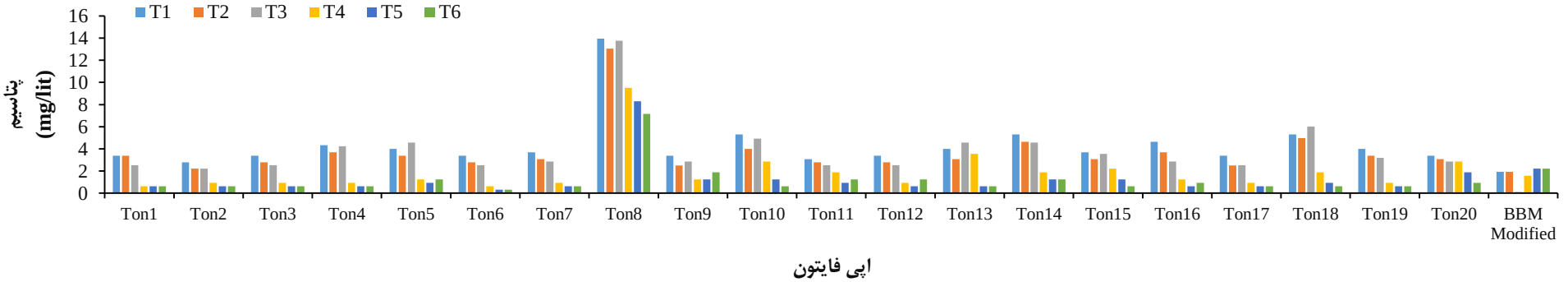
میزان رهاسازی پتاسیم در روزهای ابتدایی تشکیل اپی فایتون بیشتر بوده و با افزایش دوره زمانی انکوباسیون از میزان رهاسازی پتاسیم در محیط کاسته شد که علت این مسئله را می‌توان به فرآیند تجمع پتاسیم در ساختار رشد و تکثیر یافته اپی‌فایتون نسبت داد. حضور باکتری ها و قارچ ها به عنوان حل کننده ترکیبات سیلیکاتی در میکروبیوم اپی فایتون موجب رهاسازی مقادیر بیشتر پتاسیم در روزهای آغازین آزمایش شد ولی با ادامه انکوباسیون و توسعه رشد و ساختار اپی فایتون میزان رهاسازی پتاسیم کاهش یافت که نشانگر تجمع بخشی از پتاسیم آزاد شده در زیتوده اپی فایتون است. افزایش تدریجی pH در محیط رشدی اپی فایتون در دوره انکوباسیون همزمان با تشکیل توده اپی فایتون نشانگر انجام فعالیت‌های فتوسنتزی است (شکل ۲الف و ب). Lu *et al*. (2016) گزارش کردند که پریفایتیک بیوفیلم باعث افزایش pH آب از ۷/۵ به ۱۰ و کاهش مقدار فسفر ۱/۴ به ۰/۰۴ میلی گرم در لیتر در طی ۶۰ روز آزمایش شد.

در ارتباط با نوع کانی سیلیکاتی، میزان رهاسازی پتاسیم از کانی بیوتیت بیشتر از کانی مسکوویت بود. کانی بیوتیت در برابر کانی موسکوویت ناپایدارتر می‌باشد و این وابسته به خصوصیات ذاتی و ساختار کانی بیوتیت است. کانی بیوتیت از نوع تری اکتاهدرال و در برابر آن کانی موسکویت بفرم دی اکتاهدرال است و برای هوادیدگی زیستی مستعدتر می‌باشد (Öborn *et al*. 2005). از سوی دیگر بودن آهن فرو در ساختار کانی بیوتیت آن را ناپایدارتر نیز می‌کند. توانایی میکروارگانیسم‌ها در رهاسازی پتاسیم تا حد زیادی به گونه و سرشت کانی‌های پتاسیم وابسته است(Zeng *et al*. 2012) .

الف)

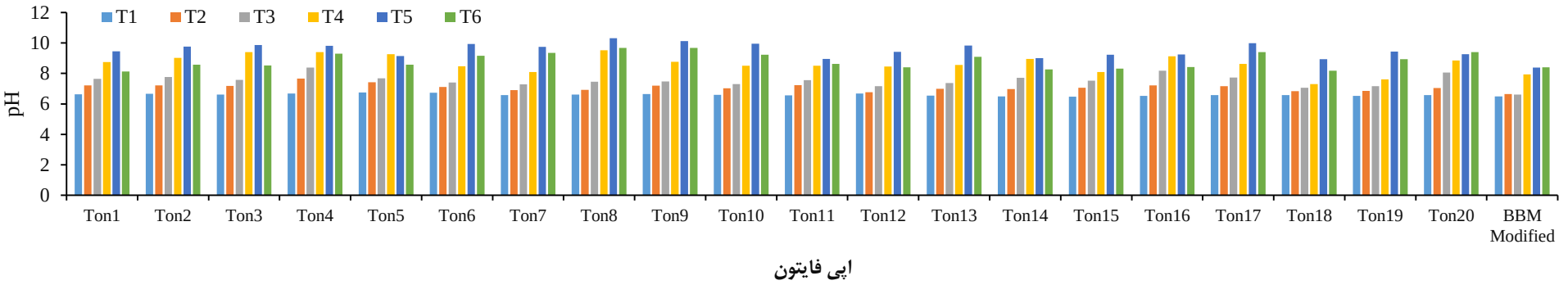


ب)

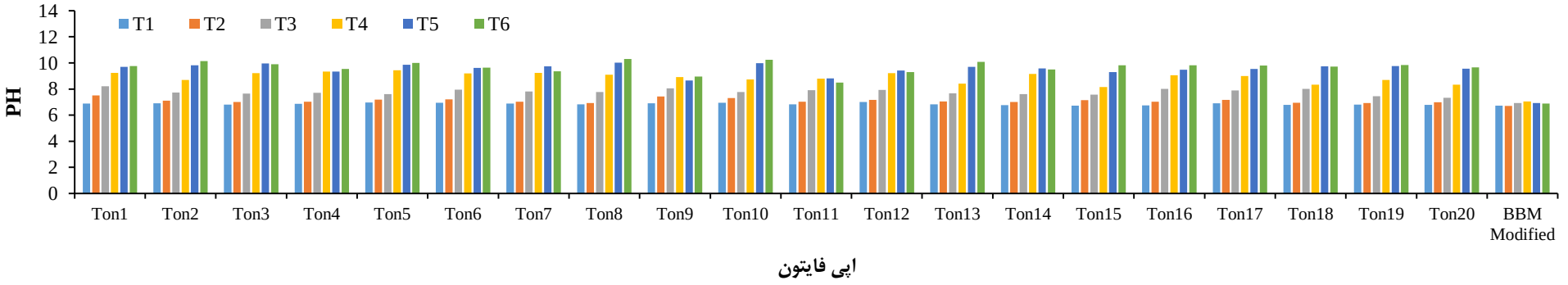


شکل ۱- مقایسه میانگین تغییرات میزان پتاسیم توسط اپی فایتون‌های مختلف در بازه‌های زمانی مختلف (T1: زمان صفر؛ T2: ۵ روز؛ T3: ۱۰ روز؛ T4: ۱۵ روز؛ T5: ۲۰ روز؛ T6 : ۲۵ روز) ؛ الف) منبع مسکوویت، ب) منبع بیوتیت

الف)



ب)



شکل ۲- تغییرات میزان pH در محیط رشدی اپی‌پلون در محیط حاوی الف) مسکوویت و ب) بیوتیت

(T1: زمان صفر؛ T2: ۵ روز؛ T3: ۱۰ روز؛ T4: ۱۵ روز؛ T5: ۲۰ روز؛ T6 : ۲۵ روز)

نتیجه گیری

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که انواع مختلف میکروبیوم اپی فایتون توانایی قابل قبولی در رهاسازی پتاسیم از کانی‌های سیلیکاتی دارد که نمونه اپی فایتون شماره ۸ با رهاسازی پتاسیم به میزان ۱۳/۹۵، ۱۳/۰۶، ۱۳/۷۶، ۹/۵۱، ۸/۳ و ۷/۲ میلی گرم بر لیتر به ترتیب در روزهای صفر، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلی گرم بر لیتر از منبع بیوتیت بیشترین توانایی را در میان ۲۰ نمونه اپی فایتون نشان داد. این مقادیر برای کانی مسکوویت به ترتیب ۸/۶، ۱۱/۳، ۸/۵، ۵/۸، ۵/۶ و ۴/۷ بود. همچنین میزان رهاسازی پتاسیم از کانی بیوتیت بیشتر از کانی مسکوویت بود که این مسئله مربوط به ساختار و سرشت این دو کانی است. باکتری‌ها و قارچ‌ها با منشع اپی‌فایتونی به عنوان حل کننده پتاسیم از ترکیبات سیلیکاتی و پیشگام بودن آن‌ها در تشکیل و کلینیزاسیون این لایه زیستی موجب رهاسازی مقادیر بیشتر پتاسیم در روزهای آغازین آزمایش شد ولی با ادامه انکوباسیون و کامل شدن ساختار اپی‌فایتون میزان رهاسازی پتاسیم کاهش یافت که نشانگر تجمع بخشی از پتاسیم آزاد شده در توده زیست لایه اپی فایتون در حال رشد و توسعه است. با توجه به نقش لایه زیستی پریفایتون در رهاسازی پتاسیم از کانی مسکوویت و بیوتیت به نظر می رسد این پژوهش می تواند گام مهمی در راستای تولید کودهای زیستی کندرهش جهت نیل به کشاورزی پایدار باشد لذا انجام این امر نیازمند پژوهش‌های تکمیلی (گلخانه‌ای و مزرعه‌ای) است.

منابع

امامی، س، علیخانی، ح. پوربابایی، ا. ع. اعتصامی، ح. سرمدیان، ف. متشرع زاده، ب. (۱۳۹۹). مقایسه کارایی باکتری های محرک رشد و کود شیمیایی در بهبود رشد و عملکرد گیاه گندم .*نشریه محیط زیست طبیعی*. ۷۳(۲): ۲۱۱-۲۲۵.

بهشتی، م. علیخانی، ح. پور بابایی، ا. ع. اعتصامی، ح. نوروزی، م. اسدی رحمانی، ه. امامی، س. (۱۴۰۰). بررسی خصوصیات محرک رشد گیاه میکروفلور جداسازی شده از پریفایتون در برخی از شالیزارهای استان گیلان .*دانش آب و خاک*.

Amiri Larijani, B., Sarvestani, Z.T., Nematzadeh, G.H., Manschadr, A.M., Amiri. E. (2011). Simulating phenology, growth, and yield of transplanted rice at different seedling ages in northern Iran using ORYZA2000. *Rice Science*, 18 (4), 321– 34.

Battin, T.J., Kaplan, L.A., Newbold, J.D., Hansen, C.M. (2003). Contributions of microbial biofilms to ecosystem processes in stream mesocosms. *Nature*, 426(6965), 439-442.

Bowes, M.J., Ings, N.L., McCall, S.J., Warwick,A., Barrett, C., Wickham, H.D., Lehmann, K. (2012). Nutrient and light limitation of periphyton in the River Thames: implications for catchment management. *Science of the Total Environment*, 434, 201-212.

Gillett, N.D., Pan, Y., Asarian, J.E., Kann, J. (2016). Spatial and temporal variability of river periphyton below a hypereutrophic lake and a series of dams. *Science of the Total Environment*, 541, 1382-1392.

Guzzon, A., Bohn, A., Diociaiuti, M., Albertano, P. 2008. Cultured phototrophic biofilms for phosphorus removal in wastewater treatment. *Water Res*, 42, 4357–4367.

International Rice Research Institute, IRRI. (2013). Rice knowledge bank. Los Banos, the Philippines. Retrieved February 15.

Lu, H., Wan, J., Li, J., Shao, H., Wu, Y. (2016). Periphytic biofilm: a buffer for phosphorus precipitation and release between sediments and water. Chemosphere 144, 2058-2064.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. *Acadmic Press London*, 313-323.

Meena V.S., Maurya B.R., Verma J.P., Aeron A., Kumar A., Kim K., Vivek K. and Bajpai F. (2015). Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): Isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica. *Ecological Engineering*, 81, 340–347.

Öborn I., Andrist Rangel Y., Askekaard M., Grant C.A., Watson C.A., Edwards A.C. (2005). Critical aspects of potassium management in agricultural systems. *Soil Use and Management*, 21, 102-112.

Saikia, S., Nandi, S., Majumder, S. (2013). A review on the role of nutrients in development and organization of periphyton. *Journal of Research in Biology*, 3, 780-788.

Shanware, A.S., Kalkar, S.A., Trivedi, M.M. (2014). Potassium Solublisers: Occurrence, Mechanism and Their Role as Competent Biofertilizers. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(9): 622-629.
Yang, J., Tang, C., Wang, F., Wu, Y. (2016). Co-contamination of Cu and Cd in paddy fields: Using periphyton to entrap heavy metals. *Journal of hazardous materials* 304, 150-158.

Zeng X., Liu X., Tang J., Hu S., Jiang P., Li W. and Xu L. 2012. Characterization and Potassium-Solubilizing Ability of Bacillus Circulans Z 1–3. *Advanced Science Letters*, 10, 173-176.

Evaluation of the efficiency of epiphytons in Guilan province paddy fields in releasing potassium from silicate minerals

Matin Alibakhshifard[1], Shahrzad Zandparsa[1], Hossein Ali Alikhani[2], Hassan Etesami[3], Ahmad Ali Pourbabaee [4], Somayeh Emami[5]
*Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran (Halikhan@ut.ac.ir).
[1,2,3,4,5] MSc student, Professor, Assistant Professor, Associate Professor, postdoctoral researcher, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.

ABSTRACT

Periphyton or periphytic biofilms are one of the most important biological communities that can be found in paddy fields and play an important role in ecosystem survival. In this study, the ability of epiphyton to release potassium from silicate minerals under greenhouse conditions was investigated. For this purpose, 20 epiphyton samples were prepared from paddy fields of Gilan province and changes in the amount of potassium in their growth medium (BBM modified with muscovite and biotite) were measured over a period of 25 days. The results of this study showed that different types of epiphyton have a good ability to release potassium from silicate minerals. Epiphyton No. 8 sample with potassium release of 13.95, 13.06, 13.76, 9.51, 8.3 and 7.2 mg / l on days of 0, 5, 10, 15, 20 and 25 respectively, from the biotite source showed the highest ability among 20 epiphyton samples. These values for muscovite mineral were 8.6, 11.3, 8.5, 5.8, 5.6 and 4.7 mg / l, respectively. Considering the role of periphytic biofilms in the release of potassium from muscovite and biotite minerals, it seems that this research can be an important step in the production of bio-fertilizers to achieve the sustainable agriculture.

Keywords: epiphyton, paddy field, potassium, silicate minerals.

بررسی حضور کلی‌فرم‌ها و *ایشریشیا کولای* مقاوم به آنتی‌بیوتیک در سواحل غربی استان گیلان

میلاد امینی[1*]، عباس شعبانی روفچائی[2]، حسین پندی[3]، آدینه عبدی طبالوندانی[4]

[1*] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده علوم زراعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
miladamini.sanru@gmail.com

[2] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

[3] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[4] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

چکیده

شن‌های ساحلی مکانی مناسب برای تجمع باکتری‌های بیماری‌زا هستند. این باکتری‌ها به دلیل مقاومت به آنتی‌بیوتیک باعث ایجاد مشکلاتی در زمینه بهداشت عمومی شده‌اند. با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف بررسی حضور کلی‌فرم‌ها و مقاومت باکتری *E. coli* به آنتی‌بیوتیک‌ها در پنج منطقه ساحلی پربازدید غرب استان گیلان (قو، رضوانشهر، گیسوم، زمرد و آستارا) انجام شد. از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر شن سواحل در سه تکرار در شهریور ۱۳۹۹ نمونه‌برداری انجام شد. پس از ساخت سوسپانسیون از شن‌ها و رقیق سازی، تعداد همه کلی‌فرم‌ها در محیط EMB شمارش شد. سپس باکتری *E. coli* به عنوان باکتری شاخص جداسازی و تکثیر شد و مقاومت آن در برابر آنتی‌بیوتیک‌های سفالکسین، جنتامایسین، داکسی‌سایکلین، سفتریاکسون، سیپروفلوکساسین، تری‌متوپریم و سفیکسیم به روش پخشیدگی دیسک انجام شد. نتایج نشان داد که تعداد همه کلی‌فرم‌ها در هر پنج ساحل بررسی شده از حد استاندارد بیشتر است و ساحل قو و زمرد از همه آلوده‌تر است. بنابراین مدیریت آلودگی میکروبی سواحل در غرب استان گیلان به دلیل حضور زیاد مسافران و گردشگران اهمیت فراوانی دارد.

واژه های کلیدی: ساحل قو، ساحل زمرد، مقاومت آنتی‌بیوتیکی

مقدمه

سواحل به عنوان یک نوار باریک و با شیب ملایم از زمین متشکل از خاک غیر تلفیقی تعریف می‌شوند که به آن‌ها شن و ماسه نیز می‌گویند (Malavé-Llamas, 2021). آن‌ها به دلیل قابلیت های فراوان در بسیاری از فعالیت‌های تفریحی مانند شنا، مورد بازدید و استفاده مردم قرار می‌گیرند (Gould *et al*., 2018). با توجه به اینکه این مناطق تفریحی به طور مداوم مورد استفاده قرار می‌گیرند، افرادی که به این سواحل رفت‌وآمد می‌کنند از تهدیدی نامرئی اطلاع ندارند. این تهدید، میکروارگانیسم‌هایی (باکتری‌ها، قارچ‌ها و انگل‌ها) هستند که باعث آلودگی سواحل و شناگاه‌ها می‌شوند. میکروارگانیسم‌ها به عنوان جزء مهمی از سواحل شنی در نظر گرفته می‌شوند که برخی بیماری‌زا هستند و سبب بیماری‌های گوارشی، پوستی، تنفسی می‌شوند (Stewart *et al*., 2008). برای چندین دهه، اکوسیستم‌های ساحلی به طور مداوم توسط چندین فعالیت انسانی مانند دفع نامناسب فاضلاب، رواناب شهری و تخلیه گسترده پساب‌های کشاورزی و صنعتی در معرض آلودگی قرار گرفته اند (Damak *et al*., 2020; Ghozzi et al., 2017). خطر بزرگ تخلیه فاضلاب، پتانسیل آزاد شدن باکتری های مقاوم به آنتی بیوتیک به محیط زیست است (Da Costa *et al*., 2006; Schwartz *et al*., 2003). آلودگی میکروبی سواحل و شناگاه‌ها به عنوان مشکل عمده در بهداشت عمومی در نظر گرفته می‌شود که بر سلامت انسان‌ها اثر منفی می‌گذارد (Malavé-Llamas, 2021). از این رو، برای پیش بینی وجود عوامل عفونی مربوط به شیوع‌های ناشی از آب در سواحل، و جلوگیری از تأثیرات آلودگی فضولات بر سلامت انسان و محیط‌زیست، نیاز فوری به ارزیابی کلی وجود دارد (Boufafa *et al*., 2021).

جهت بررسی مقدار آلودگی سواحل، از میکروب‌های شاخص مدفوعی[1] استفاده می‌شود. این میکروب‌های غیربیماری‌زا که معمولاً تعداد آن‌ها از میکروب‌های بیماری‌زا بیشتر است، غالبا جداسازی، شناسایی و شمارش آن‌ها ساده‌تر است و شامل کلی‌فرم‌ها (مانند *ایشریشیا کولای*[2])، باکتریوفاژ، کلاستریدیوم‌ها[3] و انتروکوکسی[4]های روده ای هستند.

تعداد بالای کلی‌فرم‌ها از سواحل جزیره شاهزاده استانبول[5] در ترکیه (Aydinol et al., 2012)، جنوب شرق برزیل (Suciu et al., 2017)، سواحل جنوبی کالیفرنیا[6] (Hernandez et al., 2020)، ساحل خلیج تیلاموک اورگان[7] در امریکا (Zimmer-Faust et al., 2018) و سواحل جزایر گالاپاگوس[8] در اسپانیا (Overbey et al., 2015) گزارش شده است. امینی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی چهار شناگاه در شرق استان گیلان، گزارش کرد که تعداد کلی‌فرم‌ها در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه بیش از حد استاندارد بود و از نظر مقاومت باکتری *E. coli* به آنتی‌بیوتیک‌ها نیز دیده شد که در شن سواحل چمخاله و رودسر این باکتری به سفالکسین و داکسی‌سایکلین مقاوم شده است. محمدی گلنگش و همکاران (۱۳۹۶) در اندازه‌گیری بار میکروبی ۹ ایستگاه از سواحل کاسپین، بیان داشت که انزلی و لوندویل نیاز به مدیریت ویژه دارد. با توجه به توریستی بودن سواحل شمال کشور و گزارش‌هایی مبنی بر آلودگی این سواحل، این پژوهش، با هدف بررسی حضور باکتری‌های کلی‌فرم و مقاومت باکتری *E. coli* به عنوان باکتری شاخص آلودگی مدفوعی به آنتی‌بیوتیک‌ها در پنج منطقه ساحلی در غرب استان گیلان انجام شده است.

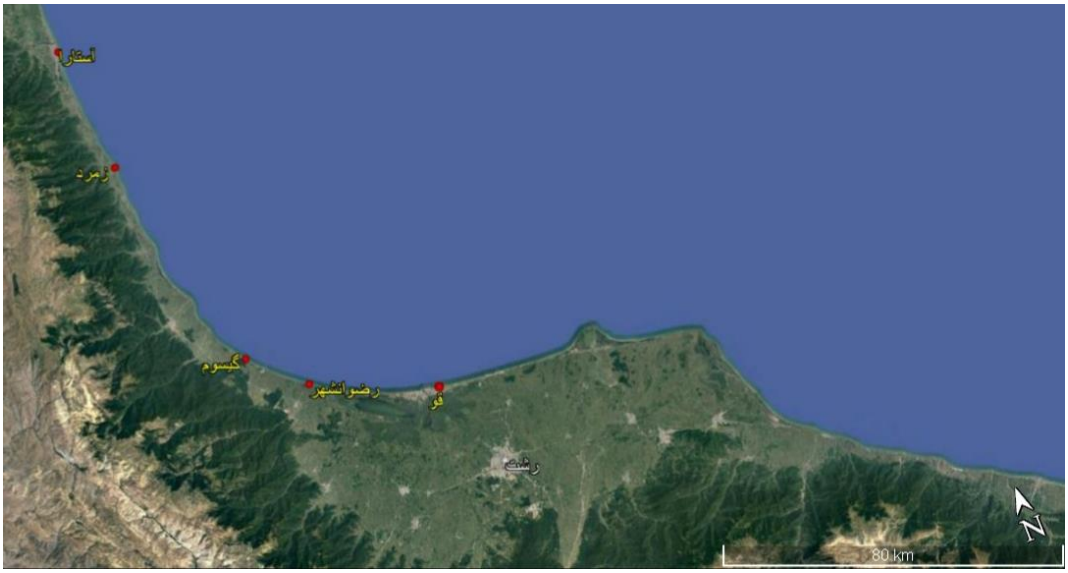
مواد و روش

نمونه‌برداری از پنج منطقه ساحلی قو بندرانزلی، رضوانشهر، گیسوم، زمرد حویق و آستارا در دریای کاسپین انجام گردید. در جدول ۱ مختصات جغرافیایی و در شکل ۱ نقشه پراکندگی آن‌ها آمده است. این سواحل به دلیل گردشگرپذیری بیشتر و استفاده از آنان به عنوان شناگاه، انتخاب شدند. نمونه‌برداری در هر نقطه با سه تکرار از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری شن ساحلی (حدود ۲۰ متری خط موج دریا) در شهریور ۱۳۹۹ انجام شد. در یک شرایط سترون نمونه‌ها برداشته شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

جدول ۱- مختصات نقاط نمونه‌برداری شده

ردیف	قو Ghoo	رضوانشهر Rezvanshahr	گیسوم Gisum	زمرد Zomorrod	آستارا Astara
طول جغرافیایی (شرقی)	49°30'15.4"	49°11'17.8"	49°03'20.7"	48°54'49"	48°52'53.5"
عرض جغرافیایی (شمالی)	37°28'23.1"	37°34'40.9"	37°40'30"	38°08'54.8"	38°25'11.9"

[1] Fecal index organisms
[2] *Escherichia coli*
[3] *Clostridium*
[4] *Enterococci*
[5] Prince Island, Istanbul
[6] California
[7] Tillamook Bay, Oregon
[8] Galápagos Islands



شکل ۱- نمایی از سواحل جنوبی دریای کاسپین در استان گیلان- مناطق ساحلی نمونه‌برداری شده با نقطه قرمز نشان داده شده‌اند

پس از تهیه سوسپانسیون و سری رقت از نمونه‌ها در آب مقطر استریل، ۰/۱ میلی لیتر از رقت مناسب در پلیت‌های دارای محیط EMB[1] مایه زنی شد. پلیت‌ها ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس انکوباسیون شده و به روش شمارش کلنی، شمارش همه کلی‌فرم‌ها انجام شد.

بنابر راهنمای موسسه استانداردهای آزمایشگاهی و کلینیکی (CLSI, 2014)، آزمون مقاومت به آنتی‌بیوتیک به روش کربی-بائر[2] انجام شد. به گونه ای که کلنی سبز با جلای فلزی به عنوان باکتری *ایشریشیا کولای* از پتری‌های مربوط به هر منطقه برداشته شده و در محیط نوترینت براث دوباره کشت شد. سپس سوسپانسیونی از آن بر اساس محلول مک‌فارلند[3](۰/۵ مک‌فارلند) ساخته شد و با گوش پاک‌کن[4] در سطح محیط کشت مولر-هینتون[5] آگار به روش کشت چمنی مایه‌زنی شد. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سلسیوس، قطر ناحیه (هاله) بازدارندگی[6] (ZOI) آنتی‌بیوتیکی اندازه‌گیری گردید. در این بخش از دیسک آنتی‌بیوتیک‌های سفالکسین (Ceph 30)، جنتامایسین (GM 10)، داکسی‌سایکلین (D 30)، سفتریاکسون (Cef 30)، سیپروفلوکساسین (CIP 5)، تری‌متوپریم (SXT 5) و سفیکسیم (CFM 5) بهره‌گیری شد. بر اساس روش کربی-بائر باکتری آزمون شده در برابر آنتی‌بیوتیک موردنظر، بر اساس قطر هاله بازدارندگی تشکیل شده، به صورت مقاوم، نیمه‌مقاوم یا نیمه‌حساس و حساس گزارش می‌شود (CLSI, 2014) (جدول ۲).

جدول ۲- تقسیم بندی درجه مقاومت (یا حساسیت) آنتی‌بیوتیک‌های به کار رفته برای باکتری‌های خانواده *انتروباکتریاسه* بر اساس قطر هاله بازدارندگی (ZOI) به میلی‌متر (CLSI, 2014).

نوع آنتی‌بیوتیک	غلظت ماده موثر در دیسک (µg)	حساس	نیمه‌حساس	مقاوم
سفالکسین	۳۰	≤ ۱۸	۱۷-۱۵	≥ ۱۴
جنتامایسین	۱۰	≤ ۱۵	۱۴-۱۳	≥ ۱۲
داکسی‌سایکلین	۳۰	≤ ۱۴	۱۳-۱۱	≥ ۱۰
سفتریاکسون	۳۰	≤ ۲۳	۲۳-۲۰	≥ ۱۹
سیپروفلوکساسین	۵	≤ ۲۱	۲۰-۱۶	≥ ۱۵
تری‌متوپریم	۵	≤ ۱۶	۱۵-۱۱	≥ ۱۰
سفیکسیم	۵	≤ ۱۹	۱۸-۱۶	≥ ۱۵

[1] Eosine Methylene Blue
[2] Kirby-Bauer
[3] Macfarland
[4] Swab
[5] Mueller-Hinton
[6] Zone of Inhibition

برای آنالیز داده‌های تعداد کلی‌فرم‌ها از طرح کاملاً تصادفی ساده و برای شاخص ZOI باکتری *E. coli*، از فاکتوریل استفاده شد. در آزمایش فاکتوریل مناطق ساحلی نمونه‌برداری شده در پنج سطح (قو، رضوانشهر، گیسوم، زمرد، آستارا) به عنوان فاکتور اول و نوع آنتی‌بیوتیک‌ها در هفت سطح (سفالکسین، جنتامایسین، داکسی‌سایکلین، سفتریاکسون، سیپروفلوکساسین، تری‌متوپریم و سفیکسیم) فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. مقایسه میانگین‌ها به روش توکی و آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

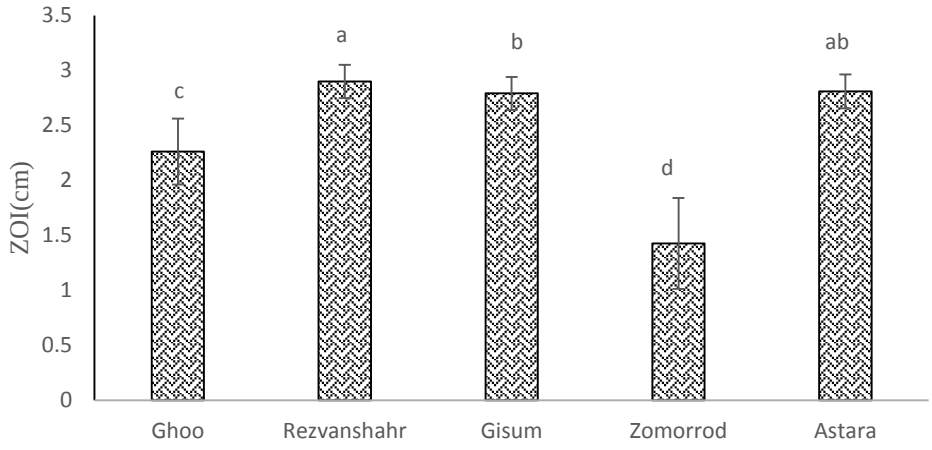
آنالیز تجزیه واریانس نشان داد که پیامد منطقه نمونه‌برداری بر لگاریتم تعداد همه کلی‌فرم‌ها و همچنین پیامد منطقه نمونه-برداری، نوع آنتی‌بیوتیک و برهم‌کنش آن‌ها بر قطر ZOI باکتری *E. coli* معنی‌دار است ($p<۰/۰۱$) (جدول ۳). میانگین تعداد همه کلی‌فرم‌ها در مناطق نمونه‌برداری شده در شکل ۲ آمده است. بالاترین تعداد همه کلی‌فرم‌ها در شن ساحل زمرد به دست آمد که به جز با ساحل آستارا، با سایر مناطق ساحلی معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). استاندارد تعداد کلی‌فرم‌ها در تفریح‌گاه‌ها نبایستی بیش از ۱۰۰۰ باکتری *ایشریشیا کولای* (۳ واحد لگاریتمی) یا ۵۰۰ باکتری کلی‌فرم (مجموع کلی‌فرم‌ها) در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب باشد (WHO, 2003). بنابراین تعداد کلی‌فرم‌ها در شن ساحلی هر پنج منطقه نمونه‌برداری شده بیشتر از حد استاندارد بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس پیامد منطقه نمونه‌برداری بر لگاریتم تعداد همه کلی‌فرم‌ها و منطقه نمونه‌برداری، نوع آنتی-بیوتیک و برهم‌کنش آنها بر قطر ZOI باکتری *E. coli*

منبع تغییر	همه کلی‌فرم‌ها		ZOI باکتری *E. coli*			
	منطقه نمونه‌برداری	خطا	منطقه نمونه‌برداری (L)	نوع آنتی‌بیوتیک (A)	L× A	خطا
درجه آزادی	۴	۴۰	۴	۶	۲۴	۱۷۵
میانگین مربع‌ها	۱/۳۸**	۰/۳۳	۱۶/۰۷**	۸/۷۹**	۱**	۰/۰۲۵

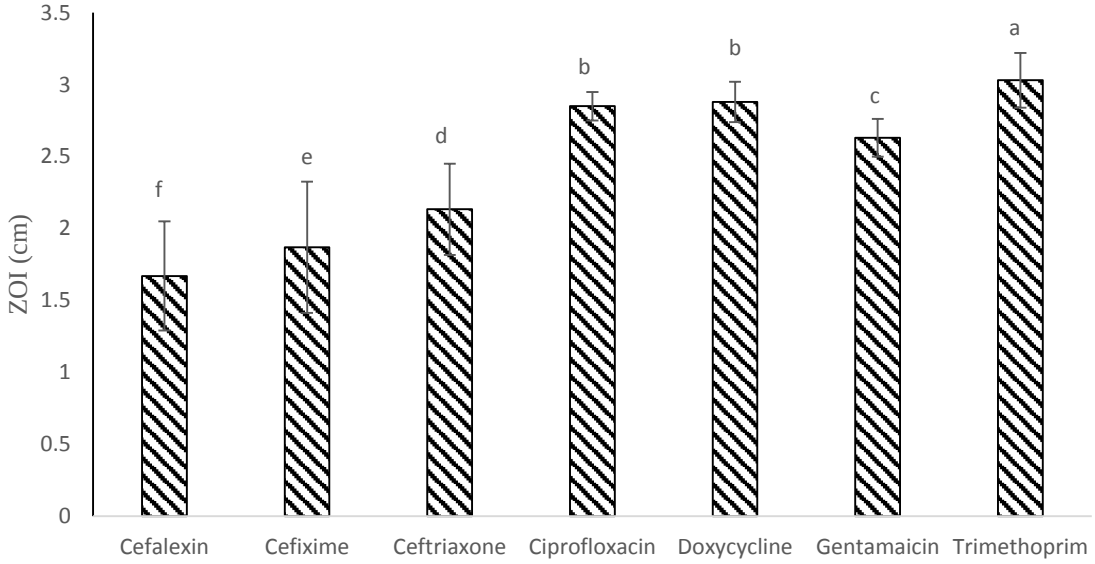
شکل ۲- مقایسه میانگین لگاریتم تعداد کلی‌فرم‌ها در شن ساحلی. حروف هم‌سان در بالای ستون‌ها نشان-دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد است. نوارها خطای استاندارد هستند.

در شکل ۳ قطر هاله بازدارندگی (ZOI) باکتری *E. coli* به دست آمده از شن سواحل مختلف در برابر آنتی‌بیوتیک‌های بررسی شده آمده است. بالاترین اندازه قطر ZOI باکتری *E. coli* در ساحل رضوانشهر به دست آمد که تفاوت آن با سایر سواحل به جز ساحل آستارا، از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). کمترین اندازه این پارامتر در شن مربوط به ساحل زمرد به دست آمد که تفاوت آن با شن سایر سواحل معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). بدون در نظر گرفتن نوع آنتی‌بیوتیک و با توجه به قطر ZOI آنتی-بیوتیک‌های بررسی شده می‌توان دریافت که دو ساحل قو بندرانزلی و زمرد حویق، آلودگی بیشتری نسبت به سایر سواحل دارند که این آلودگی در ساحل زمرد به مراتب بیشتر است.

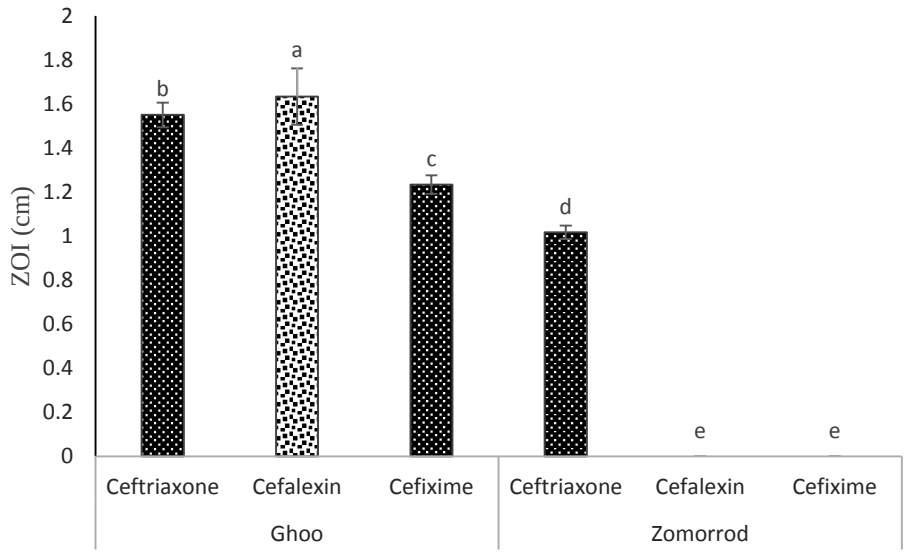


شکل ۳- مقایسه میانگین قطر ZOI باکتری *E. coli* به دست آمده از شن سواحل مختلف. حروف هم‌سان در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد است. نوارها خطای استاندارد هستند.

در شکل ۴ قطر هاله بازدارندگی (ZOI) باکتری *E. coli* در برابر آنتی‌بیوتیک‌های بررسی شده آمده است. بالاترین اندازه قطر ZOI باکتری *E. coli* در برابر آنتی‌بیوتیک تری‌متوپریم به دست آمد که تفاوت آن با دیگر آنتی‌بیوتیک‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). کمترین اندازه این پارامتر نیز در برابر آنتی‌بیوتیک سفالکسین به دست آمد که تفاوت آن نیز با دیگر آنتی-بیوتیک‌ها معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). با توجه به جدول ۲ می‌شود گفت که باکتری *E. coli* به دست آمده از این پنج منطقه ساحلی در برابر آنتی‌بیوتیک‌های سفالکسین، سفیکسیم و سفتریاکسون نیمه حساس هستند و در برابر آنتی‌بیوتیک‌های داکسی‌سایکلین، سیپروفلوکساسین، تری‌متوپریم و جنتامایسین حساس‌اند. بنابراین در باره سه آنتی‌بیوتیک نخست بایستی موارد احتیاط رعایت شود چون در مرز مقاوم شدن هستند. بنابراین، پیامد برهم‌کنش نوع منطقه نمونه‌برداری در آنتی‌بیوتیک به صورت بررسی جزئی در شکل ۵ آمده است. تنها در سواحل قو و زمرد مقاومت باکتری *E. coli* مشاهده شد که در ساحل قو به سفتریاکسون و سفیکسیم و در ساحل زمرد علاوه بر این دو، به سفالکسین نیز مقاوم بود. در ساحل قو بندرانزلی باکتری *E. coli* به سفالکسین نیمه حساس بود.



شکل ۴- مقایسه میانگین قطر ZOI باکتری *E. coli* در برابر آنتی‌بیوتیک‌های بررسی شده. حروف هم‌سان در بالای ستون‌ها نشان-دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد است. نوارها خطای استاندارد هستند.



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش نقاط نمونه‌برداری در نوع آنتی‌بیوتیک بر قطر ZOI باکتری *E. coli* مقاوم و نیمه حساس. حروف هم‌سان در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد است. نوارها خطای استاندارد هستند.

امینی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی آلودگی سواحل گیلان گزارش داد که در هر ۴ منطقه نمونه‌برداری باکتری *E. coli* به سفالکسین مقاوم بود و در سواحل رودسر و چمخاله (سواحل شرق گیلان) باکتری *E. coli* به سفتریاکسون نیز مقاوم بود.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در شن ساحلی هر پنج منطقه بررسی شده تعداد همه کلی‌فرم‌ها بیشتر از حد استاندارد است. از نظر مقاومت باکتری *E. coli* به آنتی‌بیوتیک‌ها نیز دیده شد که در شن سواحل قو و زمرد این باکتری به سفتریاکسون و سفیکسیم مقاوم شده است. بنابراین باتوجه به این‌که این سواحل بیشتر در فصول گرم سال مورد بازدید گردشگران قرار می‌گیرد، لازم است که تمهیدات لازم برای کاهش آلودگی این شناگاه‌ها اندیشیده و از بروز بیماری‌های خطرناک جلوگیری شود.

مراجع

امینی، م. فرهنگی، م.ب. قربانزاده، ن. (۱۳۹۸)، بررسی حضور کلی‌فرم‌ها و ایشریشیا کولای مقاوم به آنتی‌بیوتیک در سواحل خزر- استان گیلان. اولین همایش بین المللی محیط زیست دریای خزر و توسعه پایدار.

محمدی گلنگش، م. موحدی نیا، ع. بزرگ‌پناه خراط، ز. (۱۳۹۶)، بررسی برخی شاخص‌های میکروبی و مواد مغذی در سواحل جنوبی دریای خزر، استان گیلان. مجله علوم و فنون دریایی ۱۶ (۴)، ۶۶-۷۷.

Aydinol, F. I. T., Kanat, G., and Bayhan, H., 2012, Sea water quality assessment of Prince Islands' Beaches in Istanbul: Environmental monitoring and assessment, v. 184, no. 1, p. 149-160.

Boufafa, M., Kadri, S., Redder, P., and Bensouilah, M., 2021, Occurrence and distribution of fecal indicators and pathogenic bacteria in seawater and Perna perna mussel in the Gulf of Annaba (Southern Mediterranean): Environmental Science and Pollution Research, p. 1-18.

Da Costa, P. M., Vaz-Pires, P., and Bernardo, F ,. 2006, Antimicrobial resistance in Enterococcus spp. isolated in inflow, effluent and sludge from municipal sewage water treatment plants: Water research, v. 40, no. 8, p. 1735-1740.

Damak, M., Fourati, R., Elleuch, B., and Kallel, M., 2020, Environmental quality assessment of the fish farms' impact in the Monastir Bay (eastern of Tunisia, Central Mediterranean): a benthic foraminiferal perspective: Environmental Science and Pollution Research, p. 1-16.

Ghozzi, K., Marangi, M., Papini, R., Lahmar, I., Challouf, R., Houas, N., Dhiab, R. B., Normanno, G., Babba, H., and Giangaspero, A., 2017, First report of Tunisian coastal water contamination by protozoan parasites using mollusk bivalves as biological indicators: Marine pollution bulletin, v. 117, no. 1-2 ,p. 197-202.

Gould, W. A., Diaz, E. L., Álvarez-Berríos, N. L., Aponte-González, F., Archibald, W., Bowden, J. H., Carrubba, L., Crespo, W., Fain, S. J., and González, G., 2018, US Caribbean: US Global Change Research Program.

Hernandez, R., Acedo, I., and Dillon, J. G., 2020, Impact of wave action and rainfall on incidence and antibiotic resistance of total coliforms in Southern California beaches: Journal of Water and Health, v. 18, no. 5, p. 766-775.

Malavé-Llamas, K., 2021, Evaluation of Monitored and Unmonitored Bacteria in Recreational Beaches in Puerto Rico: Underlining the Environmental Factors that Affect Beach Quality: EC Microbiology, v. 17, p. 86-95.

Overbey, K. N., Hatcher, S. M., and Stewart, J. R., 2015, Water quality and antibiotic resistance at beaches of the Galápagos Islands: Frontiers in Environmental Science, v. 3, p. 64.

Schwartz, T., Kohnen, W., Jansen, B., and Obst, U., 2003, Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms: FEMS microbiology ecology, v. 43, no. 3, p. 325-335.

Stewart, J. R., Gast, R. J., Fujioka, R. S., Solo-Gabriele, H. M., Meschke, J. S., Amaral-Zettler, L. A., Del Castillo, E., Polz, M. F., Collier, T. K., and Strom, M. S., 2008, The coastal environment and human health: microbial indicators, pathogens, sentinels and reservoirs: Environmental Health, v. 7, no. 2, p. 1-14.

Suciu, M. C., Tavares, D. C., Costa, L. L., Silva, M. C., and Zalmon, I. R., 2017, Evaluation of environmental quality of sandy beaches in southeastern Brazil: Marine Pollution Bulletin, v. 119, no. 2, p. 133-142.

World Health Organization, 2003. Guidelines for safe recreational water environments: Coastal and fresh waters (Vol. 1). World Health Organization.

Zimmer-Faust, A. G., Brown, C. A., and Manderson, A., 2018, Statistical models of fecal coliform levels in Pacific Northwest estuaries for improved shellfish harvest area closure decision making: Marine pollution bulletin, v. 137, p. 360-369.

Evaluation of Coliform Bacteria and Antibiotic Resistant *Escherichia coli* occurrence in West coasts of Gilan province

Milad Amini[1*], Abbas Shabany Rofchaei[2], Hosain Pandi[3], Adineh Abdi Tabalvandani[4]
[1*] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Crop Sciences Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, miladamini.sanru@gmail.com
[2] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Guilan, Iran
[3] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran
[4] M.Sc. graduated Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Guilan, Iran

Abstract
Beach sand is a good place for pathogenic bacteria to accumulate. These bacteria have caused public health problems due to antibiotic resistance. Regarding the importance of the subject, this study aimed to investigate the presence of coliform and E. coli resistance to antibiotics in five most visited coastal areas in the west of Gilan province (Ghoo, Rezvanshahr, Gisum, Zomorrod and Astara). The sand beaches were sampled from 0-20 cm depth in three replications in September 2020. After making suspension and serial dilution from sand, the number of total coliforms was counted on the EMB medium. Then, *E. coli* was isolated and re-streaked as an fecal indicator bacterium and its resistance to cefalexin, gentamicin, doxycycline, ceftriaxone, ciprofloxacin, trimethoprim and cefixime antibiotics was determined by disk diffusion method on Mueller-Hinton agar medium. The results showed that the total number of coliforms in all five beaches was higher than the standard and Ghoo and Zomorrod beaches are the most polluted. Therefore, the management of coastal microbial pollution in the west of Gilan province is of great importance due to the large presence of travelers and tourists.

Keywords: Ghoo Beach, Zomorrod Beach, Antibiotic Resistance

بررسی زیست فراهمی فسفر برای رشد ریزجلبک *کلرلا* در یک خاک شالیزار

علی غلامعلی‌زاده ولدی[۱]، *نسرین قربان‌زاده[۲]، محمدباقر فرهنگی[۳]، مریم خلیلی راد[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲، ۳ و ۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

(E-mail: nghorbanzadeh@guilan.ac.ir)

چکیده

فسفر یکی از آلاینده‌های مهم با منشاء غیرنقطه‌ای است که به عنوان یکی از عوامل اصلی محرک پدیده سرشارسازی در زیست‌بوم‌های آبی می‌باشد. این پژوهش با هدف مطالعه فسفر زیست فراهم با بررسی ارتباط بخش‌های شیمیایی فسفر در یک خاک شالیزاری و رشد ریزجلبک *کلرلا* صورت گرفت. به این منظور عصاره‌گیری پی در پی در خاک انجام شد و چهار نوع خاک دارای بخش‌های مختلف فسفر آماده شد. به هر یک از این بخش‌ها ریزجلبک *کلرلا* افزوده شد و انکوباسیون انجام شد. در روزهای ۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز، مقدار کلروفیل a و فسفر کل محلول در محیط اندازه‌گیری شد. مقدار کلروفیل a در تمامی تیمارهای خاک روند افزایشی نشان داد و در روز چهاردهم به بیشترین مقدار رسید و سپس کاهش یافت. مقدار کلروفیل a در تیمار خاک بدون عصاره‌گیری و خاک فاقد بخش محلول و تبادلی نسبت به دو تیمار فاقد بخش اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربناتی بیشتر بود. مقدار فسفر کل محلول در تمامی تیمارها در طول دوره آزمایش کاهش یافت که بیانگر استفاده فسفر محلول توسط *کلرلا* است. فسفر بخش کربناتی و باقی‌مانده نیز علاوه بر فسفر بخش محلول و تبادلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم توانستند برای رشد *کلرلا* با مقدار کمتری مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین با توجه به امکان استفاده *کلرلا* حتی از بخش‌های مقاوم‌تر فسفر می‌توان انتظار داشت که پتانسیل غنی‌سازی اکوسیستم‌های آبی با عبور رودخانه‌ها از اراضی شالیزاری اطراف آن امکان‌پذیر باشد.

واژگان کلیدی: جلبک، فسفر محلول، فسفر ذره‌ای، عصاره‌گیری پی در پی

مقدمه

عنصر فسفر (P) یکی از اصلی‌ترین عناصر غذایی ضروری برای موجودات زنده است و در پوسته زمین در حدود ۰/۰۹ درصد وجود دارد (Cordell *et al*., 2009). این عنصر به عنوان یکی از عوامل اصلی محرک پدیده‌های سرشارسازی[۱] و شکوفایی جلبکی[۲] در زیست‌بوم‌های آبی مطرح است و کمبود آن رشد جلبک‌ها را محدود می‌کند. از طرفی این پدیده‌ها کمبود اکسیژن، تبعات زیست محیطی نامطلوب و از همه مهم‌تر کاهش تنوع زیستی را به دنبال دارند. بنابراین فسفر از سویی می‌تواند در زیست‌بوم‌های آبی عامل محدود کننده رشد جاندارن و در سوی دیگر، موجب آلودگی و ایجاد پدیده سرشارسازی در آب‌ها شود (Upreti *et al*., 2015). ارزیابی‌های زیستی مشخص کرده است که فسفر زیست فراهم[۳] (BAP) تقریبا شامل تمام فسفر محلول[۴] (DP) و بخشی از فسفر همراه[۵] (چسبیده به ذرات یا فسفر ذره‌ای نامحلول) (PP) است که به راحتی قابل استفاده می‌باشد (Okubo *et al*., 2011). فسفر محلول بخش غالب فسفر در طول جریان اصلی آب رودخانه است و فسفر همراه نیز پس از بارندگی به آب رودخانه اضافه شده و می‌تواند به بخش غالب فسفر تبدیل شود (Ellison and Brett, 2006). بنابراین هیچ‌کدام از بخش‌هایی از فسفر که به طور معمول اندازه‌گیری می‌شوند برآورد دقیقی از کل BAP ارائه نمی‌دهد. کمی‌سازی این‌که کدام‌یک از بخش‌های فسفر از نظر زیستی برای رشد جلبک‌ها فراهم هستند برای تخمین خطرات سرشارسازی ضروری است.

---

۱ Eutrophication

۲ Algal bloom

۳ Bioavailable phosphorus

۴ Dissolved phosphorus

۵ Particulate phosphorus

اغلب فسفر زیست فراهم رسوبات به صورت محلول و متصل به ذرات رسوب در رودخانه‌ها جا به جا می‌شود (Hoffman *et al.*, 2009). در رسوبات، فسفر زیست فراهم رابطه بسیار معنی‌داری با فسفر کل و فسفر قابل عصاره‌گیری با هیدروکسید سدیم نشان داده است (Wang *et al.*, 2010). فسفر عصاره‌گیری شده با هیدروکسید سدیم ۰/۱ مولار یکی از اولین بخش‌هایی بود که برای ارتباط بین فسفر رسوبات با رشد جلبک پیشنهاد شده است (Li and Brett, 2015). ارفع‌نیا و همکاران (۱۳۹۶) در آزمون جلبکی به روشنی نشان دادند که فسفر آهن و آلومینیومی دارای ارتباط بسیار معنی‌داری با جمعیت جلبکی *Senedesmus obliquus* بود و پس از آن، فسفر تبادلی و فسفر باقی‌مانده همبستگی معنی‌داری با جمعیت جلبکی نشان دادند. اگرچه عصاره گیری پی در پی فسفر پیشرفت‌های زیادی برای درک بخش‌های مختلف فسفر در خاک ایجاد کرده است اما در رابطه با زیست فراهمی فسفر در هر بخش اطلاعات زیادی موجود نیست (Yan *et al.*, 2020).

با توجه به سطح گسترده زمین‌های کشاورزی استان گیلان، استفاده ناکارآمد از نهاده‌های کشاورزی می‌تواند از نظر کمی و کیفی منابع آبی منطقه را در معرض تهدید جدی قرار دهد. با توجه به این‌که بخش عظیمی از ترکیب‌های فسفات در زمین‌های کشاورزی توسط رواناب و زهکشی وارد تالاب انزلی می‌شود، از این رو برآورد زیست فراهمی فسفر با استفاده از عصاره‌گیری پی‌درپی در خاک‌های اراضی شالیزاری کنار رودخانه‌های ورودی به تالاب انزلی دارای اهمیت می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی شکل‌های شیمیایی فسفر در یک نمونه خاک شالیزاری اطراف رودخانه پیربازار و ارتباط آن‌ها با رشد ریزجلبک *کلرلا* به عنوان شناساگر زیستی و بومی رودخانه‌های استان صورت گرفت تا مشخص شود کدام شکل فسفر در نمونه خاک برای ریزجلبک *کلرلا* فراهم است.

مواد و روش‌ها

تهیه و بازکشت ریزجلبک *کلرلا*

ریزجلبک *کلرلا* از بخش زیست‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه گیلان تهیه شد. بازکشت جلبک در محیط کشت BG_{11} انجام شد تا ذخیره اولیه ریزجلبک برای آزمایش تهیه شود (Andersen, 2005). دوره نوری برای کشت ریزجلبک ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی است. در مرحله تثبیت رشد ریزجلبک یعنی فاز پایان رشد لگاریتمی، ریزجلبک مورد نظر (حدود $۳/۴\times۱۰^{۸}$ سلول بر میلی‌لیتر) به محیط کشت بدون فسفر وارد و به مدت یک ماه در این شرایط قرار داده شد تا نشانه‌های ظاهری کمبود و زرد شدن رنگ محیط ظاهر شود. سپس محیط کشت دارای ریزجلبک سانتریفیوژ و سلول‌های ریزجلبک سه بار با محلول بی‌کربنات استریل (۱۵ میلی‌گرم بر لیتر) برای حذف کامل فسفر از محیط شسته شدند.

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری بخش‌های شیمیایی فسفر در خاک

خاک شالیزاری از اطراف رودخانه پیربازار رشت در استان گیلان از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. پس از انتقال به آزمایشگاه و هوا خشک شدن، خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شامل بافت، pH، قابلیت هدایت الکتریکی، کربنات کلسیم و ماده آلی در آن اندازه‌گیری شد (Gregorich and Carter, 2007). تعیین بخش‌های مختلف فسفر در نمونه خاک با روش عصاره‌گیری پی‌درپی با استفاده از روش هدلی و همکاران انجام شد (Hedley *et al.*, 1982). در این روش فسفر محلول و تبادلی، فسفر آهن و آلومینیوم، فسفر کلسیمی و فسفر باقی‌مانده در خاک تعیین شد.

آزمون جلبکی

ارتباط بین بخش‌های مختلف شیمیایی فسفر در نمونه خاک و رشد ریزجلبک *کلرلا* با استفاده از آزمون جلبکی بررسی شد. به منظور بررسی فسفر فراهم برای ریزجلبک در بخش‌های مختلف خاک، چهار نوع خاک دارای بخش‌های مختلف آماده شدند که شامل خاک اصلی و بدون عصاره‌گیری (تیمار شاهد- دارای تمام بخش‌ها- S1)، خاک عصاره‌گیری شده با KCl (فاقد بخش محلول و تبادلی- S2)، خاک عصاره‌گیری شده با KCl و NaOH (فاقد بخش محلول و تبادلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم- S3) و خاک عصاره‌گیری شده با KCl، NaOH و HCl (فاقد بخش محلول و تبادلی، اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کربناتی- S4) بودند. ارلن‌های آزمایش با افزودن ۵۰۰ میلی‌لیتر از محیط کشت BG_{11} بدون فسفر آماده شدند و مقدار ۰/۵ گرم از هر کدام از خاک‌ها به عنوان منبع فسفر به ارلن‌ها افزوده شد. مقدار ۳۵ میلی‌لیتر از ریزجلبک *کلرلا* نیز که در محیط کشت بدون

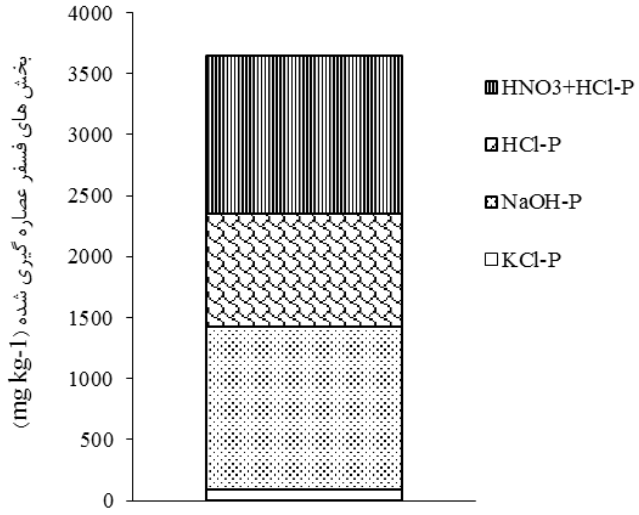
فسفر رشد داده شده بود به ارلن‌ها افزوده شد و در اتاقک رشد با دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی انکوباسیون شدند. غلظت کلروفیل a (Otsuki *et al.*, 1987)، فسفر کل و فسفر کل محلول[۶] (TDP) (Murphy and Riley, 1962) در روزهای ۱، ۷، ۱۴ و ۲۱ در نمونه‌ها با سه تکرار اندازه‌گیری شد. فسفر کل ذره‌ای[۷] نیز از تفاضل فسفر کل محلول از فسفر کل محاسبه شد.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن درسطح آماری ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

عصاره‌گیری پی در پی

خاک مورد مطالعه دارای pH ۷/۲۹، قابلیت هدایت الکتریکی $0/3\ dS\ m^{-1}$ و بافت لوم رسی بود. مقدار ماده آلی و آهک در این خاک به ترتیب ۴/۵۷ و ۲/۲۵ گرم بر صد گرم خاک بود. بخش‌های فسفر عصاره‌گیری شده با KCl، NaOH و HCl به طور میانگین به ترتیب ۲/۴، ۳۴ و ۲۳/۸ درصد از فسفر کل خاک و فسفر باقی‌مانده ۳۳ درصد از فسفر کل خاک را شامل می‌شدند (شکل ۱).



شکل ۱- مقدار فسفر در بخش‌های مختلف خاک پس از عصاره‌گیری پی در پی

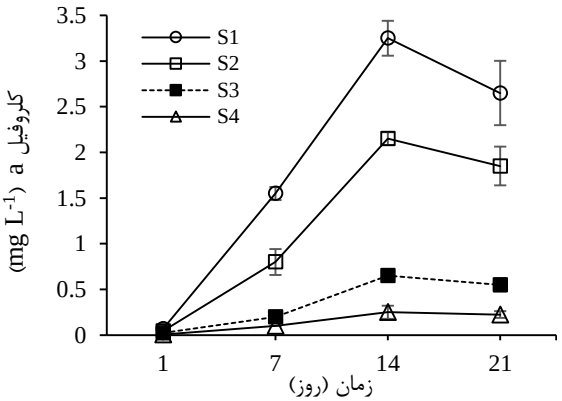
آزمون جلبکی

فراهمی فسفر توسط انکوباسیون ریزجلبک *کلرلا* به مدت ۲۱ روز در تیمارهای مختلف خاک از طریق اندازه‌گیری کلروفیل a و فسفر کل محلول و فسفر کل مورد بررسی قرار گرفت. مقدار کلروفیل a در تمامی تیمارها روند افزایشی نشان داد و در روز چهاردهم به بیشترین مقدار رسید و سپس کاهش یافت (شکل ۲). در تیمار S1 و S2، مقدار کلروفیل a نسبت به دو تیمار S3 و S4 بیشتر بود و در روز چهاردهم به ۳/۲۵ و ۲/۱۵ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب در تیمار S1 و S2 رسید. در تمام تیمارها، رشد ریزجلبک مشاهده شد اما میانگین مقدار کلروفیل a در طول دوره انکوباسیون به ترتیب در تیمارهای S1 و S2 تقریبا ۵ و ۳ برابر تیمار S3 و ۱۳ و ۸ برابر تیمار S4 بود. این نتایج بیانگر این است که ریزجلبک *کلرلا* می‌تواند از بخش‌های مختلف فسفر حتی بخش کربناتی نیز استفاده کند. با این حال، این نتایج با پیش‌فرض‌های موجود که جلبک پتانسیل بالقوه جذب فسفر از بخش متصل به اکسیدهای آهن و منگنز یا آلومینیوم و همچنین فسفر متصل به آهن حساس به ردکس را دارد (Kraal *et al.*, 2015)، هم‌راستا نیست. اگرچه بیشترین مقدار فسفر فراهم ریزجلبک در بخش اکسیدهای آهن و آلومینیوم مشاهده شد و همان‌طور که در شکل ۲ نیز مشخص است با حذف بخش فسفر متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم در تیمار S3 مقدار کلروفیل a نسبت

[۶] Total dissolved phosphorous

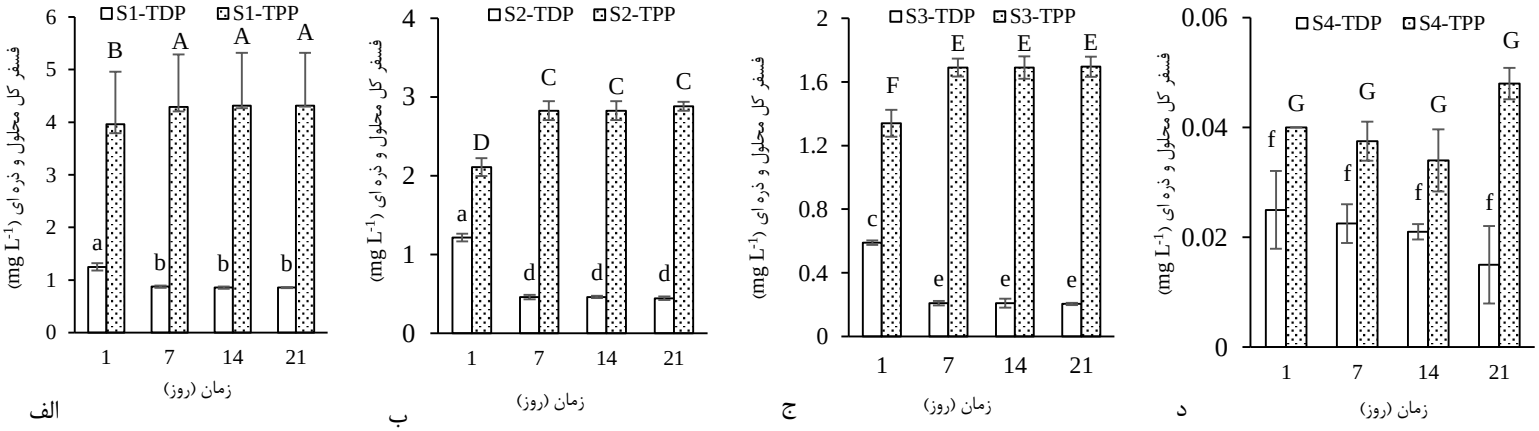
[۷] Total particulate phosphorous

به تیمارهای S1 و S2 افت بسیار شدیدی را نشان داده است. البته تفاوت در نوع ریزجلبک و شرایط عصاره‌گیری شیمیایی و همچنین ویژگی‌های خاک و رسوب می‌تواند سبب ایجاد نتایج متفاوتی شود. همچنین تغییر در فاکتورهای محیطی مانند pH، درجه حرارت و پتانسیل رداکس می‌تواند سبب آزادسازی فسفر و فراهمی آن برای جانداران آبزی شود (Dan *et al.*, 2020).



شکل ۲- تغییرات مقدار کلروفیل a در طول دوره آزمایش

مقدار فسفر کل محلول در تمامی تیمارها در طول دوره آزمایش کاهش یافت که بیانگر استفاده فسفر محلول توسط *کلرلا* است. مقدار فسفر محلول در روز اول نمونه‌برداری در تیمار S1 بیشتر از سایر تیمارها و در تیمار S4 از سایر تیمارها کمتر بود. فسفر کل ذره‌ای در طول دوره آزمایش تغییر چشم‌گیری نشان نداد و در انتهای دوره انکوباسیون که مقدار فسفر کل محلول کاهش یافت، افزایش اندکی پیدا کرد. الیسون و برت (۲۰۰۶) گزارش کردند که فسفر همراه با بخش آهن و منگنز حساس به رداکس یا اکسیدهای آلومینیوم حساس به pH تقریبا و نه کاملا فراهم هستند اما زمانی‌که فسفر با بخش کربنات کلسیم رسوب می‌کند و یا با بخش‌هایی مانند اسیدهای هیومیک موجود در مواد آلی و یا آپاتیت که مقاوم‌تر هستند همراه است، منبع ضعیفی برای رشد ریزجلبک محسوب می‌شود (Ellison and Brett, 2006). همچنین گزارش شده است که پتانسیل زیست فراهمی فسفر با بخش متصل به آهن ارتباط بسیار نزدیکی دارد (Dan *et al.*, 2020). به دلیل فعالیت شیمیایی و زیستی متفاوت فسفر در بخش‌های مختلف رسوبات و خاک، رفتار ژئوشیمیایی این عنصر در محیط‌های آبی متفاوت است. بنابراین، شکل‌های پیوندی فسفر تا حد زیادی تعیین کننده واکنش‌پذیری یا مقاومت فسفر است که ممکن است پیامدهای مهمی در پویایی و زیست فراهمی فسفر داشته باشد (Bastami *et al.*, 2018).



شکل ۳- تغییرات فسفر کل محلول (TDP) و فسفر کل ذره‌ای (TPP) در تیمارهای S1 (الف)، S2 (ب)، S3 (ج) و S4 (د) در طول دوره آزمایش. نوارهای خطا نشان دهنده انحراف معیار (n=3) می‌باشند.

تعداد سلول‌های ریزجلبک *کلرلا* در پایان آزمایش شمارش شدند و تعداد $۲/۶\times۱۰^{۷}$، $۲/۱\times۱۰^{۷}$، $۱/۳\times۱۰^{۷}$ و ۸×۱۰^{۶} سلول بر میلی‌لیتر به ترتیب در تیمارهای S1، S2، S3 و S4 مشاهده شد. تعداد سلول‌ها در تیمار S1 که دارای تمامی بخش‌های فسفر خاک بود بیشترین تعداد را در پایان آزمایش نشان داد که تفاوت چشم‌گیری با تعداد سلول‌ها در تیمار S2 نداشت. در تیمار S2، *کلرلا* توانایی بیشتری برای جذب فسفر و رشد در مقایسه با تیمارهای S3 و S4 داشته است. نزدیک بودن تعداد سلول‌ها در تیمار S2 که فاقد بخش محلول و تبادلی است به تیمار S1 که دارای تمامی بخش‌های فسفر خاک می‌باشد می‌تواند به این دلیل باشد که در تیمار S2 به دنبال حذف بخش محلول و تبادلی فسفر، ریزجلبک در ابتدا به سراغ بخش اکسیدهای آهن و آلومینیوم رفته که با توجه به بیشتر بودن مقدار فسفر در این بخش رشد مطلوبی را نیز نشان داده است. تعداد سلول‌های *کلرلا* در تیمار S4 کمترین بود که به نظر می‌رسد رشد ضعیف *کلرلا* به دسترسی اندک آن به بخش‌های فسفر باقی‌مانده (یعنی کربناتی- آپاتیت) و یا به فقدان فسفر لازم برای رشد مطلوب در این محیط مرتبط باشد. نتایج مشابهی در پژوهش اکوبو و همکاران (۲۰۱۲) برای رشد جلبک *M. aeruginosa* گزارش شد (Okubo et al., 2012). لی و برت (۲۰۱۳) نیز بیان کردند که آپاتیت موجود در خاک‌ها و رسوبات فراهمی زیستی اندکی دارد و مقدار پتانسیل زیست فراهمی فسفر را در آپاتیت طبیعی و هیدروکسی آپاتیت- کلسیم به ترتیب صفر و ۲۴ درصد گزارش کردند (Li and Brett, 2013).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش بخش‌های مختلف فسفر در یک نمونه خاک شالیزاری و ارتباط آن با رشد ریزجلبک *کلرلا* مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین مقدار فسفر در بخش متصل به اکسیدهای آهن و آلومینیوم و کمترین مقدار آن در بخش محلول و تبادلی بود. مقدار کلروفیل a و فسفر کل محلول، در تیمارهای دارای فسفر در بخش‌های محلول و تبادلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم نسبت به تیمارهای فاقد این بخش‌ها بیشتر بود. نتایج همچنین نشان داد که فسفر بخش کربناتی و باقی‌مانده نیز علاوه بر فسفر بخش محلول و تبادلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم می‌توانند برای رشد *کلرلا* با مقدار کمتری مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین با توجه به امکان استفاده *کلرلا* از بخش‌های مقاوم‌تر فسفر می‌توان انتظار داشت که حتی در شرایط نبود بخش‌های فراهم‌تر فسفر، پتانسیل غنی‌سازی زیست‌بوم‌های آبی با عبور رودخانه‌ها از زمین‌های شالیزاری اطراف آن‌ها فراهم باشد.

فهرست منابع

ارفع‌نیا، ح.، صمدی، ع.، اسدزاده، ف.، سپهر، ا.، و عسل‌پیشه، ز. (۱۳۹۶). جزءبندی فسفر و ارتباط آن با رشد جلبک *Senedesmus obliquus* در رسوبات رودخانه‌های غرب حوضه آبخیز دریاچه ارومیه. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره (۳)۲۷. ۱۱۲-۹۵.

Andersen, R.A. (2005). Algal Culturing Techniques. Oxford: Elsevier Academic Press.

Bastami, K.D., Neyestani, M.R., Raeisi, H., Shafeian, E., Baniamamd, M., Shirzadi, A., Esmaeilzade, M., Mozaffari, S., and Shahrokhi, B. (2018). Bioavailability and geochemical speciation of phosphorus in surface sediments of the Southern Caspian Sea. *Mar Pollut Bull*. 126, 51–57.

Cordell, D., Drangert, J.O., and White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environ Change*. 19, 292–305.

Dan, F.D., Liu, S.M., and Yang, B. (2020). Geochemical fractionation, potential bioavailability and ecological risk of phosphorus in surface sediments of the Cross River estuary system and adjacent shelf, South East Nigeria (West Africa). *J Mar Syst*. 201, 103244.

Ellison, M.E., and Brett, M.T. (2006). Particulate phosphorus bioavailability as a function of stream flow and land cover. *Water Res*. 40, 1258–1268.

Gregorich, E.G., and Carter, M.R. (2007). Soil Sampling and Methods of Analysis. CRC press.

Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., and Chauhan, B.S. (1982). Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci Soc Am J*. 46(5), 970-976.

Hoffman, A.R., Armstrong, D.E., Lathrop, R.C., and Penn, M.R. (2009). Characteristics and influence of phosphorus accumulated in the bed sediments of a stream located in an agricultural watershed. *Aquat Geochem*. 15, 371–389.

Kraal, P., Bostick, B.C., Behrends, T., Reichart, G.J., and Slomp, C.P. (2015). Characterization of phosphorus species in sediments from the Arabian Sea oxygen minimum zone: combining sequential extractions and X-ray spectroscopy. *Mar Chem*. 168, 1–8.

Li, B., and Brett, M.T. (2013). The influence of dissolved phosphorus molecular form on recalcitrance and bioavailability. *Environ Pollut*. 182, 37–44.

Li, B., and Brett, M.T. (2015). The relationship between operational and bioavailable phosphorous fractions in effluents from advance nutrient removal systems. *Int J Environ Sci Technol*. 12, 3317-3328.
Murphy, J., and Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal Chim Acta*. 27, 31–36.
Okubo, Y., Inoue, T., Yokota K, and Tsushima, K. (2011). Potential bioavailability of phosphorus in citrus orchard soil to *Microcystis aeruginosa*. *Water Sci Tech*. 63, 1298–1302.
Okubo, Y., Inoue, T., and Yokota, K. (2012). Estimating bioavailability of soil particulate phosphorus to *Microcystis aeruginosa*. *J Appl Phycol*. 24, 1503–1507.
Otsuki, A., Watanabe, M.M., and Sugahara, K. (1987). Chlorophyll pigments in methanol extracts from ten axenic cultured diatoms and three green algae as determined by reverse phase HPLC with fluorometric detection. *J Phycol*. 23, 406–414.
Upreti, K., Joshi, S.R., McGarth, J., and Jaisi, D.P. (2015). Factors controlling phosphorus mobilization in a coastal plain tributary to the Chesapeake Bay. *Soil Sci Soc Am J*. 79, 826-837.
Wang, C., Kong, H., He, S., Zheng, X., and Li, C. (2010). The inverse correlation between growth rate and cell carbohydrate content of *Microcystis aeruginosa*. *J Appl Phycol*. 22, 105–107.
Yan, X., Yang, W., Chen, X., Wang, M., Wang, W., Ye, D., and Wu, L. (2020). Soil phosphorus pools, bioavailability and environmental risk in response to the phosphorus supply in the red soil of southern china. *Int J Environ Res Public Health*. 17, 7384.

Evaluation of phosphorus bioavailability for *Chlorella* sp. microalgae growth in a paddy soil

Ali Gholamalizadeh Valadi[1], *Nasrin Ghorbanzadeh[2], Mohammad Bagher Farhangi[3], Maryam Khalili Rad[4]

1- M.S student, Soil Science Department, Faculty of agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran
2, 3, 4- Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran
Email (nghorbanzadeh@guilan.ac.ir)

Abstract
Phosphorus (P) is one of the important non-point source pollutants that is the major cause of eutrophication in aquatic ecosystems. The aim of this study was investigation of P bioavailability through the relationship between chemical fractions of P in a paddy soil and the growth of *chlorella* sp. For this purpose, sequential extraction of soil was performed and four types of soils containing different fractions of P were prepared. *Chlorella* sp. was inoculated to media containing these soils and incubation was performed. The amount of chlorophyll a (*chl a*) and total dissolved phosphorus (TDP) was measured at 1, 7, 14 and 21 days of incubation. The amount of *chl a* in all soil fractions showed an increasing trend up to 14th day and then decreased. The amount of *chl a* in control soil (without extraction) and soil without soluble and exchangeable fractions was higher than the other two soils. The amount of TDP decreased in all treatments during the experimental period, indicating the use of soluble phosphorus by *chlorella* sp. In addition to soluble, exchangeable and iron and aluminum oxides phosphorus, carbonate and residual phosphorus can also be used by *chlorella* sp. in less amount. Regarding to the ability of *chlorella* sp. to consume P from even more resistant fractions, hence eutrophication potential of aquatic ecosystems can be expected downstream when the rivers receive run-off and drained waters from the surrounding paddy fields.

Keywords: Algae, soluble phosphorus, particulate phosphorus, sequential extraction.

بررسی برخی شاخص‌های کلنیزاسیون گیاه شبدر تلقیح شده با قارچ *Glomus versiforme* در انواع بسترهای کشت

هاجر محمودی [۱]، ناصر علی اصغرزاد [۲]، محمدرضا ساریخانی [۳]، نصرت اله نجفی [۴] و بهمن خوشرو [۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز - mahmoudih20@yahoo.com

۲- استاد گروه بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴- استاد شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۵- دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار می‌توانند با ۸۰ درصد گیاهان همزیستی تشکیل دهند. اثرات مثبت این قارچ‌ها روی رشد گیاه، سلامت و احیاء زمین کاملا به اثبات رسیده است. به دلیل اهمیت این قارچ‌ها تولید آنها رو به افزایش است. بر این اساس در این پژوهش تأثیر بسترهای خاک شن لومی (شاهد)، کمپوست + پرلیت، کمپوست + ورمیکولایت، ورمی‌کمپوست + پرلیت، ورمی‌کمپوست + ورمیکولایت، خاک لوم شنی + پرلیت، خاک لوم شنی + ورمیکولایت برای ارزیابی مؤثر بودن همزیستی قارچ *Glomus versiforme* با تعیین درصد کلنیزاسیون ریشه، درصد هیف، درصد آربوسکول و وزیکول در ریشه گیاه شبدر بررسی شد. طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر نمونه در شرایط گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین درصد کلنیزاسیون (۸۸) و درصد هیف (۸۰/۵) در بستر کمپوست + پرلیت مشاهده شد. بیشترین درصد آربوسکول (۲۱/۹) در بستر خاک لوم‌شنی + پرلیت ثبت شد. درصد وزیکول (۴/۲) نیز در بستر کمپوست + پرلیت بیشترین مقدار را داشت. بیشترین جمعیت اسپور نیز در بستر کمپوست + ورمیکولایت (۱۱۶ عدد در ۱۰ گرم بستر) ثبت گردید.

واژگان کلیدی: آربوسکول، بستر، زادمایه قارچی، قارچ میکوریز آربوسکولار، هیف

مقدمه

با توجه به اهمیت قارچ‌های میکوریز آربوسکولار و تمرکز سیاست‌های بخش کشاورزی در جهت تولید غذای سالم، روش‌های دوستدار محیط زیست و عملیات کشاورزی پایدار، تولید تجاری زادمایه قارچ‌های AM[۱] از منابع طبیعی در جهت رسیدن به این اهداف می‌باشد (آکپینار و همکاران، ۲۰۱۹). کلنیزاسیون ریشه با قارچ‌های میکوریز سبب فراهمی عناصر فسفر، مس، روی و سایر عناصر برای گیاه میزبان می‌شود (مارشنر، ۲۰۱۲). مطالعات در کشاورزی ارگانیک نشان داده است که قارچ‌های AM فعالیت میکروبی و ترشحات ریشه را افزایش می‌دهد و سبب افزایش جذب فسفر در خاک‌های با حاصخیزی کمتر می‌شود (نلسون و جانک، ۲۰۰۷). استفاده از کودهای شیمیایی سبب بروز مشکلاتی در آلودگی خاک و آب می‌شود. بنابراین تولید و استفاده از این قارچ‌ها به عنوان کود زیستی در حال افزایش است (آکپینار و همکاران، ۲۰۱۹). تولید زادمایه میکروبی فرآیندی است که شامل تخصص بیوتکنولوژی، و توانایی پاسخ به نیازهای تجاری و آموزشی است. این فرآیند بخصوص در مورد میکروارگانیسم‌های با ماهیت همزیست درونی[۲] مانند قارچ‌های AM صدق می‌کند. زیرا میزان رضایت بخشی نیازهای مذکور تا حد زیادی با روش تولید زادمایه مرتبط است (سینگ و همکاران، ۲۰۱۴).

برای تولید زادمایه قارچ‌های AM، روش‌های مختلفی از قبیل خاک و بستر، روش‌های کشت بدون خاک و روش‌های تکثیر درون‌شیشه‌ای در محیط‌های استریل مورد استفاده قرار گرفتند (آیجیدو و همکاران، ۲۰۱۱). کشت گلدانی (وود، ۱۹۸۵) که مهم‌ترین روش تولید زادمایه قارچ‌های AM در مقیاس بزرگ است روش تجربه شده‌ای است که از گیاهان میزبان برای تکثیر قارچ استفاده می‌کند (چلاپن و همکاران، ۲۰۰۲). مهمترین ملاک در تولید زادمایه این قارچ‌ها استفاده از مواد محلی و

۱ - Arbuscular mycorrhiza

2- endosymbiotic

با قابلیت دسترسی بالاست. که بدین منظور از بسترهای ورمیکولایت و پرلیت در ترکیب با ورمی‌کمپوست، کمپوست و خاک استفاده شد که با نسبت ۴ به ۱ مخلوط گردیدند. که افزودن مواد آلی و خاک برای جبران کمبود مواد غذایی می‌باشد (یوکویاما و مارموتا، ۲۰۰۷). به علت ماهیت همزیستی اجباری قارچ‌های میکوریز باید گیاهان مناسب برای تولید زادمایه قارچی انتخاب گردد.

تولید و کاربرد زادمایه قارچی به‌عنوان کود زیستی برای افزایش محصولات کشاورزی و به حداقل رساندن استفاده از کودهای شیمیایی و کاهش آلودگی محیط زیست انجام می‌گیرد (یسمین و همکاران، ۲۰۰۷). بعد از انتخاب گیاه میزبان مناسب برای تکثیر قارچ میکوریز، تاثیر نوع بستر در کارایی قارچ و شاخص‌های کلنیزاسیون از زمینه تحقیقات مهمی می‌باشد که در ایران کمتر به آن پرداخته شده است بنابراین در این آزمایش از یک میزبان مناسب (گیاه شبدر) برای تکثیر قارچ میکوریز در حضور بسترهای مختلف استفاده شد تا بستر مناسب برای بهترین عملکرد قارچ از نظر شاخص‌های کلنیزاسیون مشخص گردد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت کشت گلدانی در اتاق رشد آزمایشگاه میکروبیولوژی خاک دانشگاه تبریز اجرا شد. گیاه شبدر (*Trifolium repens* L.) به عنوان گیاه میزبان قارچ کشت شد. زادمایه قارچ مورد استفاده (*Glomus versiforme*) ایزوله دشت تبریز به صورت زادمایه خاکی از آزمایشگاه میکروبیولوژی خاک دانشگاه تبریز تهیه شد. هفت نوع بستر کشت در آزمایش استفاده شد. که در جدول شماره ۱ آمده است.

جدول ۱- بسترهای مورد استفاده و نسبت اختلاط آنها

ردیف	علامت اختصاری بسترها	بسترهای مورد استفاده	نسبت حجمی
۱	C	خاک شن لومی	-
۲	COP	کمپوست به پرلیت	۱ به ۴
۳	COVL	کمپوست به ورمیکولیت	۱ به ۴
۴	VMP	ورمی‌کمپوست به پرلیت	۱ به ۴
۵	VMVL	ورمی‌کمپوست به ورمیکولیت	۱ به ۴
۶	SP	خاک لوم شنی به پرلیت	۱ به ۴
۷	SVL	خاک لوم شنی به ورمی‌کولیت	۱ به ۴

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای مورد استفاده

بافت خاک مورد استفاده در این آزمایش به روش هیدرومتر چهارزمانه (گی و بادر، ۲۰۰۲) اندازه گیری شد. ویژگی‌های بسترهای مورد استفاده در آزمایش پس از عبور از الک ۲ میلیمتر اندازه‌گیری شدند. رطوبت ظرفیت مزرعه با دستگاه صفحات فشاری (گاردنر و همکاران، ۱۹۸۶)، pH در مخلوط ۵ به ۱ آب و بستر و EC در عصاره ۵ به ۱ (w/v) (مک‌لین، ۱۹۸۲)، مقدار فسفر (اولسن و سومرز، ۱۹۸۲) و پتاسیم (گوپتا، ۲۰۰۰) قابل جذب بسترهای مورد استفاده به دلیل ماهیت آلی مواد بستری اندازه گرفته نشد. درصد کربن آلی به روش والکلی-بلک اصلاح شده (نلسون و سومرز، ۱۹۸۲) اندازه گرفته شد(جدول ۲).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای مورد استفاده

نوع بستر	بافت خاک	pH	%FC	EC_e(dS/m)	%OC	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)
C (شاهد)		۷/۸۱	۱۲	۱/۴	۰/۲۲۱	۴/۴	۱۸۳
COP	-	۷/۶۸	۵۲	۳/۶۴	۱/۳۲	۱۰۲	۱۲۹۵
COVL	-	۷/۵۱	۸۳	۳/۶۴	۱/۴۴	۱۰۴	۱۰۶۵
VMP	-	۹/۳۶	۱۳۸	۲/۲۳	۱/۴۸	۱۳۰	۳۱۷

VMVL	-	۷/۷۹	۱۲۱	۱/۹۵	۱/۵۶	۱۴۱	۳۹۷
SP	-	۸/۹۴	۵۷	۰/۲۴	۰/۱۳۶	۷/۶	۱۰۷
SVL	-	۸/۴۵	۷۲	۰/۲۲	۰/۱۹۵	۴/۹	۹۷

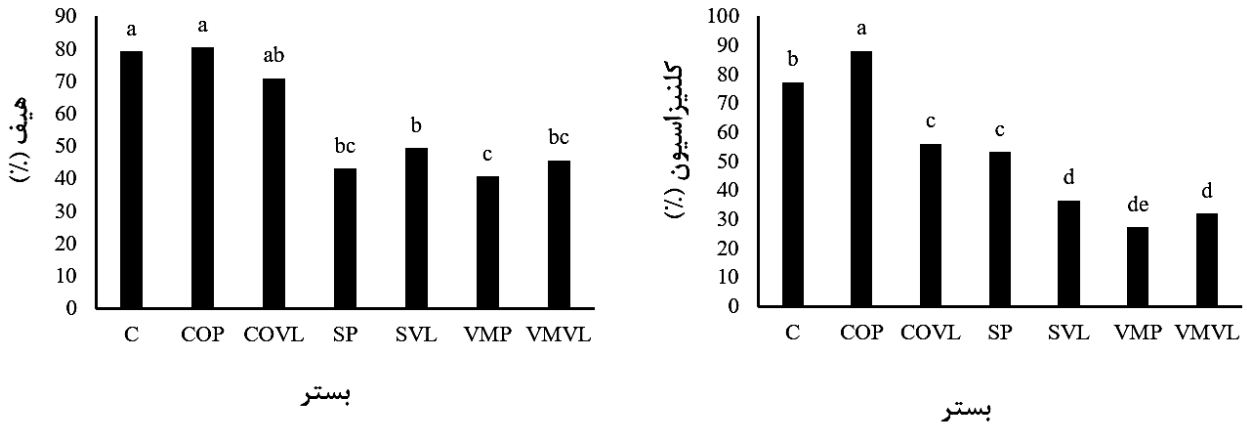
کشت گیاه

بسترهای استریل شده و آماده سازی شده برای کشت در گلدان‌های ۲ کیلویی استریل قرار گرفتند و با زادمایه قارچی به میزان ۷۰ گرم برای هر گلدان تلقیح شدند. زادمایه به صورت یک لایه نازک در عمق ۴-۳ سانتی‌متر قرار گرفت و بذور استریل شده شبدر در عمق ۱-۰/۵سانتی‌متر بستر کشت شدند. رطوبت گلدان‌ها در دوره رشد در FC ۰/۸۵-۰/۸ نگهداری شد. گیاهان پس از دوره رشد سه ماهه برداشت شدند. شاخص‌های کلنیزاسیون (درصد کلنیزاسیون، درصد هیف، درصد وزیکول و آربوسکول) در ریشه گیاهان و جمعیت اسپور در بستر تعیین شد. رنگ‌آمیزی نمونه ها نیز به روش کورمانیک مک گراو (۱۹۸۲) صورت گرفت. درصد کلنیزاسیون ریشه، درصد هیف، وزیکول و آربوسکول به روش MIM[۳] (مک‌گونیگل و همکاران،۱۹۹۰) و شمارش اسپور در سه تکرار برای هر تیمار به روش الک مرطوب (گائور و آدلیا، ۱۹۹۴) صورت گرفت.

نتایج و بحث

درصد کلنیزاسیون و هیف

کلنیزاسیون ریشه و درصد هیف در بسترهای مورد استفاده در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بودند. بیشترین درصد کلنیزاسیون در بستر کمپوست + پرلیت (۸۸ درصد) به‌دست آمد. کمترین میزان کلنیزاسیون در بستر ورمی‌کمپوست + پرلیت (۲۷/۲ درصد) ثبت شد. همچنین بیشترین درصد هیف در بسترهای حاوی کمپوست به ترتیب (۸۰/۵) و (۷۱) ثبت شد که با بستر شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۱).



شکل ۱- درصد کلنیزاسیون و هیف ریشه گیاه شبدر

کاواگنارو و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند کاربرد کمپوست و قارچ‌های AM اثر مثبت یا طبیعی روی سطوح کلنیزاسیون قارچ‌های AM داشتند، افزودن کمپوست و قارچ‌های AM با هم منجر به بالاترین سطوح کلنیزاسیون شد. کاوندر و همکاران (۲۰۰۳) نیز اثرات آنتاگونیستی بین ورمی‌کمپوست و میزان کلنیزاسیون میکوریزی گزارش کردند، برخلاف رشد گیاه که رابطه افزایشی نشان داد. علت این پدیده را می‌توان به میزان بالای فسفر در ورمی‌کمپوست نسبت داد (جدول ۲). گسترش اندام‌های قارچی تحت تأثیر مواد هیومیک به دلیل تأثیر این مواد آلی بر فیزیولوژی و مورفولوژی ریشه است زیرا این قارچها همزیست اجباری هستند و مواد آلی مورد نیاز خود را از گیاه می‌گیرند (توفایل و همکاران، ۲۰۱۴).

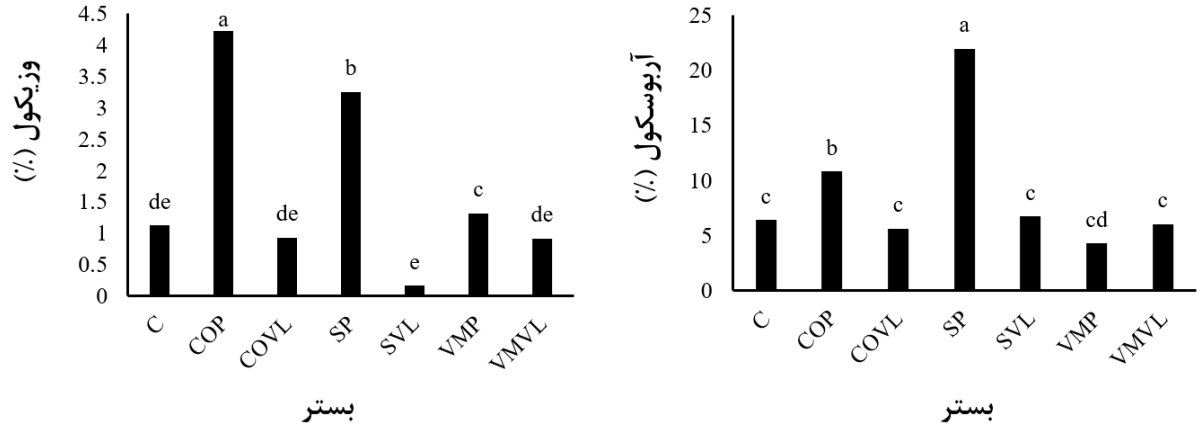
اگرچه قارچ‌های AM بایوتروف‌های اجباری هستند. اثر ماده آلی روی رشد میسیلیوم خارجی قارچ‌های AM به‌خوبی شناخته شده است (هامر و همکاران، ۲۰۱۱). اثر مثبت کمپوست روی رشد هیف‌های برون ریشه‌ای قارچ‌های AM (اندازه‌گیری

[۳]- Magnified intersections method

شده تحت عنوان وزن هیف) در خاک گزارش شده است (ولارینی و همکاران ۲۰۰۹). هیف‌های برون ریشه‌ای قارچ‌های AM به آنان امکان کسب مواد مغذی معدنی را به عنوان جز اصلی آلی کمپوست که معدنی شده است می‌دهد (اسمیت و اسمیت، ۲۰۱۱).

درصد آربوسکول و وزیکول

درصد آربوسکول و وزیکول تحت تأثیر بسترهای مختلف در سطح احتمال ۱٪ معنی‌د ار بودند. بیشترین درصد آربوسکول در بستر خاک لوم‌شنی + پرلیت (۲۱/۹) مشاهده شد. کمترین درصد آربوسکول مربوط به بستر ورمی‌کمپوست + پرلیت (۴/۲) بود. بیشترین درصد وزیکول نیز در بستر کمپوست + پرلیت (۴/۲) مشاهده شد و کمترین درصد وزیکول در بستر خاک لوم‌شنی + ورمیکولایت مشاهده شد (۰/۱۵) (شکل ۲).

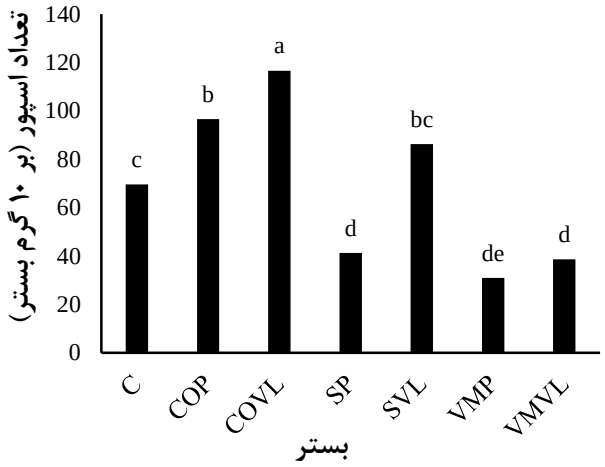


شکل ۲- درصد آربوسکول و وزیکول ریشه گیاه شبدر

بستر خاک لوم‌شنی + پرلیت (SP)به لحاظ تغذیه‌ای چندان غنی نمی‌باشد. بنابراین درصد آربوسکول که محل اصلی تبادل فسفر (هیمن، ۱۹۸۳) است افزایش می‌یابد تا میزان فسفر مورد نیاز گیاه تأمین شود. اما ورمی‌کمپوست غنی از فسفر است. کاوندر و همکاران (۲۰۰۲) افزودن ورمی‌کمپوست نیتروژن و فسفر و پتاسیم را در بستر افزایش داد. به همین نسبت فراهمی فسفر، درصد آربوسکول در بستر ورمی‌کمپوست کاهش یافت. دودز و همکاران (۲۰۰۶)دریافتند که مخلوط‌های ورمیکولیت و کمپوست پروپاگول‌های AMF بیشتری از مخلوط‌های خاکی دارند و این باعث مناسب بودن زادمایه برای استفاده در سیستم‌های تولید گیاه می‌شود. گسترش وزیکول‌ها تحت تأثیر شرایط محیط قرار می‌گیرد. به‌طوری که زیادی فسفر میزان وزیکول‌ها و آربوسکول‌ها را کاهش می‌دهد (اسمیت و رید، ۲۰۰۸).

جمعیت اسپور

میانگین جمعیت اسپور تحت تأثیر بسترهای مختلف معنی‌دار بود ($p<0.01$). بیشترین جمعیت اسپور در بستر کمپوست + ورمیکولایت (۱۱۶ عدد در ۱۰ گرم بستر) ثبت شد. در حالی که کمترین جمعیت اسپور در بستر ورمی‌کمپوست + پرلیت (۳۱) به‌دست آمد.



شکل ۵- جمعیت اسپور

بالا بودن جمعیت اسپور در بستر حاوی کمپوست را می‌توان به آزاد سازی آهسته مواد غذایی در کمپوست و همچنین درصد کلنیزاسیون بالا در بستر حاوی کمپوست نسبت داد. اغلب تغییر در فراوانی اسپور به افزایش سطوح کلنیزاسیون نسبت داده می‌شود (کاوگنارو، ۲۰۱۵) .در آزمایشی افزودن کمپوست سبب افزایش تعداد اسپورهای گونه‌های قارچ *G.etunicatum* و *G.spp* شد (دودز و همکاران، ۱۹۹۷). نوید و همکاران (۱۹۹۶) افزایش پوشش گیاهی، زیتوده، کلنیزاسیون میکوریزی و جمعیت اسپور را با افزایش کمپوست زباله حیات نشان دادند. علت پایین بودن جمعیت اسپور در بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست را می‌توان به بالا بودن غلظت فسفر در این بسترها نسبت داد .سطوح بالای فسفر و نیتروژن معمولاً تولید اسپور و توسعه هیفی قارچ‌های AM را در بستر محدود می‌کند (دودز و اشنک، ۱۹۹۰).

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه مشخص گردید که از بین بسترهای مورد استفاده برای تولید زادمایه قارچی، بسترهای حاوی کمپوست بیشترین شاخص‌های کلنیزاسیونی را به خود اختصاص دادند. که این پدیده به احتمال زیاد به دلیل فرایند آزاد سازی آهسته عناصر غذایی از کمپوست و سرعت پایین معدنی شدن رخ می‌دهد. باتوجه به نتایج آزمایش و نیز ارزان بودن و قابلیت دسترسی این نوع بستر برای تولید زادمایه قارچ‌های میکوریزی به روش سنتی گلدانی و یا مزرعه‌ای، استفاده از این نوع بستر مزیت محسوب شده و توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

Akpinar, C., Demirbas, A., Ortas, I. (2019). The Effect of Different Compost Compositions on Arbuscular Mycorrhizal Colonization and Nutrients Concentration of Leek (*allium Porrum* L.) Plant, Communications in Soil Science and Plant Analysis. 1-13.

Cavender ND, Atiyeh RM and Knee M, 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of Sorghum bicolor at the expense of plant growth. Pedobiologia 47: 85–89.

Chellappan P, Anitha Christy SA, Mahadevan A (2002) Multiplication of arbuscular mycorrhizal fungi on roots. In: Mukerji KG, Manoharachary C, Chamola BP (eds) Techniques in mycorrhizal studies. Kluwer, Dordrecht, pp 285–29.

Douds DD and Schenck NC, 1990. Increased sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by manipulation of nutrient regimens. Applied and Environmental Microbiology. 56: 413–418.

Douds DD, Galvez L, Franke-Snyder M, Reider C, Drinkwater LE, 1997. Effect of compost addition and crop rotation point upon VAM fungi. Agriculture, Ecosystems & Environment. 65: 257-266.

Gaur A and Adholeya A, 1994. Estimation of VAMF spores in soil: a modified method. Mycorrhiza News. 6: 10–11.

Gupta PK, 2000. Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios, New Delhi.

Ijdo, M., S. Cranenbrouck, and S. Declerck. 2011. Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. Mycorrhiza 21 (1):1–16. doi:10.1007/s00572-010-0337-z.

Kormanik PP and McGraw AC, 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. Pp. 37-45. In: Schenck NC (ed). Methods and Principles of Mycorrhizal Research. American Phytopathological Society, Saint Paul, Minnesota.

Marschner, P. 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. London, UK.: Academic Press is an imprint of Elsevier.

McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL and Swan JA, 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. New Phytologist. 115: 495–501.

Nelson DW and Sommers LE, 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp 539-579. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America,Inc., Madison, Wisconsin.

Nelson, N O., Janke, R R. 2007. Phosphorus sources and management in organic production systems. Horttechnology. 17 (4):442–54.

Noyd RK, Pfleger FL and Norland MR, 1996. Field responses to added organic matter, arbuscular mycorrhizal fungi, and fertilizer in reclamation of taconite iron ore tailing. Plant and Soil. 179: 89–97.

Olsen SR and Sommers LE, 1982. Phsphorus. Pp: 403-430. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds). Methods of soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy,Inc. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin.

Olsson PA, Rahm J and Aliasgharzad N, 2010. Carbon dynamics in mycorrhizal symbioses is linked to carbon costs and phosphorus benefits. Fems Microbiology Ecology. 72: 123-131.

Potty VP (1985) Cassava as alternate host for multiplication of VAM fungi. Plant Soil 88:135–137.

Singh, Sh., Srivastsva, K., Suvigya, Sh., Sharma, AK. 2014. Mycorrhizal Inoculum Production. Pp 67-80. In: Solaiman, Z M., Abbott, L K., Varma, A. (eds). Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration. Vol (3) Soil Biology.

Smith SE and Smith FA, 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth: New Paradigms from Cellular to Ecosystem Scales. Annual Review of Plant Biology 62(1): 227-250.

Valarini, P J., Curaqueo, G., Seguel, A., Manzano, K., Rubio, R., Cornejo, P., Borie, F., 2009. Effect of compost application on some properties of a volcanic soil from south central Chile. Chil. J. Agric. Res. 69, 416–425.

Wood T (1985) Commercial pot culture inoculum production: quality control and other headaches. In: Molina R (ed) Proceedings of the 6th North American conference on mycorrhizae, Bend, OR. Forest Research Laboratory, pp 84.

Yeasmin, T., Zaman, p., Rahman, A., Absar, N., Saba, N. (2007). Arbuscular mycorrhizal fungus inoculum production in rice plant. African Journal of Agricultural Research. Vol. 2 (9), 463-467.

Inoculation of *Glomus versiforme* in clover and evaluation some of colonization indices in different substrates

Hajar Mahmoudi[1], Nasser Ali Asgharzad[2], Mohammad Reza Sarikhani[3], Nusratullah Najafi[4] and Bahman Khoshru[5]

1- M. Sc. of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz - mahmoudih20@yahoo.com
2- Professor, Department of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
3- Associate Prof. of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
4- Professor of Soil Chemistry and Fertility, Faculty of Agriculture, University of Tabriz
5- Ph.D. student in Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi can symbiosis with 80% of plants. The positive effects of these fungi on plant growth, health and soil regeneration have been well established. Due to the importance of these fungi, their production is increasing. Accordingly, in this study, the effect of different substrates to evaluate the Effective symbiosis of Glomus versiforme was determined by determining the percentage of root colonization, percentage of hyphae, percentage of arbuscules and vesicles in the roots of clover. A completely randomized statistical design with three replications for each treatment was performed in greenhouse conditions. The results showed that the highest percentage of colonization (88%) and percentage of hyphae (80.5%) was observed in compost + perlite substrate. The highest percentage of arbuscules (21.9%) was recorded in loamy sand soil + perlite. The percentage of vesicles (4.2%) was the highest in compost + perlite substrate. The highest spore population was recorded in compost + vermiculite substrate (116 in 10 g of bed).

Keywords: Arbuscule, Substrate, Fungal inoculant, Arbuscular mycorrhizal fungus, Hypha

تلقیح قارچ *Glomus versiforme* در گیاه شبدر و بررسی برخی شاخص‌های فیزیولوژیک در بسترهای مختلف

هاجر محمودی [۱]، ناصر علی اصغرزاد [۲]، محمدرضا ساریخانی [۳]، نصرت اله نجفی [۴] و بهمن خوشرو [۵]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز - mahmoudih20@yahoo.com

۲- استاد گروه بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- دانشیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴- استاد شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۵- دانشجوی دکتری بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

قارچ‌های میکوریز آربوسکولار نقش حیاتی در توسعه کشاورزی سالم و حفظ محیط زیست دارند. بنابراین تولید زادمایه این قارچها حائز اهمیت است. نوع بستر در افزایش کارایی زادمایه تاثیر بسزایی دارد. بر این اساس در این پژوهش تأثیر بسترهای مختلف بر کارایی تلقیح قارچ میکوریز آربوسکولار گونه *Glomus versiforme* بر روی وزن خشک بخش‌هوایی و ریشه، حجم ریشه، درصد کلنیزاسیون طولی و غلظت فسفر گیاه شبدر بررسی شد. آزمایش با طرح آماری کاملا تصادفی و با سه تکرار برای هر نمونه در شرایط گلخانه‌ای اجرا گردید. نتایج نشان داد که بیشترین وزن خشک بخش‌هوایی در بستر ورمی‌کمپوست + پرلیت (۸/۲ گرم در گلدان) و بیشترین وزن خشک ریشه در بسترهای ورمی‌کمپوست + پرلیت و ورمی‌کمپوست + ورمیکولایت ثبت شد که در هر دو بستر به میزان ۰/۳۶ گرم در گلدان بود. حجم ریشه نیز در بستر ورمی‌کمپوست + پرلیت (۱/۸ میلی‌لیتر) بیشترین مقدار را داشت. بیشترین درصد کلنیزاسیون طولی نیز در بستر کمپوست + پرلیت (۷۷/۹ درصد) ثبت شد. بیشترین غلظت فسفر ریشه در بستر ورمی‌کمپوست + پرلیت (۳/۴ میلی‌گرم بر گرم) و بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی نیز در بستر ورمی‌کمپوست + پرلیت (۱/۹ میلی‌گرم بر گرم) مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: زادمایه قارچی، کلنیزاسیون ریشه، فسفر، پرلیت، ورمی‌کمپوست

مقدمه

تحقیق بر روی قارچ میکوریز و کاربرد عملی آن به عنوان یک فناوری کم نهاده برای مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه موضوع مورد توجه است (هاولر، ۱۹۸۷). بیش از ۹۰ درصد گیاهان با قارچ‌های کلونیزه‌کننده ریشه همزیست شده و یک همزیستی دائمی دارند. چنین همزیستی‌های قارچ-ریشه‌ای در چرخه غذایی سیستم‌های گیاه-خاک بسیار حساس است (ازکان – اگولار و بارا، ۱۹۹۷). قارچ‌های میکوریزی آربوسکولار عناصری نظیر N، P، K، Ca، S، Fe، Mn، Cu و Zn را از خاک جذب می‌کنند و سپس این مواد غذایی را به گیاهانی که با ریشه‌های آنها همزیست هستند انتقال می‌دهند (نیوشام و همکاران، ۱۹۹۴). قارچ‌های AM[۱] زمانی بیشترین کارایی را دارد که یک گیاه غیر همزیست با آنان در شرایط کمبود فسفر باشد، آنها همچنین برای گونه‌های گیاهی که به‌طور ذاتی دچار فقدان مکانیسم‌های مورفولوژیکی یا فیزیولوژیکی برای جذب کافی فسفر هستند نیز خیلی مفیدند (کوید و اشرینر، ۱۹۹۲). اما ماهیت بایوتروفی اجباری[۲] این قارچها مانع کاربرد و تولید قارچ‌های میکوریز آربوسکولار در مقیاس وسیع می‌باشد (کوئلهو و همکاران، ۲۰۱۴). برای تولید زادمایه قارچی روش‌های مختلفی از قبیل هیدروپونیک، ائروپونیک و کشت درون شیشه، کشت گلدانی و مزرعه بررسی شده است (آیجیدو و همکاران، ۲۰۱۱). روش سنتی تکثیر این قارچها روش گلدانی با تکیه بر گیاه میزبان و یک بستر مشخص می‌باشد (گائور و وارما، ۲۰۰۷). اولین عامل مهم درتولید زادمایه قارچی انتخاب گونه قارچی مناسب است که نیاز سیستم‌های رشدی را تأمین کند و دومین عامل دوام سویه تلقیح شده در مزرعه است که قدرت رقابت با جمعیت بومی و سازگار آن محل را داشته باشد (ال‌لوید-مک‌گیلپ و همکاران، ۱۹۹۶). از عوامل موثر دیگر کیفیت زادمایه تولیدی، انتخاب بستر مناسب برای کشت قارچ‌های AM است که می‌تواند تولید و کیفیت زادمایه را

۱- Arbuscular mycorrhiza
۲- Obligate biotrophy

تحت تأثیر قرار دهد (بابی و منیبوشانرو، ۱۹۹۶). بستر باید حداقل مواد غذایی را برای تأمین بقای گیاه میزبان داشته باشد، طوری که قارچ بتواند اسپورزایی کرده و تکثیر یابد (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۵). یک سیستم بهینه استفاده از شن و ورمیکولایت هست که گلومراسپورهایی[۱] با آلایندگی بالا تولید می‌کند (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۷). اما افزودن محلول غذایی به سوبسترا مانعی برای سیستم محسوب می‌شود زیرا که ساده و اقتصادی نیست (گیانینازی و وشکا، ۲۰۰۴). استفاده از منابع آلی و کارایی ایزوله‌های تولید شده ویژگی‌های مهمی در تأمین کیفیت زادمایه‌ها هستند (سینگ و همکاران،۲۰۱۱). دودز و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که مخلوط‌های ورمیکولیت و کمپوست پروپاگول‌های[۲] AMF بیشتری از مخلوط‌های خاکی دارند و این باعث مناسب بودن زادمایه برای استفاده در سیستم‌های تولید گیاه می‌شود. تولید زادمایه کارا و مؤثر با هزینه پایین و مواد با قابلیت دسترسی آسان برای پویایی کاربرد این قارچها در کشاورزی و احیای طرح‌های محیط زیستی یک ضرورت هست (کوئلهو و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین در این تحقیق با استفاده از از بسترهای با قابلیت دستری آسان در ترکیب با مواد آلی برای کاهش هزینه‌های تولید، جهت تولید زادمایه قارچ میکوریز آربوسکولار استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش با تلقیح گونه قارچی *Glomus versiforme* به هفت نوع بستر کشت که شامل بسترهای مخلوط با نسبت ۱ به ۴ حجمی و بستر شاهد بود انجام شد. محل آزمایش اتاق رشد آزمایشگاه میکروبیولوژی خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز بود. نوع بسترهای مورد استفاده و نسبت اختلاط آنها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- بسترهای مورد استفاده و نسبت اختلاط آنها

ردیف	علامت اختصاری بسترها	بسترهای مورد استفاده	نسبت حجمی
۱	C	خاک شن لومی	-
۲	COP	کمپوست به پرلیت	۱ به ۴
۳	COVL	کمپوست به ورمیکولیت	۱ به ۴
۴	VMP	ورمی‌کمپوست به پرلیت	۱ به ۴
۵	VMVL	ورمی‌کمپوست به ورمیکولیت	۱ به ۴
۶	SP	خاک لوم شنی به پرلیت	۱ به ۴
۷	SVL	خاک لوم شنی به ورمی‌کولیت	۱ به ۴

زادمایه قارچ مورد استفاده

برای اینکار از زادمایه خاکی قارچ میکوریز آربوسکولار گونه *Glomus versiforme* (ایزوله دشت تبریز) تهیه شد. پس از آماده‌سازی و استریل بسترها حدود ۷۰ گرم از زادمایه قارچی به صورت یک لایه نازک در عمق ۴-۳ سانتیمتری سطح بستر کشت به هرگلدان اضافه شد. رطوبت گلدان‌ها نیز به FC ۰/۸۵ – ۰/۸ رسانده شد. از بذور شبدر (*Trifolium repens* L.) با درصد جوانه‌زنی بالا استفاده شد. گیاهان پس از دوره رشد سه ماهه برداشت شدند. و پارامترهای وزن خشک بخش‌هوایی، وزن خشک ریشه، حجم ریشه، درصد کلنیزاسیون طولی ریشه و غلظت فسفر بخش‌هوایی و ریشه نیز اندازه گرفته شد.

وزن خشک بخش هوایی پس از خشک کردن نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد اندازه گرفته شد. اندازه‌گیری حجم ریشه نیز به روش استوانه مدرج انجام شد (کوپوسامی و کیوموتا ، ۲۰۱۲). پس از جداسازی مقداری از ریشه‌های ظریف جهت رنگ‌آمیزی و تعیین درصد کلنیزاسیون، ریشه‌ها نیز در آون ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شده و توزین شدند.

نمونه‌های گیاهی بخش هوایی و ریشه پس از آسیاب، به روش خشک سوزانی هضم شدند و فسفر نمونه‌ها به روش مولیبدات-وانادات تعیین شد (کاتینه، ۱۹۸۰).

۱ - Glomerospores
۲ - propagules

رنگ‌آمیزی نمونه ها نیز به روش کورمانیک مک گراو (۱۹۸۲) صورت گرفت. درصد کلنیزاسیون ریشه نیز به روش MIM[1] برآورد شد (مک‌گونیگل و همکاران، ۱۹۹۰).

آزمایش در قالب طرح کاملا تصادفی اجرا شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار spss انجام شد. آنالیز واریانس در سطح احتمال ۵٪ انجام شد و مقایسه میانگین با آزمون دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

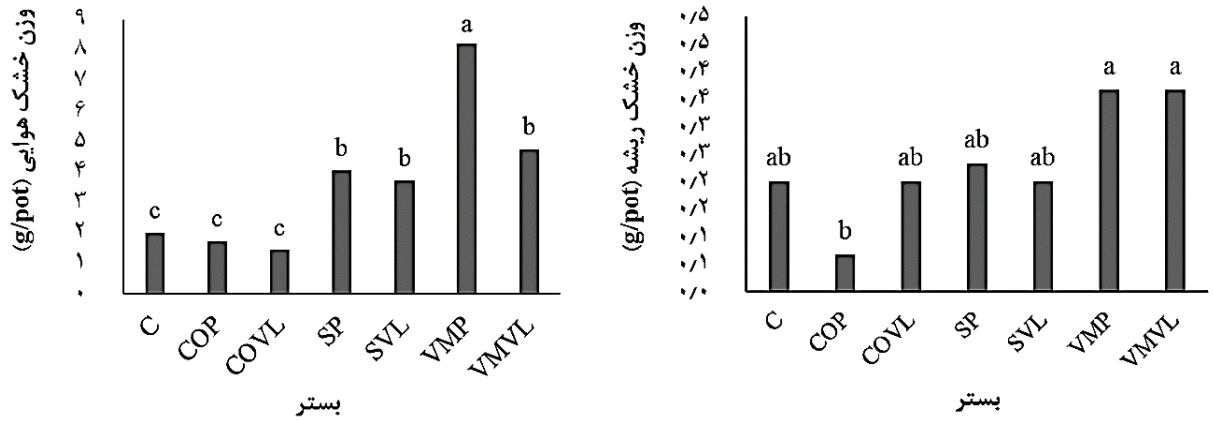
دو نوع خاک مورد استفاده در آزمایش (شن لومی و لوم شنی) از ایستگاه تحقیقاتی خلعت پوشان دانشگاه تبریز از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر نمونه برداری شده است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای مورد استفاده پس از عبور از الک ۲ میلی‌متر تعیین گردید (جدول ۲).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بسترهای مورد استفاده

نوع بستر	بافت خاک	pH	%FC	EC_e(dS/m)	%OC	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)
C (شاهد)	شن لومی	۷/۸۱	۱۲	۱/۴	۰/۲۲۱	۴/۴	۱۸۳
COP	-	۷/۶۸	۵۲	۳/۶۴	۱/۳۲	۱۰۲	۱۲۹۵
COVL	-	۷/۵۱	۸۳	۳/۶۴	۱/۴۴	۱۰۴	۱۰۶۵
VMP	-	۹/۳۶	۱۳۸	۲/۲۳	۱/۴۸	۱۳۰	۳۱۷
VMVL	-	۷/۷۹	۱۲۱	۱/۹۵	۱/۵۶	۱۴۱	۳۹۷
SP	-	۸/۹۴	۵۷	۰/۲۴	۰/۱۳۶	۷/۶	۱۰۷
SVL	-	۸/۴۵	۷۲	۰/۲۲	۰/۱۹۵	۴/۹	۹۷

وزن خشک بخش هوایی و ریشه

وزن خشک بخش هوایی و ریشه گیاه تحت تأثیر بسترهای مختلف در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین وزن خشک هوایی در بستر VMP به‌دست آمد. بیشترین وزن خشک ریشه نیز در بستر VMP و VMVL ثبت شد.



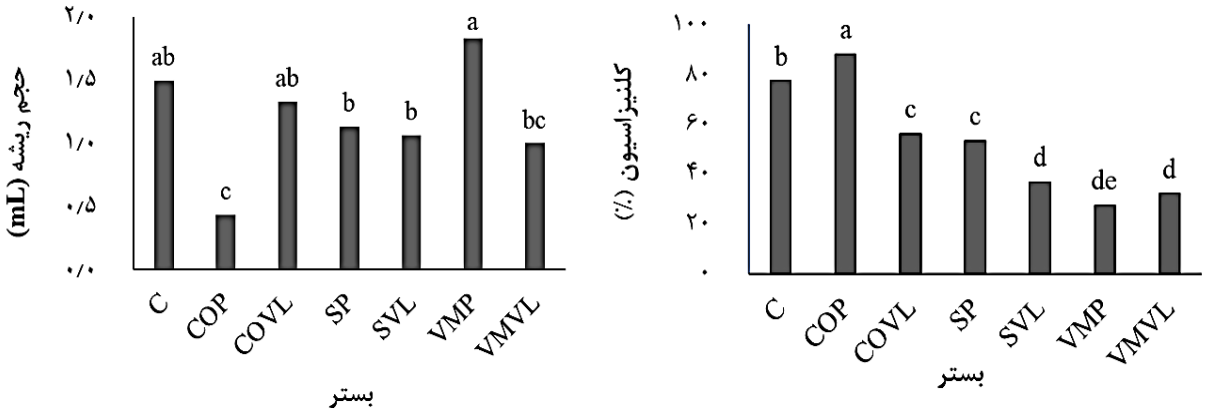
شکل ۱- وزن خشک هوایی و ریشه گیاه شبدر

ورمی‌کمپوست شامل مواد تحریک کننده رشد نیز می‌باشد. شبه هورمون گیاهی به‌شدت در ورمی‌کمپوست‌ها گزارش شده که به احتمال زیاد به علت جمعیت میکروبی بالاست، کاربرد ورمی کمپوست به مقدار ۲۰ تن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار طول بخش هوایی، طول ریشه، طول برگ، تعداد حبه در بخش خوراکی و وزن خشک کل گیاه سیر شد (سودار، ۲۰۰۹).

حجم و درصد کلنیزاسیون ریشه

[1]- Magnified intersections method

حجم ریشه گیاه ذرت تحت تأثیر بسترهای مختلف در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بیشترین حجم ریشه گیاه شبدر در بستر VMP (۱/۸۳ میلی‌لیتر) حاصل شد که با بستر شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲). در مورد کلنیزاسیون ریشه نتایج نشان داد بسترهای مختلف از نظر درصد کلنیزاسیون تفاوت معنی‌داری داشتند ($p<0.01$). بیشترین درصد کلنیزاسیون در بستر COP (۸۸/۰۶ درصد) به‌دست آمد که در مقایسه با بستر شاهد ۱۰/۷۳ درصد کلنیزاسیون بیشتری داشت (شکل ۲).



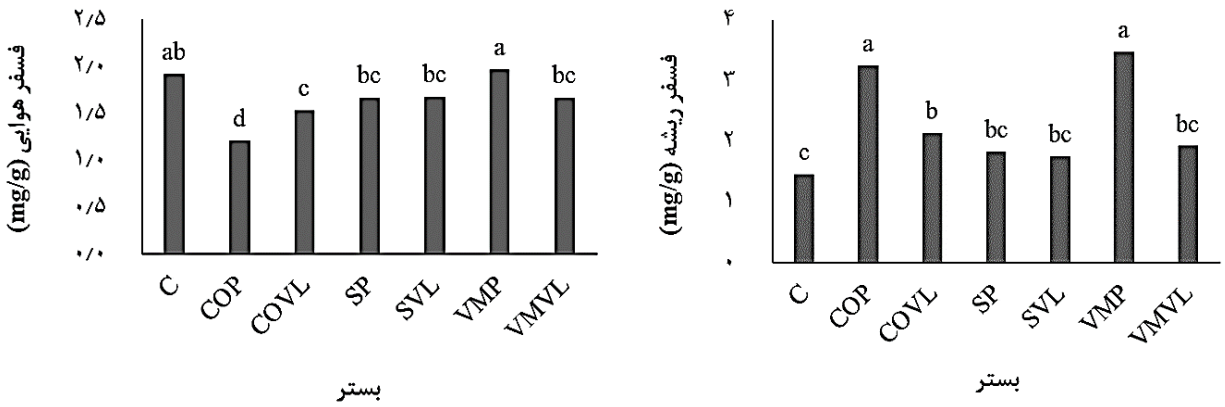
شکل ۲- حجم و درصد کلنیزاسیون ریشه گیاه شبدر

سارانیا و کیوموتا (۲۰۱۲) افزایش در میزان حجم ریشه را در ورمی‌کولیت + ٪۱۰ خاک در مقایسه با ورمیکولیت خالی گزارش کردند. ورمی کمپوست ارزش غذایی بالاتری نسبت به کمپوست‌های تجاری دارد که این به دلیل سرعت بالای معدنی شدن و درجه بالای هوموسی شدن توسط کرم‌های خاکی است. ورمی کمپوست همچنین تخلخل، تهویه، زهکشی و ظرفیت نگهداری آب بالایی دارد (جوشی و همکاران، ۲۰۱۵).

مواد هیومیکی مانند کمپوست از طریق افزایش طول هیف‌ها و فراوانی آربوسکول بر کلونیزاسیون قارچ‌های میکوریز تأثیر مثبت دارد (توفایل و همکاران، ۲۰۱۴). در تحقیقی اندوفیت تلقیح شده زمانی توانست ریشه‌ها را کلنیزه کند و رشد گیاه را بهبود ببخشد که حاصلخیزی خاک با کمپوست ۲ درصد افزایش یافت. این یافته می‌تواند به توانایی کمپوست برای متوقف کردن سایر ریزجانداران خاک شامل قارچ‌های بیماری‌زا و یا رقیب و افزایش گروه‌های ویژه از قارچ‌ها و باکتری‌ها مربوط شود که کلنیزاسیون ریشه‌ها با قارچ AM را تسهیل می‌کند.(نراژ و سین، ۲۰۱۱). کمترین میزان کلنیزاسیون مربوط به بستر VCP (۱۵/۸۳) و VCVL (۲۳/۱۸) بود. که ممکن است به دلیل رها سازی بالای فسفر معدنی باشد که منجر به کاهش درصد کلنیزاسیون شده است (محمودی، ۱۳۹۳)، در تحقیق دیگری دریافتند که اصلاح خاک‌های معدنی با ورمی‌کمپوست زباله شهری سبب کاهش‌های معنی‌داری در کلنیزاسیون ریشه‌های شبدر و خیار شد (سینز و همکاران، ۱۹۹۸).

فسفر بخش‌هوایی و ریشه

غلظت فسفر بخش‌هوایی و ریشه تحت تأثیر بسترهای مختلف در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود. بستر VMP بیشترین غلظت بخش‌هوایی (۱/۹۷ میلی‌گرم بر گرم) را داشت که با شاهد (C) (۱/۹۲) در یک گروه قرار داشت. همچنین در بخش ریشه نیز بیشترین غلظت فسفر در بستر VMP ثبت شد که با COP در یک رتبه قرار داشت (شکل ۳). دلیل این پدیده را می‌توان به غلظت بالای فسفر در ورمی‌کمپوست نسبت داد (جدول ۲).



شکل ۳- غلظت فسفر بخش هوایی و ریشه گیاه

کمپوست و کود دامی مورد استفاده برای تأمین نیتروژن برای رشد محصول در آزمایش سبب افزایش فراهمی فسفر و پتاسیم در طول آزمایش شد (دودز و همکاران، ۱۹۹۷). با توجه به جمعیت میکروبی بالای ساکن در ورمی‌کمپوست و تولید متابولیت‌هایی چون ترکیبات شبه هورمون و مواد حل کننده کانی، نقش غیرمستقیم ورمی کمپوست در انحلال و رهاسازی عناصر غذایی از بخش جامد خاک، مهم و غیرقابل چشم پوشی است (کاترجه و همکاران، ۲۰۲۰). هیف AM به هیدرولیز فسفر آلی با تولید فسفاتاز شناخته شده است، به‌طوری که آنها می‌توانند فسفر معدنی را به گیاه میزبان انتقال دهند (محمودی، ۱۳۹۳).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به اهمیت سلامت غذایی و کشاورزی ارگانیک استفاده از کودهای زیستی رو به افزایش است. قارچ میکوریز آربوسکولار به علت مزایای فراوانی که در کشاورزی دارد بویژه به عنوان تامین کننده فسفات، استفاده از این کودهای زیستی نیاز جامعه امروز است. در این تحقیق در راستای تولید زادمایه این قارچها از بسترهای مختلف استفاده شد و بسترهای شامل ورمی‌کمپوست بیشترین کارایی را از نظر شاخص‌های مورد بررسی نشان دادند. در حالی که بسترهای شامل کمپوست بیشترین میزان کلنیزاسیون را به خود اختصاص دادند. دلیل این پدیده را می‌توان به سرعت آهسته معدنی شدن در کمپوست نسبت داد، اما در ورمی‌کمپوست به دلیل فعالیت میکروبی بالا و فراهمی و قابلیت دسترسی زیاد عناصر میزان کلنیزاسیون کمتر شد.

فهرست منابع

محمودی، ه. (۱۳۹۳). بهینه‌سازی بستر کشت گلدانی برای تولید زادمایه قارچ میکوریز آربوسکولار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی انشگاه تبریز.

Azcon-Aguilar, C., Barea, J.M. (1997). Applying mycorrhizal biotechnology to horticulture: *significance and potential*. *Scientia Horticulturae*, 68, 1-24.

Baby, UI., Manibhushanrao, K. (1996). Influence of organic amendments on arbuscular mycorrhizal fungi in relation to ricesheath blight disease, Mycorrhiza, 6, 201-206.

Chatterjee R., Debnath A. and Mishra S. (2020). Vermicompost and Soil Health. In B. Giri & A. Varma (Eds.), Soil Health, Cham: *Springer International Publishing*. 19 p

Coelho, IR., Pedone-Bonfim, MV., Silva, FS., Maia, LC. (2014). Optimization of the production of mycorrhizal inoculum on substrate with organic fertilizer. Brazilian Journal of Microbiology, 45, 1173-1178.

Douds, DD., Nagahashi, G., Pfeffer, PE., Reider, C., Kayser, WM., (2006). On-farm production of AM fungus inoculum in mixtures of compost and vermiculite. *Bioresource Technology*, 97, 809-818.

Gaur, A. and Varma, A. (2007). Research methods in arbuscular mycorrhizal fungi. *In*: Varma A, Oelmüller R (eds) Soil biology: *Advanced Techniques in Soil Microbiology*. Springer, NewYork, 19 p.

Gianinazzi S, Vosátka M (2004) Inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi for production systems: science meets business. Can J Bot 82, 1264-1271.

Ijdo, M., Cranenbrouck, S., Declerck, S. (2011). Methods for largescale production of AM fungi: past, present, and future. *Mycorrhiza*, 21, 1-16.

Joshi, R., Singh, J., Vig, A. P. (2015). Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 14(1), 137-159.

Koide, R.T. and Schreiner, R.P., (1992). Regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 43, 557–581.

Kormanik, P.P. and McGraw, A.C. (1982). Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. Pp. 37-45. In: Schenck NC (ed). Methods and Principles of Mycorrhizal Research. *American Phytopathological Society*, Saint Paul, Minnesota.

Kuppusamy, S. and Kumutha, K. (2012). Standardization of the spore density of AM fungal inoculum for effective colonization, *International Journal of Agriculture Sciences*, 4, 176-181.

Lloyd-MacGilp, SA., Chambers, S.M., Dodd, J.C., Fitter, A.H., Walker, C., Young, J.P.W. (1996). Diversity of the ribosomal internal transcribed spacers within and among isolates of Glomus mosseae and related mycorrhizal fungi, *New Phytologist*, 133, 103-111.

McGonigle, T.P., Miller, MH., Evans, D.G., Fairchild, G.L., Swan, J.A. (1990). A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 115, 495–501.

Newsham, K.K., Fitter, A.H., Watkinson, AR. (1994). Root pathogenic and arbuscular mycorrhizal fungi determine fecundity of asymptomatic plants in the field. *Journal of Ecology*. 82, 805–814.

Silva, F.S.B., Yano-Melo, AM., Maia, LC. (2007). Production and infectivity of inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi multiplied in a substrate supplemented with Tris-HCl buffer. *Brazilian Journal of Microbiology* 38, 752-755.

Singh, R., Divya, S., Awasthi, A., Kalra, A. (2011). Technology for efficient and successful delivery of vermicompost colonized bioinoculants in *Pogostemon cablin* (patchouli) Benth. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 323-333.

Suthar, S. (2009). Impact of vermicompost and composted farmyard manure on growth and yield of garlic (Allium stivum L.) field crop. International Journal of Plant Production, 3(1), 27-38.

Inoculation of *Glomus versiforme* in clover and evaluation some of physiological indicators in different substrates

Hajar Mahmoudi[1], Nasser Ali Asgharzad[2], Mohammad Reza Sarikhani[3], Nusratullah Najafi[4] and Bahman Khoshru[5]

1- M. Sc. of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz - mahmoudih20@yahoo.com

2- Professor, Department of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

3- Associate Prof. of Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

4- Professor of Soil Chemistry and Fertility, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

5- Ph.D. student in Soil Biology and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi play a vital role in the development of healthy agriculture and environmental protection. Therefore, the native production of these fungi is important. The type of substrate has a great effect on increasing the efficiency of the inoculum. Accordingly, in this study, the effect of different substrates on Arbuscular mycorrhizal fungus inoculation efficiency of *Glomus versiforme* species on shoot and root dry weight, root volume, percentage of longitudinal colonization and phosphorus concentration of clover was investigated. The experiment was performed with a completely randomized statistical design with three replications for each sample in greenhouse conditions. The results showed that the highest dry weight of the shoot part was recorded in vermicompost + perlite substrate (8.2 g / pot) and the highest root dry weight was recorded in vermicompost + perlite and vermicompost + vermiculite substrates with 0.36 g / pot in both substrates. Root volume was highest in vermicompost + perlite (1.8 ml). The highest percentage of longitudinal colonization was recorded in compost + perlite substrate (77.9%). The highest concentrations of root and shoot phosphorus were observed in vermicompost + perlite substrates by 3.4 and 1.9 mg / g, respectively.

Keywords: Fungal inoculom, Root colonization, Phosphorus, Perlite, Vermicompost

ارزیابی اثر پودرخون کشتارگاه صنعتی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی یک خاک آهکی

مهران غلامی*[1]، زاهد شریفی[2]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج

۲- استادیار بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج

Email: mehrangholami1924@yahoo.com

چکیده

کاربرد پسماندهای آلی در کشاورزی به‌عنوان کود از دیرباز مرسوم بوده است. این پژوهش با هدف ارزیابی اثرات پودر خون کشتارگاه صنعتی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی یک خاک آهکی انجام گرفت. تیمارها شامل شاهد و پودر خون (۱/۵، ۳ و ۶ تن در هکتار) بودند. تمام تیمارها در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس در ۷۰٪ رطوبت ظرفیت زراعی به مدت ۷۰ روز انکوباسیون شدند. نتایج نشان داد که پودر خون موجب افزایش معنی‌دار در میزان نیتروژن کل، کربن آلی، شوری، فعالیت آنزیم دهیدروژناز، فراوانی قارچ‌ها، باکتری‌ها و ازتوباکتر خاک مورد پژوهش گردید، در حالی که موجب کاهش pH خاک شد. با توجه به نتایج این پژوهش، پودر خون با کاهش دادن pH، جبران کمبود کربن آلی و اثر مثبت بر شرایط زیستی خاک، می‌تواند گزینه مناسبی برای استفاده در خاک‌های آهکی ایران باشد، اما بایستی شرایط مدیریتی ویژه در رابطه با اثر آن بر افزایش شوری خاک در دراز مدت مدنظر قرار داده شود.

واژگان کلیدی: پتانسیل کودی، کربن آلی، نیتروژن کل، دهیدروژناز، ریزجانداران خاکزی

مقدمه

در کشتارگاه در کنار فرآورده گوشتی که برای نیاز غذایی انسان تهیه می‌شود، حجم قابل توجهی پساب و همچنین ضایعات فرعی و پسماندهای جامد دیگر مانند خون، محتویات دستگاه گوارش و بخش‌های غیرقابل استفاده دیگر نیز تولید می‌شوند (Bayr et al., 2012). پسماند کشتارگاهی به طور کلی شامل مواد آلی، چربی، مواد جامد معلق، فسفات، نیترات و کلرید سدیم می‌باشد (Marcos et al., 2012). تقریباً نیمی از وزن کل حیوان ذبح شده در کشتارگاه، مصرف غذایی نداشته و جزو پسماند کشتارگاه محسوب می‌شود (Martinez et al., 2012). خون مهم‌ترین فرآورده جانبی تولید شده در کشتارگاه‌ها است که امروزه دفع آن به این دلیل که به‌سرعت آلودگی‌ها را جذب می‌کند و باعث انتشار انواع بیماری‌ها می‌شود، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در بسیاری از کشورهاست. در برخی کشتارگاه‌های صنعتی، خون حاصل از کشتار دام‌ها، تحت دما و فشار زیاد به پودر خون تبدیل می‌گردد (Koenig and Johnson, 1999). استفاده از پودر خون در تغذیه دام و طیور از قبیل گاو، گوسفند، کرم ابریشم، بوقلمون و مرغ باعث بهبود رشد طبیعی آن‌ها می‌گردد. علاوه بر این در کشت محصولات نیز از پودر خون به عنوان کود آلی استفاده می‌شود (قربان‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷). خون در حدود ۲/۴ تا ۸ درصد از وزن زنده بدن دام را شامل می‌شود و نیتروژن اصلی‌ترین بخش پروتئین خون است (Koenig and Johnson, 1999). خون علاوه بر دارا بودن نیتروژن، منبع ارزشمندی از آهن آلی نیز می‌باشد. در میان کودهای آلی، پودر خون به دست آمده از فعالیت کشتارگاه‌ها تنها کود آلی دارای نیتروژن قابل حل در آب است که علاوه بر نیتروژن، آهن و فسفر، هورمون‌های مفید در رشد گیاهان، کمپلکس‌های آلی و اسیدهای آمینه سودمند را نیز دارا می‌باشد (Solomon, 2004). در این ماده نسبت کربن به نیتروژن پایین و نسبت لیگنین به نیتروژن صفر است. این دو شاخص مهم، نمایانگر معدنی‌شدن سریع و فراهمی نیتروژن در این ماده می‌باشند (Agehara and Warncke, 2005). آهن خون به شکل کلات بوده که این امر موجب می‌شود آهن از واکنش‌های شیمیایی و تبدیل شدن به شکل‌های غیرقابل استفاده، محافظت شود (Mortvedt, 1986). در سال‌های اخیر، برخی از ویژگی‌های پودر خون مورد پژوهش و بررسی قرار گرفته و نتایج حاکی از آن است که پروتئین‌های پودر خون در خاک مانند مواد

هیومیکی رفتار می‌کنند و در ارزیابی میزان هومیفیکاسیون[1] دخالت دارند (Ciavatta et al., 1988). همچنین پودر خون دارای ۱۰ تا ۱۳ درصد نیتروژن آلی است که به طور طبیعی در فرآیند معدنی‌شدن به سرعت در خاک آزاد می‌شود. با استفاده از بررسی‌های بیوشیمیایی اطلاعات زیادی در مورد ساختار و ترکیب شیمیایی پودر خون در دسترس است، اما دانش ما در مورد تأثیر این فرآورده بر ماده آلی خاک و حاصلخیزی آن محدود است (Ciavatta et al., 1997). در پژوهشی با عنوان پودر خون منبع آهن برای گیاهان، پژوهشگران نشان دادند که این ماده یک منبع مناسب جایگزین آهن برای گیاهان رشد کرده در شرایط هیدروپونیک با اثراتی مشابه FeEDDHA[2] است. به طوری که عملکرد و میزان آهن گیاه تأمین شده به وسیله پودر خون، بیشتر از شاهد و تفاوتی با میزان آهن و عملکرد گیاه تیمارشده توسط کود FeEDDHA نداشت (Kalbasi and Shariatmadari, 1993). در پژوهشی آزمایشگاهی که بر روی تأثیر خوراک خون (پودر خون) بر ماده آلی خاک انجام گرفت، پژوهشگران دریافتند که افزودن پودر خون به خاک تغییری در دسترسی برخی عناصر غذایی ایجاد نمی‌کند. همچنین در طول دوره انکوباسیون، تنها ۷۵ درصد از کربن و نیتروژن آلی معدنی شدند. از طرفی، فراهمی آهن در طی دوره انکوباسیون افزایش پیدا کرد که پژوهشگران دلیل آن را آزادسازی تدریجی آهن در اثر تجزیه گروه پروستتیک (گروه هِم در هموگلوبین) و کلات شدن پی در پی آهن از مواد هیومیک گزارش نمودند (Ciavatta et al., 1997). نتایج حاصل از پژوهش قربان‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که آزادسازی آهن از پودر خون مشابه کود سکوسترین آهن است و میزان آهن فراهم پس از گذشت ۳۰ روز از افزودن پودر خون در خاک به بیشترین مقدار خود رسید. همچنین آزادسازی نیتروژن از تیمارهای دارای پودر خون در تمامی سطوح کاربردی روندی کندتر از کود اوره داشت و میزان افزایش نیتروژن معدنی با گذشت زمان در آن‌ها کمتر بود. نتایج کشت گیاه نیز حاکی از آن بود که کاربرد پودر خون یک ماه قبل از کاشت گیاه می‌تواند نیازهای نیتروژن و آهن گیاه را تأمین و بر رشد آن تأثیراتی مثبت داشته باشد (قربان‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷). نتایج قاسمی (۱۳۹۶) نیز نشان داد که اضافه کردن پودر خون به بستر خاک اره باعث افزایش سرعت معدنی شدن کربن، میزان EC و نیتروژن کل شد، در حالی‌که pH و نسبت C:N کاهش یافت. همچنین Hirzel et al. (2018) در پژوهشی به بررسی سیر تکاملی عناصر غذایی خاک ناشی از هفت تیمار متفاوت کود آلی تحت شرایط کنترل‌شده پرداختند و چنین گزارش نمودند که در تیمار پودر خون میزان pH، فسفر و کلسیم روند کاهشی اما EC و منیزیم افزایش پیدا کردند. در پژوهشی دیگر که بر روی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک اره و پودر خون طی فرآیند ورمی‌کمپوست‌سازی و اثر آن بر رشد گیاه انجام گرفت، پژوهشگران چنین گزارش نمودند که میزان EC، نیتروژن کل، مس، روی، آهن و فسفر قابل دسترس افزایش یافتند، اما میزان کربن آلی و همچنین نسبت C:N کاهش پیدا کرد (Najjari and Ghasemi, 2018). طی پژوهش‌های اسپکتروسکوپی مشخص شده است که پودر خون جدا از این که به عنوان منبع نیتروژن می‌تواند استفاده گردد، به دلیل توانایی در نگهداشت آهن به شکل ترکیبات آلی پورفیرین نیز می‌تواند در کشاورزی به عنوان کود آهن مفید، معرفی و کاربرد داشته باشد (Yunta et al., 2013). هدف از انجام این پژوهش، بررسی پتانسیل پودر خون در تأمین نیتروژن و جبران کربن آلی در خاک‌های آهکی و همچنین ارزیابی وضعیت بیولوژیکی اکوسیستم خاک در اثر افزودن این پسماند بود.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این پژوهش از یک خاک کشاورزی از ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سارال کردستان به صورت مرکب به وزن ۱۰ کیلوگرم (دارای ۵ زیر نمونه ۲ کیلوگرمی) از ژرفای ۲۵-۰ سانتی‌متری تهیه شد. در آزمایشگاه پس از نرم‌کردن کلوخه‌ها و برداشتن پسماندهای گیاهی، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. از قسمت فرآوری و تولید پودر خون کشتارگاه صنعتی دام سنندج نیز یک نمونه ۲ کیلوگرمی تهیه گردید و بلافاصله به آزمایشگاه انتقال داده شد و تا شروع آزمایش، در دمای ۴ درجه

[1] Homification
[2] Iron ethylene diamine-N,N'-bis(hydroxy phenyl acetic acid)

سلسیوس نگهداری شد. پژوهش انجام‌شده در ۴ تیمار آزمایشی به صورت زیر و هر تیمار در ۳ تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد:

۱) خاک (شاهد) ۲) خاک + پودر خون (۱/۵ t/ha) ۳) خاک + پودر خون (۳ t/ha) ۴) خاک + پودر خون (۶ t/ha)

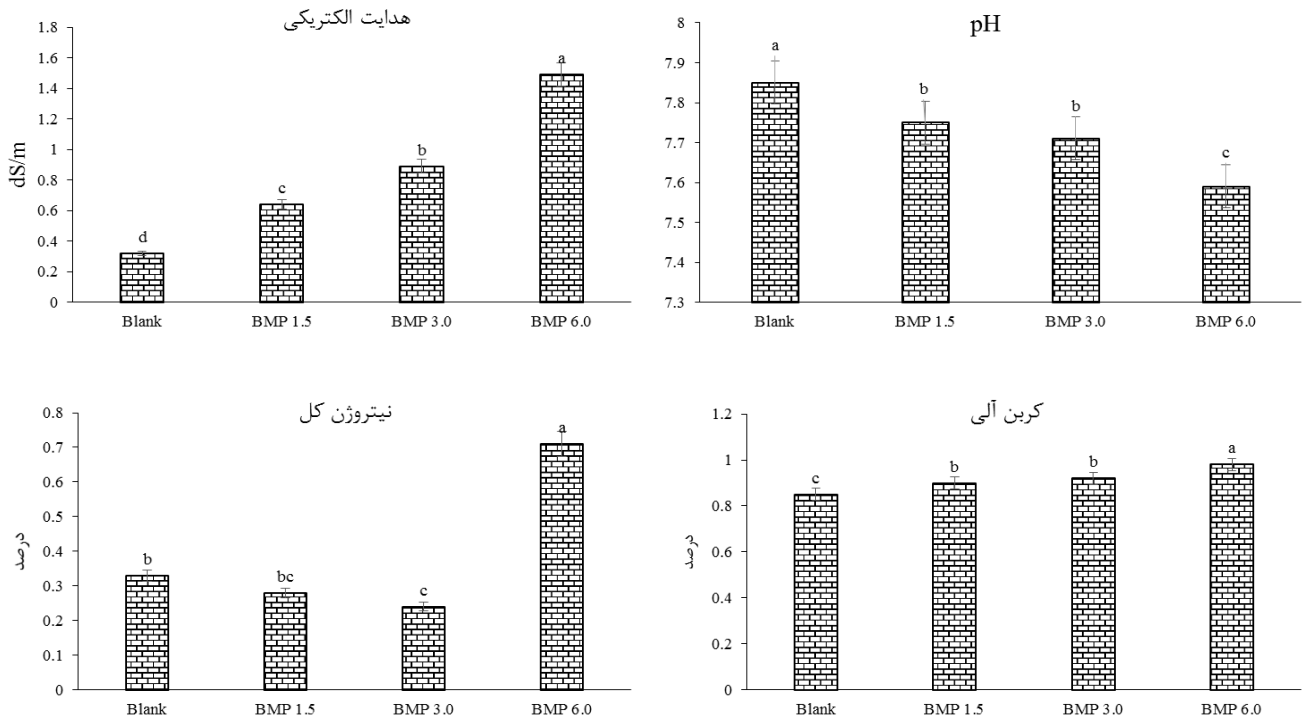
تیمارهای یادشده در ظروف استریل ۱ لیتری مخصوص انکوباسیون آماده شدند و رطوبت آن‌ها با آب مقطر استریل به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد و در طول آزمایش کسر رطوبت آن‌ها تا این میزان توسط روش وزنی (Gardner, 1965) جبران می‌شد. تمامی تیمارها به مدت ۷۰ روز در دمای ۲±۲۵ درجه سلسیوس انکوباسیون شدند. در پایان انکوباسیون در تیمارهای مورد بررسی کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934) اندازه‌گیری شد. نیتروژن کل به‌روش کجلدال اندازگیری گردید (Bremner and Keeney, 1966). pH و EC نیز در عصاره ۱:۲ آب به خاک اندازه‌گیری شدند. فراوانی قارچ‌ها، باکتری‌ها و ازتوباکتر بر اساس روش‌های استاندارد شمارش کلونی به ترتیب بر روی محیط‌های PDA[3]، NA[4] و LG تعیین شدند (Alef and Nannipieri, 1995). فعالیت دهیدروژناز به روش Thalmann (1968) اندازه‌گیری شد. این روش بر اساس اندازه‌گیری تری فنیل فورمازان تولیدشده، پس از انکوباسیون نمونه‌های خاک با تری‌فنیل تترازولیوم کلرید برای ۱۶ ساعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس می‌باشد. داده‌های به دست آمده با بهره‌گیری از نرم‌افزار SAS9 برای به‌دست آوردن میانگین و خطای استاندارد مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. همچنین جهت مقایسه میانگین‌های پارامترهای مورد بررسی بین تیمارهای حاوی پودر خون با شاهد، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

pH و EC:

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، میزان pH در تیمارهای دارای پودر خون در مقایسه با شاهد روند کاهشی معنی‌داری از خود نشان دادند ($P<$ ۰/۰۵). زمانی‌که پودر خون در خاکی با شرایط گرم و مرطوب و با تهویه مناسب قرار گیرد به‌وسیله باکتری‌ها به سرعت تجزیه می‌شود. پودر خون در شرایط خاک‌های آهکی آزادسازی سریع‌تری داشته و بر اثر تجزیه آن pH خاک کاهش می‌یابد (Koenig and Johnson, 1999). در رابطه با EC روند افزایشی معنی‌داری به لحاظ آماری در تمام تیمارها دارای پودر خون در مقایسه با شاهد مشاهده گردید. بیشترین میزان افزایش EC در تیمار ۶ تن در هکتار پودر خون مشاهده شد، به‌گونه‌ای که میزان این شاخص از ۰/۳۲ در تیمار شاهد به ۱/۴۹ دسی‌زیمنس بر متر در این تیمار رسید. افزایش EC در اثر کاربرد پودر خون، نشان‌دهنده میزان بالای املاح و نمک‌های معدنی موجود در این پسماند می‌باشد که با افزودن به خاک و تجزیه آن سبب افزایش میزان این شاخص خواهد شد. کاهش pH و افزایش EC خاک توسط پودر خون در این پژوهش با یافته‌های قاسمی (۱۳۹۶)، Hirzel et al. (2018) و Najjari and Ghasemi (2018) مطابقت دارد. به طور کلی می‌توان این گونه نتیجه‌گیری کرد که کاهش در میزان pH تیمارهای مورد بررسی، ممکن است به دلیل معدنی‌شدن نیتروژن و فسفر، تجزیه میکروبی مواد آلی و تولید اسیدهای آلی حدواسط مانند اسید فولویک و اسید هیومیک (Suthar, 2009; Lazcano et al., 2008) و نیز تولید دی‌اکسید کربن (Garg et al., 2006; Elvira et al., 1998) باشد. از دیگر سو، افزایش میزان EC می‌تواند ناشی از تجزیه مواد آلی و آزادسازی نمک‌های معدنی مختلف به شکل در دسترس باشد (Suthar, 2007; Garg et al., 2006). پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که انکوباسیون موجب معدنی‌شدن مواد آلی و رهاسازی عناصر غذایی در خاک‌ها می‌گردد (Fageria and Nascente, 2014; Hirzel et al., 2010; Kirchmann et al., 2007).

[3] Potato Dextrose Agar
[4] Nutrient Agar



شکل ۱- میزان (میانگین±خطای استاندارد) هدایت الکتریکی، واکنش، کربن آلی و نیتروژن کل خاک در تیمارهای مختلف پودر خون و تیمار شاهد (بر اساس آزمون دانکن، ستون‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در پایه آماری ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

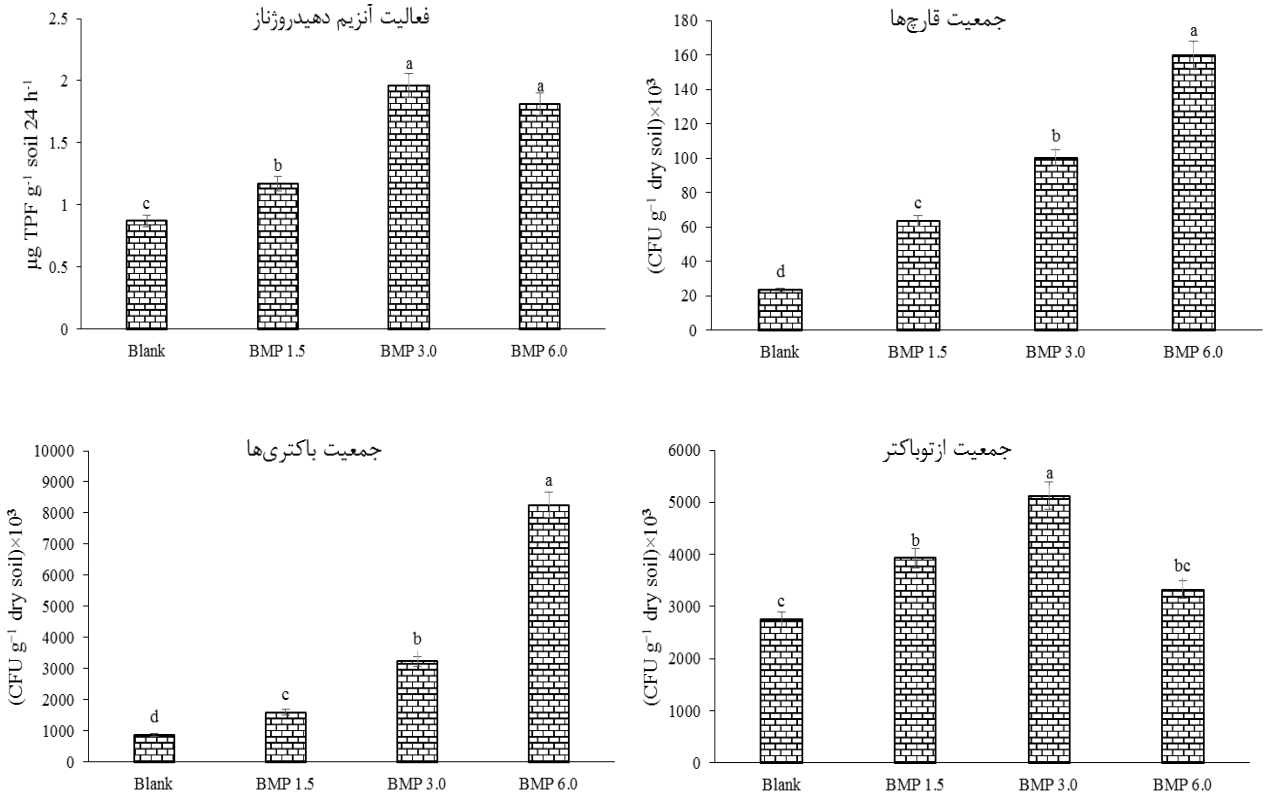
درصد کربن آلی و نیتروژن کل خاک

همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است میزان کربن آلی در تمامی تیمارهای مورد بررسی روند افزایشی داشتند، بدین‌صورت که سطوح ۱/۵، ۳ و ۶ تن در هکتار پودر خون به ترتیب ۵/۸۸، ۸/۲۳ و ۱۵/۲۹ درصد افزایش در میزان این شاخص را موجب شدند، که در هماهنگی با یافته‌های Cayuela et al. (2009) می‌باشد. Ciavatta et al. (1997) گزارش کردند که بعد از یک سال انکوباسیون پودر خون با خاک، ماده آلی نشأت گرفته از پودر خون رفتاری مشابه با ماده آلی بومی خاک را دارد. با توجه به میزان بالای کربن آلی موجود در پودر خون (۵۱/۹ درصد)، چنین نتایجی مورد انتظار بود.

در مقایسه با تیمار شاهد، میزان نیتروژن کل در تیمار ۶ تن بر هکتار پودر خون به طور معنی‌داری افزایش یافت، در حالی که میزان این شاخص در تیمار ۳ تن بر هکتار کاهش معنادار، و در تیمار ۱/۵ تن بر هکتار بدون تغییر باقی ماند (شکل ۱). به این دلیل که نیتروژن در خاک درگیر واکنش های مختلفی از جمله، تصعید و تثبیت در خاک می‌باشد و بیشتر این واکنش‌ها در سیطره ریزجانداران می باشد، چنین نتایج متناقضی دور از انتظار نیست. در راستای یافته‌های این پژوهش کاهش در میزان نیتروژن کل خاک در اثر کاربرد پودر خون توسط Ciavatta et al. (1997) گزارش شده است. همچنین قربان‌زاده و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی که بر روی اثر پودر خون بر فراهمی آهن و نیتروژن خاک انجام دادند، چنین گزارش کردند که میزان نیتروژن کل از زمان شروع تا پایان آزمایش، روند کاهشی نشان داد. این پژوهشگران تصعید نیتروژن از سطح خاک را عاملی برای کاهش میزان نیتروژن کل در طول دوره انکوباسیون بیان کردند. از دیگر سو، بیشتر بودن میزان نیتروژن ورودی در تیمار ۶ تن بر هکتار پودر خون می‌تواند دلیل افزایش معنی‌دار این پارامتر در این تیمار باشد.

فعالیت آنزیم دهیدروژناز و فراوانی میکروفلور خاک

نتایج ارائه شده در شکل ۲ نشان می‌دهد که میزان فعالیت آنزیم دهیدروژناز در هر سه تیمار پودر خون، افزایش معنی‌داری در پایه آماری ۵ درصد در مقایسه با شاهد داشت. دهیدروژنازها متعلق به اکسیدوردوکتازها و انتقال‌دهنده هیدروژن هستند. فعالیت آنزیم دهیدروژناز به عنوان مرجعی برای سیستم زیستی اکسایش و کاهش بوده و چون فقط در سلول‌های زنده میکروب‌ها وجود دارد، شاخص مناسبی برای فعالیت میکروبی و اندازه‌گیری شدت متابولیسم میکروبی در خاک‌ها محسوب می‌شود (Nannipieri et al., 2002).



شکل ۲- میزان (میانگین±خطای استاندارد) فعالیت آنزیم دهیدروژناز و جمعیت‌های میکروبی خاک در تیمارهای مختلف پودر خون و تیمار شاهد (بر اساس آزمون دانکن، ستون‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در پایه آماری ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

همچنین فعالیت آنزیم دهیدروژناز خاک به عنوان شاخصی از فعالیت کل ریزجانداران خاک به شمار می‌آید، زیرا درون سلولی بوده و با فرآیندهای اکسایش-کاهش در ارتباط است (Quilchano and Maranon, 2002). در هماهنگی با نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، Chu et al. (2007) چنین گزارش نمودند که کاربرد کودهای آلی باعث افزایش کربن زیست‌توده میکروبی و افزایش میزان فعالیت آنزیم دهیدروژناز می‌شود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین جمعیت قارچهای خاک در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که هر سه سطح کاربردی پودر خون به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد موجب افزایش رشد و جمعیت قارچهای خاکزی شدند (شکل ۲). همچنین مشاهده شد که میزان افزایش جمعیت قارچها با افزایش میزان سطح به‌کارگیری این تیمار رابطه مستقیم داشت. در روندی کاملاً مشابه با یافته‌های مربوط به جمعیت قارچهای خاکزی، این نتایج برای جمعیت باکتریایی خاک نیز به دست آمد. در

هماهنگی با یافته‌های این پژوهش، چنین گزارش شده است که با افزایش ماده آلی خاک، جمعیت‌های میکروبی رشد چشم‌گیری می‌یابند (فلاح نصرت‌آباد، ۱۳۹۱). از طرفی با توجه به این که در این مطالعه نسبت کربن به نیتروژن پودر خون حدوداً ۱۰ به دست آمد، در طول دوره انکوباسیون، پودر خون سرعت تجزیه و آزادسازی عناصر بیشتری داشته و بیشترین افزایش را در جمعیت باکتریایی خاک موجب شده است. همان‌طور که بیان شد زمانی که پودر خون در خاکی با شرایط گرم و مرطوب و با تهویه مناسب قرار می‌گیرد به‌وسیله باکتری‌ها به سرعت تجزیه می‌شود و در شرایط خاک‌های آهکی آزادسازی سریع‌تری نیز دارد (Koenig and Johnson, 1999). میزان جمعیت ازتوباکتر خاک نیز در تیمارهای ۱/۵ و ۳ تن در هکتار پودر خون به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش پیدا کرد (شکل ۲). Safari Sinegani and Sharifi (2004) گزارش نمودند که همبستگی مثبت و بالایی بین جمعیت ازتوباکتر خاک با مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم در دسترس وجود دارد. از دیگر سو، ازتوباکترها اغلب شرایط pH خنثی تا کمی قلیایی را ترجیح می‌دهند و جمعیت آن‌ها در شرایط اسیدی خاک کاهش می‌یابد (Lenart, 2012). با توجه به این مطلب، می‌توان چنین استنباط کرد که چون تیمار ۶ تن در هکتار پودر خون بیشترین کاهش pH را نسبت به شاهد ثبت کرده است (شکل ۱)، بنابراین شرایط نسبتاً اسیدی‌تری در این تیمار حاکم بوده و لذا تغییر معنی‌داری در جمعیت ازتوباکتر این تیمار مشاهده نگردید.

به طور کلی پسماندهای آلی نه تنها غنی از منابع غذایی برای ریزجانداران می‌باشند، بلکه از ماندگاری بیشتری نسبت به کودهای شیمیایی برخوردار هستند. این مواد، کربن، نیتروژن و انرژی لازم را برای رشد و تکثیر میکروبی فراهم می‌کنند (Zeng et al., 2007) و جمعیت‌های میکروبی را به میزان قابل‌توجهی افزایش می‌دهند. از طرفی، زیست توده میکروبی خاک نیز به‌عنوان شاخصی از باروری خاک مورد سنجش قرار می‌گیرد و این شاخص به جریان مواد غذایی در خاک بستگی دارد (Krishnakumar et al., 2005).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از ارزیابی اثر تیمارهای مختلف پودر خون بر خاک نشان داد که این پسماند با اثرات مثبت بر میزان نیتروژن و ماده آلی خاک آهکی موردپژوهش، پتانسیل بالایی در حفظ باروری به‌ویژه در تأمین عنصر نیتروژن دارد. همچنین پودر خون با افزایش جمعیت ریزجانداران خاکزی به ویژه باکتری‌های ازتوباکتر که به عنوان تثبیت‌کنندگان آزادزی نیتروژن اتمسفری شناخته شده‌اند، تأثیرات مثبتی را بر ویژگی‌های زیستی خاک بر جا گذاشت. طبق نتایج، پودر خون با کاهش pH خاک و افزایش کربن آلی خاک، می‌تواند انتخابی مناسب برای کاربرد در خاک‌های آهکی ایران باشد اما در توصیه کودی این پسماند، بایستی پتانسیل افزایش دادن میزان EC خاک در دراز مدت را مدنظر داشته باشیم.

تشکر و قدردانی

از خانم مهندس زهرا کرمی برای مطالعه مقاله و همچنین کمک در انجام پژوهش سپاسگزاریم.

فهرست منابع

فلاح نصرت‌آباد، ع. (۱۳۹۱). بررسی رابطه بین جمعیت کل باکتری‌ها و قارچ‌ها با برخی خصوصیات خاک‌های استان گیلان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، ۲(۲). ۶۸-۴۹.

قاسمی، س. (۱۳۹۶). تأثیر کاربرد پودر خون بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی خاک‌اره طی فرآیند ورمی‌کمپوست‌سازی. مجله یافته‌های نوین در علوم زیستی، جلد ۴(۴). ۳۱۹-۳۱۰.

قربان‌زاده، ن.، حق‌نیا، غ.، لکزیان، ا. و فتوت، ا. (۱۳۸۷). فراهمی نیتروژن و آهن از خاک غنی‌شده با پودر خون و تأثیر آن بر رشد گیاه ذرت. نشریه آب و خاک، دوره ۲۲(۲). ۱۸۶-۱۷۵.

Agehara, S. and Warncke, D.D. (2005). Soil moisture and temperature effects on nitrogen release from organic nitrogen

sources. *Soil Science Society of America Journal*, 69, 1844-1855.

Alef, K. and Nannipieri, P. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. 1nd edn. Academic Press, 576 P.

Bayr, S., Rantanen, M., Kaparaju, P. and Rintala, J. (2012). Mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion of rendering plant and slaughterhouse wastes. *Bioresource Technology*, 104, 28-36.

Bremner, J.M. and Keeney, D.R. (1966). Determination and isotope-ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: Exchangeable ammonium, nitrate, and nitrite by extraction-distillation methods. *Soil Science Society of America Journal*, 30, 577-582.

Cayuela, M.L., Sinicco, T. and Mondini, C. (2009). Mineralization dynamics and biochemical properties during initial decomposition of plant and animal residues in soil. *Applied Soil Ecology*, 41, 118-127.

Chu, H., Lin, X., Fujii, T., Morimoto, S., Yagi, K., Hu, J. and Zhang, J. (2007). Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology and Biochemistry*, 39, 2971-2976.

Ciavatta, C., Govi, M., Sitti, L. and Gessa, C. (1997). Influence of blood meal organic fertilizer on soil organic matter: A laboratory study. *Journal of Plant Nutrition*, 20, 1573-1591.

Ciavatta, C., Govi, M., Sitti, L. and Gessa, G. (1988). Identification of blood meal in fertilizers. Fertilizer Research, 44: 249-253.

Elvira, C., Sampedro, L., Benitez, E. and Nogales, R. (1998). Vermicomposting of sludges from paper mill and dairy industries with Eisenia andrei: A pilot-scale study. *Bioresource Technology*, 63, 205-211.

Fageria, N.K. and Nascente, A.S. (2014). Management of Soil Acidity of South American Soils for Sustainable Crop Production. 1nd edn. Academic Press, 275 P.

Gardner, W.G. (1965). Water content in Methods of Soil Analysis. 1nd edn. American Society of Agronomy, 1572 P.

Garg, P., Gupta, A. and Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using Eisenia foetida: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97, 391-395.

Hirzel, J., Donnay, D., Fernández, C., Meier, S., Lagos, O., Mejias-Barrera, P. and Rodríguez, F. (2018). Evolution of nutrients and soil chemical properties of seven organic fertilizers in two contrasting soils under controlled conditions. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 34, 77-88.

Kalbasi, M. and Shariatmadari, H. (1993). Blood powder, a source of iron for plants. *Journal of Plant Nutrition*, 16, 2213-2223.

Kirchmann, H., Bergström, L., Kätterer, T., Mattsson, L. and Gesslein, S. (2007). Comparison of long-term organic and conventional crop-livestock systems on a previously nutrient-depleted soil in Sweden. *Agronomy Journal*, 99, 960-972.

Koenig, R. and Johnson, M. (1999). Selecting and Using Organic Fertilizers. Utah State University Cooperative Extension from https://extension.usu.edu/waterquality/files-ou/Agriculture-and-Water-Quality/Resources/HG-510.pdf (accessed Dec, 2011).

Krishnakumar, S., Saravanan, A., Natarajan, S.K., Veerabadran, V. and Mani, S. (2005). Microbial population and enzymatic activity as influenced by organic farming. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 1, 85-88.

Lazcano, C., Gómez-Brandón, M. and Domínguez, J. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere*, 72, 1013-1019.

Lenart, A. (2012). Occurrence, Characteristics, and Genetic Diversity of Azotobacter chroococcum in Various Soils of Southern Poland. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21, 415-424.

Marcos, A., Al-Kassir, A., López, F., Cuadros, F. and Brito, P. (2012). Environmental treatment of slaughterhouse

wastes in a continuously stirred anaerobic reactor: Effect of flow rate variation on biogas production. *Fuel Processing Technology*, 103, 178-182.

Martinez, E., Marcos, A., Al-Kassir, A., Jaramillo, M.A. and Mohamad, A.A. (2012). Mathematical model of a laboratory-scale plant for slaughterhouse effluents biodigestion for biogas production. *Applied Energy*, 95, 210-219.

Mortvedt, J.J. (1986). Iron sources and management practices for correcting iron chlorosis problems. *Journal of Plant Nutrition*, 9, 961-974.

Najjari, F. and Ghasemi, S. (2018). Changes in chemical properties of sawdust and blood powder mixture during vermicomposting and the effects on the growth and chemical composition of cucumber. *Scientia Horticulturae*, 232, 250-255.

Nannipieri, P., Kandeler, E. and Ruggiero, P. (2002). Enzyme activities and microbiological and biochemical processes in soil. Enzymes in the environment. 1nd edn. CRC Press, 640 P.

Quilchano, C. and Marañón, T. (2002). Dehydrogenase activity in Mediterranean forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 102-107.

Safari Sinegani, A.A. and Sharifi, Z. (2004). Land use effect on the occurrence and distribution of Azotobacter in Hamadan soils, Iran. 4th conference Proceedings of the international Iran and Russia, Moscow, Russia.

Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A., Paredes, C. and Bernal, M.P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78, 301-308.

Solomon, S. (2004). Organic Gardener's Composting. 1nd edn. CreateSpace Independent Publishing Platform, 514 P.

Suthar, S. (2007). Vermicomposting potential of Perionyx sansibaricus (Perrier) in different waste materials. *Bioresource Technology*, 98, 1231-1237.

Suthar, S. (2009). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using Eisenia fetida: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecological Engineering*, 35, 914-920.

Thalmann, A. (1968). Zur Methodik der Bestimmung der DehydrogenaseaktivitAt im Boden mittels triphenytetrazoliumchlorid (TTC). *Landwirtsch Forsch*, 21, 249-258.

Walkley, A. and Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-38.

Yunta, F., Di Foggia, M., Bellido-Díaz, V., Morales-Calderón, M., Tessarin, P., López-Rayo, S., Tinti, A., Kovács, K., Klencsár, Z. and Fodor, F. (2013). Blood meal-based compound. Good choice as iron fertilizer for organic farming. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 3995-4003.

Zeng, L.S., Liao, M., Chen, C.L. and Huang, C.Y. (2007). Effects of lead contamination on soil enzymatic activities, microbial biomass, and rice physiological indices in soil lead rice (Oryza sativa L.) system. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 67, 67-74.

Assessment of the effect of industrial abattoir blood powder on some chemical and biological properties of a calcareous soil

Mehran Gholami*[1], Zahed Sharifi[2]

1- M.Sc. in soil biology and biotechnology, College of Agriculture, University of Kurdistan, Iran
2- Asst. Prof. in soil biology and biotechnology, College of Agriculture, University of Kurdistan, Iran

Email: mehrangholami1924@yahoo.com

Abstract

The use of organic waste in agriculture as fertilizer has long been customary. The study was conducted with aim of the effect of blood powder on some chemical and biological properties of a calcareous soil. The treatments were include: blood powder (1.5, 3 and 6 t ha^{-1}) and control. All the treatments were incubated under the laboratory condition for 70 days in 25±2 °C and 70% of water holding capacity. The results showed that blood powder caused a significant increase in total nitrogen, organic carbon, salinity, dehydrogenase activity, abundance of fungi, bacteria and azotobacteria in the studied soil, while reducing soil pH. According to the results of this study, blood powder with reduce the pH, compensate for organic carbon deficiency and have a positive effect on soil biological conditions, can be a good option for use in calcareous soils of Iran, However, special management conditions should be considered in relation to its effect on increasing soil salinity in long term

Keywords: Dehydrogenase, Fertilizer potential, Organic carbon, Soil microorganisms, Total nitrogen

بررسی حضور کلی‌فرم‌ها و *ایشریشیا کولای* مقاوم به آنتی‌بیوتیک در رسوبات دریاچه زریوار مریوان

میلاد امینی[1*]، حسین پندی[2]، عباس شعبانی روفچائی[3]، آدینه عبدی طبالوندانی[4]، سامان ولی‌زاده ناوی[4]

[1*] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده علوم زراعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
miladamini.sanru@gmail.com

[2] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[3] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

[4] دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

چکیده

دریاچه‌ها به عنوان مکان‌های گردشگری و زیستگاهی برای جانداران از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند. آلودگی باکتریایی آنان باعث به خطر افتادن حیات جانداران و انسان‌ها می‌شود. این باکتری‌ها به دلیل مقاومت به آنتی‌بیوتیک باعث ایجاد مشکلاتی در زمینه بهداشت عمومی شده‌اند. با توجه به اهمیت موضوع، این پژوهش با هدف بررسی حضور کلی‌فرم‌ها و مقاومت باکتری *E. coli* به آنتی‌بیوتیک‌ها در ۲۰ ایستگاه رسوبات دریاچه زریوار (زریبار) مریوان در استان کردستان انجام شد. از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر رسوبات حاشیه دریاچه در سه تکرار در مرداد ۱۳۹۹ نمونه‌برداری انجام شد. پس از ساخت سوسپانسیون از رسوبات و رقیق سازی، تعداد همه کلی‌فرم‌ها در محیط EMB شمارش شد. سپس باکتری *E. coli* به عنوان باکتری شاخص جداسازی و تکثیر شد و مقاومت آن در برابر آنتی‌بیوتیک‌های سفالکسین، جنتامایسین، داکسی‌سایکلین، سفتریاکسون، سیپروفلوکساسین، تری‌متوپریم و سفیکسیم به روش پخشیدگی دیسک انجام شد. نتایج نشان داد که تعداد کلی‌فرم‌ها در هر ۲۰ ایستگاه بررسی شده بالا است و در مجموع، غرب دریاچه و ایستگاه های ۱۳ و ۱۴ آلودگی بیشتری دارند. بنابراین مدیریت صحیح آلودگی میکروبی دریاچه زریوار، به عنوان قطب گردشگری غرب کشور و زیستگاهی برای جانوران، اهمیت فراوانی دارد.

واژه های کلیدی: دریاچه زریوار، آلودگی، مقاومت آنتی‌بیوتیکی

مقدمه

دریاچه‌ها مناطقی پر از آب، محصور شده توسط خشکی هستند که تغذیه و تخلیه آنان بر عهده رودخانه‌ها است (Søndergaard *et al*., 2020). امروزه این منابع مهم آبی به انواع مختلف آلاینده‌های کشاورزی، صنعتی و فاضلاب‌های شهری و روستایی آلوده شده‌اند که موجب شیوع بیماری‌های خطرناک و نگرانی در زمینه بهداشت عمومی شده است (Bhumbla *et al*., 2020). از اثرات مهم ورود آلاینده‌ها به دریاچه‌ها و منابع آبی، مقاومت باکتریایی به آنتی‌بیوتیک‌ها است (WHO, 2018). آنتی‌بیوتیک‌ها به طور گسترده‌ای برای درمان بیماری‌های عفونی و تقویت رشد حیوانات استفاده می‌شوند (Muhammad *et al*., 2020; Tran *et al*., 2019). متابولیسم ناقص و تخریب جزئی آنتی‌بیوتیک‌ها منجر به وقوع گسترده آن‌ها در رودخانه‌ها، دریاچه ها، آب دریا و آب‌های زیرزمینی شد (Feng *et al*., 2020; Li *et al*., 2018; Liu *et al*., 2018). رسوبات در محیط آبی یک مکان ایده‌آل است و به عنوان یک بستر اصلی برای تولید مثل میکروارگانیسم‌ها و تحول آنتی‌بیوتیک‌ها عمل می کند (Yang *et al*., 2016). باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک می‌توانند از طریق زنجیره غذایی به بدن انسان وارد شوند، مقاومت در برابر داروها را افزایش دهند و اثربخشی آن‌ها را کاهش دهند (Zhang *et al*., 2020). آلودگی میکروبی دریاچه‌ها به عنوان مشکل عمده در محیط زیست و بهداشت عمومی در نظر گرفته می‌شود که بر سلامت انسان‌ها و سایر جانداران اثر منفی می‌گذارد (Bhumbla *et al*., 2020).

جهت بررسی مقدار آلودگی رسوبات دریاچه، از میکروب‌های شاخص مدفوعی[1] استفاده می‌شود. این میکروب‌ها که شامل کلی-فرم‌ها (مانند *ایشریشیا کولای*[2])، باکتریوفاژ، کلاستریدیوم‌ها[3] و انتروکوکسی[4]های روده‌ای هستند غالبا جداسازی، شناسایی و شمارش آن‌ها ساده‌تر است.

تعداد بالای کلی‌فرم‌ها در رسوبات دریاچه تایی[5] (Chen *et al*., 2021)، دریاچه چانگ شوی[6] (Lu *et al*., 2020)، دریاچه چینگ-های[7] (Li *et al*., 2020) در چین، دریاچه الاسفر[8] (Elsohaby *et al*., 2021) در عربستان، دریاچه سن‌پدرو[9] (Ramos-Ramírez *et al*., 2021) در مکزیک و دریاچه پیچولا[10] و دریاچه سواروپ ساگار[11] (Bhumbla *et al*., 2020) در هندوستان گزارش شده است. غلامی و شاپوری (۱۳۹۴) در بررسی آلودگی میکروبی دریاچه زریوار استان کردستان گزارش دادند که در فصول مختلف، آلودگی میکروبی هم در آب و هم در رسوبات دریاچه بسیار زیاد بود. با توجه به اهمیت این دریاچه به عنوان مکانی توریستی و زیستگاهی منحصربفرد و ارزشمند برای انواع گونه‌های گیاهی و جانوری، و گزارش‌هایی مبنی بر آلودگی آن، این پژوهش با هدف بررسی حضور باکتری‌های کلی‌فرم و مقاومت باکتری *E. coli* به آنتی‌بیوتیک‌ها در ۲۰ ایستگاه در حاشیه دریاچه زریوار مریوان انجام شده است.

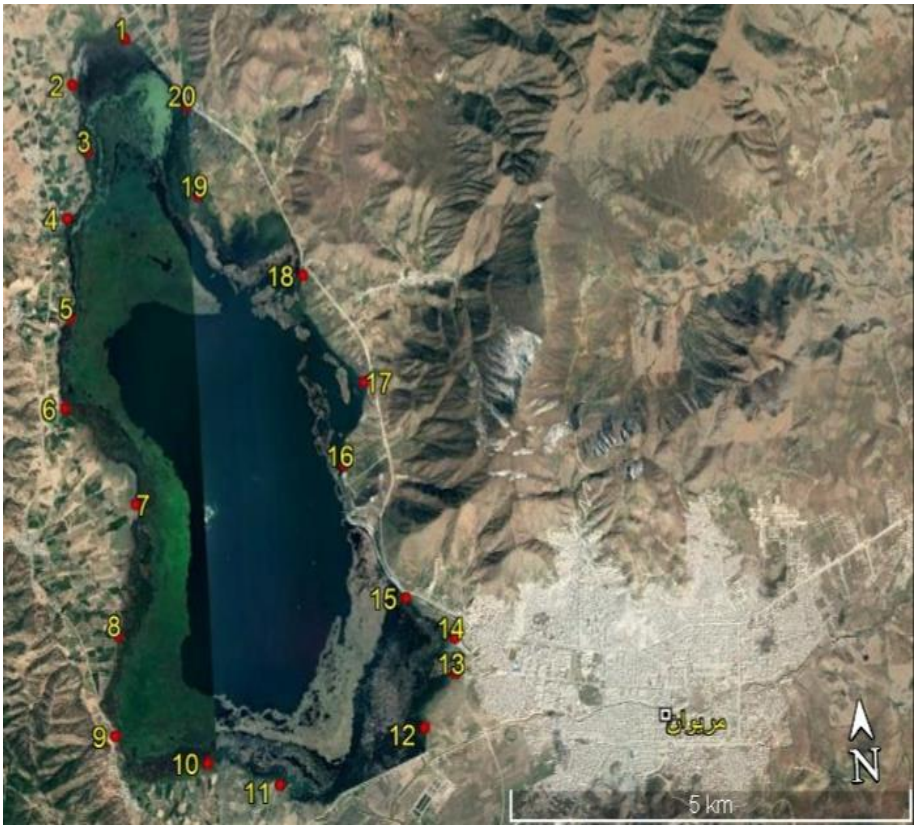
مواد و روش

نمونه‌برداری در قالب ۲۰ ایستگاه از رسوبات حاشیه دریاچه زریوار (زریبار) مریوان در استان کردستان انجام گردید. مختصات جغرافیایی در جدول ۱ و نقشه پراکندگی آن‌ها در شکل ۱ آمده است. این دریاچه به دلیل اهمیت اکوسیستمی و تفریحی آن در ایران، هدف مطالعه قرار گرفت. نمونه‌برداری در هر ایستگاه با سه تکرار از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری رسوبات حاشیه دریاچه در مرداد ۱۳۹۹ انجام شد. نمونه‌ها در یک شرایط سترون برداشته شده و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل گردیدند.

جدول ۱- مختصات نقاط نمونه‌برداری شده

ردیف	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	ردیف	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)
ایستگاه شماره ۱	46°06′55.4″	35°35′10.8″	ایستگاه شماره ۱۱	46°07′49.4″	35°30′41.0″
ایستگاه شماره ۲	46°06′27.6″	35°34′55.9″	ایستگاه شماره ۱۲	46°09′03.0″	35°30′57.2″
ایستگاه شماره ۳	46°06′33.3″	35°34′31.7″	ایستگاه شماره ۱۳	46°09′19.9″	35°31′15.4″
ایستگاه شماره ۴	46°06′20.9″	35°34′08.3″	ایستگاه شماره ۱۴	46°09′20.9″	35°31′28.1″
ایستگاه شماره ۵	46°06′19.4″	35°33′32.7″	ایستگاه شماره ۱۵	46°08′57.9″	35°31′43.7″
ایستگاه شماره ۶	46°06′14.0″	35°33′00.7″	ایستگاه شماره ۱۶	46°08′31.2″	35°32′32.4″
ایستگاه شماره ۷	46°06′46.3″	35°32′24.6″	ایستگاه شماره ۱۷	46°08′43.9″	35°33′01.6″
ایستگاه شماره ۸	46°06′33.6″	35°31′38.4″	ایستگاه شماره ۱۸	46°08′16.7″	35°33′41.4″
ایستگاه شماره ۹	46°06′29.1″	35°31′03.0″	ایستگاه شماره ۱۹	46°07′26.9″	35°34′12.6″
ایستگاه شماره ۱۰	46°07′14.2″	35°30′50.8″	ایستگاه شماره ۲۰	46°07′23.8″	35°34′45.1″

[1] Fecal index organisms
[2] *Escherichia coli*
[3] *Clostridium*
[4] *Enterococci*
[5] Lake Tai
[6] Changshou Lake
[7] Qinghai Lake
[8] Al-Asfar Lake
[9] San Pedro Lake
[10] Lake Pichola
[11] Swaroop Sagar Lake



شکل ۱- نمایی از دریاچه زریوار در کنار شهر مریوان- مناطق نمونه‌برداری شده با نقطه قرمز نشان داده شده‌اند

پس از تهیه سوسپانسیون و سری رقت از نمونه‌ها در آب مقطر استریل، ۰/۱ میلی لیتر از رقت مناسب در پلیت‌های دارای محیط EMB[1] مایه زنی شد. پلیت‌ها ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس انکوباسیون شده و به روش شمارش کلنی، شمارش همه کلی‌فرم‌ها انجام شد.

بنابر راهنمای موسسه استانداردهای آزمایشگاهی و کلینیکی (CLSI, 2014)، آزمون مقاومت به آنتی‌بیوتیک به روش کربی-بائر[2] انجام شد. به گونه ای که کلنی سبز با جلای فلزی به عنوان باکتری *ایشریشیا کولای* از پتری‌های مربوط به هر منطقه برداشته شده و در محیط نوترینت براث دوباره کشت شد. سپس سوسپانسیونی از آن بر اساس محلول مک‌فارلند[3](۰/۵ مک‌فارلند) ساخته شد و با گوش پاک‌کن[4] در سطح محیط کشت مولر-هینتون[5] آگار به روش کشت چمنی مایه‌زنی شد. پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سلسیوس، قطر ناحیه (هاله) بازدارندگی[6] (ZOI) آنتی‌بیوتیکی اندازه‌گیری گردید. در این بخش از دیسک آنتی‌بیوتیک‌های سفالکسین (Ceph 30)، جنتامایسین (GM 10)، داکسی‌سایکلین (D 30)، سفتریاکسون (Cef 30)، سیپروفلوکساسین (CIP 5)، تری‌متوپریم (SXT 5) و سفیکسیم (CFM 5) بهره‌گیری شد. بر اساس روش کربی-بائر باکتری آزمون شده در برابر آنتی‌بیوتیک موردنظر، بر اساس قطر هاله بازدارندگی تشکیل شده، به صورت مقاوم، نیمه‌مقاوم یا نیمه‌حساس و حساس گزارش می‌شود (CLSI, 2014) (جدول ۲).

[1] Eosine Methylene Blue
[2] Kirby-Bauer
[3] Macfarland
[4] Swab
[5] Mueller-Hinton
[6] Zone of Inhibition

جدول ۲- تقسیم بندی درجه مقاومت (یا حساسیت) آنتی‌بیوتیک‌های به کار رفته برای باکتری‌های خانواده *انتروباکتریاسه* بر اساس قطر هاله بازدارندگی (ZOI) به میلی‌متر (CLSI, 2014).

نوع آنتی‌بیوتیک	غلظت ماده موثر در دیسک (µg)	حساس	نیمه‌حساس	مقاوم
سفالکسین	۳۰	≤ ۱۸	۱۷-۱۵	≥ ۱۴
جنتامایسین	۱۰	≤ ۱۵	۱۴-۱۳	≥ ۱۲
داکسی‌سایکلین	۳۰	≤ ۱۴	۱۳-۱۱	≥ ۱۰
سفتریاکسون	۳۰	≤ ۲۳	۲۳-۲۰	≥ ۱۹
سیپروفلوکساسین	۵	≤ ۲۱	۲۰-۱۶	≥ ۱۵
تری‌متوپریم	۵	≤ ۱۶	۱۵-۱۱	≥ ۱۰
سفیکسیم	۵	≤ ۱۹	۱۸-۱۶	≥ ۱۵

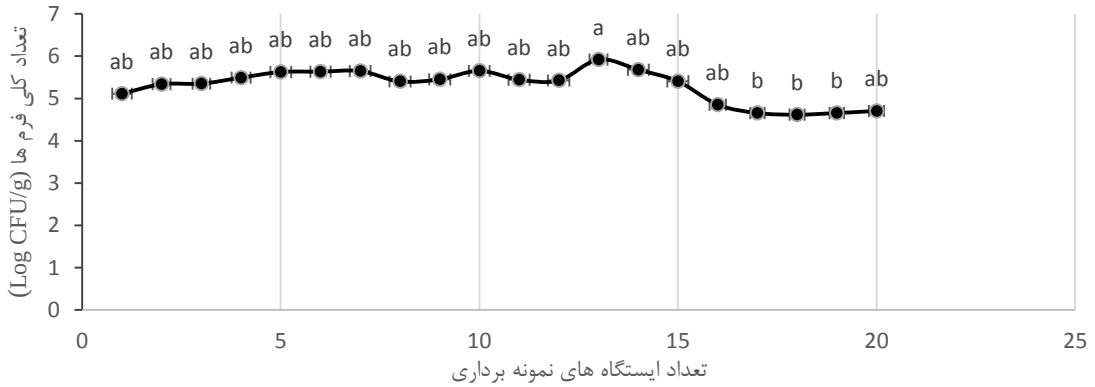
برای آنالیز داده‌های تعداد کلی‌فرم‌ها از طرح کاملاً تصادفی ساده و برای شاخص ZOI باکتری *E. coli*، از فاکتوریل استفاده شد. در آزمایش فاکتوریل مناطق نمونه‌برداری شده در ۲۰ سطح (۲۰ ایستگاه) به عنوان فاکتور اول و نوع آنتی‌بیوتیک‌ها در هفت سطح (سفالکسین، جنتامایسین، داکسی‌سایکلین، سفتریاکسون، سیپروفلوکساسین، تری‌متوپریم و سفیکسیم) فاکتور دوم در نظر گرفته شدند. مقایسه میانگین‌ها به روش توکی و آنالیز داده‌ها با نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج و بحث

آنالیز تجزیه واریانس نشان داد که پیامد منطقه نمونه‌برداری بر لگاریتم تعداد همه کلی‌فرم‌ها و همچنین پیامد منطقه نمونه-برداری، نوع آنتی‌بیوتیک و برهم‌کنش آن‌ها بر قطر ZOI باکتری *E. coli* معنی‌دار است ($p<۰/۰۱$) (جدول ۳). میانگین تعداد همه کلی‌فرم‌ها در مناطق نمونه‌برداری شده در شکل ۲ آمده است. بالاترین تعداد همه کلی‌فرم‌ها در رسوبات ایستگاه شماره ۱۳ به دست آمد که به جز با ایستگاه‌های شماره ۱۷، ۱۸ و ۱۹، با سایر مناطق ساحلی معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$).

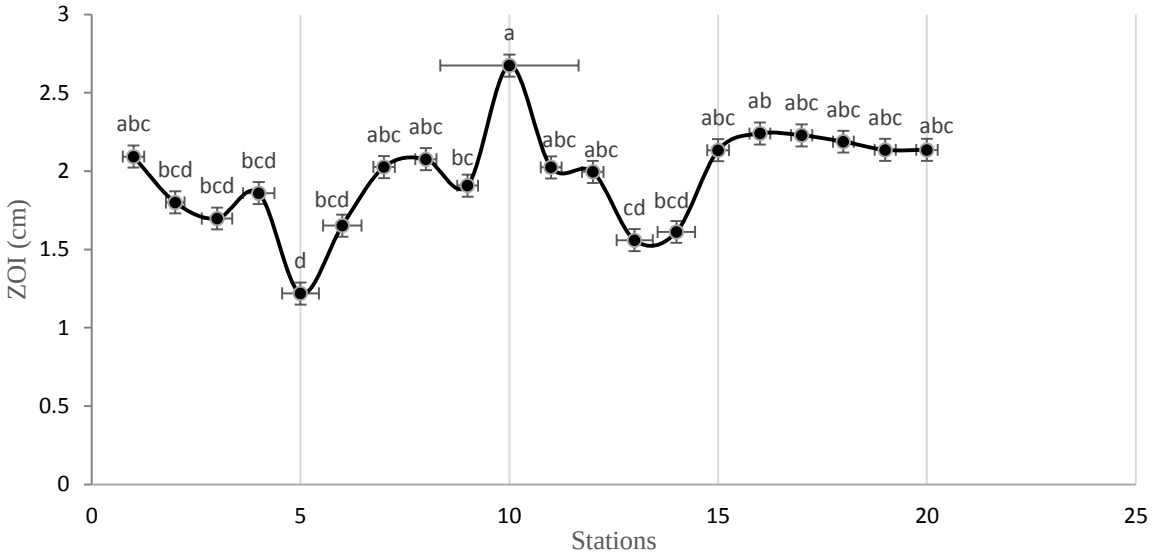
جدول ۳- تجزیه واریانس پیامد منطقه نمونه‌برداری بر لگاریتم تعداد همه کلی‌فرم‌ها و منطقه نمونه‌برداری، نوع آنتی-بیوتیک و برهم‌کنش آنها بر قطر ZOI باکتری *E. coli*

منبع تغییر	همه کلی‌فرم‌ها		ZOI باکتری *E. coli*			
	منطقه نمونه‌برداری	خطا	منطقه نمونه‌برداری (L)	نوع آنتی‌بیوتیک (A)	L× A	خطا
درجه آزادی	۱۹	۱۶۰	۱۹	۶	۱۱۴	۷۰۰
میانگین مربع‌ها	۱/۴۲**	۰/۵۲	۴/۱۵**	۷۷/۶۹**	۱/۱۷**	۰/۷۷



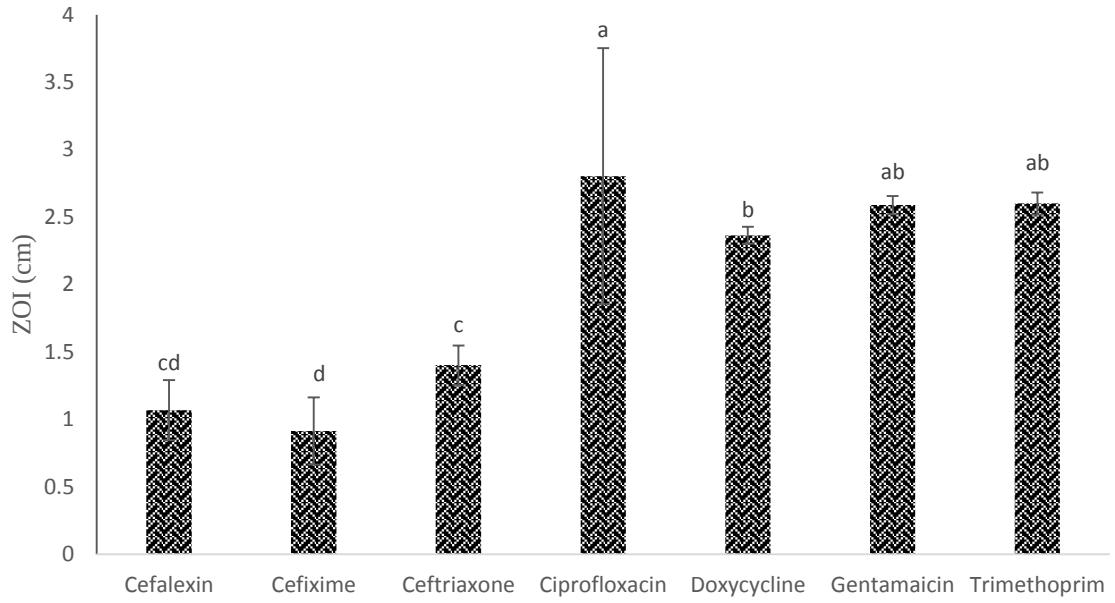
شکل ۲- مقایسه میانگین لگاریتم تعداد کلی‌فرم‌ها در رسوبات دریاچه. حروف هم‌سان در بالای نقاط هر ایستگاه نشان‌دهنده معنی-دار نبودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد است. نوارها خطای استاندارد هستند.

در شکل ۳ قطر هاله بازدارندگی (ZOI) باکتری *E. coli* به دست آمده از رسوبات ایستگاه‌های مختلف در برابر آنتی‌بیوتیک‌های بررسی شده آمده است. بالاترین اندازه قطر ZOI باکتری *E. coli* در ایستگاه شماره ۱۰ به دست آمد که تفاوت آن با ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۳ و ۱۴، از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). کمترین اندازه این پارامتر در رسوبات مربوط به ایستگاه شماره ۵ به دست آمد که تفاوت آن با رسوبات ایستگاه‌های ۲، ۳، ۴، ۶، ۱۳ و ۱۴ معنی‌دار نبود ($P>۰/۰۵$). بدون در نظر گرفتن نوع آنتی‌بیوتیک و با توجه به قطر ZOI آنتی‌بیوتیک‌های بررسی شده می‌توان دریافت که سه ایستگاه ۵، ۱۳ و ۱۴، آلودگی بیشتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارند که این آلودگی در ایستگاه شماره ۵ بیشتر از سایر ایستگاه‌ها است و احتمالا علت آن تخلیه فاضلاب روستای پیرصفا به داخل دریاچه است. در مجموع، بخش غربی دریاچه (ایستگاه‌های ۱ تا ۹) به دلیل پساب‌های کشاورزی و فاضلاب های روستایی روستاهای ینگیجه، کانی‌سپیکه، پیرصفا، دره‌تفی و کانی‌سانان آلوده‌تر هستند و این در حالی است که در بخش شرقی دریاچه (ایستگاه‌های ۱۱ تا ۲۰) بیشترین آلودگی در ایستگاه‌های ۱۳ و ۱۴ مشاهده شد که علت آن نزدیکی این دو ایستگاه به شهر مریوان و ورود فاضلاب‌های شهری می‌تواند باشد.

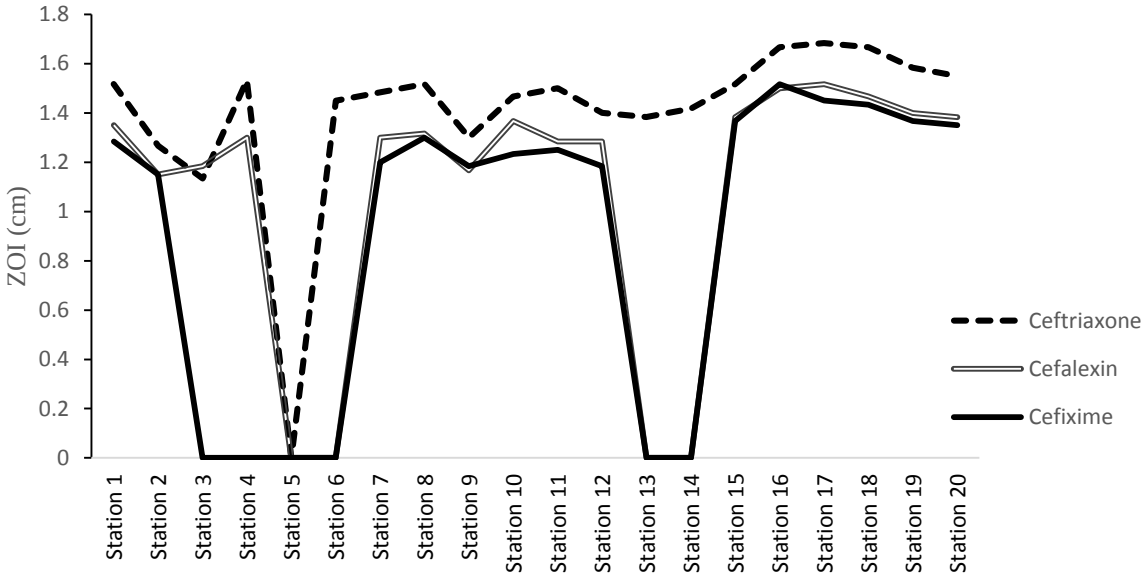


شکل ۳- مقایسه میانگین قطر ZOI باکتری *E. coli* به دست آمده از رسوبات ایستگاه‌های مختلف. حروف هم‌سان در بالای نقاط نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد است. نوارها خطای استاندارد هستند.

در شکل ۴ قطر هاله بازدارندگی (ZOI) باکتری *E. coli* در برابر آنتی‌بیوتیک‌های بررسی شده آمده است. بالاترین اندازه قطر ZOI باکتری *E. coli* در برابر آنتی‌بیوتیک سیپروفلوکساسین به دست آمد که تفاوت آن با دیگر آنتی‌بیوتیک‌ها به جز جنتامایسین و تری‌متوپریم از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). کمترین اندازه این پارامتر نیز در برابر آنتی‌بیوتیک سفیکسیم به دست آمد که تفاوت آن نیز با دیگر آنتی‌بیوتیک‌ها به جز سفالکسین معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$). با توجه به جدول ۲ می‌شود گفت که باکتری *E. coli* به دست آمده از این ۲۰ ایستگاه دریاچه، در برابر آنتی‌بیوتیک‌های سفالکسین، سفیکسیم و سفتریاکسون مقاوم هستند و در برابر آنتی‌بیوتیک‌های داکسی‌سایکلین، سیپروفلوکساسین، تری‌متوپریم و جنتامایسین حساس‌اند. بنابراین در مورد سه آنتی‌بیوتیک نخست بایستی موارد احتیاط رعایت شود. بنابراین، پیامد برهم‌کنش نوع منطقه نمونه‌برداری در آنتی-بیوتیک در شکل ۵ آمده است. در هر ۲۰ ایستگاه مقاومت باکتری *E. coli* مشاهده شد که در تمامی ایستگاه‌ها به سفیکسیم و سفتریاکسون و سفالکسین مقاوم بود. مقاومت باکتری *E. coli* به این سه آنتی‌بیوتیک در تمامی ایستگاه‌ها، نشان دهنده آلودگی میکروبی شدید دریاچه زریوار است.



شکل ۴- مقایسه میانگین قطر ZOI باکتری *E. coli* در برابر آنتی‌بیوتیک‌های بررسی شده. حروف هم‌سان در بالای ستون‌ها نشان‌دهنده معنی‌دار نبودن تفاوت میانگین‌ها در سطح احتمال خطای ۵ درصد است. نوارها خطای استاندارد هستند.



شکل ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش نقاط نمونه‌برداری در نوع آنتی‌بیوتیک بر قطر ZOI باکتری *E. coli* مقاوم و نیمه حساس

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در رسوبات هر ۲۰ ایستگاه بررسی شده دریاچه، تعداد همه کلی‌فرم‌ها بالا است. از نظر مقاومت باکتری *E. coli* به آنتی‌بیوتیک‌ها نیز دیده شد که در تمامی مناطق دریاچه این باکتری به سفالکسین، سفتریاکسون و سفیکسیم مقاوم شده است. بنابراین با توجه به این‌که از این دریاچه به عنوان قطب گردشگری غرب کشور و زیستگاه پرندگان و جانداران آبزی یاد می‌شود و با توجه به آلودگی میکروبی این دریاچه و مطالعات اندکی که در این زمینه انجام شده است، دریاچه زریوار مریوان مستلزم مدیریت صحیح و انجام پژوهش‌ها و مطالعات بیشتر است.

منابع

غلامی، م و شاپوری، م. ۱۳۹۴، بررسی آلودگی میکروبی دریاچه زریوار استان کردستان، اولین همایش ملی حفاظت و احیای تالاب‌ها ودریاچه‌ها با تاکید بر دریاچه زریوار مریوان.

Bhumbla, U., Majumdar, S., Jain, S., and Dalal, A., 2020, A study of isolation and identification of bacteria from lake water in and around Udaipur, Rajasthan: Journal of family medicine and primary care, v. 9, no. 2, p. 751.

Chen, H., Liu, C., Teng, Y ,.Zhang, Z., Chen, Y., and Yang, Y., 2021, Environmental risk characterization and ecological process determination of bacterial antibiotic resistome in lake sediments: Environment International, v. 147, p. 106345.

Clinical and Laboratory Standards Institute. *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing; Twenty-Fourth Informational Supplement*; Clinical and Laboratory Standards Institute: Wayne, NY, USA, (2014).

Elsohaby, I., Samy, A., Elmoslemany, A., Alorabi, M., Alkafafy, M., Aldoweriej, A., Al-Marri, T., Elbehiry, A., and Fayez, M., 2021, Migratory Wild Birds as a Potential Disseminator of Antimicrobial-Resistant Bacteria around Al-Asfar Lake, Eastern Saudi Arabia: Antibiotics, v. 10, no. 3, p. 260.

Feng, L., Cheng, Y., Zhang, Y., Li, Z., Yu, Y., Feng, L., Zhang, S., and Xu, L., 2020, Distribution and human health risk assessment of antibiotic residues in large-scale drinking water sources in Chongqing area of the Yangtze River: Environmental research, v. 185, p. 109386.

Li, S., Kuang, Y., Hu, J., You, M., Guo, X., Gao, Q., Yang, X., Chen, Q., Sun, W., and Ni, J., 2020, Enrichment of antibiotics in an inland lake water: Environmental Research, v. 190, p. 110029.

Li, S., Shi, W., Li, H., Xu, N., Zhang ,R., Chen, X., Sun, W., Wen, D., He, S., and Pan, J., 2018, Antibiotics in water and sediments of rivers and coastal area of Zhuhai City, Pearl River estuary, south China: Science of the Total Environment, v. 636, p. 1009-1019.

Liu, X., Lu, S., Meng, W ,.and Wang, W., 2018, Occurrence, source, and ecological risk of antibiotics in Dongting Lake, China: Environmental Science and Pollution Research, v. 25, no. 11, p. 11063-11073.

Lu, L., Liu, J., Li, Z., Zou, X., Guo, J., Liu, Z., Yang, J., and Zhou, Y., 2 ,۰۲۰Antibiotic resistance gene abundances associated with heavy metals and antibiotics in the sediments of Changshou Lake in the three Gorges Reservoir area, China: Ecological Indicators, v. 113, p. 106275.

Muhammad, J., Khan, S., Su, J. Q., Hesham, A. E-.L., Ditta, A., Nawab, J., and Ali, A., 2020, Antibiotics in poultry manure and their associated health issues: a systematic review: Journal of Soils and Sediments, v. 20, no. 1, p. 486-497.

Ramos-Ramírez, L. d. C., Romero-Bañuelos, C. A., Jiménez-Ruíz ,E. I., Palomino-Hermosillo, Y. A., Saldaña-Ahuactzi, Z., Martínez-Laguna, Y., Handal-Silva, A., and Castañeda-Roldán, E. I., 2021, Coliform bacteria in San Pedro Lake, western Mexico: Water Environment Research, v. 93, no. 3, p. 384-392.

Søndergaard, M ,.Johansson, L. S., E. Levi, E., Lauridsen, T. L., and Jeppesen, E., 2020, Lake types and their definition: a case study from Denmark: Inland Waters, v. 10, no. 2, p. 227-240.

Tran, N. H., Hoang, L., Nghiem, L. D., Nguyen, N. M. H., Ngo, H. H., Guo, W., Trinh, Q. T., Mai, N. H., Chen, H., and Nguyen, D. D., 2019, Occurrence and risk assessment of multiple classes of antibiotics in urban canals and lakes in Hanoi, Vietnam: Science of The Total Environment, v. 692, p. 157-174.

World Health Organization., 2018, Antimicrobial resistance: global report on surveillance, 9241564741

Yang, Y., Cao, X., Lin, H., and Wang, J., 2016, Antibiotics and antibiotic resistance genes in sediment of Honghu Lake and East Dongting Lake, China: Microbial ecology, v. 72, no. 4, p. 791-801.

Zhang, R., Yu, K., Li, A., Wang, Y., Pan, C., and Huang, X., 2020, Antibiotics in coral reef fishes from the South China Sea: Occurrence, distribution, bioaccumulation, and dietary exposure risk to human: Science of the Total Environment, v. 704, p. 135288.

Evaluation of Coliform Bacteria and Antibiotic Resistant *Escherichia coli* occurrence in the sediments of Zarivar Lake, Marivan

Milad Amini[1*], Hosain Pandi[2], Abbas Shabany Rofchaei[3], Adineh Abdi Tabalvandani[4], Saman Valizadeh Navi[4]
[1*] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Crop Sciences Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran, miladamini.sanru@gmail.com
[2] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Zanjan, Iran
[3] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Guilan, Iran
[4] M.Sc. graduated Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Guilan, Iran

Abstract

Lakes are very important as a tourist and habitat places for living things. Their bacterial contamination endangers the lives of living beings and humans. These bacteria have caused public health problems due to antibiotic resistance. Due to the importance of this issue, this study was conducted to investigate the presence of coliforms and resistance of E. coli bacteria to antibiotics in 20 sediment stations of Zarivar (Zaribar) Lake in Marivan, Kurdistan Province. Sampling was performed from a depth of 0-20 cm in the sediments of the lake in three replications in August 2020. After fabrication of the suspension from sediments and dilution, the number of all coliforms in the EMB medium was counted. Then E. coli was isolated and propagated as an indicator bacterium and its resistance to antibiotics cephalexin, gentamicin, doxycycline, ceftriaxone, ciprofloxacin, trimethoprim and cefixime was performed by disk diffusion method. The results showed that the number of coliforms is high in all 20 stations studied and in total, west of the lake and stations 13 and 14 are more polluted. Therefore, proper management of microbial contamination of Zarivar Lake, as a tourism hub in the west of the country and a habitat for animals, is of great importance.

Keywords: Zarivar Lake, Pollution, Antibiotic resistance

تاثیر قارچ اندوفیت *Trichoderma viride* بر رشد و محتوای پرولین و مالون دی‌آلدهید گیاه ذرت تحت تنش کادمیم

صدیقه بیگدلی[۱]، ستاره امانی‌فر[۲،*] ، محمد صادق عسکری[۲]، رقیه همتی[۳]

[۱]دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[۲]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[۳]دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*ایمیل نویسنده مسئول مکاتبات: amanifar@znu.ac.ir

چکیده

تلقیح گیاهان با قارچ‌های اندوفیت می‌تواند گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین را بهبود دهد. تحقیقات نشان دهنده آن است که گونه‌های قارچ تریکودرما می‌توانند مقاومت گیاهان به تنش فلزات سنگین را بهبود دهند. به منظور ارزیابی پتانسیل قارچ *Trichoderma viride* در کاهش آثار زیانبار کادمیم بر رشد گیاه و محتوای مالون دی‌آلدهید (MDA) و پرولین، گیاهان ذرت تلقیح یافته با *T. viride* و بدون تلقیح در قالب آزمایش فاکتوریل کاملا تصادفی با چهار تکرار تحت سطوح مختلف کادمیم (شاهد بدون کاربرد کادمیم (Cd0)، ۱۲ (Cd1) ۲۴ (Cd2) و ۴۸ (Cd3) میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) قرار گرفتند. تلقیح با قارچ *T.viride* رشد بخش هوایی را درتمام سطوح کادمیم بهبود داد ولی وزن خشک ریشه فقط در سطوح Cd0 و Cd1 بطور معنی‌داری در گیاهان تلقیح یافته بیشتر بود. همچنین تلقیح قارچی محتوای MDA و پرولین را فقط در سطوح Cd1 و Cd2 کاهش داد. بطور کلی سمیت کادمیم در نتیجه افزایش رشد و کاهش محتوای MDA در گیاهان تلقیح یافته در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح تعدیل گردید. نتایج نشان دهنده پتانسیل تلقیح قارچ اندوفیت *T. viride* در محیط‌های نامطلوب از جمله مناطق آلوده به فلزات سنگین می‌باشد.

واژگان کلیدی: پراکسیداسیون لیپید، تنش اکسیداتیو، سمیت کادمیم، فلزات سنگین

مقدمه

کادمیم یک فلز سنگین بسیار خطرناک است و در رده هفتم پرخطرترین مواد خطرناک سرویس ATSDR[۱] قرار گرفته است. در میان فلزات سنگین کادمیم دارای اهمیت ویژه‌ای است، زیرا ریشه گیاهان آن را جذب کرده و سمیت کادمیم برای گیاه تا ۲۰ برابر سایر فلزات سنگین می‌باشد (Garg and Singh, 2018). استفاده از گیاهانی که ساز و کارهایی برای تحمل و یا تجمع مقادیر زیاد فلزات را در ریزوسفر یا اندام‌های هوایی خود دارند، یک روش مناسب برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلزات سنگین یا سایر آلاینده-های آلی می‌باشد. این تکنیک گیاه‌پالایی نامیده می‌شود و هدف آن استخراج، انتقال یا تثبیت آلاینده‌ها از خاک، رسوبات و آب است (Audet, 2014). گونه‌های تریکودرما *Trichoderma (spp)* که به طور معمول در همه خاک‌ها حضور دارند و جزء متداولترین قارچ‌های قابل کشت هستند از اهمیت خاصی در گیاه پالایی برخوردارند (Sun et al., 2010). این قارچ‌ها همچنین باعث افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زنده و غیرزنده می‌گردند (Djonovic et al., 2007). کلنیزاسیون گیاه به وسیله گونه‌های تریکودرما غالباً رشد و توسعه ریشه، مقاومت به تنش‌های غیرزنده و جذب و استفاده از مواد غذائی را افزایش می‌دهد (Rawat et al., 2011).

[۱]-American Agency for Toxic Substances and Disease Registry

حاصلخیزی خاک‌های تیمارشده با بعضی استرین‌های تریکودرما می‌تواند بطور معنی‌داری بهبود پیدا کند زیرا بعضی از استرین‌های تریکودرما اثرات سودمندی روی رشد گیاه و افزایش مقاومت به تنش‌های زنده و غیرزنده دارند (Hermosa et al., 2012). برهمکنش تریکودرما با ریشه گیاهان منجر به نتایج متعددی همچون افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های زنده (مقاومت القائی سیستمیک) و عوامل غیر زنده (رطوبت، نمک زیاد و درجه حرارت‌های بالا)، افزایش راندمان استفاده از نیتروژن و افزایش درصد و نسبت جوانه‌زنی بذور تلقیح شده می‌شوند (Shoresh et al., 2010).

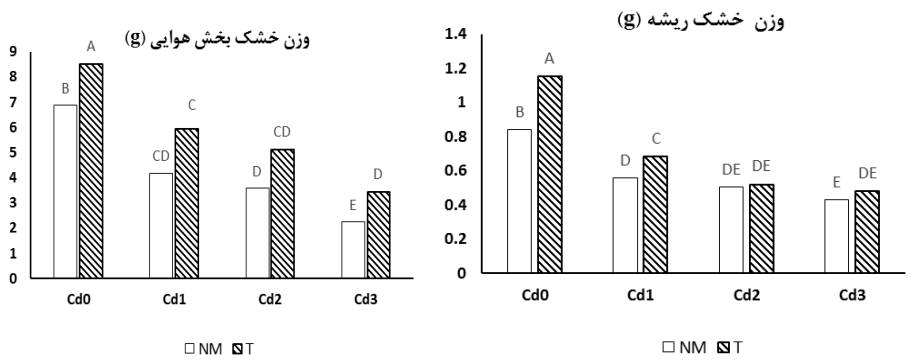
مطالعات حاکی از آن است که تریکودرما از مقاوم‌ترین قارچ‌ها در برابر عناصر سنگین به ویژه کادمیم است. پژوهش‌هایی در این زمینه نشان داده است که تلقیح گیاه با برخی ازگونه‌های تریکودرما می‌تواند شرایط مطلوبی را برای پالایش خاک‌هایی با آلودگی-های متعدد فراهم آورد (Cao et al., 2008). محققان نشان داده‌اند که گونه‌های قارچی تریکودرما باعث افزایش جذب کادمیم در گیاه خردل و کلزا شده و مقاومت و تحمل گیاه را در خاک آلوده به کادمیم افزایش دادند (Wang et al., 2009). همچنین توان قارچ *Trichoderma asperellum* در گیاه پالایی سرب و کادمیم در ارتباط با گیاه آرابیدوپسیس از طریق تعدیل سمیت فلزات و افزایش جذب آنها نشان داده شده است (Zhang et al., 2018). پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر قارچ ریشه‌زی *Trichoderma viride* بر ویژگی‌های رشدی ذرت و تولید پرولین و مالون دی آلدهید تحت سطوح مختلف کادمیم انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی پتانسیل قارچ *Trichoderma viride* در کاهش آثار زیانبار کادمیم بر رشد گیاه و محتوای مالون دی‌آلدهید (MDA) و پرولین، گیاهان ذرت تلقیح یافته با *T. viride* و بدون تلقیح در قالب آزمایش فاکتوریل کاملا تصادفی با چهار تکرار تحت سطوح مختلف کادمیم (شاهد بدون کاربرد کادمیم (Cd0)، ۱۲ (Cd1) ۲۴ (Cd2) و ۴۸ (Cd3) میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک) قرار گرفتند. بذور سالم و یکنواخت ذرت (رقم Siemens) پس از ضدعفونی سطحی در هر گلدان به طور برابر کاشته شدند. پس از استقرار گیاه عمل تنک کردن انجام شد و در نهایت در هر گلدان ۳ بوته ذرت باقی ماند. آبیاری گلدان‌ها تا پایان دوره رشد به صورت طبیعی و در حدود ظرفیت زراعی برای همهٔ گلدان‌ها انجام گرفت. برای تهیه مایه تلقیح قارچ تریکودرما ابتدا قارچ در محیط کشت مخصوص کشت شد و سپس سوسپانسیونی از اسپور قارچ تهیه و بذور با آن تلقیح شدند. پس از برداشت برای تعیین وزن بخش هوایی و ریشه‌ها، نمونه‌های گیاهی در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و پس از آن وزن خشک آن‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ تعیین گردید. میزان پراکسیداسیون لیپید در بافت‌ها از طریق تعیین محتوای مالون دی آلدئید (MDA) در واکنش با تیوباربیتوریک اسید سنجیده شد (Heath and Packer, 1968). برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی معادل ۱۵۵ mM^{-1} cm^{-1} استفاده شد و در نهایت مقدار مالون دی‌آلدئید که فرآورده اکسایش چربی‌ها است، بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر محاسبه گردید. سنجش مقدار پرولین با استفاده از معرف نین هیدرین و بر اساس روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) انجام گرفت.

نتایج و بحث

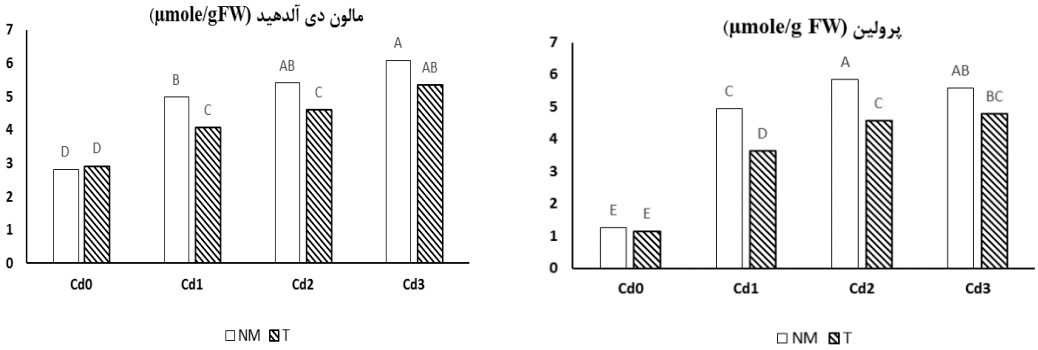
تولید زیتوده بطور نامطلوبی در تمام سطوح کاربرد کادمیم تحت تاثیر قرار گرفت.کمترین وزن خشک بخش هوایی در سطح Cd3 مشاهده شد. تلقیح با قارچ *T.viride* رشد بخش هوایی را درتمام سطوح کادمیم بهبود داد ولی تفاوت معنی‌داری بین سطوح Cd1 و Cd2 وجود نداشت. همچنین کمترین وزن خشک ریشه در سطح Cd3 مشاهده شد ولی تفاوت معنی‌داری با سطح Cd2 نشان نداد. وزن خشک ریشه فقط در سطوح Cd0 و Cd1 بطور معنی‌داری در گیاهان تلقیح یافته بیشتر بود و در سطوح بالاتر تفاوت معنی‌داری بین گیاهان تلقیح شده و بدون تلقیح وجود نداشت (شکل ۱).



شکل ۱- اثرات متقابل سطوح کادمیم و قارچ تریکودرما بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه ذرت. Cd0، Cd1، Cd2 و Cd3 به ترتیب عبارتند از شاهد بدون کاربرد کادمیم، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک. NM و T به ترتیب عبارتند از بدون تلقیح قارچی و تلقیح شده با قارچ *T. viride*.

تولید IAA توسط تریکودرما احتمالا می‌تواند سبب افزایش حجم ریشه و متعاقبا افزایش جذب عناصر غذایی گردد که خود می‌تواند تبادل مواد غذایی مابین قارچ و گیاه را ارتقا بخشد. یکی از مهمترین متابولیت های تولید شده توسط گونه‌های تریکودرما، 6 pentyl-α-pyrone است که به عنوان محرک رشد در غلظت های پایین شناخته شده است (Chang et al., 1986).

سمیت کادمیم محتوای MDA را در تمام تیمارهای کادمیم افزایش داد و بیشترین مقدار آن در گیاهان بدون تلقیح در سطح Cd3 مشاهده شد. همچنین محتوای پرولین در برگ‌های گیاهان تلقیح یافته و بدون تلقیح با افزایش سمیت کادمیم افزایش یافت. تلقیح قارچی محتوای MDA و پرولین را فقط در سطوح Cd1 و Cd2 بطور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۲).



شکل ۲- اثرات متقابل سطوح کادمیم و قارچ ترکودرما بر محتوای مالون دی‌آلدهید و پرولین ذرت. Cd0، Cd1، Cd2 و Cd3 به ترتیب عبارتند از شاهد بدون کاربرد کادمیم، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ میلی‌گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک. NM و T به ترتیب عبارتند از بدون تلقیح قارچی و تلقیح شده با قارچ *T. viride*.

میزان افزایش تولید اسمولیت‌ها از جمله پرولین به طور مستقیم متناسب با سطح سمیت فلزات سنگین می‌باشد، که ممکن است به دلیل تغییر در نفوذپذیری غشاء و فرآیندهای غشایی منجر به شرایط مشابه با تنش رطوبتی گردد (Kholodova et al., 2011). نتایج بدست آمده حاکی از کاهش سمیت کادمیم در گیاهان تلقیح شده است که با توجه به کارکرد پرولین به عنوان بخشی از سیستم آنتی اکسیداتیو گیاه می‌تواند نماینده کاهش تولید ROS (گونه‌های فعال اکسیژن) در این گیاهان نیز باشد. حاصل

پراکسیداسیون لیپیدهای غشا، ترکیباتی مثل مالون دی‌آلدهید، پروپانول، هگزانال، هپتانال و پروپانال دی متیل استال می‌باشد. افزایش در مقدار پراکسیداسیون لیپیدها به عنوان شاخص افزایش تنش اکسیداتیو محسوب می‌شود. مالون دی آلدهید حاصل تجزیه اسیدهای چرب غیر اشباع است که به عنوان شاخص زیستی پراکسیداسیون لیپیدها زمانی که در معرض ROS قرار گرفته-اند، شناخته می‌شود (Eraslan et al., 2008). در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که تلقیح با قارچ ریشه‌زی تریکودرما برای کاهش ROSهای تولید شده سطح فنل‌ها و آنزیم‌های دفاعی گیاهی را افزایش داده و سطح آسیب به غشاها را کاهش داده است.

نتیجه‌گیری

افزایش غلظت کادمیم خاک تأثیر منفی بر رشد و نمو ذرت به‌ویژه گیاهان بدون تلقیح داشت. در پژوهش حاضر به طور کلی نتایج نشان دادند محتوای پرولین و مالون دی‌آلدهید در اثر تلقیح با قارچ نسبت به شاهد بدون تلقیح کاهش یافت و تلقیح با قارچ سبب افزایش زیتوده گردید. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سمیت کادمیم در نتیجه افزایش رشد و کاهش محتوای MDA در گیاهان تلقیح یافته در مقایسه با گیاهان بدون تلقیح تعدیل گردیده است. نتایج نشان دهنده پتانسیل تلقیح قارچ اندوفیت *T. viride* در محیط‌های نامطلوب از جمله مناطق آلوده به فلزات سنگین می‌باشد.

فهرست منابع

Audet, P. (2014) Arbuscular mycorrhizal fungi and metal phytoremediation: ecophysiological complementarity in relation to environmental stress. In: Ahmad P, Rasool S (eds) Emerging technologies and management of crop stress tolerance. Academic Press, San Diego, pp 133–160.

Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.

Cao, L., Jiang, M., Zeng, Z., Du, A., Tan, H., Liu, Y. (2008). Trichoderma atroviride F6 improves phytoextraction efficiency of mustard (Brassica juncea (L.) Coss. var. foliosa Bailey) in Cd, Ni contaminated soils. *Chemosphere*, 71(9), 1769-1773.

Chang, Y. C., Chang, Y. C., Baker, R., Kleifeld, O., Chet, I. (1986). Increased growth of plants in the presence of the biological control agent Trichoderma harzianum. *Plant Disease*, 70(2), 145-148.

Djonovic, S., Vargas, W.A., Kolomiets, M.V., Homdeski, M., Wiest, A., Kenerley, C.M. (2007). A proteinaceous elicitor Sm1 from the beneficial fungus Trichoderma virens is required for induced systemic resistance in maize. *Plant Physiology*, 145: 875-889.

Garg, N., Singh, S. (2018). Arbuscular mycorrhiza Rhizophagus irregularis and silicon modulate growth, proline biosynthesis and yield in Cajanus cajan L.Millsp.(pigeonpea) genotypes under cadmium and zinc stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 37(1), 46-63.

Heath, R. L., Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198.

Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I., Monte, E. (2012). Plant-beneficial effects of Trichoderma and of its genes. *Microbiology*, 158: 17–25.

Kholodova, V., Volkov, K., Abdeyeva, A., Kuznetsov, V. (2011). Water status in Mesembryanthemum crystallinum under heavy metal stress. *Environmental and Experimental Botany*, 71(3), 382-389.

Rawat, L., Singh, Y., Shukla, N., Kumar, J. (2011). Alleviation of the adverse effects of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) by seed biopriming with salinity tolerant isolates of *Trichoderma harzianum*. *Plant and Soil*, 347: 387-400.

Shoresh, M., Harman, G.E., Mastouri, F. (2010). Induced systemic resistance and plant responses to fungal biocontrol agents. *Annual Review of Phytopathology*, 48: 21–43.

Sun, H., Ge, X., Hao, Z., Peng, M. (2010). Cellulase production by Trichoderma sp. on apple pomace under solid state fermentation. *African Journal of Biotechnology*, 9(2).

Wang, B., Liu, L., Gao, Y., Chen, J. (2009). Improved phytoremediation of oilseed rape (Brassica napus) by *Trichoderma* mutant constructed by restriction enzyme-mediated integration (REMI) in cadmium polluted soil. *Chemosphere*, 74(10), 1400-1403.

Zhang, X., Li, X., Yang, H., Cui, Z. (2018). Biochemical mechanism of phytoremediation process of lead and cadmium pollution with *Mucor circinelloides* and *Trichoderma asperellum*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 157, 21-28.

Effect of endophytic fungus *Trichoderma viride* on growth, proline and malondialdehyde content of maize plant under cadmium stress

Sedigheh Bigdeli [1], Setareh Amanifar[2,*], Mohammad Sadegh Askari [2], Roghaie Hemmati [3]

[1] M. Sc. Graduate, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

[2] Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

[3] Associate Prof., Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

*Corresponding Author's E-mail: amanifar@znu.ac.ir

Abstract

Phytoremediation of polluted soils can be improved by inoculation with endophytic fungi. Species in the fungal genus *Trichoderma* have been reported to modulate tolerance to heavy metal stress in plants. To evaluate the potential of the fungus *Trichoderma viride* to reduce the adverse effects of Cd on plant growth, and the content of proline and malondialdehyde, non-inoculated and *T. viride*-inoculated maize plants were exposed to different concentrations of Cd (control (Cd0), 12 (Cd1), 24 (Cd2), 48 (Cd3) mg kg^{-1} in soil) in a factorial completely randomized design with four replications. Inoculation with *T. viride* improved shoot growth at all Cd levels; however, root dry biomass was significantly higher in inoculated plants at Cd0 and Cd1 treatments. Fungal inoculation decreased MDA and proline content only at Cd1 and Cd2 levels. Cd toxicity was ameliorated due the increased growth and the reduction in MDA content compared with non-inoculated plants receiving the same Cd concentration. The results indicate the potential of *T. viride* inoculation in unfavourable environments, including metal-polluted areas.

Keywords: Heavy metals, cadmium toxicity, lipid peroxidation, oxidative stress

اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه و گوگرد بر رشد گندم در خاک‌های شور و سدیمی

مریم جوادزاده[۱]، کاظم خاوازی[۲]، نوید قنواتی[۳]، علیرضا جعفرنژادی[۴]، وحیداله جهاندیده مهجن آبادی[۵]

۱- گروه خاک‌شناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۱- مؤسسه تحقیقات آب و خاک، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ khavazik@yahoo.com

۳- گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۴- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

۵- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی میزان اثر باکتری‌های محرک رشد و کود گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در خاک‌های شور سدیمی انجام پذیرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه انجام شد. فاکتور اول سه سطح خاک شور و سدیمی شامل: نسبت سدیم جذب سطحی شده ۱۳ با هدایت الکتریکی هشت، نسبت سدیم جذب سطحی شده ۱۵ با هدایت الکتریکی ۱۰ و نسبت سدیم جذب سطحی شده ۱۷ با هدایت الکتریکی ۱۴، فاکتور دوم چهار سطح باکتری‌های محرک رشد شامل: شاهد، *P.alcaliphila*، *R.pusense* و *B. subtilis* و فاکتور سوم دو سطح کود گوگرد شامل: عدم کاربرد و ۱۰ تن در هکتار بود. نتایج نشان داد که برهم کنش کود گوگرد و خاک‌های شور و سدیمی بر زیست توده، تعداد سنبله در گلدان، عملکرد در گلدان، شاخص برداشت و سطح برگ معنی‌دار بود. بیشترین عملکرد دانه (۱۱/۵۷ درصد) و شاخص برداشت از کاربرد باکتری *R.pusense* در سطح شور و سدیمی (نسبت سدیم جذب سطحی شده ۱۳ با هدایت الکتریکی ۸) حاصل شد. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان دهنده اثر مثبت کاربرد کود گوگرد و باکتری‌های محرک رشد در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم در خاک‌های شور و سدیمی بود.

واژگان کلیدی: تلقیح باکتری‌ها، شور و سدیمی، رشد گیاه، گندم، گوگرد

مقدمه

از کل ۱۶۵ میلیون هکتار اراضی سطح کشور، مساحتی حدود ۱۳/۵ میلیون هکتار آن که معادل ۱۴/۲ درصد می‌باشد به درجات مختلف شوری سدیمی مبتلا هستند (پذیرا، ۱۳۹۱). در خوزستان، خاک‌های شور و سدیمی ۱۷ درصد از کل خاک‌های شور استان را در بر می‌گیرند و در فلات مرکزی، سهم خاک‌های شور و سدیمی ۱۶/۵ درصد است (Qureshi *et al.*, 2007). Saddiq *et al.* (2020) عنوان داشتند که افزایش شوری در خاک با کاهش عملکرد گندم تهدیدی واقعی برای امنیت غذایی بشر است. یکی از روش‌ها جهت کاهش شوری خاک، استفاده از ریزجانداران خاکزی مانند باکتری‌های محرک رشد گیاه است. Saghafi *et al.* (2018) اظهار داشتند که باکتری ریزوبیوم، از طریق مصرف پیش ماده سنتز اتیلن در گیاه کلزا در شرایط تنش شوری منجر به افزایش ۱۴/۵ درصدی شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه شد. بوستانی و همکاران (۱۳۹۵) گوگرد هم به عنوان یک عنصر، تأمین کننده نیاز غذایی گیاه است و هم به عنوان یک اصلاح کننده برای خاک‌های شور و سدیمی، کاهش بی‌کربنات آب آبیاری و تنظیم کننده اسیدیته خاک به ویژه در خاک‌های آهکی به کار می‌رود (Rezapour, 2014). اکسیداسیون گوگرد در خاک منجر به تولید یون هیدروژن و افزایش حلالیت کانی‌های کلسیم‌دار می‌شود. این موضوع سبب جایگزینی کلسیم با سدیم و کاهش اثر منفی آن بر رشد گیاه می‌گردد (Aria *et al.*, 2010). Ahmed *et al.* (2017) نشان دادند کاربرد گوگرد در خاک‌های شور و سدیمی از طریق کاهش درصد سدیم تبادلی خاک

منجر به افزایش عملکرد گیاهان زراعی برنج و ذرت شد. بنابراین آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر باکتری‌های محرک رشد و گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم در خاک‌های شور و سدیمی در شرایط گلخانه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش بر پایه طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل با سه تکرار در گلخانه طراحی شد. فاکتور اول سه سطح خاک شور و سدیمی شامل: نسبت سدیم جذب سطحی شده ۱۳ با هدایت الکتریکی ۸ (S1)، نسبت سدیم جذب سطحی شده ۱۵ با هدایت الکتریکی ۱۰ (S2) و نسبت سدیم جذب سطحی شده ۱۷ با هدایت الکتریکی ۱۴ (S3)، فاکتور دوم چهار سطح باکتری‌های محرک رشد شامل: شاهد، *P.alcaliphila*، *R.pusense* و *B. subtilis* و فاکتور سوم دو سطح کود گوگرد شامل: عدم کاربرد و ۱۰ تن در هکتار بودند. ویژگی‌های هر سه نوع خاک در جدول یک ارایه شده است.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی و فیزیکی سه نمونه خاک شور-سدیمی مورد استفاده در کشت گلخانه‌ای

خاک	اسیدیته	کربن‌آلی (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگر)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگر)	نسبت سدیم جذب سطحی شده	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
S۱	۷/۱	۰/۲۲	۲	۱۱۷	۱۳	۲۸	۳۸	۳۴
S۲	۷/۴	۰/۲۴	۳/۳	۱۰۶	۱۵	۳۴	۳۶	۳۰
S۳	۷/۵	۰/۲۴	۳/۴	۱۳۸	۱۷	۳۲	۳۰	۳۸

خاک‌های شور- سدیمی: S1: (EC=8 , SAR=13)، S2: (EC=10 , SAR=15) و S3: (EC[1]=14 , SAR[2]=17).

در ابتدا گوگرد و باکتری اکسیدکننده گوگرد *Thiobacillus thiooxidans* به خاک اضافه شد. کود گوگرد براساس گزارش نهایی جعفرنژادی و همکاران (۱۳۹۵) مصرف گردید. در مرحله بعد بذر گندم (رقم چمران) جوانه‌دار شده و با ۵۰۰ میکرولیتر از سوسپانسیون هر جدایه تلقیح شد. به منظور حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، درصد رطوبت وزنی گلدان‌ها اندازه گیری و هر پنج الی شش روز یکبار آبیاری شد. پس از پنج ماه در مرحله رسیدگی، گیاهان به دقت از گلدان‌ها خارج و صفات تعداد سنبله در هر گلدان، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه در گلدان، سطح برگ، زیست توده و شاخص برداشت در هر گلدان اندازه گیری شد. تجزیه واریانس داده ها توسط نرم افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

زیست توده: براساس نتایج جدول تجزیه واریانس، برهم‌کنش باکتری‌های محرک رشد و شور و سدیمی و برهمکنش کود گوگرد و خاک شور سدیمی در سطح احتمال پنج درصد بر زیست توده معنی دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که خاک S1 و کاربرد کود گوگرد اثر مثبت و ۷۲/۵ درصدی بر افزایش زیست توده نسبت به عدم کاربرد گوگرد و خاک S3 داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد با تأمین گوگرد مورد نیاز در خاک‌های شور و سدیمی، فتوسنتز گیاه افزایش و در نهایت باعث افزایش زیست توده گیاه شده است. گزارش شده است که اسید سولفوریک حاصل از اکسیداسیون گوگرد، با فسفات خاک واکنش نشان می‌دهد و ترکیبات فسفری محلول و قابل جذب نظیر منوکلسیم‌فسفات و دی‌کلسیم‌فسفات در خاک افزایش می‌یابد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر شور-سدیمی، باکتری و گوگرد بر صفات مورد مطالعه در گندم در شرایط گلخانه‌ای

[1] - Electrical conductivity
[2] - Sodium adsorption ratio

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		زیست توده	عملکرد دانه	تعداد سنبله در گلدان	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه	شاخص برداشت
گوگرد	۱	۲۳۸/۷**	۷/۲۸۳*	۳/۵۶**	۰/۰۰۱ ns	۲۴۶/۶۸*	۱۷۸/۵۴**
شور-سدیمی	۲	۹۶۷/۱ **	۸۷۴/۳ **	۱/۱۱*	۱۲۰/۴۲ **	۹۵۴/۴ **	۱۳۷/۳۴ **
باکتری	۳	۵۲۱/۴ **	۴/۸۶ **	۰/۰۰۴ ns	۱۰۲/۳۷ **	۱۰۶۱/۱ **	۵۸/۰۷ *
شور-سدیمی×گوگرد	۲	۴۶/۲ *	۰/۷۱۳ *	۰/۹۵*	۰/۲۸ns	۵۰۰/۸ *	۷۲/۳۱ **
باکتری× شور-سدیمی	۶	۷۴/۳ *	۸/۶۱ **	۰/۰۰۷ ns	۹۵/۳۲ **	۶۷۷/۲۱ **	۴۶/۶۹ *
باکتری× گوگرد	۳	۵/۷۱ ns	۰/۰۰۳ ns	۰/۰۰۳۱ ns	۰/۵۴ ns	۱/۹۳ ns	۱/۱۷ ns
باکتری×گوگرد× شور-سدیمی	۶	۳/۹ns	۰/۰۰۵۳ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۱۱ns	۲/۶۱ns	۱/۰۳ns
خطا	۴۶	۹/۸۳	۱/۱۰۱	۰/۱۸	۸/۵	۵/۰۶	۱۰/۵
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۸۳	۹/۴۹	۱۰/۱۴	۹/۵۹	۷/۷۰	۹/۰۸

ns، ** و *: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در گندم تحت اثر همزمان گوگرد و خاک شور-سدیمی در شرایط گلخانه‌ای

خاک شور و سدیمی	گوگرد	زیست توده (گرم در گلدان)	عملکرد دانه در گلدان (گرم در گلدان)	تعداد سنبله در گلدان	وزن هزار دانه (گرم)	شاخص برداشت (درصد)
S1	عدم کاربرد	۴۳/۶۵a	۱۶/۵۳b	۵ab	۳۱/۸b	۳۷/۸۶b
	۱۰ تن در هکتار	۴۴/۳۱a	۱۷/۱a	۶/۱a	۳۴/۵۴a	۳۸/۵۹a
S2	عدم کاربرد	۳۰/۲۵b	۱۰/۵۳cd	۴/۱c	۲۷/۵bcd	۳۴/۸۰c
	۱۰ تن در هکتار	۳۱/۱۴b	۱۰/۹۴c	۴/۲bc	۲۹/۷۷bc	۳۵/۱۳c
S3	عدم کاربرد	۱۲/۲۳c	۴/۱۶e	۲/۹de	۲۵/۱de	۳۴c
	۱۰ تن در هکتار	۱۲/۱۱c	۴/۲۱e	۳/۲d	۲۶/۴cde	۳۴/۷۵c

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند؛ براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با همدیگر ندارند.

تعداد سنبله در گلدان: نتایج نشان داد که تعداد سنبله در گلدان تحت اثر تیمارهای گوگرد در سطح احتمال یک درصد، خاک شور و سدیمی و برهم‌کنش کود گوگرد و خاک شور و سدیمی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که خاک S1 و کاربرد کود گوگرد اثر مثبت و ۵۱ درصدی بر افزایش تعداد سنبله نسبت به عدم کاربرد گوگرد و خاک S3 داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد اکسیداسیون گوگرد در خاک منجر به تولید یون هیدروژن و افزایش حلالیت کانی‌های کلسیم‌دار می‌شود. در این راستا ذبیحی و نوری حسینی (۱۳۹۶) نشان دادند کاربرد گوگرد در خاک‌های شور و سدیمی از طریق کاهش درصد سدیم تبادلی خاک منجر به افزایش تعداد سنبله و عملکرد دانه می‌شود.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در گندم تحت اثر همزمان باکتری محرکه رشد و خاک شور-سدیمی

خاک شور و سدیمی	باکتری	زیست توده (گرم در گلدان)	عملکرد دانه در گلدان (گرم در گلدان)	تعداد دانه در سنبله	وزن هزار دانه (گرم)	شاخص برداشت (درصد)
S1	شاهد	۴۱/۶۲ c	۱۵/۰۵ c	c۳۱/۵b	۳۰/۳ bc	۳۴/۵۰ de
	P. alcaliphila	۴۳/۸۹ b	۱۶/۲۸ ab	۳۵/۵۱ ab	۳۲/۴۱ ab	۳۷/۰۹ ab
	R. pusense	۴۵/۱۲a	۱۷/۰۲ a	۳۶/۴۱ a	۳۳/۵ a	۳۷/۷۲ a
	B. subtilis	۴۴/۰۲ b	b۱۵/۹۵a	۳۴/۱ b	۳۲/۱ ab	۳۶/۲۳ bcd
S2	شاهد	۳۱/۷۲ e	۱۰/۸۵ d	۲۸/۲ cd	۳۰/۰۱ bc	۳۴/۲۰ de
	P. alcaliphila	۳۴/۳۸ d	۱۲/۶۷ c	۳۰/۴۱ c	۳۰/۲۵ c	۳۶/۸۵ abc
	R. pusense	۳۴/۵۴ d	۱۲/۷۸ c	۳۳/۸۵ b	۳۱ b	۳۷ abc
	B. subtilis	۳۹/۵۱ cd	۱۳/۹۳ c	۳۲/۲۴ b	۲۸/۱۹ c	۳۵/۲۵ cde
S3	شاهد	۹/۶۹ g	۳/۲۳ g	۲۵ de	۲۳/۵۳ e	۳۳/۳۰ e
	P. alcaliphila	۱۳/۵۸ fg	۴/۸ f	۲۶/۲ d	۲۶/۶۵ cd	۳۴/۶۵ de
	R. pusense	۱۷/۲۱ f	۶/۰۷e	۲۶/۳۱ d	۳۷/۲۱ cd	۳۵/۲۵ cde
	B. subtilis	۱۰/۳۴ g	۳/۵۵g	۲۵/۲ de	۲۵/۰۲ de	۳۴/۳۰ de

میانگین تیمارهایی که دارای حروف مشابهی هستند؛ براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری با همدیگر ندارند.

تعداد دانه در سنبله: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر باکتری‌های محرک رشد و خاک شور و سدیمی و برهم‌کنش باکتری محرک رشد و خاک شور و سدیمی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین افزایش تعداد دانه در سنبله (۳۱/۳۳ درصد) در تلقیح با جدایه *R. pusense* و در خاک S1 حاصل شد (جدول ۴). در این پژوهش می‌توان بیان نمود در خاک‌های شور و سدیمی، باکتری محرک رشد *R. pusense* با فراهم کردن سطح اضافی برای جذب، باعث افزایش جذب آب و عنصرهای غذایی به ویژه فسفر و نیتروژن می‌شود و به این ترتیب تولید آسیمیلات در گیاه را افزایش می‌دهد. بنابراین همزیستی گیاه با این ریز جانداران افزایش اجزای عملکرد گندم از جمله شمار دانه در سنبله را درپی داشت (Noori *et al*. 2014).

وزن هزار دانه: تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اثر گوگرد، باکتری‌های محرک رشد و خاک شور و سدیمی، برهم‌کنش کود گوگرد و خاک شور و سدیمی و برهم‌کنش باکتری‌های محرک رشد و خاک شور و سدیمی بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه از خاک S1 و کاربرد کود گوگرد به‌دست آمد که در مقایسه با خاک S3 و عدم کاربرد کود گوگرد ۲۷/۳۳ درصد افزایش یافت (جدول ۳). کاربرد کود گوگرد در خاک‌های شور و سدیمی از طریق افزایش فعالیت یون کلسیم اثر منفی سدیم تبادلی بر خاکدانه سازی، نفوذپذیری و تهویه خاک را کاهش داده و منجر به افزایش وزن هزار دانه شد (Najar *et al*., 2011).

عملکرد در گلدان: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر باکتری‌های محرک رشد، گوگرد و خاک شور و سدیمی و برهم‌کنش باکتری محرک رشد و خاک شور و سدیمی در سطح احتمال یک درصد و برهم‌کنش کود گوگرد و خاک شور سدیمی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد در گلدان معنی‌دار بود (جدول ۲). در این تحقیق بیشترین میزان عملکرد در گلدان از خاک S1 و کاربرد کود گوگرد حاصل شد که نسبت به خاک S3 و عدم کاربرد کود گوگرد حدود ۷۶ درصد

افزایش یافت (جدول ۳). با افزایش میزان شور-سدیمی خاک عملکرد دانه به طور معنی‌داری کاهش یافت این کاهش می-تواند به علت تخریب ساختمان خاک و کاهش قابلیت نفوذپذیری آب در خاک و از طرف دیگر به علت اثر منفی تنش شوری بر گیاه باشد. اما کاربرد گوگرد نقش مهمی در پایداری و افزایش عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی نظیر گندم و ذرت در خاک‌های شور و سدیمی داشت و توانست از اثرات کاهشی عملکرد دانه در این خاک‌ها بکاهد (Ahmed *et al*., 2017).

شاخص برداشت: نتایج نشان داد شاخص برداشت تحت اثر گوگرد، باکتری‌های محرکه رشد و خاک شور-سدیمی، برهم-کنش کود گوگرد و خاک شور سدیمی و برهم‌کنش باکتری‌های محرک رشد و خاک شور سدیمی معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین شاخص برداشت از خاک S1 و کاربرد کود گوگرد به دست آمد که در مقایسه با خاک S3 و عدم کاربرد کود گوگرد ۱۱ درصد افزایش یافت (جدول ۳). همچنین بیشترین شاخص برداشت (۱۱/۵۷ درصد) در تلقیح با جدایه *R. pusense* و در خاک S1 حاصل شد که در مقایسه با خاک S3 حدود ۱۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). باکتری‌های محرک رشد از طریق بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه موجب افزایش در شاخص برداشت می‌شوند. علت این امر می‌تواند تأثیر این ریزجانداران بر گسترش سیستم ریشه ای و همچنین تأثیر مثبت آنها در افزایش عملکرد دانه باشد (Esitken *et al*., 2010).

نتیجه‌گیری

به طور کلی و با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت یکی از راه‌کارهای مناسب در جهت کاهش یا تعدیل اثر شوری ,و سدیمی بر کاهش عملکرد و تولید گیاهان به ویژه گندم تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و به عبارت دیگر افزایش تعداد این باکتری‌ها در محیط ریشه است.. تلقیح بذور با باکتری *R. pusense* و مصرف ۱۰ تن در هکتار کود گوگرد در خاک‌های شور و سدیمی با نسبت سدیم جذب سطحی شده ۱۳ با هدایت الکتریکی ۸ جهت ارتقای عملکرد کمی گندم در شرایط اجرای آزمایش توصیه می گردد.

فهرست منابع

بوستانی، ح. ر.، چرم، م.، معزی، ع. ا.، کریمیان، ن. ع.، عنایتی ضمیر، ن.، و زارعی، م. (۱۳۹۵). اثر کاربرد باکتری‌های محرک رشد گیاه و قارچ میکوریز آرباسکولار بر توزیع شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی با سطوح مختلف شوری. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار. ۶(۱): ۲۴-۲.

پذیرا، ا. (۱۳۹۱). امکان بهسازی خاک های شور و سدیمی با استفاده از بهسازهای شیمیایی. حفاظت منابع آب و خاک. ۱(۴): ۴۴-۲۷.

جعفرنژادی، ع. ر.، مرجوی، ع. ر.، میرخانی، ر.، منصوری، ف.، گیلانا، ژ.، آق‌ساقلو، ع. ا.، ممبینی، ن.، اسماعیل‌زاده، ل.، آریا، پ.، شریفی، پ.، ابراهیمی، ح.، جوادزاده، م. (۱۳۹۵). استفاده از گوگرد پلیت شده بنتونیت‌دار در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی. مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج.

ذبیحی، ح. ر.، و نوری‌حسینی، س. م. (۱۳۹۶). ضرورت مصرف گوگرد در خاک‌های آهکی و شور -سدیمی استان خراسان رضوی به منظور افزایش عملکرد گیاهان. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی. ۵(۱): ۵۱-۴۳.

Ahmed, K., Qadir, Gh., JAami, A., Saqib, A., and Qaisar, M.. (2017). Comparative reclamation efficiency of gypsum and sulfur for improvement of salt affected. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 23(1): 1-8.

Aria, M.M., Lakzian, A., Haghnia, G.H., Berenji, A.R., Besharati, H., and Fotovat, A. (2010). Effect of Thiobacillus, sulfur, and vermicompost on thewater-soluble phosphorus of hard rock phosphate. Bioresour Technoligy.101:551–554.

Esitken, A., Yildiz, H. E., Ercisli, S., Figen Donmez, M., Turan, M., and Gunes, A. (2010). Effects of plnt growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient content contents of organically grown strawberry. Sciential Horticultural. 124:62-66.

Najar, G. R., Singh, S. R., Akthar, F., and Hakeem, S. A. (2011). Influence of sulphur levels on yield, uptake and quality of soyabean (*Glycine max*) under temperateconditions of Kashmir valley. Indian Journal of Agriculture Sciences. 81(4): 340343.

Noori, M., Mobasser, H.R., Rigi, Kh., Heidari, M., and Keykha, A.R. (2014). Effects of mycorrhiza and nitrogen fertilizer on quantitative traits of wheat. Journal of Novel Applied Sciences. 3(3): 295-297.

Qureshi, A.S., Qadir, M., Heydari, N., Turral, H., and Javadi, A. (2007). A review of management strategies for salt-prone land and water resources in Iran. International Water Management Institute, IWMI Working Paper 125, Colombo, Sri Lanka, 30p.

Rezapour, S. (2014). Effect of sulfur and composted manure on SO4-S, P and micronutrient availability in a calcareous saline–sodic soil. Chemistry and Ecology. 2: 147–155.

Saddiq, M.S., Afzal, I., Basra, Sh., Iqbal, Sh., and Ashraf, M. (2020). Sodium exclusion affects seed yield and physiological traits of wheat genotypes grown under salt stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 20:1442–1456.

Saghafi, D., Ghorbanpour, M., and Asgari, L. B. (2018). Effciency of Rhizobium strains as plant growth promoting rhizobacteria on morpho-physiological properties of *Brassica napus* L. under salinity stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 18 (1): 253-268.

Effect of plant growth-promoting bacteria and sulfur on wheat growth in saline-sodic soils

Maryam Javadzadeh[1], Kazem Khavazi[2], Navid Ghanavati[3], Alireza Jafarnejadi[4], Vahid Alah Jahandideh Mahjen Abadi[5]

1- Department of Soil Science, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; Khavazik@yahoo.com

3- Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

4- Water and Soil Research Department, Agricultural and Natural Rerources Research and Education center of Khuzestan, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran

5- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of growth-promoting bacteria and sulfur fertilizer on yield and yield components of wheat in saline-sodic soils. A factorial experiment as a completely random design with three replications was conducted in greenhouse conditions. The first factor includes three sodium saline soils levels: S1 (EC (electrical conductivity) = 8, SAR (Sodium adsorption ratio) =13), S2 (EC=10 , SAR=15) and S3 (EC=14 , SAR=17), the second factor includes four levels of growth promoting bacteria: control, *P.alcaliphila*, *R.pusense*, *B. subtilis* and the third factor was two levels of sulfur fertilizer: non-application and 10 ton ha^{-1}. The results showed that the interaction of sulfur fertilizer and saline soils on biomass, number of spikes per pot, grain yield per pot, harvest index, leaf area index was significant. Application of sulfur fertilizer at the sodium saline soil level (EC=8, SAR=13) compared to not using it at the same sodium saline soils level, significantly increased grain yield by 5.54%. Also, the highest grain yield (57.11%) and harvest index were obtained from the application of R. pusense in saline-sodium soil level (EC=8, SAR=13). In general, the results of this study showed the positive effects of sulfur fertilizer application and growth-promoting bacteria in increasing yield and yield components of wheat in sodium saline soils.

Keyword: Bacterial inoculation, Salinity and sodium, Plant growth, Wheat, Sulfur

بررسی اثر تلقیح میکوریزی بر رشد و محتوای کلروفیل و پرولین گیاه سورگوم در خاک آلوده به نیکل

مهری عبدی[۱]، ستاره امانی‌فر[۲،*]، رقیه همتی[۳]

[۱]دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[۲]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

[۳]دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*ایمیل نویسنده مسئول مکاتبات: amanifar@znu.ac.ir

چکیده

نیکل (Ni) یک ریز مغذی ضروری برای گیاه است اما غلظت‌های بالای آن در خاک، برای رشد گیاه سمی است. برای بررسی تأثیر همزیستی میکوریز آربوسکولار (AM) در افزایش تحمل گیاه میزبان در برابر سطوح نیکل در خاک، سورگوم تلقیح شده با قارچ *Rhizophagus intraradices* در خاک آلوده به فلز نیکل کشت شد. یک آزمایش دو عاملی بصورت کاملا تصادفی با استفاده از چهار سطح نیکل (بدون کاربرد نیکل (Ni0)، ۵۰ (Ni1)، ۱۰۰ (Ni2) و ۲۵۰ (Ni3) میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و دو سطح کاربرد قارچ (با (AM) و بدون *R. intraradices* (NM)) انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد نیکل به‌ویژه در سطح Ni3 رشد بخش هوایی گیاهان AM و NM را کاهش داد. کاربرد سطوح Ni2 و Ni3 تأثیر منفی بر محتوای کلروفیل داشت. همچنین، گیاهان AM محتوای کلروفیل بالاتری را از گیاهان NM در تمام سطوح نیکل نشان دادند. کاربرد نیکل به طور قابل توجهی باعث افزایش محتوای پرولین گیاهان AM و NM شد. تلقیح با *R. intraradices* میزان پرولین را در مقایسه با گیاهان NM در تمام تیمارهای نیکل به طور معنی‌داری کاهش داد. نتایج نشان دهنده استفاده از AM به عنوان یک روش امیدوار کننده در القای تحمل به نیکل در گیاه سورگوم است.

واژگان کلیدی: تنش اکسیداتیو، سمیت نیکل، فلزات سنگین، همزیستی

مقدمه

هرچند نیکل به عنوان یک ریزمغذی در غلظت‌های کم برای رشد گیاه ضروری است (Sheng et al., 2008)، اما غلظت بالای این عنصر برای گیاهان سمی بوده و موجب بروز کلروز برگ، توقف رشد، کاهش فتوسنتز و تنفس، برهم خوردن تعادل تغذیه‌ای گیاه، انتقال قندها، روابط آبی و همچنین تولید گونه‌های فعال اکسیژن خواهد شد (Pandey and Sharma, 2002). گیاه‌پالایی اساسا به استفاده از گیاهان و ریزجانداران خاکزی جهت کاهش غلظت یا اثرات سمی آلاینده‌ها در محیط اطلاق می‌گردد. گیاه‌پالایی برای حذف فلزات سنگین و رادیونوکلئیدها و همچنین برای آلودگی‌های آلی استفاده می‌شود. گیاه‌پالایی یک تکنیک درجا، مقرون به صرفه و سازگار با محیط زیست برای پالایش فلزاتی مانند نیکل از خاک است (Roccotiello et al., 2015). میکروارگانیسم‌های ریزوسفری (عمدتا باکتری‌ها و قارچ‌ها) ممکن است به طور قابل توجهی منجر به افزایش دسترسی زیستی فلزات سنگین در خاک شوند. میکروارگانیسم‌های همزیست چرخه زندگی، رشد و تکثیر گیاهان میزبان و سازگاری آنها با محیط را تحت تاثیر قرار می-دهند. قارچ‌های میکوریزی از جمله موجوداتی هستند که روابط آنها با گیاهان به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است.

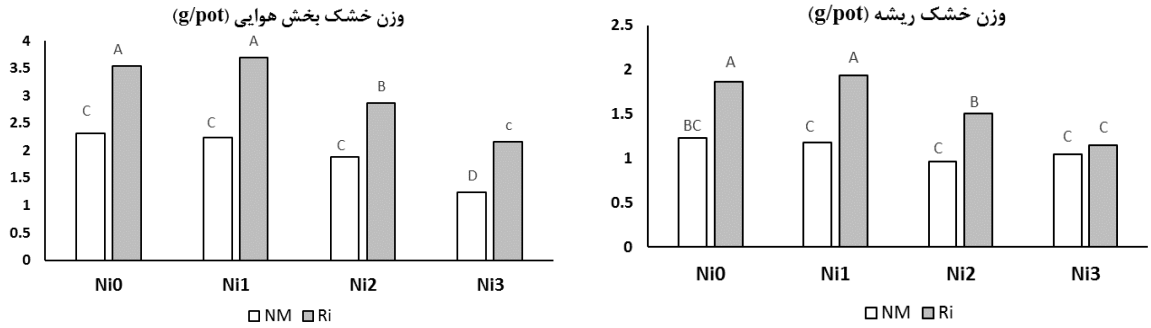
گیاهان میکوریزی نسبت به تنش فلزی کمتر حساسیت نشان می‌دهند و جذب فلزات به واسطه تغذیه معدنی بهتر و جذب کاراتر آب در آنها افزایش می‌یابد. علاوه بر این، قارچ‌های AM باعث بیان برخی از ژن ها (ژن های درگیر در فرآیندهای سمیت زدایی) در گیاه میزبان تحت تنش فلزات سنگین می‌شود که نقش آن‌ها در کاهش سمیت فلزات سنگین را نشان می‌دهد (Miransari, 2010). به طور کلی، قارچ های میکوریزی تغذیه معدنی را بهبود می بخشند، به ویژه جذب عناصر ریزمغذی را تحریک می‌کنند. بنابراین، هدف از این مطالعه ارزیابی قارچ میکوریزی *Rhizophagus intraradices* به عنوان یک استراتژی برای افزایش مقاومت گیاه میزبان در مقابل غلظت‌های بالای نیکل و نقش احتمالی آن در کاهش آثار سمیت نیکل در گیاه سورگوم بود. بدین منظور ویژگی‌های رشدی سورگوم و محتوای کلروفیل و پرولین تحت سطوح مختلف نیکل در گیاهان تلقیح شده و بدون تلقیح میکوریزی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

برای بررسی تأثیر همزیستی میکوریزی در افزایش تحمل گیاه میزبان در برابر سطوح نیکل در خاک، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) تلقیح شده با قارچ *Rhizophagus intraradices* در خاک آلوده به فلز نیکل کشت شد. یک آزمایش دو عاملی (تلقیح AM × سطوح نیکل) بصورت کاملا تصادفی با استفاده از چهار سطح نیکل (بدون کاربرد نیکل (Ni0)، ۵۰ (Ni1)، ۱۰۰ (Ni2) و ۲۵۰ (Ni3) میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و دو سطح کاربرد قارچ میکوریزی (با (AM) و بدون *R. intraradices* (NM)) در چهار تکرار انجام شد. بذور سالم و یکنواخت سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) پس از ضدعفونی سطحی در گلدان‌ها به تعداد یکسان کاشته شدند. پس از استقرار گیاه عمل تنک کردن انجام شد و در نهایت در هر گلدان ۳ بوته باقی ماند. به گلدان‌های دارای تیمار قارچی، مایه تلقیح خاکی قارچ AM به میزان ۴۰ گرم اضافه شد و گلدان‌های شاهد به همان میزان بستر تولید مایه تلقیح استریل شده را دریافت کردند. گلدان‌ها در حدود FC آبیاری شدند و عملیات برداشت نیز ۳ماه پس از کاشت انجام شد. پس از برداشت برای تعیین وزن بخش هوایی و ریشه‌ها، نمونه‌های گیاهی در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و پس از آن وزن خشک آن‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ تعیین گردید. سنجش مقدار پرولین با استفاده از معرف نین هیدرین و بر اساس روش بیتس و همکاران (۱۹۷۳) انجام گرفت. سنجش کلروفیل با دستگاه کلروفیل‌متر دستی انجام شد. قرائت با دستگاه از سه نقطه از هر برگ انجام و حداقل ۵ برگ در هرگلدان انجام شد. عدد SPAD همبستگی بالایی با میزان کلروفیل و نیتروژن در برگ دارد.

نتایج و بحث

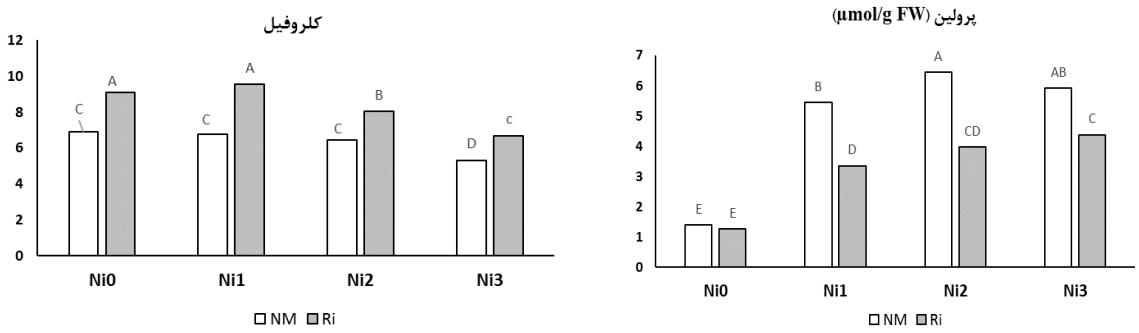
نتایج نشان داد که کاربرد نیکل در سطح Ni3 به طور معنی‌داری رشد بخش هوایی گیاهان AM و NM را کاهش داد. اثر منفی Ni بر رشد بخش هوایی بیشتر از رشد ریشه بود و کاهش زیست توده ریشه به ویژه در گیاهان NM معنی‌دار نبود. ماده خشک بخش هوایی سورگوم میکوریزی در تمام سطوح نیکل در مقایسه با گیاه NM بطور معنی‌داری بالاتر بود. در ریشه نیز نتایج مشابه بود، به جز سطح Ni3 که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین وزن خشک ریشه گیاهان تلقیح شده و بدون تلقیح مشاهده نشد (شکل ۱).



شکل ۱- اثرات متقابل سطوح نیکل و قارچ میکوریزی بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه سورگوم. Ni0، Ni1، Ni2 و Ni3 به ترتیب عبارتند از شاهد بدون کاربرد نیکل، ۵۰ ، ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک. NM و Ri به ترتیب عبارتند از بدون تلقیح قارچی و تلقیح شده با قارچ *R. intraradices*.

طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با افزایش غلظت نیکل در خاک،کاهش معنی‌داری در وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی صورت گرفت. کمترین میزان وزن تر و خشک و اندام هوایی، در بالاترین غظت نیکل (۲۵۰ ppm) مشاهده شد. غلظت سمی نیکل از طریق تغییر در ساختار غشای سلول‌های ریشه و کاهش سطوح جذب کننده آب، منجر به کاهش پتانسیل آب گیاه شده که بر فرآیندهای فیزیولوژیکی نظیر تعرق، تنفس و فتوسنتز تاثیر منفی گذاشته و در نهایت کاهش رشد گیاه را به دنبال دارند (Fuentes et al., 2007). از سوی دیگر یکی از علت‌های مهم آسیب بافتی در گیاهانی که در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرند، ایجاد تنش اکسیداتیو است (Mishra et al., 2006). فلزات سنگین بر فرآیندهای هموستازی شامل جذب آب، انتقال تعرق و متابولیسم مواد غذایی و جذب کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر (Benavides et al., 2005) تاثیر منفی می‌گذارند و از این طریق رشد و بیوماس گیاه را کاهش می‌دهند. گزارش شده است که تحمل به سمیت فلزات سنگین در همزیستی میکوریزی رشد گیاه را از طریق افزایش اکتساب مواد غذایی، تثبیت فلزات سنگین در ریشه و محدودیت انتقال آن‌ها به ساقه و تغییر ویژگی‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژی میزبان بهبود می‌بخشد. قارچ‌های میکوریز آربسکولار اثرات مفید چندگانه‌ای بر رشد گیاه دارند. هیف‌های قارچ در حرکت آب و موادغذایی از جمله فسفر، نیتروژن، پتاسیم، کلسیم، روی و مس از ذرات خاک موثرند و این مواد مغذی به گیاه میزبان منتقل می‌کنند (Garg and Aggarwal, 2012) .

کاربرد سطوح Ni2 و Ni3 تأثیر منفی بر محتوای کلروفیل داشت. همچنین، گیاهان AM محتوای کلروفیل بالاتری را از گیاهان NM در تمام سطوح نیکل نشان دادند (شکل ۲). کاربرد نیکل به طور قابل توجهی باعث افزایش محتوای پرولین گیاهان AM و NM شد و بیشترین میزان پرولین در برگ گیاهان NM در سطح Ni2 مشاهده شد. تلقیح با *R. intraradices* میزان پرولین را در مقایسه با گیاهان NM در تمام تیمارهای نیکل به طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۲).



شکل ۲- اثرات متقابل سطوح نیکل و قارچ بر شاخص کلروفیل و محتوای پرولین سورگوم. Ni0، Ni1، Ni2 و Ni3 به ترتیب عبارتند از شاهد بدون کاربرد نیکل، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۵۰ میلی‌گرم نیکل بر کیلوگرم خاک. NM و Ri به ترتیب عبارتند از بدون تلقیح قارچ و تلقیح شده با قارچ *R. intraradices*.

کاهش محتوای کلروفیل می‌تواند دلیلی برای کاهش فعالیت فتوسنتزی و در نتیجه کاهش تثبیت کربن در اثر غلظت‌های بالای فلزات سنگین باشد. با توجه به بالا بودن میزان کلروفیل در گیاهان دارای همزیست قارچ در مقایسه با گیاهان شاهد می‌توان به این نتیجه رسید که احتمالاً به علت وجود رابطه مثبت بین غلظت فسفر و مقدار کلروفیل کل در گیاهان تلقیح شده نقش قارچ در فراهم نمودن فسفر مورد نیاز گیاه به عنوان عامل انرژی در طی فتوسنتز محتمل است (Demir, 2004).

در شرایط تنش فلزات سنگین، تجمع املاح سازگار کننده در تنظیم اسمزی کمک می‌کند تا گیاهان از ذخایر ذخیره کافی به منظور حمایت از متابولیسم پایه در شرایط تنش استفاده کنند. علاوه بر این، اهمیت عملکردی تجمع پرولین تحت تنش فلزات سنگین ممکن است علاوه بر تنظیم اسمزی، جاروب کردن رادیکال‌های هیدروکسیل را نیز شامل شود، به خصوص که قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین سمی با افزایش تولید رادیکال اکسیژن و پراکسیداسیون لیپیدی همراه است (Elloumi et al., 2016). نتایج بدست آمده حاکی از کاهش سمیت کادمیم در گیاهان تلقیح شده است که با توجه به کارکرد پرولین به عنوان بخشی از سیستم آنتی اکسیداتیو گیاه می‌تواند نماینده کاهش تولید ROS (گونه‌های فعال اکسیژن) در گیاهان تلقیح شده نیز باشد. به نظر می‌رسد که به احتمال زیاد، سطح گونه‌های اکسیژن فعال در بخش هوایی گیاهان AM کمتر از گیاهان NM باشد. بنابراین، بیوسنتز پرولین در گیاهان تیمار AM به اندازه گیاهان NM صورت نگرفته است (Kang et al., 2019).

نتیجه‌گیری

افزایش غلظت نیکل خاک تأثیر منفی بر رشد و نمو سورگوم به‌ویژه در رشد بخش هوایی گیاهان بدون تلقیح داشت. در پژوهش حاضر به طور کلی نتایج نشان دادند محتوای کلروفیل و زیتوده در اثر تلقیح با قارچ نسبت به شاهد بدون تلقیح افزایش و محتوای پرولین کاهش یافت. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سمیت نیکل در نتیجه افزایش محتوای کلروفیل و بهبود رشد در نتیجه تلقیح میکوریزی سورگوم تعدیل شده است. نتایج نشان دهنده استفاده از AM به عنوان یک روش امیدوار کننده در القای تحمل به نیکل در گیاه سورگوم است.

فهرست منابع

Bates, L. S., Waldren, R. P., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207

Benavides, M. P., Gallego, S. M., Tomaro, M. L. (2005). Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 21-34.

Demir, S. (2005). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology*, 28(2-4), 85-90.

Fuentes, D., Disante, K. B., Valdecantos, A., Cortina, J., Vallejo, V. R. (2007). Response of *Pinus halepensis* Mill. seedlings to biosolids enriched with Cu, Ni and Zn in three Mediterranean forest soils. *Environmental Pollution*, 145(1), 316-323.

Elloumi, N., Jerbi, B., Zouari, M., Abdallah, F. B., Ayadi, H., Kallel, M. (2016). Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*). *Environmental Science and Pollution Research*, 23(20), 20168-20177.

Garg, N., Aggarwal, N. (2012). Effect of mycorrhizal inoculations on heavy metal uptake and stress alleviation of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. genotypes grown in cadmium and lead contaminated soils. *Plant Growth Regulation*, 66(1), 9-26.

Kang, Y., Torres-Jerez, I., An, Z., Greve, V., Huhman, D., Krom, N., Udvardi, M. (2019). Genome-wide association analysis of salinity responsive traits in Medicago truncatula. *Plant, Cell & Environment*, 42(5), 1513-1531.

Miransari, M. (2010). Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress. *Plant Biology*, 12(4), 563-569.

Mishra, S., Srivastava, S., Tripathi, R. D., Govindarajan, R., Kuriakose, S. V., Prasad, M. N. V. (2006). Phytochelatin synthesis and response of antioxidants during cadmium stress in *Bacopa monnieri* L. *Plant Physiology and Biochemistry*, 44(1), 25-37.

Pandey, N., Sharma, C. P. (2002). Effect of heavy metals Co^{2+}, Ni^{2+} and Cd^{2+} on growth and metabolism of cabbage. *Plant Science*, 163(4), 753-758.

Roccotiello, E., Serrano, H. C., Mariotti, M. G., Branquinho, C. (2015). Nickel phytoremediation potential of the Mediterranean *Alyssoides utriculata* (L.) Medik. *Chemosphere*, 119, 1372-1378.

Sheng, X. F., Xia, J. J., Jiang, C. Y., He, L. Y., Qian, M. (2008). Characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from rape (Brassica napus) roots and their potential in promoting the growth and lead accumulation of rape. *Environmental Pollution*, 156(3), 1164-1170.

.

Evaluation of the effects of mycorrhizal inoculation on growth, and chlorophyll and proline content of sorghum in Ni-contaminated soil

Mehri Abdi [1], Setareh Amanifar[2,*], Roghaie Hemmati [3]

[1] M. Sc. Graduate, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

[2] Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

[3] Associate Prof., Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

*Corresponding Author's E-mail: amanifar@znu.ac.ir

Abstract

Nickel (Ni) is an essential micronutrient but considered toxic for plant growth when present in excess in the soil. To understand the impact of arbuscular mycorrhiza (AM) on increasing host plant tolerance against excessive Ni in soil, sorghum inoculated with *Rhizophagus intraradices* was cultivated in Ni contaminated soil. A two-factor experiment in CRD was done using four levels of Ni (control (Ni0), 50 (Ni1),100 (Ni2) and 250 (Ni3) mg kg^{-1} of soil) and two levels of mycorrhizal fungi application (with (AM) and without *R. intraradices* (NM)). Results showed that the Ni application at higher levels (Ni2 and Ni3) significantly decreased shoot growth of both AM and NM plants. The dry matter yield of mycorrhizal sorghum plants was higher significantly at all levels of Ni compared with NM plant. Chlorophyll content was negatively affected by Ni2 and Ni3 levels. Moreover, AM plants showed higher chlorophyll content than NM plants at all Ni levels. Nickel addition significantly increased proline contents of both inoculated and non-inoculated plants. Inoculation with *R. intraradices* decreased proline content at all Ni treatments significantly. The results suggested use of AM as a promising approach in imparting Ni tolerance to sorghum plants.

Keywords: Heavy metals, nickel toxicity, oxidative stress, symbiosis

بررسی تأثیر قارچ پنی‌سیلیوم حل کننده فسفات بر کارایی جذب و مصرف فسفر گندم و جو

زهرا اشکیود[۱]، ابراهیم سپهر[۲]، عباس صمدی[۲]، میرحسن رسولی صدقیانی[۲]، رقیه موسوی[۱]

[۱] دانش آموخته ارشد علوم خاک، دانشگاه ارومیه

[۲] اعضای هیأت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

چکیده

به منظور بررسی تأثیر تلقیح میکروبی قارچ حل‌کننده فسفات بر گیاهان گندم و جو، آزمایش گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب آماری بلوک‌های کامل تصادفی با دو گیاه شامل گندم و جو و تیمارهای کودی مختلف شامل مصرف سنگ فسفات (RP)، تلقیح با قارچ‌های حل کننده فسفات (RP+F)، تلقیح با باکتری‌های حل کننده فسفات (RP+B)، تلقیح با مخلوط باکتری‌ها و قارچ های حل کننده فسفات (RP+FB) و مصرف فسفر محلول (PS) در سه تکرار اجرا گردید. پس از برداشت، وزن خشک اندام هوایی و میزان فسفر آن اندازه‌گیری و شاخص‌های کارایی محاسبه شد. نتایج نشان داد بین گیاهان و تیمارهای کودی از لحاظ عملکرد اندام هوایی (SDW) و غلظت فسفر (PC) و مقدار فسفر کل گیاه (TP) و کارایی جذب فسفر (PACE) و مصرف فسفر (PUTE) اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در بین تیمارهای تلقیحی، تلقیح گیاهان با قارچ‌های حل کننده فسفات، تأثیر بیشتری روی عملکرد اندام هوایی نسبت به سایر تیمارهای میکروبی داشت. عملکرد اندام هوایی در تیمار تلقیح قارچ‌های حل کننده فسفات در گیاه گندم و جو نسبت به شاهد عملکرد بیشتری داشته است. بنابراین تلقیح قارچی میزان جذب فسفر توسط گیاه از سنگ فسفات را افزایش می‌دهد و نیز فسفرکارایی گیاهان بطور معنی‌داری افزایش می‌یابد.

واژه های کلیدی: قارچ حل کننده فسفات، کارایی مصرف و جذب فسفر، فسفرکارایی

۱.مقدمه

فسفر از عناصر اصلی مورد نیاز گیاه بوده و در کلیه فرآیندهای بیوشیمیایی ترکیبات انرژی‌زا و ساخت و کارهای انتقال انرژی دخالت دارد و غلظت آن بین ۰/۱ تا ۰/۵ درصد ماده خشک گیاه است Tisdale et al (1985). روش متداول در کشور برای تأمین نیاز فسفری گیاهان زراعی مصرف کودهای شیمیایی فسفر بوده (حیاتی و همکاران، ۱۳۹۰) اما به دلیل شیمی پیچیده در خاک‌های آهکی به مقدار زیادی به وسیله واکنش‌های جذب و رسوب در سطوح کانی‌های کربنات یا در نتیجه قابلیت جذب آن به شدت کاهش می‌یابد Freeman et al (1981). منابع کودهای فسفاته در دنیا رو به پایان است و طی ۸۰-۷۰ سال آینده تمام می‌شود Vance et al (2003) و از طرف دیگر مشکلات زیست محیطی از قبیل پدیده یوتریفیکاسیون و کمبود عناصر غذایی بویژه روی به علت مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته و همچنین پرهزینه بودن تولید کودهای فسفاته، باعث شده محققین به دنبال جایگزینی برای کودهای شیمیایی باشند که از آن جمله می‌توان به استفاده از منابع بیولوژیک به جای منابع شیمیایی و توانایی ریزجانداران حل کننده فسفات[۱](PSMs) در انحلال

[1]. Phosphate solubilizing microorganisms

فسفات‌های تجمع یافته در خاک برای افزایش تولید محصول و حفظ حاصلخیزی پایدار خاک اشاره نمود. از آنجایی که حلالیت و تحرک کودهای فسفاته پایین است و همچنین مصرف زیاد کودهای شیمیایی اثرات سوئی بر خاک خواهد داشت بنابراین به دنبال سهل‌الوصول‌تر شدن جذب فسفر توسط گیاهان، در این مطالعه به تأثیر قارچ‌ها و باکتری‌های حل کننده سنگ فسفات بر فسفرکارایی گیاهان گندم و جو جهت کاهش مصرف کودهای فسفاته از خاک بویژه در خاک‌های با فسفر قابل دسترس کم در گلخانه مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی توسط گیاهان گندم و جو، با ۵ تیمار کودی شامل مصرف سنگ فسفات (RP)، تلقیح با قارچ‌های حل کننده فسفات (RP+F) شامل پنی‌سیلیوم و آسپرژیلوس، تلقیح باکتری‌های حل کننده فسفات (RP+B) شامل باسیلوس و سودوموناس، تلقیح با مخلوط باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده فسفات (RP+FB) و مصرف فسفر محلول (PS) در بستر ۲۵ به ۷۵ شن و خاک با حاصلخیزی پایین در سه تکرار در گلخانه دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۱ اجرا گردید. عناصر غذایی براساس آزمون خاک و تیمارهای فسفر به میزان ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از دو منبع سنگ فسفات (RP) و فسفات پتاسیم (PS) محاسبه گردید و به خاک اضافه شد. در هر گلدان ۱۵ بذر قرار کشت و بعد از جوانه زنی به ۷ بوته کاهش یافت. در تیمارهای تلقیح میکروارگانیسم‌ها نیز قارچ و باکتری تلقیح شد. مراقبت‌های زراعی لازم برای تمامی تیمارها به طور یکنواخت اعمال و آبیاری به صورت وزنی به هنگام رسیدن رطوبت گلدان‌ها به ۸۰ درصد ظرفیت زراعی (FC) انجام گرفت و بعد از ۹ هفته شاخساره‌ها برداشت و پس از شستشو برای بدست آوردن وزن خشک شاخساره، به آزمایشگاه منتقل و در آون در دمای ۷۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد خشک گردید. عصاره گیاه به روش تر جمع‌آوری و غلظت فسفر در گیاه به روش رنگ سنجی اندازه‌گیری شد.

مقدار فسفر کل (TP) که از حاصلضرب غلظت فسفر (PC) در وزن خشک شاخساره (SDW) بدست آمد.

$$TP = SDW \times PC$$

برای حذف نقش پتانسیل ژنتیکی ارقام در میزان فسفر جذب شده از اصطلاح جذب نسبی فسفر به عنوان شاخص کارایی جذب فسفر (PACE) استفاده گردید Sepehr et al (2009).

$$PACE = \frac{TP \text{ in } P0}{TP \text{ in } PS}$$

کارایی مصرف فسفر (PUTE) که بیانگر تولید ماده خشک به ازاء واحد فسفر جذب شده می‌باشد.

$$PUTE = \frac{SDW}{TP}$$

فسفر کارایی (PE) که از نسبت ماده خشک ارقام در شرایط محدودیت فسفر به مقدار آن در شرایط فراهمی فسفر محاسبه گردید Sepehr et al (2009) و همکاران ۲۰۰۹).

$$PE = \frac{SDW \text{ in } P0}{SDW \text{ in } PS}$$

و کارایی محاسبه شده (CPE) که از حاصلضرب کارایی جذب و مصرف فسفر محاسبه شد.

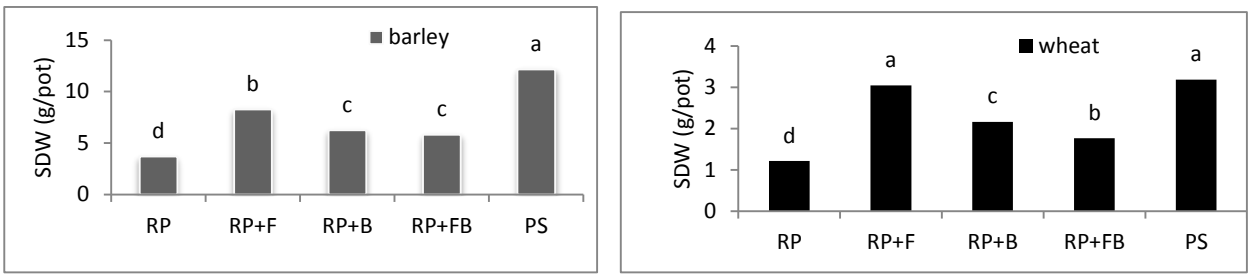
$$CPE = PACE \times PUTE$$

اطلاعات بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه میانگین ها از آزمون LSD، برای رسم نمودارها از نرم افزار EXCEL استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. عملکرد اندام هوایی گندم و جو

با بررسی عملکرد اندام هوایی (SDW) در گندم و جو شکل (۱) می‌توان با مقایسه عملکرد اندام هوایی این دو گیاه در تیمارهای میکروبی دریافت که قارچ‌های حل کننده فسفات نقش بالایی در افزایش وزن خشک اندام هوایی و همسطح با فسفر محلول قرار دارد که در واقع این موضوع نشان می‌دهد که قارچ‌ها نقش موثری در حلالیت و آزادسازی فسفر از سنگ فسفات دارند. علاوه بر آن باکتری‌ها نیز با استفاده از مکانسیم‌های موثر در حلالیت فسفر، عملکرد اندام هوایی را افزایش دادند. Asea و همکاران (۱۹۸۸) در آزمایش گلخانه‌ای در یک خاک آهکی افزایش ۱۶ درصدی در وزن خشک گندم و افزایش ۱۴ درصدی در مقدار فسفر جذب شده در نتیجه تلقیح با *Penicillium bilaii* بیان کردند.



شکل ۱- مقایسه تیمارها بر عملکرد اندام هوایی گندم و جو. RP (سنگ فسفات)، PF+F (سنگ فسفات همراه با قارچ‌های حل کننده فسفات)، RP+B (سنگ فسفات همراه با باکتری های حل کننده فسفات)، PS (فسفر محلول) و RP+FB (سنگ فسفات همراه با باکتری و قارچ‌های حل کننده فسفات). حروف غیرمشابه روی ستون ها بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ بین تیمارها.

همچنین با بررسی تأثیر تلقیح میکروبی بر غلظت فسفر (PC) و فسفر کل جذب شده (TP) در گیاهان گندم و جو می‌توان دریافت، بین گندم و جو اختلاف معنی‌داری در غلظت فسفر وجود نداشت اما در میان تیمارهای میکروبی، قارچ بیشترین تأثیر را نشان داد. حتی گندم در سطح آماری یکسان با تیمار فسفر محلول قرار گرفت و سایر تیمارهای میکروبی اختلاف معنی‌داری با شاهد قابل مشاهده نبود. بر اساس نتایج جدول (۱) تأثیر تیمارهای آزمایش بر مقدار فسفر کل گیاه معنی‌دار بود و در بین تیمارهای میکروبی تلقیح قارچی بالاترین تأثیر را نشان داد. در تحقیقات انجام شده توسط Kohler و همکاران (۲۰۰۷) بیان شد که در نتیجه تلقیح میکروبی حل کننده‌های فسفات غلظت فسفر در گیاهان مختلف به طور چشمگیری افزایش یافت. Whitelaw (۱۹۹۷) در نتایج حاصل از آزمایشات گلخانه‌ای گندم نشان داد تلقیح قارچ *Penicillium radicum* باعث افزایش جذب فسفر به میزان ۱۰ درصد و عملکرد به مقدار ۹ درصد گردید.

جدول ۱- مقایسه غلظت فسفر در اندام هوایی (mg P/gSDW) در گیاهان گندم و جو در حضور ریزجانداران حل کننده فسفات

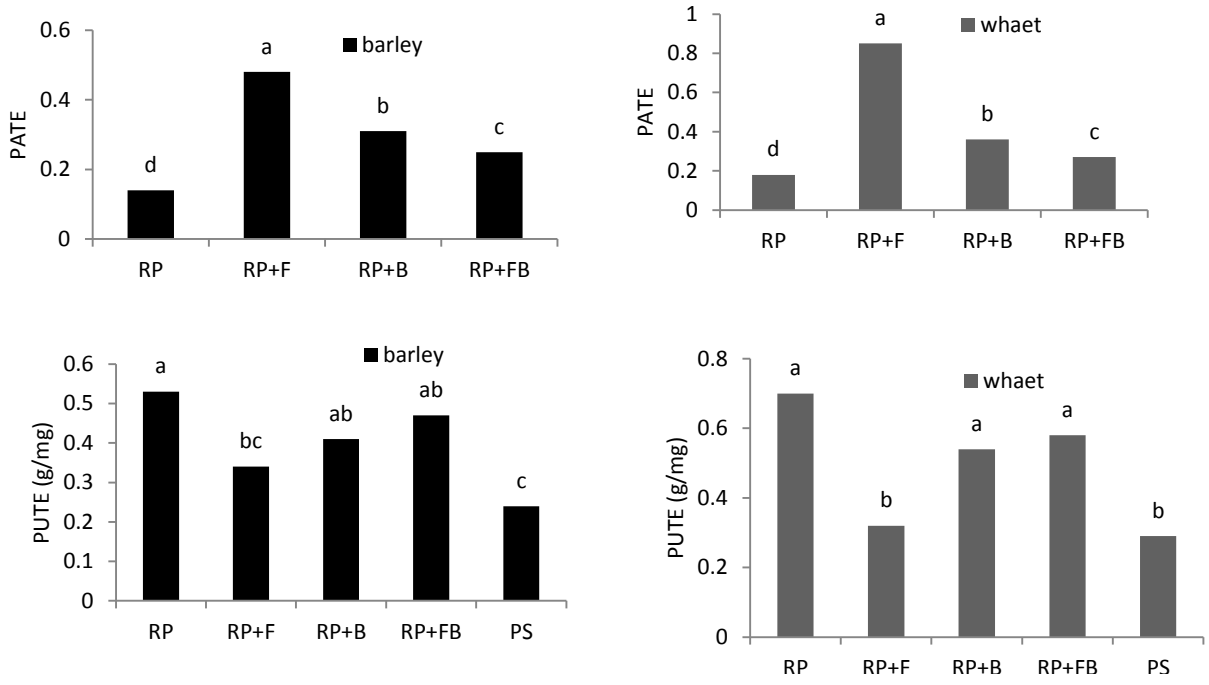
تیمار	گندم	جو
RP	۱/۵۶^{ab,b}	۱/۹۳^{a,c}
RP +F	۳/۱۰^{a,a}	۲/۹۷^{a,b}
RP +B	۱/۸۵^{ab,b}	۲/۴۸^{a,bc}
RP+FB	۱/۷۳^{a,b}	۲/۲۰^{a,c}

PS	۳/۴۸^{ab,a}	۴/۲۱^{a,a}
میانگین	۲/۳۴^{b}	۲/۷۶^{a}

RP (سنگ فسفات)، F (قارچ‌های حل کننده فسفات)، B (باکتری‌های حل کننده فسفات)، FB (قارچ همراه با باکتری‌های حل کننده فسفات)، PS (فسفر محلول)، حروف غیرمشابه سمت راست بیانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها (مقایسه ستونی) و حروف غیرمشابه سمت چپ بیانگر اختلاف معنی‌دار بین گیاهان (مقایسه ردیفی).

۳-۲. بررسی تاثیر قارچ پنی‌سیلیوم در کارایی جذب و مصرف فسفر

در بررسی تأثیر نتایج حاصل از تلقیح میکروبی قارچ حل کننده فسفر بر شاخص کارایی جذب (PACE) و مصرف (PUTE) فسفر در گیاهان گندم و جو که در شکل (۲) نشان داده در خصوص شاخص‌های کارایی جذب فسفر در بین تیمارهای میکروبی، تیمار (RP+F) کارایی جذب فسفر را در گیاه گندم و جو افزایش داد. با مقایسه دو گیاه گندم و جو در تیمار (RP+F)، گیاه گندم در جذب فسفر کاراتر بود که می‌تواند به اثرگذاری قارچ‌های حل کننده فسفر در افزایش حلالیت فسفر و برقراری روابط سینرژیستی با ریشه این گیاه مرتبط باشد. علاوه بر آن با مقایسه شاخص کارایی مصرف فسفر (PUTE) در میان دو گیاه و تیمارهای میکروبی قارچ و باکتری با توجه به آنکه این شاخص از نسبت عملکرد اندام هوایی بر میزان کل فسفر جذب شده در گیاه بدست می‌آید می‌توان دریافت که با توجه به شکل (۲) این شاخص در گیاه گندم کاراتر بود و نیز با بررسی تمیارهای میکروبی، تیمار قارچ عملکرد بهتری در حلالیت فسفر از خود نشان داد.

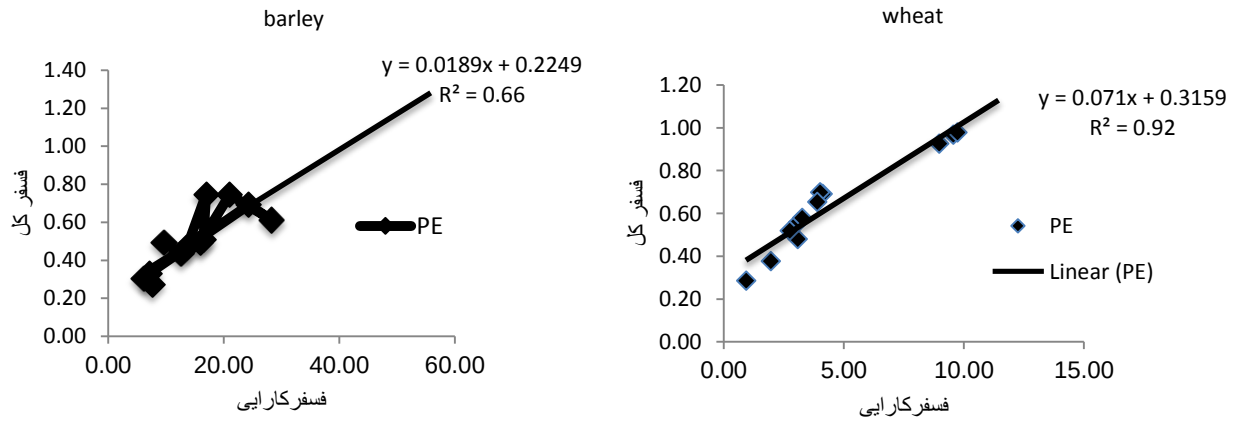


شکل ۲- مقایسه تیمارها بر شاخص کارایی جذب (PACE) و مصرف (PUTE) فسفر در اندام هوایی گندم و جو. RP (سنگ فسفات)، PF+F (سنگ فسفات همراه با قارچ‌های حل کننده فسفات)، RP+B (سنگ فسفات همراه با باکتری‌های حل کننده فسفات) و RP+FB (سنگ فسفات همراه با باکتری و قارچ‌های حل کننده فسفات). حروف غیرمشابه روی ستون ها بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ بین تیمارها.

در تحقیقات انجام شده توسط Vance و همکاران (۲۰۰۳) در خصوص جذب فسفر بین ارقام مختلف جو و گندم گزارش دادند که اختلاف معنی‌داری از لحاظ جذب فسفر بین ارقام مختلف جو و گندم به دلیل تشکیل ریشه‌های ریز و ترشحات ریشه‌ای مشاهده شد. Horst و

همکاران (۱۹۹۳) گزارش دادند که خصوصیات مرفولوژی ریشه از قبیل طول ریشه بلند، وجود ریشه‌های نازک و تارهای ریشه زیاد در رقم *Cosir* (گندم جدید) منجر به افزایش کارایی جذب فسفر در مقایسه با ارقام *Peragis* (گندم بومی) شد.

در زمینه تأثیر تلقیح میکروبی بر فسفر کارایی (PE) گندم و جو، با بررسی حالت کاربرد تلقیحات میکروبی، فسفرکارایی گندم و جو در شرایط تلقیح با قارچ‌های حل کننده فسفات نسبت به شاهد، در گندم با اختلاف ۰/۵۸ و در جو با اختلاف ۰/۳۸ بیشترین کارایی را در بین تیمارهای میکروبی داشت. کاربرد تلقیح توأم باکتری و قارچ‌های حل کننده فسفات نیز در گندم و جو به ترتیب با احتساب ۰/۵۵ و ۰/۴۸ کارایی کمتری را نسبت به سایر تیمارهای میکربی بدست آوردند.



شکل ۳- ضریب همبستگی بین فسفرکارایی و فسفر کل در گیاه گندم و جو

نتیجه گیری

با بررسی نتایج حاصل از این مطالعه استفاده از قارچ‌های حل کننده فسفات بر روی همه شاخص‌های کارایی تأثیر معنی‌داری نشان داد و باعث افزایش عملکرد اندام هوایی و غلظت و مقدار فسفر کل اندام هوایی و نیز شاخص کارایی جذب فسفر گیاهان شد. تلقیح قارچ‌های حل کننده فسفات در میزان غلظت فسفر و فسفر کل بخش هوایی، در مقایسه با سایر تیمارهای میکروبی در بالاترین سطح آماری قرار گرفت بنابراین تلقیح‌های قارچ‌های حل کننده فسفر نقش موثرتری می‌تواند در کارایی جذب فسفر داشته باشد. گرچه با مطالعه تلقیح میکروبی در شاخص‌های کارایی جذب فسفر و فسفرکارایی، اثر تلقیح باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده تأثیرشان بارزتر است اما تیمار مصرف توأم قارچ‌ها و باکتری‌ها افزایش معنی‌داری در فسفرکارایی نشان نمی‌دهد. در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تلقیح میکروبی به ویژه تلقیح قارچی میزان جذب فسفر توسط گیاه از سنگ فسفات را افزایش داده و در نتیجه فسفر کارایی گیاهان را بطور معنی‌دار افزایش می‌دهد لذا استفاده از سنگ فسفات به همراه تلقیح میکروبی به ویژه تلقیح با قارچ‌های حل کننده فسفات در شرایط مزرعه با انجام آزمایشات لازم قابل اجرا می‌باشد.

منابع

حیاتی، م.، قلی زاده، ع.، فلاح، ع.، رضوانی. م. (۱۳۹۰). تأثیر باکتری *Bacillus coagulans* و منابع مختلف سنگ فسفات بر گیاه کلزا (*Brassica napus L.*). مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱. شماره ۱.

قورچیانی، م.، اکبری، غ.، علیخانی، ج.، دادی، ا.، زارعی، م. (۱۳۹۰). ویژگی‌های بلال *Pseudomonasfluorescence* اثر قارچ میکوریز آربسکولار و باکتری، میزان کلروفیل و عملکرد گیاه ذرت در شرایط تنش رطوبتی، مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱. شماره ۱.

Asea, P. E. A., Kucey, R. M. N. and Stewart, J.M. W. B. B. (1988). Inorganic phosphate solubilization by two penicillium species in solution culture and Soil, Soil Biology, 20: 459-464.

Freeman, J.S., Rowell, D.L. (1981). The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite, 32:75–84.

Kohler, J., Caravaca, F., Carrasco, L., and Rolda, N. A. (2007). Interactionsbetween a plant growth-promoting rhizobacterium, an AM fungus and aphosphate-solubilising fungus in the rhizosphere of Lactuca sativa, AppliedSoil Ecology, 35: 480-487.

Sepehr, E., Zed, R., Esfandiar, F., Sadaghiani, M.H. (2011).Differential capacity of wheat cultivars and white lupin to acquire P from rock phosphate, phytate and soluble P sources.

Vance, C., Uhde-Stone, C., Allan, D. L. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing anonrenewable resource, New Phytol, 157: 423-447.

Whitelaw. M.A., Harden, T. J. and Bender, G. L. (1997). Plant Growth Promotion of wheat inoculated with Penicillium, Soil Biology and Biochemistry, 31: 655-665.

Evaluation of the effect of Penicillium phosphate solvent fungus on the uptake and consumption efficiency of wheat and barley

Zahra Ashkioud[1], Ebrahim Sepehr[2], Abbas Samadi[2], Mir Hassan Rasouli Sedghiani[2], Roghayeh Mousavi[1]

1. Graduate of Soil Science, Urmia University

2. Faculty members of the Faculty of Agriculture, Urmia University

Abstract

In order to investigate the effect of microbial inoculation of phosphate soluble fungi on wheat and barley plants, factorial greenhouse experiment in the form of randomized complete blocks with two plants including wheat and barley and different fertilizer treatments including phosphate (RP) inoculation. With phosphate-solubilizing fungi (RP + F), inoculation with phosphate-solubilizing bacteria (RP + B), inoculation with a mixture of bacteria and phosphate-solubilizing fungi (RP + FB) and consumption of soluble phosphorus (PS) was performed in three replications. After harvest, shoot dry weight and phosphorus content were measured and performance indices were calculated. The results showed that there was a significant difference between plants and fertilizer treatments in terms of shoot yield (SDW) and phosphorus concentration (PC) and total phosphorus content (TP) and phosphorus uptake efficiency (PACE) and phosphorus consumption (PUTE). Among inoculation treatments, inoculation of plants with phosphate-solubilizing fungi had a greater effect on shoot function than other microbial treatments. The yield of shoots in the inoculation treatment of phosphate-soluble fungi in wheat and barley was higher than the control. Therefore, fungal inoculation increases the rate of phosphorus uptake by plants from phosphate rock and also phosphorus efficiency of plants increases significantly.

Keywords: Phosphate soluble fungi, efficiency of consumption and absorption of phosphorus, phosphorus efficiency

شناخت برخی روش‌های رج‌بندی جهت بررسی تاثیر عوامل محیطی روی ساختار جوامع ریزجانداران خاک

قباد جلالی*[1]، جواد زمانی[1]

۱- گروه علوم خاک دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران (gh.jalali@ujiroft.ac.ir)

چکیده

یکی از موضوع‌های مهم در علوم مختلف، طبقه‌بندی ویژگی‌های گوناگون (در دامنه‌ی مربوط به آن علم) و توصیف و بررسی آماری طبقات حاصل و در نهایت، بررسی ارتباط‌های موجود بین طبقات با همدیگر و با دیگر ویژگی‌های وابسته می‌باشد. برای نمونه، در علوم گیاهی، طبقه‌بندی پوشش گیاهی و بررسی ارتباط بین پوشش گیاهی و ویژگی‌هایی چون نوع خاک، آب و هوا، جهت جغرافیایی و غیره، از گذشته تاکنون (و بدون شک در آینده) بسیار مورد توجه بوده است. در علوم خاک نیز مطالعه و بررسی آماری ترکیب جوامع ریزجانداران خاک و ارتباط آن‌ها با سایر ویژگی‌های خاک و همچنین عوامل ناشی از فعالیت انسان روز به روز در حال افزایش است. پیشتر بررسی‌های آغازین، به‌صورت تجزیه و تحلیل‌های تشریحی و توصیفی انجام می‌پذیرفتند و از روش‌های ریاضی و آماری استفاده‌ی چندانی نمی‌شد. آنالیز رج‌بندی، به‌عنوان روشی برای دسته‌بندی داده‌ها، به‌طور گسترده‌ای توسط اکولوژیست‌ها برای مطالعه ارتباط گونه‌ها و شرایط محیطی استفاده شده است و هم‌چنان جایگاه ویژه‌ای را دارا می‌باشد که در این مقاله هدف معرفی برخی از آن‌ها را داریم.

واژگان کلیدی: آنالیز رج‌بندی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، تحلیل تطبیقی متعارف (CCA)، مقیاس‌گذاری چند بعدی غیرمتریک (NMDS).

مقدمه

روش‌هایی که در آمار غیرکلاسیک بسیار مد نظر قرار گرفته‌اند را می‌توان به دو دسته‌ی کلی «روش‌های طبقه‌بندی[1] و روش‌های رسته‌بندی یا رج‌بندی» تقسیم نمود. روش طبقه‌بندی، بر مبنای نظریه‌ی جامعه‌شناختی و روش رج‌بندی، بر اساس تحلیل گرادیان[2] توسعه یافته‌اند. تحلیل گرادیان، خود به دو شیوه‌ی "مستقیم" و "غیرمستقیم" قابل اجرا است. در حالت مستقیم، تغییرات متغیر مورد نظر (مانند پوشش گیاهی یا ساختار گونه‌های ریزجانداران) به‌طور مستقیم از طریق بررسی عوامل محیطی (مانند ویژگی‌های خاک) مطالعه می‌گردد و در حالت غیرمستقیم، تغییرات متغیر مورد نظر به تنهایی و جدا از عوامل محیطی مطالعه می‌شود و عوامل محیطی فقط در مرحله‌ی تفسیر داده‌ها وارد می‌شوند (مصداقی، ۱۳۸۰). به‌عبارت دیگر، روش‌های رج‌بندی را می‌توان به دو دسته‌ی مستقیم و غیرمستقیم تقسیم نمود. در روش رج‌بندی مستقیم، واحدهای نمونه در امتداد شیب تغییرات محیطی مورد مطالعه مرتب می‌گردند؛ اما در شیوه‌ی رج‌بندی غیرمستقیم، شیب تغییرات محیطی بر اساس چگونگی قرارگیری گونه‌ها یا طبقات مشخص می‌شود (مقدم، ۱۳۸۰).

1 Classification methods

2 Gradient analysis

با توجه به آنچه گفته شد؛ روشن است که فرایند داده‌پردازی و فناوری‌های استخراج اطلاعات، ما را قادر می‌سازد تا ترکیب جوامع ریزجانداران خاک را در ارتباط با ویژگی‌های محیطی بررسی و ارزیابی کنیم. این موضوع، فهم ما را در مورد تاثیر عوامل محیطی روی ساختار جوامع ریزجانداران خاک بهبود می‌بخشد.

برخی روش‌های رجبندی

روش‌های رجبندی قسمتی از تحلیل شیب تغییرات محیطی هستند که برای تبیین و تقلیل داده‌ها به‌کار می‌روند. در این روش‌ها، واحدهای نمونه بر اساس ارتباطشان با یک یا چند محور مختصاتی، در موقعیت مختصاتی خاصی در دستگاه مختصات قرار می‌گیرند که این مرتب شدن، اطلاعات فراوانی را درباره‌ی مشابهت‌های اکولوژیکی نمونه‌ها مهیا می‌سازد. به بیان ساده‌تر، در دستگاه مختصات، نقاط نزدیک به‌هم (نسبت به نقاط دورتر)، شباهت بیشتری در واکنش به شرایط محیطی دارند. اصلی‌ترین هدف رجبندی، خلاصه‌سازی است که در واقع با فشرده و خلاصه کردن مجموعه‌ی انبوه داده‌ها، شناخت روابط اکولوژیکی مقدور می‌گردد. در هر حال، رجبندی، کوششی برای بررسی روابط بین توزیع گونه‌ها (مانند جوامع ریزجانداران خاک) و توزیع عوامل محیطی (مانند ویژگی‌های خاک) و گرادیآن‌های مربوطه می‌باشد. از جمله روش‌های عمده‌ی رجبندی تحلیل مؤلفه‌های اصلی[3] (PCA)، تحلیل تطبیقی قوس‌شکن[4] (DCA)، مقیاس‌بندی چند بعدی[5] (MDS) و تحلیل تطبیقی متعارف[6] (CCA) را می‌توان نام برد که موارد اول، دوم و سوم، جزء روش‌های تحلیل گرادیان غیرمستقیم می‌باشند و مورد چهارم، از انواع تحلیل گرادیان مستقیم محسوب می‌شود (طهماسبی، ۱۳۹۰).

۱- تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA)

اصولاً اگر تعداد متغیرهای مورد اندازه‌گیری زیاد باشد محاسبه ضریب همبستگی بین آن‌ها افزایش می‌یابد و لذا تفسیر آن‌ها مشکل خواهد بود. در نتیجه محققان به‌دنبال روش‌هایی بودند که داده‌ها را کاهش دهد به‌طوری‌که این مجموعه کاهش یافته بیشترین واریانس موجود در داده‌ها را توجیه کند. روش PCA به‌عنوان یکی از این روش‌ها می‌تواند تغییرات کل یک سیستم را با تعداد کمتر متغیر Z (مولفه) بیان نماید. در این شرایط اطلاعاتی که در P متغیر اولیه هستند در مولفه‌ها جمع می‌شوند و بنابراین Z مولفه را می‌توان به جای P متغیر اولیه به‌کار برد. به‌عبارتی مؤلفه اول بیشترین واریانس موجود در داده‌ها را توجیه می‌کند و سپس دومین تا آخر. در ضمن هر مؤلفه با مؤلفه دیگر همبستگی نداشته و مستقل می‌باشد (یعنی عمود بر هم می‌باشند) (Gauch, 1999).

اگر دو مؤلفه اصلی اول مجموعاً واریانس بالایی از کل داده‌ها را توجیه کنند، می‌توان با پلات کردن این دو مولفه، متغیرها را به‌خوبی از هم متمایز کرد. پلات دوگانه[7] ترسیم شده موقعیت ویژگی‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. در پلات دوگانه رسم شده هر چه فاصله بردارها کمتر باشد نشان دهنده همبستگی بیشتر بین متغیرها است. از مزیت‌های این روش این است که به‌راحتی می‌توان روابط مثبت یا منفی بین متغیرها را مشاهده کرد (گریناکری و پریمیسریو، ۲۰۱۴). در حقیقت هدف اصلی این روش کاهش تعدا زیاد متغیرهای همبسته به یک یا چند متغیر غیرهمبسته است که همان محورها یا مولفه‌هایی عمود برهم هستند. محورهای حاصل با متغیرهای اولیه همبستگی داشته و برآیندی از متغیرهای اولیه می‌باشند (طهماسبی، ۱۳۹۰).

3 Principal component analysis (PCA)
4 Detrended correspondence analysis (DCA)
5 Multidimensional scaling (MDS)
6 Canonical Correspondence Analysis (CCA)
7 Bi Plot

قابل ذکر است PCA اولین بار توسط پیرسون (۱۹۰۱) ارائه شد و برای اولین بار به‌وسیله گودال (۱۹۵۴) با نام تحلیل عاملی در اکولوژی مورد استفاده قرارگرفت (طهماسبی، ۱۳۹۰).

۲- مقیاس‌گذاری چند بعدی غیرمتریک[8] (NMDS)

مقیاس‌گذاری چند بعدی (MDS) مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری است که اغلب برای بصری‌سازی اطلاعات استفاده می‌شود تا از طریق آن شباهت‌ها و عدم شباهت‌ها در داده‌ها کشف شوند. MDS با ماتریسی از شباهت‌ها و یا عدم شباهت‌ها شروع شده و سپس برای هر موضوع در فضای N بعدی جایگاهی ایجاد می‌کند. الگوریتم‌های MDS بر اساس ماتریس ورودی به طبقات مختلفی تقسیم می‌شوند، مانند: مقیاس‌گذاری چند بعدی کلاسیک، مقیاس‌گذرای چند بعدی متریک، مقیاس‌گذاری چند بعدی غیرمتریک. به MDS کلاسیک MDS ترگرسون و ترگرسون گاور نیز می‌گویند. در MDS متریک روش کلاسیک گسترش می‌یابد، این گسترش در مورد ماتریس ورودی و تابع زوال است. تابع زوال در این روش به نام استرس[9] شناخته می‌شود. برخلاف MDS متریک، MDS غیرمتریک رابطه‌ای غیرمتری بین عدم شباهت‌های ماتریس موضوع به موضوع ایجاد می‌کند (Clark, 1993). تحلیل حداقل فضای لویس گاتمن مثالی از روش ناپارامتری MDS است. از کاربردهای MDS می‌توان بصری‌سازی علمی و داده‌کاوی در زمینه‌هایی مانند علوم‌شناختی، روان‌سنجی تجارت و اکولوژی را نام برد (Greenacre, and Primicerio, 2014).

در داده‌های اکولوژیکی ماتریس فاصله بین گونه‌ها و یا ماتریس فاصله بین واحدهای نمونه‌برداری یک ساختار چند بعدی دارد که از ارتباطی که گونه‌ها و یا واحدهای نمونه‌برداری با محیط دارند، شکل می‌گیرد. روش‌های رجبندی عمدتاً برای آشکار ساختن ساختار چند بعدی الگوهای موجود در جوامع گیاهی یا حیوانی ارائه شدند. روش‌های نظیر تحلیل مولفه‌های اصلی و تحلیل تطبیقی متعارفی و بقیه روش‌ها تنها قسمتی از این ساختار را نمایش می‌دهند. مقیاس‌گذاری چند بعدی غیرمتریک محدوده وسیع‌تری از ساختار چند بعدی را آشکار می‌سازد. این روش یکی از روش‌های غیرمستقیم رجبندی است که هدف آن کاهش تعداد ابعاد فضایی موجود در داده‌ها به شکلی است که ابعاد کمتری استخراج گردد و این ابعاد استخراج شده بهترین برآورد را از فواصل بین واحدهای نمونه‌برداری در فضای چند بعدی داشته باشند (Clark, 1993).

این روش توسط کروسکال ۱۹۶۴ ارائه شد که ارائه گرافیکی روابط موجود در جوامع زنده از اهداف اولیه به‌شمار می‌آمد. مانند بقیه روش‌های رجبندی تعیین مهمترین مولفه‌هایی (ابعاد یا محور) که توجیه کننده تغییرات در داده‌ها هستند و بررسی ارتباط این مولفه‌ها با گونه‌ها از اهداف دیگر این روش است. در این روش هیچ پیش‌فرضی در زمینه ارتباط خطی بین متغیرها و گونه‌ها وجود ندارد و برای متغیرهایی که توزیع فراوانی آن‌ها نرمال نیست، قابل استفاده است. انواع شاخص‌های فاصله را می‌توان برای محاسبه ماتریس فاصله در این روش استفاده کرد. در نتیجه استفاده از این روش برای داده‌های اکولوژیکی بسیار مناسب است (Greenacre, and Primicerio, 2014).

۳- تحلیل تطبیقی متعارف (CCA)

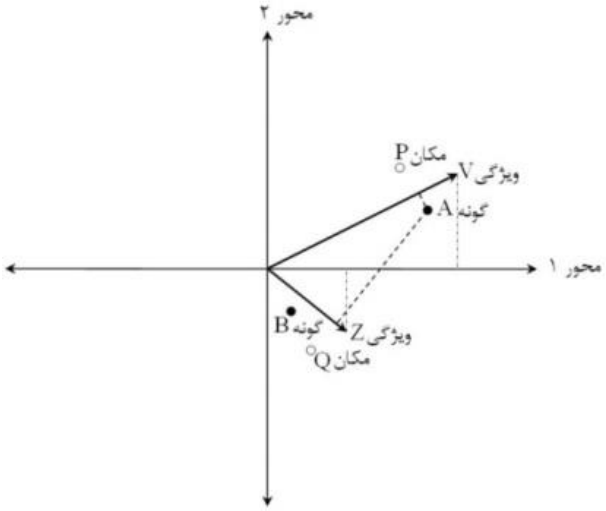
تحلیل تطبیقی متعارف (CCA)، توسط اکولوژیست هلندی به نام تربراک توسعه یافته است (ter Braak and Verdonschot, 1995). بررسی تغییرات تدریجی ناشی از کنترل‌های محیطی و پارامترهای آن بر ترکیب گونه‌ها (مانند گیاهی یا جوامع ریزجانداران)، موضوع CCA است. در این نوع رسته‌بندی، از طریق برقراری یک تابع رگرسیونی چندگانه بین داده‌های گونه‌ها

8 Non-metric multidimensional scaling (NMDS)

9 Stress

و متغیرهای محیطی، سهم متغیرهای محیطی اندازه‌گیری‌شده در تغییرات گونه‌ها مشخص می‌شود و مهم‌ترین عوامل محیطی تأثیرگذار بر تغییرات گونه‌ها تعیین می‌گردند (Palmer, 1993). اساس روش CCA، تعیین موقعیت واحدهای نمونه‌برداری شده و یا ترکیب گونه‌ای آن‌ها بر روی چند محور مختصات و نسبت به یکدیگر است. بر این اساس می‌توان حداکثر اطلاعات را درباره‌ی شباهت‌های اکولوژیکی بین آن‌ها و همچنین عواملی که باعث چنین الگویی می‌گردند شناسایی و تعیین نمود. در واقع، روش مزبور، نوعی شیوه‌ی توصیفی محسوب می‌شود و پژوهش‌گر را قادر می‌سازد تا درباره‌ی ساختار جامعه‌ی مورد نظر و به دنبال آن، روابط احتمالی بین تغییرات محیط و گونه‌ها، اظهار نظر نماید. در این روش، قاب‌ها یا پلات‌ها (مکان‌های نمونه‌برداری)، توده‌های گیاهی یا خاکی و یا واحدهای نمونه‌برداری بر مبنای تشابه صفات (ترکیب گونه‌ای) و عوامل کنترل‌کننده‌ی محیطی، در ارتباط با یکدیگر و در محورهای مختصات دو یا سه بُعدی مرتب می‌شوند؛ به‌طوری که شباهت‌های بوم‌شناختی آن‌ها پدیدار می‌گردند. بنابراین، داده‌های واردشده در CCA، نه تنها داده‌های مربوط به ماتریس گونه در قاب‌ها یا پلات‌ها هستند؛ بلکه همراه آن‌ها داده‌های ماتریس عوامل محیطی در قاب‌ها نیز به‌کار رفته‌اند. در هر حال، CCA در صورتی به‌طور مؤثر اجرا می‌شود که همراه با نمونه‌ها یا قاب‌های داده‌های گونه‌ها، مجموعه‌ی خوبی از داده‌های محیطی نیز جمع‌آوری شده باشد (ter Braak and Verdonschot, 1995).

خروجی روش CCA را به‌راحتی می‌توان بر روی دیاگرام‌ها یا نمودارها به‌صورت پلات دوگانه (گونه و پلات یا گونه و عوامل محیطی) و یا پلات سه‌گانه (گونه، پلات و عوامل محیطی) مشاهده کرد و روابط موجود را مورد تفسیر قرار داد. بر روی این دیاگرام‌ها، گونه، پلات (مکان) و عوامل محیطی، به‌ترتیب با نقاط، دوایر توخالی و فلش نمایش داده می‌شوند (شکل ۱). جهت فلش، حداکثر تغییر عوامل محیطی را در سرتاسر دیاگرام در دسترس قرار می‌دهد. آن دسته از عوامل محیطی که دارای فلش‌های بزرگ هستند، در مقایسه با فلش‌های کوتاه، همبستگی بیشتری دارند و تأثیر بیشتری بر روی تغییرات جامعه می‌گذارند (Gauch, 1999). این ارتباط از طریق تصویر فلش روی هر محور (رسم خط عمودی از فلش روی محور) مشخص می‌شود. برای نمونه در شکل ۱، ویژگی V تأثیر بیشتری نسبت به ویژگی Z دارد. هر نقطه هم که مربوط به گونه است می‌تواند با هر یک از فلش‌ها که معرف یک عامل محیطی است مرتبط و تفسیر گردد. این ارتباط از طریق رسم خط عمودی از نقطه به فلش حاصل می‌شود. ترتیب قرارگیری نقاط بر روی فلش از نوک پیکان به طرف مبدأ مختصات، مکان گونه‌ها را در ارتباط با عامل محیطی نشان می‌دهد. گونه‌هایی با تصاویر عمودی نزدیک و یا در ورای نوک پیکان، به‌طور قوی، همبستگی مثبتی با عامل محیطی دارند و آن‌هایی که در جهت عکس و در انتهای مخالف پیکان باشند، کم‌تر تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. برای نمونه در شکل ۱، ویژگی V برای گونه‌ی A، تأثیر بیشتری نسبت به ویژگی Z دارد. به‌عبارت دیگر، گونه‌ی A با ویژگی V ارتباط بیشتری دارد. فاصله‌ی بین هر گونه و پلات، نشانگر ارتباط آن‌ها با هم‌دیگر است؛ به‌طوری که فاصله‌ی کمتر، بیانگر ارتباط بیشتر می‌باشد. برای نمونه در شکل ۱، گونه‌ی A در مکان P فراوانی بیشتری نسبت به مکان Q دارد. به‌عبارت دیگر، گونه‌ی A با مکان P ارتباط بیشتری دارد.



شکل ۱- پلات سه‌گانه‌ی فرضی حاصل از روش CCA برای گونه‌های A و B، ویژگی‌های V و Z، و مکآن‌های P و Q.

فهرست منابع

مصداقی، م. (۱۳۸۰). توصیف و تحلیل پوشش گیاهی (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۷ صفحه.

مقدم، م.ر. (۱۳۸۰). اکولوژی توصیفی و آماری پوشش گیاهی. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۸۵ صفحه.

طهماسبی، پ. (۱۳۹۰). رجبندی (تجزیه و تحلیل‌های چند متغیره در علوم محیطی و منابع طبیعی). انتشارات دانشگاه شهرکرد. ۱۸۱ صفحه.

Gauch, Jr., H.G. (1999). Multivariate Analysis in Community Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, pp 168.

Greenacre, M. and Primicerio, R. (2014). Multivariate Analysis of Ecological Data. Fundación BBVA (FBBVA). PP 377.

Clark, K.R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology, 18: 117-143.

ter Braak, C.J.E. and Verdonschot, P.E.M. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. Aquatic Sciences, 57:3.

Palmer, M.W. (1993). Putting things in even better order: the advantages of canonical correspondence analysis. Ecology, 74: 2215-2230.

Understanding some ordination methods to investigate the impact of environmental factors on the structure of soil micro-organisms

Ghobad Jalali, Javad Zamani
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Kerman, Iran.
gh.jalali@ujiroft.ac.ir

One of the important topics in different sciences is the classification of various features (in the scope of that science) and the description and statistical analysis of the resulting classes and finally, the study of the relationships between classes with each other and other related features. For example, in plant science, the classification of vegetation and the study of the relationship between vegetation and some parameters such as soil type, climate, geographical direction, etc., have been very important from the past to the present. Also in soil science, the statistical study of the composition of soil microorganisms and their relationship with other soil characteristics as well as factors caused by human activity is increasing day by day. Initial studies were done in the form of descriptive and descriptive analyzes and mathematical and statistical methods were not used much. Ordination analysis, as a method for data classification, has been widely used by ecologists to study the relationship between species and environmental conditions, which we have tried to describe some of these methods in this article.

Keywords: Ordination analysis, Principal component analysis (PCA), Canonical Correspondence Analysis (CCA), Non-metric multidimensional scaling (NMDS)

بررسی شاخص های تحمل شوری در گیاه کینوا تحت تاثیر مایه زنی قارچ *سیرندیپتا ایندیکا*

سجاد علیار[1]، ناصر علی اصغرزاد[2]، شاهین اوستان[3]، عادل دباغ محمدی نسب[4]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
aliyarsajad73@gmail.com

۲- استاد بیولوژی و بیوتکنولوژی خاک گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
n-aliasghar@tabrizu.ac.ir

۳- استاد شیمی خاک گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز oustan@tabrizu.ac.ir

۴- استاد گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. adeldabb@yahoo.com

چکیده

استفاده از ارگانیسم‌های مفید خاکزی مثل قارچ‌ها برای برقراری روابط همزیستی با گیاهان، نقش موثری در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی را بر عهده دارند. بر این اساس اثر دو سطح قارچ *Serendipita indica* (تلقیح و عدم تلقیح) و شوری حاصل از نمک کلرید سدیم در پنج سطح شامل (۱/۴۷ هدایت الکتریکی اولیه خاک)، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس‌بر متر) به صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در یک خاک شن‌لومی استریل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر متقابل شوری و مایه‌زنی قارچ بر نسبت غلظت کلسیم به سدیم شاخصاره و ریشه معنی‌دار ($P\leq0.05$) ولی بر نسبت پتاسیم به سدیم معنی‌دار نشد. با این حال، نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و شاخصاره گیاه کینوا نسبت به شاهد به ترتیب ۹۲ و ۹۲/۴۱ درصد کاهش یافت و کاهش این نسبت با افزایش تنش شوری در ارتباط بود. نسبت کلسیم به سدیم شاخصاره در تیمار تلقیح فقط در شوری شاهد، ۲۸ درصد در مقایسه با عدم تلقیح افزایش یافت ولی در بخش ریشه با افزایش سطوح شوری ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دسی زیمنس بر متر با تیمار تلقیح به ترتیب ۳۱/۹۸، ۶۸/۳۶ و ۷۸/۳۳ درصد نسبت به عدم تلقیح افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: قارچ اندوفیت، K/Na، Ca/Na ، غلظت عناصر **و** نسبت یونی

مقدمه

شوری خاک ازجمله شایع‌ترین تنش‌های محیطی است که تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی را در اکثر کشورها بخصوص کشورهای دارای اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک نظیر ایران را به مخاطره انداخته است (Aahraf *et al.*, 2008). از مهمترین پیامدهای شوری می‌توان به کاهش آب قابل استفاده گیاه، ایجاد مسمومیت توسط برخی یون‌ها، تنش‌های اسمزی، کمبود عناصر غذایی ضروری، نسبت‌های بالای Na^{+1}/Ca^{+2}، Na^{+1}/K^{+1}، Mg^{+2}/Ca^{+2} و Cl^{-1}/NO_3^- در گیاه، ناهنجاری‌های تغذیه‌ای، کاهش رشد و کیفیت محصول اشاره نمود (Munns, 2005). تجمع یون سدیم حاصل از تنش شوری علاوه بر ایجاد نکروز در برگ‌های مسن، دارای اثر بازدارندگی بر جذب سایر عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن و روی است که منجر به بروز دامنه‌ای از مشکلات اسمزی و متابولیک برای گیاه می‌شود (Munns *et al.*, 2008). رقابت جدی موجود بین این دو یون یعنی K و Na در فرایندهای مختلف متابولیسمی موجب می‌شود تا هر گونه تغییر در نسبت بین این دو، اثر تعیین کننده‌ای بر روند رشد گیاه داشته باشد. در بعضی گونه‌هایی که با دفع نمک بطور نسبی به خارج از گیاه و یا جذب انتخابی، به نوعی مقاومت در برابر تنش دست می‌یابند. برای این منظور، بررسی روش‌های جدید برای رویارویی با این چالش‌ها ضروری است یکی از روش‌های مقابله با این مشکل کاشت گیاهان متحمل به شوری و به‌ویژه هالوفیت (نمک دوست) نظیر کینوا است (Koyro and Eisa, 2008). کینوا (Quinoa willd) *Chenopodium quinoa* گیاهی است بومی کوه‌های آند در بولیوی، شیلی و پرو که برای دانه کشت می‌شود ولی از برگ‌های جوان آن‌هم به‌صورت سبزی تازه و یا پخته استفاده می‌شود. دانه کینوا کم‌حجم و بسیار خوش‌هضم بوده و یک منبع غنی از پروتئین، آهن، منیزیم، فیبر، فسفر و ویتامین B۲ می‌باشد، در مقایسه با غلات متداول از میزان پروتئین بالاتر و تعادل اسیدآمینه‌ای مطلوب‌تری برخوردار است.

ارزش غذایی کینوا به‌وسیله سازمان خواروبار جهانی با شیر خشک مقایسه شده است (Jacobsen *et al.*, 2003). این گیاه مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیر زیستی مانند سرما، شوری و خشکی از خود نشان می‌دهد و به‌خوبی قابلیت رشد در شرایط نامساعد محیطی را دارد (Jacobsen *et al.*, 2009). در کنار مهندسی ژنتیک، راه‌های بیولوژیک مثل استفاده از انواع باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه، قارچ‌های میکوریزا و اندوفیت برای کاهش تنش شوری به‌عنوان راه مفیدی پیشنهاد شده است (Dixon *et al.*, 1993). یکی از قارچ‌های اندوفیت، قارچ *Piriformospora indica* است که در سال ۱۹۹۸ توسط وارما و همکاران از خاک مناطق بیابانی کشور هندوستان جداسازی شد. اخیرا این قارچ بر اساس گزارش Weis و همکاران (۲۰۱۶) به *Serendipita indica* تغییر کرده است. *S. indica* دارای دامنه وسیعی از گیاهان میزبان است که با کلنیزاسیون ریشه آنها سبب تحریک شدید رشد میزبان‌های خود می‌گردد. گیاهان میزبان شامل انواع خشکی‌پسند، بوته‌های یکساله و چند ساله و درختان چوبی می‌باشند (singh *et al.*, 2000). تاثیر تلقیح قارچ *S.indica* در افزایش بیوماس گیاهانی نظیر ذرت، جعفری، توتون، آرتمسیا و درخت سپیدار توسط Verma و همکاران (۱۹۹۸) نیز گزارش شده است. نتایج حاصل از مطالعات آنها حاکی از افزایش بیوماس قسمت‌های هوایی و ریشه گیاهان تلقیح‌شده با قارچ به میزان دو برابر نسبت به گیاهان شاهد تلقیح‌نشده بود. اثر تحریک‌کنندگی رشد این قارچ بر گیاهان لگومینوز شامل نخود، نخود فرنگی، لوبیا، سویا و اسفناج نیز اثبات شده است (Rai and Varma, 2005). خشکی و شوری شایع‌ترین تنش‌های محیطی بوده که به عنوان اصلی‌ترین عامل کاهش عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شوند. روش‌های بیولوژیک مبتنی بر استفاده از پتانسیل ارگانیسم‌های مفید خاکزی در برقراری روابط همزیستی با گیاهان، نقش موثری در افزایش مقاومت گیاه به تنش‌های محیطی بر عهده دارند. اهمیت برقراری ارتباط همزیستی قارچ *S. indica* با گیاهان مختلف در تحریک رشد گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد آن و نیز افزایش توان تحمل گیاه به تنش‌های شوری و خشکی توسط محققین مختلف گزارش شده است (Rai and Varma, 2005). با توجه به پتانسیل گزارش‌شده از قارچ *S. indica* در تحقیقات مختلف و اهمیت گیاه کینوا، در این پژوهش اثر قارچ *S. indica* بر غلظت عناصر غذایی و نسبت k/Na، Ca/Na در این گیاه در شرایط تنش شوری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه، تشخیص و تکثیر مایه تلقیح *S. indica*

قارچ‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ هفته انکوباسیون شدند. پس از ظهور کلنی‌ها و رشد کافی قارچ، به منظور تهیه مایه تلقیح، حدود پنج میلی‌لیتر محلول توئین ۲۰ (۰/۰۰۵ درصد) به سطح پتری اضافه گردید و با رابر به مدت ۱۰-۵ دقیقه سائیده شد و سوسپانسیون محتوی اسپور و هیف در یک ظرف استریل جمع‌آوری شد و پس از جمع‌آوری اسپورهای قارچ، تعداد آنها با استفاده از لام نئوبار شمارش ($۶/۳\times۱۰^{۶}$ اسپور در میلی لیتر) شد. سپس به میزان ۸۰ گرم پرلیت که قبلاً استریل شده بود با مجموع سوسپانسیون حاصل‌شده (۱۵۵ میلی‌لیتر) مخلوط گردید.

کشت گیاه و اعمال تیمارها

ابتدا در داخل گلدان ۲۳۰۰ گرم خاک استریل (در فشار یک اتمسفر و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت در اتوکلاو استریل شده) ریخته شد. ۷ عدد بذر گیاه کینوا که استریل شده بود در هر گلدان کشت شد به این صورت که در گلدان‌ها ۷ حفره ایجاد و با اسپاتول استریل زاد مایه قارچی به میزان ۲/۵ گرم درون حفره‌ها ریخته شد و بذر روی آن قرار گرفت سپس دو سانتی‌متر خاک استریل روی بذرها را پوشاند. برای گلدان‌های بدون قارچ همان مقدار پرلیت استریل خیس شده با محلول ۵ هزارم درصد توئین ۲۰ مخلوط شد و درون حفره‌ها ریخته شد. گلدان‌ها در شرایط گلخانه با فتوپریود ۱۲ ساعت روشنایی طبیعی نور خورشید و دمای ۳±۲۳ درجه‌ی سانتی‌گراد در روز و ۳±۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد در شب و به مدت دو ماه از تاریخ کشت نگهداری شدند. تیمارهای شوری با توجه به مطالعات انجام‌شده در رابطه با این گیاه در پنج

سطح انتخاب شد. پس از تعیین نمودار EC تعادلی مقدار نمک موردنظر در سه تقسیط به گلدان‌ها اضافه شد. یک‌سوم نمک به‌صورت پودر در ابتدای کشت با خاک گلدان کاملاً مخلوط شد و دوسوم باقی‌مانده در دو تقسیط، در مقدار آب لازم حل‌شده و به گلدان‌ها اضافه گردید به‌طوری‌که رطوبت خاک در FC ۰/۸ حفظ شود اعمال تنش شوری ۱۴ روز بعد از کاشت گیاهان اعمال شد. گیاهان تا پایان مرحله‌ی رویشی (۲ ماه) رشد یافته و به‌محض ظهور اولین گل دریکی از گلدان‌ها برداشت شدند.

اندازه‌گیری غلظت عناصر در شاخصاره و ریشه گیاهان

بعد از پایان دوره رشد شاخصاره و ریشه گیاهان به‌طور جداگانه در هر گلدان برداشت و وزن‌تر شاخصاره و ریشه اندازه‌گیری و بعد از خشک شدن در دمای ۷۰ درجه سلسیوس در آون فن دار وزن خشک آن‌ها نیز تعیین شد. برای اندازه‌گیری عناصر، هضم نمونه‌های گیاهی به روش خشک سوزانی انجام گرفت (Westerman, 1990). برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم و سدیم در عصاره‌ها از دستگاه فلیم فتومتر (Corning 410) استفاده شد و برای اندازه‌گیری غلظت کلسیم به روش (Waling *et al.*, 1989) و از دستگاه جذب اتمی مدل Shimdzu, AA-۶۳۰۰ استفاده گردید.

تجزیه وتحلیل آماری

این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش پنج سطح شوری (شامل شاهد (هدایت الکتریکی اولیه خاک)، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ دسی‌زیمنس‌بر متر) و دو سطح تیمار قارچی (تلقیح و عدم تلقیح) که درمجموع ۳۰ واحد آزمایشی وجود داشت. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام و نمودارها در Excel رسم شد.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک مورد آزمایش در این تحقیق در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت	کربنات کلسیم (٪)	درصد وزنیFC	درصد وزنیPWP	pH	%OC	EC_e ($dS.m^{-1}$)	$K(mg.kg^{-1})$	$P(mg.kg^{-1})$
شن‌لومی	۵/۸۳	۲۰/۷	۹/۵	۷/۳۱	۰/۶۳	۱/۴۷	۳۳۳/۲۷	۱۰/۸

نسبت غلظت پتاسیم به سدیم شاخصاره و ریشه (K/Na)

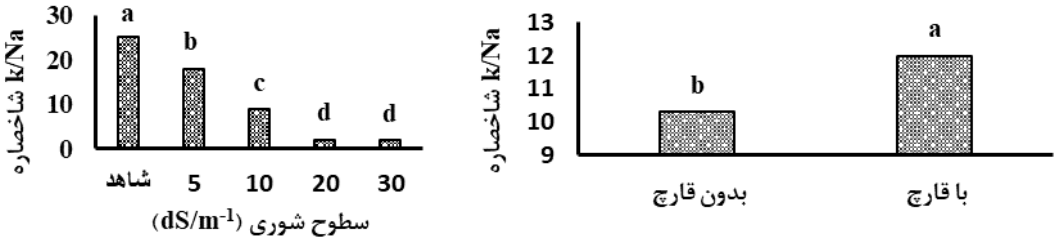
نتایج نشان می دهد که اثر اصلی سطوح شوری و قارچ بر نسبت K/Na شاخصاره و ریشه در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشند. همچنین مطابق با این جدول اثر متقابل قارچ و سطوح شوری بر نسبت K/Na شاخصاره و ریشه در سطح احتمال غیر معنی‌دار می‌باشد. با توجه به شکل (۱ و ۲) مشاهده می شود که با افزایش تنش شوری نسبت K/Na ریشه کاهش می‌یابد؛ بالاترین نسبت در سطح شوری شاهد و پایین‌ترین نسبت K/Na در سطح شوری ۳۰ دسی‌زیمنس‌برمتر می‌باشد. بین سطوح شوری تا ۲۰ دسی‌زیمنس‌برمتراختلاف معنی‌دار مشاهده می‌شود اما بین دو سطح ۲۰ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌دار نیست. مقایسه میانگین مایه‌زنی قارچ نشان می‌دهد که نسبت غلظت پتاسیم ریشه به سدیم ریشه در گیاه مایه‌زنی شده با قارچ نسبت به بدون قارچ به‌طور معنی‌داری بیشتر هستند (شکل ۱ و ۲).

افزایش جذب یون‌هایی از قبیل پتاسیم، کلر، سدیم و کلسیم از محلول خاک یکی از راه‌کارهای اساسی هالوفیت‌ها در پایین نگه‌داشتن پتانسیل اسمزی اجزا داخلی خود و درنتیجه تحمل در مقابل کم‌آبی ناشی از تنش شوری میباشد. به این واکنش گیاه در مقابل شوری تنظیم اسمزی گفته می‌شود. میزان تحمل گیاه بسته به یون به کار گرفته‌شده به‌منظور تنظیم اسمزی متفاوت می‌باشد (Jones *et al.*, 1984). به‌طور مثال هالوفیت‌هایی که بین سدیم و پتاسیم تمایز قائل هستند و بیشتر از یون پتاسیم برای تنظیم اسمزی استفاده می‌کنند دارای تحمل بیشتری نسبت به هالوفیت‌هایی هستند که از یون سدیم بدین

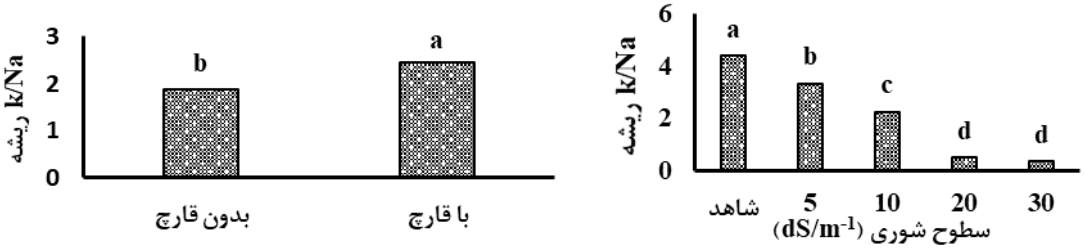
منظور استفاده می‌کنند. برخی از گلیکوفیت‌ها نیز با کاهش انتقال سدیم به برگ و فراهم آوردن غلظت بالای یون پتاسیم در سیتوپلاسم بین این دو کاتیون توازن ایجاد کرده و درنتیجه تحمل به شوری در آن‌ها افزایش می‌یابد. به‌طورکلی سازوکار غالب در اکثر گیاهان تحت تنش شوری پایین نگه‌داشتن غلظت سدیم و بالا نگه‌داشتن غلظت پتاسیم در اندام هوایی میباشد. درواقع بالا نگه‌داشتن نسبت پتاسیم به سدیم مهم‌تر از پایین نگه‌داشتن غلظت سدیم می‌باشد (Tester and Devenport, 2003). در رابطه با نسبت پتاسیم به سدیم هم در شاخصاره و هم در ریشه با افزایش تنش شوری این نسبت کاهش پیدا می‌کند ولی با مقایسه نمودارها خصوصاً در مورد ریشه متوجه می‌شویم که کارایی قارچ در سطوح پایین‌تر شوری بیشتر است.

نسبت غلظت کلسیم به سدیم ریشه و شاخصاره (Ca/Na)

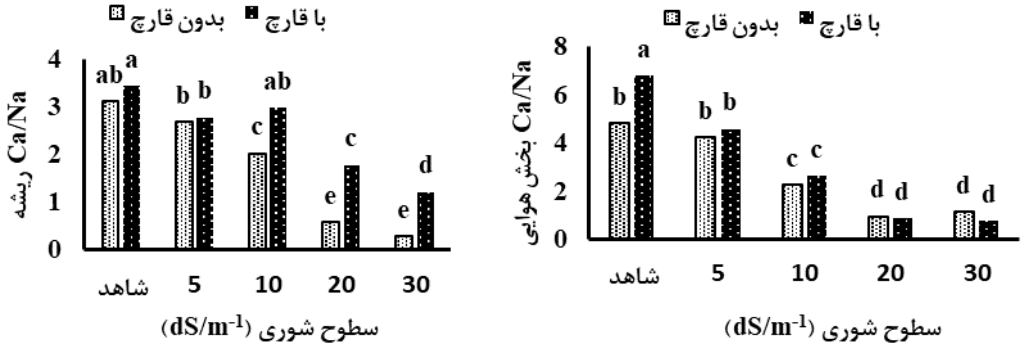
بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر اصلی شوری و اثر متقابل قارچ و سطوح شوری بر نسبت غلظت کلسیم شاخصاره به سدیم شاخصاره در سطح احتمال ۰،۰۱ معنی‌دار می‌باشند، همچنین اثر اصلی قارچ در سطح احتمال ۰/۰۵ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱). در بررسی اثر متقابل سطوح شوری و قارچ و نسبت Ca/Na شاخصاره شکل (۳) مشاهده می‌شود که با افزایش تنش شوری این نسبت کاهش می‌یابد. در مقایسه تیمار مایه‌زنی قارچ مشاهده می‌شود که به‌غیراز شوری شاهد که تیمار مایه‌زنی شده با قارچ به‌طور معنی‌داری (۲۸ درصد) بیشتر از بدون قارچ می‌باشد سایر سطوح شوری بین تیمار مایه زنی شده و عدم تلقیح تفاوت معنی داری مشاهده نمی‌شود. در مورد بخش ریشه، اثر اصلی سطوح شوری و قارچ بر نسبت غلظت Ca/Na ریشه در سطح احتمال ۰،۰۱ معنی‌دار می‌باشند همچنین اثر متقابل قارچ و سطوح شوری در سطح احتمال ۰،۰۵ معنی‌دار می‌باشند (جدول ۱). در بررسی اثر متقابل سطوح شوری و قارچ بر نسبت Ca/Na ریشه مشاهده می‌شود که با افزایش تنش شوری این نسبت کاهش می‌یابد؛ اما شدت کاهش در تیمارهای بدون قارچ بسیار بیشتر از تیمار با قارچ می‌باشد که این اختلاف در شوری‌های بالاتر کاملاً معنی‌دار و مشهود می‌باشد شکل (۳). با توجه به شکل ۳ مشاهده می‌کنیم که تا شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف با قارچ و بدون قارچ معنی‌دار نمی‌باشد ولی در شوری‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰، تیمار مایه‌زنی شده به‌طور معنی‌داری بیشتر از بدون قارچ می‌باشد و در این سطوح مایه زنی قارچ توانست نسبت Ca/Na ریشه را به ترتیب (۳۱/۹۸، ۶۸/۳۶ و ۷۸/۳۳ درصد) افزایش دهد. Porcelli و همکاران (۱۹۹۵) در بررسی نسبت‌های یونی و رشد کلزا در شرایط شور و قلیائیت خاک نتیجه گرفتند که با افزایش شوری، نسبت‌های یونی K/Na و Ca/Na به‌طور معنی‌داری در بافت گیاهی کاهش یافت. طبق نظر Cachorro و همکاران (۱۹۹۴)، غلظت بالای کلسیم منجر به کاهش سمیت سدیم در شرایط شور گردید. بنابراین غلظت بالای کلسیم باعث کاهش نسبت Ca/Na در اندام‌های هوایی و در نتیجه منجر به رشد و افزایش تحمل گیاه شد. نقش Ca^{2+} در سازگاری به تنش شوری بسیار پیچیده است اما در هر حال تعادل این کاتیون در داخل سلول جهت سازگاری به تنش، ضروری به نظر می‌رسد (Niu *et al.*, 1995). زمانی که گیاه تحت تأثیر شوری، با کمبود Ca^{2+} مواجه می‌شود، (Hong-Bo *et al.*, 2008)، در واقع به‌هم‌خوردن تعادل یونی در اثر تنش شوری و نیز افزایش Na^{+} و Cl^{-} باعث کاهش جذب Ca^{2+} می‌شود (Sudhir and Murthy, 2004). نتایج تحقیقات نشان داده است که تحت تنش شوری ژنوتیپ‌هایی از گوجه‌فرنگی که قادر به جذب مقدار بیشتری از Ca^{2+} از محیط هستند نسبت Na^{+}/Ca^{2+} در اندام‌های هوایی آنها پایین است (Dasgan *et al.*, 2002). در این تحقیق اگرچه غلظت هر دو یون کلسیم و سدیم با افزایش شوری زیاد می شود ولی به دلیل تنش واردشده و منبع شوری افزایش سدیم خیلی زیادتر از کلسیم می‌باشد به همین دلیل با افزایش شوری نسبت Ca/Na کاهش می‌یابد.



شکل ۱- اثر اصلی تنش شوری و قارچ بر نسبت k/Na شاخصاره



شکل ۲- اثر اصلی تنش شوری و قارچ بر نسبت k/Na ریشه



شکل۳- اثرات متقابل تنش شوری و مایه‌زنی قارچ بر نسبت Ca/Na شاخصاره و ریشه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش استفاده از قارچ اندوفیت *S. indica* نسبت به شاهد بدون قارچ، از لحاظ تأثیر بر نسبت Ca/Na،k/Na، مثبت ارزیابی شد. قارچ مذکور توانست در ایجاد تعادل یونی موثر باشد و متعاقب آن در کاهش اثرات تنش شوری نیز از کارایی بالایی برخوردار بود. مشخص شد که تنش شوری یکی از عوامل تأثیرگذار منفی بر غلظت عناصر و نسبت مذکور می‌باشد و با افزایش تنش شوری نسبت غلظت کلسیم و پتاسیم به سدیم کاهش یافت ولی مایه زنی قارچ توانست نسبت فوق را افزایش دهد. افزایش غلظت عناصر تحت تأثیر قارچ *S. indica* به احتمال زیاد به دلیل بهبود بهره‌برداری از آب و عناصر خاک در نتیجه تغییر در ساختار ریشه‌ها و افزایش انشعابات ریشه‌ها می‌باشد بنابراین استفاده از قارچ *S. indica* به‌عنوان یک راهکار مؤثر سازگار با محیط زیست برای مقابله با تنش شوری می‌باشد که می‌تواند بر رشد این گیاه در شرایط تنشی تأثیرگذار باشد. البته انجام مطالعات مزرعه‌ای در این زمینه ضروری می‌باشد.

منابع

1- Ashraf, M., Athar, H. R., Harris, P.J.C., and Kwon, T.R. (2008). Some prospective strategies for improving crop salt tolerance. *Advances in agronomy*, 97, 45-110.

2- Cachorro, P., Ortiz, A., and Cerda, A. (1994). Implications of calcium nutrition on the response of Phaseolus vulgaris L. to salinity. *Plant and Soil*. 159, 205-212.

3- Dasgan, H.Y., Aktas, H., Abak, K., and Cakmak, I. (2002). Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Science*, 163(4), 695-703.

4- Dixon, R., Vandeleyden, J., and Romero, D. (1993). Extension of nitrogen fixation to other crops. In *New Horizons In Nitrogen Fixation* (pp. 765-768). Springer, Dordrecht.
5- Jacobsen S. E., Mujica A., Jensen C. R. (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International*. 19, 99–109.
6- Jacobsen, S.E., Liu, F., Jensen, C.R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (Chenopodium quinoa Willd). *Scientia Horticulturae*, 122, 281_287.
7- Jones, H. G., and Cumming, I. G. (1984). Variation of leaf conductance and leaf water potential in apple orchards. *Journal of horticultural science*, 59(3), 329-336.
8- Hong-Bo Sh., Li-Ye, Ch., Cheruth, A.J. and Chang-Xing, Z. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants, *Current Research in Biologies*, 331, 215–225.
9- Koyro, H.W. and Eisa. S.S. (2008). Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of Chenopodium quinoa Willd. *Plant Soil*, 302, 79-90.
10- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist*, *167*(3), 645-663.
11- Niu, X., Bressan, R.A., Asegava, P.M.H., Panta, J. M. (1995). Ion homeostasis in NaCl stress invironments. *Plant physiology*, 109, 735-742.
12- Porcelli, C.A., Gutierrez Boem, F.H., and Lavado, R.S. (1995). The K/Na and Ca/Na ratios and rapeseed yield, under soil salinity or sodicity. *Plant and Soil*, 175, 251-255.
13- Rai, M., and Varma, A. (2005). Arbuscular mycorrhiza-like biotechnological potential of Piriformospora indica, which promotes the growth of Adhatoda vasica Nees. *Electronic Journal of Biotechnology*, *8*(1), 1-6.
14- Singh, A., Sharma, J., Rexer, K. H., and Varma, A. (2000). Plant productivity determinants beyond minerals, water and light: Piriformospora indica–A revolutionary plant growth promoting fungus. *Current science*, 1548-1554.
15- Sudhir, P., and Murthy, S.D.S. (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Potosynthetica*, 42(4), 481-486.
16- Tester, M., and Devenport, R. (2003). Na+ tolerance Na+ transport in higher plants. Annals of Botany. 91, 503-527.
17- Verma, S., Varma, A., Rexer, K. H., Hassel, A., Kost, G., Sarbhoy, A., Bisen, P., Bütehorn, B., Franken, P. (1998). Piriformospora indica, gen. et sp. nov., a new root-colonizing fungus. *Mycologia*, 90, 896–903.
18- Waling, I., Van Vark, W., Houba, V.J.G., and Van der Lee, J.J. (1989). Soil and Plant Analysis, a Series of Syllabi, Part 7: *Plant analysis procedures; Wageningen Agricultural University*.
19- Weiß, M., Waller, F., Zuccaro, A., and Selosse, M.A. (2016). Sebacinales–one thousand and one interactions with land plants. *New Phytologist*, 211(1), 20-40.
20- Westerman, R.L. (1990). Soil testing and plant analysis. Soil Science Society of America, Madison, WI.

Evaluation of salinity tolerance in quinoa plant under the influence of inoculation of Sirandpitaindica

Sajjad Aliyar, Nasser Ali Asgharzad, Shahin Oustan, Adel Dabbagh Mohamadi Nasab

Abstract

The use of beneficial soil organisms such as fungi to establish coexistence with plants have an effective role in increasing plant resistance to environmental stresses. Quinoa is a quasi-cereal crop with high cultivability in Iran that has good nutritional value and high growth and production potential in saline conditions. Accumulation of sodium ions due to salinity stress, in addition to causing necrosis in older leaves, has an inhibitory effect on the absorption of other nutrients and the rate of sodium transfer into the plant and therefore the ratio of K / Na and Ca / Na in its various organs can increase plant resistance. Be related to salinity. Accordingly, in this study, the effect of two levels of *Serendipita indica* (inoculation and non-inoculation) and salinity of sodium chloride salt in five surface areas (1.47 initial electrical conductivity of soil), 5, 10, 20 and 30 dS / m) to The factorial experiment was evaluated based on a completely randomized design with three replications in a sterile sandy loam soil. The results showed that the interaction effect of salinity and fungal inoculation on the ratio of calcium to sodium concentration was significant and the root was significant ($P \leq 0.05$) but not significant on the ratio of potassium to sodium. However, the ratio of potassium to sodium in the root and index of quinoa compared to the control decreased by 92% and 92.41%, respectively, and the decrease in this ratio was associated with increased salinity stress. The ratio of calcium

to sodium index in inoculation treatment increased by 28% compared to no inoculation only in control salinity, but in the root section by increasing salinity levels of 10, 20 and 30 dS/m^{-1} with inoculation treatment, respectively 31.98, 68.36 and 78.33% was increased compared to no inoculation.
Keywords: Endophytic fungus, Ca/Na, K/Na, Element concentration and ion ratio

هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

تعیین ویژگی های محرک رشد گیاه جدایه های باکتریایی متحمل به خشکی رایزوشیتی و اندوفیتی گیاه *Stipagrostis pennata*

کامیاب نادری[۱]، حسن اعتصامی[۲*]، حسینعلی علیخانی[۳]، اصغرمصلح آرانی[۴]

* استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (hassanetesami@ut.ac.ir)

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۲] استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۳] استاد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

[۴] دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

چکیده:

استفاده از باکتری‌های مقاوم به خشکی با ویژگی های محرک رشد گیاه می تواند به عنوان راهکاری موثر برای مدیریت تنش خشکی در کشاورزی مورد توجه قرار گیرد. هدف از این پژوهش تعیین وِیژگی های محرک رشد گیاه جدایه های متحمل به خشکی رایزوشیتی و اندوفیتی ریشه گیاه *Stipagrostis pennata* بود. در این مطالعه، ۳۹ جدایه رایزوشیتی و اندوفیتی به ترتیب از رایزوشیت و ریشه گیاه *Stipagrostis pennata* جمع آوری شده از منطقه‌ی بیابانی یزد جداسازی و خالص سازی شد. توان تحمل به خشکی (تنش کم آبی) و ویژگی های محرک رشد گیاه (تولید هورمون IAA، آزمون کمی و کیفی توان انحلال فسفات معدنی و توان تثبیت نیتروژن) این جدایه بررسی شد. از میان ۱۲ جدایه انتخاب شده برای آزمون تحمل به تنش کم آبی، ۳ جدایه E1، E35 و R11 بیشترین توان تحمل به تنش کم آبی را دارا بودند. نتایج نشان داد که همه‌ی جدایه‌ها توان تولید ایندول استیک اسید را داشتند. نتایج توان انحلال فسفر جدایه‌ها نشان داد که بیشترین میزان فسفر آزاد شده مربوط به دو باکتری E1 و R11 بود. نتایج توان تثبیت نیتروژن جدایه‌ها همچنین نشان داد که تمامی جدایه‌ها توان تثبیت نیتروژن را داشتند. بر اساس تعیین توالی ژن16S rRNA، جدایه¬های رایزوشیتی و اندوفیتی برتر انتخاب شده R11 و E1 به ترتیب با ۱۰۰ و ۹۳,۹۹ درصد به سویه *Pantoea agglomerans* و *Pseudomonas sp. BSP5* شباهت داشتند. بطور کلی، این مطالعه نشان می دهد که رایزوشیت و اندوسفر گیاه بیابانی *Stipagrostis pennata* می تواند منبع مناسبی برای جداسازی باکتری های مقاوم به خشکی با ویژگی های محرک رشد گیاه باشد.

واژگان کلیدی: اندوفیت، باکتری‌های محرک رشد گیاه، تنش کم آبی، رایزوشیت

۱-مقدمه

یکی از نیازهای اساسی انسان که نقش مهمی در سلامت و توسعه جوامع ایفا می‌کند غذا است. افزایش چشمگیر آسیب‌های زیست محیطی و افزایش روزافزون جمعیت بشر، نتیجه نامطلوبی در تولید غذای جهانی دارد که ممکن است به زودی برای تغذیه همه مردم جهان کافی نباشد (Etesami, 2018). در عصر حاضر باتوجه به محدودیت منابع و افزایش روز افزون جمعیت و در نتیجه تقاضا برای محصولات غذایی، شرایط ایجاب می‌کند که از منابع محدود به نحو بهینه استفاده شود (Curtis *et al.* 2002). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که رشد و نمو گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با وجود پیشرفت‌های قابل‌توجه، بیشتر روش‌های موجود برای کاهش اثرات تنش خشکی گران، زمان بر و دشوار هستند. از اینرو یافتن یک رویکرد جایگزین کم‌هزینه و دوستدار محیط زیست به وضوح برای تضمین امنیت غذایی جهانی اهمیت زیادی دارد. یکی از راهکارها استفاده از پتانسیل بالقوه میکروارگانیسم‌های خاک و کاربرد کودهای زیستی دارای باکتری‌های افزاینده

رشد گیاه است (مظفری و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاه (*PGPR*) جهت افزایش تحمل گیاه زراعی در برابر تنش کم آبی نه تنها آسان، بلکه کم هزینه و اقتصادی نیز است. میکروارگانیسم‌های مفید ریشه گیاه نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیر زیستی دارند (Etesami and Beattie, 2017). استفاده از میکروارگانیسم‌ها مفید خاکزی می‌تواند اثرات منفی تنش خشکی در گیاهان مختلف کاهش دهد. بنابراین یک پتانسیل و یک راهکار امیدوار کننده برای کشاورزی پایدار استفاده از پتانسیل باکتری های محرک رشد گیاه متحمل به خشکی است (Etesami and Beattie, 2017). باکتری‌های *PGPR* متحمل به خشکی با تولید بایوفیلم، ترشح اگزوپلی‌ساکاریدها،تحریک رشد گیاه، تولید حفاظت کننده‌های اسمزی و پروتئین های شوک گرمایی اثر مثبتی بر سازگاری و تحمل گیاه به تنش خشکی دارند (Grover *et al*. 2011). مطالعات نشان داده است که باکتری‌های جداسازی شده از محیط‌های در معرض خشکی و کم آبی بیشتر به این تنش‌ها سازگار شدند (Hanna *et al*. 2013). برخی ازمیکرو ارگانیسم‌های شناسایی شده در گیاهان مقاوم به تنش کم آبی *Bacillus circulans*، *B.megaterium*، *radiobacter Agrobacterium*، *Pseudomonas putida* و *Enterobacter sakazaki* بوده‌اند که هم خود در مقابل تنش مقاوم بوده و هم ویژگی‌های محرک رشد گیاه خود را از دست نداده‌اند (Hanna *et al*. 2013). از میان گیاهان بیابانی موجود در ایران طبق مطالعات قبلی انجام شده و بررسی خصوصیات آنها از نظر کارایی و شرایط رشد آن در ایران، گیاه *Stipagrostis pennata* دارای کارایی و ویژگی های منحصر به فردی می باشد. مطالعات همچنین نشان داده است که در این گیاهان علاوه بر ژنتیک خود گیاه وجود غلافی از شن موسیلاژ در اطراف سیستم ریشه، همچون عایقی مانع از تماس مستقیم نور و حرارت به ریشه‌ها شده و بردباری گیاه را در برابر شرایط گرما و خشکی افزایش می‌دهد (امیرآبادی زاده و برهان، ۱۳۸۹). موسیلاژی که از سلول‌های ویژه‌ای که در نوک ریشه این گیاهان ترشح می‌شود باعث آغشته شدن ریشه‌های مویین به آن شده و چسبیدن دانه‌های ماسه به ریشه‌های مویین همزمان با رشد ریشه، باعث تشکیل این غلاف شنی می‌شود که به آن رایزوشیت گفته می‌شود، که رطوبت آن ۴ تا ۵ برابر محیط بیرون است (Brown *et al*. 2017). بیشتر گونه‌های علفی و گیاهانی که در شرایط سخت (مانند بیابان) رشد می‌کنند، رایزوشیت تشکیل می‌دهند. به علاوه گیاهانی که شرایط خشکی به آن ها القاء شده باشد، رایزوشیت بیشتر و پایدارتری دارند. رایزوشیت‌ها یک منطقه پویا برای تبادل آب و مواد مغذی در سطح مشترک ریشه و خاک فراهم می‌کنند که می‌تواند مقاومت به خشکی را بهبود بخشد و از ریشه‌ها در برابر تنش‌های غیر زنده محافظت کند (Brown *et al*. 2012). بر طبق برخی مطالعات گذشته مشخص شده است که میکروبیوم ریشه گیاه می‌تواند نقش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت گیاهان به تنش‌های مختلف محیطی از جمله تنش خشکی داشته باشد (Etesami, 2018). به عنوان مثال، اغلب باکتری‌های موجود در رایزوشیت گیاه تثبیت کننده‌ی نیتروژن هستند و N_2 هوا را به صورت آمونیوم در آورده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند و نیاز گیاه را به نیتروژن تحت تنش تامین می‌کنند. برخی از این باکتری‌ها از جنس‌های تثبیت کننده نیتروژن *Enterobacter agglomerans* ، *Pseudomonos luteola*، *Bacillus circulans* و *Agrobacterium radiobacter* می‌باشند (Tian *et al*. 2019). بر اساس مطالعات گذشته همچنین مشخص شده است که باکتری‌های جداسازی شده از گیاهان رشد کرده تحت تنش‌های محیطی مختلف مثل شوری و خشکی و... نیز قادرند رشد گیاهان غیر میزبان به تنش‌های محیطی مشابه را افزایش دهند (رزاقی و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین هدف از این تحقیق جداسازی و تعیین ویژگی های محرک رشد گیاه جدایه های باکتریایی متحمل به خشکی از رایزوشیت و ریشه گیاه *Stipagrostis pennata* بود. یکی از مهمترین پتانسیل استفاده از این باکتری ها جهت بهبود رشد گیاهان حساس به خشکی می باشد.

۲-مواد و روش

۲-۱-نمونه برداری و جداسازی باکتری های رایزوشیتی و اندوفیتی ریشه

رایزوشیت های (ریشه) گیاه *Stipagrostis pennata* از منطقه‌ی بیابانی یزد جمع آوری و در کیسه‌های پلاستیکی به آزمایشگاه انتقال یافتند تا جهت جدا سازی و خالص سازی باکتری‌های قابل کشت از آنها استفاده شود. جداسازی باکتری های رایزوشیتی و اندوفیتی ریشه بر طبق یک مطالعه قبلی انجام گرفت (Tian *et al*. 2019). جدایه های رشد کرده روی پلیت های حاوی محیط کشت آگار مغذی که از نظر ویژگی های مورفولوژی مانند، شکل، رنگ، اندازه کلونی و سرعت رشد با هم متفاوت بودند انتخاب و خالص سازی شدند و جهت مطالعات بیشتر در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند.

۲-۲-ارزیابی تحمل به تنش کم آبی جدایه و تعیین ویژگی های محرک رشد گیاه آنها

از انجایی که یکی از اهداف این تحقیق مطالعه پتانسیل میکروبیوم باکتریایی رایزوشیت گیاه مرتعی *Stipagrostis pennata* در بهبود مقاومت گندم به تنش کم آبی می باشد ارزیابی تحمل به خشکی فقط روی جدایه هایی که درصد جوانه زنی بیشتر از ۸۸٪ در گندم را داشتند انجام شد. برای ارزیابی میزان تحمل به خشکی این جدایه ها از سطوح مختلف PEG6000 (۰٪، ۱۰٪و ۲۰٪) در سه تکرار استفاده شد و توان رشد جدایه ها در محیط کشت نوترینت براث (NB) حاوی غلظت های ۰ ، ۵۰، ۱۰۰ گرم پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ به ازاء هر لیتر محیط کشت NB مورد بررسی قرار گرفت. میزان رشد جدایه ها با اندازه گیری چگالی نوری (OD = Density Optical) محیط رشد آنها در طول موج ۶۳۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر تعیین و درصد کاهش رشد هر جدایه در سطوح مختلف پلی اتیلن گلیکول در مقایسه با میزان رشد همان جدایه در محیط NB بدون PEG محاسبه گردید. سه تکرار از محیط NB تلقیح نشده حاوی مقادیر مختلف پلی اتیلن گلیکول نیز به عنوان شاهد جهت تعیین میزان چگالی نوری این محیط در شرایط فوق تهیه و OD آنها نیز قرائت شد. همچنین توان تولید اکسین (در حضور ال-تریپتوفان و بدون ال-تریپتوفان وتحت تنش کم آبی) این جدایه ها بررسی شد (Michel and Kaufmann, 1973). برای این منظور ابتدا جدایه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط کشت TSB کشت و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس رشد کردند. سپس، ۵۰ میکرولیتر از سوسپانسیون هر یک از جدایه ها با جمعیت یکسان مجدداً به ۲۰ میلی لیتر محیط کشت TSB حاوی ۱ میلی گرم در میلی لیتر ال- تریپتوفان منتقل شد و برای مدت ۹۶ ساعت در ۱۲۰ دور در دقیقه و دمای ۲۸ درجه سلسیوس تکان داده شدند. پس از این دوره، این سوسپانسیون‌ها در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند و آنگاه یک میلی لیتر از محلول رویی با ۲ میلی لیتر از معرف سالکوفسکی (شامل ۱۵۰ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ، ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر و ۷/۵ میلی لیتر کلرید آهن نیم مولار) مخلوط گردید. مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای اتاق در تاریکی نگهداری شد و سپس با استفاده از اسپکتروفتومتر، میزان جذب نور در طول موج ۵۳۰ نانومتر قرائت شد. برای تعیین منحنی استاندارد از استانداردهای تهیه شده با غلظت‌های ۰ ، ۵ ، ۱۰ ، ۲۰ ، ۴۰ ، ۶۰ میلی گرم بر لیتر IAA استفاده شد. همچنین توان تولید اکسین این جدایه ها تحت تنش خشکی در سطح ۲۰٪ PEG6000 هم انجام گرفت. توان حل کنندگی فسفات معدنی نامحلول این جدایه ها بصورت کمی و کیفی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور بررسی توان حل کنندگی فسفات جدایه‌ها در آزمون کیفی از محیط کشت اسپربر استفاده گردید (Sperber 1958). پس از کشت هر جدایه در محیط کشت NB به مدت ۲۴ ساعت مقدار ۵ میکرولیتر از سوسپانسیون هر جدایه با جمعیت یکسان در ۳ تکرار روی محیط کشت اسپربر مایه زنی و انکوباسیون شد و میزان قطر هاله به کلنی به فاصله زمانی ۲۴ ساعته به مدت ۱۲ روز مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی بهتر توان حل کنندگی فسفات جدایه ها، هر جدایه با سه تکرار در محیط کشت اسپربر مایع با بهره گیری از تری کلسیم فسفات به عنان تنها منبه فسفر کشت شد. ارلن‌های حاوی محیط کشت مایع اسپربر با ۰/۵ میلی لیتر جدایه از سوسپانسیون جوان باکتری‌ها (کشت شده در نوتریت براث با چگالی نوری ۰/۸) مایه زنی شده و به همراه نمونه های کنترل بدون مایه زنی روی شیکر انکوباتور در تاریکی و با دمای ۲۸ درجه سلسیوس برای یک هفته نگهداری و تکان داده شد. سپس از سوسپانسیون‌های مربوطه ۲ میلی لیتر برداشت شد و در

۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در این گام سلول های باکتریی دیگر دانه های آب آویز و فسفات نامحلول به کمک سانتریفیوژ از سوسپانسیون گردآوری و جدا شد. پس از آن فسفر محلول در مایع روشن رویین به روش وانادات مولیبدات اندازه گیری شد. برای بررسی توان تثبیت نیتروژن جدایه‌ها از محیط کشت نیمه جامد NFB در ۳ تکرار استفاده شد (Lilia C., and Paul G. 2021). لوله های آزمایش در دمای ۲۸ درجه سانتی گراد به مدت ۷ تا ۱۰ روز یا ظهور یک لایه باکتریایی دیازوتروف آبی رنگ روی محیط کشت، درون اتاقک رشد قرار داده می شوند و در صورت ظهور این لایه یک لوپ از باکتری رشد یافته در لوله آزمایش برداشته و به لوله آزمایش جدید حاوی محیط کشت NFB در همان شرایط قبلی تلقیح کرده و این کار را ۳ تا ۵ مرتبه تکرار میکنیم و تشکیل لایه باکتریایی آبی رنگ در لوله آزمایش پایانی نشان دهنده توان تثبیت نیتروژن توسط جدایه‌ها می باشد.

۳-۲-شناسایی جدایه‌های برتر

براساس نتایج ارزیابی مقاومت جدایه ها به خشکی و ویژگی های محرک رشد گیاه، یک جدایه اندوفیتی برتر(E۱) و یک جدایه رایزوشیتی برتر(R۱۱) برای شناسایی انتخاب شدند و بر اساس تعیین توالی ژن 16S rRNA شناسایی شدند. تکثیر ژن 16S rRNA بر طبق شرایط توصیف شده توسط ادوارد و همکاران (۱۹۸۹) انجام گرفت. توالی نوکلئوتیدهای محصولات PCR با توالی نوکلئوتیدهای موجود در GenBank مقایسه گردید و توالی‌هایی نوکلئوتیدهای موجود در GenBank که شباهت نزدیکی با توالی نوکلئوتیدهای جدایه‌های مورد مطالعه داشتند، گزارش شدند.

۴-۲-آنالیز آماری

آزمون‌های انجام شده در این بخش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شدند. تجزیه واریانس و محاسبات آماری با استفاده از برنامه کامپیوتری SAS و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها به روش Duncan در سطح پنج درصد انجام پذیرفت.

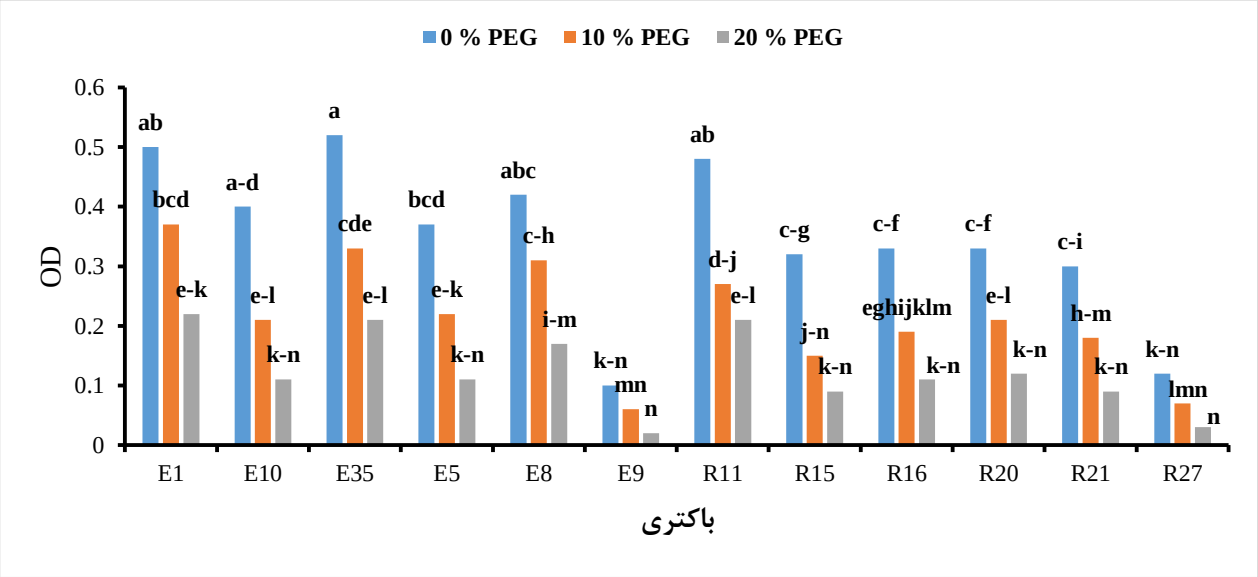
۳-نتایج و بحث

در این مطالعه ۳۹ جدایه رایزوشیتی (۱۸ جدایه) و اندوفیتی (۲۱ جدایه) از رایزوشیت و ریشه های گیاه *Stipagrostis pennata* به ترتیب جداسازی شد. از میان این جدایه ها، فقط ۱۲ جدایه که توان جوانه زنی بذر گندم بالایی (بیش از ۸۸ درصد) داشتند برای مطالعات بیشتر انتخاب شدند.

نتایج تجزیه واریانس میزان تحمل جدایه ها به تنش خشکی در ۳ سطح مختلف (۰، ۱۰ و ۲۰٪) در PEG6000 نشان داد که میزان تحمل به تنش خشکی در بین جدایه‌ها در سطوح مختلف اختلاف معنی داری وجود داشت و همچنین بین جدایه‌ها نیز در هر سطح اختلاف معنی داری وجود داشت. در سطح ۰٪ جدایه‌های R11,E1,E35 به ترتیب بیشترین میزان OD را داشتند و در سطح ۱۰٪ نیز ۳ جدایه E8,E35,E1 به ترتیب بیشترین میزان OD را داشتند و از میان ۱۲ جدایه انتخاب شده برای آزمون تحمل به تنش خشکی ۳ جدایه‌ی E1,E35,R11 بیشترین توان تحمل به تنش خشکی را در سطح ۲۰٪ را دارا بودند (شکل ۱). این نتایج نشان می‌دهد که باکتری های رایزوشیتی و اندوفیتی به خوبی با محیط تحت تنش خشکی سازگار شده اند (Alsharif *et al*. 2020). این نتایج همچنین نشان می دهند که رایزوشیت و اندوسفر این گیاه بیابانی می تواند به عنوان جایگاه مناسبی برای جداسازی باکتری های مقاوم به خشکی با ویژگی های محرک رشد گیاه باشد. آن‌ها به خوبی به محیط‌های پر تنش سازگار شده‌اند و یک مخزن بهره‌برداری نشده برای کودهای زیستی در برابر طیف وسیعی از تنش‌های زیستی و غیر زیستی که اکوسیستم‌های کشاورزی مختلف را به خطر می‌اندازد، بحساب می‌آیند. همچنین باکتری‌های اندوفیتی نیز از طریق تولید فیتوهورمونها باعث تحمل به تنش شوری و خشکی در گیاهان می شوند. گزارش شده است که

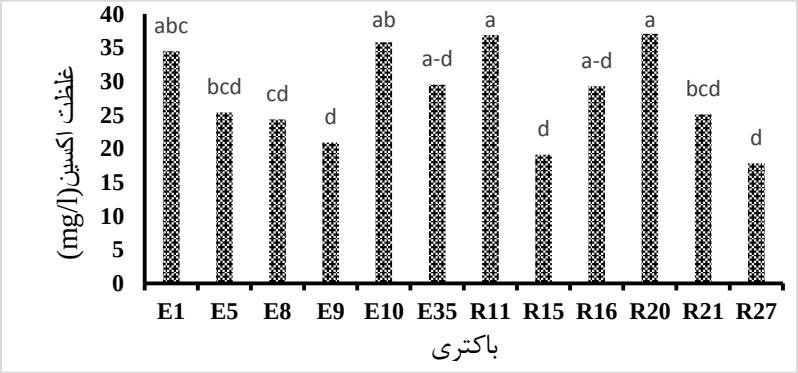
هورمون اکسین تولید شده توسط باکتری های اندوفیتی باعث متحمل شدن گیاه به تنش شوری وخشکی می شود (*et al.* Shahzad 2017).

جدول۱- میزان تغییرات رشد جدایه ها در سطوح مختلف PEG6000

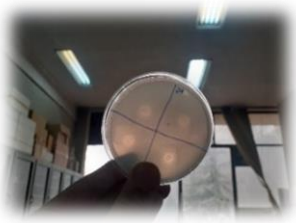


نتایج تجزیه واریانس توان تولید اکسین نشان داد که تولید اکسین وابسته به حضور تریپتوفان نبوده است و اختلاف معنی داری بین حضور و عدم حضور تریپتوفان (بدون ال تریپتوفان،در حضور ال تریپتوفان و در حضور PEG6000) وجود ندارد، اما میزان تولید اکسین وابسته به جدایه‌های باکتریایی می باشد و اختلاف معنی داری بین باکتری‌ها در میزان تولید اکسین وجود داشت. میزان تولید هورمون IAA در عدم حضور تریپتوفان در بازه ۱۲,۶ تا ۲۴,۳۲ میلی گرم در لیتر متغیر بود و در حضور ال تریپتوفان همه‌ی جدایه‌های ریزوشیتی و اندوفیتی توان تولید ایندول استیک اسید را داشتند و میزان تولید هورمون IAA در بازه ۲۵,۱ تا ۴۹,۳۲ میلی گرم در لیتر متغیر بود. میزان تولید هورمون IAA در حضور PEG6000 در بازه ۹,۴ تا ۴۶,۱۹ میلی گرم در لیتر متغیر بود و از۱۲جدایه مورد بررسی ۶ جدایه توانایی تولید هورمون IAA بیش از ۳۰ میلی گرم در لیتر داشتند اما میزان IAA تولید توسط ۶ جدایه دیگر زیر ۳۰ میلی گرم در لیتر بودکه سه جدایه ی R11 ، R20 وE1 به ترتیب با ۴۶,۱۹ و ۴۲,۲۸ و ۴۰,۷۲ میلی گرم در لیتر بیشترین مقدار تولید هورمون IAA را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). این نتایج مطابق نتایج رزاقی و همکاران (۱۳۹۸) بود که نتایج نشان داد که همه‌ی جدایه‌های ریزوسفری و اندوفیتی توان تولید ایندول استیک اسید را داشتند. در مطالعات دیگری امبادی و همکاران (۲۰۱۳) باکتری *انتروباکتر کلوسه* را به عنوان باکتری تولید کننده هورمون اکسین از ریشه‌ی برنج جداسازی و شناسایی کردند. درمطالعه دیگری باکتری *انتروباکتر* را به عنوان باکتری اندوفیت قادر به تولید اکسین از گیاه زنجبیل جداسازی نمودند (Chen *et al.* 2014). همچنین در مطالعه مشابه‌ای یک گونه از *انتروباکتر* را از ریشه‌های گیاه *Abrus precatorius* جداسازی کردند، این باکتری در حضور تریپتوفان در محیط کشت توانست هورمون ایندول استیک اسید تولید کند (Ghosh *et al.* 2015). اما هیچگونه اطلاعاتی در مورد توان تولید اکسین از باکتری‌های جداسازی شده از رایزوشیت گزارش نشده است که طبق این نتایج باکتری‌های رایزوشیتی نیز توان تولید اکسین را دارند که باکتری با کد R11بیشترین توان تولید اکسین را نسبت به باکتری‌های اندوفیتی نشان داد.

شکل۲- توان تولید اکسین جدایه های رایزوشیتی و اندوفیتی



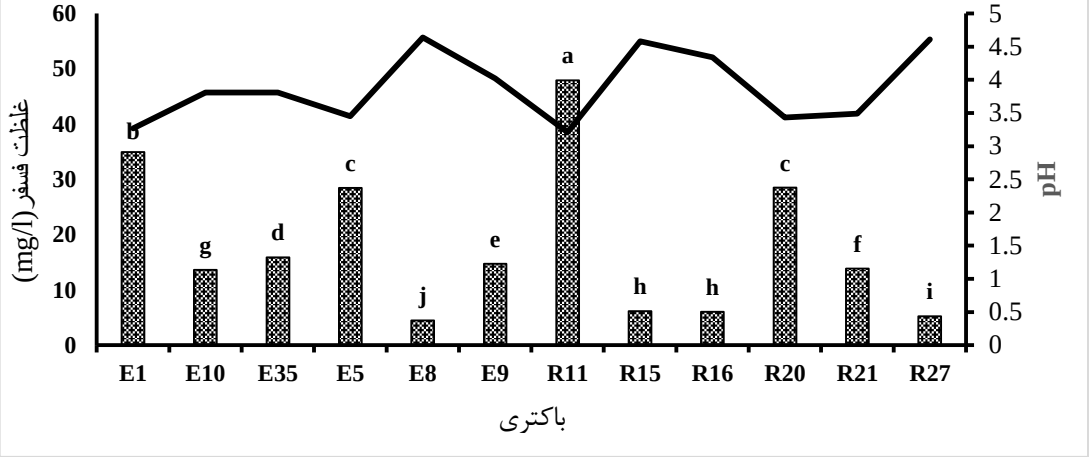
نتایج آزمون کیفی توان انحلال فسفات معدنی نشان داد که از ۱۲ جدایه انتخاب شده برای ارزیابی توان انحلال فسفات معدنی ۴ جدایه توانایی انحلال فسفات معدنی را نداشتند. آزمون نیمه کمی نسبت قطر هاله به قطر کلنی نشان داد که جدایه های R20 ، R21 ، E1 وR11 به ترتیب با ۱/۳۲ ، ۱/۳۵ ، ۱/۳۸ و ۱/۴۰ بیشترین نسبت قطر هاله به قطر کلنی را به خود اختصاص دادند (شکل۳).



شکل۳- نسبت قطر هاله به قطر کلنی

نتایج توان انحلال فسفر جدایه‌هایی که در محیط کشت جامد هاله ایجاد نمودند، در محیط مایع در شکل ۴ ارائه شده است که بیشترین میزان فسفر آزاد شده در محیط مایع مربوط به باکتری شماره R11 می باشد، که این نتیجه با نتیجه حاصل از آزمون کیفی حل کنندگی فسفر مطابقت داشت و اختلاف معنی داری بین باکتری ها در انحلال فسفر وجود داشت. همچنین نتایج نشان داد که میزان pH محیط کاهش یافت که نشان دهنده تولید اسید توسط باکتری برای انحلال فسفر می باشد و رابطه عکس بین pH و افزایش انحلال فسفر وجود دارد (Daimon *et al*. 2006). در مطالعات دیگری با بررسی نوع و میزان اسیدهای آلی تولید شده توسط باکتری‌ها دریافتند که باکتری‌هایی که اسیدهای آلی بیشتری تولید نموده‌اند سبب کاهش بیشتر pH در محیط شده و بیشترین میزان حل کنندگی فسفر را به خود اختصاص دادند (Chen *et al*. 2006). در مطالعات قبلی، هیچ اطلاعاتی مبنی بر توان انحلال فسفر توسط باکتری‌های رایزوشتی گزارش نشده است . اما نتایج این تحقیق نشان داد که باکتری‌های رایزوشیتی نیز توان انحلال فسفر را دارند.

شکل۴- مقدار انحلال فسفر توسط جدایه‌ها در محیط کشت مایع



جدول ۵ نتایج بررسی توان تثبیت نیتروژن جدایه ها در محیط کشت نیمه جامد NFB را نشان می دهد. بر طبق جدول ۶، تمامی جدایه‌ها توان تثبیت نیتروژن را دارا بوده و در تمامی جدایه‌ها در آخرین مرحله از کشت یک لایه باکتریایی دیازوتروف آبی رنگ بر روی محیط کشت آنها ظاهر گردید. گزارش شده است که اغلب باکتری‌های موجود در رایزوشیت گیاهان تثبیت کننده‌ی نیتروژن هستند و N_2 هوا را به صورت آمونیوم در آورده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند و نیاز گیاه را به نیتروژن تحت تنش خشکی تامین می‌کنند (Tian *et al*. 2019). در یک مطالعه قبلی، برخی از باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن از جنس *Enterobacter agglomerans*، *Pseudomonos luteola*، *Bacillus circulans* و *Agrobacterium radiobacter* گزارش شده است (Tian *et al*. 2019).

جدول ۵- توان تثبیت نیتروژن جدایه ها در در محیط کشت نیمه جامد NFB

کد باکتری	توانایی تثبت نیتروژن
E1	+
E5	+
E8	+
E9	+
E10	+
E35	+
R11	+
R15	+
R16	+
R20	+
R21	+
R27	+

جدایه‌های رایزوشیتی و اندوفیتی برتر انتخاب شده R11 و E1 به ترتیب با ۱۰۰ و ۹۳,۹۹ درصد به *Pantoea agglomerans* و *Pseudomonas* sp. BSP5 شباهت داشتند. در مطالعات قبلی باکتری های مشابه ای همچون *Enterobacter agglomerans* (Othman *et al*.2004) و *Pseudomonos luteola* (Tian *et al*. 2019) از رایزوشیت جداسازی شدند.

۴-نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که رایزوشیت و اندوسفر گیاه بیابانی *Stipagrostis pennata* می تواند منبع مناسبی برای جداسازی باکتری های مقاوم به خشکی با ویژگی های محرک رشد گیاه باشد. باکتری‌های برتر رایزوشیتی (*Pantoea agglomerans* R11) و اندوفیتی (*Pseudomonas* sp. E1) این گیاه توانایی بالایی درتوان تولید اکسین، تحمل به تنش خشکی، توان انحلال فسفات معدنی و توان تثبیت نیتروژن را نشان دادند. از آنجائیکه این دو باکتری در شرایط سخت بیابانی و تحت تنش خشکی توانسته اند علاوه بر رشد، ویژگی‌های محرک رشد گیاه خود را حفظ کنند، لذا این باکتری‌ها می‌توانند در بهبود شاخص‌های رشد گیاهان زراعی حساس به خشکی مثل گندم در شرایط تنش خشکی و کم‌آبی نقش موثری داشته *باشند*.

سپاسگزاری

نگارندگان از مساعدت دانشگاه تهران در انجام این پژوهش قدردانی می نمایند.

منابع:

امیرآبادی زاده، ح. برهان، م.ج. (۱۳۷۲) . گزارشی درمورد آب وهوا و فلور بیابان های شنی ایران و افغانستان، نشریه پژوهش و سازندگی، شماره ۲۷ ، صفحه ۳۲.

رزاقی کمارسفلی، ب. علیخانی، ح. اعتصامی، ح. (۱۳۹۸). تاثیر باکتری‌های استافیلوکوکوس جداسازی شده از گیاه سالیکورنیا بر روی رشد گندم. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۶، صفحه ۱۹۶-۱۷۹.

سلیمانی، ر.علیخانی، ح. توفیقی، ح. (۱۳۹۶). بررسی توان تولید آنزیمACC - دآمیناز در باکتری‌های جداسازی شده از خاک‌های خشک، شور و شور-سدیمی و انتخاب باکتری کارآمد در تولید آنزیم. زیست شناسی میکروارگانیسم ها، جلد ۲۶، شماره ۶، صفحه ۶۶-۵۳.

مظفری، ا. حبیبی، د. اصغرزاده، ا. مشهدی اکبری بوجار، م. (۱۳۹۵). بررسی تحمل به تنش خشکی دو رقم گندم تلقیح شده با رایزوباکتری‌های محرک رشد گیاه تحت شرایط گلخانه. فیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد ۳۱، شماره ۸، صفحه ۳۹-۲۱.

Brown, L. K., George, T. S., Thompson, J. A., Wright, G., Lyon, J., Dupuy, L., ... & White, P. J. (2012). What are the implications of variation in root hair length on tolerance to phosphorus deficiency in combination with water stress in barley (Hordeum vulgare)?. Annals of Botany, 110(2), 319-328.

Brown, L. K., George, T. S., Neugebauer, K., & White, P. J. (2017). The rhizosheath–a potential trait for future agricultural sustainability occurs in orders throughout the angiosperms. Plant and Soil, 418(1-2), 115-128.

Curtis, B. C., Rajaram, S., & Gómez Macpherson, H. (2002). *Bread wheat: improvement and production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

Chen, Y., Rekha, P., Arun, A., Shen, F., Lai, W.-A., Young, C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. Applied Soil Ecology, 34: 33-41.

Chen, T., Chen, Z., Ma, G., Du, B., Shen, B., Ding, Y., Xu, K. 2014. Diversity and potential application of endophytic bacteria in ginger. Genetics and Molecular Research: GMR, 13(3): 4918-31.

Daimon, H., Nobuta, K., Ohe, M., Harada, J., Nakayama, Y. 2006. Tricalcium phosphate solubilization by root nodule bacteria of Sesbania cannabina and Crotalaria juncea. Plant Production Science, 9: 388-389.

Edwards, U., Rogall, T., Blöcker, H., Emde, M., & Böttger, E. C. (1989). Isolation and direct complete nucleotide determination of entire genes. Characterization of a gene coding for 16S ribosomal RNA. Nucleic acids research, 17(19), 7843-7853.

Etesami, H., & Beattie, G. A. (2017). Plant-microbe interactions in adaptation of agricultural crops to abiotic stress conditions. In Probiotics and Plant Health (pp. 163-200).

Etesami, H. (2018). Bacterial mediated alleviation of heavy metal stress and decreased accumulation of metals in plant tissues: mechanisms and future prospects. Ecotoxicology and environmental safety, 147, 175-191.

Ghosh, P.K., Sen, S.K., Maiti, T.K., 2015. Production and metabolism of IAA by Enterobacter spp. (Gammaproteobacteria) isolated from root nodules of a legume Abrus precatorius L. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 3(4): 296–303.
Grover, M., Ali, S. Z., Sandhya, V., Rasul, A., & Venkateswarlu, B. (2011). Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 27(5), 1231-1240.
Hanna, A. L., Youssef, H. H., Amer, W. M., Monib, M., Fayez, M., & Hegazi, N. A. (2013). Diversity of bacteria nesting the plant cover of north Sinai deserts, Egypt. Journal of advanced research, 4(1), 13-26.
Lilia C., and Paul G. Dennis.(2021). Plant Microbiome. Springer US.
Michel, B. E., & Kaufmann, M. R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant physiology, 51(5), 914-916.
Othman, A. A., Amer, W. M., Fayez, M., & Hegazi, N. A. (2004). Rhizosheath of Sinai desert plants is a potential repository for associative diazotrophs. Microbiological Research, 159(3), 285-293.
Sperber, J. I. (1958). The incidence of apatite-solubilizing organisms in the rhizosphere and soil. Australian Journal of Agricultural Research, 9(6), 778-781.
Tian, Y., Ma, X., Li, Y., Cheng, C., An, D., & Ge, F. (2019). Explore the Structural Changes of Nitrogen-fixing Microorganisms of Rhizosheath During the Growth of Stipagrostis Pennata in the Desert.
Tian, Y., Ma, X., Li, Y., Cheng, C., Ge, F., & An, D. (2019). Relationship between microbial diversity and nitrogenase activity of Stipagrostis pennata rhizosheath. Journal of cellular biochemistry, 120(8), 13501-13508.

Characterization of plant growth promoting properties of drought tolerant rhizosheath and endophytic bacterial isolates of *Stipagrostis pennata*

Kamyab Naderi[1], Hassan Etesami [2],Hossein Ali Alikhani[3], Asghar Mosleh Arani[4]

* Assistant Professor Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran(hassanetesami@ut.ac.ir)
[1] MSc student Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
[2] Assistant Professor Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
[3] Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
[4] Associate Professor, Department of Environmental Engineering, Yazd University, Yazd, Iran

Abstract
The use of drought-resistant bacteria with plant growth-promoting (PGP) properties can be considered as an effective solution for drought stress management in agriculture. The aim of this study was to determine the PGP characteristics of drought tolerant rhizosheath and endophytic isolates of *Stipagrostis pennata* root. In this study, 39 rhizosheath and endophytic isolates were isolated and purified from rhizosheath and roots of *S. pennata* collected from Yazd desert area, respectively. Drought tolerance (water deficit stress) and PGP characteristics (IAA production, quantitative and qualitative test of mineral phosphate solubilization and nitrogen fixation capacity) of this isolate were investigated. Out of 12 isolates selected for drought tolerance stress test, 3 isolates E1, E35 and R11 had the highest tolerance to water deficit stress. The results showed that all isolates were able to produce IAA. The results of phosphate solubilization of isolates showed that the highest amount of released phosphorus belonged to E1 and R11 bacterial isolates. The results of nitrogen fixation assay of isolates showed that all isolates showed nitrogen fixation. The bacterial rhizosheath and endophytic isolates R11 and E1were identified as *Pantoea agglomerans*, and *Pseudomonas* sp. BSP5, respectively, based on 16 S rRNA sequence. In general, this study shows that the rhizosheath and endosphere of the desert plant *S. pennata* can be a good source for isolating drought-resistant bacteria with PGP properties.
Keywords: Endophyte; Plant growth-promoting bacteria; water deficit; rhizosheath

تعیین دامنه مقاومت باکتری‌های محرک رشد گیاه به تنش شوری

ابراهیم شیرمحمدی

استادیار، گروه علوم خاک، دانشگاه زابل، شهر زابل، ایران
(eshirmohammadi@uoz.ac.ir)

چکیده

برای تأمین نیاز کشور به محصولات کشاورزی باید تولید در واحد سطح افزایش یابد. ولی بعلت وجود تنش‌های محیطی مخصوصاً شوری و خشکی عملکرد محصولات زراعی و باغی کشور پایین می‌باشد. پژوهشگران معتقدند که استفاده از پتانسیل ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) مقاوم به شوری می‌تواند راهکاری مناسب برای رفع این مشکل و رسیدن به تولید پایدار محصولات کشاورزی باشد. به منظور بررسی و انتخاب جدایه‌های PGPR مقاوم به شوری، رشد کلنی ۴۰ جدایه باکتری حل کننده فسفات در محیط کشت NA حاوی درصدهای ۰/۵، ۲، ۴، ... و ۲۰ نمک سدیم کلراید بررسی شد. نتایج نشان داد که هیچ‌یک از جدایه‌ها هالوفیت اجباری نبودند. ۱۰۰ درصد جدایه‌ها حداقل به شوری ۲ درصد نمک سدیم کلراید مقاوم بودند. جدایه‌های B5، B6، B14، B18، B22، B23 و B27 مقاوم ترین PGPR به تنش‌های شوری بودند که توان رشد در شوری ۲۰ درصد نمک سدیم کلراید را داشتند.

واژگان کلیدی: تنش، خشکی، نمک، PGPR

مقدمه

با افزایش روز افزون جمعیت و بهبود شاخص‌های تغذیه‌ای انسانها، تولید محصولات کشاورزی و کیفیت آنها باید افزایش یابد. با در نظر گرفتن محدودیت اراضی مناسب برای کشاورزی، افزایش تولید محصول در واحد سطح ضروری می‌باشد. این در حالی است که بهره‌وری گیاهان زراعی در بسیاری از موارد، بعلت تنش‌های محیطی کاهش می‌یابد. در بسیاری از نقاط دنیا، گیاهان اغلب با تنش‌های شوری، خشکی، دمایی، مسمومیت با فلزات، ازون، پرتو فرابنفش و علف کش‌ها و غیره مواجه‌اند که تهدید جدی برای تولید محصولات زراعی محسوب می‌شوند (Hasanuzzaman *et al*., 2013; Etesami and Maheshwari, 2018). تنش‌های محیطی بطور کلی حدود ۷۱ درصد از عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهند؛ که کاهش عملکرد در اثر تنش خشکی ۱۷ درصد و تنش شوری ۲۰ درصد، برآورد شده است (Ashraf and Harris, 2005). این دو نوع تنش از تنش‌های غیر زیستی معمول در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا هستند که از بسیاری جهات شبیه به یکدیگر عمل می‌کنند. تنش‌های شوری و خشکی در حقیقت از طریق تنش‌های ثانویه مانند: تنش‌های اسمزی و اکسیداتیو (مشترک در تنش‌های شوری و خشکی) و تنش یونی (در تنش شوری) که با تغییر فرآیندهای فیزیولوژیکی، مولکولی و بیوشیمیایی در نهایت باعث کاهش رشد موجودات زنده می‌شوند (Kaushal and Wani, 2016).

شوری خاک تهدید جدی برای تولید پایدار کشاورزی، بخصوص در نواحی خشک و نیمه خشک جهان محسوب می‌شوند. بخش قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی در جهان تحت تأثیر شوری قرار دارند و سرعت گسترش شوری حدود ۱/۵ میلیون هکتار در هر سال تخمین زده می‌شود (Munns *et al*. 2002). بطور کلی اراضی شور تقریباً ۷ درصد اراضی کره زمین و ۲۰ درصد اراضی قابل کشت را تشکیل می‌دهند. همچنین تخمین زده می‌شود شوری هر ساله ۲-۱ درصد اراضی کشاورزی مناسب در نواحی خشک و نیمه خشک جهان را به اراضی نا مناسب برای کشت و کار تبدیل می‌کند (Rasool *et al*., 2013). اطلاعات شوری خاک کشور نیز نشان می‌دهد که اراضی دارای قابلیت هدایت الکتریکی بیشتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر، دارای مساحتی بالغ بر ۵۵/۶ میلیون هکتار است؛ یعنی۳۴٪ مساحت کل ایران را شامل می‌شوند (بنایی، ۱۳۸۰). همچنین کشور ایران پس از هند و پاکستان در صدر کشورهای در معرض تهدید

از نظر تنش شوری محسوب می‌گردد (مومنی، ۱۳۸۹؛ Vashev *et al*., 2010). از طرفی ایران از جمله کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا است. بررسی متوسط دمای کشور طی سال‌های اخیر نسبت به بلند مدت آن نشان دهنده افزایش نسبی دما در اکثر استان‌ها و بطور کلی در کل کشور می‌باشد. همچنین میزان بارش کشور نیز نسبت به بلند مدت کاهش قابل توجهی داشته است (سالنامه هواشناسی، ۹۹-۱۳۹۸) که این عوامل اثرات منفی تنش را در اراضی متأثر از تنش شوری افزایش می‌دهد.
امروزه برای کاهش اثرات مضر تنش شوری بر گیاهان و افزایش تولید محصول، تمایل فزاینده‌ای برای استفاده از PGPR ایجاد شده است. محققین معتقدند که استفاده از PGPR مقاوم به شوری در خاک‌هایی که مشکل تنش شوری و یا خشکی دارند می‌تواند برای گیاهان مفید واقع گردد. البته PGPR مقاوم به شوری، بعلت توانایی رشد و فعالیت‌شان در شرایط شور و غیر شور، امکان استفاده از آنها را در خاک‌هایی با دامنه شوری مختلف مقدور می‌سازد. لازم به ذکر است که باکتری‌های مقاوم به شوری عمدتاً در برابر تنش کم‌آبی هم مقاوم هستند، و در شرایط تنش شوری و یا خشکی باعث بهبود رشد و نمو و افزایش تولید محصول می‌شوند (شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۹؛Etesami and Beattie, 2017 Shirmohammadi et al., 2020). بنابراین شناسایی PGPR مقاوم به تنش شوری و همچنین تعیین دامنه مقاومت آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

تعداد ۴۰ جدایه باکتری حل کننده فسفات جداسازی شده از خاک‌های ریزوسفری و غیر ریزوسفری گندم‌زارهای کشور انتخاب شدند؛ و زادمایه تازه هر جدایه باکتری در محیط کشت NB تهیه شد. با استفاده از روش مک فارلند جمعیت باکتری در تمامی سوسپانسیون ها تخمین زده شد سپس با ۵۵۰۰g به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ و محلول رویی دور ریخته شد و با سرم فیزیولوژیک به حجم رسانده شد این عمل شستشو برای هر جدایه دو بار تکرار شد و با مقداری سرم فیزیولوژیک استریل (با در نظر گرفتن جمعیت اولیه سوسپانسیون باکتری) در حد $۱۰^{۸}$ CFU/ml × ۵ تنظیم گردید (Moreira *et al*., 2019). سپس برای تعیین مقاومت جدایه‌های باکتری به تنش شوری، مقدار ۷ میکرولیتر از سوسپانسیون هر یک از جدایه‌ها بر روی محیط کشت NA حاوی غلظت‌های ۰/۵، ۲، ۴، ۶، .... و ۲۰ درصد نمک سدیم کلراید لکه گذاری و در دمای ۲۸ درجه سلسیوس به مدت ۷۲ ساعت گرماگذاری شدند (ابوالحسنی زراعتکار و همکاران، ۱۳۸۷). تجزیه آماری داده‌ها با نرم افزار Statistix10، بصورت طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها نیز با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

با توجه به جدول ۱، هیچیک از جدایه‌های مورد آزمایش هالوفیت اجباری نبودند. زیرا همه ۴۰ جدایه در محیط کشت NA که ترکیباتش حاوی ۰/۵ درصد نمک سدیم کلراید است، رشد کردند. ۱۰۰ درصد جدایه‌ها حداقل به شوری ۲ درصد نمک سدیم کلراید مقاوم بودند. ۹۲/۵ درصد جدایه‌ها حداقل توان تحمل به شوری‌های ۴ درصد نمک سدیم کلراید (معادل ۶۸۴/۴۶ میلی‌مولار نمک سدیم کلراید، قابلیت هدایت الکتریکی ۴۷/۸۳ دسی زیمنس بر متر و فشار اسمزی ۱۷/۲۲- بار) را داشتند؛ که به مراتب بیشتر از تحمل گیاهان زراعی و باغی به این سطح از تنش شوری است (مجللی، ۱۳۷۳). ۶۰ درصد جدایه‌ها به تنش‌های شوری کمتر یا مساوی ۴ درصد مقاوم بودند. ولی ۴۰ درصد جدایه‌ها شوری‌های مساوی یا بیشتر از ۶ درصد و حتی ۱۷/۵ درصد جدایه‌ها تا شوری ۲۰ درصد نمک سدیم کلراید نیز مقاوم بودند. جدایه‌های B5، B6، B14، B18، B22، B23 و B27 مقاوم ترین PGPR به تنش‌های شوری بودند که توان رشد در شوری ۲۰ درصد نمک سدیم کلراید را داشتند. با توجه به مقاومت بالای این جدایه‌ها به تنش شوری استفاده از پتانسیل محرک رشد گیاهی این باکتری‌ها در شرایط تنش خشکی نیز امکان‌پذیر است. چون باکتری‌های مقاوم به شوری، غالباً به تنش‌های خشکی نیز مقاوم هستند و می‌توانند باعث بهبود رشد و نمو گیاهان شوند (شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شیرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Shirmohammadi et al., 2020). همچنین وجود تفاوت در مقاومت به شوری این جدایه‌ها، به نظر

می‌رسد ریشه در ماهیت زیستی این موجودات دارد. بعبارت دیگر تفاوت در ژنتیک و مخصوصاً ژن‌های مقاومت به تنش شوری این جدایه‌ها باعث بروز چنین تفاوت‌هایی در رشد این PGPR می‌شود (Gupta et al., 2020).

جدول ۱- توان رشد جدایه‌های PGPR در درصدهای مختلف نمک سدیم کلراید

جدایه PGPR	B14	B18	B22	B23	B27	B5	B6	B17	B28	B29
توان رشد در درصد نمک	20 a*	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	20 a	18 b	18 b	18 b
جدایه PGPR	B31	B36	B2	B1	B16	B30	B10	B11	B12	B13
توان رشد در درصد نمک	14 c	14 c	12 d	10 e	6 f	6 f	4 g	4 g	4 g	4 g
جدایه PGPR	B15	B20	B21	B25	B26	B3	B32	B33	B34	B35
توان رشد در درصد نمک	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g
جدایه PGPR	B37	B39	B4	B40	B7	B8	B9	B19	B24	B38
توان رشد در درصد نمک	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g	4 g	2 h	2 h	2 h

*حروف مشترک نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد است

نتیجه‌گیری

تمام ۴۰ جدایه مورد آزمایش توان تحمل شوری ۲ درصد (معادل هدایت الکتریکی حدود ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر و پتانسیل اسمزی ۸/۶- بار) را دارند. در صورت توان سازگاری و فعالیت هر یک از این جدایه‌ها در ریزوسفر گیاهان مختلف، می‌توان از خاصیت محرک رشدی آنها در جهت رشد و نمو گیاهان زراعی و باغی در شرایط تنش شوری و یا خشکی بهره جست. البته جدایه‌های B5، B6، B14، B18، B22، B23 و B27 بعلت توانایی رشد در شوری ۲۰ درصد نمک سدیم کلراید، حتی برای استقرار و بهبود رشد گیاهان هالوفیت نیز در شرایط شدیداً شور و خشک می‌توانند استفاده شوند که نیازمند انجام پژوهش‌هایی در این زمینه است.

فهرست منابع

ابوالحسنی زراعتکار، م.، لکزیان، ا.، حق نیا، غ.ح.، آستارایی، ع.ر.، سرچشمه پور، م. (۱۳۸۷). ارزیابی مقاومت به شوری و خشکی جدایه های بومی Sinorhizobium meliloti استان کرمان. ۶(۱): ۱-۹.

بنایی، م.ح. (۱۳۸۰). نقشه منابع و استعداد خاک‌های ایران. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. ۶-۱.

سالنامه هواشناسی، (۱۳۹۸-۹۹). مرکز ملی خشکسالی و مدیریت بحران سازمان هواشناسی کشور، وزارت راه و شهرسازی.

شیرمحمدی، ا.، علیخانی، ح.ع.، پوربابائی، ا.ع.، اعتصامی، ح. (۱۳۹۸). بررسی توان کلنیزاسیون و تأثیر باکتری‌های حل‌کننده فسفات جداسازی شده از دیم‌زارها بر شاخص‌های رشد گندم در تنش‌های کم‌آبی و شوری. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)، ۴۲ (۴): ۴۱-۵۳.

شیرمحمدی، ا.، علیخانی، ح.ع.، پوربابائی، ا.ع.، اعتصامی، ح. (۱۳۹۹). تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه جداسازی شده از دیم‌زارها بر فسفر قابل جذب و برخی از صفات فیزیولوژیک و رشدی گیاه گندم در تنش کم‌آبی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱ (۳): ۷۸۸-۸۰۰.

مجللی، ح. (۱۳۷۳). خاکهای شور و سدیمی (اصول - دینامیک - مدلسازی). ترجمه. مرکز نشر دانشگاهی، تهران. ۲۷۲ص.

مومنی، ع. (۱۳۸۹). پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران. مجله پژوهش‌های خاک، ۲۴(۳)، ۲۱۵-۲۰۳.

Ashraf, M., & Harris, P.J.C. (2005). Abiotic Stresses: Plant Resistance through Breeding and Molecular Approaches. Haworth Press, New York, USA.

Etesami, H., Beattie, G.A. (2017). Plant-microbe interactions in adaptation of agricultural crops to abiotic stress conditions, in Probiotics and Plant Health, eds V. Kumar, M. Kumar, S. Sharma, and R. Prasad, Singapore: *Springer*, 163-200.

Etesami, H., Maheshwari, D.K. (2018). Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxic. Environ. Safe.*, 156, 225-246.

Gupta, S., Sharma, P., Dev, K., Sourirajan, A. (2020). Isolation of gene conferring salt tolerance from halophilic bacteria of Lunsu, Himachal Pradesh, India. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. 1-7.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Fujita, M. (2013). Plant response to salt stress and role of exogenous protectants to mitigate salt-induced damages. In: Ahmad P, Azooz MM, Prasad MNV (eds.), Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress. New York, USA, Springer.

Kaushal, M., Wani, S.P. (2016). Rhizobacterial-plant interactions: Strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. *Agri. Eco. Environ.*, 231, 68-78.

Moreira, H., Pereira, S.I.A., Marques, A.P.G.C., Rangel, A.O.S.S., Castro, P.M.L. (2019). Effects of soil sterilization and metal spiking in plant growth promoting rhizobacteria selection for phytotechnology purposes. *Geoderma*. 334, 72-81.

Munns, R., Husain, S., Rivelli, A.R., James, R.A., Condon Tony, A.G., Lindsay, M.P., Lagudah, E.S., Schachtman, D.P., Hare, R.A. (2002). Avenues for increasing salt tolerance of crops, and the role of physiologically based selection traits. *Plant Soil*., 247, 93-105.

Rasool, S., Hameed, A., Azooz, M., Siddiqi, T., Ahmad, P. (2013). Salt Stress: Causes, Types and Responses of Plants. Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress. *Springer*, pp. 1-24.

Shirmohammadi, E., Alikhani, H.A., Pourbabaei, A.A., Etesami, H. (2020). Improved Phosphorus (P) Uptake and Yield of Rainfed Wheat Fedwith P Fertilizer by Drought-Tolerant Phosphate-Solubilizing Fluorescent Pseudomonads Strains: a Field Study in Drylands. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 1-17.

Vashev, B., Gaiser, T., Ghawana, T., de Vries, A., Stahr, K. (2010). Biosafor Project Deliv- erable 9: Cropping Potentials for Saline Areas in India, Pakistan and Bangladesh. University of Hohenheim, Hohenheim, Germany.

Determination of resistance range of plant-growth-promoting-rhizobacteria to salinity stress

Ebrahim Shirmohammadi
Assistant Professor, Department of Soil Science, Zabol University, Zabol, Iran

Abstract
To provide the country's need for agricultural products, production must be increase per unit area. But, due to the environmental stresses, especially salinity and drought, the yield of country's crops and horticulture is low. Researchers believe that utilizing the potential of salinity-resistant plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) can be a good way to solve this problem and achieve sustainable agricultural production. In order to evaluate and select salinity-resistant PGPR isolates, colony growth of 40 phosphate-solubilizing bacterial isolates in NA medium containing 0.5, 2, 4, ... and 20 % sodium chloride salt was investigated. The results showed that none of the isolates were halophytes. 100% of the isolates were resistant to at least 2% salinity of sodium chloride salt. Isolates of B5, B6, B14, B18, B22, B23 and B27 were the most resistant PGPR to salinity stress that were able to grow in salinity of 20% sodium chloride salt.

Keywords: Stress, Drought, Salt, PGPR

اثر کادمیوم (به فرم معدنی و پلیمر آلی) بر جذب برخی عناصر(پتاسیم، کلسیم، منیزیم، سدیم و روی) توسط ذرت مایه زنی شده با *Funneliformis caledonium*

میلاد بابادی[۲]، رویا زلقی*[۱]، مهدی تقوی زاهدکلائی[۳]

۱. استادیار، گروه علوم خاک،دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، r.zalaghi@scu.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. استادیار، گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

در بین عناصر سنگین، کادمیوم به دلیل تحرک و زیست فراهمی زیاد در خاک و ایجاد سمیت در غلظت‌های کم، اهمیت ویژه‌ای دارد و همزیستی قارچ میکوریزا با گیاه می‌تواند تعدیل کننده اثرات سمی کادمیوم باشد. لذا در این پژوهش آزمایشی گلخانه‌ای با کشت گیاه ذرت و با دو فاکتور کادمیوم (سطوح صفر، $50\ mg\ Cd\ kg^{-1}$ با پلیمر (Poly-hydroxybutanamide) و $50\ mg\ Cd\ kg^{-1}$ با نیترات کادمیوم) و قارچ (با قارچ میکوریزا *Funneliformis caledonium* و بدون قارچ) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. آلودگی کادمیوم منجر به کاهش معنی‌دار ($P\geq0.05$) غلظت روی شاخساره (از $37/89\ mg\ g^{-1}$ به ۳۱/۶۲ و ۳۳/۸۳) به ترتیب از تیمار شاهد به پلیمر کادمیوم و نیترات کادمیوم گردید. کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش جذب عناصر پرمصرف (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و کم مصرف (روی) به گیاه شد. کادمیوم با ایجاد اختلال (آنتاگونیسم) در جذب عناصر، اثر منفی بر رشد گیاه داشت. همچنین کاربرد ترکیب پلیمر-کادمیوم (به عنوان یک ترکیب غیر سمی)، دسترسی کادمیوم برای گیاه را افزایش داده و سبب بروز اختلال بیشتر در جذب عناصر غذایی شد. هر چند استفاده از این پلیمر می‌تواند راهکاری مؤثر برای افزایش کارآیی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین باشد.

کلمات کلیدی: اثرات متقابل، آلودگی کادمیوم، گیاه ذرت، میکوریز آربوسکولار، عناصر غذایی.

مقدمه

کادمیوم یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین برای موجودات زنده حتی در غلظت‌های کم می‌باشد (لیو و همکاران ۲۰۱۲) که توسط فعالیت‌های طبیعی و انسانی، عدم مدیریت صحیح زباله‌های صنعتی و استفاده بیش از حد از کودهای فسفره (معمولاً دارای ناخالصی کادمیوم می باشند) در خاک تجمع پیدا می‌کند (گرنت ۲۰۱۱). کادمیوم با اثرات مستقیم بر رشد گیاه و یا بطور غیرمستقیم و با جابجایی عناصر ضروری دیگر یا کاهش جذب آنها می‌تواند علایم کمبود مواد مغذی دیگر را ایجاد کند (آلووی ۲۰۰۸).

برای گیاهان ضروری است که تعادل مناسب مواد معدنی را حفظ کنند. این فرضیه وجود دارد که عناصری با خواص شیمیایی و فیزیکی مشابه بطور آنتاگونیستی عمل می‌کنند. برای مثال سمیت فلزات سنگین می تواند و حضور عناصر غیر ضروری موجب اختلال در متابولیسم عناصر کم مصرف و پرمصرف گیاه می‌شود (نعیم و همکاران ۲۰۱۹).

یک راه مطلوب برای مقابله با تنش‌ها کاربرد میکروارگانیسم‌های مفید و دارای توان همزیستی با گیاهان، مانند قارچ‌های میکوریز آربوسکولار است. بسیاری از تحقیقات نشان دادند که تلقیح گیاهان با قارچ‌های میکوریزایی مقاومت آنها را نسبت به فلزات سنگین افزایش می دهد (کریمی و همکاران ۲۰۱۸). بیشتر پژوهش‌های انجام شده در رابطه با همزیستی مایکوریز با گیاهان بر جذب فسفر در گیاه متمرکز شده است (چن و همکاران ۲۰۱۳) و تحقیقات معدودی در ارتباط با اثرات قارچ‌های میکوریز آربوسکولار، به ویژه در حضور آلودگی کادمیوم، بر جذب دیگر عناصر غذایی در گیاه صورت گرفته است. در این

پژوهش از یک پلیمر آلی ساختگی به نام پلی هیدروکسی بوتان آمید (Poly-hydroxybutanamide) با فرمول ($C_6H_9NO_3$) که برای گیاه غیر سمی می باشد استفاده شده است. لذا هدف از این پژوهش بررسی اثر کاربرد ترکیب پلیمری کادمیوم در مقایسه با نمک نیترات کادمیوم و تاثیر مایه‌زنی قارچ میکوریز بر جذب برخی کاتیون های پرمصرف (کلسیم، پتاسیم، منیزیم) و کم مصرف (روی) و همچنین برخی عناصر غیرضروری (سدیم) توسط گیاه ذرت در یک خاک آهکی می باشد.

مواد و روش

برای انجام این پژوهش مقدار لازم از خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی متری) مزرعه کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انتخاب و پس از هوا خشک کردن و گذراندن از غربال ۲ میلی متری، برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به روش‌های استاندارد (کارتر و گرگوریچ، ۲۰۰۸)، به آزمایشگاه منتقل شد (جدول ۱). این آزمایش به شکل گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار و جمعاً ۱۸ گلدان اجرا گردید. دو فاکتور مورد بررسی شامل سطوح قارچ (بدون قارچ و با قارچ *Funneliformis caledonium*) و سطوح کادمیوم (شامل صفر، $50 mg\ kg^{-1}$ کمپلکس با پلیمر-کادمیوم و $50\ mg\ kg^{-1}$ با نیترات کادمیوم) بودند. برای این پژوهش از پلیمر پلی هیدروکسی بوتان آمید که محلول در آب می‌باشد و قابلیت جذب و کمپلکس بالایی با کادمیوم دارد استفاده گردید. این پلیمر در آزمایشگاه با نمک نیترات کادمیوم مخلوط شد تا کمپلکس پلیمر کادمیوم ساخته شود. برای آلوده کردن خاک، مقادیر لازم از محلول کمپلکس پلیمر-کادمیوم و نمک نیترات کادمیوم به صورت جداگانه و به طور یکنواخت به خاک اسپری و همگن شد و پس از رساندن رطوبت آن به حد FC به منظور حصول تعادل فلزات سنگین با خاک گلدان‌ها، به مدت یک ماه در حالت انکوباسیون نگهداری گردید.

برای اعمال تیمارهای قارچ، در زیر بذرها ۱۵۰ گرم از مایه تلقیح میکوریزایی اضافه شد و بذر ضدعفونی شده ذرت (رقم سینگل گراس ۷۰۴) در گلدان‌های مورد نظرکشت گردید. پس از گذشت ۴ ماه از تاریخ کشت، گیاه برداشت و اندام‌های هوایی و ریشه‌ها تفکیک شده و پس از شستشو خشک و پودر شده و با روش هضم با اسید نیتریک ۴ مولار در حرارت ۹۵ درجه سانتی‌گراد هضم شد (آلن و همکاران ۱۹۹۳). سپس غلظت روی با هضم تر (اسپوزیتو و همکاران ۱۹۸۲) و قرائت به وسیله دستگاه جذب اتمی، غلظت سدیم و پتاسیم توسط نورسنج شعله‌ای (فلیم فتومتر) (والینگ و همکاران ۱۹۸۹) و میزان کلسیم و منیزیم از روش تیتراسیون با محلول EDTA (ورسین) ۰/۰۵ نرمال (والینگ و همکاران ۱۹۸۹) تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری داده ها از طریق نرم افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها با نرم افزار Excel انجام گرفت.

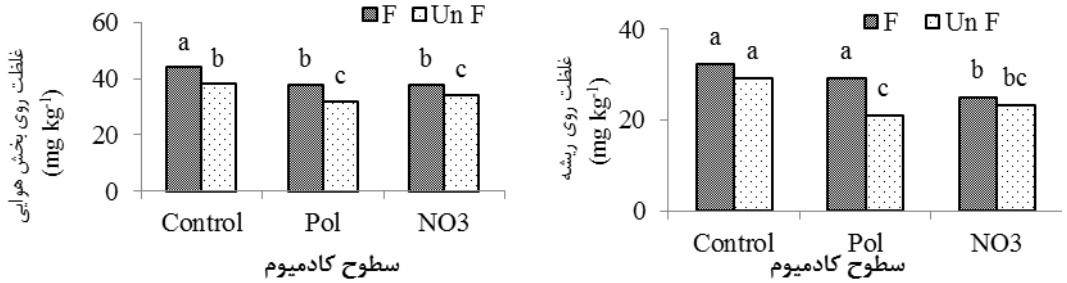
جدول۱-برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی (واحد)	اندازه
هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	۲/۱
pH	۷/۲
پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	۲۹۰
کربنات کلسیم (درصد)	۳۸
فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	۷/۱
بافت خاک	Clay Loam
کادمیوم کل خاک شاهد ($mg\ kg^{-1}$)	۲/۵۴

نتایج و بحث

نتایج برخی ویژگی ها مانند وزن خشک اندام هوایی و ریشه، غلظت کادمیوم و فسفر در اندام هوایی و ریشه و درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ مایکوریز در گزارش پیشین این تحقیق آمده است (بابادی و همکاران، ۱۳۹۸)، لذا در این مقاله به دیگر عناصر و تاثیر کادمیوم بر جذب آنها در گیاه پرداخته می شود.

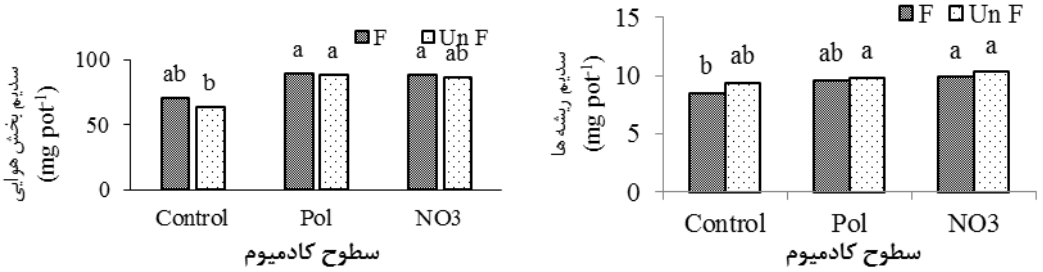
غلظت روی: آلودگی کادمیوم سبب کاهش معنی‌دار غلظت روی اندام هوایی و ریشه گیاه شد (شکل۱). کمترین میزان غلظت روی اندام هوایی در تیمار پلیمرکادمیوم مشاهده شد که به نظر می‌رسد پلیمر، کادمیوم فراهم بیشتری را در دسترس خاک قرار داده، لذا بیشتر از تیمار نیترات کادمیوم در جذب روی اختلال ایجاد نموده است. در مورد اثر کادمیوم بر جذب روی در گیاهان نتایج ضد و نقیضی وجود دارد. برخی از محققین نشان داده‌اند که هیچ اثر کنشی بین روی و کادمیوم در میزان جذب در گیاه نخود وجود ندارد (گائو و گرنت ۲۰۱۲). همچنین لوپز-میلان و همکاران (۲۰۰۹) این اثر متقابل را در دو گیاه گندم بهاره و ذرت بصورت هم‌افزایی (سینرژیستی) گزارش کردند. برخی دیگر اثرمتقابل کادمیوم و روی را در کاهو، اسفناج و ذرت بصورت آنتاگونیسمی گزارش کردند (پورتمن و همکاران ۲۰۱۲). کادمیوم و روی ساختار الکترونی و ظرفیت مشابه داشته و بنابراین خواص فیزیکی و شیمیایی مشابهی داشته و می‌توانند هم در سطح ریشه و هم در داخل گیاه رقابت کنند (پینتو و همکاران ۲۰۱۷). غلظت روی در اندام هوایی و ریشه گیاهان مایه‌زنی شده بیشتر از مایه‌زنی نشده بود و قارچ میکوریزا با ایجاد رابطه همزیستی با ریشه گیاه و گسترش هیف‌های خارجی در محیط خاک، موجب انتقال عنصر روی در مقادیر بالاتر به گیاه شده است (چن و همکاران ۲۰۰۴).



شکل۱- غلظت روی بخش هوایی و ریشه گیاه در سطوح مختلف کادمیوم و تیمارهای قارچی

هیستوگرام های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آزمون دانکن می باشند.

میزان برداشت سدیم: آلودگی کادمیوم سبب افزایش سدیم بخش هوایی و ریشه گیاه شد (شکل۲). کادمیوم پس از ورود به خاک و اشغال جایگاه‌های تبادلی، سبب آزاد شدن سدیم در خاک می‌شود (هوآنگ و همکاران ۲۰۰۵). همچنین قارچ‌های میکوریزا می‌توانند سبب کاهش میزان جذب سدیم در گیاه شوند که در پژوهش ما به نظر می‌رسد رشد بهتر گیاهان میکوریزی این اثر را تعدیل بخشیده است.

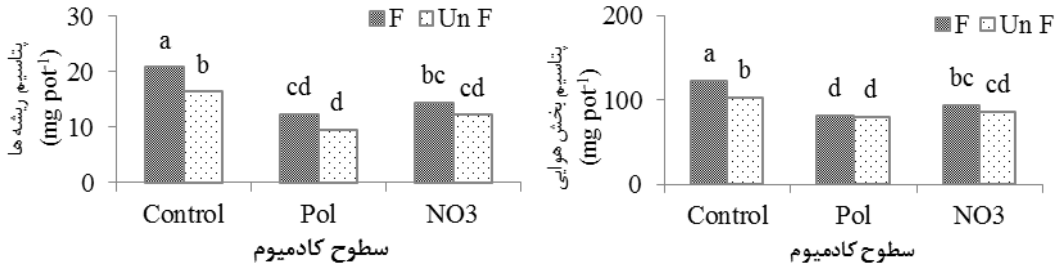


شکل۲- میزان برداشت سدیم بخش هوایی و ریشه گیاه در سطوح مختلف کادمیوم و تیمارهای قارچی

هیستوگرام های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آزمون دانکن می باشند.

میزان برداشت پتاسیم: میزان برداشت پتاسیم بخش هوایی و ریشه گیاه، با افزایش آلودگی کادمیوم کاهش نشان دادند (شکل۳). پتاسیم با نقش‌های فیزیولوژیک متعدد، فراوان‌ترین کاتیون معدنی در سلول‌های گیاهی است (بنیتو و همکاران ۲۰۱۴). کاهش میزان پتاسیم در گیاه، در نتیجه تنش کادمیوم و رقابت یون پتاسیم با این یون برای جذب به وسیله گیاه می‌باشد (ندیمی و داوود ۲۰۰۹).

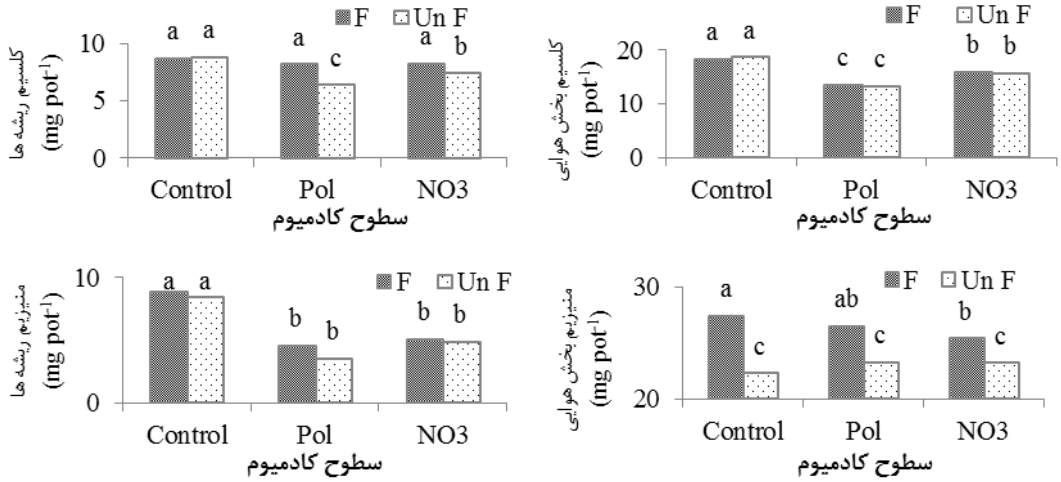
همزیستی با قارچ در تیمارهای آلوده و غیر آلوده سبب افزایش پتاسیم بخش هوایی و ریشه شد. محققان بر این باورند که قارچ‌های میکوریزا با نگه داشتن سدیم در ریشه گیاه میزبان، باعث کاهش ورود آن به اندام هوایی گیاه شده و از طریق افزایش جذب یون پتاسیم نسبت به یون سدیم موجب مقاومت گیاه در شرایط تنش می‌شوند (دامینگاز و همکاران ۲۰۱۶).



شکل۳- میزان برداشت پتاسیم بخش هوایی و ریشه گیاه در سطوح مختلف کادمیوم و تیمارهای قارچی

هیستوگرام های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آزمون دانکن می باشند.

میزان برداشت کلسیم: آلودگی کادمیوم سبب کاهش میزان کلسیم بخش هوایی و ریشه گیاه شد (شکل۴). به طوریکه بیشترین میزان برداشت کلسیم بخش هوایی و ریشه‌ها در سطح صفر کادمیوم مشاهده شد و کمترین میزان آن در تیمارهای پلیمر-کادمیوم بود که احتمالاً می‌تواند بدلیل سمیت بیشتری باشد که آلودگی کادمیوم در خاک ایجاد کرده است. همچنین مایه‌زنی با قارچ در تیمارهای آلوده و غیر آلوده سبب افزایش نسبی کلسیم شد که فقط در تیمارهای پلیمر-کادمیوم و نیترات کادمیوم در ریشه‌ها معنی‌دار بود. بهات (۲۰۱۴) در تحقیقات خود اثرات آنتاگونیسمی کلسیم را روی کادمیوم نشان دادند. یکی از مکانیسم‌های مهمی که فراهمی کادمیوم در خاک را تنظیم می‌کند، رقابت بین کادمیوم و کلسیم و منیزیم برای محل‌های جذب در خاک می‌باشد که سبب تغییر میزان عناصر غذایی قابل دسترس برای گیاه می‌شود (نظر و همکاران ۲۰۱۲). مایه‌زنی با قارچ میکوریز در شرایط تنش کادمیوم سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه شد که این امر می‌تواند به دلیل بهبود شرایط رشد و جذب بیشتر عناصر غذایی باشد (ابدل و همکاران ۲۰۱۴). تجمع بیش از حد کادمیوم ممکن است سبب کمبود مواد معدنی و کاهش رشد گیاهان شود که حضور قارچ‌های میکوریزا می‌تواند بر این محدودیت‌ها غلبه کنند و تا حدودی از آثار سمیت آن‌ها بکاهد (ندیمی و داوود ۲۰۰۹).



شکل۴- میزان برداشت کلسیم و منیزیم بخش هوایی و ریشه گیاه در سطوح مختلف کادمیوم و تیمارهای قارچی

هیستوگرام های دارای حروف مشترک فاقد اختلاف معنادار در سطح پنج درصد آزمون دانکن می باشند.

میزان برداشت منیزیم: با افزایش سطوح آلودگی میزان برداشت منیزیم گیاه به طور معنی‌داری کاهش یافت و این کاهش در تیمارهای مایه‌زنی نشده ریشه بیشتر بود (شکل۴). کاهش میزان منیزیم در گیاه می‌تواند در نتیجهٔ افزایش غلظت کادمیوم

گیاه و اختلال در تغذیهٔ معدنی گیاه به ویژه منیزیم، آهن، منگنز از طریق ممانعت در جذب به ریشه‌ها (به دلیل رقابت کادمیوم با این عناصر در جذب یا اختلال در نفوذپذیری غشاها و ناقلین یون‌ها) یا انتقال آن‌ها به بخش هوایی (از طریق تأثیر بر پتانسیل آبی آوندهای چوبی به دلیل اختلال در تعرق) گیاهان باشد (پاترا و همکاران ۲۰۰۴).

نتیجه گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که آلودگی کادمیوم و به ویژه استفاده از ترکیب پلیمر-کادمیوم، در جذب برخی از عناصر اختلال ایجاد نمود. کاربرد قارچ میکوریزی در شرایط آلودگی کادمیوم خاک سبب افزایش جذب عناصر پرمصرف (پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و عناصر کم مصرف (روی) به گیاه ذرت شد. در بیشتر تحقیقات انجام شده تاکنون بر روی قارچ میکوریز به بررسی جذب فسفر توسط گیاه در حضور این قارچ ها پرداخته شده است. درحالیکه تحقیق حاضر نشان می دهد که قارچ میکوریز می تواند در تنظیم جذب دیگر عناصر و ایجاد تعادل در غلظت عناصر در گیاه بسیار موثر باشد.

سپاسگذاری

نویسندگان از دانشگاه شهید چمران اهواز که این تحقیق با حمایت مالی این دانشگاه (گرنت شماره **97/3/02/26247**) انجام گرفته کمال تشکر را دارند.

فهرست منابع

بابادی، م.، زلقی، ر. و تقوی، م. (۱۳۹۸). مقایسه سمیت و جذب کادمیوم از دو ترکیب پلیمری و نیتراتی توسط ذرت تلقیح شده با قارچ *Glomus caledonium*. تحقیقات آب و خاک ایران، (۶۰):۶: ۱۳۹۵-۱۴۰۸.

Abdel Latef, A. A. and Chaoxing, H. (2014). Does the inoculation with *Glomus mosseae* improve salt tolerance in pepper plants? Journal of Plant Growth Regulation 33: 644-653.

Allen, H. E., Perdue, E. M. and Brown, D. (1993). Metals in Ground Water. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

Bhat, N. A., Mir, A. H., Lal, E. P., & Rather, M. A. (2014). Antagonistic effect of calcium (Ca^{2+}) on cadmium (Cd) viz. chlorophyll, protein and oil yield of mustard plant (*Brassica juncea L.*) var. pusa bold. International Journal of Development Research, 4(3), 683-687.

Alloway, B. J. (2008). Zinc in soils and crop nutrition. Brussels, Belgium: International Zinc Association.

Benito, B., Haro, R., Amtmann, A., Cuin, T. A. and Dreyer, I. (2014). The twins K+ and Na+ in plants. Journal of plant physiology, 171(9): 723-731.

Carter, M. R. and Gregorich, E. G. (2008). Soil sampling and methods of analysis 2nd ed. CRC Press. Boca Raton. FL. 1204: 235-251.

Chan, W. F., Li, H., Wu, F. Y., Wu, S. C. and Wong, M. H. (2013). Arsenic uptake in upland rice inoculated with a combination or single arbuscular mycorrhizal fungi. Journal of Hazardous Materials. 262: 1116-1122.

Chen, B., Shen, H., Li, X., Feng, G. and Christie, P. (2004). Effects of EDTA application and arbuscular mycorrhizal colonization on growth and zinc uptake by maize Zea mays L. in soil experimentally contaminated with zinc. Journal of Plant and Soil. 2611: 219-229.

Dominguez-Nuñez, J. A., Benito, B., Berrocal-Lobo, M.. and Albanesi, A. (2016). Mycorrhizal fungi: role in the solubilization of potassium. In Potassium solubilizing microorganisms for sustainable agriculture (pp. 77-98). Springer, New Delhi.

Gao, X. and Grant, C. A. (2012). Cd and Zn concentration in grain of durum wheat in relation to phosphorus fertilization, crop sequence and tillage management. App Environ Soil Sci. 2012, 1-10.

Grant, C. A. (2011). Influence of phosphate fertilizer on cadmium in agricultural soils and crops. Agriculture and Agri-Food Canada, 54:143–155.

Huang, P. M. (2005). Chemistry of soil potassium. Chemical Processes in Soil, 221-292.

Karimi, A., Khodaverdiloo, H. and Rasouli-Sadaghiani, M. H. (2018). Microbial-Enhanced Phytoremediation of Lead Contaminated Calcareous Soil by Centaurea cyanus L. CLEAN–Soil, Air, Water, 46(2), 1700665.

Liu, L., Zhang, Q., Hu, L., Tang, J., Xu, L., Yang, X., and Chen, X. (2012). Legumes can increase cadmium contamination in neighboring crops. PLoS One, 7(8), e42944.

López-Millán, A. F., Sagardoy, R., Solanas, M., Abadía, A. and Abadía, J. (2009). Cadmium toxicity in tomato (Lycopersicon esculentum) plants grown in hydroponics. Environmental and Experimental Botany, 65(2-3): 376-385.

Naeem, A., Zafar, M., Khalid, H., Zia-ur-Rehman, M., Ahmad, Z., Ayub, M. A. and Qayyum, M. F. (2019). Cadmium-Induced Imbalance in Nutrient and Water Uptake by Plants. In Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants (pp. 299-326). Academic Press.

Nazar, R., Iqbal, N., Masood, A., Khan, M. I. R., Syeed, S. and Khan, N. A. (2012). Cadmium toxicity in plants and role of mineral nutrients in its alleviation. American Journal of Plant Sciences, 3(10): 1476.

Nedjimi, B. and Daoud, Y. (2009). Cadmium accumulation in Atriplex halimus subsp.schweinfurthii and its influence on growth, proline, root hydraulic conductivity and nutrient uptake. Functional Ecology of Plants, 204: 316-324.

Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B. and Sharma, A. (2004). Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. Environmental and Experimental Botany, 52(3): 199-223.

Pinto, F. R., Mourato, M. P., Sales, J. R., Moreira, I. N. and Martins, L. L. (2017). Oxidative stress response in spinach plants induced by cadmium. Journal of Plant Nutrition, 40(2): 268-276.

Portman, D. (2012). Cd and Zn Uptake in Wheat as Affected by Nitrogen Fertilization and Agricultural Management. Master thesis. Supervised by. Dr. Susan Tandy. Prof. Dr. Rainer Schulin.

Sposito GL, Lund J, Chang AC. (1982). Trace metal chemistry in aridzone field soils amended with sewage sludge: I. fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci Soc Am J 46:260–265.

Waling, I., Vark, W.V., Houba, V. J. G. and Van der lee, J. J. (1989). Soil and Plant Analysis, a series of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland.

The Effects of Cd (in the form of inorganic and organic polymer) on uptake of some elements (K, Ca, Mg, Na, and Zn) by maize inoculated with *Funneliformis caledonium*

Milad Babadi[2], Roya Zalaghi*[1], Mehdi Taghavi[3]

1. Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. r.zalaghi@scu.ac.ir
2. MSc Student, Department of Soil Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Chemistry, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

Abstract

Among heavy metals, Cd due to high bioavailability and toxicity at low concentrations in soil, was given special importance and application of mycorrhiza can adjust this stress to plant. This study was performed with maize cultivation, with three levels of Cd (0, 50 mg kg^{-1} using Polymer (Poly-hydroxybutanamide) – Cd, and 50 mg kg^{-1} using Cd-nitrate), two levels of fungus (inoculanted with *Funneliformis caledonium* and non-inoculanted), and with three replications in a factorial experiment as a completely randomized design in greenhouse conditions. Cd pollution significantly resulted in decrease ($P \leq 0.05$) in shoot Zn concentration (from 33.83 to 31.62 and 33.83 mg g^{-1}) from control to polymer-Cd and nitrate-Cd respectively. Inoculation with mycorrhizal fungi resulted in the increase in the absorption of macronutrients (potassium, calcium, and magnesium) and micronutrients (zinc) and the improvement of plant growth parameters. The results showed that Cd has a negative effect on plant growth with an imbalance in the absorption of the nutrient, and Poly-hydroxybutanamide polymer (a non-toxic compound) increased Cd availability and decreased nutrient uptake by plant, but could be recommended to improve phytoremediation.

Keywords: Arbuscular mycorrhizae, Cadmium pollution, interactions effects, nutrient elements, *Zea mays*.

تاثیر کودفسفره به همراه تلقیح باکتری حل کننده فسفات بر روی برخی ویژگی‌های مورفولوژی کلزا

مهدی رنجبر[۱]، حسین میرسید حسینی[۲]، فریدون نورقلی پور[۳]، حسن اعتصامی[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران؛ Ranjbar.m@ut.ac.ir

[۲]دانشیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران؛ mirseyed@ut.ac.ir

[۳] استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج؛nourfg@yahoo.com

[۴]استادیار، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران؛hassanetesami@ut.ac.ir

چکیده

کلزا از محصولات مهم دانه روغنی در جهان به‌شمار می‌رود و فسفر نقش مهمی در دستیابی به عملکرد بهینه آن دارد. با توجه به کمبود فسفر در بیش از ۵۰ درصد اراضی زراعی کشور، مقایسه‌ای از چند ترکیب کودی در این تحقیق در شرایط گلخانه در سال ۱۴۰۰در قالب طرح کاملا تصادفی در ۳تکرار اجرا گردید. در این تحقیق از باکتری حل کننده فسفات و کود سوپرفسفات تریپل در تیمار نمونه‌های آزمایشی استفاده گردید. پس از طی شدن دوره رشد ۶ هفته‌ای برخی شاخص-ها از جمله مساحت سطح برگ، سبزینگی و قطرساقه قرائت گردید. نتایج تحقیق نشان داد که باکتری حل کننده فسفات جدایه سودوموناس پوتیدا(با جمعیت سلول در هرمیلی لیتر 10^8)، موجب بهبود عملکرد مورفولوژیکی گیاه کلزا گردید. نتایج نشان داد اثرات باکتری و کود بر روی شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار می‌باشد و بطور کلی باکتری‌های حل کننده فسفات باعث بهبود جذب فسفر و افزایش قطر ساقه و مساحت برگ گردید.

واژگان کلیدی: تلقیح، سبزینگی، شاخص سطح برگ، قطر ساقه،کلروفیل،میکروارگانیسم

مقدمه

فسفر (P) دهمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و مقدار متوسط آن تقریبا ۰/۱۲درصد است Krishna *et al.*(2020). تولید محصولات کشاورزی در اراضی دچار کمبودفسفر به کودهای فسفره بستگی دارد. فسفر یک عنصر حیاتی برای رشد، حاصلخـیزی و باروری گیاه است. غلظت آن در گیاهان از ۰/۰۵ درصد تا ۰/۵درصد در وزن خشک کل گیاه متغیر است(Malhotra *et* al.(2018. میکروارگانیسم‌های مختلفی بطور رایج در فعالیت‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد که قادر به افزایش قابل توجه بایوماس، رشد ریشه وکیفیت و عملکرد اقتصادی می‌باشد. به اصطلاح به این موجودات باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR)[۱] می‌گویند(Naiman *et al.*(2009. سودوموناس[۲] نیز یکی از معروف‌ترین نوع این باکتری‌ها می‌باشد(Banerjee *et al.*,2006). اگرچه ممکن است مقدار کل فسفر در خاک زیاد باشد، اما عمدتا بیشتر از ۸۰٪ در اشکال غیر قابل دسترس گیاهان به دلیل تثبیت یا تبدیل به اشکال آلی وجود دارد که از دسترس گیاه خارج است Rengel and Marschner(2005). نتایج یک بررسی نشان داد که ۵۱/۳ درصد از اراضی کشاورزی ایران در گروه فسفر کم، ۳۰/۵ درصد فسفر متوسط و ۱۸/۲ درصد فسفر بالا قرار می‌گیرند،کریم شهبازی و حسین بشارتی(۱۳۹۲). به-

[1] Plant Growth Promoting Rhizobacteria
[2] Pseudomonas spp.

دلیل اینکه استفاده از کودهای فسفری و منابع مختلف آن به‌منظور تامین فسفر گیاه در کشاورزی امروزه با چالش‌های جدی روبرو است که از جمله می توان به افزایش هزینه تولید ومصرف، مشکلات زیست محیطی، آلودگی منابع آب و خاک‌ها اشاره کرد، لذا هدف ما از این پروژه استفاده از پتانسیل میکروارگانیسم‌ها در بهره برداری بهتر از منابع فسفر در خاک با افزایش کارایی زیستی که می تواند ضمن افزایش راندمان مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند آلودگی منابع آبی و خاکی رانیز کاهش دهد.

کلزا گیاهی متعلق به خانواده *Brassicaceae* است. این خانواده شامل سه گونه مختلف است: *Brassica napus*، *B. rapa* و *B. juncea*. که در اصل در منطقه مدیترانه و شمال اروپا، *B. napus* معمولاً به کلزا معروف است. طی ۴۰ سال گذشته، کلزا به یکی از گیاهان بزرگ و مهمترین محصولات دانه روغنی در سراسر جهان تبدیل شده است Lin *et al.*(2013). از مزایای تلقیح گیاهان با باکتری های محرک رشد می توان به تقویت شاخص های متعددی از جمله سرعت جوانه زنی، رشد ریشه، عملکرد در واحد سطح، کنترل بیولوژیکی عوامل بیماری زا، سطح برگ، محتوای کلروفیل، مقاومت به خشکی، وزن خشک اندام هوایی و ریشه و فعالیت های میکروبی دانست Lucy *et al.*(2004)، که بر همین اساس این تحقیق برای مشاهده تاثیر باکتری حل کننده فسفات به همراه کود فسفره در خاکی با کمبود فسفر در برخی شاخص های مورفولوژی کلزا از جمله سطح برگ، قطر ساقه و محتوای کلروفیل(شاخص سبزینگی) انجام شد که این مقاله نتایج مراحل اولیه یک تحقیق جامع می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش بصورت کشت گلدانی در اتاق رشد با شرایط نور، رطوبت و دمای یکسان برای تمامی گلدان‌ها صورت گرفت. خاک مورد استفاده از اطراف کرج با محتوای فسفرقابل جذب۴/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم تهیه گردید. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول یک آورده شده است.

این آزمایش در قالب طرح پایه کاملا تصادفی در اتاق رشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران در سال۱۴۰۰ با ۳ تکرار انجام شد. تیمارهای اصلی شامل: الف)یک سطح کودی حاوی ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل ،ب)تیمار باکتری حل کننده فسفات(جدایه منسوب به سودوموناس پوتیدا) به همراه کود سوپرفسفات تریپل، تیمارهای شاهد شامل ج)شاهد مثبت و د)شاهد منفی(شاهد منفی فاقد هرگونه افزودنی به خاک و شاهد مثبت فقط محلول غذایی در حد بهینه و ه)شاهد + باکتری

برای تیمارهای باکتری حل کننده فسفات از مایع تلقیح در دو مرحه؛ابتدا هنگام کاشت بذر ۱ قطره در کنار هر بذر و سپس بعد از جوانه زنی (۳برگی شدن جوانه‌ها) بصورت مخلوط در آب آبیاری به نسبت مقدار آب آبیاری مورد نیاز + تعداد بذر کاشته شده در گلدان‌ها اضافه شد. در هر گلدان تعداد ۸ بذر در ابتدا کاشته شد و پس از جوانه زنی و مرحله ۴برگی شدن تُنک شد و تعدا ۳ بوته در هرگلدان نگه داشته شد. بذر کلزا از رقم دلگان می‌باشد. برای این آزماش تاثیر باکتری حل کننده فسفات و کود سوپرفسفات تریپل بر روی ویژگی های ظاهری و مورفولوژیکی شامل قطر ساقه، مساحت سطح

برگ(LAI[3]) و سبزینگی برگ‌ها بررسی شد. برای اندازه گیری سبزینگی از دستگاه کلروفیل‌متر (Spad-502.مینولتای ژاپن) ،برای مساحت سطح برگ از نرم افزار ImageJ و برا قطر ساقه از دستگاه کولیس دیجیتالی استفاده شد. این پارامترها پس از ۶ هفته و طی شدن دوره رشد قبل از گلدهی قرائت گردید.

نتایج حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم افزار SAS آنالیز گردید و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون DUNCAN وLSD در سطح احتمال یک درصد انجام شد.

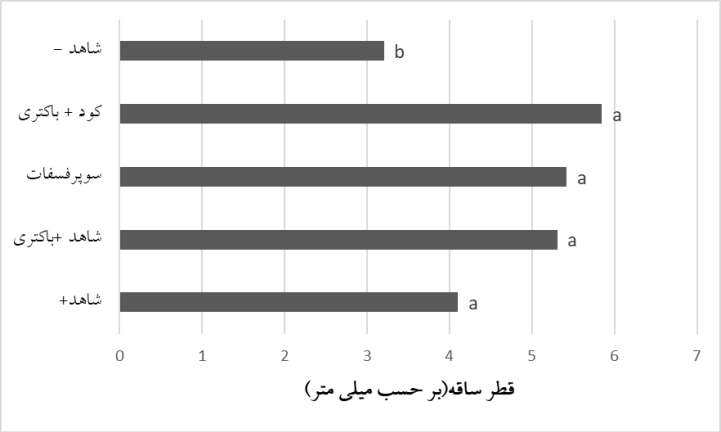
جدول۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک مورد آزمایش

اسیدیته خاک (PH)	هدایت الکتریکی (ds/m) EC	کربن آلی Organic carbon	پتاسیم قابل جذب Aveilable K	فسفر قابل جذب Aveilable P	٪شن %Sand	٪ رس %Clay	٪سیلت %Silt
8/12	۰/۴۶	۱/۲۶	۳۰۹	۴/۲۰	۷۰	۱۴	۱۶

نتایج و بحث

شاخص قطرساقه

نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان‌داد که اثرات اصلی باکتری و کود در سطح ۱٪ بر روی قطر ساقه معنی‌دار می-باشد. بر این اساس بیشترین و کمترین قطر ساقه به ترتیب مربوط به 5/85(میلی متر) باکتری حل‌کننده فسفات به همراه ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و 3/21(میلی متر) تیمار شاهد منفی بود(شکل۱). در آزمایشی توسط *Yasari and Patwardhan* نشان داده شد که سرعت رشد محصول در کلزا تحت تأثیر تلقیح گیاه با باکتری‌های بهبود دهنده رشد نسبت به عدم تلقیح ۱۰ تا ۱۲ ٪ افزایش نشان داد و اظهار داشتند که گیاهان تیمار شده با باکتری‌های بهبود دهنده رشد نسبت به تیمار شاهد، دارای سرعت رشد محصول بیشتری بودند(Yasari and Patwardhan(2007) .



شکل۱-مقاسه میانگین قطر ساقه تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی(LSD)

شاخص سطح برگ(LAI)

این شاخص نشان دهنده ظرفیت فتوسنتزی گیاه است که به تعداد و اندازه برگ بستگی دارد. شاخص سطح برگ تحت تأثیر عوامل محیطی مانند حاصلخیزی خاک و شرایط رطوبتی قرار می‌گیرد(Cakir(2004. با توجه به نتایج تجزیه آماری و مقایسه میانگین بین تیمارهای مختلف، نتایج نشان داد اثرات باکتری و کود بر روی شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. بر همین اساس بیشترین و کمترین مقدار سطح برگ به ترتیب ۱۳۰۱/۶۹(سانتی متر

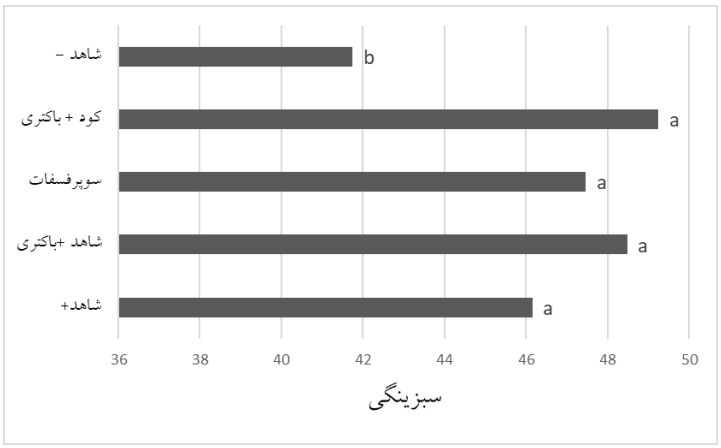
[3] Leaf Area Index

مربع) باکتری حل کننده فسفات به همراه ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و۳۷۳/۱۳ (سانتی متر مربع) تیمار شاهد منفی بود(شکل۲). سپهری و شهبازی(2017) در آزمایش‌های خود اظهار داشتند که باکتری سودوموناس پوتیدا از طریق همیاری با ریشه گیاهان و با شبکه گسترده ریشه‌ای در گیاه از طریق جذب املاح، سبب افزایش سطح برگ گیاه میگردد. افزایش شاخص سطح برگ، سطح فتوسنتز کننده گیاه را افزایش میدهد و در نتیجه گیاهانی با شاخص سطح برگ بالاتر توان تولیدی بیشتر داشته و عملکرد دانه بیشتری نیز تولید میکنند(2013).Shahhosini *et al* .

شکل۲-مقاسه میانگین سطح برگ تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی(LSD)

شاخص سبزینگی

فتوسنتز یکی از فرآیندهای فیزیولوژیک حساس می باشد(2007).Wahid *et al* که کاهش آن باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود(2014).Talukder *et al*. کاهش میـزان سـطح سبز برگ که در فاز زایشی گیاه زراعی رخ می‌دهد اثر منفی بر رشد گیاه خواهـد گذاشت(2011).Wang *et al*. بر اساس نتایج واریانس حاصله از این تحقیق نشان داد که اثر باکتری و کود در سطح ۱٪ بر روی سبزینگی گیاه معنی‌دار بود و بیشترین کمترین اثر را به ترتیب میانگین عدد قرائت شده از دستگاه اسپد ۴۹ /۲۴۴ مربوط به تیمار باکتری و کود، ۴۱/۷۴۴ مربوط به تیمار شاهد منفی بود(شکل۳). در یک تحقیق بر روی گندم نشان داده‌شد که باکتری سودوموناس در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تلقیح) موجب افزایش صفات فیزیولوژیکی گردید، به طوری که بیشترین میزان شاخص کلروفیل، میزان کلروفیل در تلقیح با باکتری سـودوموناس مشاهده گردید(2013).Saghafi *et al* .



شکل3-مقاسه میانگین سبزینگی تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی(LSD)

جدول۲-مقایسه میانگین تیمارها بر روی شاخص‌های مورفولوژی گیاه کلزا(آزمون دانکن)

تیمارها	شاخص سبزینگی	شاخص قطرساقه (میلی متر)	شاخص مساحت سطح برگ (سانتی متر مربع)
F_1	۴۶/۱۵۵۶ab	۴/۱۱b	۱۰۷۹/۶۳b
F_2	۴۸/۴۸۸۱a	۵/۳۰ab	۱۲۸۷/۴۷a
F_3	۴۷/۴۶۶۷a	۵/۴۲a	۱۲۷۹/۶۳a
F_4	۴۹/۲۴۴۳a	۵/۸۵a	۱۳۰۱/۶۹a
F_5	۴۱/۷۴۴۰b	۳/۲۱c	۳۷۳/۱۳c

حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد(DUNCAN)

F_1شاهد مثبت، F_2 شاهد+باکتری، F_3سوپرفسفات تریپل، F_4سوپرفسفات تریپل+باکتری، F_5 شاهد منفی

نتیجه گیری

بطورکلی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که باکتری حل کننده فسفات جدایه سودوموناس پوتیدا، موجب بهبود عملکرد مورفولوژیکی گیاه کلزا گردید. با توجه به اینکه در تمامی شاخص‌های کیفی زراعی از جمله مساحت سطح برگ، سبزینگی و قطر ساقه در تیمارهای باکتری حل کننده فسفات همراه با کود سوپرفسفات تریپل توانسته در مقایسه با تیمار شاهد بدون باکتری بطور معنی داری عملکرد را افزایش دهد می‌توانیم در توصیه‌های زراعی و حاصلخیزی از این نتایج بهره ببریم. لذا اینطور می‌توان استنتاج نمود که به‌کار بردن مایع تلقیح باکتری سودوموناس و همچنین باکتری همراه با کود سوپرفسفات تریپل می‌تواند در شرایط کمبود فسفر و صرفه‌جویی در بکار بردن کود فسفره مفید واقع گردد.

منابع

Krishna, G. S., Krishna, T. G., Munaswamy, V., & Reddi, Y. (2020). Status of available phosphorus, forms and distribution of phosphorus in soil under major cropping systems of Nellore district, AP. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, *9*(6), 262-266.

Malhotra, H., Sharma, S., & Pandey, R. (2018). Phosphorus nutrition: plant growth in response to deficiency and excess. In *Plant nutrients and abiotic stress tolerance* (pp. 171-190). Springer, Singapore.

Sepehri, A., & Shahbazi, H. (2017). Effect of planting date and biological and chemical fertilizers on phenology and physiological indices of peanuts. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *15*(1), 216-230.

Schoumans, O. F., Bouraoui, F., Kabbe, C., Oenema, O., & van Dijk, K. C. (2015). Phosphorus management in Europe in a changing world. *Ambio*, *44*(2), 180-192.

Talukder, A. S. M. H. M., McDonald, G. K., & Gill, G. S. (2014). Effect of short-term heat stress prior to flowering and early grain set on the grain yield of wheat. *Field Crops Research*, *160*, 54-63.

Ahmadi, J., Asgharzadeh, A., & Bakhtiari, S. (2013). The effect of microbial inoculants on physiological responses of two wheat cultivars under salt stress. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *4*(4), 364-371.

Lin, L., Allemekinders, H., Dansby, A., Campbell, L., Durance-Tod, S., Berger, A., & Jones, P. J. (2013). Evidence of health benefits of canola oil. *Nutrition reviews*, *71*(6), 370-385.

Shahhosini, Z., Gholami, A., & Asghari, H. R. (2013). The effects of mycorrhizal symbiosis on yield and some growth characteristics of maize under water deficit condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *44*(2).

Wang, X., Cai, J., Jiang, D., Liu, F., Dai, T., & Cao, W. (2011). Pre-anthesis high-temperature acclimation alleviates damage to the flag leaf caused by post-anthesis heat stress in wheat. *Journal of plant physiology*, *168*(6), 585-593.

Naiman, A. D., Latrónico, A., & de Salamone, I. E. G. (2009). Inoculation of wheat with Azospirillum brasilense and Pseudomonas fluorescens: impact on the production and culturable rhizosphere microflora. *European Journal of Soil Biology*, *45*(1), 44-51.

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and experimental botany*, *61*(3), 199-223.

Yasari, E., & Patwardhan, A. M. (2007). Effects of (Azotobacter and Azosprillium) inoculants and chemical fertilizers on growth and productivity of canola (Brassica napus L.). *Asian Journal of Plant Sciences*.

Banerjee, M. R., Yesmin, L., Vessey, J. K., & Rai, M. (2006). Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. *Handbook of microbial biofertilizers. Food Products Press, New York*, 137-181.

Rengel, Z., & Marschner, P. (2005). Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. *New Phytologist*, *168*(2), 305-312.

Lucy, M., Reed, E., & Glick, B. R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie van leeuwenhoek*, *86*(1), 1-25.

Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, *89*(1), 1-16.

The effect of phosphorus fertilizer along with inoculation of phosphate solubilizing bacteria on some morphological Properties of canola

Mahdi Ranjbar[1],Hossein mirseyed hosseini[2],Fereydon Norgolipor[3],hassan etesami[4]

Master student. Agricultural Engineering and Technology . University of Tehran; Ranjbar.m@ut.ac.ir

Associate Professor, Agricultural Engineering and Technology . University of Tehran; mirseyed@ut.ac.ir

Assistant Professor, Soil and Water Research Institute; nourfg@yahoo.com

Assistant Professor, Agricultural Engineering and Technology. University of Tehran; hassanetesami@ut.ac.ir

ABSTRACT

Canola is one of the most important oilseed crops in the world and phosphorus plays an important role in achieving its optimal yield. Due to phosphorus deficiency in more than 50% of the Agricultural lands of the country A comparison of several fertilizer combinations in this study was performed in greenhouse conditions in ۲۰۲۱ in a completely randomized design with 3 replications. In this study, phosphate solubilizing bacteria and triple superphosphate fertilizer were used in the treatment of experimental samples. After 6 weeks of growth, some indices such as leaf area, greenness and stem diameter were read. The results showed that the phosphate-solubilizing bacteria of Pseudomonas putida isolate(With cell population per 10^8ml), Improved the morphological performance of canola. The results showed that the effects of bacteria and fertilizer on leaf area index were significant at the level of 1% probability and in general, phosphate solubilizing bacteria improved phosphorus uptake and increased stem diameter and leaf area.

Keywords: Inoculation, Greenness, leaf area index, stem diameter, chlorophyll, microorganisms

تاثیر محرکهای زیستی مختلف بر انتقال مجدد بور درگیاه اسفناج

فاطمه اکبرنژاد[1]، رضا خراسانی[2] ، امیر فتوت[3]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
fatemehakbarnezhad1980@gmail.com
۲و۳ دانشیارو استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

به منظور بررسی اثر محلولپاشی برگی محرکهای زیستی بر انتقال مجدد بور در گیاه اسفناج، آزمایشی با سه نوع ترکیب (آسکوربیک اسید، گلایسین و مانیتول) و هر کدام در سه سطح (صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر) بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار در گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. نتایج نشان داد کاربرد محلولپاشی این ترکیبات بر برگهای بالغ گیاه ، سبب کاهش غلظت بور در برگهای بالغ و افزایش غلظت بور در برگهای جوان، ریشه و ساقه گردید. اگرچه نقش مانیتول نسبت به آسکوربیک اسید و گلایسین در تغییرات غلظت بور در بخشهای مختلف گیاه بیشتر بود. با محلولپاشی محرکهای زیستی درصد توزیع بور در برگهای بالغ کاهش یافت و برگهای جوان و ریشه به ترتیب سهم بیشتری را به خود اختصاص دادند. احتمالا توانایی زیاد بوریک اسید برای تشکیل کمپلکس با این ترکیبات بویژه مانیتول و انتقال آنها در آوندهای آبکش سبب انتقال مجدد بور در گیاه شده است. نسبت غلظت بالای بور در برگهای جوان نسبت به برگهای بالغ (۱<) که به عنوان شاخص تحرک بور در گیاهان در نظر گرفته می‌شود، نیز می‌تواند دلیلی برای انتقال مجدد بور در گیاه اسفناج باشد.

واژگان کلیدی: توزیع بور، شاخص تحرک، مانیتول، محرکهای زیستی

مقدمه

جذب و انتقال بور در داخل گیاه دو عامل مهم در فراهمی بور می‌باشند و توانایی جذب بور و انتقال آن از ریشه‌ها به سایر بخشهای گیاه، پایه و اساس کارایی و راندمان بور است(Lili *et al*.,2015). از سوی دیگر بور تنها عنصر غذایی است که پویایی آن در بین گونه‌های گیاهی بسیار متغیر است بطوریکه در برخی گیاهان بور تحرک زیادی داشته و در برخی دیگر تحرک بور بسیار کم است، که خود عامل مهمی در ایجاد کمبود بور در گیاهان است (Brown and shelp.,1997). علت اختلاف در تحمل گیاهان به کمبود بور به تشکیل کمپلکسهای بور با ترکیبات دیول[1]یا پلیول[2] یا همان الکلهای قندی نسبت داده شده است(Bellaloui et al., 2003). اسیدبوریک(H_3Bo_3) و بورات$B(OH)_4^-$ که دو فرم قابل جذب بور برای گیاهان بوده، به دلیل ساختار مولکولی و دارا بودن گروههای عاملی هیدروکسیل، توانایی تشکیل کمپلکسهای پایداری را با ترکیبات دیول و پلیول دارند(Camacho -Cristobal *et al*.,2011). علاوه بر ترکیبات ذکر شده،مولکولهای زیستی متعددی از قبیل نوکلئوتیدها، گلوکورونیدها، ویتامینها، پروتئینها، آمینواسیدها و تعداد زیادی از اسیدهای آلی نیز با بور واکنش می‌دهند(Koseand Zumreoglu-Karan.,2012).گیاهانی که توانایی تولید الکلهای قندی و انتقال آنها در آوند آبکش را دارند، پتانسیل زیادی برای انتقال مجدد بور از برگهای بالغ به برگهای جوان و اندامهای زایشی را داشته و پاسخ خوبی به برگپاشی می‌دهند(Wimmer and Eichert.,2013). علاوه بر این، جذب و انتقال بور در گیاهان به عوامل مختلفی از قبیل غلظت اسیدبوریک، نفوذپذیری غشاء، تشکیل کمپلکسهای داخل سلولی و شدت تنفس دارد. اما نقش پلی الزها می‌تواند از

[1] Diol
[2] Polyol

مهمترین عوامل در انتقال بور باشد(Hu and brown.,1997).کافی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که انتقال از محل تولید(منبع) [۳]به محل متابولیسم یا ذخیره(مخزن)[۴] صورت می‌گیرد. منبع، اندامهای صادر کننده‌ی گیاه مانند برگهای بالغ و مخزن، شامل ریشه‌ها، و اندامهای در حال رشد مانند برگهای جوان می‌باشند. اشکال و فرمهای بور موجود در برگ گیاهان به شکل بور آزاد، بور نیمه کمپلکس شده و بور کاملا کمپلکس شده می‌باشد که در مجموع بور کل گیاه را تشکیل می‌دهد. تحرک بور ارتباط نزدیکی با بور نیمه کمپلکس شده در سلول دارد چون بور آزاد در سیمپلاست سلول محلول بوده و صرف عملکردهای فیزیولوژیکی گیاه می‌شود. مونوساکاریدهایی مانند مانیتول می‌توانند به راحتی با بور آزاد واکنش دهند. بور کمپلکس یافته مقدار بوری است که سبب استحکام دیواره سلولی گیاه می‌شود و به ندرت می‌تواند در گیاه انتقال یابد(Du *et al*., 2002). اخیرا استفاده از محرکهای زیستی[۵]به عنوان راهکاری جدید در کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گرفته است. یک محرک زیستی ترکیب یا ترکیباتی با فرمول مشخص است که بدون دارا بودن عناصر غذایی لازم برای گیاه می‌تواند سبب افزایش رشد رویشی و عملکرد گیاه، افزایش کارایی جذب و کارایی استفاده گیاه گردد. محرکهای زیستی از طریق تاثیر بر برخی فعالیتهای گیاه از جمله (جذب، سیگنالینگ، متابولیسم و مکانیسمهای انتقال) سبب این تغییرات در گیاه می‌گردند (Bulgari*et al*., 2014 and Yakhin *et al*., 2017). با توجه به مطالب گفته شده، می‌توان از این خصوصیت بارز ترکیبات ذکر شده برای افزایش تحرک بور در گیاهانی که تحرک بور در آنها کم است، استفاده کرد.

مواد و روشها:

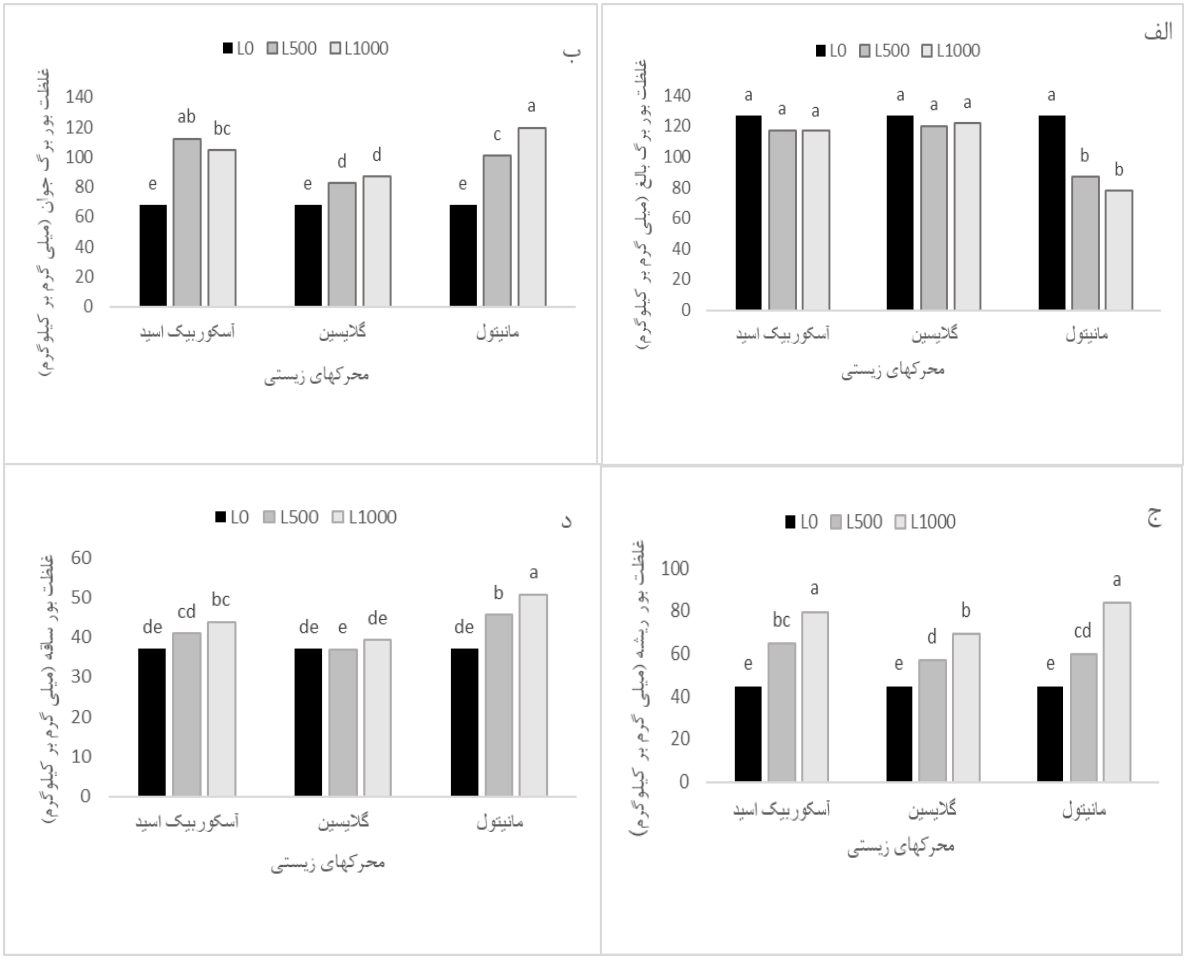
با توجه به هدف تحقیق و بررسی انتقال مجدد بور، گیاه اسفناج با نیاز متوسط بور و عدم توانایی تولید ترکیبات انتقال دهنده‌ی بور انتخاب گردید. توصیه رایج کودی با توجه به خصوصیات خاک و نیاز گیاه اعمال شد. مقدار بور لازم در خاک (۱/۵کیلوگرم در هکتار) از منبع اسیدبوریک تامین گردید .پس از آماده سازی گلدانها، کشت اسفناج صورت گرفت. در طی رشد گیاه وقتی گیاه به مرحله‌ی ۱۰ برگی رسید، ۶ برگ ابتدایی گیاه را به عنوان برگهای بالغ درنظر گرفته و توسط یک نخ پنبه‌ای ظریف نشاندار کرده و محلولپاشی تیمارهای آزمایشی شامل آسکوربیک اسید،گلایسین و مانیتول در سه سطح(صفر، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر)در دو نوبت با فاصله زمانی ۱۵ روز بر روی برگهای بالغ نشاندار شده انجام گرفت. دو هفته پس از محلولپاشی دوم برداشت گیاه صورت گرفت. غلظت بور موجود در بخشهای مختلف گیاه که شامل برگهای بالغ، برگهای جوان، ریشه و ساقه بودند به روش رنگ سنجی با استفاده از آزومتین اچ و بادستگاه اسپکتروفتومتردرطول موج ۴۲۰ اندازه گیری شد (Wolf ,.1974). نتایج به دست آمده به کمک نرم افزار آماری Jump 8 تجزیهٔ واریانس شده و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در سطح اطمینان ۵ درصد بررسی شد. ترسیم نمودارها به کمک نرم افزارExcel انجام شد.

نتایج و بحث

تاثیر تیمارهای آزمایشی بر غلظت بور در اندامهای مختلف گیاه

[۳] Source
[۴] Sink
[۵] Biostimulants

با توجه به شکل (۱-الف)، اختلاف معنی داری بین سطوح مختلف آسکوربیک اسید و گلایسین بر غلظت بور در برگ بالغ مشاهده نشد. اما کاربرد سطوح مختلف مانیتول سبب کاهش معنی دار غلظت بور در برگهای بالغ شد. عدم تاثیر آسکوربیک اسید و گلایسین بر غلظت بور در برگ بالغ می تواند به دلیل عدم تشکیل کمپلکسهای محلول این مواد با ترکیبات بور موجود در برگ بالغ و یا تشکیل کمپلکسهای نامحلول در دیواره سلولی برگ بالغ باشد. اگر چه احتمال ترکیب کمپلکسهای



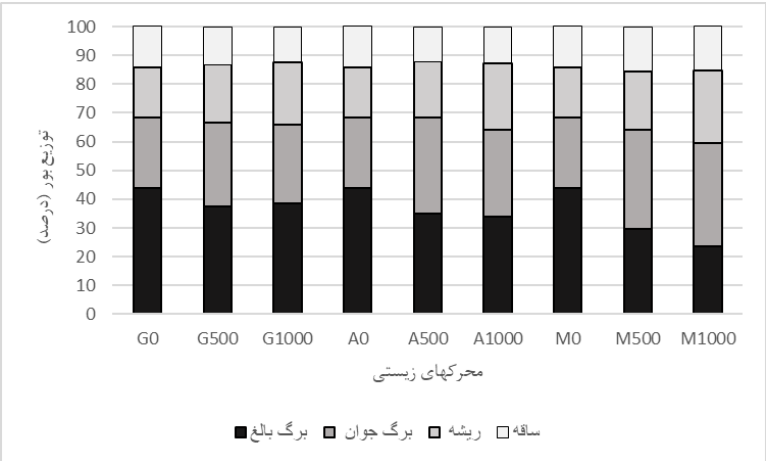
شکل ۱- برهمکنش سطوح محرکهای زیستی بر غلظت بور در برگ بالغ(الف)، برگ جوان(ب)، ریشه(ج) و ساقه(د
حروف مشترک در ستون ها، نشان دهنده ی عدم اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد بین تیمارها است.

بور با آسکوربیک اسید و گلایسین توسط دانشمندان ثابت شده است اما توانایی تشکیل کمپلکس اسید بوریک با الکلهای قندی و ورود بور به داخل آوندها، عامل اصلی انتقال بور در آوندهای آبکش است(Minchin *et al.*, 2012) .اثر سطوح مختلف محرکهای زیستی بر غلظت بور در برگ جوان معنی دار شد شکل (۱- ب). با افزایش سطوح آسکوربیک اسید و گلایسین و مانیتول، غلظت بور در برگ جوان نسبت به شاهد افزایش معنی داری داشت. این موضوع دلالت بر این دارد که احتمالا این ترکیبات به راحتی وارد آوندهای آبکش گیاه شده و در انتقال بور محلول به برگهای جوان نقش داشته اند. Hajiboland *et al.*(2013) بیان کردند که در برگهای جوان گیاه چای، چه در شرایط کمبود و چه کفایت بور، مقادیر بور محلول و بور نامحلول (پیوند یافته با دیواره سلولی) تقریبا یکسان بود. اما در برگهای مسن بخصوص در شرایط کمبود بور،

بخش بیشتر بور به صورت بور موجود در دیواره سلولی (نامحلول) می‌باشد. بور محلول تنها فرکشن بور بوده که می تواند متحرک شده و نیاز بور برگهای در حال رشد را تامین کند. با توجه به مطالب بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که اثر افزایشی محرکهای زیستی بر غلظت بور برگ جوان با شکل بور محلول در برگهای جوان ارتباط مستقیم دارد و احتمالا بیشترین فرم بور به صورت آزاد یا محلول می‌باشد. اثر سطوح مختلف محرکهای زیستی بر غلظت بور ریشه معنی دار شد (شکل۱- ج). این نتایج نشان می دهد که انتقال مجدد بور از برگهای بالغ به ریشه نیز صورت گرفته است. و با افزودن این ترکیبات و انتقال آنها در آوند آبکش، ورود مجدد بور به ریشه ها نیز امکانپذیر است. در مطالعه‌ای که توسط Hajiboland *et al.*(2010) بر روی گیاه شلغم انجام گرفت، در شرایط کمبود بور در فرآیند انتقال مجدد بور، مقدار بور ریشه کاهش نیافت که این دلالت بر تامین بور برگهای جوان از برگهای بالغ دارد (انتقال بور از برگ جوان به برگ بالغ). اما در شرایط کافی از بور، هم بور ریشه و هم بور برگهای بالغ در انتقال نقش دارند. احتمال دارد بخشی از بور جذب شده توسط ریشه‌ها نیز بتوانند توسط سایر مکانیسم‌های انتقال بور (انتقال از آوند چوبی-تنفس) خود را به برگ جوان رسانده و بنابراین انتقال مستقیم بور از ریشه به برگهای جوان را نیز نبایستی نادیده گرفت(Noguchi *et al.*, 2000). با توجه به شکل(۱-د) اثر سطوح مختلف آسکوربیک اسید و گلایسین بر غلظت بور ساقه معنی دار نشد اما با افزایش سطوح مانیتول غلظت بور ساقه افزایش یافت. گرچه این تغییرات در ساقه نسبت به درصد افزایش غلظت بور در برگ جوان و ریشه و درصد کاهش غلظت بور در برگهای بالغ ناچیز بود که بیانگر اهمیت نقش برگهای بالغ و برگهای جوان و ریشه به عنوان منابع و مخازن گیاه که بیشترین تغییرات غلظتی بور در آنها رخ می دهد، می‌باشد.

درصد توزیع بور در بخشهای مختلف گیاه

با توجه به شکل۲، بیشترین غلظت بور در برگهای گیاه تجمع یافته است که تقریبا بین ۶۰ تا ۷۰ درصد بور کل را تشکیل می دهد. محلولپاشی محرکهای زیستی بویژه مانیتول بر برگهای بالغ سبب انتقال بور به برگهای جوان شده و توزیع بور در برگهای جوان نسبت به برگهای بالغ افزایش یافته است. ریشه تقریبا بین ۱۷ تا ۲۵ درصد از مقدار بور کل را به خود اختصاص داده است و ساقه هم کمترین مقدار بور را دارد (بین ۱۲ تا ۱۵ درصد). بطور کلی می‌توان بیان کرد که به دلیل عدم تحرک بور، برگهای بالغ مخزن اصلی بور در گیاه هستند که با محلولپاشی ترکیبات کمپلکس کننده با بور و انتقال آنها به مخازن گیاه، سهم برگهای جوان و ریشه نیز در دارا بودن بور بیشتر خواهد شد.



شکل ۲- تاثیر محرکهای زیستی آسکوربیک اسید(A)، گلایسین(G) و مانیتول(M) بر توزیع نسبی بور در بخشهای مختلف گیاه

Boarettoet al.(2008) با بررسی مقادیر بور تحت غلظتهای متفاوت در دو گونه از مرکبات نشان دادند که غلظت بور در برگهای گیاه بیشتر از سایر بخشهای گیاه از جمله شاخه، ریشه، میوه و گلها شد. در همین تحقیق نشان داده شده است که درصد توزیع بور چه در مرحله‌ی رویشی و چه زایشی در برگها نسبت به سایر بخشهای گیاه بیشتر بود و این افزایش غلظت در برگهای مسن گیاه نسبت به بخشهای جوان به دلیل عدم تحرک بور در گیاه بود. آنها بیان کردند که حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد مقدار بور موجود در بخشهای جوان گیاه از بخشهای ذخیره یا مسن‌تر گیاه دریافت می‌شوندکه این موضوع با فراهمی و یا کمبود بور در ارتباط است. اگر گیاهان تحت شرایط کمبود رشد کنند احتمال انتقال بور در گیاه کمتر است(۲۰ درصد) اما زمانی که گیاهان در شرایط کفایت بور قرار می‌گیرند تحرک بور از بخشهای پایین‌تر به بالاتر بیشتر خواهد شد(۳۵ درصد). برخی از دانشمندان نسبت غلظت بور در برگهای جوان به برگهای بالغ را به عنوان شاخص انتقال مجدد بور[۶] در نظر گرفتند (Brown and shelp., 1997). با توجه به یافته‌های آنها، اگر غلظت بور در برگهای مسن نسبت به برگهای در حال رشد بیشتر باشد تحرک بور در گیاه کم بوده واحتمالا گیاه توان تولید الکلهای قندی را ندارد. مطالعات دیگر نیز نشان دادند زمانی که فراهمی بور برای گیاه کافی باشد و دسترسی به بور برای برگهای بالغ و جوان یکسان باشد می‌توان از شاخص انتقال مجدد بور استفاده کرد که اگر این نسبت بیشتر از یک باشد یعنی انتقال مجدد بور از برگهای بالغ به جوان صورت گرفته است (Boaretto *et al*., 2008). در تحقیق انجام شده، با محلولپاشی سطوح مختلف محرکهای زیستی نسبت به شاهد (سطح صفر) شاخص انتقال(نسبت غلظت بور در برگ جوان به غلظت بور در برگ بالغ) افزایش داشت که این افزایش در مورد مانیتول بیشتر از یک بود که خود بیانگر انتقال مجدد بور توسط این ترکیب می‌باشد.

نتیجه‌گیری

محلولپاشی برگهای بالغ توسط محرکهای زیستی سبب ایجاد غلظتهای متفاوت در بخشهای مختلف گیاه از جمله برگهای بالغ، برگهای جوان، ریشه و ساقه گردید. توانایی متفاوت هر یک از این ترکیبات در ایجاد کمپلکس‌های محلول و نامحلول با بور و توانایی متفاوت در انتقال آنها در آوندهای آبکش می‌تواند بر غلظت بور در اندامهای مختلف گیاه تاثیرگذار باشد. از میان ترکیبات بکاربرده شده، قابلیت مانیتول برای انتقال بور به بخشهای هوایی گیاه و حتی ریشه بیشتر بود که تشکیل کمپلکسهای بور- پلیول و قابلیت زیاد برای ورود آنها به آوندهای آبکش می‌تواند دلیل اصلی این قضیه باشد. بطور کلی محلولپاشی این ترکیب برای تامین بور مورد نیاز گیاهانی که کارایی کمی در انتقال بور دارند، می‌تواند راهکاری مناسب در تامین بور مورد نیاز آنها باشد.

منابع:

۱- کافی، م.، زند، ا.، کامکار، ب.، مهدوی دامغانی، ع.،عباسی، ف.، شریعتی، ح.ر. (۱۳۹۰). فیزیولوژی گیاهی. جلد اول. (ترجمه) انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

2- Bellaloui, N., Yadavc,R.C., Chern, M.S., Hu,H., Gillen, A.M.,Greve, C., Dandekar, A.M., Ronald, P.C., Brown,P.H.(2003).Transgenically enhanced sorbitol synthesis facilitates phloem-boron mobility in rice. *Physiologia Plantarum*, 117, 79–84.

3- Boaretto R.M., Quaggio, J.A., Filho, F.D.A.A.M., Gine´, M.F., Boaretto, A.E. (2008). Absorption and Mobility of Boron in Young Citrus Plants. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 39, 2501–2514, 2008

4- Brown, P.H., Shelp, B.J. (1997).Boron mobility in plants. *Plant & Soil*, 193, 85–101.

[۶] Re-translocation index

5- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., Ferrante, A. (2014). Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems.*

6- Camacho-Cristobal, J.J., Rexach, J., Gonzalez-Fontes, A., Herrera-Rodriguez, M. B., Navarro-Gochicoa,M.T., Gonzalez-Fontes, A. (2011). Boron deficiency and transcript level changes. *Plant Science*, 181, 85–89.

7- Du, C.W., Wang, Y.H., Xu, F.S., Yang, Y.H.,Wang, H.Y. (2002). Study on the physiological mechanism of boron utilization efficiency in rape cultivars. *Plant Nutrition*, 25(2), 231–244.

8- Hajiboland, R., Bahrami-Rad, S., Bastani, S., Roser, T., Poschenrieder, C. (2013). Boron re-translocation in tea (Camellia sinensis (L.) O. Kuntze) plants. *Acta PhysiologiaePlantarium*, 35, 2373–2381.

9- Hajiboland, R., Farhangi, F. (2010). Remobilization of boron, photosynthesis, phenolic metabolism and anti-oxidant defense capacity in boron-deficient turnip (Brassica rapa L.) plants .*Soil Science & Plant Nutrition*, 56, 427–437

10- Hu, H., Brown, P.H. (1997). Absorption of boron by plant roots. In Boron in soils and plants: Reviews, ed. B. Dell, P. H. Brown, and R. W. Bell, 49–58. Dordrecht: Kluwer Academic.

11- Kose, A.K., Zumreoglu-Karan, B. (2012). Mixed-ligand complexes of boric acid with organic biomolecules. *Chemical Papers*, 66(1), 54–60

12- Lili, G.,Mingjian, G., Lei, S., Zhuqing, Z., Duanwei, Z. (2015). Boron uptake and distribution in two oilseed rape (Brassica napus L.) cultivars with different boron efficiency and their plants grafted each other.*Agronomy*: *Soil Nutrition*, 223-227.

13- Minchin, P.E.H., Thorp,T.G,. Boldingh, H.L., Gould, N., Cooney, J.M., Negm, F.B., Focht, E., Arpaia, M.L., Hu, H., Brown, P. (2012). A possible mechanism for phloem transport of boron in 'Hass' avocado (Perseaamericana Mill.) trees. *Horticultural Science & Biotechnology*, 87(1), 23–28.

14- Noguchi, K., Dannel, F., Pfeffer, H., Ro¨mheld, V., Hayashi, H., Fujiwara,T.(2000). Defect in root-shoot translocation of boron inArabidopsis thaliana mutant bor1-1. *Plant Physiology*, 156,751–755.

15- Shelp, B.J., Shattuck, V.I., Proctor, J.T. (1987). Boron nutrition and mobility, and its relation to the elemental composition of greenhouse grown root crops. *Communication in Soil Science & Plant Analysis*, 18(2), 203-219.

16- Wimmer, M.A., Eichert, T. (2013). Review: Mechanisms for boron deficiency-mediated changes in plant water relations. *Plant Science*, 203– 204, 25– 32.

17- Wolf, B. (1974). Improvement in the azomethine-H method for the determination of boron.*Communication in Soil Science & Plant Analysis*, 5, 39-44.

18- Yakhin, O.I., Lubyanov, A.A., Yakhin, I.A., Brown, P.H. (2017). Biostimulants in Plant Science: A Global Perspective.*Frontier in Plant Science*, 7, 2049.

Effect of different biostimulants on re-translocation of boron in spinach

FatemehAkbarnezhad[1], Reza Khorassani[2] and AmirFotovat[3]

[1]PhD student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

fatemehakbarnezhad1980@gmail.com

[2, 3]Associate Prof and Professor,Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

The effect of foliar application of biostimulants on boron re-mobilization in spinach **(***Spinacia oleracea L.*) with three types of compounds (ascorbic acid, glycine and mannitol) and each at three levels (0, 500 and 1000 mgl^{-1}) in a factorial experiment based on completely randomized design with three replications in the greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad was investigated.The results showed that the application of foliar application of these compounds on mature leaves of the plant reduced the concentration of boron in mature leaves and increased the concentration of boron in young leaves, roots and stems.However, the role of mannitol was higher than that of ascorbic acid and glycine. With foliar application ofbiostimulants, the percentage of boron distribution in mature leaves decreased and young leaves and roots had higher proportion, respectively. Probably, complexation of boric acid with these compounds, especially mannitol, and their transfer to the phloem has caused the re-translocation of boron in the plant. The ratio of high boron concentration in young leaves to mature leaves (1<), which is considered as an indicator of boron mobility in plants, can also be a reason for boron re-translocation.

Keywords: Biostimulants-Boron remobilization- Mannitol- Retranslocation index

شناسایی صفات موثر در عملکرد دانه گندم دیمزارهای تحت تیمار کودهای زیستی و شیمیایی فسفره با استفاده از تجزیه علیت

ابراهیم شیرمحمدی

استادیار، گروه علوم خاک، دانشگاه زابل، شهر زابل، ایران
(eshirmohammadi@uoz.ac.ir)

چکیده

گندم یکی از محصولات راهبردی و استراتژیک کشور است. با این وجود عملکرد گندم دیم نسبت به متوسط جهانی بسیار پایین است. به نظر می‌رسد با شناخت صفات گیاهی موثر گندم در عملکرد دانه آن، می‌توان مدیریت‌های زراعی را در جهت ارتقاء و بهبود این صفات طرح ریزی و اجرا کرد؛ که در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه این محصول شود. در این راستا، برای شناسایی صفات گیاهی موثر در افزایش عملکرد دانه گندم در دیم‌زارهای کشور، از ۱۴۴ واحد آزمایشی که با کودهای زیستی و شیمیایی فسفره تیمار شده بودند نمونه برداری شد؛ و صفات فیزیولوژیک، رشد و عملکردی گیاه گندم اندازه گیری گردید. با انجام آنالیز رگرسیون گام به گام، صفات موثر در عملکرد دانه گندم شناسایی و انتخاب شدند. سپس با انجام تجزیه علیت اثرات مستقیم و غیر مستقیم آن صفات بر عملکرد دانه گندم محاسبه گردید. نتایج نشان داد که عملکرد دانه گندم عمدتاً به جذب فسفر دانه، و جذب فسفر دانه نیز عمدتاً به جذب فسفر اندام هوایی بستگی داشت. بنابراین جذب فسفر دانه و اندام هوایی گیاه گندم مهم‌ترین صفات توجیه کننده عملکرد دانه گندم بودند.

واژگان کلیدی: تجزیه مسیر، صفات فیزیولوژیک، کشت دیم، رشد

مقدمه

امروزه غلات به عنوان مهمترین گیاهان زراعی محسوب می‌شوند و گندم در بین غلات به صورت یک محصول راهبردی در جهان مورد توجه می‌باشد. گندم نان، گیاهی است که بطور وسیعی در مناطق مختلف جهان و تقریباً در هر ناحیه کشاورزی، کشت می‌گردد (Marti and Slafer, 2014). همچنین تا اکتبر سال ۲۰۱۹ گندم با سطح زیر کشت تقریبی ۲۱۸/۱۵ میلیون هکتار و عملکرد محصول ۷۶۵/۲۳ میلیون تن (به‌طور متوسط ۳/۵۱ تن در هکتار)، از نظر تولید محصول‌های دانه‌ای در رتبه دوم جهانی بعد از ذرت قرار داشت (USDA, 2019). این گیاه در مناطق مختلف دنیا و در اقلیم‌های گرم، معتدل و سرد و تا ارتفاع بیشتر از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا و با میانگین بارندگی سالیانه ۲۵۰ میلی‌متر تا ۱۷۵۰میلی متر قابل کشت است (حق پرست، ۱۳۹۲). در ایران نیز سطح وسیعی از اراضی آبی و مخصوصاً دیم کشور به کشت گندم اختصاص یافته است و نان حاصل از آن مهم‌ترین منبع غذایی محسوب می‌شود و قسمت عمده کالری و پروتئین مورد نیاز مردم از این طریق بدست می‌آید (مسعودی‌فر و محمدخانی،۱۳۸۴). طبق جدول ۱، سالانه بطور متوسط ۱۱/۴۲ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی در کشور به زیر کشت می‌رود. در سال‌های مذکور بطور متوسط ۵۰/۷۵ درصد اراضی کشت شده به صورت دیم کشت شده و ۵۲/۹۴ درصد از کل اراضی کشت شده نیز به کشت گندم اختصاص داشت که ۶۴/۳۲ آن بصورت دیم کشت شده بود. همچنین گندم تولید شده ۱۸/۱۵ درصد از کل محصولات زراعی تولید شده را به خود اختصاص داد. با وجود اینکه سطح اراضی اختصاص داده شده به کشت دیم گندم ۱/۸ برابر کشت آبی آن بود ولی تنها ۳۵/۷۴ درصد از گندم در دیم‌زارها تولید شده است. هر چند عملکرد تولید گندم در دهه اخیر افزایش قابل توجهی یافته ولی در کل متوسط عملکرد گندم در کشت‌های دیم و آبی به ترتیب ۱/۰۲ و ۳/۳۰ تن بر هکتار بود (آمارنامه کشاورزی، ۹۷، ۹۶، ۹۵، ۹۴، ۱۳۹۳). با توجه به سطح زیر کشت گندم دیم در کشور و پایین بودن متوسط تولید آن نسبت به متوسط جهانی (USDA, 2019)، شناسایی

صفات گیاهی موثر در افزایش عملکرد دانه گندم در دیم‌زارهای کشور ضرورت دارد. هر چند تعیین ارتباط بین صفات با عملکرد دانه مهم است؛ ولی همبستگی ساده (مانند همبستگی پیرسون) نمی‌تواند مبنای قضاوت خوبی برای تعیین ماهیت ارتباط صفات و تعیین شاخص‌های مرتبط با عملکرد باشد. در صورتی که با استفاده از تجزیه علیت، اثرات مستقیم و غیر مستقیم صفات گیاهی موثر بر عملکرد دانه قابل شناسایی است (Ojha et al., 2018). با بهبود این صفات نیز از طریق مدیریت‌های مناسب زراعی، می‌توان تولید محصول دانه گندم را در دیمزارها افزایش داد. علی‌رغم پژوهش‌های قابل توجه در این زمینه، شناسایی صفات گیاهی موثر در افزایش عملکرد دانه گندم در دیم‌زارهای تیمار شده با کودهای زیستی و شیمیایی فسفره، کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (امرائی و همکاران، ۱۳۹۳؛ نیستانی و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین پژوهش در این زمینه با ابزارها و روش‌های آماری دقیق‌تر، مانند تجزیه علیت، ضروری به نظر می‌رسد.

جدول ۱- روند تغییرات سطح کاشت و تولید محصولات

سال ۱۳--	سطح کاشت کل محصولات (هکتار)		سطح کاشت گندم (هکتار)		تولید کل محصولات (تن)		تولید گندم (تن)	
	آبی	دیم	آبی	دیم	آبی	دیم	آبی	دیم
۶۶-۶۷	۴۴۵۷۸۸۴	۵۵۷۲۰۵۴	۱۷۸۲۷۰۱	۳۵۵۴۹۴۴	-	-	۳۲۶۷۳۵۵	۲۵۰۸۰۷۳
۸۱-۸۲	۵۴۳۲۷۷۸	۶۵۶۸۲۹۵	۲۴۲۷۹۱۶	۴۵۱۳۳۷۰	۳۳۷۱۱۰۹۹	۵۸۷۳۱۱۵	۷۵۱۱۹۶۸	۴۱۶۴۲۸۴
۹۱-۹۲	۶۳۰۱۵۷۵	۵۸۶۱۶۵۵	۲۳۹۹۹۸۷	۴۰۰۰۰۰۵	۶۱۹۲۴۹۱۰	۶۱۴۸۸۲۵	۶۴۲۰۲۴۴	۲۸۸۴۰۰۲
۹۲-۹۳	۶۱۳۲۴۲۱	۵۷۰۵۴۸۷	۲۲۵۵۷۰۶	۳۸۰۵۵۴۲	۶۸۰۹۹۵۱۸	۵۹۷۲۷۷۷	۷۰۷۷۷۷۶	۳۵۰۰۹۲۳
۹۳-۹۴	۶۰۲۱۴۸۴	۵۳۵۵۵۵۳	۲۲۳۷۹۳۱	۳۴۷۷۶۸۵	۷۰۷۲۲۶۶۵	۶۳۱۶۱۶۶	۷۸۹۲۵۷۷	۳۶۲۹۷۴۱
۹۴-۹۵	۶۱۱۰۱۷۱	۵۶۵۶۳۱۶	۲۱۲۷۹۹۰	۳۸۰۰۷۳۸	۷۴۳۸۷۵۴۴	۸۶۰۴۱۶۵	۸۸۴۳۲۵۳	۵۷۴۸۷۵۰
۹۵-۹۶	۵۹۴۶۲۵۰	۵۰۴۹۰۰۷	۲۰۴۵۴۶۸	۳۳۹۲۳۳۶	۷۶۳۸۰۳۸۰	۵۸۱۹۲۱۶	۸۸۸۳۲۹۱	۳۵۱۶۷۰۹
۹۶-۹۷	۴۵۸۱۰۴۸	۶۵۸۰۸۹۳	۱۹۷۵۴۱۱	۴۵۵۱۱۷۶	۵۶۲۹۰۲۸۰	۷۵۸۴۲۱۷	۷۰۱۰۴۴۱	۵۶۹۴۳۰۵

مواد و روش‌ها

این پژوهش با نمونه‌برداری از ۱۴۴ واحد آزمایشی از دیمزارهای گندم کشور، که با کودهای زیستی و شیمیایی فسفره تیمار شده بودند، انجام شد. صفات اندازه‌گیری شده شامل: شاخص کلروفیل برگ پرچم در خرداد ماه با استفاده از دستگاه Minoltaspad-504 Japan اندازه‌گیری گردید و نیز از برگ پرچم گیاهان در تیمارهای مختلف نمونه‌برداری شد و در یخچال سیار به آزمایشگاه منتقل شد. سپس محتوی آب نسبی (Weatherley, 1950)، نشت الکترولیت (Jambunathan, 2010) و پرولین (Bates et al., 1973) برگ پرچم اندازه‌گیری و محاسبه گردید. قبل برداشت ارتفاع گیاهان (از سطح خاک تا انتهای خوشه) یاداشت شد. برداشت (کل بوته از سطح خاک) نیز در تیرماه بصورت دستی از ۲ متر مربع وسط هر واحد آزمایشی انجام شد. نمونه‌ها در آون (در مدت ۷۲ ساعت با دمای ۶۵ درجه سلسیوس) خشک شدند و وزن خشک اندام هوایی، دانه و هزار دانه اندازه‌گیری شد. پس از هضم خشک نمونه‌ها تعیین غلظت فسفر اندام هوایی و دانه با روش فسفو وانادو مولیبدات-روش زرد (Westerman, 1990) انجام شد. میزان جذب فسفر نیز از حاصلضرب وزن خشک در غلظت فسفر، برای اندام هوایی و دانه گیاه محاسبه گردید (Ozturk, 2005). با انجام آنالیز رگرسیون گام به گام با استفاده از نرم افزار Statistix 10، از میان صفات گیاهی اندازه‌گیری شده، صفات موثر در عملکرد دانه گندم شناسایی و انتخاب شدند. سپس با انجام تجزیه علیت با استفاده از نرم‌افزار PATH2، اثرات مستقیم و غیر مستقیم آن صفات بر عملکرد دانه گندم محاسبه گردید (Egerer et al., 2018; Ojha et al., 2018).

نتایج و بحث

در این پژوهش قبل از انجام تجزیه علیت و بر اساس چهار مدل رگرسیونی، صفات جذب فسفر اندام هوایی، غلظت فسفر دانه، ارتفاع گیاه و غلظت فسفر اندام هوایی، ۹۹/۸ درصد تغییرات عملکرد دانه را توجیه نمودند؛ و بعنوان صفات مهم و موثر در تبیین عملکرد دانه در این پژوهش شناخته شدند (جدول ۲).

جدول ۲: ضرایب معادلات مختلف رگرسیون خطی چندگانه بر اساس روش گام به گام برای عملکرد دانه

	ضرایب استاندارد بتا				میانگین مربعات رگرسیون	R^2 رگرسیون
	جذب فسفر دانه	غلظت فسفر دانه	ارتفاع گیاه	غلظت فسفر اندام هوایی		
مدل ۱	۰/۹۹۸**	-	-	-	۱۲۵/۷۹۹**	۰/۹۹۶
مدل ۲	۱/۰۴۰**	-۰/۰۶۱**	-	-	۶۳/۰۲۳**	۰/۹۹۸
مدل ۳	۱/۰۲۲**	-۰/۰۶۳**	۰/۰۲۳**	-	۴۲/۰۲۳**	۰/۹۹۸
مدل ۴	۱/۰۲۳**	-۰/۰۷۱**	۰/۰۲۳**	۰/۰۱۱**	۳۱/۵۱۹**	۰/۹۹۸

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

با توجه به جدول ۳، از میان صفات وارد شده به مدل رگرسیونی، جذب فسفر دانه (۱/۰۲۲) بیشترین اثر مستقیم را بر عملکرد دانه داشت؛ و از طریق اثرات غیر مستقیم: غلظت فسفر دانه (۰/۰۴۶-)، ارتفاع گیاه (۰/۰۱۸) و غلظت فسفر اندام هوایی (۰/۰۰۴)، در نهایت باعث ایجاد بیشترین همبستگی (۰/۹۹۸) بین این صفت (جذب فسفر دانه) و عملکرد دانه شد. هر چند اثر مستقیم ارتفاع گیاه بر عملکرد دانه مقدار ناچیزی (۰/۰۲۳) بود؛ ولی این صفت بصورت غیر مستقیم از طریق جذب فسفر دانه (۰/۸۳۱)، غلظت فسفر دانه (۰/۰۴۱-) و غلظت فسفر اندام هوایی (۰/۰۰۴)، باعث ایجاد همبستگی ۰/۸۱۶ با عملکرد دانه شد. با وجود منفی بودن اثر مستقیم غلظت فسفر دانه (۰/۰۶۸-) بر عملکرد دانه؛ این صفت نیز بصورت غیر مستقیم از طریق جذب فسفر دانه (۰/۶۹۸)، ارتفاع گیاه (۰/۰۱۴) و غلظت فسفر اندام هوایی (۰/۰۰۶)، باعث ایجاد همبستگی مثبت و معنی‌دار ۰/۶۵۰ با عملکرد دانه شد. اثر مستقیم غلظت فسفر اندام هوایی نیز بر عملکرد دانه مقدار بسیار ناچیزی (۰/۰۰۸) بود؛ ولی این صفت بصورت غیر مستقیم از طریق جذب فسفر دانه (۰/۴۹۰)، غلظت فسفر دانه (۰/۰۵۱-) و ارتفاع گیاه (۰/۰۱۰)، باعث ایجاد همبستگی ۰/۴۵۷ با عملکرد دانه شد. بطور کلی جذب فسفر دانه بصورت مستقیم، و غلظت فسفر دانه، ارتفاع گیاه و غلظت فسفر اندام هوایی بصورت غیر مستقیم (مخصوصاً از طریق جذب فسفر دانه)، بر عملکرد دانه گندم موثر بودند.

با توجه به اینکه افزایش در جذب فسفر دانه بیشترین اثر مثبت مستقیم و غیر مستقیم را بر روی عملکرد دانه گندم داشت. بنابراین برای شناسایی صفاتی که روی جذب فسفر دانه بیشترین اثر را داشتند، این صفت نیز بطور جداگانه بعنوان متغییر وابسته و دیگر صفات (به جز عملکرد دانه) بعنوان متغییر مستقل در نظر گرفته شد و مورد آنالیز قرار گرفتند. بر اساس روش رگرسیون گام به گام، صفات جذب فسفر اندام هوایی، شاخص کلروفیل برگ پرچم، ارتفاع گیاه، غلظت فسفر دانه و محتوی آب نسبی برگ پرچم، ۹۶/۸ درصد از تغییرات جذب فسفر دانه را توجیه نمودند؛ و بعنوان صفات مهم و موثر در تبیین جذب فسفر دانه شناخته شدند (جدول ۴).

نتایج حاصل از تجزیه علیت برای جذب فسفر دانه (جدول ۵) نشان داد که جذب فسفر اندام هوایی بیشترین اثر مستقیم (۰/۷۱۳) را بر جذب فسفر دانه گندم داشت؛ و همراه با اثرات غیرمستقیم این صفت از طریق شاخص کلروفیل برگ پرچم (۰/۱۲۱)، ارتفاع

گیاه (۰/۰۵۳)، غلظت فسفر دانه (۰/۰۳۵) و محتوی آب نسبی برگ پرچم (۰/۰۵۶)، باعث ایجاد همبستگی ۰/۹۷۷ با جذب فسفر دانه گیاه گندم شد. شاخص کلروفیل برگ پرچم دومین صفتی بود که بصورت مستقیم (۰/۱۳۱)، و غیر مستقیم از طریق جذب فسفر اندام هوایی (۰/۶۵۵)، ارتفاع گیاه (۰/۰۵۵)، غلظت فسفر دانه (۰/۰۳۴) و محتوی آب نسبی برگ پرچم (۰/۰۵۸)، باعث ایجاد همبستگی ۰/۹۳۳ با جذب فسفر دانه گیاه گندم شد. هر چند اثرات مستقیم محتوی آب نسبی برگ (۰/۰۶۶)، ارتفاع گیاه (۰/۰۶۹) و غلظت فسفر دانه (۰/۰۵۴)، بر جذب فسفر دانه گندم ناچیز بود؛ ولی این صفات (محتوی آب نسبی برگ، ارتفاع گیاه و غلظت فسفر دانه) از طرق غیر مستقیم (مخصوصاً از طریق جذب فسفر اندام هوایی) باعث افزایش همبستگی بین این صفات و جذب فسفر دانه گندم شدند. بطور کلی جذب فسفر اندام هوایی بصورت مستقیم، و شاخص کلروفیل برگ، ارتفاع گیاه، غلظت فسفر دانه و محتوی آب نسبی برگ بصورت غیر مستقیم (مخصوصاً از طریق جذب فسفر اندام هوایی)، بر جذب فسفر دانه گندم موثر بودند.

جدول ۳: تجزیه علیت عملکرد دانه گندم با استفاده از صفات وارد شده در مدل تجزیه رگرسیونی به روش گام به گام

صفات	اثر مستقیم	اثر غیر مستقیم از طریق				همبستگی با عملکرد دانه
		جذب فسفر دانه	غلظت فسفر دانه	ارتفاع گیاه	غلظت فسفر اندام هوایی	
جذب فسفر دانه	۱/۰۲۲	-	-۰/۰۴۶	۰/۰۱۸	۰/۰۰۴	۰/۹۹۸
غلظت فسفر دانه	-۰/۰۶۸	۰/۶۹۸	-	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶	۰/۶۵۰
ارتفاع گیاه	۰/۰۲۳	۰/۸۳۱	-۰/۰۴۱	-	۰/۰۰۴	۰/۸۱۶
غلظت فسفر اندام هوایی	۰/۰۰۸	۰/۴۹۰	-۰/۰۵۱	۰/۰۱۰	-	۰/۴۵۷
اثرات باقی مانده			۰/۰۴۴			

جدول ۴: ضرایب معادلات مختلف رگرسیون خطی چندگانه بر اساس روش گام به گام برای جذب فسفر دانه

	ضرایب استاندارد بتا					میانگین مربعات رگرسیون	R^2 رگرسیون
	جذب فسفر اندام هوایی	شاخص کلروفیل برگ پرچم	ارتفاع گیاه	غلظت فسفر دانه	محتوی آب نسبی برگ پرچم		
مدل ۱	۰/۹۷۷**	-	-	-	-	۱۳۸۴/۰۰۸**	۰/۹۵۵
مدل ۲	۰/۷۶۹**	۰/۲۲۶**	-	-	-	۹۶۷/۷۷۴**	۰/۹۶۳
مدل ۳	۰/۷۴۷**	۰/۱۶۹**	۰/۰۹۶**	-	-	۴۶۶/۶۹۰**	۰/۹۶۵
مدل ۴	۰/۷۲۵**	۰/۱۶۵**	۰/۰۸۲**	۰/۰۵۷**	-	۳۵۰/۶۶۱**	۰/۹۶۷
مدل ۵	۰/۷۱۳**	۰/۱۳۲**	۰/۰۶۸**	۰/۰۵۳**	۰/۰۶۷**	۲۸۰/۷۹۹**	۰/۹۶۸

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪

جدول ۵: تجزیه علیت جذب فسفر دانه گندم با استفاده از صفات وارد شده در مدل تجزیه رگرسیونی به روش گام به گام

صفات	اثر مستقیم	اثر غیر مستقیم از طریق					همبستگی با جذب فسفر دانه
		جذب فسفر اندام هوایی	شاخص کلروفیل برگ پرچم	ارتفاع گیاه	غلظت فسفر دانه	محتوی آب نسبی برگ پرچم	
جذب فسفر اندام هوایی	۰/۷۱۳	-	۰/۱۲۱	۰/۰۵۳	۰/۰۳۵	۰/۰۵۶	۰/۹۷۷
شاخص کلروفیل برگ پرچم	۰/۱۳۱	۰/۶۵۵	-	۰/۰۵۵	۰/۰۳۴	۰/۰۵۸	۰/۹۳۳
ارتفاع گیاه	۰/۰۶۹	۰/۵۵۴	۰/۱۰۶	-	۰/۰۳۲	۰/۰۵۲	۰/۸۱۳
غلظت فسفر دانه	۰/۰۵۴	۰/۴۶۴	۰/۰۸۳	۰/۰۴۲	-	۰/۰۴۱	۰/۶۸۳
محتوی آب نسبی برگ	۰/۰۶۶	۰/۶۰۱	۰/۱۱۵	۰/۰۵۴	۰/۰۳۳	-	۰/۸۶۹
اثرات باقی مانده				۰/۱۷۸			

نتیجه‌گیری

عملکرد دانه گندم عمدتاً به جذب فسفر دانه، و جذب فسفر دانه نیز عمدتاً به جذب فسفر اندام هوایی بستگی داشت. بنابراین جذب فسفر دانه و اندام هوایی گیاه گندم مهم‌ترین صفات توجیه کننده عملکرد دانه گندم بودند.

فهرست منابع

آمارنامه کشاورزی، (۹۷، ۹۶، ۹۵، ۹۴، ۱۳۹۳). جلد اول: محصولات زراعی سال زراعی ۹۷-۹۳ (۵ جلد)، چاپ اول انتشارات وزارت جهاد کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، تهران.

امرائی، ب.، اردکانی، م.ر.، رفیعی، م.، پاکنژاد، ف.، رجالی، ف. (۱۳۹۳). مطالعه همبستگی و تجزیه علیت عملکرد دانه و صفات وابسته با آن در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم با استفاده از کودهای زیستی. فصلنامه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۶(۱)، ۱-۱۰.

حق پرست، ر. (۱۳۹۲). اصول زراعت گندم دیم آمیخته دانش جدید و بومی. انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی، ۱۲۲-۱.

مسعودی فر، ا.، و محمد خانی، ع.، (۱۳۸۴). بررسی تراکم بوته به ویژگی ها کیفی گندم کوهدشت در شرایط دیم گنبد. مجله زیست شناسی ایران، ۱۸(۴)، ۶۹-۷۶.

نیستانی، ا.، مکاریان، ح.، عامری، ع.ا.، حیدری، م. (۱۳۹۹). بررسی رابطه عملکرد با اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۰، ۹۰-۸۲.

Acosta-Martinez, V., Dowd, S., Sun, Y., & Allen, V. (2008). Tag-encoded pyrosequencing analysis of bacterial diversity in a single soil type as affected by management and land use. Soil Biol. Biochem., 40, 2762-2770.

Bates, l.S., Waldern, R.P., & Teare, I.D. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil., 39, 205-207.

Egerer, M.H., Liere, H., Lin, B.B., Jha, S. Bichier, P., Philpott. S.M. (2018). Herbivore regulation in urban agroecosystems: Direct and indirect effects. Basic and Applied Ecology. 29: 44–54.

Jambunathan, N. (2010). Determination and detection of reactive oxygen species (ROS), lipid peroxidation, and electrolyte leakage in plants. Plant Stress Toler., 291-297.

Ojha, R., Sarkar, A., Aryal, A., Rahul, K.C., Tiwari, S., Poudel, M., Pant, K.R., Shrestha, J. (2018). Correlation and path coefficient analysis of wheat (Triticum aestivum L.) genotypes. Farming Manag 3(2):136–141

Ozturk, L., Eker, S., Torun, B., & Cakmak, I. (2005). Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. Plant Soil., 269(2), 69-80.

USDA. (2019). World Agricultural Production https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production. pdf
Weatherley, P.E. (1950). Studies in water relations of cotton plants I, the field measurement of water deficit in leaves. New Phytol., 49, 81-87.
Westerman, L.R. (1990). Soil Testing and Plant Analysis. Soil Science Society of America, INC. Madison, Wisconsin, USA.

Identification of effective traits in wheat grain yield of drylands treated with biological and chemical fertilizers of phosphorus using path analysis

Ebrahim Shirmohammadi
Assistant Professor, Department of Soil Science, Zabol University, Zabol, Iran

Abstract
Wheat is one of the strategic products of the country. However, the yield of dryland wheat is very low compared to the world average. It seems that by recognizing the effective plant traits of wheat in its grain yield, it is possible to plan and implement agricultural management in order to improve these traits which will ultimately increase the grain yield of this product. In this regard, to identify effective plant traits in increasing wheat grain yield in the country's drylands, sampled from 144 experimental units that treated with biological and chemical phosphorus fertilizers; And physiological, growth and functional traits of wheat plant were measured. By stepwise regression analysis, effective traits in wheat grain yield were identified and selected. Then, by path analysis, the direct and indirect effects of those traits on wheat grain yield were calculated. The results showed that wheat grain yield was mainly dependent on grain phosphorus uptake, and grain phosphorus uptake was mainly dependent on shoot phosphorus uptake. Therefore, grain and shoot phosphorus uptake of wheat were the most important traits justifier wheat grain yield.

Keywords: Path analysis, Physiological traits, Rainfed cultivation, Growth

بررسی تاثیر زئوپلانت و زغال زیستی حاصل از ذرت بر میزان عناصر موجود در خاک‌های آلوده به کادمیوم

چکیده:

آلودگی منابع آب و خاک به فلزات سنگین از چالش‌های مهم عصرکنونی است. به همین دلیل، آلودگی زدایی چنین خاک‌هایی، پیش نیاز هرگونه بهره برداری بهینه از این منابع است. این پژوهش با هدف بررسی تاثیر زئوپلانت و زغال زیستی بر میزان عناصر موجود در خاک‌های آلوده به کادمیوم در استان خوزستان صورت گرفت. بیوچار مورد استفاده در این پژوهش از زیتوده ذرت و تحت پیرولیز کند و در دمای ۵۰۰ درجه تولید شد. نمونه خاک مورد مطالعه پس از هوا خشک شدن، کوبیده شد و پس از عبور از الک ۲ میلیمتر به منظور اعمال تیمارها به مقدار ۱ کیلوگرم وزن شدند و تیمارها در دو سطح ۲ و ۴ درصد به خاک اعمال شدند. آزمایشات در ۳ تکرار انجام شد و میانگین تکرارها برای مقایسه تاثیر تیمارها مورد استفاده قرار گرفت. این آزمایشات بر پایه طرح فاکتوریل کاملا تصادفی انجام شد. پس از اعمال تیمارها پارامترهایCEC ، میزان کادمیوم، میزان سدیم و پتاسیم اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد افزودن تیمارهای نامبرده موجب کاهش میزان کادمیوم در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش میزان پتاسیم و سدیم در خاک شده است.

واژگان کلیدی: زئوپلانت، زغال زیستی، کادمیوم، عناصر سنگین

مقدمه

از آنجا که آلاینده‌های آلی و فلزات سنگین تجزیه پذیر نمی‌باشند، حذف فلزات سنگین از خاک‌های آلوده یک چالش مهم محسوب می‌شود. روش‌های فیزیکی و شیمیایی متداول امروزی جهت بازیابی فلزات سنگین از خاک‌های آلوده علاوه بر هزینه بسیار، دارای اثرات مضر در فیزیک خاک بوده و فعالیت‌های بیولوژیکی خاک را مختل می‌سازد. امروزه از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی آلوده شدن خاک‌ها به فلزات سنگین از منابع مختلف صنعتی و کشاورزی می‌باشد. آلودگی محیط‌زیست به معنی حضور یک آلاینده در محیط می‌باشد، به گونه‌ای که با سمیت خود زندگی موجودات زنده را به خطر اندازد. انباشت فلزات سنگین در خاک باعث افزایش غلظت فلزات در محصولات کشاورزی می‌شود که بر میزان و کیفیت آن‌ها تاثیرگذار است. فلزات سنگین به طور طبیعی عناصری هستند که وزن اتمی بالایی دارند و چگالی آن‌ها حداقل ۵ برابر آب است. فلزاتی شامل cu، zn، Hg، cd، pb ، Sn، Fe، mn، Ag، Cr، Co، Ni، As، Al و غیره به عنوان گسترده‌ترین آلاینده‌های معدنی سمی در سیستم‌های آب و خاک به شمار می‌روند. کادمیوم یک فلز غیرضروری محسوب می‌شود که به صورت طبیعی در همه‌ی خاک‌ها وجود دارد. به طور کلی غلظت کادمیوم کل در خاک ۱۰ تا ۶۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است (انصاری مهابادی و همکاران، ۲۰۰۷). لیکن در مناطقی که مواد مادری خاک‌ها حاوی غلظت قابل توجه‌ای از این فلزات باشد، یا به علت آلودگی هوا و ترسیب ذرات گرد و غبار حاوی این فلزات و استفاده از فاضلاب های صنعتی و شهری غلظت این آلاینده در خاک افزایش میابد(amacher,1996).

اسماعیل پور فرد و همکاران (۱۳۹۲) بررسی اثر کانی‌های جاذب (بنتونیت، زئولیت و سپیولیت) بر انتقال عناصر سنگین (سرب، روی و کادمیم) به بافت‌های گیاه آفتابگردان را مورد بررسی قرار داد و بر اساس نتایج کانی زئولیت نسبت به سایر تیمارها بیشترین جذب را برای عناصر روی و کادمیم نشان داد و به این علت، در تیمار خاک آلوده مخلوط با این کانی، گیاه آفتابگردان کمترین مقادیر روی و کادمیم را جذب کرد. Verinsinio et al (2019) غلظت فلزات با کاربرد اصلاح‌کننده‌های کود و زئولیت را مورد آزمایش قرار داد و بر اساس نتایج تمام تیمارها سبب کاهش اثرات سمی فلزات سنگین در خاک شدند اما از بین اصلاح کننده‌ها کود و زئولیت طبیعی باعث بهبود حاصلخیزی خاک با اثرات مثبت بر رشد گیاه شد. علوانی و همکاران (۱۳۹۸) اثر نانو ذرات سپیولیت بر سرعت حذف سرب و مس از محلول‌های آبی و غیرمتحرک‌سازی در ستون‌هایی با بافت‌های مختلف مطالعه

کردند؛ نتایج نشان داد حداکثر جذب سرب و مس توسط نانو ذرات سپیولیت به ترتیب $mg.g^{-1}$ ۷۰/۳۴ و ۲۴/۵۰ بود و افزودن نانو ذرات سپیولیت به هر دو خاک توانایی آن‌ها را در حفظ عناصر سرب و مس به نسبت شاهد افزایش داد، این پژوهشگران بیان کردند که جذب بالای سرب توسط نانو ذرات سپیولیت نسبت به میکرو ذرات می‌تواند به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتر و سطوح خاص نانو ذرات (سطح ویژه) نسبت به میکرو ذرات باشد. Gia et al (2017) مطالعه مقایسه‌ای اثرات تورمالین و زغال زیستی را بر کلروفیل گندم، تحرک فلزات سنگین و قابلیت دسترسی در خاک و گندم و فعالیت‌های آنزیمی خاک انجام دادند، اندازه ذرات مختلف تورمالین برای بی‌حرکتی فلزات سنگین انتخاب شد که هدف از آن تبیین امکان‌سنجی و مکانیسم‌های احتمالی موجود در تورمالین برای اصلاح خاک اسیدی آلوده به فلز سنگین بود تورمالین و زغال زیستی سبب کاهش کادمیوم و مس در گندم از خاک اسیدی آلوده به فلزات سنگین شدند. همچنین با تغییر اندازه ذرات از میکرومتر به نانومتر کادمیوم در دسترس از ۰/۹۶±۰/۰۱ به ۰/۸۸±۰/۰۲کاهش یافت و غلظت فلزات سنگین موجود با کاهش اندازه ذرات تورمالین کاهش یافته است؛ این می‌تواند به دلیل کاهش سایز ذرات و افزایش سطح ویژه باشد.

در این پژوهش اثر زغال زیستی ذرت و زئوپلانت بر عناصر موجود در خاک و حذف کادمیوم در خاک مورد بررسی قرار گرفت. فراگیر شدن تولید زغال زیستی از پسماندهای کشاورزی و کاربرد آنها به عنوان اصلاح کننده و افزودنی‌های زیستی در حذف آلودگی و نیز بهبود برخی مولفه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به سازگاری بالای زغال زیستی با محیط زیست و ماندگاری طولانی مدت اثرات مفید ناشی از آن در خاک نسبت به سایر افزودنی‌های متداول دارای اهمیت بالایی می‌باشد (ربیعی و همکاران،۱۳۹۲). زئوپلانت یک پلیمر اصلاح کننده است که به تازگی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. این اصلاح کننده می‌تواند چند برابر وزن خود آب و مایعات آبی را جذب کند و در خود نگه دارد. زئوپلانت از ترکیب مواد آلی و معدنی تشکیل شده است و نقش موثری در بهبود نفوذپذیری و میزان نگهداشت آب در خاک ایفا می‌کند. این ماده آلی-معدنی دارای سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی می‌باشد که به بهبود شرایط خاک و رشد گیاهان کمک شایانی می‌کند.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش از نمونه‌های خاک با آلایندگی مصنوعی استفاده گردید. این پژوهش در قالب طرح کاملا تصادفی در شرایط آزمایشگاهی به منظور بررسی تاثیر زئوپلانت و زغال زیستی ذرت در خاک‌های آلوده به کادمیوم صورت گرفت. به منظور تولید زغال زیستی از زیتوده ذرت استفاده شد. نمونه خاک مورد مطالعه پس از هواخشک شدن، کوبیده شد و پس از عبور از الک ۲ میلیمتر به منظور اعمال تیمارها به مقدار ۱ کیلوگرم وزن شدند و تیمارها در دو سطح ۲ و ۴ درصد به خاک اعمال شدند و یک نمونه خاک بدون افزودن تیمار به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. برای تعیین سطح ویژه از روش BET استفاده شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و pH خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شد و برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی و pH زغال زیستی و زئوپلانت از عصاره با نسبت ۱:۱۰ استفاده شد. برای اندازه‌گیری مقدار کل کادمیوم خاک ابتدا مقدار یک گرم از هر نمونه با ۰/۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد)، ۵ میلی لیتر اسید فلوریدریک غلیظ (۶۵ درصد)، ۱ میلی لیتر آب اکسیژنه (۳۰ درصد) و ۲ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ (۳۷ درصد) درون ظرف تفلنی در درون میکروویو هضم شده و سپس با استفاده از اسید کلریدریک ۱۵درصد به حجم رسانده شد (جعفرزاده و همکاران، ۲۰۱۳). سپس غلظت فلزات سنگین در نمونه های مورد مطالعه با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. سدیم و پتاسیم موجود در خاک توسط دستگاه فلم فتومتر اندازه‌گیری شدند. آزمایشات در ۳ تکرار انجام شدو میانگین تکرارها به عنوان مقایسه تاثیر تیمارها مورد استفاده قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

این پژوهش به صورت طرح فاکتوریل کاملا تصادفی انجام شد. جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار spss و جهت مقایسه میانگین از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک مورد مطالعه و تیمارهای مورد استفاده

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، خاک مورد مطالعه دارای pH قلیایی، مقدار ماده آلی ۰/۲ درصد و میزان کادمیوم در آن برابر با ۴۱ میلی اکی والان بر لیتر است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تیمارهای مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است؛ تیمار زئوپلانت، هدایت الکتریکی، سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتری نسبت به تیمار زغال زیستی ذرت دارد.

جدول ۱- خصوصیات خاک مورد مطالعه

پارامتر	واحد	مقدار
هدایت الکتریکی	$ds.m^{-1}$	۱/۲
pH	-	۷/۲۱
ماده آلی	%	۵/۵۶
ظرفیت تبادل کاتیونی	$Cmol.kg^{-1}$	۲۷/۳
ماده آلی	%	۰/۲
کلسیم	Meq.l-1	۶/۱
سدیم	Meq.l-1	۷/۱
پتاسیم	Meq.l-1	۲/۸
کادمیوم	Meq.l-1	۴۱

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تیمارهای مورد استفاده

ماده اصلاح کننده	EC ($ds.m^{-1}$)	pH	سطح ویژه (M^2g^{-1})	ظرفیت تبادل کاتیونی ($Cmol.kg^{-1}$)
زئوپلانت	۱/۹	۷/۲	۱۲۰	۱۷۹/۵
زغال زیستی ذرت	۱/۴۸	۷/۶۹	۹۸	۷۲/۲۳

اثر سطوح مختلف کاربرد زغال زیستی و زئوپلانت بر pH, EC، سطح ویژه و ظرفیت تبادل کاتیونی در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول۳).

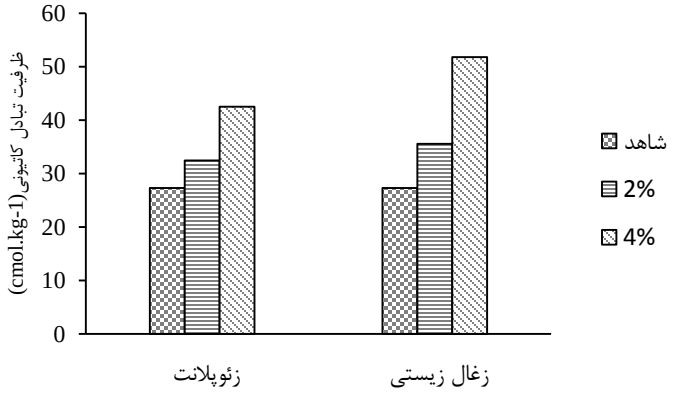
جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای زئوپلانت و زغال زیستی ذرت بر عناصر موجود در خاک مورد مطالعه

منبع تغییرات		CEC	کادمیوم	سدیم	پتاسیم	کلسیم
نوع تیمار	۱	۷۹/۴**	۹۰/۰۳**	۱۶/۲**	۵۹/۳۳**	۷۹/۶۷**
سطح تیمار	۲	۹۰/۴**	۱۰/۴۰**	۹۰/۴**	۲۱/۵۲**	۱۹/۲۲**
سطح تیمار×نوع تیمار	۲	۵۰/۶۱**	۸۹/۹۰*	۵۰/۶۱**	۳۵/۴۰**	۳۱/۹۱**
خطا		۱۹۰/۵	۷۰	۱۹۰/۵	۶۵	۸۰/۱۲
ضریب تغییرات		۲۲/۳	۳۴/۳	۳۴/۳	۵۲/۱	۴۹/۹۰

***، ** وns به ترتیب تفاوت معنی دار در سطح ۰/۰۱ درصد، ۱ درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار.

تاثیر تیمارها بر ظرفیت تبادل کاتیونی

اثر تیمارها بر ظرفیت تبادل کاتیونی در هر دو تیمار و هر دو سطح بر ظرفیت تبادل کاتیونی معنی‌دار بوده است. افزودن هر دو تیمار به خاک باعث افزایش میزان ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک شده است. این افزایش در نمونه‌های تیمار شده با زغال زیستی بیشتر است. در نمونه‌های تیمار شده با زئوپلانت میزان ظرفیت تبادل کاتیونی از ۲۷/۳سانتی مول بر کیلوگرم به ۳۲/۴۶ سانتی مول بر کیلوگرم در سطح کاربرد ۲ درصد و ۴۲/۵۳ سانتی مول بر کیلوگرم در سطح کاربرد ۴ درصد افزایش یافت. و در نمونه های تیمار شده با زغال زیستی در سطح کاربرد ۲درصد به ۳۵/۵۸ سانتی مول بر کیلوگرم و در سطح کاربرد ۴ درصد به مقدار ۵۱/۷۹ سانتی مول بر کیلوگرم افزایش یافت. تیمارهای نامبرده دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی هستند و افزودن آن‌ها به خاک موجب افزایش میزان ظرفیت تبادلی در خاک شده است. در زغال زیستی به علت بالاتر بودن میزان CEC این افزایش چشمگیرتر می‌باشد. کمترین میزان ظرفیت تبادل کاتیونی مربوط به نمونه شاهد و بیشترین میزان ظرفیت تبادل کاتیونی مربوط به نمونه تیمار شده با زغال زیستی در سطح کاربرد ۴ درصد می‌باشد (نمودار ۱). عالی پور بابادی و همکاران (۱۳۹۶) زغال‌های زیستی تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد را به ترتیب اولویت زغال زیستی حاصل از برگ کنوکارپوس، کاه برنج، باگاس نیشکر و خاک اره برای افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و بهبود ذخیره عناصر غذایی قابل دسترس پیشنهاد داد. همچنین، نتایج مطالعه هفشجانی و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد افزودن بیوچار باگاس نیشکر تهیه شده در ۳۰۰ درجه سلسیوس و در سطوح ۲/۰، ۵/۰ و یک درصد، طی هشت ماه دوره آزمایش، باعث افزایش معنی‌دار، ظرفیت تبادل آنیونی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک گردید. Nigussie et al (2012) تأثیر بیوچار بر خصوصیات خاک و جذب عناصر غذایی توسط کاهو را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد بیوچار موجب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و بازهای تبادلی می گردد.

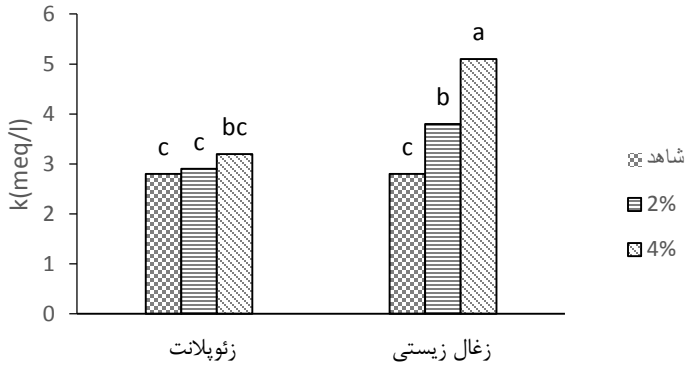


نمودار ۱- اثر تیمارها و میزان کاربرد بر ظرفیت تبادل کاتیونی

تاثیر تیمارها بر میزان پتاسیم خاک

اثر تیمارها خاک در هر دو تیمار و هر دو سطح کاربرد بر میزان پتاسیم معنی‌دار بوده است. هر دو تیمار زغال زیستی و زئوپلانت موجب افزایش میزان پتاسیم در خاک شده‌اند که این افزایش در نمونه‌های تیمار شده با زئوپلانت چشمگیرتر بوده است. میزان پتاسیم از۲/۸ میلی اکی والان بر لیتر به ۲/۹ در سطح کاربرد ۲ درصد زئوپلانت و به ۳/۲ میلی اکی والان بر لیتر در سطح کاربد ۴ درصد زئوپلانت افزایش یافت و در نمونه های تیمار شده با زغال زیستی در سطح ۲ درصد و ۴ درصد به ترتیب به میزان ۳/۸ و ۵/۱ میلی اکی والان بر لیتر افزایش یافت. کمترین میزان پتاسیم در نمونه شاهد و بیشترین میزان پتاسیم در نمونه‌های تیمار شده با زغال زیستی در سطح کاربرد ۴ درصد می‌باشد (نمودار ۲). نجفی قیری (۱۳۹۶) تأثیر کاربرد بیوچار را بر ویژگی‌های خاک و قابلیت جذب عناصر غذایی بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد مصرف بیو چار باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی و پتاسیم محلول و تبادلی گردید در حالی که قابلیت دسترسی نیتروژن، فسفر، روی و مس تحت تأثیر مصرف بیوچار قرار نگرفت.

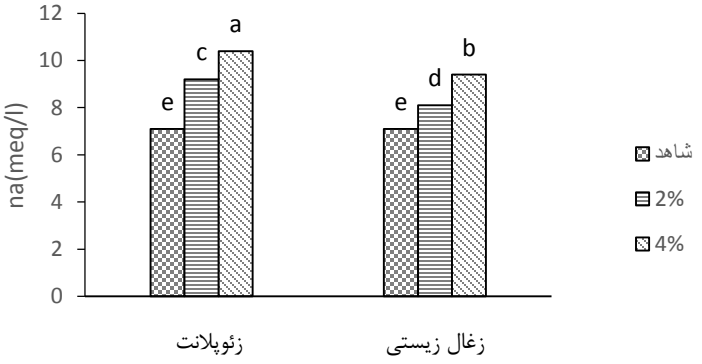
نتایج مطالعه Masto et al (2013) افزایش میزان پتاسیم خاک را بر اثر کاربرد بیوچار نشان داد. نتایج مطالعه زلفی باوریانی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد افزودن بیوچار به خک باعث افزایش معنی‌دار پتاسیم قابل دسترس گردید و بالاترین میزان عناصر قابل جذب در بیوچار تهیه شده در ۳۰۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید.



نمودار ۲- اثر تیمار و سطوح کاربرد بر میزان پتاسیم خاک

اثر تیمارها بر میزان سدیم خاک

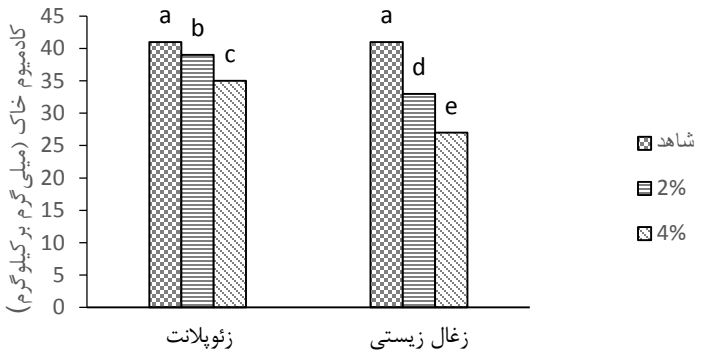
اثر تیمارها برمیزان سدیم خاک در هر دو تیمار و هر دو سطح بر ظرفیت تبادل کاتیونی معنی‌دار بوده است. افزودن هر دو تیمار زغال زیستی و زئوپلانت موجب افزایش میزان سدیم شده است. افزودن تیمار زئوپلانت به خاک موجب افزایش میزان سدیم در خاک از مقدار ۷/۱ در نمونه‌های شاهد به مقدار ۹/۲ میلی اکی والان بر لیتر در سطح کاربرد ۲ درصد و ۱۰/۴ میلی اکی والان بر لیتر در سطح کاربرد ۴ درصد افزایش یافت. در نمونه‌های تیمار شده با زغال زیستی از مقدار ۷/۱ به ۸/۱ میلی اکی والان بر لیتر در سطح کاربرد ۲ درصد و ۹/۴ میلی اکی والان بر لیتر در سطح ۴ درصد افزایش یافت. کمترین میزان سدیم مربوط به نمونه شاهد و بیشترین میزان سدیم مربوط به نمونه تیمار شده با زئوپلانت در سطح کاربرد ۴ درصد می‌باشد. (نمودار ۴). موسوی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی دریافتند که کاربرد ۲/۱،۵/۲۵ و ۵ درصد زغال زیستی کود گاوی سبب افزایش میزان سدیم و پتاسیم شد. رضایی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که کاربرد بیوچار سبب شور شدن خاک گردید که به دلیل بالاتر بودن قابلیت هدایت الکتریکی بیوچار نسبت به خاک می‌باشد. از طرفی چون بیوچار مورد استفاده حاوی سدیم نیز بوده است، افزودن آن به خاک سبب افزایش میزان سدیم نیز شده است اما این افزایش به اندازه‌ی افزایش غلظت سدیم در خاک در اثر آبیاری با آب شور نبوده است.



نمودار ۴- اثر تیمار و سطوح کاربرد بر میزان سدیم خاک

اثر تیمارها و سطوح کاربرد بر حذف کادمیوم در خاک

اثر تیمارها برمیزان کادمیوم خاک در هر دو تیمار و هر دو سطح بر ظرفیت تبادل کاتیونی معنی‌دار بوده است. میزان کادمیوم موجود در خاک از ۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نمونه‌های شاهد به میزان ۳۹ میلی گرم بر کیلوگرم در سطح کاربرد ۲ درصد و ۳۵ میلی گرم بر کیلوگرم در سطح ۴ درصد کاهش یافت. میزان کادمیوم موجود در نمونه‌های تیمار شده با زغال زیستی در سطح کاربرد ۲ درصد به میزان ۳۳ و در سطح کاربرد ۴ درصد به مقدار ۲۷ میلی گرم بر کیلوگرم کاهش یافت. کمترین میزان کادمیوم مربوط به نمونه‌های تیمار شده بازغال زیستی در سطح ۴ درصد و بیشترین میزان کادمیوم در نمونه‌های شاهد مشاهده شد (نمودار ۵). بررسی تثبیت فلزات سنگین به ویژه کادمیوم با استفاده از زئولیت ایرانی از نوع کلینوپتیلولیت در اصلاح خاک‌های آلوده نشان داد که وقتی کاربرد زئولیت به ۱۵ گرم برسد غلظت کادمیوم در پساب به کمتر از mg/l^{-1} ۰/۱ خواهد رسید (انصاری مهابادی و همکاران،۱۳۸۶). Aloble et al (2017) زغال‌های زیستی تولید شده در دمای پایین‌تر ۳۵۰ و ۴۵۰ مقادیر بالای CEC را مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان می‌دهند که زغال زیستی می‌تواند به عنوان یک ماده قابل استفاده برای افزایش نگهداری مواد مغذی در خاک در نظر گرفت. سعادت و بارانی مطلق (۱۳۹۱) تاثیر زئولیت را به جذب سرب و کادمیوم مورد بررسی قرار دادند نتایج به دست آمده نشان داد که کاربرد زئولیت باعث کاهش غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ذرت گردید که نشان دهنده توانایی این کانی در جذب فلزات سنگین می‌باشد. انصاری مهابادی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای تأثیر مقادیر مختلف زئولیت را بر تثبیت کادمیوم در خاک مورد مطالعه قرار دادند و گزارش نمودند که با افزایش مقدار کاربرد زئولیت میزان تثبیت کادمیوم در خاک‌های آلوده به این عنصر افزایش یافت. اسماعیل پور فرد و همکاران (۱۳۹۴) نیز با مقایسه توانایی کانی‌های مختلف رسی در جذب عناصر سرب، روی و کادمیوم از خاک آلوده به این عناصر، بنتونیت را به عنوان مؤثرترین کانی در کاهش جذب سرب و زئولیت را به عنوان مناسب ترین کانی در کاهش جذب عناصر کادمیوم و روی توسط آفتابگردان گزارش نمودند.



نمودار ۵- اثر تیمار و سطوح کاربرد بر میزان کادمیوم خاک

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزودن تیمارهای زغال زیستی و زئوپلانت سبب تغییر در میزان عناصر موجود در خاک می‌شوند. همچنین سطح کاربرد تیمارها از ۲ درصد به ۴ درصد اثرات مثبت و به مراتب قوی‌تری را در خاک ایجاد نموده است. نتایج نشان می‌دهد کاربرد زغال زیستی ذرت و زئوپلانت با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، کاهش میزان کادمیوم در خاک و افزایش میزان عناصر موجود در خاک به عنوان اصلاح کننده موثر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. انجام آزمایشات در مقیاس بزرگتر قطعا به تصدیق یافته‌های این پژوهش کمک شایانی خواهد کرد.

فهرست منابع

محمدی پور، ف. و اسدی کپورچال، ص. (۱۳۹۱). ارزیابی توانگیاهی خاکهای آلوده بیش اندوزی گیاه شاهی برای پالایش به کادمیوم. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۲): ۲۰-۳۰.

محمودی، زن و خادمی، ح. (۱۳۹۳). غلظت برخی فلزات سنگین در گرد و غبار اتمسفری اصفهان و شهرهای مجاور، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۸ (۶۷): ۲۴۳-۲۵۵.

Alvarez-Ayuso, E., Garcia-Sanchez, A. (2003). Palygorskite as a feasible amendment to stabilize heavy metal polluted soils, Environ. Pollut. 125: 337–344.

Alexander, P.D., Alloway, B.J., Dourado, B.M. (2006). Genotypic variations in accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables.Environmental pollution, 144:736-745.

Asci, Y., Nurbas, M., and Acikl, Y.S., (2007). Sorption of Cd(II) onto kaolinin as a soil component and desorption of C(II) from kaolin using rhamnolipid biosurfactant. Journal of Hazardous Material, 139: 50-60.

Jafarnejadi, A., Sayyad, G., Homaee, M., Davamei, A. H. (2013). Spatial variability of soil total and DTPA extractable cadmium caused by long-term application of phosphate fertilizers, crop rotation, and soil characteristics. Environmental Monitoring and Assessment, 185: 4087-4096.

Liang, X.F., Xu, Y.M., Wamg, L., Su, G.H., Qin, X., Sun, Y. (2011). In-situ immobilization of cadmium and lead in a contaminated agricultural fields bi adding natural clays combined with phosphate fertilizer. Acta Scientiae Circumstantiae, 31: 1011-1018.

Sun, Y., Sun, G., Xu, Y., Wang, L., Liang, X., Lin, D. (2013). Assessment of sepiolite for immobilization of cadmium-contaminated soils. Geoderma, 193-194: 149-155.

Filipek, T. (2014). Liming, Effects on Soil Properties. In: J. Glinski, J. Horabik and J, Lipiec (eds.), Encyclopedia of Agrophysics. Springer Netherlands, 425-428.

Lehmann, J.,and Joseph S. (Eds.). (2015). Biochar for environmental management, science, technology and implementation, Routledge.

Nigussie, A., Kissi ,E., Misganaw, M., and Ambaw, G. (2012). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (Lactuca sativa) grown in chromium polluted soils. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science.12, 369-376.73.

The effect of zooplant and biochar from corn on the amount of elements in cadmium-contaminated soils

Abstract

Contamination of water and soil resources with heavy metals is one of the important challenges of the current era. For this reason, decontamination of such soils is a prerequisite for any optimal use of these resources. The aim of this study was to investigate the effect of zooplant and biochar on the amount of elements in cadmium-contaminated soils in Khuzestan province. The biochar used in this study was produced from corn oil under slow pyrolysis and at a temperature of 500 degrees. The soil sample was compacted after air drying and after passing through a 2 mm sieve to apply the treatments weighed 1 kg and the treatments were applied to the soil at two levels of 2 and 4%. The experiments were performed in 3 replications and the mean replications were used to compare the effect of the treatments. These experiments were performed based on a completely randomized factorial design. After applying the treatments, CEC parameters, cadmium content, sodium and potassium content were measured. The results showed that the addition of these treatments reduced the amount of cadmium in the soil, increased the cation exchange capacity and increased the amount of potassium and sodium in the soil.

Keywords: Zooplant, biochar, cadmium, heavy elements

بررسی تاثیر مواد آلی بر زیست توده میکروبی و تنفس خاک در کشت ذرت

مهدیه شمشیری پور، عبدالحسین ضیائیان، حمیدرضا ذبیحی، محمود رضا رمضانپور، هادی موسوی فضل، وحیداله جهاندیده

۱- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ mshamshiripour@yahoo.com

۲- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، فارس، ایران

۳- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی،خراسان رضوی، ایران

۴- مرکز تحقیقات کشاورزی ومنابع طبیعی، مازندران، ایران

۵- مرکز تحقیقات کشاورزی ومنابع طبیعی، خوزستان، ایران

۶- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

مواد آلی برگشته به خاک، چه به طور مستقیم از طریق بقایای محصول و چه به طور غیرمستقیم بصورت کود دامی، دارای ترکیبات آلی مختلف ومتعددی می باشد. برخی از این مواد به سرعت توسط میکروارگانیسم های خاک تجزیه می شوند و نتیجه این کار، تشکیل سریع ترکیبات میکروبی و ساختارهای لاشه ای است که به لحاظ نگهداری ذرات خاک کنارهم، به منظور ایجاد ساختمان خاک وکاهش فرسایش آن حائز اهمیت می باشند و نتیجه دیگر، آزاد شدن دوباره دی اکسید کربن به اتمسفر از طریق تنفس میکروبی است. مصرف مواد آلی در خاک بر خصوصیات فیزیکی ، شیمیایی و بیولوژیک خاک اثر گذاشته و در نهایت بر رشد گیاه و عملکرد محصول تاثیر می گذارد. در این تحقیق تاثیر مواد آلی اضافه شده به خاک، بر میزان کربن زیست توده میکروبی خاک و همچنین بر تنفس میکروبی خاک در ۴ استان کشور و در دو مرحله قبل و بعد از کشت ذرت بررسی شد. تیمارهای مورد آزمایش شامل مصرف کود فسفره،کود دامی،کمپوست،کود دامی به همراه فسفر ،کمپوست به همراه فسفرو تیمار شاهد بود. نتایج نشان داد که تیمار های مورد آزمایش تفاوت معنی داری در سطح ۱٪ و ۵٪ بر میزان تنفس و زیست توده میکروبی نسبت به تیمار شاهد داشتند. . بیشترین مقدار تنفس میکروبی، ۱۹/۴۸۱ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک و مربوط به تیمار کود دامی به همراه فسفر وکمترین مقدار، ۴/۹۰۳ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک و مربوط به تیمار فسفر بود. این در حالیست که مقدار شاهد، ۴/۸۷۱ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک بود. همچنین بیشترین مقدارزیست توده۱۲۳۸/۱۲میکرو گرم بر گرم خاک و مربوط به تیمار مصرف کود دامی به همراه فسفر و کمترین مقدار ۳۲۳/۵۲ میکرو گرم بر گرم خاک و مربوط به تیمار کود دامی بود.در حالیکه مقدار شاهد ۱۱۴/۰۷ میکرو گرم بر گرم خاک بود.

واژه های کلیدی : زیست توده میکروبی، تنفس میکروبی، کود دامی، کمپوست، مواد آلی

مقدمه

هزاران سال است که بشر به اهمیت مواد آلی از نظر تأمین عناصر غذایی گیاهان پی برده است. در اقلیم های خشک و نیمه خشک که قسمت عمده کشور ایران را نیز شامل می‌شود، عدم پوشش گیاهی کافی و مناسب موجب کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کمبود مواد آلی شده است. مواد آلی به علت اثرات سازنده ای که بر خواص فیزیکی، شیمیایی و بویژه خواص بیولوژیکی خاک دارند، یکی از ارکان مهم باروری خاک شناخته شده اند. در بیش از ۶۰ درصد اراضی کشاورزی کشور میزان کربن آلی خاک کمتر از یک در صد می باشد. در حالی که حد مطلوب کربن آلی خاک برای دستیابی به تولید پایدار بایستی ۳-۲ درصد باشد (سماوات و همکاران، ۱۳۸۹). ریز جانداران خاک از اجزای اصلی فرآیندهای بیولوژیک خاک و چرخه عناصر غذایی می باشند. به سبب درک اهمیت نقش آنها در نگهداری و رها سازی انرژی و عناصر غذایی به خاک و همچنین نقش بسزایی که میکرو ارگانیزم های مفید خاکزی در افزایش رشد گیاهان دارند در سالهای اخیر توجه روز افزونی به برآورد زیست توده میکروبی در

خاک شده است (Ren et al, 2017). مواد آلی خاک (SOM) شاخص اصلی کیفیت وسلامت خاک بوده،که قویا تحت تاثیر مدیریت کشاورزی است. از آنجا که کربن در انواع مختلف مواد آلی به نسبت های مختلف موجود است می توان انواع مختلف مواد آلی نظیر کود گاوی و کمپوست و فاضلاب شهری و غیره رابه نمونه های خاک اضافه کرد و زمان برگشت کربن را در آنها بررسی کرد. زیست توده میکروبی جزء زند ماده آلی خاک و در بر گیرنده باکتری ها، اکتینو میست ها، قارچ ها، پروتوزوآ، جلبک ها و میکروفونا می باشد و در نهایت دو درصد کربن آلی خاک و پنج درصد نیتروژن آلی را شامل می شود (Hu and Cao, 2007). کربن توده زنده میکروبی در خاکها یکی از منابع قابل دسترس برای عناصر غذایی گیاهان و عاملی برای انتقال و چرخه ماده آلی و عناصر غذایی می باشد. علاوه براین توده زنده میکروبی به علت پاسخ دادن به مدیریت های مختلف اراضی می تواند شاخص حساسی نسبت به سطوح مختلف ماده آلی باشد (Cui et al, 2015). شارما و همکاران (۲۰۰۴) طی تحقیقاتی ضریب همبستگی بسیار بالایی را بین ماده آلی و کربن توده زنده ی میکروبی خاک به دست آوردند. مطالعات بسیاری نیز در زمینه ی ارتباط تنفس میکروبی و کربن زیست توده میکروبی انجام گردیده است. جیا و همکاران (۲۰۰۵) در اندازه گیری های مختلف در طی زمان به همبستگی مثبت معناداری میان تنفس میکروبی خاک و کربن زیست توده میکروبی اشاره کردند و نشان دادند که با افزایش میزان کربن توده زنده میکروبی خاک میزان تنفس خاک و به تبع آن تجزیه مواد آلی خاک افزایش می یابد. همچنین عجمی و همکاران (۲۰۰۶) طی مطالعاتی بیان داشتند که رابطه خطی مثبتی میان تنفس میکروبی خاک و کربن زیست توده میکروبی ماده آلی خاک وجود دارد. با افزایش ماده آلی و جمعیت میکروبی خاک، معدنی شدن و گردش عناصر غذایی تسریع شده و جذب عناصر غذایی توسط گیاهان افزایش می یابد.

مواد و روش‌ها

آزمایش طرح این پروژه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در استان‌های خوزستان، فارس ، مازندران و خراسان انجام شد. آزمایش به صورت سه آزمایش مستقل بر اساس مصرف سه کود نیتروژنی، پتاسیمی و فسفره در هر استان انجام شد که تیمارهای مورد استفاده در این پروژه مربوط به آزمایش استفاده از کود فسفره می باشد. به منظور انجام پروژه از ۴ استان فارس، خوزستان، خراسان رضوی و مازندران نمونه خاک دریافت شد. نمونه خاکهای ارسالی، مربوط به زمان بعد از کشت گندم اول و بعد از کشت ذرت بود. از هر استان در هر سری نمونه برداری ۱۸ نمونه خاک ارسال گردید. به منظور انجام آزمایش اندازه گیری تنفس و نیز زیست توده میکروبی لازم بود ظرفیت مزرعه خاک هم اندازه گیری شود که این امر در آزمایشگاه فیزیک موسسه انجام شد. همچنین درصد رطوبت تمامی نمونه ها نیز در آزمایشگاه اندازه گیری و محاسبه گردید. تیمارهای هر یک از آزمایشات به شرح زیر بود:

تیمارهای آزمایش:

۱-مصرف کود شیمیایی فسفری بر اساس آزمون خاک	($P_{100\%}$)
۲-مصرف مواد آلی از منبع اول (کود دامی) به میزان ۲۰ تن در هکتار	(P_0 M_2)
۳-مصرف مواد آلی از منبع دوم(کمپوست) به میزان ۲۰ تن در هکتار	(P_0 M_4)
۴-تیمار اول بعلاوه تیمار دوم	($P_{100\%}$ M_2)
۵-تیمار اول بعلاوه تیمار سوم	($P_{100\%}$ M_4)
۶-بدون مصرف کود شیمیایی فسفری و کود آلی(شاهد)	(P_0 M_0)

در مورد استفاده از کمپوست،در هر استان بر اساس عرف منطقه از کود متفاوتی استفاده نموده شد. به این ترتیب که استان مازندران ،از کمپوست چوب و کاغذ ساری، استان خوزستان، از کمپوست باگاس نیشکر، استان فارس، از کمپوست شهری و استان خراسان، از کمپوست زباله شهری کارخانه کمپوست مشهد استفاده کردند. در هر آزمایش در دو مرحله قبل از کشت و ابتدای

تشکیل خوشه از هر یک از تکرارهای هر تیمار ۳ بوته همراه با خاک که نماینده هر کرت می‌باشند تهیه گردید. از هر استان ۱۸ نمونه و در کل از چهار استان ۱۴۴ نمونه به ستاد ارسال شد. جهت اندازه گیری زیست توده میکروبی از روش تدخین استخراج (Vance et al, 1987) استفاده شد. جهت اندازه گیری تنفس میکروبی از روش closed jars (Isermeyer, 1952) استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس تنفس میکروبی خاک در استانهای مورد نظر در دو مرحله قبل و بعد از کشت ذرت در جدول(۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تنفس میکروبی در استان خراسان در هر دو مرحله در سطح ۵٪ معنی دار بود. نتایج اندازه گیری تنفس میکروبی در استان مازندران در مرحله قبل از کشت معنی دار نشد ولی در مرحله بعد از کشت در سطح ۱٪ معنی دار بود. نتایج اندازه گیری تنفس در استان خوزستان در مرحله قبل کشت در سطح ۱ ٪ و بعد از کشت در سطح ۵ ٪ معنی دار بود. در نهایت تنفس اندازه گیری شده در استان فارس در مراحل قبل و بعد از کشت ذرت معنی دار نبود.

جدول ۱- تجزیه واریانس تنفس میکروبی خاک انداز ه گیری شده در استانهای خراسان، مازندران، خوزستان و فارس

	منابع تغییرات	درجه آزادی	خراسان	مازندران	خوزستان	فارس
قبل از کشت	تیمار	۵	۱/۶۱۵*	۳/۷۹۱ ns	۲/۵۷۶**	۳/۷۷۶ ns
	خطا	۱۲	۰/۴۷۲	۱/۴۴۲	۰/۴۱۳	۱/۷۳۵
	کل	۱۷	۰/۸۰۷	۲/۱۳۲	۱/۰۴۹	۲/۳۳۵
	ضریب تغییرات		۱۲/۳۲۷	۱۵/۵۵	۹/۴۲	۱۸/۴۱
بعد از کشت	تیمار	۵	۲/۴۴۷*	۵/۶۱۴**	۱۳/۲*	۴/۸۱۷ ns
	خطا	۱۲	۰/۶۳۷	۰/۳۴۵	۴/۷۴۰	۱/۷۷۶
	کل	۱۷	۱/۱۶۹	۱/۸۹۴	۷/۲۲۸	۲/۶۷۰
	ضریب تغییرات		۱۰/۷۲	۴/۹۰	۱۳/۱۳	۱۹/۵۱

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns معنی دار نیست

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرتیمار ها بر تنفس میکروبی خاک در استانهای خراسان، مازندران، خوزستان و فارس

تنفس میکروبی	خراسان قبل از کشت	خراسان بعد از کشت	مازندران قبل از کشت	مازندران بعد از کشت	اهواز قبل از کشت	اهواز بعد از کشت	فارس قبل از کشت	فارس بعد از کشت
فسفر	۴/۹۰۳^{a}	۷/۱۹۸^{ab}	۶/۶۶۵^{a}	۱۱/۱۳۶^{b}	۵/۸۴^{a}	۱۴/۶۰۵^{a}	۶/۲۶ ^{a}	۶/۵۲^{a}
کود دامی	۵/۹۴۵^{ab}	۸/۶۵۸^{b}	۸/۱۷۸ ^{a}	۱۱/۳۶۳ ^{b}	۷/۲۶۵^{b}	۱۷/۹۳^{ab}	۷/۱۶^{a}	۶/۸۲۶^{a}
کمپوست	۶/۵۱۳^{b}	۷/۵۹۸^{b}	۸/۲۰۶ ^{a}	۱۲/۸۶^{c}	۷/۰۵۱ ^{b}	۱۷/۳^{ab}	۷/۴۶۵^{a}	۶/۷۶۶^{a}
فسفر+ دامی	۶/۴۸۸^{b}	۷/۳۲ ^{ab}	۸/۷۶^{a}	۱۳/۵۹۸^{c}	۷/۹۵۶^{b}	۱۹/۴۸۱^{b}	۸/۵۶^{a}	۸/۹۵^{a}
فسفر+کمپوست	۵/۵۳۱ ^{ab}	۷/۹۴۱^{b}	۸/۰۷۳^{a}	۱۲/۹۱۳^{c}	۷/۲۴^{b}	۱۶/۲۷۵^{ab}	۷/۹۷۱^{a}	۶/۹۴^{a}
بدون مصرف	۴/۸۷۱^{a}	۵/۹۴۱^{a}	۵/۸۱۸^{a}	۹/۹۸^{a}	۵/۵۵^{a}	۱۳/۸۸۸^{a}	۵/۴۹۵^{a}	۴/۹۸^{a}

در هر ستون و برای هر صفت میانگین هایی با حروف یکسان فاقد اختلاف معنی دار می باشند

نتایج تجزیه واریانس تنفس میکروبی خاک در استانهای مورد نظر در دو مرحله قبل و بعد از کشت ذرت در جدول(۳) نشان داده شده است. نتایج تجزیه واریانس اندازه گیری زیست توده در استان خراسان در مرحله قبل از کشت در سطح ۵ ٪معنی دار بود ولی در مرحله پس از کشت معنی دار نبود. در استان مازندران در مرحله قبل و بعد از کشت در سطح ۱ ٪معنی دار بود. در استان خوزستان در مرحله قبل از کشت در سطح ۵٪ و در مرحله پس از کشت در سطح ۱٪ معنی دار بود. همچنین نتایج تجزیه واریانس زیست توده در استان فارس نیز در مرحله قبل از کشت در سطح ۱٪ و در مرحله پس از کشت در سطح ۵٪ معنی دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس زیست توده میکروبی خاک انداز ه گیری شده در استانهای خراسان، مازندران، خوزستان و فارس

	منابع تغییرات	درجه آزادی	خراسان	مازندران	خوزستان	فارس
قبل از کشت	تیمار	۵	۱۴۹۰۶/۲۸۰*	۲۳۲۵۱۷/۶۸۴**	۹۷۱۳۱/۱۸۳*	۸۱۹۲۳/۷۲۶**
	خطا	۱۲	۴۲۳۷/۱۱۳۳	۱۵۹۶۸/۴۱۵	۲۰۴۲۳/۳۲۰	۱۱۶۹۴/۰۷۶
	کل	۱۷	۷۴۰۰/۵۲۹	۷۹۶۵۹/۳۷۶	۴۲۹۸۴/۴۵۶	۳۲۳۴۹/۸۵۵
	ضریب تغییرات		۱۷/۹۷	۱۹/۵۳	۲۷/۹۹	۲۱/۱۳
بعد از کشت	تیمار	۵	۱۰۳۴۷/۱۴۲ n.s	۲۳۶۶۹۵/۸۲۵**	۱۹۴۸۸۰/۰۴۹**	۸۱۹۲۳/۷۲۶*
	خطا	۱۲	۶۵۵۰/۲۴۴	۱۲۷۶۷/۴۰۸	۱۰۶۵۰/۱۱۳	۱۱۶۹۴/۰۷۶
	کل	۱۷	۷۶۶۶/۹۷۸	۷۸۶۲۸/۷۰۷	۶۴۸۳۵/۳۸۸	۴۸۸۳۵/۳۹
	ضریب تغییرات		۱۴/۰۷	۱۳/۸۰	۱۷/۱۵۲	۱۶/۸۳۸

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns معنی دار نیست

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرتیمار ها بر زیست توده میکروبی خاک در استانهای خراسان، مازندران، خوزستان و فارس

تنفس میکروبی	خراسان قبل از کشت	خراسان بعد از کشت	مازندران قبل از کشت	مازندران بعد از کشت	اهواز قبل از کشت	اهواز بعد از کشت	فارس قبل از کشت	فارس بعد از کشت
فسفر	۳۸۰/۴۸^{ab}	۵۸۱/۱۰۶^{a}	۴۵۷/۸۱۳^{a}	۷۵۰/۱۴^{b}	۳۳۱/۰۴^{a}	۵۴۴/۳۴^{b}	۳۶۸/۳۸^{a}	۵۵۱/۲۲۳^{ab}
کود دامی	۳۲۳/۵۲^{ab}	۶۰۰/۸۷۳^{a}	۴۷۸/۹۵۶^{a}	۷۶۷/۲۵ ^{bc}	۴۴۴/۷۸^{ab}	۶۵۴/۵۹^{bc}	۵۰۷/۰۸^{ab}	۶۶۲/۸۷۶^{b}
کمپوست	۴۷۱/۹۶^{c}	۵۵۲/۴۸۶^{a}	۵۳۸/۹۲^{a}	۸۰۲/۹۱ ^{bc}	۵۶۴/۱۶^{abc}	۷۷۰/۵۴^{c}	۴۸۸/۴۹^{ab}	۸۲۴/۶۰^{b}
فسفر+ دامی	۳۴۱/۳^{ab}	۶۵۲/۹۶۳^{a}	۱۰۰۰/۰۲۵^{b}	۱۲۳۸/۱۲^{d}	۷۹۰/۲۹^{c}	۷۵۱/۸۰^{c}	۷۷۸/۶۸^{c}	۸۴۳/۲۵۶^{b}
فسفر+کمپوست	۳۶۹/۴^{bc}	۵۸۷/۵۳۶^{a}	۹۸۷/۳۰۶^{b}	۹۶۸/۰۶^{c}	۶۰۸/۵۸^{bc}	۷۷۴/۵۹^{c}	۶۰۴/۹۲^{bc}	۶۴۵/۱۹۶^{b}
بدون مصرف	۲۸۶/۶^{a}	۴۷۶/۰۲۳^{a}	۴۱۷/۸۴۶^{a}	۳۸۴/۲۹^{a}	۳۲۴/۵۴^{a}	۱۱۴/۰۷^{a}	۳۲۳/۳۶^{a}	۳۲۶/۰۷^{a}

در هر ستون و برای هر صفت میانگین هایی با حروف یکسان فاقد اختلاف معنی دار می باشند

نتیجه گیری

مقایسه میانگین اثرتیمار ها بر تنفس میکروبی نشان داد که در اکثر استانها تنفس میکروبی در مرحله بعد از کشت ذرت نسبت به مرحله قبل از کشت روند افزایشی داشته است. همچنین بین تیمار شاهد با بقیه تیمارها در اکثر موارد تفاوت معنی داری وجود دارد که البته این تفاوتها به نوع کود مصرفی بستگی دارد. بیشترین مقدار تنفس میکروبی، ۱۹/۴۸۱ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک و مربوط به تیمار کود دامی به همراه فسفر است وکمترین مقدار، ۴/۹۰۳ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک و مربوط به تیمار فسفر بود. این در حالیست که مقدار شاهد، ۴/۸۷۱ میلی گرم دی اکسید کربن بر گرم خاک بود. تیمار کود فسفره مصرفی کمترین تفاوت را با تیمار شاهد داشت که اکثرا این تفاوت معنی دار نبود. اما استفاده توام کود فسفره با مواد آلی بیشترین تفاوت را نشان داد که در مورد تیمار مصرف فسفر به همراه کود دامی این تفاوت بیشتر بود. همچنین میانگین بین تیمارها در هر استان در مرحله قبل و بعد از کشت تفاوت چندانی با هم نداشتند. مقایسه میانگین اثر کود های آلی بر زیست توده میکروبی نشان داد که زیست توده میکروبی همانند تنفس در مرحله بعد از کشت ذرت نسبت به مرحله قبل از کشت روند افزایشی داشته است. سانیولا و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که کربن زیست توده میکروبی در خاک‌های کشت شده نسبت به خاک‌های بدون کشت بیشتر بوده است. بنیزری و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش کردند که وجود گیاه باعث افزایش معنی دار کربن زیست توده میکروبی و تنفس می گردد. بیشترین مقدارزیست توده۱۲۳۸/۱۲میکرو گرم بر گرم خاک و مربوط به تیمار مصرف کود دامی به همراه فسفر بود و کمترین مقدار ۳۲۳/۵۲ میکرو گرم بر گرم خاک و مربوط به تیمار کود دامی بود.در حالیکه مقدار شاهد ۱۱۴/۰۷ میکرو گرم بر گرم خاک بود. تیمار شاهد (بدون مصرف کود) با اکثر تیمارها دارای تفاوت معنی دار بودکه البته این تفاوت در تیمار کود فسفره کمتر بود. به نظر می رسد که بیشترین تاثیر را استفاده از کود های آلی به ویژه مصرف توام کود دامی به همراه کود فسفره داشت.

تشکر و قدردانی

از اعضای هیأت علمی و پرسنل بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب به دلیل فراهم کردن همه امکانات این پژوهش قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

سماوات. سعید. ۱۳۸۹. نقش مدیریت مواد آلی در افزایش حاصلخیزی خاک (مسائل و محدودیتها). مجموعه مقالات شفاهی کنگره چالشهای کود در ایران، نیم قرن مصرف کود. . ۱۰-۱۲ اسفند. انتشارات سنا.

Ajami, M., Khormali, F., Ayoubi, Sh., AmoozadehOmrani, R. 2006. Changes in Soil quality attributes by conversion of land use on a loess hillslope in Golestan Province, Iran. Inth international soil meeting(ISM) on soil sustaining life on earth, Managing Soil and Technology, sanhurFa, Turkey.pp: 501-504

Benizri, E., Nguyen, C., Piutti, S., Slezack-Deschaumes, S., and Philippot, L. 2007. Additions of maize root mucilage to soil changed the structure of the bacterial community. Soil Biol. Biochem. 39: 1230–1233.

Cui, J. and Holden, N.M., 2015. The relationship between soil microbial activity and microbial biomass, soil structure and grassland management. Soil and Tillage Research, 146, pp.32-38.

Hu, C., and Cao, Z. 2007. Size and activity of the soil microbial biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. World Journal of Agricultural Sciences 3(1): 63-70.

Isermeyer H, 1952. Eine einfache methode zur bestimmang der bodenatmung und der carbonate im Boden. Z P Flanzenernaehr Bodenkd 56: 26-38.

Jia, B. R., Zhou, G. S., Wang, Y. H., Yang, W. P., Zhou, L., 2005. Partitioning root and microbial contributions to soil respiration in Leymuschinensis population. Soil Biology & Biochemistry 38:653-660.

Ren, C., Zhao, F., Shi, Z., Chen, J., Han, X., Yang, G., Feng, Y. and Ren, G., 2017. Differential responses of soil microbial biomass and carbon-degrading enzyme activities to altered precipitation. Soil Biology and Biochemistry, 115, pp.1-10.

Sanaullaha, M., Blagodatskaya, E., Chabbi, A., Rumpel, C., and Kuzyakov, Y. 2011. Drought effects on microbial biomass and enzyme activities in the rhizosphere of grasses depend on plant community composition. Appl. Soil Ecol. 48: 38–44.

Sharma, P., S.C. Rai, R. Sharma and E. Sharma. 2004. Effects of land- use change on soil microbial C, N and P in a Himalayan watershed. Pedobiologia 48: 83–92

Vance, ED; Brookes PC and Jenkinson DS., 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass. Soil Biol Biochem. 19: 703-707.

Investigation of the effect of organic matter on soil microbial biomass and respiration in maize cultivation

Mahdieh Shamshiripour[1], Abdolhossein Ziaeian[2], Hamidreza Zabihi[3], Mahmoud Reza Ramazanpour[4], Hadi Mousavi Fazl[5], Vahidollah Jahandideh[6]

1- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran; mshamshiripour@yahoo.com

2- Agricultural and Natural Resources Research Center, Fars, Iran

3- Agricultural and Natural Resources Research Center, khorasan razavi, Iran

4- Agricultural and Natural Resources Research Center, mazandaran, Iran

5- Agricultural and Natural Resources Research Center, khouzestan, Iran

6- Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Abstract

Organic matter returned to the soil, either directly through crop residues or indirectly in the form of animal manure, has a variety of organic compounds. Some of these materials are rapidly degraded by soil microorganisms, resulting in the rapid formation of microbial compounds and carcass structures that are important in terms of holding soil particles together to create soil structure and reduce erosion. Release of carbon dioxide into the atmosphere through microbial respiration. Consumption of organic matter in soil affects the physical, chemical and biological properties of soil and ultimately affects plant growth and crop yield. In this study, the effect of organic matter added to soil on the amount of soil microbial biomass carbon and also on soil microbial respiration in 4 provinces of the country in two stages before and after corn cultivation was investigated. The tested treatments included the use of phosphorus fertilizer, manure, compost, manure with phosphorus, compost with phosphorus and control treatment. The results showed that the tested treatments had a significant difference at the level of 1% and 5% on respiration and microbial biomass compared to the control treatment. . The highest amount of microbial respiration was 19.481 mg of carbon dioxide per gram of soil and related to the treatment of manure with phosphorus and the lowest amount of 4.903 mg of carbon dioxide per gram of soil was related to the treatment of phosphorus. The control amount was 4.871 mg of carbon dioxide per gram of soil. Also, the highest biomass value was 1238.12 micrograms per gram of soil and was related to the treatment of livestock manure with phosphorus and the lowest value was 323.52 micrograms per gram of soil and was related to the treatment of livestock manure. It was dirt.

Keywords Microbial biomass, microbial respiration, manure, compost, organic matter

غنی‌سازی بیوچار با باکتری‌های PGPR خاک‌های حوضه دریاچه ارومیه و بررسی تاثیر آن بر رشد گندم

رقیه موسوی، میرحسن رسولی صدقیانی*، ابراهیم سپهر و محسن برین
گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
* m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

چکیده

به منظور غنی‌سازی بیوچار با انواع باکتری‌های PGPR بومی خاک‌های شور، ۲۵ نمونه خاک شور از خاک‌های حوضه دریاچه ارومیه جمع‌آوری گردید. سویه‌های جدا شده تا سطح مولکولی شناسایی، و برخی خصوصیات PGP آنها شامل تولید استیک اسید (IAA)، سیانید هیدروژن (HCN)، سیدروفور و اگزوپلی‌ساکاریدها (EPS) ارزیابی گردید. بیوچار معمولی سیب و انگور با برترین سویه‌های جداسازی شده غنی گردید. شاخص‌های رشد گندم در شرایط گلخانه‌ای در دو نوع خاک با هدایت الکتریکی متفاوت (۲ و ۱۵ $dS.cm^{-1}$) بررسی گردید. بر اساس توالی ژن *16S rRNA*، جدایه‌های RB93 و RB73 با ۹۰-۱۰۰ درصد تشابه به جنس و گونه *Pseudomonas aeruginosa*، جدایه RB75 با ۹۰-۱۰۰ *درصد تشابه به Pseudomonas fluorescens*، جدایه‌های RB80 و RB70 با ۱۰۰-۱۰۰ درصد تشابه به *Stenotrophomonas maltophilia* و RB81 با ۹۰-۱۰۰ درصد تشابه به *Paenibacillus sp* تعلق داشت. اغلب جدایه‌ها دارای چند صفت محرک رشد گیاه بودند. بیوچار غنی شده با خاک فسفات و باکتری‌ها (BC-RP-PSB) موثرترین تیمار در کاهش pH خاک، افزایش فراهمی فسفر و افزایش رشد و عملکرد گندم بود. غنی سازی بیوچار با انواع مواد معدنی و تلقیح با باکتری‌های PGPR در افزایش فراهمی فسفر خاک‌های شور موثر بوده اما تایید این امر مستلزم تحقیقات مزرعه-ای گسترده و طولانی مدت می‌باشد.

واژگان کلیدی: غنی سازی بیوچار ، باکتری‌های محرک رشد گیاه، گندم، خاک‌های شور

مقدمه

شوری خاک و آب یکی از تنش‌های اصلی بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است که بطور قابل ملاحظه‌ای اراضی قابل کشت، تولید و کیفیت محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهد (شهباز و اشرف، ۲۰۱۳). استفاده از اصلاح کننده های آلی از جمله بیوچار می تواند راهکار نوید بخش جهت بهبود خاک‌های مسئله دار و افزایش محصولات کشاورزی باشد (فانگ و همکاران، ۲۰۱۸). بیوچار غنی شده از طریق پوشش ذرات بیوچار با رس، کود دامی و مواد معدنی و حرارت در دمای ۲۰۰-۲۴۰ درجه سانتی گراد تولید می گردد. علاوه بر افزایش مقدار کربن آروماتیک محصول نهایی مقدار گروه‌های عاملی اکسیژن دار و مکان‌های اسید و باز لویس نیز افزایش می‌یابد که پتانسیل تشکیل کمپلکس با مواد آلی و معدنی افزایش می‌یابد. در نتیجه ساختار فیزیکی و شیمیایی بیوچار غنی شده ممکن است بسیار نزدیک‌تر به توصیفات لیانگ و همکاران (۲۰۰۶) برای خاک‌های تیره آمازون باشد.

جداسازی ریزجانداران بومی خاک‌های متاثر از نمک و غربالگری آنها بر اساس مقاومت به شوری و ویژگی‌های محرک رشد از جمله انحلال فسفات‌های نامحلول می‌تواند در انتخاب سریع سویه‌های کارآمد و استفاده به عنوان کود زیستی در شرایط تنش زا مطرح شده است. با توجه به اطلاعات متناقض در مورد اصلاح خاکهای شور با بیوچار وگسترش شوری در اراضی حوضه دریاچه ارومیه استفاده از روشهای زیستی و اصلاح کننده‌های آلی مانند بیوچار بقایای هرس سیب و انگور (به دلیل بالا بودن سطح باغ‌های سیب و انگور در استان آذربایجان‌غربی) می‌تواند راهکار مناسبی جهت افزایش رشد گیاهان در اراضی شور اطراف دریاچه ارومیه باشد. از

اینرو این آزمایش گلخانه‌ای به منظور بررسی تغییرات در فراهمی فسفر در پاسخ به کاربرد بیوچار غنی شده با انواع باکتری‌های محرک رشد گیاه مقاوم به شوری جدا شده از اراضی شور دریاچه ارومیه طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

جداسازی باکتری‌های حل‌کننده فسفات

۲۵ نمونه خاک از خاک ریزوسفر گیاهانی بومی خاکهای شور حوضه دریاچه ارومیه جمع‌آوری گردید. خاک های ریزوسفر به صورت دستی از ریشه برای جداسازی باکتری‌های حل‌کننده‌های فسفات جدا گردید. برای جداسازی باکتری‌ها از سری رقت‌های متوالی در محیط کشت NBRIP استفاده گردید. شاخص SI همه جدایه‌هایی که هاله شفاف در اطراف کلونی تشکیل دادند از رابطه مقابل اندازه‌گیری و محاسبه گردید:

$$SI=\frac{\text{(قطر کلونی+قطر هاله) کلی قطر}}{\text{قطر کلونی}}$$

برای سنجش کمی توانایی جدایه‌ها در انحلال فسفات از محیط کشت مایع NBRIP استفاده گردید. بعد از ۷ روز انکوباسیون و سانتریفیوژ در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه، فسفر محلول در محیط کشت با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه-گیری گردید (Cotteni, 1980).

برخی خصوصیات مرفولوژیکی (تحرک، رنگ کلونی و اندوسپور) و بیوشیمیایی (کاتالاز، اکسیداز، سیترات، اوره‌آز هیدورلیز نشاسته، هیدرولیز ژلاتین، تخمیر گلوکز و تولید H_2S) مطابق با کتاب مرجع باکتری‌شناسی سیستماتیک برگی، شناسایی شدند (Holt *et al.*, 1994). استخراج DNA ژنومی جدایه‌های باکتریایی منتخب به روش اصلاح شده Sambork و همکاران (۱۹۸۹) استخراج شد. و غلظت DNA با استفاده از ژل الکتروفوروز آگاروز اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری صفات محرک رشد گیاه جدایه‌ها

توانایی تولید ایندول استیک اسید جدایه‌ها به صورت کمی به روش (Gordon and Weber, 1951)، تولید سیدروفور در محیط کشت جامد Blue CAS به روش (Schwyn and Neilands, 1987)، تولید HCN به روش (Donate et al., 2004)، تولید اگزوپلی ساکاریدها به روش (Ventusa, 2004) اندازه‌گیری شد.

برای تهیه بیوچار از بقایای هرس سیب و انگور استفاده شد (کیم و همکاران، ۲۰۱۲). برای تهیه بیوچار-خاک فسفات (BC-RP) مخلوط بیوچار سیب-انگور با نسبت ۴:۱ (۱ گرم خاک فسفات یاسوج با درصد خلوص ۷/۵ ، ۴ گرم بیوچار) آب جوش با نسبت ۲۰:۶ (۲۰ واحد بیوچار- خاک فسفات، ۶ واحد آب جوش) سپس پیرولیز مجدد در دمای ۲۲۰ درجه سانتیگراد استفاده شد (چین و همکاران ۲۰۱۴).

آزمایشات گلخانه‌ای

برای آزمایشات گلخانه‌ای دو نمونه خاک براساس EC و مقدار فسفر اولسن انتخاب گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و بیوچارها در جدول (۱) آورده شده‌است.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در این آزمایش

خاک	pH	EC (ds/m)	CEC (cmol/kg)	OC %	ESP %	SAR $(meq/l)^{0.5}$	CCE %	Sand %	Silt %	Clay %	P-ava (mg/kg)
S_1	۸/۱	۲	۱۹/۲	۰/۱۶	۳	۲/۰۸	۱۸/۵	۳۶	۳۰	۳۴	۵
S_2	۷/۶	۱۵	۱۵/۹	۰/۰۹	۹	۶/۷	۱۰/۵	۳۶	۳۴	۳۰	۷

پژوهش شامل فاکتورهای نوع خاک براساس EC در دو سطح (S_1= ۲ و S_2= ۱۵) و انواع بیوچار معمولی و غنی شده در ۷ سطح شامل باکتری‌های حل کننده فسفات (PSB)، مخلوط بیوچار سیب و انگور با نسبت ۱:۱ (BC)، مخلوط ۱:۱ بیوچارها و باکتری‌های

حل کننده فسفات (BC-PSB)، بیوچارغنی‌شده با خاک فسفات (BC-RP)، بیوچارغنی‌شده با خاک فسفات و باکتری های حل کننده فسفات (BC-RP-PSB)، سوپر تریپل فسفات (TSP) و خاک (بعنوان شاهد) در ۳ تکرار در در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. پس از اعمال تیمارها در درون هر گلدان سه کیلوگرم خاک هوا خشک ریخته شد. مقادیر بیوچارها و کود فسفاته براساس نیاز استاندارد فسفر خاک ها اعمال شد.

از بین جدایه‌ها، باکتری های *Pseudomonas aeruginosa, Pseudomonas fluorescens* و *Stenotrophomonas maltophilia* براساس برتری خواص PGP و توانایی انحلال فسفات برای مطالعات گلخانه‌ای غربال شدند. قبل از تلقیح، واحد تشکیل دهنده کلونی در هر میلی لیتر (CFU/ml) به 10^8 در محیط کشت نوترینت براث رسید. دو ساعت قبل از کاشت، بذرها در مایه تلقیح باکتری‌ها خوابانده شد و موقع کاشت یک میلی لیتر از مایه تلقیح در حفره بذرها اضافه گردید. تعداد ۸ بذر گندم (رقم افق) در گلدان‌ها کاشته بعد از سبز شدن به ۴ گیاه تنک شدند. بعد از ۶۰ روز، ماده خشک گیاه در هر گلدان بعد از آون خشک شدن توزین و مقدار فسفر گیاه اندازه گیری شد (مورفی و ریلی، ۱۹۶۲). pH، EC و فسفر اولسن خاک گلدان‌ها نیز مطابق روش‌های استاندارد اندازه گیری شد.

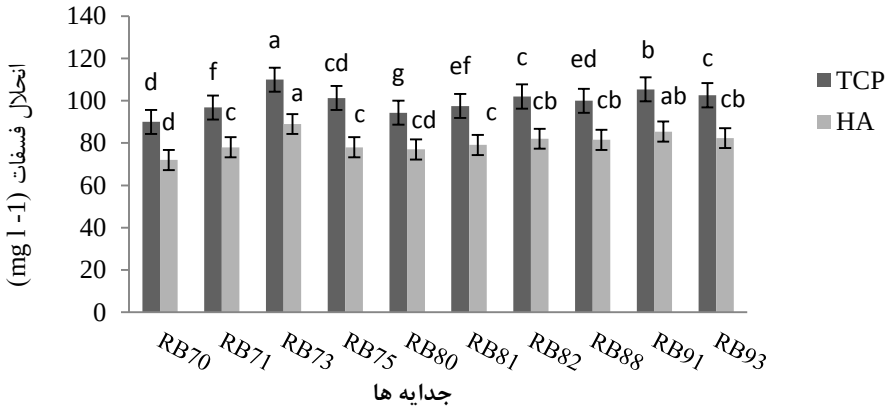
نتایج و بحث

بطورکلی از ۲۵ نمونه خاک شور اطراف دریاچه ارومیه ۱۰ جدایه باکتری حل کننده فسفات جداسازی گردید. به استثناء یک جدایه که گرم مثبت و اندوسپور مثبت بود سایر جدایه‌ها گرم منفی بودند. نتایج آنالیز مولکولی جدایه‌ها در جدول () آورده شده است. براساس نتایج ارزیابی کیفی و کمی انحلال فسفات‌های نامحلول، جدایه RB73 توانایی بالایی در انحلال فسفات‌های نامحلول (تری‌کلسیم فسفات و آپاتیت) داشت (جدول ۲و شکل۱).

جدول ۲. نتایج آنالیز مولکولی و ارزیابی کمی انحلال فسفات‌های نامحلول

Isolate Code	Most frequent genus/species	Accession number	SI (TCP)	Classification	SI (HA)	Classification
RB88	*Pseudomonas*		۳/۳a	HS	۱/۴۳b	LS
RB93	*Pseudomonas aeruginosa*	MT454630	۳/۱a	HS	۱/۵ab	LS
RB73	*Pseudomonas aeruginosa*	MT449509	۳/۰a	HS	۱/۶a	LS
RB82	*Stenotrophomonas*		۲/۷۶b	MS	۱/۱۳c	LS
RB75	*Pseudomonas fluorescens*	MT454668	۲/۴c	MS	۱/۰۳c	LS
RB91	*Pseudomonas*		۲/۳c	MS	۱/۰c	VLS
RB81	*Paenibacillus sp.*	MT449014	۱/۳d	LS	۰/۵۸d	VLS
RB70	*Stenotrophomonas maltophilia*	MT454071	۱/۲d	LS	۰/۵۲d	VLS
RB80	*Stenotrophomonas maltophilia*	MT449476	۱/۲d	VLS	۰/۵d	VLS
RB71	*Stenotrophomonas*		۱/۰d	VLS	۰/۴۵d	VLS
LSD			۰/۲۲		۰/۱۴	
CV			۷/۱		۹/۱	

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است. HS: انحلال‌پذیری بالا، MS: انحلال‌پذیری متوسط، LS: انحلال‌پذیری کم، VLS: انحلال‌پذیری خیلی کم مطابق تقسیم‌بندی (Silva Filho and Vidor, 2000).



شکل ۱. نتایج مقایسه میانگین ارزیابی کمی انحلال فسفات‌های نامحلول

اثر تیمارها بر فراهمی فسفر، pH و EC

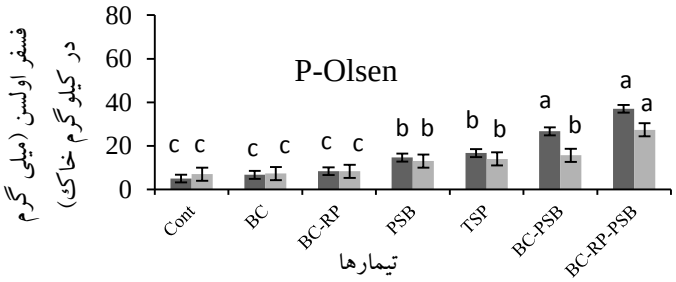
فراهمی فسفر خاک بطور معنی دار ($P<0.01$) تحت تاثیر تیمارهای آزمایش، نوع خاک و اثر متقابل این فاکتورها قرارگرفت (جدول ۳).

جدول ۳ : تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر فسفر اولسن، pH وEC و شاخص‌های رشد گیاه

منبع تغییرات	میانگین مربعات					
	درجه آزادی	فسفر اولسن	pH	قابلیت هدایت الکتریکی	وزن خشک گیاه	فسفر کل گیاه
خاک	۱	۱۵۶/۱**	۶/۸**	۲۲۸۳**	۵/۴۸**	۰/۰۳۵**
تیمار	۶	۱۵۲۸/۸**	۱/۱**	۰/۰۱۵ ns	۷۹/۷**	۰/۴۴**
خاک× تیمار	۶	۴۰/۸**	۰/۱۵**	۰/۰۱۲ ns	۴/۵**	۰/۰۰۶**
خطا	۲۶	۱۳/۹	۰/۰۱	۰/۰۰۹	۰/۲	۰/۰۰۱
CV (%)		۱۲	۱/۳	۱/۱	۸	۱۵/۷

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns معنی‌دار نیست.

فسفر اولسن در تیمار BC-PSB-RP برای خاک S1 ۳۷ و برای خاک S2 ۲۷/۳ (mg/kg) اندازه گیری شد. باکتری‌های استفاده شده در مطالعه حاضر جز باکترهای ریزوسفری بودند که توانایی انحلال و آزادسازی فسفر از منابع نامحلول آلی، معدنی و فسفر کل خاک را داشتند. کاربرد بیوچار همراه با حل کننده‌های فسفات فرصت بهره‌برداری از پتانسیل هم افزایی آنها که تاثیر مثبت بر کیفیت خاک دارد را بوجود می‌آورد و با انحلال و آزادسازی تدریجی فسفر از خاک فسفات همانند یک کود فسفاته عمل کرده و باعث افزایش غلظت فسفر در خاک می‌گردد.



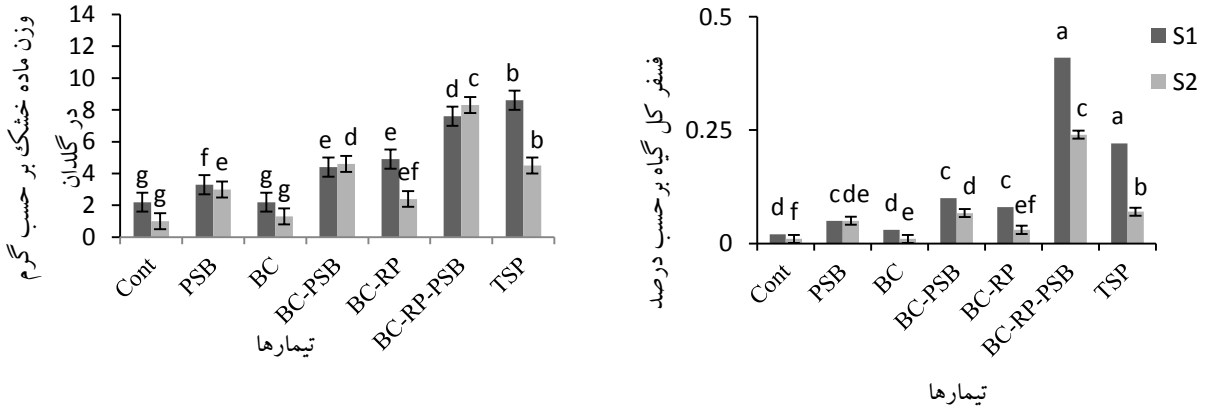
شکل ۲: اثر متقابل تیمارهای آزمایش و نوع خاک بر فسفر اولسن خاک ها. حروف متفاوت نشان دهندهٔ تفاوت معنی‌دار آماری (**P<0.01**).

نتایج اندازه گیری pH و EC خاک‌ها پس از برداشت گیاه نشان داد تیمارهای آزمایش EC خاکها را تحت تاثیر قرار ندادند ولی pH هر دو خاک را (به استثناء تیمارهای BC و BC-RP) بطور معنی دار ($P< 0.01$) کاهش دادند. در این میان تیمار BC-RP-PSB موثرترین تیمار در کاهش pH هر دو خاک بود و Ph خاک‌ها را ۰/۳ – ۰/۴ واحد کاهش داد

بر اساس نتایج تجزیهٔ واریانس اثر خاک، تیمارهای آزمایش و اثر متقابل آن ها بر عملکرد ماده خشک و فسفر کل گیاه معنی‌دار ($P<0.01$) بود (شکل ۳). در هر دو خاک بیشترین عملکرد ماده خشک و فسفر کل گیاه در تیمار BC-RP-PSB بدست آمد. مصرف بیوچار تاثیری در عملکرد ماده خشک و فسفر کل گیاه نداشت احتمالا دلیل این امر کم بودن مقدار بیوچار مصرفی باشد (شکل ۲). در خاک S2 ماده خشک گیاه در تیمار BC-RP-PSB ۸/۳ گرم بود که با تیمار TSP (۴/۵ گرم) اختلاف معنی دار ($P<0.01$) داشت. و در تیمار BC-PSB عملکرد ماده خشک از لحاظ آماری هم سطح با تیمار TSP بود (شکل ۳و۴). این نتایج می‌تواند بیانگر اهمیت باکتری‌های PGPR و ماده آلی در بهبود شرایط رشد گیاه در خاک‌های شور باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از اثرات مثبت تیمارهای آزمایش بر pH، غلظت فسفر قابل جذب، رشد و عملکرد گیاه گندم بود. تاثیر تیمار BC-RP-PSB بر شاخص‌های رشد و عملکرد گندم در هر دو خاک بویژه در خاک شور بارزتر بود. نتایج نشان داد می‌توان بیوچار غنی شده را به عنوان یک منبع حاوی فسفر در اصلاح و مدیریت حاصلخیزی خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه مد نظر قرار داد. اما به تحقیقات بیشتر در زمینه تاثیر بیوچار بر خاک‌های شور و شور-سدیمی نیاز دارد.



شکل ۳. نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر وزن ماده خشک و فسفر کل

فهرست منابع

Chia, C. H. B. P. Singh, S. Joseph, E. R. Graber, P. Munroe. 2014. Characterization of an enriched biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 108: 26-34.

Cotteni, A. 1980. Methods of Plant Analysis. In: *Soil and Plant Testing FAO Soils Bulletin*, NO 38/2, pp. 64-100.

Fang, J. L. Zhan, Y.S. Ok, B. Gao. 2018. Minireview of potential applications of hydrochar derived from hydrothermal carbonization of biomass. J. Ind. Eng. Chem. 57:15–21.
Gordon SA, Weber RP 1951. Colorimetric estimation of indoleacetic acid Plant Physiol *26*(1): 192
Holt JG, Krieg NR, Sneath PHA, Stale J T 1994. Bergey's manual of determinative bacteriology. The Williams & Wilkins Co., Baltimore, Md. Bergey's manual of determinative bacteriology, 9th ed Williams and Wilkins Co, Baltimore, MD
Kim, K. H. J. Y. Kim, T. S. Cho, J. W. Choi. 2012. Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (Pinus rigida). Bioresource technology, 118: 158-162.
Liang, B. J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'neill, J. Skjemstad, J. Thies, F. Luizao, J. Petersen. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1719–1730.
Sambrook J, Fritschi EF Maniatis T 1989. Molecular cloning: a laboratory manual Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York.
Schwyn, B., & Neilands, J. B. (1987). Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. Analytical biochemistry, 160(1), 47-56.
Shahbaz, M., M. Ashraf. 2013. Improving salinity tolerance in cereals. Crit. Rev. Plant Sci. 32:237–249
Ventosa A, Mellado E, Sanchez-Porro C, Marquez M C 2008. Halophilic and halotolerant micro-organisms from soils Microbiol Extr Soils (pp. 87-115). Springer, Berlin, Heidelberg

Enrichment of biochar by PGPR bacteria from saline soils of Lake Urmia basin and its effect on wheat growth

Roghayeh Mousavi, Mir Hassan Rasouli-Sadaghiani*, Ebrahim Sepehr, Mohsen Barin

Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
* m.rsadaghiani@urmia.ac.ir

Abstract

In order to enrich the biochar by native PGPR bacteria from saline soils, 25 saline soil samples were collected from Lake Urmia basin. Some of their PGP properties were evaluated including their ability to produce acetic acid (IAA), hydrogen cyanide (HCN), siderophore and exopolysaccharides (EPS). Simple of apples and grapes biochar was enriched by the superior strains. In greenhouse conditions, wheat was grown in two soils with different EC. (2 and 15 $dS.cm^{-1}$) were studied. Multiple sequence alignment of 16s rRNA of the bacteria with other sequences in GenBank indicated that RB93 and RB73 belong to *Pseudomonas aeruginosa* (100-99%), RB75 to *Pseudomonas fluorescens* (100-99%), RB80 and RB70 to *Stenotrophomonas maltophilia* (100-100%), and RB81 to *Paenibacillus sp* with (100-99%) similarity values. Most isolates had several PGP properties. Enriched by PSBs bacteria can be effective in increasing P-Olsen and reclamation of saline soils. However more field studies are needed for a clear understanding of the potential of enriched biochar as a fertilizer replacement.

Keywords: Enriched biochar, plant growth promoting bacteria, saline soils, wheat

مطالعه کرم‌های خاکی شمال ایران

فرهاد رجالی[۱]، ربابه لطیف[۲]، اتابک روحی امینجان[۳]، اشرف اسمعیلی زاد[۴]
۱- ربابه لطیف، استادیار پردیس فرزانگان دانشگاه سمنان. r.latif@semnan.ac.ir
۲- فرهاد رجالی، دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب.frejali@yahoo.com
۳-اتابک روحی امینجان، استادیارگروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی‌سینا.a.roohiaminjan@basu.ac.ir
۴-اشرف اسمعیلی زاد، موسسه تحقیقات خاک و آب. Noblesse55@gmail.com

چکیده

کرم‌های خاکی یکی از بزرگترین ذخایر زیستی در اکوسیستم‌های خشکی محسوب می‌شوند و نقش مهمی در حفظ محیط زیستو کیفیت خاک بازی می‌کنند.علیرغم مطالعات پیشین، اطلاعات مفید در مورد کرم‌های خاکی ایران هنوز بسیار محدود است. زیست‌شناسی، تاکسونومی و اکولوژی کرم‌های خاکی در ایران بسیار کم شناخته شده است. در مطالعه حاضر کرم‌های خاکی در زیستگاه‌هایجنگلی شمال ایرانباز دیدگاه تاکسونومی و اکولوژی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نمونه‌های مورد مطالعه از زیستگاه‌های مختلف جمع‌آوری شدند. از میان تعداد زیادی از روش‌های جمع‌آوری موجود برای کرم‌های خاکی، در این مطالعه از روش دستی و حفر کوآدرات استفاده شد. کرم‌های خاکی جمع‌آوری شده برای مطالعه تاکسونومی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های بالغ در الکل ۹۶٪، در کلکسیونموسسه تحقیقات خاک و آب نگهداری می‌شوند. کرم‌های خاکی توسط استرئومیکروسکوپ براساس شکل و موقعیت کمربند تناسلی، تارچه‌ها و اندام‌های داخلی نظیر نفریدی و اسپرماتکا مورد مطالعه قرار گرفتند. تعداد ۲۲ گونه کرم خاکی متعلق به سه خانواده شناسایی شدند. بیشتر گونه‌ها به خانواده Lumbricidaeتعلق دارند.

واژگان کلیدی: تنوع زیستی، جنگل‌های هیرکانی، Megascolecidae،Criodrilidae،Lumbricidae

مقدمه

پژوهش درباره فراوانی، چگونگی زندگی و کارکرد جانوران خاکزی می‌تواند بسیار جالب توجه و سودمند باشد. خاک سیستم پایداری است که بخش‌های زنده و غیر زنده آن دارای برهمکنش و اثر متقابل هستند. برای درک فعالیت و تشخیص وظایف موجودات خاکزی شناخت موجودات زندهمختلف خاک که هر گروه از آنها عهده‌دار وظایف به خصوصی هستند ضرورت دارد. به همین دلیل بررسی و پیگیری سیستماتیک موجودات زندهخاک بخصوص گروهی از آنها که در تغییر و تبدیل مواد نقش اساسی را برعهده دارند، مساله‌ای بسیار ضروری وجالب توجه است (Lavelle et al., 1997).کرم‌های خاکی برخلاف گروه زیادی از جانوران خاکزی برای خاک‌های زراعی حائز اهمیت بسیار زیادی هستند، همچنین برخلافاغلب موجودات خاکزی دیگر وابسته به محفظه و کانال‌های خاک نبوده، بلکه بطور فعال در خاک حفاری می‌نمایند. چارلز داروین اولین دانشمندی بود که به اهمیت کرم‌های خاک پی برد. وی همچنین در سال ۱۸۸۱ کتابی را در این زمینه منتشر کرد که بیانگر ۴۰ سال تجربه و تحقیق او در این زمینه بود. به عقیده او کرم‌های خاکی نقش مهمی را در تاریخ جهان داشته اند (Edwards, 2004).ولی علیرغم بیان چنین دیدگاهی از سوی داروین هنوز دانش ما درباره نقش و زیست‌شناسی کرم‌های خاکی بسیار ناکافی است و بیشتر مطالعات انجام شده در سرتاسر دنیا با رویکردهای مختلف دیرین‌شناسی،تبارشناسیو اکولوژی بوده است و کمتر بهتاکسونومی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش جنگل‌های هیرکانیاست.یک کمربند سبز از جنگل‌های برگریز عمدتا معتدل است که در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز، در امتداد مرزهای جنوبیدریای خزردر سه استان ایران (گیلان، مازندران و گلستان) واقع شده است. از آستارا در شمال غرب تا مجاورت گرگان (گلیداغی) در شمال شرق ایران امتداد دارد. همچنین شاملبخش کوچک غربی در کشور آذربایجان است. بر اساس آخرین اطلاعات سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری (FRWO)، جنگلهای هیرکانی خزر در حدود۸۰۰ کیلومتر طول و ۱۱۰ کیلومتر عرض دارند و مساحت کل آنها ۱/۸۵ میلیون هکتار است (SaghebTalebi et al., 2014).

برای جمع‌آوری کرم‌های خاکی روش‌های متعددی وجود دارد. نخستین و قدیمی‌ترین روش، نمونه‌برداری مکانیکی است. Bouché (1969) این روش را فیزیکی و Valckx et al. (2011) آن را در طبقه‌بندی خود از روش‌های غیرفعال می‌دانند. در این روش، کرم‌های خاکی به کمک بیل و دست از بستر و خاک جداسازی می‌شوند.اما نکته مهم در نمونه‌برداری و جمع‌آوری آنها زمان و مکان جمع‌آوری می‌باشد. کرم‌های خاکی همیشه و در همه جا پراکندگی یکسان ندارند. بهترین زمان نمونه‌برداری هنگامی است که جهت تغذیه به سطح خاک می‌آیند، مانند هنگام طلوع و یا غروب آفتاب و یا هنگامی که در اثر بارندگی زیاد جهت تنفس از لانه‌های خود خارج می‌شوند، مانند فصل‌های معتدل و مرطوب. انتخاب فصل نمونه‌برداری از اهمیت زیادی برخوردار است. انتخاب فصول معتدل و پر بارش علاوه بر اینکه خاک مناسب و مرطوبی را برای نمونه‌برداری فراهم می‌کند، امکان یافتن نمونه‌های بالغ را نیز افزایش می‌دهد. در اینپژوهشدر ۱۲۴ ایستگاه ازروشنمونه‌برداری مکانیکی استفاده شد. بعدازجابجاکردنخاکیادرایستگاه هایجنگلیبعدازززیروروکردنشاخوبرگپوسیدهدرختان ودرحاشیهرودخانه‌هاباجابجاییسنگ‌ها،نمونه‌هایبالغ (نمونه‌های واجد کمربند تناسلی و یا صرفا توبرکول مشخص)جمع‌آوریوهمراهباخاکمنطقهبهآزمایشگاهمنتقلشد. قبل از قرار دادن نمونه‌ها در الکل، کرم‌های خاکی تمیز و با آب شسته شدند.همچنین ویژگی‌های ظاهری قابل مشاهده،ثبت شد تا برای شناسایی گونه مورد استفاده قرار گیرد؛ چون ممکن است برخی از صفات ظاهری (نظیر رنگ بدن) بعد از قرارگیری نمونه در الکل تغییر کند.نمونه ها در الکل ۳۰ درصد بیهوش شدند.کرم‌های خاکی در هنگام بیهوشی مایعی را ترشح می‌کنند که رنگ و بوی این مایع در گونه‌های مختلف متفاوت است. رنگ این مایع می‌تواند به شناسایی نمونه کمک کند. رنگ این مایع نیز یادداشت شد. مرحله بیهوشی قبل از کشتن کرم ضروری است، چون بی‌حرکت‌سازی قبل از مرگ باعث می‌شود تا تارچه‌ها و پیش دهان به طور کامل به داخل بدن جمع نشود. مشاهده کامل ودقیق این اندام‌ها به شناسایی گونه کمک می‌کند. سپس نمونه‌ها در الکل ۹۶ درصد تثبیت شدند. در این مرحله چند عدد از نمونه‌ها برای بررسی اندام‌های داخلی بخصوص نفریدی‌ها و سمینال وزیکول‌ها که کمک زیادی به شناسایی می‌کنند، تشریح شدند. در نهایت، کرم‌های خاکی با استفاده از کلیدهای شناسایی معتبر، شناسایی شدند.

نتایج و بحث

در این مطالعه ۲۲ گونه متعلق به ۱۴جنس و سه خانوادهLumbricidae، Criodrilidae و Megascolecidaeشناسایی شدند. لیست گونه‌های شناسایی شده در جدول ۱ آمده است.

جدول۱- لیست گونه‌های کرم خاکی شناسایی شده در استان‌های شمالی کشور.

گونه	خانواده
Aporrectodeacaliginosa (Savigny, 1826)	Lumbricidae
A. trapezoides (Dugès, 1828)	Lumbricidae
A. rosea (Savigny, 1826)	Lumbricidae
A. jassyensis (Michaelsen, 1891)	Lumbricidae
A. longa (Ude, 1885)	Lumbricidae
Bimastosparvus (Eisen, 1874)	Lumbricidae
Dendrobaenabyblica(Rosa, 1893)	Lumbricidae
D. hortensis (Michaelsen, 1890)	Lumbricidae
D. octaedra (Savigny, 1826)	Lumbricidae
D. pentheri Rosa, 1905	Lumbricidae
D. veneta (Rosa, 1886)	Lumbricidae
Dendrodrilusrubidus (Savigny, 1826)	Lumbricidae
Eiseniellatetraedra (Savigny, 1826)	Lumbricidae
Helodriluspatriarchalis (Rosa, 1893)	Lumbricidae
Octolasionlacteum (Örley, 1881)	Lumbricidae
Pereliakaznakovi (Michaelsen, 1910)	Lumbricidae
Lumbricusrubellus Hoffmeister, 1843	Lumbricidae
Octodrilustranspadanus(Rosa, 1884)	Lumbricidae
Pereliahatayica (Csuzdi, Pavlicek and Misirlioglu, 2007)	Lumbricidae
*Criodriluslacuum*Hoffmeister, 1845	Criodrilidae

(Kinberg, 1867)*Amynthascorticis*	Megascolecidae
Metaphire californica (Kinberg, 1866)	Megascolecidae

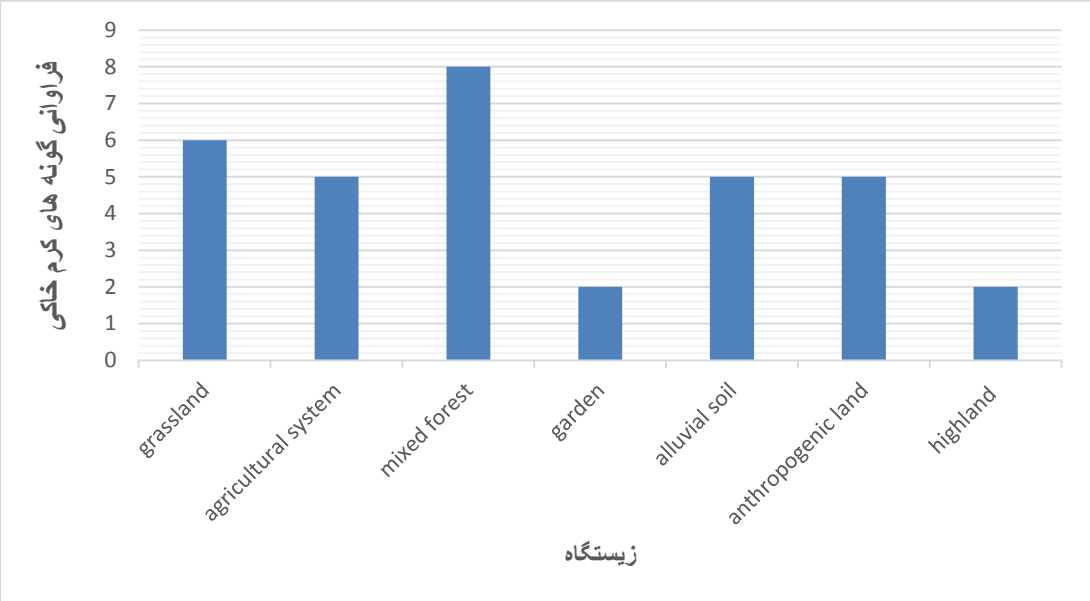
کرم‌های خانواده Lumbriciae حدود ۹۰ درصد از زی‌توده بی‌مهرگان خاک را در نواحی معتدله تشکیل می‌دهند. هر چند سادگی ساختار بدن مانع از طبقه‌بندی دقیق این خانواده شده است. اعضای این خانواده بومی Holarctic هستند و به طور طبیعی از مرکز آمریکا تا مرکز آسیا پراکنده شده‌اند. بیشترین تنوع را در اروپا، جایی که حداقل ۴۵۰ گونه از این خانواده شناسایی شده است، داراست. مهمترین نقاط داغ بومی شدگی اعضای این خانواده در مناطق Franco-Iberian، Carpathian Basin و Caucaso-Anatolian واقع شده است (Rota & de Jong, 2015).براساس مطالعاتی که Lee (1985) روی پراکنش گونه‌های Peregrine انجام داد، ۲۰ تا ۳۰ گونه از اعضای Lumbricidae که بطور عمده شامل جنس‌های *Lumbricus*، *Aporrectodea*، *Eisenia*، *Allolobophora*، *Eiseniella*، *Dendrobaena*، *Bimastos*و *Octolasion*می‌شوند، در دسته کرم‌های با قدرت پراکنش بالا قرار می‌گیرند و توانایی زیادی برای سازش با شرایط محیط جدید دارند و بلافاصله پس از ورود به منطقه جدید به سرعت جایگزین گونه‌های بومی می‌شوند. اعضای Lumbricidae در طول چند صد سال اخیر از اروپا به دیگر نقاط جهان پراکنده شده‌اند و هم اکنون به کرم‌های خاکی غالب در زمین‌های کشاورزی و باغات سرتاسر نواحی معتدله شمالی و جنوبی و نقاط نیمه‌گرمسیری و هر نقطه‌ای از کره خاکی که اثری از ردپای انسان در آن دیده می‌شود، تبدیل گشته‌اند.پراکنش گونه‌های بومی خانواده بخش عمده‌ای از خانواده Lumbricidae در Palearctic واقع شده است (Csuzdi & Zicsi, 2003).

در این مطالعه بیشترین پراکنش متعلق به دو جنس *Aporrectodea*و *Dendrobaena* می‌باشد. فراوانترین گونه جنس*Aporrectodea*، گونه *A. trapezoides* بود. این گونه دارای اندازه متوسط است و منشا پالئارکتیک دارد که امروزه به تمام نقاط دنیا معرفی شده است. امروزه به استرالیا (Blakemore, 1999)، نیوزلند (Fraser et al., 1996) و آمریکای شمالی (Zaitlin et al., 2007) و جنوبی (DeMischis, 1997) معرفی شده است. بر اساس تعریفاین گونه یک گونه anecic (عمق‌زی) است که در گودال‌های عمودی زندگی می‌کند (Bouché, 1972).

اعضای جنس *Dendrobaena*Eisen, 1874 معمولا در مکان‌هایی که چوب و برگ در حال فساد وجود دارد،یافت می‌شوند که نام این جنس هم از زندگی در چنین زیستگاهی منشا گرفته است. این جنس به دلیل داشتن تنوع زیاد،یک جنس با تعداد زیاد گونه شناخته می‌شود. اعضای جنس *Dendrobaena*از جنوب منطقه اژه منشأ گرفته‌اند. به سبب تنوع ریختی بالا یک جنس مشکل‌دار به لحاظ مطالعه برای آرایه‌شناسان به شمار می‌رود. بسیاری از محققین نظیر(1985) Kvavadze و (1956) Omodeo برای این جنس فرم و زیرگونه تعریف کرده‌اند. با توجه به پراکنش جغرافیایی اعضای این جنس بیشترین گونه‌های بومی درTranscaucasia، Caucasus و Anatoliaیافت می‌شوند و دو مرکز بومی شدگی دیگر که از اهمیت کمتری برخوردار است، شاملCarpathoBalkanوPeninsula است (Omodeo& Rota, 1989).در بین اعضای این جنس بیشترین پراکنش برایگونه *D. byblica* مشاهده می‌شود کهزیستگاه‌های مرطوب و غنی از مواد آلیرا اشغال می‌کند و معمولا اندازه‌های بسیار متفاوتی دارند.

دیگر خانواده از کرم‌های خاکی مورد مطالعه در پژوهش حاضر خانواده Megascolecidaeاست. این خانواده متنوع بیش از ۱۰۰۰ گونه دارد که بومی آسیا و استرالیا هستند (Blakemore, 2002). از این خانواده دو گونه در مطالعه حاضر شناسایی شد.

سومین خانواده شناسایی شده در این مطالعه CriodrilidaeVejdovsky, 1884 بومی پالئارکتیک است و تنها گونه گزارش شده از این خانواده گونه *Criodriluslacuum* یک گونه کنار آبزی است. از نظر پراکنش گونه‌های مختلف در این مطالعه و بررسی الگوی پراکنش گونه‌های مختلف در زیستگاه‌های مختلف، بیشترین تنوع گونه‌ای در زیستگاه جنگلی یافت شد. زیستگاه‌های مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- پراکنش گونه‌های مختلف کرم خاکی در زیستگاه‌های مختلف.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه ۲۲ گونه کرم خاکیاز ۱۴ جنس و سه خانواده (Lumbricidae، Criodrilidae و Megascolecidae) شناسایی شدند.پنج گونه از ۲۲ گونه برای اولین بار از ایران گزارش می‌شوند. بیشتر گونه‌ها به خانواده Lumbricidae تعلق دارند. در خانوادهLumbricidae نیز بیشترین پراکنش متعلق به دو جنس *Aporrectodea*و *Dendrobaena* می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با حمایت مالی موسسه تحقیقات خاک و آب کشور انجام شده است؛ بدین وسیله از مسئولین محترم موسسه تحقیقات خاک و آب کشور تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

Blakemore, R. J. (1999). Diversity of exotic earthworms in Australia–a status report. Proceedings of The other, 99, 182-187.

Blakemore, R.J. (2002). Cosmopolitan Earthworms: An EcoTaxonomic Guide to the Peregrine Species of the World. 426 CD-ROM. 2nd ed. Canberra, Australia: VermEcology.

Bouché, M. B. (1972). *Lombriciens de France. Ecologie et systématique* (Vol. 72, No. HS, pp. 671-p). INRA Editions.
Csuzdi, C., &Zicsi, A. (2003). Earthworms of Hungary (Annelida: Oligochaeta, Lumbricidae) (p. 271). Budapest: Hungarian Natural History Museum.
De Mischis, C. C. (1997). Earthworms (Annelida, Oligochaeta) of a provincial reserve in Cordoba, Argentina: A preliminary survey. *Soil Biology and Biochemistry*, *29*(3-4), 235-236.
Edwards, C. A. (2004). Earthworm ecology. CRC Press.
Fraser, P. M., Williams, P. H., & Haynes, R. J. (1996). Earthworm species, population size and biomass under different cropping systems across the Canterbury Plains, New Zealand. Applied soil ecology, 3(1), 49-57.
Lee, K. E. (1985). Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use: Academic Press.
Sims, R.W., Gerard, B.M. (1985). Earthworms: Keys and Notes to the Identification and Study of the Species. London, UK: Synopsis of the British Fauna.
SaghebTalebi, K. Sajedi, T and Pourhashemi, M. (2014). Forests of Iran, a treasure from the past, a hope for the future. Springer publication.
Omodeo, P. "ContributoallarevisionedeiLumbricidae." *ArchivioZoologicoItaliano* 41, no. 24 (1956): 143.
Omodeo, P., & Rota, E. (1999). Biogeographical parterns of terricolous oligochaetes in Turkey (Annelida: Clitellata: Lumbricidae, Enchytraeidae). *Biogeographia–The Journal of Integrative Biogeography*, *20*(1).
Rota, E., & de Jong, Y. (2015). Fauna Europaea: Annelida-Terrestrial Oligochaeta (Enchytraeidae and Megadrili), Aphanoneura and Polychaeta. *Biodiversity Data Journal*, (3).
Valckx, J., Govers, G., Hermy, M., &Muys, B. (2011). Optimizing earthworm sampling in ecosystems. In *Biology of earthworms* (pp. 19-38). Springer, Berlin, Heidelberg.
Zaitlin, B., Hayashi, M., & Clapperton, J. (2007). Distribution of northern pocket gopher burrows, and effects on earthworms and infiltration in a prairie landscape in Alberta, Canada. *Applied Soil Ecology*, *37*(1-2), 88-94.

Study of earthworms in the northern partof Iran

Farhad Rejal[1], Robabeh Latif [2], AtabakRoohiAminjan[3],AshrafEsmaeilizad

[1]Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran. E-mail:frejali@yahoo.com

[2]Farzanegan Campus, Semnan University, Semnan, Iran. E-mail: r.latif@semnan.ac.ir

[3]Department of Biology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: a.roohiaminjan@basu.ac.ir

[4]Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran. E-mail: Noblesse55@gmail.com

Abstract
Earthworms are one of the largest biological resources in terrestrial ecosystems and play an important role in environmental protection.Despite previous studies, useful information about earthworms is still very limited. Biology, taxonomy, and ecology of earthworms are very little known in Iran. In the present study, earthworms in the Hyrcanian forest region have been studied from a taxonomic and ecological point of view. Earthworm specimens were collected from different habitats. Among many collecting methods of earthworms, in this study, manual method and quadratic digging were used.The collected earthworms were transferred to the laboratory for taxonomy study. Adult specimens werefixedin 96% alcohol and stored in the collection of the Soil and Water Research Institute. Earthworms were studied by stereomicroscope based on the shape and position of the clitellum, setae, and internal organs such as nephridia and spermateca.As a result,22 species of earthworms belonging to three families were identified. Most species(19) belong to the family Lumbricidae.

Keywords: Biodiversity, Hyrcanian forests, Lumbricidae, Criodrilidae, Megascolecidae

تاثیر کوتاه مدت کمپوست بستر قارچ بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها و پایداری آن‌ها در خاک‌هایی با بافت متفاوت

حسین بیات[1]، چیمن مهدی‌زاده[2]

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا-همدان

(h.bayat@basu.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا-همدان

(Chimanmehdizadeh@gmail.com)

چکیده

تولیدکنندگان قارچ از کمپوست به عنوان بستر کشت استفاده می‌کنند که به آن کمپوست بستر قارچ خوراکی گفته می‌شود و می توان از آن در موارد مختلف کشاورزی استفاده کرد. استفاده از کمپوست بستر قارچ می‌تواند موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک شده و پایداری خاکدانه‌ها را افزایش دهد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر کوتاه مدت کمپوست بستر قارچ بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، توزیع اندازه خاک‌دانه‌ها و ماده‌آلی در سه نوع خاک بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل بافت خاک در سه سطح (لوم‌شنی، لوم و رسی)، و درصد وزنی کمپوست بستر قارچ در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ درصد) بود. ۱۲۰ روز پس از اعمال تیمارها نمونه‌برداری صورت گرفت و ماده‌آلی، توزیع اندازه خاکدانه‌ها و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به روش الک تر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مقدار ماده‌آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح ۶ درصد، مربوط به بافت لوم بود. با افزایش سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ، ماده‌آلی در دامنه ۲۷ تا ۶۶ درصد و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در دامنه ۱۶تا ۳۴/۵ درصد افزایش یافت. بنابراین کاربرد کودهای آلی به ویژه کمپوست بستر قارچ در شرایطی که خاکدانه‌ها از پایداری کافی برخوردار نیستند، به منظور بهبود پایداری توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: کمپوست بستر قارچ ، ماده‌آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

مقدمه

تاثیر ساختمان خاک و پایداری خاک برای کنترل فرایندهایی مانند ذخیره کربن آلی، کاهش فرسایش، تهویه خاک و نگه‌داشت آب شناخته شده است (Rabot et all, 2018). پایداری خاکدانه شاخص کلیدی در کیفیت خاک است. اطلاعات در مورد پایداری خاکدانه دارای اهمیت کشاورزی و اکولوژیکی است. در حوزه کشاورزی پایداری خاکدانه از طریق نقش آن در آب قابل دسترس و مواد مغذی گیاهان در بهره وری خاک تاثیر می گذارد (Obalum et all, 2019).

کمپوست بستر قارچ مشتق شده از بستر قارچ خوراکی بوده و در زمین‌های کشاورزی به منظور بهبود بهره‌وری محصول و باروری خاک و افزایش موادآلی و مواد مغذی خاک استفاده می‌شود (Lou et all, 2017). کمپوست به‌علت داشتن موادآلی فراوان می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تاثیر قرار دهد. تولیدکنندگان قارچ از کمپوست به عنوان بستر کشت استفاده می‌کنند. حاصل-خیزی این کمپوست بعد از برداشت قارچ کاهش می یابد، که اصطلاحا به آن کمپوست بستر قارچ خوراکی گفته می‌شود. (Jafari Mianaei et all (2016 گزارش کردند که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در زیر تاج پوشش درختان به علت حضور ماده آلی فراوان در مقایسه با منطقه زراعی به طور معنی‌دار افزایش یافت. کربن آلی یک عامل کلیدی موثر در پایداری خاکدانه‌های ریز و درشت است (Xue et all, 2019). ایشان هم‌چنین گزارش کردند که تشکیل خاکدانه‌ها در خاک سطحی نسبت به خاک زیر سطحی به علت محتوای بالای کمپلکس‌های آلی-معدنی در خاک سطحی نسبت به خاک زیر سطحی بود. کمپوست بستر قارچ دارای مقادیر بالای مواد مغذی نسبت به کود حیوانی است که در کشاورزی ارگانیک برای بهبود نفوذ آب به خاک، ظرفیت نگه‌داشت آب و تهویه استفاده می‌شود (Medina et all, 2012). این کمپوست نسبت به سایر اصلاح کننده‌های خاک دارای قیمت بسیار ارزانی می‌باشد، که می‌تواند هزینه تولید را کاهش دهد. علی‌رغم اینکه کمپوست بستر قارچ به‌علت داشتن ماده‌آلی و مواد غذایی بالا می‌تواند بر میانگین وزنی

قطر خاکدانه‌ها و توزیع اندازه خاکدانه‌ها تاثیر داشته باشد و نحوه‌ی تاثیر آن در بافت‌های مختلف متفاوت باشد، با این وجود این موضوع در هیچ تحقیقی مورد بررسی قرار نگرفته است، بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر کمپوست بستر قارچ بر توزیع اندازه خاکدانه‌ها و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در بافت‌های مختلف بود.

مواد و روش‌ها

سه نمونه خاک با بافت‌های مختلف از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در استان همدان تهیه گردید. بافت لوم‌شنی از مرکز تحقیقات، لوم از مزرعه عباس‌آباد و رسی از یک مزرعه بایر در روستای کرک سفلی واقع در شهرستان نهاوند، تهیه گردید. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از هواخشک شدن از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شدند. به منظور بررسی اثر سطوح مختلف MSC و بافت‌های متفاوت خاک بر خاکدانه‌ها کمپوست بستر قارچ با نسبت‌های صفر، ۳ و ۶ درصد وزنی با خاک هوا خشک شده ترکیب شد. مخلوط به دست آمده به داخل ظروف پلاستیکی به ابعاد ۱۲/۵×۱۳×۲۱ سانتی‌متر بر اساس چگالی مزرعه هر خاک، منتقل گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲۰ روز در دوره انکوباسیون قرار گرفتند بعد از گذر ۱۲۰ روز از شروع انکوباسیون، در دی ماه ۹۷ نمونه‌برداری از ظروف به صورت دست‌خورده و دست نخورده انجام شد.

ماده‌آلی به روش Walkley and Black, (1934)، بر روی ذرات کوچکتر از۰/۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)[1] از روش Kemper and Rosenau, (1986) استفاده شد. بدین‌منظور مقدار ۳۰ گرم (W_1) از خاکدانه-های هوا خشک شده که از الک ۸ میلی‌متر عبور داده شده و بر روی الک ۴ میلی‌متر باقی مانده بودند، توزین گردید. سری الک‌ها شامل ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۲ و ۴ میلی‌متر بودند. الک‌ها به مدت ۱۲/۵ دقیقه با تعداد ۳۰ دور در دقیقه و دامنه ۲/۶ سانتی‌متر در داخل آب نوسان شدند. پس از ۱۲/۵ دقیقه نوسان کردن الک‌ها، الک‌ها به آرامی از آب بیرون آورده شدند، محتویات هر الک درون یک پتری دیش شسته شد و در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد، سپس وزن شدند (W_2). در مرحله بعد نمونه‌های داخل هر پتری که آون خشک شده بودند، بر روی همان الک ریخته شده و زیر آب شسته شدند تا همه خاکدانه‌های کوچکتر از قطر الک از آن عبور نمایند. سپس شن مانده بر روی هر الک درون پتری دیش ریخته شد و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و بعد وزن گردید (W_3). وزن آب خاکدانه‌های هوا خشک شده با قرار دادن ۱۰ گرم خاک هوا خشک از هر نمونه تیمار به مدت ۲۴ ساعت در دستگاه آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، اندازه‌گیری شد و بر پایه $g\ g^{-1}$ محاسبه شد (W_c). در نهایت از فرمول زیر برای برآورد خاکدانه‌های پایدار در آب (WSA_i)[2] استفاده شد.

معادله (۱)

$$WSA_i = \left(W_{2i} - W_{3i}\right) / \left(Ws - \Sigma W_{3i}\right)$$

معادله (۲)

$$Ws = \left(W_1 / \left(1 + W_c\right)\right)$$

Ws: جرم خشک کل خاکدانه‌ها. برای محاسبه MWD از فرمول زیر استفاده شد:

معادله (۳)

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} x_i WSA_i$$

[1] Mean weight diameter

[2] Water stable aggregates

i: شاخص کلاس اندازه و n: تعداد الک‌ها که در این آزمایش ۵ سری الک به کار رفت، x_i: میانگین قطر خاکدانه‌های به جا مانده بر روی هر الک که برابر میانگین قطر روزنه‌های الکی که خاکدانه‌ها بر روی آن به جا مانده و قطر روزنه الک بالایی آن بود. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های نرمال شده با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با نرم‌افزار SAS.9.4 انجام گردید.

نتایج و بحث

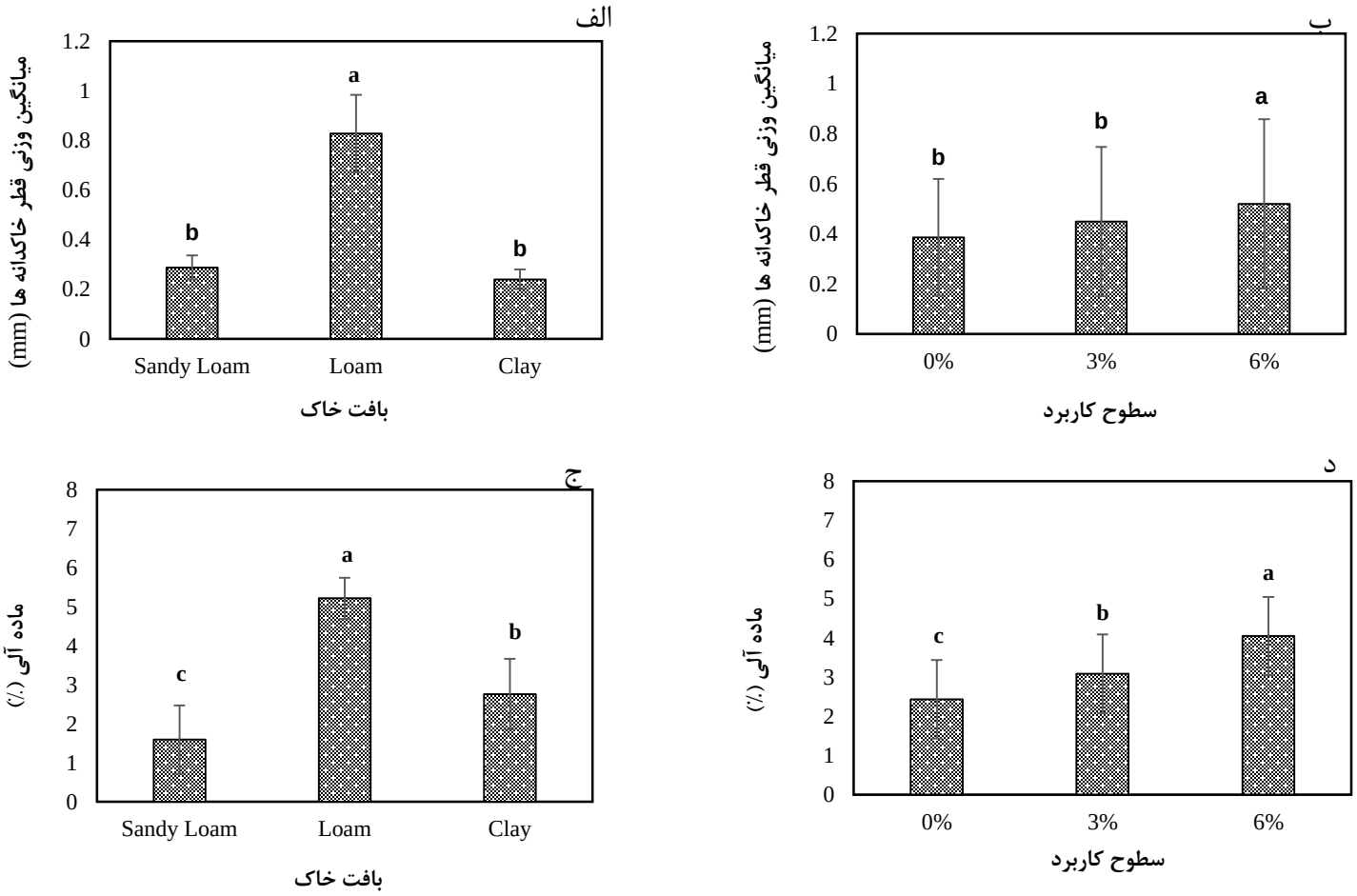
نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی نوع بافت خاک و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (در سطح آماری ۱ درصد) بر پارامترهای میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و ماده‌آلی معنی‌دار بود. ولی اثر برهمکنش آن‌ها بر پارامترهای مذکور معنی دار نشد (جدول ۱).

جدول۱- نتایج تجزیه واریانس تاثیر تیمارها بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، ماده‌آلی و جرم خاکدانه‌ها با قطرهای متفاوت

منابع تغییر	درجه آزادی	*MWD	ماده آلی	4-8 (mm)	2-4 (mm)	1-2 (mm)
		P-Value				
بافت خاک	۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۶	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
سطوح کاربرد کمپوست	۲	۰/۰۰۳	<۰/۰۰۰۱	۰/۹۵۷	۰/۳۴۹	۰/۰۵۶
بافت خاک × سطوح کاربرد کمپوست	۴	۰/۰۶۴	۰/۱۱۸	۰/۷۹۵	۰/۳۱۲	۰/۱۷۲

*MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن نشان داد که مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در خاک‌های مورد مطالعه به‌طور معنی‌دار به ترتیب لوم> لوم‌شنی= رسی بود (شکل۱- الف). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که مقدار ماده‌آلی، در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب لوم > رس> لوم‌شنی بود که تفاوت همه آن‌ها معنی‌دار بود (شکل۱- ج). موادآلی نه تنها ساختار خاک را بهبود می‌بخشند بلکه موجب بهبود هوادهی خاک نیز می‌شوند (Angin et all, 2013). احتمالا در این تحقیق علت بالا بودن ماده‌آلی در خاک لوم شرایط محیطی محل نمونه برداری باشد. چرا که نمونه خاک لوم از محلی که دارای درخت بود، برداشته شد که تجزیه برگ‌های درختان بر روی خاک لوم موجب افزایش ماده‌آلی در این خاک گردیده است. احتمالا افزایش اکسیداسیون و احیا در دوره تر و خشک شدن خاک در بازه زمانی مشخص و اکسید شدن ماده‌آلی توسط موجودات زنده موجب کاهش ماده‌آلی در خاک لوم شنی شده‌است. در همین راستا گزارش‌هایی مبنی بر افزایش معدنی شدن کربن‌آلی در نتیجه خشک و مرطوب شدن متوالی ارائه شده است (Wu and Brookes, 2005). احتمالا علت بالا بودن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در بافت لوم هم درصد ماده‌آلی زیاد در این خاک باشد. چرا که خاک‌هایی که دارای مقدار ماده‌آلی بیشتری هستند دارای ساختمان بهتر و مقاومت بیشتر در برابر عوامل فرساینده مانند آب و باد هستند (Emadodin et all, 2009). نتایج پژوهش Cheng et all (2015) نشان داد که وجود ماده‌آلی در خاک با ایجاد لایه آبگریز اطراف خاکدانه‌ها سبب کاهش نفوذ آب در خاکدانه و افزایش پایداری آنها می‌شود.

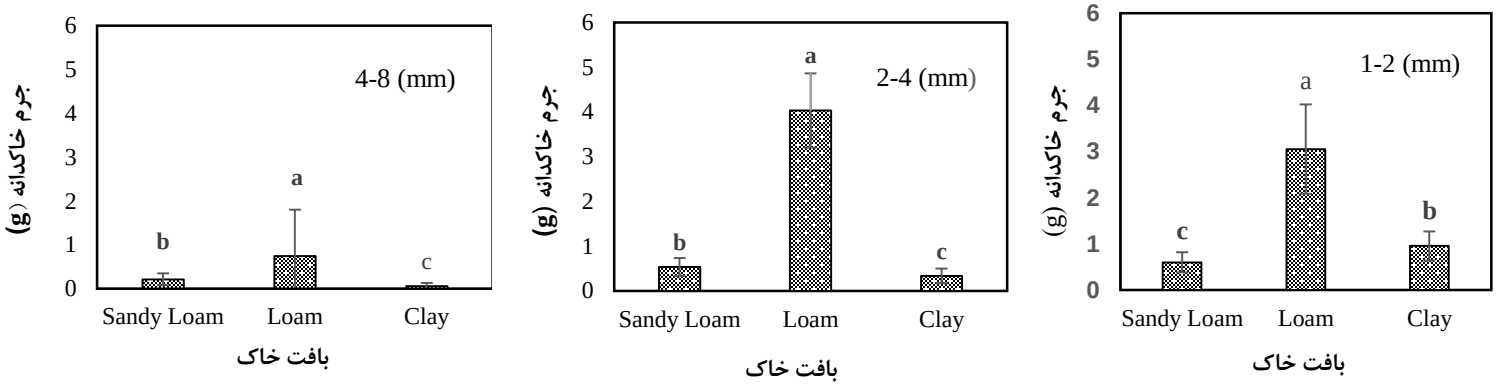


شکل ۱- اثر اصلی بافت خاک (الف و ج) و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (ب و د) به ترتیب بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و ماده‌آلی خاک. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که مقادیر ماده‌آلی در سطح شاهد< سطح ۳ درصد < سطح ۶ درصد بودند که تفاوت همه این سطوح معنی‌دار بود (شکل۱-د). میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح ۶ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد و ۳ درصد بود، ولی بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در سطح شاهد و ۳ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل۱- ب). بنابراین در سطوح ۳ و ۶ درصد چون کمپوست بستر قارچ دارای ماده‌آلی بالایی (۲۶/۸۶ درصد) است و به خاک اضافه شده است، پس ماده‌آلی تیمارها هم افزایش پیدا کرده و موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها شده است. افزایش موادآلی به خاک به علت اثرهای سازنده‌ای که بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارد، به عنوان یکی از ارکان مهم باروری خاک مورد توجه می‌باشد (Xin et all, 2016). در تحقیقی که توسط Yilmaz and Sonmez (2017) در طول مدت زمان ۹۰ روز انکوباسیون انجام گرفت، گزارش کردند که اضافه کردن ترکیب ورمی کمپوست و قارچ میکوریزا بر روی خاک موجب افزایش خاکدانه های درشت (۲-۱ mm) نسبت به شاهد شد. بافت رسی دارای مقدار رس و ماده‌آلی بیشتر نسبت به بافت لوم‌شنی بود و انتظار بر این بود که جرم خاکدانه‌های بافت رسی بیشتر از بافت لوم‌شنی شود، لیکن در این آزمایش میزان *MWD* در این دو بافت تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. علت آن احتمالا مربوط به دوره تر و خشک شدن خاک باشد. چرا که تر و خشک شدن متناوب می‌تواند موجب سست شدن خاکدانه‌ها و ناپایداری آن‌ها شود. بنابراین *MWD* در خاک رسی کاهش یافته و برابر با مقدار آن در خاک لوم‌شنی شد.

تاثیر کاربرد کمپوست بستر قارچ بر جرم خاکدانه‌های درشت (۸-۱ میلی‌متر)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی نوع بافت خاک در پایه یک درصد آماری بر جرم خاکدانه‌های ۸-۴، ۴-۲ و۲-۱ میلی‌متر معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در خاک‌های مورد مطالعه جرم خاکدانه‌ها در کلاس‌های ۸-۴ و ۴-۲ میلی‌متر، به ترتیب لوم > لوم‌شنی > رسی بود. و جرم خاکدانه‌های ۲-۱ میلی‌متر به ترتیب لوم > رس> لوم‌شنی بود، که تفاوت همه آن‌ها معنی‌دار بود.



شکل ۲- اثر بافت خاک بر جرم خاکدانه‌ها با قطرهای مختلف. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

علت زیاد بودن جرم خاکدانه‌های ۸-۴، ۴-۲ و ۲-۱ میلی‌متر در خاک لوم را می‌توان به زیاد بودن ماده‌آلی در خاک لوم نسبت به خاک لوم‌شنی و رسی نسبت داد. چرا که ماده‌آلی با به هم پیوستن ذرات خاک موجب بهبود و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود، به گونه‌ای که در خاک لوم نسبت به خاک رسی و لوم شنی خاکدانه‌های با اندازه درشت‌تر افزایش پیدا می‌کنند، و در مقابل خاکدانه‌های ریز کاهش می‌یابند. از طرفی کمبود و کاهش ماده‌آلی سبب کاهش اندازه خاکدانه‌ها، تخریب آن‌ها و در نتیجه، حساسیت خاک به فرسایش می شود (Behnam et all, 2016). بافت رسی علی‌رغم میزان رس و درصد ماده‌آلی بالا نسبت به بافت لوم‌شنی، از مقدار جرم خاکدانه‌های ۸-۴ و ۴-۲ میلی‌متر کمتری برخوردار بود. علت آن احتمالا مربوط به دوره تر و خشک شدن خاک باشد. چرا که تر و خشک شدن متناوب بر اثر انقباض و انبساط خاک‌ها موجب ایجاد ترک‌های ریز در خاک می‌شود و خاکدانه‌ها خرد می‌شوند و در نهایت موجب سست شدن خاکدانه‌ها و ناپایداری در خاک می‌شود (Utomo and Dexter, 1982). افزایش جرم خاکدانه‌های ۲-۱ میلی‌متر در بافت رس نسبت به لوم‌شنی نیز شاهدی بر این علت است. البته در حالت کلی نیز درصد رس و ماده‌آلی زیاد در خاک رسی نسبت به لوم‌شنی باعث افزایش خاکدانه‌ها می‌گردد. (Molina et all (2001، تاثیر رس و ماده‌آلی را بر پایداری خاکدانه‌ها به روش الک‌تر مثبت ارزیابی کردند. Canasveras et all (2010)، همبستگی مثبت معنی‌داری بین رس خاک با *MWD* به دست آوردند.

نتیجه‌گیری

بر طبق نتایج حاصله، تیمار کمپوست بستر قارچ خوراکی از طریق افزایش مقدار ماده‌آلی خاک، موجب افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در هر سه خاک شد. سطوح ۶ درصد در هر سه خاک نسبت به سطح ۳ درصد و صفر درصد بیشترین تاثیر را بر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و ماده‌آلی داشت. ماده‌آلی به عنوان عامل پیوند دهنده ذرات عمل کرده و درنتیجه باعث ایجاد خاکدانه‌هایی با میانگین وزنی قطر بیشتر شده است. بیشترین جرم خاکدانه‌های درشت مربوط به بافت لوم بود علت آن را می‌توان به زیاد بودن

ماده‌آلی در خاک لوم نسبت به خاک لوم‌شنی و رسی نسبت داد. چرا که ماده‌آلی با به هم پیوستن ذرات خاک موجب بهبود و پایداری خاکدانه‌ها می‌شود، به گونه‌ای که در خاک لوم نسبت به خاک رسی و لوم شنی خاکدانه‌های با اندازه درشت‌تر افزایش پیدا می‌کنند. در مجموع نتایج نشان داد که کمپوست بستر قارچ خوراکی دارای بسیاری از ویژگی‌های مورد نیاز در افزایش محصولات کشاورزی ارگانیک و مدیریت محیط زیست است. هم‌چنین این کمپوست دارای جرم مخصوص ظاهری کمی است که می‌تواند ساختار خاک را اصلاح کند و باعث بهبود پایداری خاکدانه‌ها شود. چون نسبت به سایر اصلاح کننده‌ها دارای قیمت بسیار ارزانی می‌باشد لذا می توان در اراضی کشاورزی جهت اصلاح ساختمان خاک، بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک و بهبود پایداری خاکدانه‌ها از کمپوست بستر قارچ خوراکی استفاده کرد.

منابع

1. Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., & Vogel, H. J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: a review. *Geoderma*, *314*, 122-137.
2. Obalum, S. E., Uteau-Puschmann, D., & Peth, S. (2019). Reduced tillage and compost effects on soil aggregate stability of a silt-loam Luvisol using different aggregate stability tests. *Soil and Tillage Research*, *189*, 217-228
3. Behnam, H., Farrokhian Firouzi A. and Moezzi. A.A. 2016. Effect of sugarcane bagasse biochar and compost on some soil mechanical properties. Water and Soil Conservation, *Vol. 23(4), 2016* http://jwsc.gau.ac.ir
4. Lou, Z., Sun, Y., Bian, S., Baig, S. A., Hu, B., & Xu, X. (2017). Nutrient conservation during spent mushroom compost application using spent mushroom substrate derived biochar. *Chemosphere*, *169*, 23-31.
5. Jafari Mianaei,F, Asgari, H.R. and Hosseinalizade. M. Investigation of effects of different canopy cover of oliveon some soilproperties Under an agroforestry system (Case study:AqQala-Golestan province). *J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(6), 2016,* http://jwsc.gau.ac.ir
6. Xue, B., Huang, L., Huang, Y., Zhou, F., Li, F., Kubar, K. A., ... & Zhu, J. (2019). Roles of soil organic carbon and iron oxides on aggregate formation and stability in two paddy soils. *Soil and Tillage Research*, *187*, 161-171.
7. Molina, N. C., Caceres, M. R., & Pietroboni, A. M. (2001). Factors affecting aggregate stability and water dispersible clay of recently cultivated semiarid soils of Argentina. *Arid Land Research and Management*, *15*(1), 77-87.
8. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, *37*(1), 29-38.
9. Kemper, W. D., and Rosenau, R. C. (1986). Aggregate stability and size distribution. In 'Methods of soil analysis, Part 1: Physical and mineralogical methods'.(Ed. A. Klute.). *Soil Science Society of America: Madison, Wisconsin, USA*. pp. 425–442.
10. Angin, I., Aksakal, E. L., Oztas, T., & Hanay, A. (2013). Effects of municipal solid waste compost (MSWC) application on certain physical properties of soils subjected to freeze–thaw. *Soil and Tillage Research*, *130*, 58-61.
11. Wu, J., & Brookes, P. C. (2005). The proportional mineralisation of microbial biomass and organic matter caused by air-drying and rewetting of a grassland soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *37*(3), 507-515.
12. Emadodin, I., Reiss, S., & Bork, H. R. (2009). A study of the relationship between land management and soil aggregate stability (case study near Albersdorf, Northern-Germany). *Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *4*, 48-53.
13. Cheng, M., Xiang, Y., Xue, An. Sh. And Darboux, F.(2015). Soil aggregation and inter-aggregate carbon fractions in relation to vegetation succession on the Loess Plateau. China. Catena. 124: 77-84.
14. Yilmaz, E., & Sönmez, M. (2017). The role of organic/bio–fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales. *Soil and Tillage Research*, *168*, 118-124.
15. Xin, X., Zhang, J., Zhu, A., & Zhang, C. (2016). Effects of long-term (23 years) mineral fertilizer and compost application on physical properties of fluvo-aquic soil in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*, *156*, 166-172.
16. Utomo, W. H. and A. R. Dexter. 1982. Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil. J. Soil Sci. 33:623-637.

17. Molina, N. C., Caceres, M. R., & Pietroboni, A. M. (2001). Factors affecting aggregate stability and water dispersible clay of recently cultivated semiarid soils of Argentina. *Arid Land Research and Management*, *15*(1), 77-87.
18. Canasveras, J.C., Barron, V., Del Campillo, M.C., Torrent, J., and Gomez, J.A. 2010. Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma, 158: 78-84

Short-term effects of mushroom substrate compost on aggregate size distribution and stability in soils with different texture

H. Bayat[1], Ch.Madizadeh[2]
1- Associate Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University
(h.bayat@basu.ac.ir)
2- Ph.D. Student of Soil Science, Bu-Ali Sina University
(Chimanmehdizadeh@gmail.com)

Abstract

Mushroom manufacturers use compost as a cultivation substrate, known as mushroom substrate compost and it has a variety of agricultural applications. Application of mushroom substrate compost can improve soil physical properties and increase stability of soil aggregates. Therefore, the purpose of this study was to investigate the short-term effect of mushroom substrate compost on the mean weight diameter of aggregates, aggregate size distribution and organic matter content in three soil types. A factorial experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The factors were included soil texture at three levels (sandy loam, loam and clay), and MSC at three levels (0, 3 and 6% W/W). Sampling was done 120 days after the treatments organic matter, **aggregate size distribution** and the mean weight diameter of aggregates were measured by wet sieving method. The results showed that the highest amount of organic matter and mean weight diameter of aggregates was found at level 6% in loam texture. Organic matter and mean weight diameter of aggregates, increased in the range of 27 to 66%, 16 to 34.5%, respectively by increasing MSC application levels at different soils. Therefore, the use of organic fertilizers, especially mushroom substrate compost, is recommended to improve soil stability in conditions where aggregates are not sufficiently stable.

Key words: mean weight diameter of aggregates; mushroom substrate compost; organic matter
.

بررسی تاثیر کودهای بیولوژیک بر خصوصیات مکانیکی خاک

لادن حیدری[۱]، حسین بیات[۲]

۱- دانشجو دکترا، دانشگاه بوعلی سینا heydarii1370@gmail.com

۲- دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا

چکیده

کودهای بیولوژیک شامل میکرو ارگانیسم‌هایی مانند سیانوباکترها، باکتری‌ها و قارچ‌ها هستند. قارچ‌های مایکوریزا آربوسکولار و باکتری‌های ریزوبیوم علاوه بر افزایش رشد گیاه، با ترشح ماده گلیکوپروتئینی نقش به‌سزایی در بهبود ساختمان خاک و مقاومت خاکدانه‌ها دارند. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیک بر منحنی فشردگی محصور خاک در مکش ۴۰۰ کیلوپاسکال و مقاومت فروروی در مکش‌های ۳۰ و ۴۰۰ کیلوپاسکال بود. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل قارچ مایکوریزا گونه گلوموس موسه‌آ، باکتری ریزوبیوم، ترکیب تیمار اول و دوم (مایکوریزا× باکتری ریزوبیوم)، تیمار ماده زمینه سترون شده قارچ مایکوریزا، شاهد (بدون تلقیح) و تیمار بدون گیاه (بدون تلقیح) بودند. گیاه کشت شده، نخود بود. تیمارهای حاوی باکتری ریزوبیوم باعث کاهش مقاومت فروروی خاک در مکش ۳۰ کیلو پاسکال نسبت به شاهد با گیاه (۲۳/۲٪) و بدون گیاه (۲۴/۸٪) شدند. همچنین تیمارهای حاوی کود بیولوژیک موجب افزایش معنی‌دار نسبت پوکی اولیه، نهایی و باربرداری شدند. همزیستی میکوریزی و باکتری ریزوبیوم به‌عنوان یک روش بیولوژیک و پایدار از طریق تأثیر بر عملکرد گیاه،و افزایش پایداری خاکدانه‌ها باعث ارتقای کیفیت فیزیکی خاک مورد استفاده در این پژوهش شد.

کلمات کلیدی: باکتری ریزوبیوم، مایکوریزا، مقاومت فروروی، منحنی تراکم محصور

مقدمه

خاک یکی از منابع طبیعی حیات است که نقش‌های کلیدی بسیاری در اکوسیستم ایفا می‌کند. در دو دهه اخیر، توجه عموم نسبت به کیفیت خاک در دنیا افزایش یافته است. همچنین بررسی کیفیت خاک به‌منظور حداکثر بهره‌برداری کشاورزی با کمترین تخریب زیست محیطی ضروری می‌باشد. اصولاً تثبیت کننده‌های خاک مواد مختلفی از جمله گچ، آهک، پسماندهای شهری (سوجکا و انتری، ۲۰۰۰)، کمپوست آلی، کودهای حیوانی و گیاهی، باقیمانده‌ی محصولات زراعی و صنایع غذایی (میلر، ۲۰۰۲)، مالچ‌های نفتی و زغال‌سنگ و همچنین انواع پلیمرهای نفتی و زیست تخریب‌پذیر را شامل می‌شود. پژوهش‌های مختلف حاکی از آن است که کاربرد هر یک از مواد و روش‌های مذکور دارای محدودیت-های خاصی بوده است. از طرفی کاربرد تثبیت کننده‌های طبیعی از قبیل کمپوست آلی، کودهای حیوانی و گیاهی، باقیمانده محصولات زراعی و صنایع غذایی در کشورهای توسعه نیافته و در مناطق با اقلیم خشک و پوشش گیاهی کم و خاک فقیر از موجودات خاکزی، نتایج مطلوبی نداشته است (بلاگوداسکایا و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج پژوهش‌های دیگر نیز حاکی از آن است که پلیمرهای مذکور فقط محافظ سطح بوده و به هیچ وجه در بین منافذ و ذرات خاک نفوذ نکرده و در نتیجه تغییری در ساختار خاک‌ها ایجاد نخواهند کرد (بلانکو و لال، ۲۰۰۸). همچنین در چند دهه اخیر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در اثر مصرف نهاده‌های شیمیایی در اراضی کشاورزی دستخوش تغییرات شده‌اند. بنابراین با توجه به محدودیت‌های موجود برای به‌کارگیری تثبیت‌کننده‌ها، ضروری است تا از جایگزینی مناسب و طبعاً زیستی استفاده شود تا علاوه بر رفع کاستی‌های مرتبط بر استفاده از تثبیت کننده‌های متداول، از میزان اثر بخشی مناسب برخوردار بوده و شرایط ایجاد تعادل و پایداری در محیط زیست خاک را نیز فراهم کند. نقش باکتری‌های تثبیت کننده در ارتقای حاصلخیزی خاک بیش از یک قرن است که مورد توجه بوده است. بنابراین بررسی نقش

کودهای زیستی به‌ویژه کودهای زیستی شامل باکتری‌ها و قارچ‌ها در بهبود خواص فیزیکی خاک و به‌کارگیری آن‌ها به‌عنوان جایگزینی برای سایر تثبیت کننده‌ها و افزودنی‌های معمول و کودهای شیمیاییضرورروی است. ساختمان خاک بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک مانند تراکم خاک (سوان، ۱۹۹۰) و مقاومت فروروی (تو و کی، ۲۰۰۵) مؤثر است. پس با استناد بر پژوهش‌هایی که تأثیر کودهای بیولوژیک را بر برخی خواص خاک بررسی کرده‌اند و با توجه به مرتبط بودن خواص خاک با یکدیگر هدف از این پژوهش بررسی تأثیر قارچ مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم بر مقاومت فروروی و منحنی تراکم محصور خاک بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک شامل باکتری ریزوبیوم و قارچ مایکوریزا گونه گلوموس موسهآ بر برخی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی واقع در دانشگاه بوعلی سینا- همدان اجرا شد. تیمارهای استفاده شده شامل تلقیح بذور با مایکوریزا، تلقیح با ریزوبیوم، تلقیح همزمان با مایکوریزا×باکتری ریزوبیوم، افزودن ماده زمینه سترون شده قارچی، شاهد با گیاه (بدون تلقیح) و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) بودند. برای انجام آزمایش گلخانه‌ای یک نمونه خاک لومی از مزرعه تحقیقاتی عباس آباد از عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متر تهیه گردید. سپس، در گلخانه هوا خشک گردیده و با توجه به شرایط مزرعه‌ای و به‌منظور ایجاد یکنواختی از الک ۴/۷۵ میلی‌متری عبور داده شد. کود ریزوچک پی سوپر پلاس به گونه پودر جامد بود که بر پایه روش آماده سازی آن که بر روی محصول نوشته شده بود آماده گردید. در روز کاشت بذرهای نخود، با وزن ویژه‌ای (۰/۰۶۴ گرم) از چسب که داخل جعبه کود قرار داشت با اندازه مشخصی از آب شهری (۸ میلی لیتر) آماده شد و بذرهای نخود (۲۰۰ گرم) با آن آغشته گردیدند و سپس میزان ۵/۷۱ گرم از کود بر روی بذرهای نخود آماده شده با چسب پاشیده شد و به این ترتیب بذرهای نخود به باکتری مزو ریزوبیوم آلوده شدند. بنابراین ابتدا بذرها با ماده تلقیحی مخلوط گردید و بعد از خشک شدن نسبی مواد تلقیحی سطح بذور در سایه، بذرها سریعاً کشت شدند.
برای تلقیح بذور با قارچ مایکوریزا به گلدان‌هایی که حاوی تیمار قارچ مایکوریزا بودند مقدار ۱۰۰ گرم مایه تلقیح قارچ اضافه گردید. برای آماده کردن تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا (حذف قارچ مایکوریزا)، مقداری از کود بیولوژیک حاوی مایکوریزا برای سه مرتبه به مدت ۱۵ دقیقه در اتوکلاو (فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۵۱ درجه سلسیوس) استریل گردید. به گلدان‌هایی که حاوی تیمار ماده زمینه سترون شده مایکوریزا بودند مقدار ۱۰۰ گرم از تیمار مورد نظر اضافه گردید. در ابتدا در درون هر گلدان تعداد ۵ بذر جوانه زده شده‌ی نخود قرار داده شد و بعد از خارج شدن گیاهچه از خاک فقط ۲ گیاهچه در گلدان حفظ و بقیه حذف شدند. پس از برداشت محصول، تعداد ۳ نمونه خاک دست نخورده با سیلندرهای استیل به قطر ۵/۳ و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر از عمق (۵ تا ۱۰ سانتی‌متر) و نیز یک نمونه دست‌خورده با احتیاط کامل و حداقل دست‌خوردگی (از عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری) برداشت شد.

منحنی فشردگی محصور و برازش مدل گمپرتز (۱۸۲۵) بر داده‌های منحنی فشردگی محصور

برای انجام آزمایش فشردگی محصور[1] (CCT) از دستگاه تک محوری[2] (CBR) بهره‌گیری شد. مدل گمپرتز (۱۸۲۵) با استفاده از نرم افزارSolver Excel 2010 بر داده‌های بارگذاری فشردگی محصور برازش شد و پارامترهای a، b، c و m بدست آمد.

$$e = a + c\exp\left\{-\exp\left[b\left(\log\sigma - m\right)\right]\right\} \qquad (۱)$$

در معادله فوق a، b، c و m پارامترهای برازشی هستند. e بیانگر نسبت پوکی (cm^3cm^{-3}) و σ (kPa) نیز بیانگر تنش نرمال است. شاخص تراکم و شاخص انبساط با روابط زیر محاسبه شدند.

$$C_C = \frac{bc}{\exp(1)} \qquad (۲)$$

[1]. Confined compression test
[2]. California bearing ratio

$$C_{s-Loading-25kPa} = \frac{e_0 - e_{25kPa}}{\log(25\,\mathrm{k}\,P\,\mathrm{a})} \quad (۳)$$

$$C_{s-Unloading-800kPa} = \frac{e_{final} - e_{800kPa}}{\log(800\,\mathrm{k}\,P\,\mathrm{a})} \quad (۴)$$

در معادلات بالا C_c شاخص تراکم، $C_{s\text{-}Loading\text{-}25kPa}$ شاخص انبساط بارگذاری، $C_{s\text{-}Unloading\text{-}800kPa}$ شاخص انبساط بار برداری، b و c ضرایب مدل گمپرتز، e_0 نسبت پوکی اولیه و $e_{25\ kPa}$ و $e_{800\ kPa}$ به‌ترتیب بیانگر نسبت پوکی در حالتی که به نمونه ۲۵ و ۸۰۰ کیلو پاسکال تنش وارد شده است.

مقاومت فروروی (PR)

مقاومت فروروی بر روی نمونه‌ها در درون سیلندرهایی با قطر ۵/۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر در مکش‌های ۳۰ و ۴۰۰ کیلو پاسکال با دستگاه فروسنج ریز اندازه‌گیری شد. مقاومت فروروی در عمق‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ سانتی‌متری هر سیلندر در دو تکرار انجام شد. سپس میانگین ۱۲ نقطه اندازه‌گیری شد. محاسبه نیرو (F) بر حسب نیوتن طبق رابطه زیر انجام شد.

$$F_{average} = \sum \frac{F_i}{12} \quad (۵)$$

$F_{average}$ میانگین نیرو و F_i مقدار نیرو بر حسب نیوتن در هر یک از اندازه‌گیری‌ها می‌باشند. در نهایت PR بر حسب پاسکال از رابطه زیر محاسبه شد:

$$PR = \frac{F_{average}}{A_{cone}} \quad (۶)$$

A_{cone} سطح قاعده مخروط فرو سنج بر حسب متر مربع می‌باشد (کولن و واندراجر[3]، ۱۹۸۴).

نتایج و بحث

تأثیر تیمارهای مختلف بر منحنی تراکم محصور در مکش ۴۰۰ کیلوپاسکال

نسبت پوکی نهایی و باربرداری به‌طور معنی‌داری در پایه احتمال پنج درصد تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار گرفتند (جدول ۲). مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر نسبت پوکی نهایی و باربرداری نشان داد که تیمار مایکوریزا و مایکوریزا ×باکتری ریزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار نسبت پوکی نهایی و باربرداری نسبت به تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) شدند (شکل ۲). از طرفی هر چند که تفاوت بین تیمارهای مایکوریزا و مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم و شاهد با گیاه (بدون تلقیح) و ماده زمینه سترون شده مایکوریزا معنی‌دار نشد؛ اما با توجه به شکل۲ دو تیمار مایکوریزا و مایکوریزا×باکتری ریزوبیوم بیش‌ترین میانگین نسبت پوکی نهایی و باربرداری را داشتند.

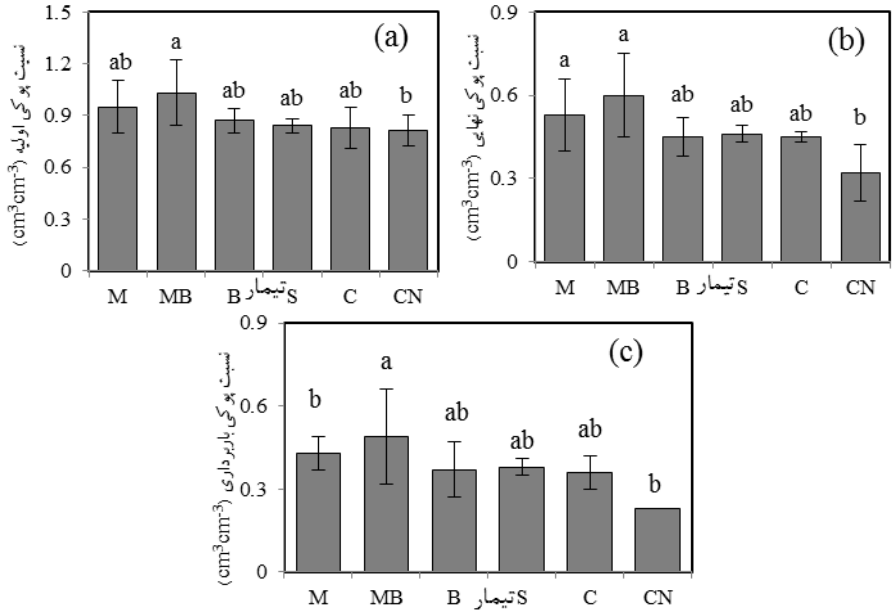
جدول .Error! No text of specified style in document- **نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر مشخصه‌های منحنی تراکم در مکش ۴۰۰ کیلو پاسکال.**

		میانگین مربعات (MS)				
منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص تراکم	شاخص انبساط باربرداری	نسبت پوکی نهایی (cm^3cm^{-3})	نسبت پوکی باربرداری (cm^3cm^{-3})	نسبت پوکی اولیه (cm^3cm^{-3})
تیمار	٦	۰/۰۰۲۷^{ns}	۰/۰۰۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۲۴*	۰/۰۲۴*	۰/۰۲۱^{ns}
تکرار	۲	۰/۰۰۷۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱۹^{ns}	۰/۰۰۴۶^{ns}	۰/۰۰۴۲^{ns}	۰/۰۰۴۴^{ns}
خطا	۲	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۰۰۲۰	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۸۳	۰/۰۱۱

[3]. Vaanederager

ns و * به‌ترتیب نشان دهنده عدم تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشند.

آرویدوسون (۱۹۹۸) گزارش کرد که ماده آلی سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری، تراکم‌پذیری و افزایش تخلخل بعد از تراکم شده، که سرانجام آسیب پذیری خاک کاهش می‌یابد. از طرفی نیز سوان (۱۹۹۰) بیان کرد که یک رابطه خطی بین تخلخل کل و تخلخل تهویه‌ای اولیه با مقدار تخلخل بعد از رفع تنش وجود دارد؛ بنابراین بیش‌تر بودن نسبت پوکی و تخلخل در تیمار مایکوریزا و مایکوریزا ×باکتری ریزوبیوم باعث افزایش حجم منافذ بعد از تنش شده است. تحقیق مارشنر و دل (۱۹۹۴) در مورد جذب عناصر غذایی در همزیستی میکوریزی نشان دادند که همزیستی با قارچ مایکوریزا از طریق ایجاد شبکه گسترده‌ای از هیف‌ها و نیز تولید گلومالین می‌تواند موجب به هم پیوستن ذرات خاک در خاک‌های متراکم با ساختمان ضعیف گردد و در نتیجه از اثرهای سوء تنش تراکم خاک بر رشد گیاه بکاهد. همچنین محیط زیست قارچ ریشه باعث بهبود شرایط برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها که ساختمان خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند می‌شود (اوادز، ۱۹۹۳). شاخص تراکم نیز تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرار نگرفت و مقایسه میانگین بین داده‌ها معنی‌دار نشد. به دلیل عدم تأثیر پذیری دو ضریب b و c (داده‌ها گزارش نشده است) از تیمارهای مذکور تراکم‌پذیری خاک در این مکش اختلاف معنی‌داری نشان نداد. از طرفی افزایش مکش آب سبب کاهش اثر تیمارهای مربوطه بر خصوصیات حجمی خاک (نسبت پوکی و تخلخل) شد. چرا که تحت تأثیر قرا گرفتن شاخص تراکم در مکش ۳۰ کیلو پاسکال نشان دهنده این موضوع است.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر (a) نسیت پوکی اولیه ، (b) نسیت پوکی نهایی (c) و نسبت پوکی باربرداری، در مکش ۴۰۰ کیلو پاسکال در شرایط گلخانه. M ، MB، B، S، C و CN به ترتیب نشان دهنده تیمار مایکوریزا، مایکوریزا × باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، ماده زمینه سترون شده، شاهد با گیاه (بدون تلقیح) و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) می‌باشند.

تأثیر تیمارهای مختلف بر مقاومت فروروی در مکش‌های مختلف

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف (در پایه یک درصد آماری)، بر مقاومت فروروی در مکش ۳۰ کیلو پاسکال معنی‌دار بود؛ اما مقاومت فروروی در مکش ۴۰۰ کیلو پاسکال تحت تأثیر تیمارهای مختلف قرا نگرفت (جدول).

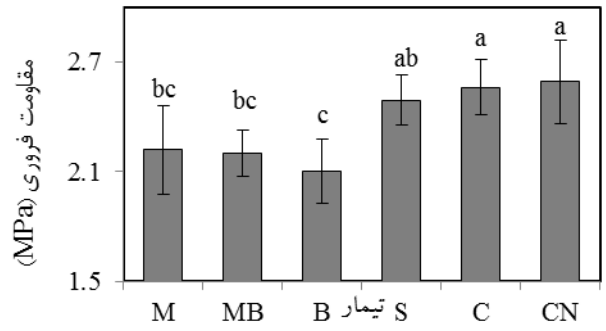
جدول۱- نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارها بر مقاومت فروروی خاک در مکش‌های ۳۰ و ۴۰۰ کیلو پاسکال.

		میانگین مربعات (MS)	
منابع تغییر	درجه آزادی	۳۰→kPa	۴۰۰

تیمار	۵	۰/۱۳**	۰/۲۲^{ns}
تکرار	۲	۰/۰۵۸^{ns}	۱/۱۵^{ns}
خطا	۱۰	۰/۰۲۵	۰/۳۷

ns و** نشان دهنده عدم تأثیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد و تأثیر معنی‌دار در سطح ۱ درصد می‌باشند.

مقایسه میانگین تیمارها در مکش ۳۰ کیلو پاسکال نشان داد که استفاده از کودهای بیولوژیک باعث کاهش معنی‌دار (در پایه آماری ۵ درصد) مقاومت فروروی خاک نسبت به تیمار شاهد با و بدون گیاه (بدون تلقیح) شد (شکل). ولی تفاوت بین سه تیمار حاوی کود بیولوژیک معنی‌دار نشد. با توجه به شکل تیمار حاوی باکتری ریزوبیوم باعث کاهش معنی‌دار مقاومت فروروی نسبت به تیمارهای ماده زمینه سترون شده و شاهد با و بدون گیاه (بدون تلقیح) شد. مقاومت فروروی به خصوصیات خاک از جمله ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت، مقاومت برشی و بافت خاک بستگی دارد (هااو و همکاران، ۲۰۰۰).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر مقاومت فروروی در مکش ۳۰ کیلو پاسکال. M ، MB، B، S، C و CN به ترتیب نشان دهنده تیمار مایکوریزا، مایکوریزا و باکتری ریزوبیوم، باکتری ریزوبیوم، تیمار سترون شده مایکوریزا، شاهد با گیاه (بدون تلقیح) و شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) می‌باشند.

سها و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که مقاومت فروروی در خاک تیمار شده با کود آلی و کود بیولوژیک کمتر از تیمار شاهد (بدون کود آلی و بیولوژیک) بود. بنگوق و همکاران (۲۰۰۰) نیز گزارش کردند که مقاومت فروروی تحت تأثیر ساختمان خاک و جرم مخصوص ظاهری است. همچنین یکی از دلایل بالا بودن مقاومت فروروی در تیمار شاهد بدون گیاه بدون تلقیح بالا بودن جرم مخصوص ظاهری، کمتر بودن میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و عدم وجود ریشه در خاک می‌باشد. نتایج گوپتا و همکاران (۱۹۸۷) نیز نشان داد که با افزایش ماده آلی به خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک به دلیل افزایش خلل و فرج خاک کاهش می‌یابد. در مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای مختلف بر مقاومت فروروی، بیش‌ترین مقاومت فروروی همانند جرم مخصوص ظاهری در تیمار شاهد بدون گیاه (بدون تلقیح) و کمترین مقاومت فروروی در تیمار باکتری ریزوبیوم مشاهده شد (شکل).

نتیجه‌گیری

باکتری‌ها و قارچ‌های همزیست در خاک با تولید اسیدهای آلی باعث بهبود خاک می‌شوند. از طرفی نیز افزایش کربن آلی در تیمارهای حاوی کود بیولوژیک می‌تواند عاملی برای بهبود ساختمان خاک باشد. تیمار باکتری ریزوبیوم و مایکوریزا×باکتری ریزوبیوم نقش مهمی را در کاهش مقاومت فروروی داشتند؛ که علت اصلی آن بیشتر شدن منافذ در این تیمارها است. در واقع تیمارهای حاوی کود بیولوژیک مقاومت فروروی را به علت وجود ترشحات ریشه گیاه و همچنین تحریک فعالیت میکروبی در ناحیه ریزوسفر ریشه و در نتیجه پایداری ساختمان خاک و افزایش تخلخل کاهش دادند. نکته حائز اهمیت اینکه، افزایش مکش خاک موجب کاهش تفکیک اثر تیمارها شد. افزایش پوکی در نتیجه این تیمارها می‌تواند به علت کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل خاک باشد. چرا که تیمارهای حاوی کود بیولوژیک با تأثیرگذاری بر منافذ درشت و ریز خاک بر نسبت پوکی خاک مؤثر هستند. به طور کلی تیمارهای حاوی کودی بیولوژیک با تأثیرگذاری بر عملکرد گیاه و ریشه گیاه باعث بهبود پارامترهای فیزیکی و

ساختمان خاک شدند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از همزیستی میکوریزی و باکتری ریزوبیوم به عنوان یک روش بیولوژیک و پایدار باعث ارتقای کیفیت فیزیکی و مکانیکی در خاک می‌گردد.

منابع

Arvidsson, J., and Keller, T. (2004). Soil precompression stress: I. A survey of Swedish arable soils. *Soil and Tillage Research* 77, 85-95.

Blanco, H. and Lal, R. (2008). Principles of Soil Conservation and Management. *Springer Science*, Business Media B.V. p 638.

Blagodatskaya, E., and Kuzyakov, Y. (2013). Active microorganisms in soil: critical review of estimation criteria and approaches. *Soil Biology and Biochemistry* 67, 192-211.

Bengough, A.G., Campbell, D.J., and O'Sullivan, M.F. (2001) .p.638. In Smith, K.A. and Mullins, C.E. (Eds.), Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth. *Soil and Environmental Analysis*. Marcel Dekker, Inc., New York.

Gupta, S., Schneider, E., Larson, W., and Hadas, A. (1987). Influence of corn residue on compression and compaction behavior of soils. *Soil Science Society of America Journal* 51, 207-212.

Marschner, H., and Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosi. *Plant and soil* 159, 89-102.

Miller, R.M., (2002). The Function of Mycorrhizal Fungi in Soil Restoration. p. 21-22. In: International Workshop- Microbial Function in Revegetation Process of Degraded Terrestrial Environments: From Gene to Ecosystem, November, pp. 26-29

Oades, J. (1993). The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377-400.

Saha, R., Mishra, V., Majumdar, B., Laxminarayana, K., and Ghosh, P. (2010). effect of integrated nutrient management on soil physical properties and crop productivity under a maize (Zea mays)–mustard (Brassica campestris) cropping sequence in acidic soils of Northeast India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 41, 2187-2200.

Soane, B. (1990). The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research* 16, 179-201.

Sojka, R., and Entry, J. (2000). Influence of polyacrylamide application to soil on movement of microorganisms in runoff water. *Environmental Pollution* 108, 405-412.

Tao, L., and Zhiwei, Z. (2005). Arbuscular mycorrhizas in a hot and arid ecosystem in southwest China. *Applied Soil Ecology* 29, 135-141.

Investigating the effect of Biofertilizers on soil mechanical properties

Ladan. Heydari, Hossein. Bayat

PhD student of Bu-Ali Sina University; E-mail: heydarii1370@gmail.com
Associate professor, Bu-Ali Sina University

Biofertilizers include microorganisms such as cyanobacteria, bacteria and fungi. Arbuscular mycorrhiza fungi and Rhizobium bacteria in addition to increasing plant growth play an important role in improving soil structure and aggregates by increasing nutrient uptake, root yield and glycoprotein secrete out of the cell. Therefore aim of this study was to investigate the effect of biofertilizers on soil confined compression curve at 400 kPa matric suction and penetration resistance at 30 and 400 kPa matric suctions. The experimental design of randomized complete block with three replications was conducted. Mycorrhizal fungi species G. Mossea, Rhizobium, combination of the first and second treatments (mycorrhizal × Rhizobium), sterilized mycorrhizal fungi substrate, control (without incubation) and control without plants (without incubation) were treatments under greenhouse condition. Chickpea was planted in this study. Treatments containing rhizobium bacteria reduced soil resistance at 30 kPa suction compared to control with plant (23.2%) and without plant (24.8%). Also, treatments containing biological fertilizers had a significant effect on soil confined compression curve (initial void ratio, final void ratio and loading void ratio). So mycorrhiza and Rhizobium symbiotic as a biological and sustainable method improved the physical quality of soil used in this study by affecting plant yield and increasing aggregate stability.

Keywords: Mycorrhiza, penetration resistance, Rhizobium bacterium, soil confined compression curve.

پایش برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های کشاورزی استان کهگیلویه و بویراحمد

محمدرضا چاکرالحسینی[۱]، ایمان صالح[۲] و مجید خزائی[۲]

۱- استادیار پژوهشی بخش زراعی- باغی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویر احمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

reza.rns2007@gmail.com

۲- استادیاران پژوهشی بخش تحقیقات جنگلها، مراتع و آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویر احمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

چکیده

کیفیت خاک امروزه به عنوان بخش مهمی از پایداری منابع در محیط زیست به شمار می رود که همواره تحت تاثیر فعالیت‌های بشری قرار گرفته است. برای ارزیابی کیفیت خاک و تغییرات آنها از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌شود. به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های کشاورزی، این پروژه در بیش از ۴۴ پایگاه مطالعاتی در استان کهگیلویه و بویراحمد به اجرا درآمد. به نحوی که پایگاه‌ها بر اساس سطح زیر کشت محصولات زراعی، باغی و آیش، نقشه‌های خاک، زمین شناسی، اطلاعات کارشناسی انتخاب شدند. از هر پایگاه یک نمونه یک کیلوگرمی از دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری برای اراضی زراعی و سه نمونه از عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی‌متری برای باغات تهیه گردید. پس از انجام عملیات خشک و آماده سازی، پارامترهای شیمیایی، شامل نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، آهن، مس، روی، بور، منگنز، منیزیم قابل استفاده، گچ، آهک، سدیم، کربنات، بیکربنات و کلر اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تغییرات ماده آلی به صورتی است که از شرق به غرب استان با خشک تر شدن اقلیم و کاهش میزان پوشش گیاهی، میزان مواد آلی نیز کاهش می‌یابد. تغییرات میزان شوری در بین پایگاه‌های مطالعاتی نیز نشان داد که میزان شوری نیز از شرق به غرب افزایش می‌یابد و در مناطق گرمسیری استان به علت بالا بودن میزان تبخیر و ترسیب املاح نمک، میزان شوری نسبت به مناطق سردسیری استان بیشتر بوده است.

واژگان کلیدی: تغییرات شیمیایی، تغییرات فیزیکی، پایش، کیفیت خاک

مقدمه

خاک‌ها به عنوان بخش مهمی از اکوسیستم، نقش مهمی در توسعه پوشش گیاهی دارند (Schoenholtz و همکاران، ۲۰۰۰). خاک با فراهم کردن آب و مواد غذایی در دسترس ریشه گیاهان، سبب توسعه و رشد گیاهان می گردند. تغذیه گیاه عمدتاً از راه ریشه بوده و بنابراین از طریق خاک صورت می‌گیرد. بدین جهت محیط خاک به ویژه محلول خاک در تغذیه گیاه نقش اساسی را بازی می‌کند. تغذیه گیاه در مرحله اول به خود گیاه و در مرحله دوم به مشخصات خاک بستگی دارد. بدین لحاظ خاک به عنوان جزئی از طبیعت هم دارای تغییرپذیری ذاتی است که در نتیجه برهم کنش فاکتورهای تشکیل دهنده آن است و هم دارای تغییرپذیری غیر ذاتی است که حاصل مدیریت غلط، استفاده از اراضی و فرسایش است (Vieira و Paz Gonzalez، ۲۰۰۳).

آگاهی از کمیت و چگونگی تغییرات ناشی از مدیریت‌های مختلف کشاورزی بر روی خاک مستلزم داشتن اطلاعات مناسب در مورد آن می‌باشد. برای ارزیابی این تغییرات لازم است تا ویژگی‌ها و شاخص‌هایی که دارای حساسیت کافی نسبت به تغییرات بوده و با وظایف اساسی و مهم خاک مرتبط باشد را اندازه‌گیری نمود.

حفظ خاک و کیفیت آن به عنوان یک مؤلفه مهم در محیط زیست و پایداری آن در قوانین، برنامه‌ها و آئین‌نامه های متعددی ذکر شده که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره شده است. حفاظت از محیط زیست که نسل امروز و نسل‌های بعد باید در آن براساس

اصل ۵۰ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران حیات رو به رشدی داشته باشند، وظیفه عمومی تلقی می‌گردد.از این رو فعالیت‌های اقتصادی و غیره آن که با آلودگی محیط زیست یا تخریب غیر قابل جبران آن ملازمه پیدا می‌کند، ممنوع می‌باشد.

مقایسه سرانه اراضی کشاورزی در گذشته و تغییرات آن تاکنون حاکی از آن است که این سرانه از کمی بیش از نیم هکتار به کمتر از یک سوم هکتار کاهش پیدا کرده است. با در نظر گرفتن ۱۰۰ میلیون نفر جمعیت کشور در سال ۱۴۰۰ (وزارت کشاورزی، ۱۳۷۵) و سطح اراضی کشاورزی موجود (۱۵/۵ میلیون هکتار)، متوسط سرانه اراضی کشاورزی در کشور در سال ۱۴۰۰ به ۰/۱۶ خواهد رسید.

بخش کشاورزی (اعم از زراعت، باغبانی، شیلات و دامپروری) نه تنها تأمین کننده نیازهای غذایی جمعیت استان کهگیلویه و بویراحمد و بخشی از صادرات آن می‌باشد، بلکه حدود ۳۵٪ از اشتغال مستقیم شاغلین این استان را به خود اختصاص داده است.

متأسفانه در خصوص پایش کیفیت اراضی کشاورزی اطلاعات مناسبی وجود نداشته و در این خصوص فعالیت جامعی صورت نگرفته است. عدم انجام تحقیقات مورد نیاز در زمینه پایش ویژگی‌های خاک‌های کشاورزی، گسترش آلودگی‌ها در مناطق مختلف بویژه در مناطق صنعتی، معدنی و کشاورزی به‌دلیل پیشرفت و توسعه فناوری و افزایش جمعیت، پراکنده بودن تحقیقات در زمینه سیستم‌های مناسب خاکورزی و تکمیل نبودن تحقیقات در زمینه مدیریت خاک‌های مسئله‌دار و نیز در برخی موارد همپوشانی تحقیقات انجام شده موجب لزوم نگرش به گذشته و برنامه ریزی برای آینده می‌گردد. لذا اجرای برنامه پایش کیفیت خاک‌های کشاورزی امری ضروری بوده و هدف از این برنامه بررسی وضع موجود خاک در مناطق کشاورزی و نظام‌های تولیدی، شناخت مسایل و محدودیت‌ها، و شناخت فضای خالی در تحقیقات مورد نظر و شناسایی و اولویت بندی طرح‌های محوری برای تکمیل تحقیقات می‌باشد. شناسایی شاخص‌های مناسب برای ارزیابی سلامتی خاک، هنگامی پیچیده‌تر می‌شود که آن‌ها بایستی هم برای ابعاد چندگانه وظایف خاک (حاصلخیزی و پیچیدگی عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی که فرایندهای بیوشیمیایی را کنترل می‌کنند) و هم برای تغییرات مکانی و زمانی آنها پاسخگو باشند.

از نقطه نظر اکولوژیکی، خصوصیات فیزیکی خاک دارای اهمیت بالایی هستند به طوری که خصوصیات بیولوژیکی و شیمیایی خاک از خصوصیات فیزیکی آن تاثیر می پذیرند (Lutz و Chandler، ۱۹۴۹). محققین زیادی تأثیر مدیریت‌های مختلف خاک بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن را گزارش کرده‌اند. بیشتر از تاثیرات می‌تواند از طریق تاثیر عملیات خاک ورزی مختلف بر ساختمان خاک، خصوصیات هیدرولوژیکی، هوای خاک و یا درجه حرارت آن باشد. این اثرات ممکن است باعث کاهش کیفیت خاک و در نتیجه کاهش توان حاصلخیزی و پایداری آن شوند که یکی از تبعات آن کاهش محصوص و عملکرد می باشد.

به طوری که در همین زمینه Yousefi و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر مقادیر مختلف کود آلی و همچنین سه نوع تناوب کاشت را روی پایداری خاکدانه ها در یک خاک آهکی در مرکز ایران (اصفهان) مورد مطالعه قرار داده و نتیجه گرفتند که افزایش مواد آلی به طور قابل توجهی بیشتر از تناوب کاشت روی پایداری خاکدانه ها موثر بوده است. Chaum (۲۰۱۱) نیز در تحقیقی اثرات کاربرد کود سبز و گچ را بر برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک سدیمی مورد بررسی قرار داد و نشان داد که گچ سبب کاهش pH خاک و افزایش مقدار کلسیم در محلول خاک شده است Winder (۲۰۰۳) در بررسی جامعی که بر روی سوابق مطالعات و بیش از ۵۲ برنامه پایش در دنیا در راستای انجام برنامه پایش کیفیت خاک در آلبرتای کانادا انجام شد، اعلام نمود که روش شبکه منظم در برنامه پایش کشورهایی همانند کانادا، امریکا، اطریش، دانمارک، انگلیس و ولز، لیتوانی، لهستان و رومانی انجام گرفته است. روشهای دیگر انتخاب پایگاه بر اساس سطح حوضه آبخیز، سطح کاربری اراضی، نوع مدیریت خاک در منطقه و یا کل کشور بوده است. (Busink و Postma، ۲۰۰۰) برای به حداقل رساندن تغییرات ناشی از فعالیتهای کشاورزی درقطعات مختلف هر پایگاه، نمونه برداری از سطحی معادل یک هکتار را پیشنهاد نمودند.

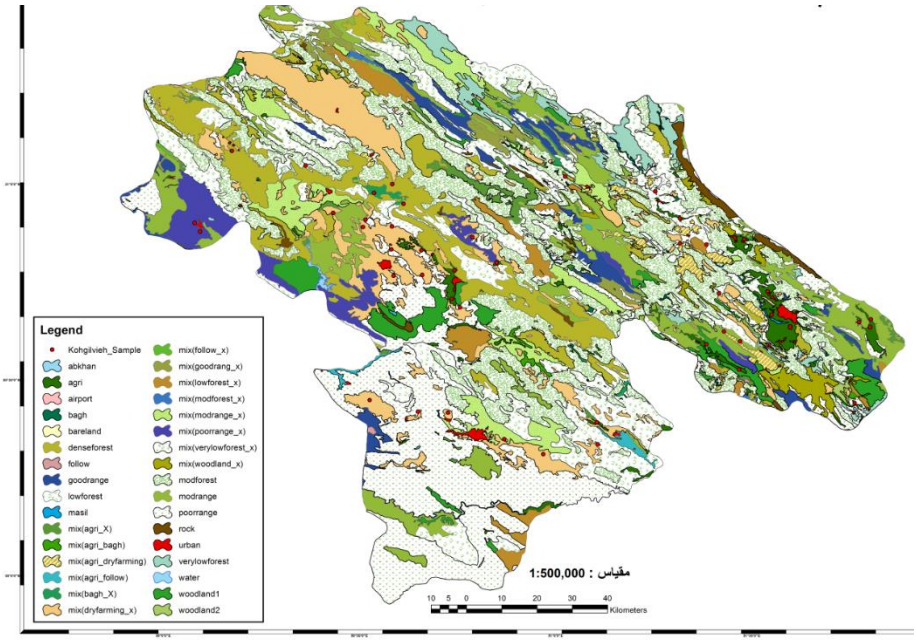
تغییر پذیری ویژگی‌های خاک یکی از مهمترین دلایل در تغییرات مکانی پوشش گیاهی به شمار می‌رود. بنابراین آگاهی از نحوه پراکنش تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و گیاهان برای دستیابی به تولید بیشتر و مدیریت بهتر ضروری است (Johnson و همکاران، ۲۰۰۲). علاوه بر تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک و تاثیر آن بر پوشش گیاهی، برای برخی محققین شناخت منبع

این تغییرات و چگونگی وابستگی مکانی عناصر غذایی خاک از اهمیت خاصی برخوردار است. هر یک از عناصر غذایی خاک الگوی پراکنش مکانی منحصر به فرد و کم و بیش متفاوتی با سایر عناصر دارد که هر کدام سبب تاثیرات خاصی بر روی پوشش گیاهی موجود در منطقه می شود. با این حال شناخت الگوهای مشترک و منابع تغییر دهنده و یا کنترل کننده آنها می‌تواند ما را در مدیریت بهینه کمک نماید (Juang و Lee، ۲۰۰۰). بنابراین ضرورت استفاده از یک ابزار آماری مناسب برای مطالعه تغییرپذیری خاک و تأثیر آن بر پوشش گیاهی امری بدیهی به شمار می‌رود.

روش تحقیق

انتخاب نقاط مطالعاتی و نمونه‌برداری

برای تعیین نقاط نمونه‌برداری، با استفاده از اطلاعات موجود نظیر نقشه رقومی استان، نقشه رقومی کاربری اراضی و نیز نقشه خاک‌های کشور تعداد پایگاه‌های اولیه در استان مشخص شد (شکل ۱). سپس با توجه به سطح زیرکشت استان کهگیلویه و بویراحمد شامل زراعی، باغی و آیش به تفکیک دیم و آبی، و همچنین بازدیدهای منطقه‌ای تعداد پایگاه‌های مورد نیاز برای منطقه مشخص و مختصات جغرافیایی آن ثبت شد.



شکل ۱- پراکنش نقاط نمونه برداری خاک در استان کهگیلویه و بویراحمد

عملیات آزمایشگاهی

نمونه های خاک به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن نمونه ها در هوای آزاد، برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها شامل بافت از روش هیدرومتری ، ماده آلی از طریق تیتراسیون، EC و pH با استفاده از دستگاه‌های با استفاده از دستگاه EC سنج و pH سنج، سدیم، کلسیم، منیزیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی و نیز سدیم (SAR) تعیین و محاسبه شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دست یابی به خلاصه ای از اطلاعات آماری هر خصوصیت شامل میانگین، حداقل، حداکثر، انحراف معیار توسط نرم افزار SPSS, ۱۷ مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگرف-اسمیرنف با استفاده از نرم‌افزار SPSS, ۱۷ استفاده شد. هم چنین تحلیل‌های تفاوت معنی‌دار بین پایگاه‌ها برای هر کدام از فاکتورهای مورد مطالعه، در نرم افزار SPSS, ۱۷ صورت گرفت.

نتایج و بحث

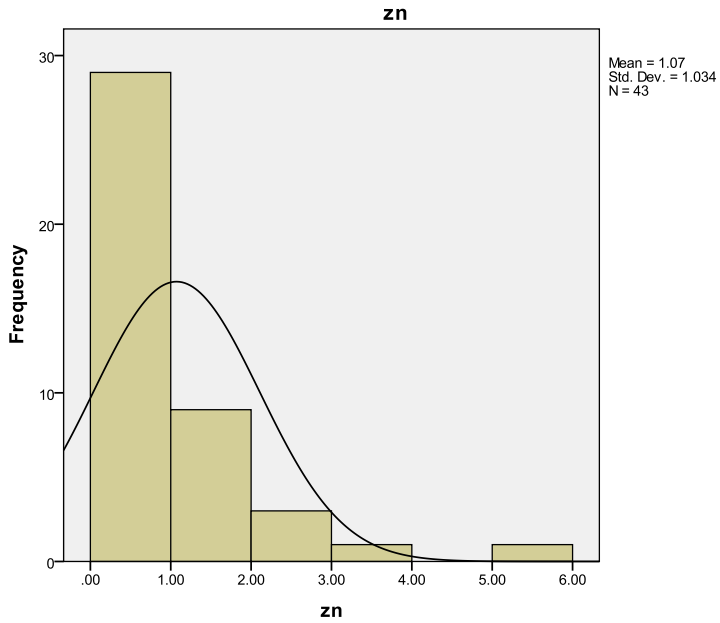
نتایج پایگاه‌های مطالعاتی در عمق ۳۰-۰ سانتیمتر

غلظت فسفر قابل جذب خاک در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری از حداکثر ۴۸/۸ تا حداقل ۳/۰۷ میلی‌گرم درکیلوگرم متغییر بوده و میانگین آن به میزان ۱۴/۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است. غلظت پتاسیم قابل جذب خاک نیز از حداکثر ۷۶۴ تا حداقل ۷۲ میلی-گرم درکیلوگرم متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۲۷۹/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم است. مقدار کربن آلی خاک از حداکثر۳/۶۱ درصد تا حداقل ۰/۳۹ درصد متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۱/۲۸ درصد است. مقدار رس خاک از حداکثر ۵۵ درصد تا حداقل ۱۸درصد متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۳۳/۳ درصد است.

مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری از حداکثر ۱/۶۸ گرم بر سانتیمتر مکعب تا حداقل ۱/۱۹ گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۱/۴۶ گرم بر سانتیمتر مکعب است.

همچنین pH خاک در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری ۱۶۹ از حداکثر ۷/۹ تا حداقل ۷/۲ متغییر بوده و میانگین آن ۷/۶۸ است(نمودار ۶). ۵۰ درصد نمونه ها دارای pH بیشتر از ۷/۷ می‌باشند. EC خاک نیز از حداکثر ۳/۱۸ تا حداقل۰/۱۳ mmohos/cm متغیر بوده و میانگین آن ۰/۸۱۴mmohos/cm است.

غلظت روی قابل جذب خاک در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری از حداکثر ۵/۸۲ تا حداقل ۰/۳۲ میلی‌گرم درکیلوگرم متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۱/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم است. همچنین نتایج حاکی از آن است که ۵۰ درصد از نمونه ها دارای مقادیر روی بیشتر از ۰/۷۴ میلی گرم بر کیلو گرم می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲- فراوانی روی در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری خاک

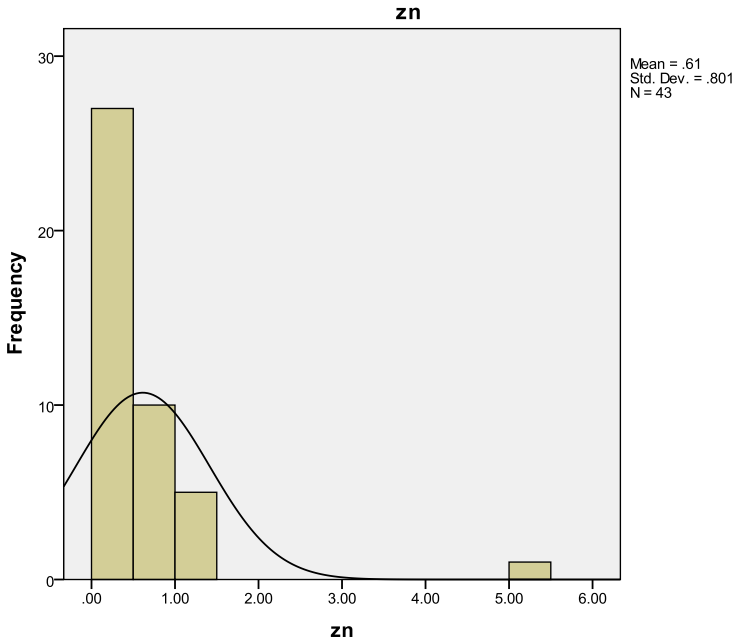
نتایج پایگاه‌های مطالعاتی در عمق ۶۰-۳۰ سانتیمتر

غلظت فسفر قابل جذب خاک در عمق ۶۰-۳۰ سانتیمتری از حداکثر ۱۹/۹۳ تا حداقل ۱/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۴/۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم است. غلظت پتاسیم قابل جذب خاک از حداکثر ۴۲۸ تا حداقل ۵۷ میلی‌گرم درکیلوگرم متغییر بوده و میانگین آن به میزان ۱۸۴/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم است. همچنین نتایج حاکی از آن است که ۵۰ درصد از نمونه ها دارای مقادیر پتاسیم بیشتر از۱۵۱ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشند. مقدار کربن آلی خاک از حداکثر۱/۹۱ درصد تا حداقل ۰/۲ درصد متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۰/۶۸ درصد است.

مقدار رس خاک در عمق ۶۰-۳۰ سانتیمتری از حداکثر ۵۳ درصد تا حداقل ۱۴درصد متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۳۶/۳۵ درصد است. همچنین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک از حداکثر ۱/۷۸ گرم بر سانتیمتر مکعب تا حداقل ۱/۳گرم بر سانتیمتر مکعب متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۱/۵۸ گرم بر سانتیمتر مکعب است.

pH خاک در عمق ۶۰-۳۰ سانتیمتری از حداکثر ۸ تا حداق۷/۲ متغییر بوده و میانگین آن ۷/۷۵ است. این در حالی است که EC خاک از حداکثر ۳/۱۷ تا حداقل ۰/۲۹ mmohos/cm متغیر بوده و میانگین آن ۰/۵۵ mmohos/cm است.

غلظت روی قابل جذب خاک در عمق ۶۰-۳۰ سانتیمتری از حداکثر ۵/۳ تا حداقل ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بوده و میانگین آن به میزان ۰/۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است. همچنین نتایج حاکی از آن است که ۵۰ درصد از نمونه ها دارای مقادیر روی بیشتر از ۰/۴۴ میلی گرم بر کیلوگرم می‌باشند (شکل ۳).



شکل ۳- فراوانی روی در عمق ۶۰-۳۰ سانتیمتری خاک

جدول ۱-نتایج برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

	Sand %	Silt %	Clay %	K ppm	P ppm	W g/cm3	N%	OC%
حداقل	۱۰	۲۰	۱۶	۶۲/۷	۱/۶	۱/۲	۰	۰/۳
حداکثر	۶۴	۵۹	۵۵	۳۸۶/۶	۴۴/۷	۲	۰/۲	۳
میانگین	۲۵/۵	۴۱/۳	۳۳/۲	۲۱۰/۱	۱۱/۶	۱/۷	۰/۱	۱/۲
انحراف معیار	۱۱/۲	۷/۵	۹/۸	۹۱/۴	۹/۵	۰/۲	۰	۰/۶

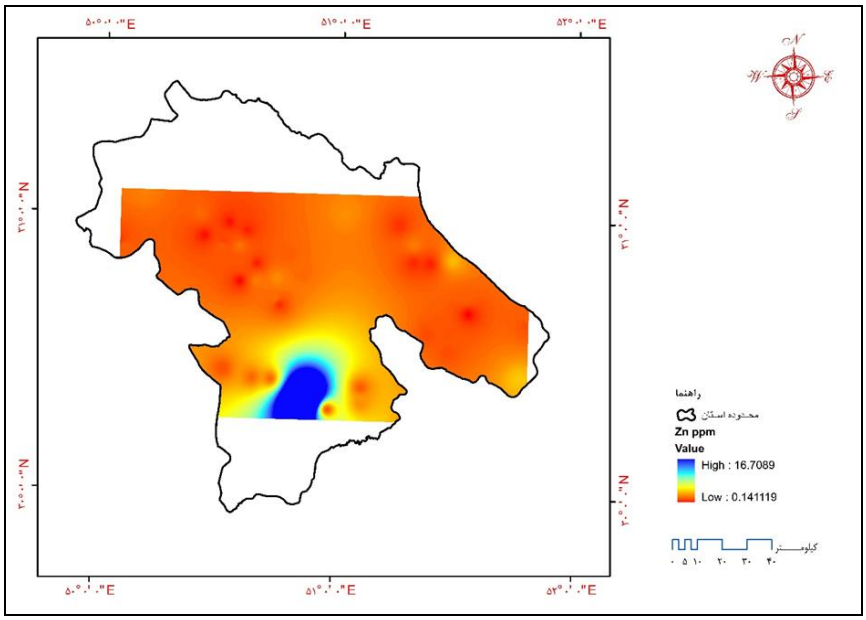
ادامه جدول ۱-نتایج برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

	Ec mmhos/cm	sp %	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	Fe ppm	SAR	Na me/l	Mg me/l
حداقل	۰/۳	۳۰	۳/۳	۰/۴	۰/۱	۲/۹	۰/۲	۰/۴	۰/۸
حداکثر	۳	۶۰	۳۴/۲	۲/۶	۱۶/۷	۵۰/۴	۱	۴/۱	۱۵/۲
میانگین	۰/۷	۴۴/۶	۱۶/۴	۱/۱	۰/۸	۱۲/۹	۰/۴	۰/۹	۳/۲
انحراف معیار	۰/۶	۸/۲	۷/۹	۰/۶	۲/۵	۹/۲	۰/۲	۰/۶	۲/۹

ادامه جدول ۱-نتایج برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

	Ca me/l	Ca+Mg me/l	Cl me/l	HCO3 me/l	SO4-- me/l
حداقل	۲	۳/۲	۰/۵	۳	۰/۵

حداکثر	۲۴	۳۶	۴/۵	۱۳/۵	۲۹
میانگین	۵/۴	۸/۵	۱/۷	۶/۲	۳
انحراف معیار	۴/۳	۷/۱	۰/۹	۱/۸	۵/۸



شکل ۴-نقشه میزان روی در استان کهگیلویه و بویراحمد

یافته‌های جدید و مهم باید با یافته‌های موجود در منابع مقایسه شود و دلایل قبول و رد آنها مورد بحث قرار گیرد. در پایان موارد کاربردهای عملی و تئوری نتایج حاصل از تحقیق و نتیجه کلی پژوهش ارایه گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که تغییرات ماده آلی به صورتی است که از شرق به غرب استان با خشک تر شدن اقلیم و کاهش میزان پوشش گیاهی، میزان مواد آلی نیز کاهش می‌یابد. تغییرات میزان شوری در بین پایگاه‌های مطالعاتی نیز نشان داد که میزان شوری نیز از شرق به غرب افزایش می‌یابد و در مناطق گرمسیری استان به علت بالا بودن میزان تبخیر و ترسیب املاح نمک، میزان شوری نسبت به مناطق سردسیری استان بیشتر بوده است. تغییرات میزان عناصر غذایی از جمله نیتروژن نیز بصورت نامنظم بوده است و مقادیر کم نیتروژن در بعضی از مناطق استان مشاهده گردیده است. تغییرات میزان فسفر و پتاسیم بصورتی است که از شرق به غرب استان کاهش پیدا کرده است و تغییرات آنها بصورت تغییرات ماده آلی بوده است. تغییرات روی نامنظم بوده و در بعضی مناطق مشاهده گردیده است. تغییرات منگنز نیز تا حدودی مشابه روی بوده است بطوریکه در مناطق گرمسیری میزان روی و منگنز نسبت به مناطق سردسیری کاهش پیدا کرده است. هم چنین تغییرات pH خاک نیز نامنظم بوده است.

نتایج آنالیز مقایسه میانگین های فاکتورهای اندازه گیری شده در اعماق اول و دوم نشان داد که بین میزان سیلت، فسفر، پتاسیم، نیتروژن، کربن، شوری، مس، روی و آهن اختلاف معنی داری وجود دارد در حالیکه بین دیگر فاکتورها در اعماق مذکور اختلاف معنی داری مشاهده نگردید

فهرست منابع

یوسفی م، شریعتمداری، ح.، حاج عباسی، م.ع. ۱۳۸۶. اندازه‌گیری برخی از ذخایر کربن آلی در دسترس به عنوان شاخص کیفیت خاک. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). دوره ۱۱ , شماره ۴۲ (ب): ۴۲۹ - ۴۳۹.

sink, E. R. V., & Postma, S. (2000). Provincial soil-quality monitoring networks in the Netherlands as an instrument for environmental protection. Netherlands Journal of Geosciences, 79(4), 429-440.

Chaum, S., Pokasombat, Y., and Kirdmanee, C. 2011. Remediation of salt-affected soil by gypsum and farmyard manure importance for the production of Jasmine rice. Aust. J. Crop Sci. 5: 458-465.

Johnson, D., Leake, J. R., Ostle, N., Ineson, P., & Read, D. J. (2002). In situ13CO2 pulse- labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. New Phytologist, 153(2), 327-334.

Juang, K. W., & Lee, D. Y. (2000). *Comparison of three nonparametric kriging methods for delineating heavy- metal contaminated soils* (Vol. 29, No. 1, pp. 197-205). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.

Lutz, H. J. and Chandler, R. F., Jr. (1946) "Forest Soils", 514 pp. New York: John Wiley.

Schoenholtz, SH. Van Miegroet, H. and Burger, JA. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. Forest Ecology and Management, 138(1). 335-356.

Shahabinejad H. (2013). Assessing the residual effects of fire on water infiltration, soil erodibility and shear strength in Fereydan rangelands. MSC thesis for Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.

Vieira, S. R. and Paz Gonzalez. A. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. Bragantia, Campinas, 62: 127-138.

Winder, J. (2003). Soil quality monitoring programs: A literature review. AESA.

Monitoring of some physical and chemical properties of agricultural soils in Kohgiluyeh & BoyerAhmad province

Mohammad Reza Chakeralhosseini[1], Iman Saleh[2] and Majid Khazaei[2]

1-Assistant Professor Crop and Horticulture Department, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran.

2- Assistant Professor Forests, Rangelands and Watershed Management Research Department, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran.

Abstract

Soil quality is considered as an important part of resource sustainability in the environment that has always been affected by human activities. Physical and chemical indexs used to soil quality evaluation. In order to study the physical and chemical properties of agricultural soils, this project was implemented in more than 44 study sites in Kohgiluyeh & BoyerAhmad provinces. So that the field sites were selected based on area under crops cultivation, horticulture and fallow areas, soil, geology maps and expert information. From each site, 1 kg was prepared from two depths of 0-30 and 30-60 cm for arable lands and three samples from 0-30, 30-60 and 60-90 cm depths for orchards. After drying and preparation, chemical parameters including total nitrogen, phosphorus, potassium, iron, copper, zinc, boron, manganese, magnesium, gypsum, lime, sodium, carbonate, bicarbonate and chlorine were measured. The results showed that the changes trend in organic matter from east to west decreased. Changes in salinity among sites also showed that salinity from east to west and increased.

Keywords: Chemical changes, physical changes, monitoring, soil quality

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و تناسب اراضی برای کشت آبی درختان خرما و عناب در منطقه لیگ، استان ایلام

محمود رستمی نیا[۱]، علی چابک[۲]، علی فاضلی[۳]، اصغر رحمانی[۴]، سید روح اله موسوی[۴]

۱- استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام (m.rostaminya@Ilam.ac.ir)

۲- کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۳- کارشناس ارشد خاکشناسی و کارشناس سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام

۴- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، تهیه نقشه خاک و تناسب اراضی دشت لیگ در استان ایلام برای کشت درختان خرما و عناب است. به این منظور ۱۱ خاکرخ مشاهداتی حفر، تشریح، نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک تعیین شد. نتایج تجزیه خاک‌ها نشان داد میانگین مقدار pH در خاک سطحی برابر ۷/۲ و در افق‌های زیرین به حدود ۷/۸ نیز می‌رسد و روند افزایشی را با عمق نشان داد. درصد کربن آلی خاک سطحی عموماً کمتر از ۱ درصد می‌باشد. شوری (EC) همه خاک‌ها کمتر از ۴ds/m و در افق‌های گچی EC بیش از ۲ و کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر است. در خاکرخ‌های گچی میزان آهک سطحی از زیرسطحی بیشتر ولی در خاکرخ ۲ میزان آهک افق سطحی کمتر از زیرسطحی است. میزان گچ در خاکرخ ۱۰ از سطح به عمق افزایش ولی در خاکرخ ۵ از سطح به عمق کم می‌شود.. شدت نفوذپذیری سطحی در همه خاک‌ها در کلاس خیلی سریع می‌باشد. افق‌های مشخصه زیرسطحی کلسیک و جیپسیک و خاک‌ها در رده "Inceptisols" قرار دارند. بر اساس نتایج روش پارامتریک، ارزیابی اقلیم منطقه برای کاشت درختان خرما و عناب دارای تناسب مناسب (S1) است. محدودیت‌های خاک برای کاشت، درصد بالای گچ، سنگریزه آهک معادل و مقدار کم کربن آلی می‌باشد. به‌طورکلی زیرکلاس نهایی تناسب اراضی موردمطالعه برای کشت آبی خرما S3s و S2s و عناب S3s و N2st است که بر اساس این نتایج، کشت خرما نسبت به عناب به دلیل کلاس تناسب بالاتر، در نظام الگوی کشت منطقه توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: جیپسیک، خرما، روش پارامتریک، محدودیت خاک

مقدمه

به دلیل عدم شناخت کافی کاربران از پتانسیل زمین و خاک و برخی مشکلات زیربنایی، بیش از ۶۰ درصد از اراضی کشاورزی در ایران ازنظر حاصلخیزی فقیر بوده و نیازمند توجه جدی می‌باشند. این امر به‌نوبه خود استفاده صحیح و مدیریت منابع آب‌وخاک محدود در کشور را به‌عنوان یکی از عمده‌ترین مسائل کشاورزی ایران بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد (اصغر زاده و همکاران، ۱۳۸۳). بر همین اساس، منابع اراضی و ارزیابی تناسب آن در راستای توسعه پایدار، نقش اصلی را در اثرگذاری سیاست‌های مدیریت اراضی و برنامه‌ریزی خواهند داشت (Coyle *et al*. 2016)؛ بنابراین در چهارچوب توسعه پایدار، برای انجام فعالیت‌های کشاورزی و باغداری با نگاه سودآوری پایدار و رعایت موارد زیست‌محیطی، لازم است منابع اراضی و خاک، موردمطالعه و بررسی قرار گیرند تا با توجه به آن‌ها، بتوان در مورد نوع کاربری موردنظر، نگهداری و مدیریت پایدار و اقتصادی آن تصمیم‌های مناسبی اتخاذ کرد که این روند در حوزه ارزیابی تناسب اراضی قرار دارد. یکی از مهم‌ترین اهداف ارزیابی اراضی، پیش‌بینی نتیجهٔ تغییرات در نوع استفاده از اراضی یا نحوهٔ مدیریت اراضی است (Mousavi *et* al. 2017؛ مروج و همکاران، ۱۳۹۷). تناسب اراضی شامل فرایند بررسی و گروه‌بندی واحدهای مختلف اراضی ازنظر مناسب بودن آن‌ها با توجه به تیپ‌های بهره‌وری موردنظر است (Martin and Saha, 2009). پژوهشگران درزمینه‌ی ارزیابی تناسب اراضی به‌منظور استفاده‌ی بهینه و پایدار و نیز بررسی جنبه‌های فیزیکی و اقتصادی، تلاش

کرده‌اند شـناخت بهتری از ویژگی‌های اراضـی و عوامل اقلیمی و محیطی تأثیرگذار بر آن پیدا کنند. مطالعات Sulieman et al. (2015)در کشـور سـودان برای کشت گیاهان زراعی و درختان میوه، شامل نخل خرما، انگور و مرکبات نشان داد که اقلیم منطقه برای کاشـت این گیاهان مناسب است. توپوگرافی، زهکشی و خصوصیات خاک از عوامل محدودکننده برای کشت گیاهان زراعی و درختان میوه محسـوب می‌شـوند. کلاس تناسب اراضی این منطقه برای کاشت نخل خرما، متوسط و برای کاشت انگور و مرکبات، بحرانی به دست آمد. طی مطالعه‌ای در کشور مصر، Belal and Al-Ashri (2011) اقدام به ارزیابی تناسب اراضی به روش فائو برای کاشت درختان میوه چندساله شامل نخل خرما، زیتون، انجیر و مرکبات نمودند. نتایج ایشان نشان داد که اغلب اراضی موردمطالعه برای کاشت درخت خرما، زیتون و انجیر در کلاس‌های تناسب، مناسب (S1) تا نسبتاً مناسب (S2) و برای کشت مرکبات در کلاس نامناسـب (N) طبقه‌بندی می‌شـوند. در این تحقیق، ویژگی‌های بافت، شـوری و میزان کربنات کلسیم معادل خاک مهم‌ترین عوامل محدودکننده بودند. رسـتمی نیا و همکاران (۱۳۹۸) ارزیابی تناسـب اراضـی دشت سیروان را برای محصولات زرشک و پسته انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که دشت سیروان برای کاشت زعفران دارای تناسب مناسب (S1) و متوسط (S2) و برای درخت پسته داری تناسب متوسط و بحرانی (S2 و S3) است. با انجام چنین تحقیقاتی می‌توان بهترین کاربری خاص را با توجه به شرایط محیطی منطقه (اقلیم، خاک و زمین‌نما) تعیین و اقدام به کشـت آن‌ها با رعایت نکات علمی، اقتصـادی و در سـطح مدیریتی بالا نمود. لذا، این تحقیق با اهداف شـناسایی انواع خاک‌های منطقه و تهیه نقشه آن، ارزیابی تناسب اراضی منطقه موردمطالعه برای دو محصـول باغی خرما و عناب در بخشـی از اراضی دشت لیگ در استان ایلام به‌منظور توسعه و احداث باغ با سیستم آبیاری قطره‌ای صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

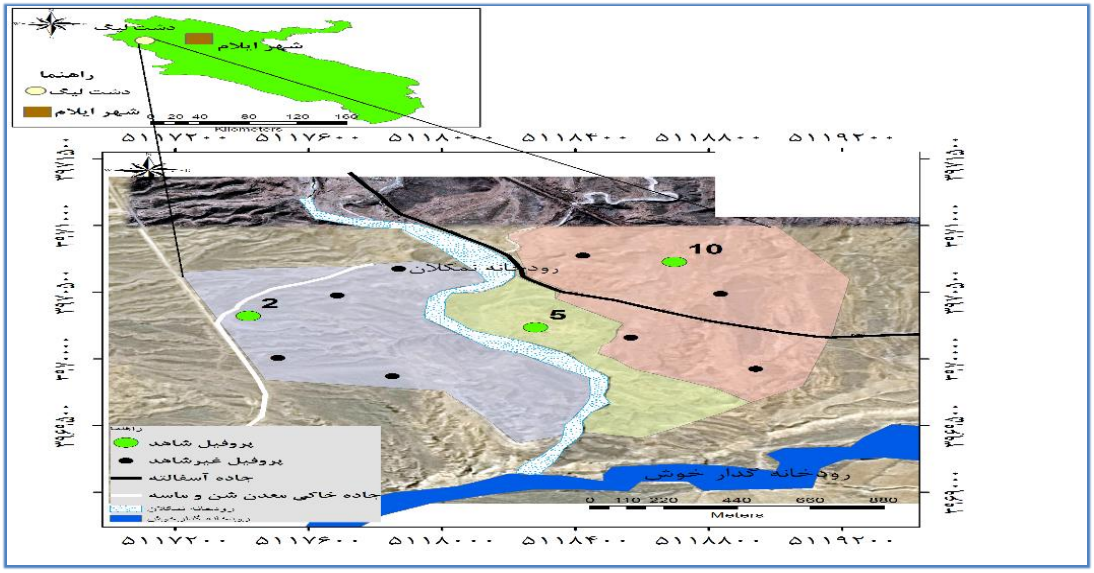
منطقه موردمطالعه لیگ در ناحیه جنوب غربی کشور، در استان ایلام، با ۱۶۰ هکتار مساحت در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی ۳۷۱۳۳۵۶ تا ۳۷۱۴۷۲۸ متر و طول ۵۸۹۷۸۷ تا ۵۹۱۵۶۰ متر قرار دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط محدوده اراضی از سطح دریای آزاد حدود ۳۵۰ متر است. در منطقه موردمطالعه میانگین بارندگی سالانه ۳۰۹/۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۳/۱ و متوسط بیشینه و کمینه دمای سالانه به ترتیب ۳۰/۱ و ۱۶ درجه سانتی‌گراد است. سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه عبارت‌اند از: سازند آهکی آسماری، سازند گچساران و نهشته‌های آبرفتی کواترنری. بر اساس نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران (بنایی، ۱۳۷۷) منطقه یادشده دارای رژیم رطوبتی یوستیک[۱] و رژیم حرارتی هایپرترمیک[۲] می‌باشد. پس از انجام بازدیدها و مطالعات میدانی و بررسی‌های صحرایی، درمجموع ۱۱ خاکرخ حفر و پس از رده‌بندی خاک‌ها در سطح مدیریتی فاز فامیل سه خاکرخ به‌عنوان شاهد انتخاب شد. خصوصیات خاک شامل pH خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد آهک، درصد گچ، کربن آلی و کلاس بافت خاک بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. شدت نفوذپذیری سطحی خاک با استفاده از رینگ‌های مضاعف و بر اساس روش استاندارد ملی، تعیین گردید (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۰). بر اساس اطلاعات مورفولوژیک و نتایج آزمایشگاهی، رده‌بندی خاک‌ها بر اساس سامانه آمریکائی (Soil Survey Staff, 2014) انجام شد.

ارزیابی تناسب اراضی به روش پارامتریک (ریشه دوم) اصلاح‌شده انجام گردید. در این روش ابتدا شاخص و درجه اقلیمی محاسبه و سپس از طریق مقایسه خصوصیات اراضی با نیازهای تیپ‌های بهره‌وری از اراضی، کلاس تناسب کیفی اراضی به روش پارامتریک (ریشه دوم) تعیین می‌شود و با استفاده از درجات اختصاص داده‌شده به هر خصوصیت از معادله ۱ شاخص اراضی به دست می‌آید:

$$I = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \ldots}$$ معادله (۱)

۱. Ustic
۲. Hyperthermic

در این معادله: I = شاخص اراضی، R_{min}= کمترین درجه بین تمام خصوصیات A، B، C و... سایر درجات می‌باشند. با استفاده از شاخص محاسبه‌شده، کلاس تناسب طبق جدول ۱ تعیین می‌شود.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه در استان ایلام به همراه تصویر ماهواره‌ای Google earth از اراضی

جدول ۱- مقادیر عددی شاخص اراضی برای کلاس‌های مختلف تناسب اراضی (Sys *et al*. 1999)

شاخص اراضی	کلاس تناسب	
	علامت	تعریف
۱۰۰-۷۵	S1	مناسب
۷۵-۵۰	S2	نسبتاً مناسب
۵۰-۲۵	S3	تناسب کم
۱۲/۲۵-۵	N1	نامناسب کنونی
۱۲-۰/۵	N2	نامناسب دائمی

نتایج و بحث

نتایج مربوط به برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول (۲) ارائه گردیده است. خاک‌های اراضی منطقه ازلحاظ مورفولوژیکی شامل اراضی با تکامل خاکرخی کم که عمدتاً بر روی تیپ‌های اراضی فلات و تراس بالایی رودخانه و سنگریزه دار (بیش از ۹۰٪) تشکیل‌شده و سایر اراضی دارای خاکی با عمق متوسط و لایه محدودکننده گچی و مارن با پوشش گیاهان مرتعی می‌باشند. افق مشخصه سطحی خاک‌ها اُکریک و افق‌های مشخصه زیرسطحی شامل جیپسیک و کلسیک می‌باشد. بر اساس رده‌بندی آمریکایی، خاک‌ها به رده اینسپتی‌سولز (Inceptisols) تعلق می‌گیرند. در سطح زیررده خاک‌ها به دلیل دارا بودن شرایط رژیم رطوبتی یوستیک به زیررده‌Ustepts و گروه بزرگ Haplustepts و با توجه به وجود گچ و آهک به زیرگروه‌های Gypsic و Calcic تعلق دارند. کلاس بافتی خاک‌ها عمدتاً لوم شنی (Sandy Loam) که عموم خاک‌ها ازنظر بافتی سبک با درصد بالای شن (بیش از ۵۰ درصد) می‌باشند. از نظر شدت نفوذپذیری سطحی، اراضی موردمطالعه به دودسته تقسیم‌بندی می‌شوند: اراضی واریزه‌ای سنگریزه دار در کلاس خیلی سریع (۱۲/۲۱ سانتیمتر در ساعت، خاکرخ ۲) و اراضی گچی در کلاس خیلی سریع (۲۰/۸۱ سانتیمتر در ساعت، خاکرخ‌های ۵ و

۱۰). شوری (EC) همه خاک‌ها کمتر از ۴ds/m و جزو خاک‌های فاقد محدودیت شوری محسوب می‌شوند، در افق‌های گچی EC بیش از ۲ و کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر است (FAO 62, 1990).

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی و رده‌بندی خاکرخ‌های شاهد در منطقه دشت لیگ

افق	ضخامت (cm)	کلاس بافت	EC (ds/m)	pH_{paste}	آهک	کربن آلی	گچ	سنگریزه
					(%)			
Coarse-loamy, Mixed, Active, Hyperthermic, Calcic Haplustepts خاکرخ شاهد ۲								
A	۰ -۱۰	gravelly SL	۰/۳۴۶	۶/۷۳	۱۵/۲۵	۱/۷۹	-	۳۰
BC	۱۰ -۶۰	extremely gravelly SL	۰/۱۵۵	۷/۷۸	۱۷/۷۵	۰/۰۵۸	-	۶۵
2BCk	۶۰ -۱۰۰	Very gravelly SL	۰/۲۲۸	۷/۶۶	۲۲/۲۵	۰	-	۵۰
C	۱۵۰-۱۰۰	Gravel	-	-	-	-	-	+۹۰
Coarse-silty, Mixed, Active, Hyperthermic, Gypsic Haplustepts خاکرخ شاهد ۵								
Ay	۰ -۱۵	SL	۲/۱۱	۷/۱۳	۴۱/۷۵	۰/۵۸۵	۲۵/۷۴	-
By	۱۵ -۵۰	SL	۱/۳۰	۷/۵۲	۲۹/۲۵	۰/۱۵۶	۶/۹۱	-
Bw_1	۵۰ -۱۱۰	SL	۰/۱۲۹	۸/۱۳	۲۷/۲۵	۰/۱۱۷	-	-
Bw_2	۱۱۰ -۱۵۰	SL	۰/۱۲۰	۸/۱۵	۲۷	۰/۱	-	-
Coarse-gypseous, Hypergypsic, Hyperthermic, Gypsic Haplustepts خاکرخ شاهد ۱۰								
Ay	۰ -۲۰	SL	۲/۴۶	۷/۶۹	۳۴/۵	۰/۹۹۴	۲۱/۰۷	۵
By_1	۲۰ -۵۰	SL	۲/۵۴	۷/۶۴	۶/۷۵	۰/۰۷۸	۴۴/۶۰	-
By_2	۵۰ -۸۰	SL	۲/۲۵	۷/۷۱	۵/۷۵	۰/۲۱۴	۴۶/۶۰	-
Cy	۱۵۰-۸۰	-	-	-	-	-	-	-

متوسط pH خاک‌های سطحی ۷/۲ که در لایه‌های زیرین به ۸/۱۵ نیز می‌رسد که نشاند دهنده افزایش از سطح به عمق است. pH در افق سطحی خاکرخ شماره ۲ کمتر از ۷ اما در خاکرخ‌های ۵ و ۱۰ بیشتر از ۷ است. در افق سطحی خاکرخ شاهد ۲، مقادیر کربن آلی بالاتری نسبت به خاکرخ‌های ۵ و ۱۰ مشاهده گردید. بین ماده آلی و pH خاک همبستگی منفی و معنی‌دار وجود دارد که با افزایش ماده آلی، مقدار و فشار گاز دی‌اُکسیدکربن حاصل از تجزیه مواد آلی افزایش می‌یابد که خود سبب کاهش pH می‌شود (Sheklabadi *et al.* 2007). در خاکرخ‌های ۵ و ۱۰ میزان آهک سطحی از زیرسطحی بیشتر ولی در خاکرخ ۲ میزان آهک افق سطحی کمتر از زیرسطحی است. میزان گچ در خاکرخ ۱۰ از سطح به عمق افزایش ولی در خاکرخ ۵ از سطح به عمق کم می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضخامت و عمق تشکیل افق جیپسیک شدیداً تحت تأثیر فیزیوگرافی و پستی بلندی است. در مناطق پست، معمولاً عمق تشکیل ایـــن افـق پایین‌تر، یکنواختی و ضخامت آن بیشـــتر است. ولی در مناطق مرتفع‌تر افق جیپسیک معمولاً نزدیک سطح زمین تشکیل می‌شود. درصد کربن آلی خاک سطحی عموماً کمتر از ۱ درصد بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. مقدار کربن آلی تا حد زیادی وابسته به نوع اقلیم منطقه است و با توجه به اقلیم گرم و خشک منطقه موردمطالعه میزان کربن آلی پایین است. اقلیم به‌ویژه بارندگی و دما تعیین‌کننده میزان کربن آلی افق‌های سطحی است (Norman *et al.* 2016).

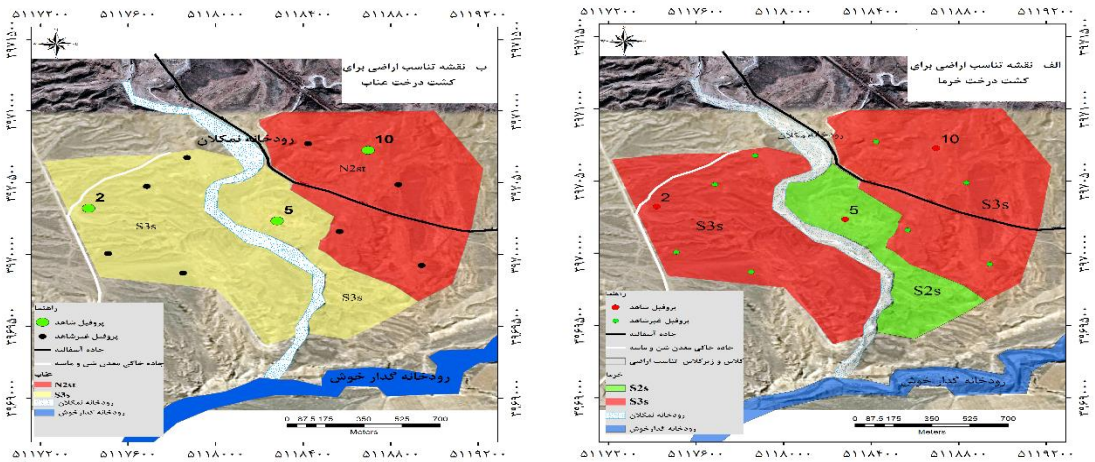
در جدول ۳ درجه هر یک از خصوصیات خاک و اقلیم و زیر کلاس تناسب اراضی منطقه لیگ برای کاشت خرما و عناب و در شکل ۲ نقشه تناسب این دو محصول ارائه‌شده است. اقلیم منطقه برای کاشت آبی خرما و عناب دارای کلاس تناسب مناسب (S1) با درجه ۹۹/۹ و ۹۴ است و خصوصیت اقلیمی محدودکننده‌ای برای کشت آبی این محصولات در منطقه مشاهده نمی‌شود. ارزیابی خصوصیات خاک‌نشان می‌دهد که محدودیت‌های خاک برای کاشت خرما درصد بالای گچ و سنگریزه است و برای عناب در منطقه

به ترتیب اولویت عبارت‌اند از: درصد بالای گچ و سنگریزه، درصد بالای آهک معادل و درصد پایین کربن آلی. کلاس نهایی تناسب برای خرما S3 و S2 (تناسب کم و نسبتاً مناسب) و برای عناب S3 و N2 (تناسب کم و نامناسب دائمی) است.

جدول ۳- درجه هر یک از خصوصیات خاک و اقلیم و زیر کلاس تناسب اراضی منطقه لیگ برای کاشت خرما و عناب

نوع محصول	شماره خاکرخ	واحد خاک	بافت	عمق خاک (cm)	سنگریزه ٪	شیب٪	آهک ٪	pH	کربن آلی٪	گچ٪	درجه تناسب اقلیمی	شاخص اراضی	زیرکلاس تناسب
خرما	۲	۱	۹۷/۵	۶۰	۵۱	۸۰	۹۸/۶۹	۹۵/۷	۸۸	-	۹۹/۹	۳۱/۷۴	S3s
	۵	۲	۹۷/۵	۹۵	۱۰۰	_	۹۱/۱۵	۹۵/۹	۶۰	۵۸/۷۵	۹۹/۹	۵۱/۸۵	S2s
	۱۰	۳	۹۷/۵	۲۰	۹۵	-	۸۷/۶۹	۸۹	۹۲	۴۷/۵	۹۹/۹	۲۵/۶۰	S3s
عناب	۲	۱	۹۷/۵	۸۸/۳۳	۲۵/۵	۶۰	۹۲/۷	۸۹/۶۶	۷۶/۵	-	۹۴	۳۵/۱۴	S3s
	۵	۲	۹۷/۵	۱۰۰	۱۰۰	_	۸۵/۶۶	۹۱	۷۶	۳۲/۵	۹۴	۳۰/۷۵	S3s
	۱۰	۳	۹۷/۵	۲۰	۹۷/۵	-	۴۳	۸۰/۲۵	۸۴/۶۵	۲۱	۹۴	۴	N2st

دیالمی و همکاران (۱۳۹۷) به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی به روش پارامتریک در منطقه دشتستان استان بوشهر برای محصول خرمای کبکاب پژوهشی را انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که کلاس تناسب اراضی برای این محصول S3 (تناسب کم) و N (نامناسب) به دست آمد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. وحیدی (۱۳۹۹) برای محصولات عناب و زرشک در منطقه القورات بیرجند تناسب اراضی را به روش پارامتریک انجام داد و به این نتیجه رسید که برای هر دو نوع تیپ بهره‌وری زرشک و عناب، ۱۳/۱۲ درصد اراضی موردمطالعه در کلاس S1، ۳۰/۵۵ درصد در کلاس S2 و ۲۱/۲۵ درصد در کلاس S3 قرار دارند. همچنین ۲۲/۵۲ درصد اراضی برای زرشک و ۲۸ درصد اراضی برای عناب کلاس N1 و ۱۲/۵۶ درصد اراضی برای زرشک و ۷/۰۸ درصد اراضی برای عناب کلاس N2 دارند که با پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شکل ۲- نقشه زیرکلاس‌های تناسب اراضی منطقه موردمطالعه برای کاشت خرما و عناب

نتیجه‌گیری

کلاس بافتی همه خاک‌ها لوم شنی (Sandy Loam) و در برخی افق‌ها لوم شنی سنگریزه دار می‌باشند که از نظر بافتی سبک با درصد نسبتاً بالای شن می‌باشند. شدت نفوذپذیری سطحی در همه خاک‌ها در کلاس خیلی سریع می‌باشد. pH سطحی همه خاک‌ها متوسط ۷/۲ و در لایه‌های زیرین به حدود ۷/۸ نیز می‌رسد. شوری همه خاک‌ها کمتر از ۴ds/m که همه جزو خاک‌های غیر شور محسوب می‌شوند، شوری (EC) همه خاک‌ها کمتر از ۴ds/m و جزو خاک‌های فاقد محدودیت شوری محسوب می‌شوند، در افق‌های گچی EC بیش از ۲ و کمتر از ۳ دسی‌زیمنس بر متر است. خاک‌ها از نظر ماده آلی ضعیف و درصد کربن آلی خاک سطحی عموماً کمتر از ۱ درصد بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. در خاکرخ‌های ۵ و ۱۰ میزان آهک سطحی از زیرسطحی بیشتر ولی در خاکرخ ۲ میزان آهک افق سطحی کمتر از زیرسطحی است. میزان گچ در خاکرخ ۱۰ از سطح به عمق افزایش ولی در خاکرخ ۵ از سطح به عمق کم می‌شود. در واحد ۳ نقشه خاک با خاکرخ شاهد ۱۰، درصد گچ به ۴۰ درصد و بیشتر می‌رسد که جزو خاک‌های گچی محسوب می‌شوند. رژیم رطوبتی منطقه موردمطالعه Ustic و رژیم حرارتی Hyperthermic است. افق مشخصه سطحی اُکریک و افق‌های مشخصه زیرسطحی جیپسیک و کلسیک می‌باشد. بر اساس سیستم رده‌بندی خاک آمریکایی خاک‌ها در رده Inceptisols رده‌بندی می‌شوند. مهم‌ترین محدودیت‌های خاک‌های منطقه موردمطالعه عبارت‌اند از: شیب بالا و توپوگرافی شدید اراضی، درصد بالای قطعات سنگی در افق‌های زیرین خاک، درصد وزنی بالای ۴۰ درصد گچ و بافت سبک شنی با بیش از ۵۰ درصد شن می‌باشند. اقلیم منطقه برای کاشت آبی خرما و عناب دارای کلاس تناسب مناسب (S1) است. به‌طورکلی کلاس نهایی تناسب اراضی برای خرما S3s و S2s و برای عناب S3s و N2st است که بر اساس این نتایج کشت محصولات آبی خرما به دلیل میزان محدودیت کمتر و تناسب بالاتر در منطقه توصیه می‌گردد و برای کشت محصول عناب لازم است قبل از کاشت محدودیت‌های قابل اصلاح اراضی برطرف و سپس بر اساس رعایت اصول فنی احداث باغ‌ها اقدام به کشت این محصولات گردد.

فهرست منابع

اصغر زاده، ا.، ملکوتی. م ج. بهرامی. ح ع. ابراهیمی. س. (۱۳۸۳). خاک‌های ایران: تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره‌برداری .چاپ اول. انتشارات سنا. ۴۹۱ ص.

امامی، ع. (۱۳۷۵). روش‌های تجزیه خاک. جلد ۱، انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب تهران (نشریه ۹۸۲)، صفحات ۳-۵۰.

بنایی، م ح. (۱۳۷۷). نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب کشور ایران.

دیالمی، ح، گیوی، ج. نادری خوراستگانی، م. (۱۳۹۷). مقایسه روش‌های پارامتریک و تحلیل سلسله مراتبی فازی به‌منظور ارزیابی تناسب اراضی منطقه دشتستان استان بوشهر برای کاشت نخل خرمای کبکاب. مجله مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) ۴۱ (۲). ۵۸-۴۵.

رستمی نیا، م، چابک، ع. فاضلی، ع. رحمانی، ا. (۱۳۸۹). ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات پسته و زعفران در شهرستان سیروان، استان ایلام. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها، (۱۳۸۰). دستورالعمل اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با روش استوانه. ۳۲ صفحه.

مروج، کامران، دلاور، م ا. نجفی، و. (۱۳۹۷). اهمیت استفاده از روش‌های نوین آبیاری در افزایش اشتغال‌زایی و توسعهٔ مناطق روستایی. فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی ۳۳ (۲). ۱۷۵-۱۹۰.

وحیدی، م ج. (۱۳۹۹). ارزیابی تناسب اراضی برای زرشک و عناب به روش پارامتریک و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حوضه القورات بیرجند. مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۵۱ (۱۰). ۲۶۶۵-۲۶۸۰.

Agriculture Organization of the United Nations. Soil Resources, Management, and Conservation Service. (1990). *Management of gypsiferous soils* (Vol. 62). Food & Agriculture Org.

Belal, A. A., Al-Ashri, K. M. A. (2011). GIS Based land evaluation in Baharyia oasis, western desert, Egypt. Mansoura University. *Journal of Soil Science and Agricultural Engineering*, 2 (1): 11 - 24.

Coyle, C., Creamer, R. E., Schulte, R. P., O'Sullivan, L., Jordan, P. (2016). A functional land management conceptual framework under soil drainage and land use scenarios. *Environmental Science & Policy*, 56: 39-48.

Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, Sh., Srinivasarao, C., and Wani, S.P. (2009). Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess derived soil in Golestan province, Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134: 178-189.

Martin, D., Saha, S. K. (2009). Land evaluation by integrating remote sensing and GIS for cropping system analysis in a watershed. *Current science*, 96(4), 569-575.

Mousavi, S., Sarmadian, F., Alijani, Z., and Taati, A. (2017). Land suitability evaluation for irrigating wheat by geopedological approach and geographic information system: A case study of Qazvin plain, Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, 6(3), 275-284.

Norman, C. R., Brye, K. R., Gbur, E. E., Chen, P., & Rupe, J. (2016). Long-term management effects on soil properties and yields in a wheat-soybean double-crop system in eastern Arkansas. *Soil Science*, 181(1), 1-12.

Sheklabadi, M., H. Khademi, M. Karimian Eghbal, &Nourbaksh, F. (2007). Effects of climate and long-term grazing exclusion on selected soil biological quality indicators in rangelands of central Zagros. *Journal of Water and Soil Science*, 11, 114-103.

Soil Survey Staff. (2014). Keys to soil taxonomy. 12th ed. USDA, NRCS. U.S. Gov. Print. Office, Washington DC.

Sulieman, M. M., Ibrahim, I.S., Elfaki, J. (2015). Land suitability characterization for crop and fruit production in some river Nile terraces. Khartoum, North Sudan. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(10): 1-5.

Sys C. Van ranst E. and Debaveye J. (1991). Land evaluation. Part I. Principles in land evaluation and crop production calculation, International training center for post graduate soil scientist. Ghent University, Ghent. 274 pp.

Investigation of physicochemical properties and land suitability for irrigated cultivation of date and jujube trees in League region, Ilam province

Mahmood Rostaminia[1], Ali Chabok[2] , Ali Fazeli[3], Asghar Rahmani[4], Sayed Roholla Mousavi[4]

1- Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ilam University, Iran
2- M. Sc., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ilam University, Iran
3- Master of Soil Science and Expert of Jihad Agricultural Organization of Ilam Province
4-P.h.D student of soil resource managmment Department, University of Tehran, Iran.

Abstract

The purpose of this study is to investigate the physicochemical, preparing the maps of soils and land suitability in Lig plain of Ilam province for irrigated date and jujube. In this regard, 11 soil profiles were dug, describe, sampled and soil physicochemical properties were determined. The results of soil analysis showed that the mean value of surface pH was 7.2 and in the subsoil reached close to 7.8 and it's increasing with depth. The SOC percentage in the topsoil is generally less than 1% and decreasing along with depth. EC of all soils is less than 4dS/m and in gypsum horizons EC is more than 2 and less than 3dS /m. In gypsum profiles the amount of lime in the topsoil is more than subsurface horizons, but in 2 profile the amount of lime in the surface horizon is less than subsurface. The amount of gypsum in soil 10 increases from surface to depth, but in soil 5 decreases from surface to depth. The intensity of surface permeability in all soils in the class is very rapid. Calcic, and gypsum subsurface diagnostic horizons were identified. According to the soil taxonomy, soils are classified as “Inceptisols” order. The climate of the region is highly suitable but the soil has severe limitations for planting datte with a high percentage of gypsum and coarse fragment, and for jujube including a high percentage of gypsum, coarse fragment, calcium carbonate equivalent, and low SOC content, respectively. In general, the final land suitability class is S3 and S2 for date and S3 and N2 for jujube, which according to these results, it is recommended that to planting Palm versus jujube in their cultivation schedule.

Keywords:Gypsic, Date, Parametric method, Soil limitation.

تاثیر سیستم ریشه‌ای گیاه بر پایداری ساختمان دو خاک با بافت متفاوت

الهام انتظامی[۱]، محمدرضا مصدقی[۲]، مهران شیروانی[۳] و بنفشه خلیلی[۴]
[۱] دانشجوی دکتری فیزیک خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۲] استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۳] دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۴] استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
El_E@mail.com

چکیده

پایداری ساختمان خاک از مهمترین و حیاتی‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک است که نقش مهمی در کیفیت فیزیکی خاک دارد. در این پژوهش اثر دو نوع سیستم ریشه‌ای متفاوت (گندم با ریشه افشان و گلرنگ با ریشه مستقیم) بر پایداری خاکدانه‌های دو خاک با بافت لوم شنی و شن لومی به وسیله شاخص درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WAS) و درصد رس قابل پراکنش (DC) بررسی شد. نتایج نشان داد فعالیت ریشه گیاهان باعث افزایش معنی‌دار WAS در سطح احتمال ۱ درصد شد و بیشترین مقدار پایداری ساختمان خاک مربوط به ریزوسفر گلرنگ بود که به ریشه مستقیم بسیار قوی و ریشه‌های جانبی متعدد آن می‌تواند مرتبط باشد. در رابطه با بافت نیز به علت مقدار رس بیشتر، WAS در خاک لوم شنی بیشتر بود که تفاوت آن با خاک شن لومی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقادیر DC در دو بافت خاک بررسی شده تفاوت معنی‌داری با خاک شاهد نشان داد اما در رابطه با حضور گیاه این تفاوت معنی‌دار نبود. در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حضور ریشه و بافت خاک اثر معنی‌داری بر پایداری ساختمان خاک داشت و اثر سیستم ریشه‌ای مستقیم (گلرنگ) بر پایداری ساختمان خاک بیشتر از سیستم ریشه‌ای افشان (گندم) بود.

واژه‌های کلیدی: ریشه گیاه، ریزوسفر، پایداری ساختمان خاک، رس قابل پراکنش، خاکدانه‌های پایدار در آب

مقدمه

پایداری ساختمان بیانگر توانایی حفظ پیوندهای تشکیل‌دهنده خاکدانه‌ها در برابر نیروها و تنش‌های خارجی بوده و از ویژگی‌های مهم فیزیکی و کیفیت خاک است که نقش مهمی در مقاومت خاک در برابر فرسایش و تخریب دارد. از بین رفتن ساختمان خاک و کاهش پایداری آن سبب کاهش نفوذپذیری می‌شود که خود عامل ایجاد رواناب و فرسایش است. شکستن خاکدانه‌ها با نیروی آب به علت خردشدن خاکدانه‌ها در اثر فشار هوای محبوس و در اثر انبساط و انقباض و یا ضربه قطرات باران رخ می‌دهد. مشکل ناپایداری ساختمان خاک به دلیل کمبود مواد آلی بیشتر دیده می‌شود و با وجود عوامل سیمانی‌کننده مانند رس و ماده آلی افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه بسیاری از فرآیندهای خاک تحت تاثیر ساختمان خاک هستند بنابراین وضعیت ساختمان خاک می‌تواند برای ارزیابی کارکرد خاک بکار رود (Rebot et al. (2018)). از عوامل موثر در تشکیل خاکدانه‌ها و ساختمان خاک می‌توان به وجود ذرات رس، مواد آلی ریشه گیاهان، ریسه قارچ‌ها، باکتری‌ها، اکسیدهای آهن و آلومنیوم ، چرخه‌های تر و خشک شدن و ذوب شدن و یخ زدن اشاره کرد.

ریزوسفر به دلیل ترشحات ریشه شامل اسیدهای آلی، پروتئین‌ها و آنزیم‌ها، همچنین برداشت آب و مواد غذایی، فعالیت‌های متابولیک ریزجانداران، محیطی با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک متفاوت نسبت به توده خاک بوده که از نظر تاثیر بر خاکدانه‌سازی و افزایش پایداری ساختمان خاک اهمیت دارد (Hosseini *et al*. (2015), Mamedov *et al*. (2020), Mamedov *et al*. (2014)). باتوجه به اینکه پژوهش‌های اندکی درباره تاثیر سیستم ریشه‌ای گیاهان بر پایداری ساختمان خاک‌های مختلف انجام شده است و باتوجه به اهمیت پایداری ساختمان خاک در حفاظت خاک و آب، هدف این پژوهش بررسی تاثیر سیستم ریشه‌ای متفاوت گیاه در دو بافت مختلف بر پایداری ساختمان خاک بود.

مواد و روش‌ها

دو خاک مورد بررسی از دو منطقه در ۱۴۸ کیلومتری شمال شرقی اصفهان و از مزارع بادرود و فمی انتخاب شدند به طوری که تفاوت عمده آنها بافت خاک بود. در پژوهش حاضر، ستون‌های PVC با قطر ۲۱/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر از دو خاک پر شده و دو گیاه گندم و گلرنگ در آنها کاشته شد و در شرایط گلخانه رشد داده شد. سیستم ریشه‌ای دو گیاه انتخابی تفاوت داشت به طوری که گندم دارای ریشه افشان بود که در بخش سطحی خاک رشد کرده و شبکه وسیعی را برای جذب آب و موادغذایی ایجاد می‌کنند ولی گلرنگ دارای ریشه مستقیم بسیار قوی، ریشه‌های جانبی متعدد و عمق ریشه‌دوانی زیاد بود. گیاهان پس از گذشت ۱۰۰ روز از زمان کاشت، برداشت شدند.

سپس از خاک ستون‌ها، نمونه‌های با حداقل تخریب خاکدانه‌ها از ناحیه ریزوسفر (چسبیده به ریشه‌ها) برای اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک به روش‌های تک-الک و رس قابل پراکنش تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده مانند بافت، pH و EC، درصد ماده آلی، و درصد کربنات کلسیم بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند Gee and Bauder (1986), Rhoades (1996), Leopper and Suarez (1996), Nelson, and Sormmers (1996)) که در جدول ۱ ارائه شده است. درصد رس قابل پراکنش (DC) به روش میکروپیپت (Burt *et al*. (1993)) و درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WAS) به روش تک-الک (Kemper and Rosenau (1986) اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده

بافت	رس	سیلت	شن	کربنات کلسیم	ماده آلی	EC_e	pH
		kg 100 kg^{-1}		kg 100 kg^{-1}	kg 100 kg^{-1}	dS/m	
لوم شنی	۱۹/۵	۲۸/۳	۵۲/۲	۲۲/۱	۱/۲۶	۲/۳۲	۷/۸
شن لومی	۸/۸	۷/۹	۸۳/۳	۱۳/۵	۰/۹۶	۱/۹۷	۷/۷

آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی برای تیمارهای مورد مطالعه در این پژوهش اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل بافت خاک در دو سطح (شن لومی و لوم شنی)، نوع گیاه (سیستم ریشه‌ای) در سه سطح (شاهد، گندم و گلرنگ) و با دو تکرار بودند. تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی بر DC و WAS در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد اثر بافت خاک بر DC و WAS معنی‌دار بود اما اثر نوع گیاه (سیستم ریشه‌ای) تنها بر WAS در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی بر درصد رس قابل پراکنش (DC) و درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WAS)

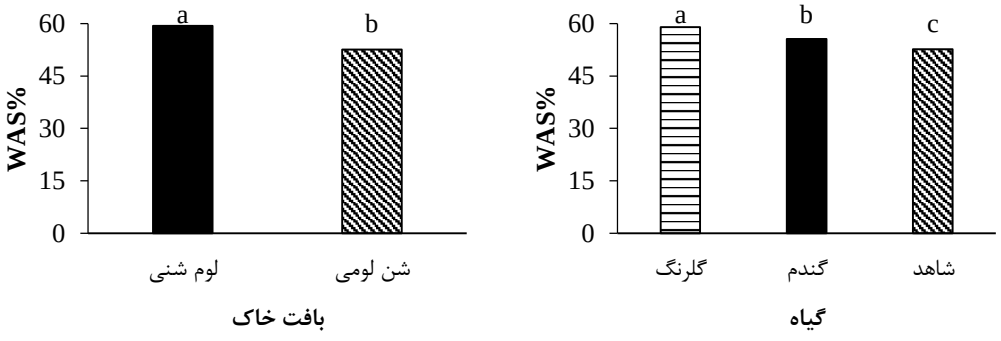
		میانگین مربعات	
منبع تغییر	درجه آزادی	DC	WAS
بلوک	۱	۰/۰۱۶۸۴ ^{ns}	۰/۴۱۴۷۶ ^{ns}
بافت خاک	۱	۲/۱۰۲۴۲ **	۲۶۷/۵۹۶ **
گیاه	۲	۰/۰۷۵۹ ^{ns}	۲۲۳/۵۲۳ **
بافت خاک × گیاه	۲	۰/۱۰۰۱ ^{ns}	۷/۴۱۳۲ ^{ns}
شاهدها	۵	۰/۵۲۸۴ **	۹۰/۳۳۴۱ ^{ns}
شاهدها × تیمارها	۱	۳/۹۲۲۲ **	۳/۶۳۰ ^{ns}
خطای آزمایش	۱۸	۰/۰۸۷۹۵	۱۶/۷۲۷۰۸
ضریب تغییرات		۲۵/۴۰۵۳۹	۷/۳۱۳۵۵

ns: اثر غیرمعنی‌دار *: اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد **: اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

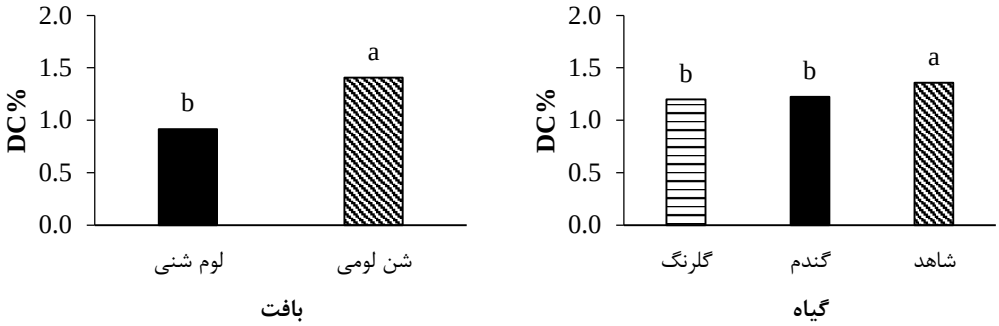
مقایسه میانگین اثر بافت خاک و نوع گیاه (سیستم ریشه‌ای) بر DC و WAS در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. هر دو خاک با توجه به مقدار ماده آلی کم اولیه (جدول ۱)، پایداری ساختمانی کمی داشتند و در این بین خاک شن لومی به علت درصد رس کمتر پایداری ساختمان کمتری نسبت به خاک لوم شنی نشان داد (شکل ۱). با افزایش درصد رس به دلیل اینکه دمین‌ها به آسانی تشکیل می‌شوند خاکدانه‌سازی و پایداری ساختمان خاک افزایش می‌یابد. ممدوف و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که با افزایش مقدار رس شاخص پایداری ساختمان خاک افزایش می‌یابد (Mamedov *et al.* (2016)). فعالیت ریشه گیاهان باعث افزایش WAS در خاک ریزوسفر شد و بیشترین مقدار پایداری ساختمان خاک مربوط به ریزوسفر گلرنگ بود که به ریشه مستقیم بسیار قوی و ریشه‌های جانبی متعدد آن می‌تواند مرتبط باشد. بنابراین با وجود سیستم ریشه‌ای افشان با ریشه‌های ریز در گندم، تاثیر ریشه مستقیم گلرنگ بر پایداری ساختمان خاک ریزوسفر در این پژوهش بیشتر بود. در رابطه با بافت نیز به علت مقدار رس (عامل خاکدانه‌سازی) بیشتر، پایداری ساختمان (WAS) در خاک لوم شنی بیشتر از خاک شن لومی بود و این تفاوت نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (شکل ۱).

بیشترین مقدار WAS در ریزوسفر گیاهان مشاهده شد که نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت (شکل ۱). مشخص شده است که ریشه گیاهان بر خاکدانه‌سازی و پایداری خاکدانه‌های تشکیل‌شده در خاک و در منطقه ریزوسفر تاثیر می‌گذارند. ریشه گیاهان ترکیبات آلی مختلفی را ترشح می‌کند که در تشکیل خاکدانه‌ها و پایدار نمودن آنها موثر است. یافته‌های براکس و همکاران (۲۰۲۰) تایید کرد که ریشه گیاهان با ترشحاتی مانند موسیلاژ می‌تواند بر محیط اطراف خود تاثیر گذارد (Brax *et al.* (2020)). ریشه‌ها با وارد کردن فشار ذرات را بهم می‌چسبانند، با جذب آب خاک را خشک کرده و تغییرات رطوبتی ایجاد می‌کنند و از طرفی ترشحات ریشه بطور غیرمستقیم نیز بر خاکدانه‌سازی تاثیر دارند یعنی باعث افزایش فعالیت میکروبی می‌شوند. قارچ‌ها، باکتری‌ها، و پروتوزوها با ایجاد رشته‌های میسل و هیف ذرات خاک را بهم پیوند می‌دهند. حسینی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که همزیستی اندوفیت با گیاه فسکیوی بلند می‌تواند سبب افزایش کیفیت فیزیکی و پایداری ساختمان خاک ریزوسفر شود.

رس قابل پراکنش (DC) به عنوان شاخصی از ناپایداری ساختمان خاک در دو بافت خاک مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با شاهد نشان داد؛ به عبارت دیگر حضور ریشه سبب کاهش DC شد (شکل ۲). اما در رابطه با گیاه و سیستم ریشه‌ای این تفاوت معنی‌دار نبود زیرا رس قابل پراکنش ناپایداری ریز-ساختمان خاک را نشان می‌دهد و مشابه خاکدانه‌های پایدار در آب در این پژوهش تحت تاثیر ریشه و فعالیت‌های آن قرار نگرفت.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر بافت خاک و نوع گیاه (سیستم ریشه‌ای) بر درصد خاکدانه‌های پایدار در آب (WAS). (ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر بافت خاک و نوع گیاه (سیستم ریشه‌ای) بر درصد رس قابل پراکنش (DC). (ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حضور ریشه و بافت خاک اثر معنی‌داری بر پایداری ساختمان خاک داشت و اثر سیستم ریشه‌ای مستقیم (گلرنگ) بر پایداری ساختمان خاک بیشتر از سیستم ریشه‌ای افشان (گندم) بود.

منابع

1. Brax, M., Buchmann, C., Kenngott, K., Schaumann, G.E. (2020). Influence of the physico-chemical properties of root mucilage and model substances on the microstructural stability of sand. *Biogeochemistry*, 147, 35–52.
2. Burt, R., Reinsch, T.G. and Miller, W.P. (1993). A micro-pipette method for water dispersible clay. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 23:19-20, 2531–2544.
3. Gee, G.W. and Bauder, J. (1986). Particle-size analysis. In:, Klute A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Part 1, Physical and Mineralogical Methods, Agronomy*. pp. 383–411.
4. Hosseini, F., Mosaddeghi, M.R., Hajabbasi, M.A., Sabzalian, M.R. (2015). Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in range of soils. *Geoderma*. 249-250: 87–99.
5. Kemper WD and Rosenau RC, (1986). Aggregate stability and size distribution. In: Klute A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*, Agron. Monog. 9. ASA and SSSA, Madison WI.
6. Loeppert, R.H. and Suarez, D.L. (1996). Carbonate and gypsum. In: *Methods of Soil Analysis, Part 3*. D.L. Sparks (Ed.), Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsim, USA. pp. 437–474.
7. Mamedov, A.I., Tsunekawa, A., Tsubo, M., Fujimaki, H., Ekberli, I., Seker, C., Ozturk, H.S., Cerda, A., Levy, G.J. (2020). Structure stability of cultivated soils from semi-arid region: comparing the effects of land use and anionic polyacrylamide application. *Agronomy*, 10(12): 2010.
8. Mamedov, A.I., Huang, C.H., Aliev, F.A., Levy, G. (2016). Aggregates stability and water retention near saturation charactristics as affected by soil texture, aggregate size and polyacrylamide application. *Land Degradation & Development*, 28, 543–552.
9. Mamedov, A.I., Bar-yosef, B., levkovich, I., Rosenberg, R., Silber, A., Fine, P., Levy, G.J. (2014). Amending soil whit sludge, manure, humic acid, orthophosphate and phytic acid: effects on aggregate stability. *Soil Research*. 52: 317–326.
10. Nelson, D.W. and Sormmers, L.A. (1996). Total carbon organic carbon and organic matter. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (Eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*, Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsim, USA. pp. 961–1010.
11. Rabot, E., Wiesmeier, M., Schluter, S., Vogel, H.J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314: 122–137.
12. Rhoades, J.D.P. (1996). Electrical conductivity and total dissolved solids. In: A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (Eds.) *Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods*, Soil Science Society of America, Inc. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsim, USA. pp. 417–436.

The effect of two root systems on structural stability of two texturally-different soils

Elham Entezami[*1], Mohammad Reza Mosaddeghi[2], Mehran Shirvani[3], Banafshe Khalili[4]
[1] PhD Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran
[2] Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran
[3] Assoc. Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran
[4] Assist. Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

Abstract

Soil structural stability is an important physical property that plays an important role in soil physical quality. In this study, the effects of two root systems (fibrous root of wheat and taproot of safflower) on the aggregate stability of two texturally-different soils (sandy loam and loamy sand) were characterized by wet aggregate stability (WAS) and dispersible clay percent (DC). The results showed that plant root activity significantly increased WAS ($p < 0.01$) and the highest soil structural stability was related to safflower rhizosphere which can be related to very strong taproot and its numerous lateral roots. In terms of soil texture, WAS was higher in sandy loam soil due to its greater clay content so that its' WAS difference with loamy sand soil was significant at $p < 0.01$. The DC values of the studied soils were significantly different from the control (unplanted) soil, but the DC difference among the two plants was not significant. Overall, it can be concluded that plant root presence and soil texture significantly affected soil structural stability and the effect of taproot system (safflower) on soil structural stability was greater than that of fibrous root system (wheat).

Keywords: Plant root, Rhizosphere, Soil structural stability, Dispersible clay, Water-stable aggregates

[*] Corresponding author, Email: El_E@mail.com

بررسی تغییرات رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه یونجه با استفاده از مدل LEACHW

کورش کمالی[۱]، رضا بیات[۲]، محسن عبدی[۳] و علی اصغر هاشمی[۴]

۱- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران (kamali_kourosh@yahoo.com)
۲- استادیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۳- کارشناس ارشد معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی و دانشجوی دکتری آبیاری دانشگاه گرگان
۴- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سمنان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران

چکیده

مدل‌های عددی با شبیه‌سازی شرایط واقعی حرکت آب در محیط متخلخل، با دقت مناسب قادر به ارزیابی وضعیت رطوبت خاک در یک سیستم آبیاری هستند. در این پژوهش، برای شبیه‌سازی حرکت آب در منطقه توسعه ریشه گیاه یونجه از مدلLEACHW استفاده شد. بدین منظور سه پروفیل خاک به عمق ۱/۵متر حفر و تشریح شد. برای شبیه‌سازی حرکت آب، شرایط اولیه رطوبت و پایش تغییرات آن‌ها در طول فصل زراعی مورد توجه قرار گرفت. برای بررسی دقیق‌تر در فواصل بین بارندگی و آبیاری نیز از خاک نمونه‌برداری انجام شد. در نهایت با استفاده از داده‌های موجود در منطقه، مدل LEACHW اجرا و مقادیر رطوبت برآوردی مدل با مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به معنی‌دار بودن اختلاف مقادیر برآورد شده مدل با مقادیر مشاهداتی، آنالیز حساسیت مدل انجام و مدل مجدداً بر اساس پارامترهای کالیبره شده اجرا شد. در خروجی مدل LEACHW میزان آب از دست‌رفته و مانده در پروفیل خاک در طول فصل زراعی برآورد شد. این مدل در تمامی اعماق پروفیل خاک مقادیر رطوبت را بیشتر از واقعیت برآورد نمود. ارزیابی آماری مدل LEACHW برای اعماق مختلف خاک مزرعه نشان داد که مدل پیش‌بینی‌های بهتری را انجام داده و مقادیر RMSE در حد قابل قبولی است. مقدار کارآیی مدل نیز نشان‌دهنده برازش خوب بین داده‌های مشاهده شده و برآورد شده است.

واژگان کلیدی: رطوبت، سمنان، مدل LEACHM، یونجه

مقدمه

از جمله منابع مهم تولید محصولات زراعی در کنار سایر عوامل و نهاده‌ها، آب و خاک است. معمولاً آب عامل محدودکننده کشاورزی بوده به‌طوری‌که وسعت اراضی دیم چندین برابر زراعت‌های آبی است. مدل‌های شبیه‌سازی رطوبت در خاک، ابزار مناسبی برای برآورد تغییرات رطوبت هستند. برای آگاهی از نحوه توزیع رطوبت در ناحیه ریشه، آزمایش‌های صحرایی وقت‌گیر و پرهزینه‌ای لازم است که دامنه اعتبارشان از نظر شرایط فیزیکی و منطقه‌ای دارای محدودیت‌هایی است. در حالی که مدل‌های عددی با شبیه‌سازی شرایط واقعی حرکت آب در محیط متخلخل، قادر به ارزیابی وضعیت رطوبت خاک در یک سیستم آبیاری هستند. از جمله مدل‌های شبیه سازی، مدل LEACHM[۱] است که حرکت آب، املاح و نیز جذب ریشه و فعل و انفعالات شیمیایی در محیط غیر اشباع را به صورت یک بعدی شبیه‌سازی می‌کند. مدل LEACHM شامل پنج زیر مدل مجزا از هم

[1] Leaching Estimated and Chemistry Model

بوده که هر کدام از آنها موضوع و رویکرد خاص خود را دنبال می کنند. اصلی‌ترین و مهم‌ترین زیر مدل آن، مدل LEACHW است که حرکت آب در پروفیل خاک را بررسی می‌کند. آقایاری در سال ۱۳۹۰ در پژوهشی با تعدیل زیر مدل بیلان آب خاک در مدل MEDIWY و استفاده مدل LEACHW به جای آن، مدل جدیدی تحت عنوان مدل LEAMED معرفی نمود. بررسی شاخص‌های آماری به دست آمده از طریق مدل LEACHW دارای مقادیر عددی مناسب‌تری نسبت به شاخص‌های به دست آمده از طریق مدل MEDIWY است. میزان خطای متوسط در برآورد رطوبت خاک در مدل LEACHW از ۱/۸۵ تا ۳/۸۰ درصد و در مدل MEDIWY از ۷/۹۹ تا ۱۴/۵۵ درصد متغیر است که نشان دهنده برتری نسبی مدل LEACHW به MEDIWY در برآورد رطوبت خاک است. Smith et al (۱۹۹۵) جریان آب در خاک را با استفاده از مدل LEACHW بررسی نمودند. آزمایش در شرایط اشباع و نزدیک اشباع در ستون‌هایی به طول ۶۵ و قطر ۲۰ سانتی‌متر انجام شد. توزیع اندازه ذرات در لایه‌های ۵ سانتی‌متری در طول پروفیل متغیر بود و برای بررسی رابطه رطوبت خاک، مکش و هدایت هیدرولیکی از معادلات وان گنوختن[1] استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل تحت این شرایط حرکت آب را با دقت قابل قبولی برآورد می‌کند. خطای نسبی بین ۶/۹ تا ۷/۸ درصد و مقدار ضریب تغییرات بین ۹/۳ تا ۱۱/۹ درصد متغیر بود. پاره‌کار (۱۹۹۸) با توسعه ستون‌های چهار متری به جهت بررسی حرکت آب و املاح در شرایط غیراشباع، با یکنواخت در نظر گرفتن توزیع رطوبت در ستون خاک به بررسی پدیده پس ماند و تاثیر آن بر روی حرکت آب و املاح پرداخت. ایشان طی یکسری آزمایش‌ها نشان داد که در اثر پدیده پس ماند آب سریع‌تر از املاح به انتهای ستون خاک منتقل می‌شود. البته ایشان دلیل اصلی سرعت بیشتر حرکت آب را جایگزینی آب موجود در پروفیل توسط رطوبت وارد شونده به آن معرفی نمود. به عبارت دیگر حرکت پیستونی در رطوبت‌های کمتر از اشباع نیز رخ می‌دهد. ایشان همچنین با شبیه سازی حرکت یون کلر در شرایط غیر اشباع به کمک مدل LEACHC برای سال‌های متفاوت نشان دادند که سرعت حرکت جبهه رطوبتی بیشتر از جبهه کلر است و اعلام نمودند که مدل مذکور در شرایط متفاوت رطوبتی، ابزار مناسبی برای بررسی حرکت یک بعدی آب و املاح و مواد شیمیایی در منطقه غیر اشباع است. اسماعیلی و پارسی‌نژاد (۱۳۹۰) تغییرات رطوبت و املاح در منطقه توسعه ریشه پسته را با استفاده از مدل LAECHM در باغات پسته شمال اردکان مورد بررسی قرار دادند. پیش بینی این مدل نشان داد که روند کاهش رطوبت خاک بیشتر از مقدار اندازه گیری شده است و پس از گذشت چند روز تغییرات رطوبت کاهش چشمگیری یافته است. در تمام اعماق رطوبت اندازه گیری شده با آهنگ ملایمتری کاهش یافت و این روند تا قبل از آبیاری بعدی ادامه پیدا کرد. همچنین وجه مشترک در تمام اعماق تخمین کم رطوبت پیش بینی شده نسبت به اندازه گیری شده بود. در عمق ۱۲۰-۹۰ سانتی متری به خاطر دیر رسیدن جبهه رطوبت افزایش رطوبت با تاخیر انجام شد. در پژوهش حاضر نیز تغییرات رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه یونجه با استفاده از مدل LEACHW مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تغییرات رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه یونجه مزرعه آموزشی و تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سمنان انتخاب شد (شکل ۱). در این مزرعه سه پروفیل خاک تا لایه محدودکننده و حداکثر به عمق ۱/۵متر حفر شدند. پروفیل ها تشریح و از افق های ژنتیکی مبادرت به نمونه برداری شد (شکل ۲). نمونه‌های برداشت شده برای انجام آزمایشات فیزیکوشیمیایی مورد نیاز به آزمایشگاه ارسال شد. برای همه لایه‌ها و به منظور اجرای مدل حرکت آب در پروفیل خاک، پس از نمونه برداری، مشخصات بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری و مقدار مواد آلی خاک، رطوبت اولیه خاک (قبل از آبیاری)، پتانسیل ماتریک، هدایت هیدرولیکی خاک تعیین شد. مقدار رطوبت یک پروفیل در عمق مشخص در زمان‌های معینی بصورت وزنی تعیین شد. بطوری‌که در طی دوره رشد، رطوبت در فواصل زمانی معین (بعد از آبیاری) از لایه‌های ۱۰-۰، ۵۰-۱۰، ۹۰-۵۰ و ۱۲۰-۹۰ به روش وزنی اندازه‌گیری شده است. همچنین با نمونه برداری از آب آبیاری آنالیز آب آبیاری نیز انجام

[1] Van Genuchton

شد. تقویم فنولوژیکی گیاه (زمان کاشت، جوانه‌زنی، سبزشدن، بلوغ و برداشت)، نسبت پوشش گیاه و ضریب تشت تبخیر در طی دوره شبیه‌سازی حرکت آب برداشت شد. اطلاعات مربوط به آبیاری نیز شامل تاریخ دقیق آبیاری برحسب (روز/ماه/سال) و مقدار آبیاری ثبت شد. داده‌های هواشناسی لازم از طریق اطلاعات ایستگاه سینوپتیک سمنان تهیه و با استفاده از آن‌ها درجه حرارت متوسط، اختلاف حداکثر و حداقل دما، میزان تبخیر از تشتک تبخیر در طول دوره شبیه‌سازی جمع‌آوری شد. اگر در طی اجرای پژوهش، در مناطق مورد مطالعه بارشی صورت گرفته بود، اطلاعات مربوط به بارش، در مدل حرکت آب در پروفیل خاک لحاظ شد. همچنین به منظور پایش میزان رطوبت در طول دوره شبیه‌سازی در هر یک از لایه‌های مختلف پروفیل خاک، رطوبت خاک قبل و بعد از آبیاری به طریق وزنی اندازه‌گیری شد. پایش رطوبت در مزارع مطالعاتی طی ۷ مرحله انجام شده است. میزان سرعت نفوذ سطحی بر اساس بافت و میزان هدایت هیدرولیکی با استفاده از مدل تابع انتقالی رزتا (Rosseta) برآورد شد. برای تعیین ضرایب A و B معادله کمپل که از پارامترهای مهم و تاثیرگذار مدل LEACHW می‌باشد، از نرم‌افزار RETFIT استفاده شد. با استفاده از داده‌های موجود در منطقه، مدل LEACHW در طول فصل زراعی اجرا شد و مقادیر برآوردی با مشاهده‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت و با آزمون مقایسه میانگین‌ها بررسی شد. به دلیل وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده‌ای با واقعیت مدل، مدل کالیبره گردید. کالیبراسیون مدل LEACHW نیز به روش اتوماتیک الگوریتم ژنتیک و به کمک نرم‌افزار MATLAB انجام شد.

شکل ۱- موقعیت پروفیل‌های تشریح شده در مزرعه یونجه (Google Earth, 2009)

شکل ۲- نمایی از تشریح پروفیل در مزرعه یونجه با سامانه آبیاری ثقلی

نتایج

با اخذ نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و نتایج آزمایش‌های شیمیایی آب آبیاری کار تحلیل داده‌ها آغاز شد. نتایج آنالیز حساسیت مدل نشان داد که از بین خصوصیات فیزیکی خاک مقادیر رطوبت خاک نسبت به پارامتر جرم مخصوص ظاهری بسیار حساس است. همچنین مدل نسبت به ضریب a در معادله کمپل تأثیر کمی روی نتایج دارد ولی نسبت به ضریب b حساس است. از بین داده‌های گیاهی و حداکثر شدت جریان سطحی نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد که مدل فقط نسبت به درصد پوشش گیاهی حساس است. پس از اجرای مدل LEACHW برای مزرعه مطالعاتی، مقادیر رطوبت پیش‌بینی شده توسط مدل با مقادیر مشاهده‌ای در محیط نرم‌افزار SPSS مقایسه شد.

نتایج آزمون t نشان‌دهنده این موضوع بود که معیار تصمیم (۰/۰۲۸) کمتر از سطح خطا (۵٪) بوده، از این‌رو بایستی مدل LEACHW برای این مزرعه کالیبره می‌شد. کالیبراسیون مدل به روش اتوماتیک به کمک الگوریتم ژنتیک و با استفاده از نرم-افزار MATLAB انجام شد. جدول (۱) نتایج بیلان آب در خاک و خروجی مدل LEACHW را در مزرعه یونجه با آبیاری ثقلی در طول فصل زراعی و در زمان‌های مختلف دوره شبیه سازی به میزان ۳۳۵ روز نشان می‌دهد. مطابق این جدول مقادیر نفوذ تجمعی در مزرعه یونجه با سیستم آبیاری ثقلی در پایان فصل زراعی (روز ۳۳۵ام) ۱۵۸۹/۶ میلی‌متر است. میزان تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاه یونجه به ترتیب ۵۱۸/۷ و ۸۷۲/۷ میلی‌متر و میزان آب رسیده به آب‌های زیرزمینی (نفوذ

عمقی) ۱۰۵/۱ میلی‌متر است. مقدار رطوبت اولیه (رطوبت قبل از آبیاری) ۷۲/۸ میلی‌متر می‌باشد که در پایان دوره شبیه‌سازی رطوبت ذخیره شده در پروفیل خاک به ۱۵۸/۹ میلی‌متر رسیده است.

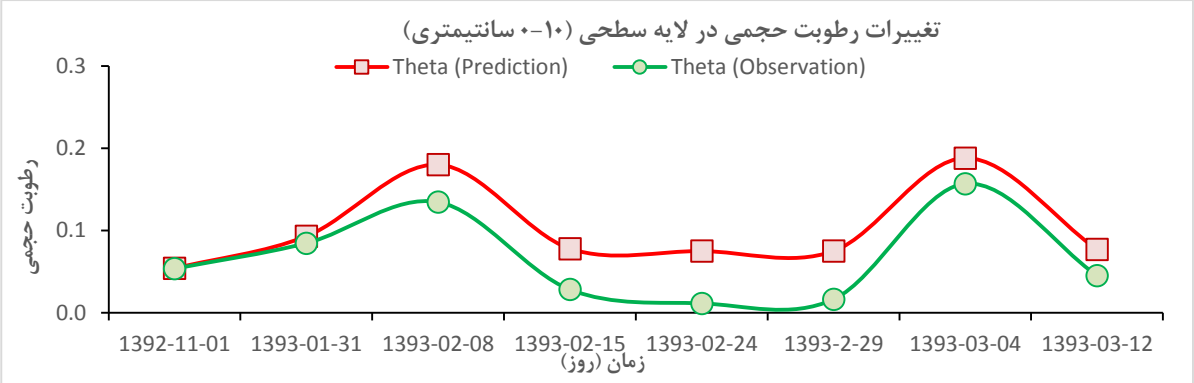
با ملاحظه اعداد و ارقام جداول بیلان آب، مشاهده می‌شود که میزان تبخیر از سطح خاک در اوایل فصل رشد، نسبت به تعرق گیاه، زیادتر است. به‌عبارتی در اوایل فصل به‌علت عدم توسعه سطح پوشش گیاهی و لخت بودن سطح خاک، میزان تعرق کم است. ولی با گذشت زمان از مقدار تبخیر کاسته شده و بر مقدار تعرق از گیاه اضافه می‌شود. در اوایل فصل رشد که درصد پوشش گیاهی کم است، مقدار آب مصرفی، بیشتر صرف تبخیر از سطح خاک می‌شود، که این را می‌توان از دلایل سریع خشک شدن سطح خاک در ابتدای فصل رشد دانست. با این وجود، در مزارع تحت آبیاری ثقلی نسبت به سایر آبیاری‌ها درصد بیشتری از کل آب مصرفی صرف تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاهان شده است. تنش آبی تأثیر بیشتری روی مقدار تعرق گیاه داشته که ناشی از شرایط و وضعیت رطوبتی خاک می باشد. بررسی بیلان آب در نیمرخ خاک در مزارع مختلف نشان داد که مقدار نفوذ عمقی متناسب با مقادیر آبیاری و دور آبیاری است. بافت خاک تأثیر قابل توجهی روی مقدار نفوذ عمقی دارد. در بافت رسی مقدار بیشتری از آب صرف تبخیر از سطح خاک می‌شود. به‌طوری که مقدار آن نسبت به بافت شنی سه برابر و نسبت به بافت لومی دو برابر بیشتر است. همچنین تلفات آب بر اثر نفوذ عمقی در بافت شنی زیاد می‌باشد.

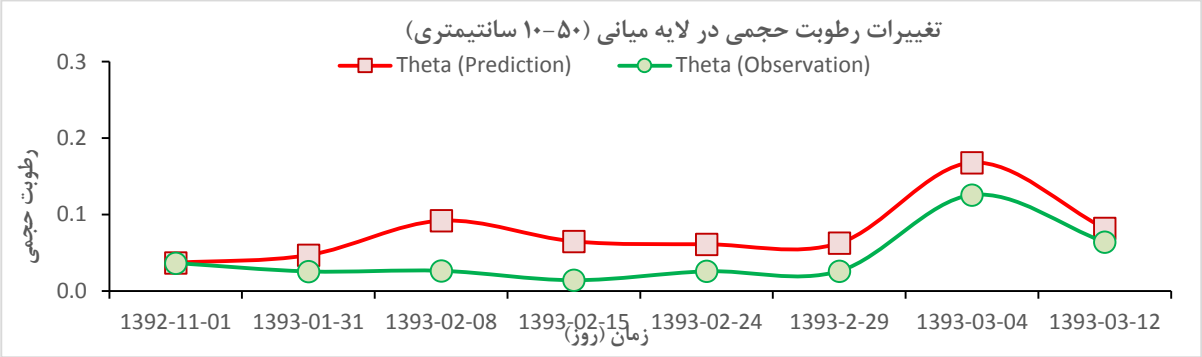
جدول ۱- نتایج بیلان آب در خاک مدل LEACHW در مزرعه یونجه

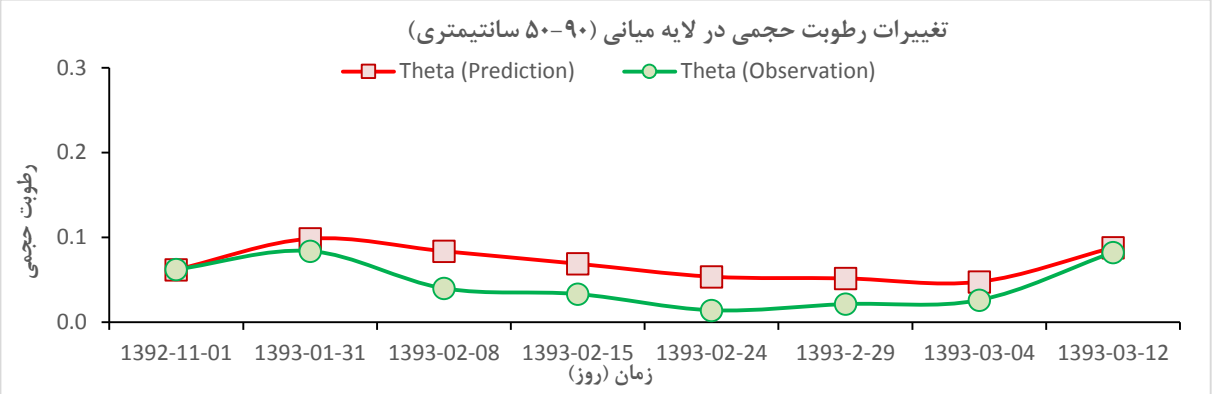
زمان از شروع شبیه‌سازی (روز)	مقدار آب در نیمرخ خاک در اول فصل زراعی	مقدار پیش بینی شده توسط مدل (میلی‌متر)						مقدار رطوبت موجود در خاک (میلی‌متر)		تفاوت‌میزان رطوبت پیش بینی شده و مشاهداتی (میلی‌متر)
		میزان تعرق	میزان تبخیر	میزان آب رسیده به آب‌های زیرزمینی	میزان رواناب	میزان نفوذ تجمعی		پیش بینی شده	اندازه گیری شده	
0	72.8	0	0	0	0	0		72.8	72.8	0
90	72.8	51.6	48.6	81.7	0	243.7		132.2	101.5	-30.7
98	72.8	93.2	65.4	83.2	0	287		115.1	78.8	-36.3
105	72.8	132.1	76.6	83.5	0	317.8		95.1	47.6	-47.5
114	72.8	185.6	87.6	83.5	0	363.9		76.3	26.9	-49.4
119	72.8	208.8	93.8	83.5	0	393.4		75.9	28.8	-47.1
125	72.8	220.7	95.4	83.5	0	399.6		68.5	105.5	37
133	72.8	224.2	98.9	83.5	0	406.9		68.7	120.7	52
335	72.8	872.7	518.7	105.1	0	1589.6		158.9	-	-

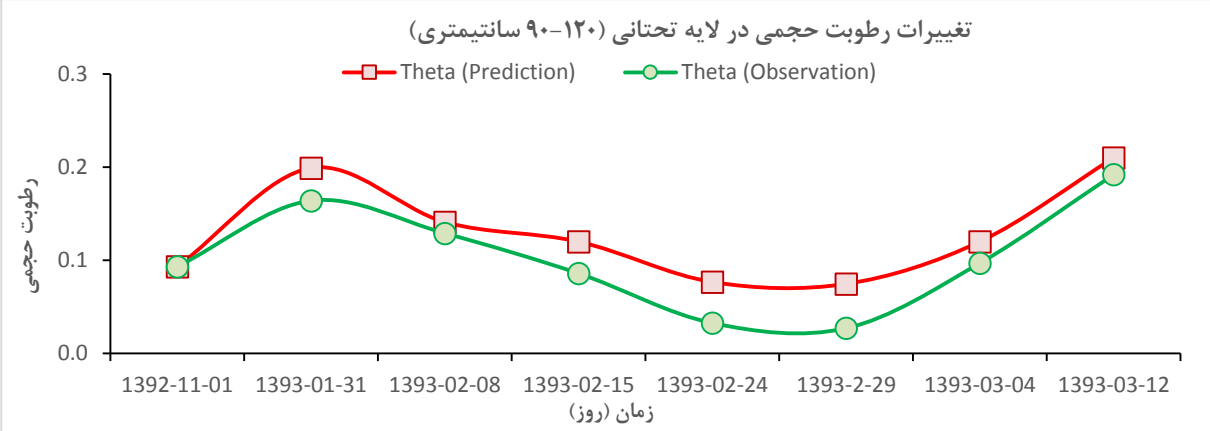
نتایج اجرای مدل LEACHW از نظر پیش‌بینی رطوبت در پروفیل خاک

مقایسه نتایج تغییرات رطوبت در فواصل زمانی معین (بعد از آبیاری) به صورت گرافیکی در شکل ۳ ارائه شده است. بررسی این شکل نشان می‌دهد که مقدار رطوبت در لایه سطحی، در طول دوره رشد از نوسانات بیشتری برخوردار بوده و رطوبت در پایان دوره به زیر ۱۰٪ رسیده است. این امر نشان می‌دهد که در آبیاری‌های اولیه آب به این لایه رسیده است، اما در مراحل بعدی به علت افزایش تقاضا برای تبخیر و تعرق مقدار رطوبت کاهش یافته است. در انتهای دوره رشد به دلیل قطع آبیاری‌ها و نزدیک شدن به فصل برداشت، کاهش رطوبت مشاهده می‌شود. در لایه دوم درصد رطوبت حجمی در ابتدا و انتهای فصل زراعی در اغلب موارد زیر ۱۰٪ قرار دارد. اما با نزدیک شدن به زمان بلوغ ریشه و گیاه مقدار رطوبت به زیر ۵۰٪ رسیده است. رطوبت در این لایه از ابتدا تا انتهای فصل زراعی بین ۵٪ تا ۲۰٪ است. مدل مقدار رطوبت در پروفیل خاک را با یک روند مشابه با داده‌های مشاهداتی، برآورد کرده است. در لایه سوم، مقدار رطوبت روند تقریباً ثابتی دارد و بیان کننده عدم تلفات از طریق نفوذ عمقی می‌باشد.









شکل ۳- درصد رطوبت اندازه گیری شده و پیش بینی شده در اعماق مختلف پروفیل خاک طی دوره شبیه سازی

با توجه به این‌که در ابتدای فصل رشد درصد پوشش گیاهی بسیار اندک است، احتمال این‌که درصد زیادی از رطوبت قابل دسترس در پروفیل خاک فقط صرف تبخیر از خاک لخت شده باشد، زیاد است. با این وجود در برخی موارد، بخصوص در لایه دوم رطوبت کمتر از لایه سوم است که علت آن خروج بیشتر آب از این لایه تحت تاثیر تبخیر و تعرق است. بطور کلی، بافت مزرعه یونجه Sandy clay loam است که با داشتن ۶۰٪ شن و ۲۰٪ رس جزء خاک‌های میانه بافت و نسبتا سنگین محسوب می‌شود. از لایه سطحی به سمت لایه‌های تحتانی مقدار رطوبت در پروفیل خاک کاهش می‌یابد. مدل مقادیر رطوبت را بیشتر از مقدار واقعیت برآورد کرده است.

ارزیابی آماری مدل LEACHW برای اعماق مختلف خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است. مقادیر RMSE نشان می‌دهد که تا چه حد اختلاف بین تک‌تک مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده متناظر، صرف‌نظر از این که کمتر یا بیشتر باشد، وجود دارد. توجه به مقادیر محاسبه شده این شاخص نیز نشان می‌دهد که مدل پیش‌بینی‌های بهتری را انجام داده است و مقادیر RMSE در حد قابل قبولی است. مقدار خطای مطلق (MAE) نیز که نشان‌دهنده دقت مدل است از ۰/۰۴ در عمق ۱۰ سانتی‌متری تا ۰/۰۳ در عمق ۱۲۰ سانتی‌متری تغییر می‌کند. مقدار کارآیی مدل EF که نشان‌دهنده کیفیت و چگونگی برازش داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده می‌باشد بین ۰/۴- در لایه سطحی تا ۱/۱۵- در لایه تحتانی متغییر بوده است و نشان‌دهنده برازش خوب بین داده‌های مشاهده شده و برآورد شده است. با توجه به نتایج ارزیابی آماری مدل (جدول ۲) می توان نتیجه گرفت که مدل LEACHW در شبیه‌سازی رطوبت خاک، مقادیر رطوبت را بیشتر از واقعیت برآورد می‌کند. با این وجود، مقادیر ارزیابی مدل حاکی از دقت بالای مدل در برآورد رطوبت خاک است.

جدول ۲- ارزیابی آماری مدل LEACHW برای اعماق مختلف خاک در مزرعه یونجه

عمق (سانتی‌متر)	RMSE	MAE	CV	EF
0-10	0.08	0.04	0.63	-0.40
10-50	0.07	0.03	0.90	-0.35
50-90	0.06	0.02	0.62	0.51
90-120	0.07	0.03	0.30	-1.15

نتیجه‌گیری

مقدار نفوذ عمقی در روش آبیاری ثقلی مزرعه یونجه حدود ۲۰درصد بوده است؛ بنابراین نسبت نفوذ عمقی به مقدار آب مصرفی در مزارع تحت آبیاری ثقلی بیشترین مقدار را دارد. در این منطقه میزان رطوبت در پروفیل‌ها از روز کاشت تا اواخر تابستان در لایه تحتانی روند صعودی داشته است. تبخیر از سطح خاک در مزرعه یونجه با بافت لومی شنی با آبیاری ثقلی بیشترین مقدار را دارد. در پایان فصل زراعی، مقادیر تبخیر از سطح خاک ۵۱۸/۷ میلی‌متر است. میزان تعرق نیز در پایان فصل زراعی ۸۷۲/۷ میلی‌متر با سیستم آبیاری ثقلی است. در مزرعه مورد تحقیق، آبیاری ثقلی در تغذیه سفره تاثیرگذار است. ضمن آن‌که میزان تغییرات ذخیره آب در پروفیل خاک در فاصله دو زمان آبیاری نیز با گذشت زمان می‌تواند به آب‌های زیرزمینی بپیوندد. چیدمان لایه‌های پروفیل خاک و حرکت آب در میان بافت‌های متفاوت بر نفوذ عمقی آب در خاک مؤثر است. بررسی آزمون t نشان‌دهنده تطابق مناسب نتایج خروجی مدل LEACHW با داده‌های مشاهداتی است. از طرفی با توجه به دقت برآورد شده از نتایج مدل‌سازی قبل و بعد از کالیبراسیون اتوماتیک مشاهده می‌شود که مقدار RMSE مربوط به هر دو حالت تفاوت چندانی ندارند. تفاوت مذکور در حدود ۰/۰۲ بوده که با توجه به گستردگی دامنه بسیار ناچیز است. بنابراین مدل LEACHW میزان رطوبت در پروفیل خاک مزرعه یونجه را به خوبی پیش‌بینی کرده است.

فهرست منابع

۱) آقایاری، ف. ۱۳۹۰. ارائه مدلی برای شبیه‌سازی و تخمین عملکرد گندم زمستانه در شرایط آبی و دیم. رساله دکتری. دانشگاه. آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران.

۲) اسماعیلی، ش. و م. پارسی نژاد. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات رطوبت و املاح در منطقه توسعه ریشه پسته با استفاده از مدل LAECHM . فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال دوم. شماره ۶. ۳۴-۲۶.

3) Parehkar, M .1998. Recharge processes under Arid semi-Arid areas,(Laboratory experiment and modeling). Ph. D. thesis, Cranfield uni. Silsoe College.

4) Smith, W.N., W.D. Reynolds, R. De Jong, R. S. Clemente, and E. Topp. 1995. Water flow throuth intact soil columns: Measurement and simulation using LEACHM. J. Environ. Qual. 24:874-881.

Investigation of soil moisture changes in alfalfa root development using LEACHW

K. Kamali[1*]- R. Bayat[2]- M. Abdi[3] and A.A. Hashemi[4]

1-Member of scientific board, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran (kamali_kourosh@yahoo.com)
2- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
3- Master of Water and Soil Deputy of the Ministry of Agriculture-Jahad and Ph.D.student in irrigation, Gorgan University
4-Member of scientific board, Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Semnan, Iran

Abstract

Numerical models are able to accurately assess the state of soil moisture in an irrigation system by simulating the real conditions of water movement in a porous medium. In this study, LEACHW model was used to simulate water movement in alfalfa root development area. For this purpose, three soil profiles were drilled and described at a depth of 1.5 m. To simulate the movement of water, the initial conditions of humidity and monitoring their changes during the growing season were considered. Soil sampling was performed for more detailed study in the intervals between rainfall and irrigation. Finally, using the available data in the region, the LEACHW model was implemented and the estimated humidity values of the model were evaluated with the measured humidity values. Due to the significant difference between the estimated values of the model and the observed values, the sensitivity analysis of the model was performed and the model was performed again based on calibrated parameters. At the output of the LEACHW model, the amount of water lost and remaining in the soil profile during the growing season was estimated. This model overestimated the moisture values at all depths of the soil profile. Statistical evaluation of LEACHW model for different depths of field soil showed that the model made better predictions and RMSE values were acceptable. The efficiency of the model also indicates a good fit between the observed and estimated data.

Keywords: Soil Moisture, Semnan, LEACHM model, Alfalfa

پیش‌بینی مقادیر هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از مدلهای درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: منطقه داراب)

سیده شیما حسینی[1]، حمیدرضا اولیایی[2]، زهره مصلح[3]، روح الله تقی‌زاده مهرجردی[4]

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۲ دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج

۳ موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

۴دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان

چکیده

به منظور ایجاد پایگاه اطلاعات مکانی خاک، نتایج آزمایشگاهی، مشاهدات صحرایی خاک با تحلیل‌های آماری بدست آمده از اطلاعات مکانی از جمله داده‌های کمی و کیفی با متغیرهای محیطی تلفیق می‌شوند. هدف از این پژوهش استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم برای تهیه نقشه هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک است. در این پژوهش، ۴۱۸ نمونه با استفاده از روش شبکه‌بندی منظم با فاصله ۱۰۰۰ از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر برداشت شد. متغیرهای کمکی شامل شاخص‌های سنجش‌ازدور و پارامترهای اراضی مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع استفاده گردیدند. نتایج نشان داد که مدل درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی برای هدایت الکتریکی به ترتیب دارای ریشه میانگین مربعات خطا ۲,۱ و ۳,۶ و R^2 برابر ۰,۹ و ۰,۷۱ و برای ظرفیت تبادل کاتیونی به ترتیب دارای ریشه میانگین مربعات خطا ۱,۸۷ و ۳,۳ و R^2 برابر ۰,۸۷ و ۰,۶۴ است. نتایج نشان داد که برای پیش‌بینی مقادیر هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، پارامترهای شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، فاصله افقی، باند ۱ تا ۱۱ و شاخص پوشش گیاهی و شیب نسبی مهم‌ترین پارامترهای محیطی بوده‌اند. مدل درخت تصمیم نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی دقت بالاتری دارد و شبکه عصبی در پیش بینی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ضعیف‌تر عمل کرد. همچنین تفسیر نتایج مدل درخت تصمیم بسیار راحت‌تر است. لذا پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده جهت تهیه نقشه رقومی خاک از مدل‌های درختی استفاده شود.

واژگان کلیدی: تغییرات مکانی، درخت تصمیم، شبکه عصبی، متغیر محیطی، نقشه‌برداری رقومی خاک

مقدمه

استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی در سال‌های اخیر، ازجمله شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون درختی در فرآیند نقشه‌برداری رقومی به‌شدت گسترش‌یافته است. روی آوردن به روش‌های جدید در راستای کاربرد بهینه خاک به‌گونه‌ای که هم نیازهای آدمی برآورده شود و هم این منبع تجدید ناپذیر برای آیندگان حفظ شود، ضروری است (Diagle *et al.*, 2005). تغییرپذیری خاک پدیده‌ای تصادفی نیست و نتیجه تغییر عوامل خاکسازی از نقطه‌ای به نقطه دیگر است. به همین دلیل، این عوامل را می‌توان در پیش‌بینی کلاس‌های خاک و تهیه نقشه الگوی پراکنش خاک‌ها به کار برد(علیجانی و همکاران،۱۳۹۳). با توجه به محدودیت‌ها و کمبودهای موجود در نقشه‌های سنتی و نیاز مبرهن به ارائه اطلاعات قابل‌اعتمادتر و به هنگام در مورد خاک‌ها با هزینه منطقی و ارتقای تفسیر نتایج به‌نحوی‌که افراد غیرخاک‌شناس و غیرمتخصص نیز بتوانند از این اطلاعات استفاده کنند، نیاز به استفاده از روش‌های نوین در تهیه نقشه خاک است. امروزه مشخص‌شده که دقت روش‌های پدومتری در برآورد توزیع مکانی داده‌های اندازه‌گیری شده خاک به

علت در نظر گرفتن پیوستگی مکانی داده‌ها نسبت به روش‌های معمول آماری بیش‌تر است (Grunwald, 2009; McBratney *et al.*, 2000).

در سال‌های اخیر در ایران نیز محققانی ازجمله؛ Zeraatpisheh *et al.*, 2017 و Mirakzehi *et al.*, 2018 در زمینه نقشه‌برداری رقومی خاک تلاش‌هایی کردند که در بین این ابزارهای داده‌کاوی، درخت تصمیم یکی از معروف‌ترین (متداول‌ترین) مدل‌ها برای نقشه‌برداری رقومی خاک‌ها است. نقشه‌برداری رقومی خاک به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از روش‌های پدومتری، به دلیل افزایش منابع داده‌های کمکی یا محیطی، به‌صورت کاملاً عملی توانسته است به انتقادات وارده به خاکشناسی مرسوم فائق آید. به‌هرحال، هدف از به‌کارگیری روش‌های کمی و عددی جدید، به این معنی نیست که آن‌ها را جانشین تمام دانش صحرایی خاکشناسی نماید، بلکه سعی بر آن دارد که تمام دانش خاکشناسی را با مدل‌های ریاضی بیان و نتایج را به شکلی قابل‌فهم برای بخش‌های مختلف ارائه و تنوع، تغییر و توزیع و پراکنش زمانی – مکانی خاک‌ها را برای کاربران مختلف مشخص نماید. Zhu *et al.* (2001) با توجه به مجموعه مطالب ذکرشده در بالا در ارتباط با اهمیت نقشه‌برداری رقومی مطالعه حاضر باهدف مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم برای پیش‌بینی دو ویژگی خاک شامل مقادیر هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، در قالب یک مطالعه موردی در منطقه داراب در جنوب شرق استان فارس صورت گرفت.

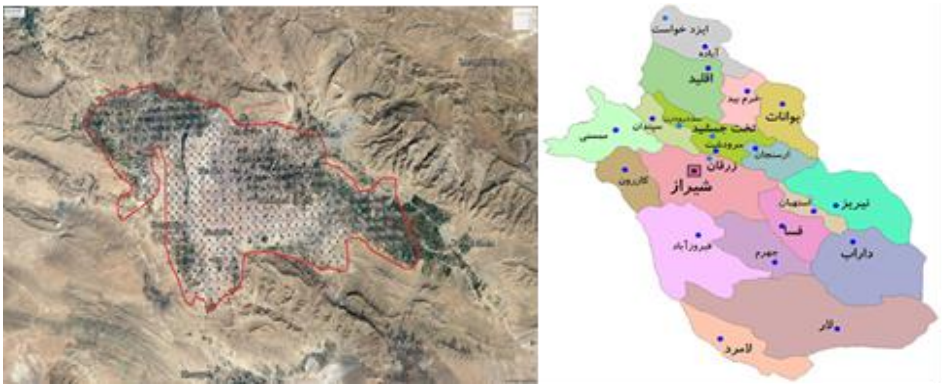
مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه در دشت داراب در جنوب شرق استان فارس و در ۲۴۰ کیلومتری شیراز قرار دارد (شکل ۱). وسعت منطقه موردمطالعه حدود ۲۵ هزار هکتار بوده و در جنوب شهرستان داراب واقع شده است. این دشت در محدوده عرض جغرافیایی ۲۲۹۰۰۰ تا ۲۶۷۰۰۰ متر شمالی و طول جغرافیایی ۳۱۵۶۰۰۰ تا ۳۱۸۹۰۰۰ متر شرقی قرارگرفته است. ارتفاع منطقه از ۱۰۶۰ تا ۱۱۰۰ متر متغیر است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به ترتیب یوستیک و هایپرترمیک می‌باشند. ۴۱۸ نمونه با استفاده از روش شبکه‌بندی منظم با فاصله ۱۰۰۰ متر، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع با دستگاه هدایت سنج محاسبه شد و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور تعیین شد (Bawer *et al.*, 1952).

. در تحقیق حاضر از مدل رقومی ارتفاع استر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد. از مدل رقومی ارتفاع جهت استخراج اطلاعات کمکی (۱۳ پارامتر) از قبیل شیب، جهت شیب، ارتفاع، سطح‌مبنای شبکه آبراهه، شیب حوزه، انحنای عمودی، تجمع جریان، مساحت اصلاح‌شده حوزه‌ها، عمق دره، انحنای خطوط تراز، شاخص خیسی، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، شاخص بالای پشته با درجه تفکیک بالا در محیط نرم‌افزارSAGA GIS استفاده شد. همچنین، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ جهت پردازش در این تحقیق مورداستفاده قرار گرفت. شاخص‌هایی از قبیل شاخص گیاهی نرمال شده (نشان‌دهنده وضعیت پوشش گیاهی)، شاخص شوری، شاخص رس و شاخص کربنات از باندهای مختلف تصاویر ماهواره استخراج شد.تمام لایه‌های کمکی استخراج‌شده به فرمت رستری با اندازه پیکسل مطابق با مدل رقومی ارتفاع (۳۰ متر) تهیه شد. در این پژوهش از دو مدل درخت تصمیم و شبکه عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی مقادیر کربن آلی و کربنات کلسیم معادل خاک استفاده گردید. برای بررسی دقت مدل‌ها از ریشه میانگین مربعات خطا (RSME) و R^2 استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ خلاصه آماری ویژگی‌های هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در عمق 30-0 سانتی‌متری را نشان می‌دهد. مقادیر هدایت الکتریکی خاک در منطقه از حداقل ۰,۳۵ تا حداکثر ۳۹ با میانگین ۳,۱۸ دسی زیمنس بر متر و ظرفیت تبادل کاتیونی از حداقل ۳,۷۴ تا ۲۵,۲۶ با میانگین ۱۳/۵ سانتی‌مول بر کیلوگرم خاک متغیر بوده‌اند.



شکل ۱. موقعیت منطقه‌ی موردمطالعه در شهرستان داراب در جنوب شرق استان فارس

نتایج پیش‌بینی نشان داد که میانگین ریشه مربعات خطا برای ماده آلی و کربنات کلسیم معادل ۰,۲ و ۳,۷۵ است. همچنین در مدل درخت تصمیم نتایج ضریب تبیین در مرحله آزمون (۳۰ درصد از داده‌ها) به ترتیب ۰/۷۸ و ۰/۷۳ برای این دو ویژگی به دست آمد. در مدل شبکه عصبی مصنوعی نتایج ریشه مربعات خطا برای کربن آلی و کربنات کلسیم معادل خاک به ترتیب ۰/۳۵ و ۶/۶۹ به دست آمد (جدول ۲). برای ارزیابی مدل‌های فوق، مدلی با کم‌ترین میانگین ریشه مربعات خطا به‌عنوان بهترین مدل در تهیه نقشه رقومی و انتخاب پارامترهای محیطی انتخاب شد. در این راستا Somaratne *et al*. (2005) در سریلانکا با استفاده از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه، جهت نقشه‌برداری رقومی کربن آلی خاک به ترتیب ضرایب تبیین ۰/۸۳-۰/۹۲ را گزارش نمودند.

نتایج ضریب همبستگی بین قابلیت هدایت الکتریکی و متغیرهای مستقل نشان داد که پارامترهای مستقل ارتفاع، شبکه آبراهه، شاخص پوشش گیاهی، عمق دره، MRVBF، باند۱ تا ۱۱ تصاویر ماهواره با مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک در سطح اعتماد ۹۵درصد معنی‌دار بوده و درنتیجه این پارامترها به‌عنوان ورودی مدل استفاده گردید. تمامی باندهای تصاویر ماهواره باقابلیت هدایت الکتریکی معنی‌دار گردیدند که این نشان‌دهنده اثر و ارتباط بین خاک‌های شور و املاح بر بازتاب طیفی می‌باشد. همچنین نتایج ضریب همبستگی بین ظرفیت تبادل کاتیونی و متغیرهای مستقل به این صورت بود که پارامترهای مستقل ارتفاع، شیب، LS فاکتور، شبکه آبراهه، عمق دره، فاصله افقی، موقعیت شیب نسبی و MRVBF با مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در سطح اعتماد ۹۵درصد معنی‌دار بوده و درنتیجه این پارامترها به‌عنوان ورودی مدل استفاده گردیدند.

نتایج پیش‌بینی در مرحله آموزش مدل برای پیش‌بینی قابلیت هدایت الکتریکی در منطقه نشان داد که میانگین ریشه مربعات خطا، ضریب تبیین و همبستگی به ترتیب ۲/۱۳، ۰/۸۱ و ۰/۹۰ می‌باشد. ضرایب همبستگی در این مدل بالا بوده که به علت همبستگی زیاد این پارامتر با متغیر محیطی می‌باشد. به‌طورکلی هدایت الکتریکی دارای تغییرات لحظه‌ای و زودگذر زیادی می‌باشد که این امر می‌تواند روی دقت مدل‌ها تاثیر بگذارد اما با این وجود مدلسازی با دقت قابل قبولی صورت گرفته است.حدود تغییرات هدایت الکتریکی بعد از پیش‌بینی توسط این مدل بین ۰/۴ تا ۳۹ برآورد شده است. خلاصه آماری وضعیت هدایت الکتریکی بعد از مدل‌سازی نشان می‌دهد که بخش وسیعی از منطقه دارای شوری بین ۰ تا ۲ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. هدایت الکتریکی که در واقع میزان ترکیبات محلول خاک را نشان می‌دهد، بعد از تبخیر آب این ترکیبات در دشت‌ها و مکان‌های دارای فراز و نشیب رسوب می‌کنند که این مطلب را به‌خوبی در بخشهای مرکزی به سمت غرب منطقه مطالعاتی می‌توان مشاهده نمود که شوری‌های بالا در آنجا قرار دارند و مناطق دیگر که دارای ارتفاعات بالاتر هستند آبشویی صورت گرفته و شوری کمتری نیز دارند. پیش‌بینی مقدار قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از مدل درخت تصمیم در شکل ۲ آورده شده است.

در این تحقیق محدوده تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از مدل درخت تصمیم بین ۴/۸ تا ۱۸/۷ سانتی مول بار بر کیلوگرم می‌باشد و مناطق جنوب شرقی میزان ظرفیت تبادل کاتیونی بالاتری نیز می‌باشند . نتایج پیش‌بینی مدل در مرحله آموزش نشان داد که میانگین ریشه مربعات خطا، ضریب تبیین و همبستگی برای ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به ترتیب ۱/۸۶، ۰/۷۶ و ۰/۸۷ می‌باشد. پیش‌بینی مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از مدل درخت تصمیم در شکل ۳ آورده شده است.

نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی میزان قابلیت هدایت الکتریکی در منطقه برای آماره‌های میانگین ریشه مربعات خطا، ضریب همبستگی در مرحله آموزش، تست، اعتبار سنجی و مجموع آن به ترتیب ۳،۵۷ ، ۰،۸۱ ، ۰،۵۲ ، ۰،۴۹ و ۰،۷۱ می‌باشد. تعداد لایه‌های ورودی در این مدل شامل ۱۵ ورودی، لایه خروجی شامل یک نورون و تعداد نورون‌های لایه مخفی ۱۰ می‌باشد. بنابراین ساختار مورداستفاده به‌صورت ۱-۱۰-۱۵ می‌باشد. تعداد اپوک مورداستفاده بین ۰ تا ۱۰۰۰ می‌باشد که برای این پارامتر (قابلیت هدایت الکتریکی) بهترین ترکیب در تعداد اپوک ۱۷ متوقف گردید. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، این مدل مقدار قابلیت هدایت الکتریکی منطقه را بین ۰،۵ تا ۲۱،۴ دسی زیمنس بر متر پیش‌بینی کرده است و همچنین نتایج این مدل بعد از بررسی نشان می‌دهد بخش غربی منطقه دارای مقدار قابلیت هدایت الکتریکی بالایی است که علت آن با توجه به نقشه هموار ی دره با درجه تفکیک بالا قابل توجیه است که این مناطق، پست و نسبت به مناطق اطراف دارای ارتفاع پایین‌تری هستند و محل تجمع املاح می‌باشند. در این نقشه نیز مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در سایر مناطق کم بوده است.

تعداد لایه ورودی در این مدل به‌دست‌آمده برای ظرفیت تبادل کاتیونی شامل ۸ لایه ورودی، لایه خروجی شامل یک نورون و تعداد نورون‌های لایه مخفی ۱۰ می‌باشد. بنابراین ساختار مورد استفاده به‌صورت ۱-۱۰-۸ می‌باشد. تعداد اپوک مورداستفاده بین ۰ تا ۱۰۰۰ می‌باشد که برای این پارامتر (ظرفیت تبادل کاتیونی) بهترین ترکیب در تعداد اپوک ۱۷ متوقف گردید. نتایج این مدل برای آماره‌های میانگین ریشه مربعات خطا، ضریب همبستگی در مرحله آموزش، تست، اعتبار سنجی و مجموع آن به ترتیب ۳،۳ ، ۰،۶۹ ، ۰،۳۹ ، ۰،۴۶ و ۰،۶۴ می‌باشد. نقشه رقومی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در منطقه توسط تکنیک شبکه عصبی مصنوعی در شکل (۴-۱۹) نشان می‌دهد که این مدل دامنه تغییرات ۵،۴ تا ۲۳،۱ را پیش‌بینی کرده است. نتایج این مدل بعد از بررسی نشان می‌دهد که تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی دارای روند مشخصی نیست ولی منطقه عمدتاً دارای ظرفیت تبادل کاتیونی در حد متوسط می‌باشد.

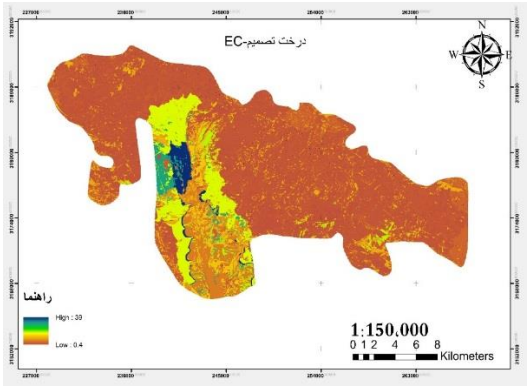
در منطقه موردمطالعه، پستی‌وبلندی و پوشش گیاهی از مهم‌ترین فاکتورهای خاک سازی بوده و در توزیع مکانی خاک و ویژگی‌های آن مؤثر می‌باشد. Taghizadeh et al. (2016) برای تهیه نقشه رقومی کربن آلی خاک در منطقه بانه استان کردستان، از متغیرهای کمکی داده‌های سنجش‌ازدور، پارامترهای سرزمین و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، راندوم فارست، رگرسیون لاجستیک، درخت تصمیم و الگوریتم ژنتیک استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین متغیرهای کمکی، جهت پهنه‌بندی کلاس خاک و کربن آلی خاک MrVBF ، NDVI، شاخص رس، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، شاخص خیسی بودند.

جدول ۱. پارامترهای آماری مربوط به ویژگی‌های هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

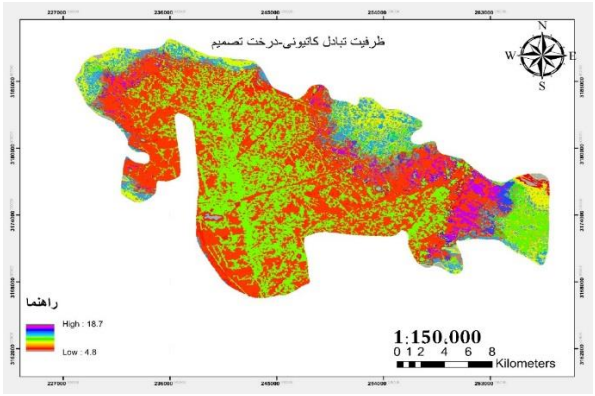
ویژگی	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	واریانس
هدایت الکتریکی	۰،۳۵	۳۹،۰	۳،۱۸	۴،۹۶	۲۴،۴۹
ظرفیت تبادل کاتیونی	۱۲/۵	۷۴/۵	۴۴/۲۷	۷/۴۰	۵۳/۱

جدول ۲. نتایج مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم برای پیش‌بینی ویژگی‌های کربن آلی و کربنات کلسیم معادل خاک

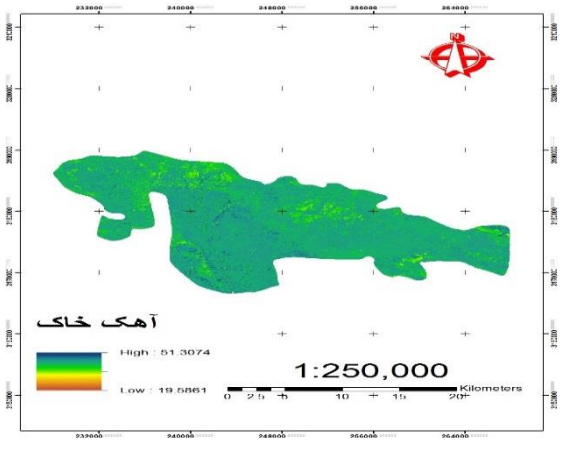
پارامتر	ضریب تبیین R^2	میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE)	ضریب تبیین R^2	میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE)
	درخت تصمیم		شبکه عصبی مصنوعی	
هدایت الکتریکی	۰,۹	۲,۱	۰,۸۱	۰,۳۶
ظرفیت تبادل کاتیونی	۰,۸۷	۱,۸۷	۰,۶۹	۳,۳



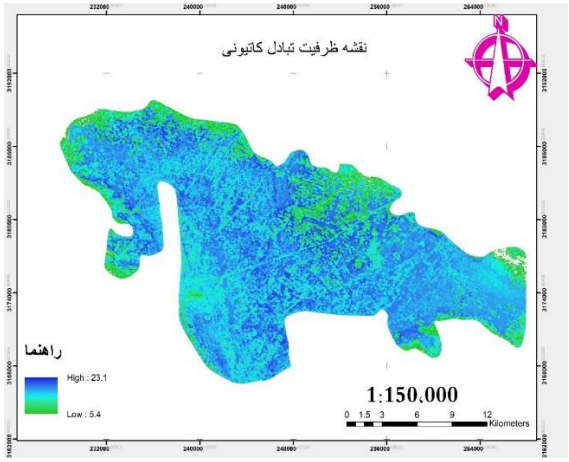
شکل ۲- نقشه رقومی هدایت الکتریکی با استفاده از مدل درخت تصمیم (DT)



شکل ۳- نقشه رقومی ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از مدل درخت تصمیم (DT)



شکل ۴- نقشه رقومی هدایت الکتریکی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (ANN)



شکل ۵- نقشه رقومی ظرفیت تبادل کاتیونی با استفاده از مدل شبکه عصبی

نتیجه‌گیری

نتایج مقایسه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون درختی برای پیش‌بینی ویژگی‌های خاک نشان داد که مدل رگرسیون درختی دارای کارایی بالاتری در پیش‌بینی ویژگی‌های خاک (هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی) است. نتایج نشان داد که برای پیش‌بینی مقادیر هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، پارامترهای شاخص هموارى دره با درجه تفکیک بالا، فاصله افقی، باند ۱ تا ۱۱ و شاخص پوشش گیاهی و شیب نسبی مهم‌ترین پارامترهای محیطی بوده‌اند. ارتباط قوی بین داده خاک و

پارامترهای محیطی نیز یکی از عوامل تأثیرگذار بر روی دقت مدل است. نتایج نشان داد که تکنیک‌های پدومتری بخصوص درخت تصمیم می‌توانند فرآیند نقشه‌برداری خاک ها را در گستره‌ای وسیع و متشکل از هرگونه عوارض طبیعی به‌یک‌باره انجام داده، روش سنتی را ارتقاء بخشیده، سرعت عمل و کارآمدی نقشه‌ها را در انتقال داده‌ها و اطلاعات افزایش داده و قابلیت استفاده آن‌ها را برای قشر وسیعی از شاخه‌های علمی امکان‌پذیر کنند. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده جهت تهیه نقشه رقومی خاک از مدل درخت تصمیم استفاده شود.

فهرست منابع

علیجانی، ز.، سرمدیان، ف.، و موسوی، ر. (۱۳۹۳). مقایسه دقت نقشه خاک تهیه‌شده به روش ژئوپدولوژی و روش معمول ایران (مطالعه موردی: کوهین). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۷، ۹۳-۱۰۲.

Bawer, C. A., Reitemeier, R. F. and Fireman, M. (1952). Exchangable cation analysis of saline and alkali soil. Soil Science, 73, 251-261.

Daigle, J. J., Hudnall, W. H., Gabriel, W. J., Mersiovsky, E., and Nielson, R. D. (2005). The National Soil Information System (NASIS): Designing soil interpretation classes for military land-use predictions. Journal of Terramechanics, 42(3): 305-320.

Grunwald, S. (2009). Multi-criteria characterization of recent digital soil mapping and modeling approaches. Geoderma, 152(3), 195-207.

McBratney, A. B., Odeh, I. O., Bishop, T. F., Dunbar, M. S., Shatar, T. M. (2000). An overview of pedometric techniques for use in soil survey. Geoderma, 97(3), 293-327.

Mirakzehi, K., Pahlavan-Rad, M. R., Shahriari, A., & Bameri, A. (2018). Digital soil mapping of deltaic soils: A case of study from Hirmand (Helmand) river delta. Geoderma, 313, 233-240.

Somaratne S., Seneviratne G., and Coomaraswamy U. (2005). Prediction of Soil Organic Carbon across Different Land -use Patterns: A Neural Network Approach. Soil Science Society of America Journal, 69: 1580-1589.

Taghizadeh-Mehrjardi R., Nabiollahi K., and Kerry R. (2016). Digital mapping of soil organic carbon at multiple depths using different data mining techniques in Baneh region, Iran. Geoderma, 253-254: 67-77.

Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Jafari, A., Finke, P. (2017). Comparing the efficiency of digital and conventional soil mapping to predict soil types in a semi-arid region in Iran. Geomorphology, 285, 186-204.

Zhu, A. X., Hudson, B., Burt, J., Lubich, K., Simonson, D. (2001). Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic. Soil Science Society of America Journal, 65(5), 1463-1472.

Prediction of soil EC and CEC values using decision tree and artificial neural network models (Case study: Darab region)

Sh. Hosseini[1], H.R. Owliaie[2], Z. Mosleh[3], and R. Taghizadeh-Mehrjardi[4]

[1]M.Sc. Student, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Yasouj University
[2]Associate Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Yasouj University
[3]Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj
[4]Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ardekan University

Abstract

In order to create a soil spatial database, laboratory results, soil field observations are combined with statistical analyzes obtained from spatial information, including quantitative and qualitative data, with environmental variables.Turning to new methods for optimal soil use in such a way that both human needs are met and this renewal source, is essential to preserve the future. The purpose of this study is to use artificial neural network and decision tree to prepare soil EC and CEC map. In this research, 418 soil samples (0-30 cm) were collected using a grid-based of 1000 m. Auxiliary variables, including indices of field measurements and land area parameters derived from digital elevation model were used. The results showed that decision tree and artificial neural network model for EC had mean root mean square error of 2.1 and 3.6 and R^2 0.9 and 0.71, respectively and for CEC root mean

square error of 1.87 and 3.3, respectively and R^2 is 0.87 and 0.64 .The results showed that for prediction of EC and CEC, the equilibrium parameters of multiresolution index of valley bottom flatness, horizontal distance, bands 1-11, vegetation index, and relative slope, were the most important factors. The decision tree model is more accurate than the artificial neural network model. The neural network performed weaker in predicting soil cation exchange capacity. Therefore, it is suggested that tree models be used for preparing a digital soil map in future studies.

Keywords: Spatial variation, Decision tree, Neural network, Environmental variable, Digital soil mapping

برآورد گچ خاک بر اساس مدل شبکه عصبی مصنوعی: مطالعه موردی دراستان تهران

مهدی صادقی پور مروی*[1]، محمد جمشیدی[2]، علیرضا ضیایی[2]

۱ نویسنده مسئول، محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، Email: msadeghipour@ut.ac.ir،

۲ استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب

چکیده

هدف این پژوهش، برآورد گچ خاک های استان تهران بر اساس مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری بود تا ضمن شناسایی وضعیت موجود به پیش بینی وضعیت آینده خاک نیز کمک شایانی نماید و به تاثیر خاک های گچی بر اکوسیستم خاک بیشتر توجه شود. بدین منظور ۵۵ نمونه خاک سطحی برداشت شد و مقدار گچ خاک در آزمایشگاه اندازه گیری شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و نقشه رقومی ارتفاع، ۷۶ پارامتر ژئومورفومتری استخراج گردید و بر اساس آنالیز آماری، ۲ مدل شبکه عصبی مصنوعی به روش کوکریجینگ تعریف شد. نتایج نشان داد پارامترهای DEM، Analytical Hillshading، Curvature Classification، Effective Air Flow Heights، Slope Height، Standardized Height، Wind Effect و Wind Exposion بیشترین ارزش را در مدل انتخاب شده داشتند. بدین ترتیب، از این مدل می توان برای برآورد گچ خاک های استان تهران در مناطقی که داده های آزمایشگاهی موجود نیست استفاده نمود.

کلمات کلیدی: تهران، شبکه عصبی مصنوعی، لندست ، گچ

مقدمه

استفاده از تصاویر ماهواره ای برای مدلسازی حصوصیات خاک به افزایش دقت و صحت نتایج منجر می گردد (Zhang and Hartemink (2018). نقشه برداری رقومی خاک تلفیقی از مشاهدات میدانی، آنالیز آزمایشگاهی و داده های سنجش از دور است که با بکارگیری روش های مدلسازی به پیش بینی خصوصیات مکانی خاک می پردازد (Kalambukattu et al (2018). مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی به بهبود دقت برآرود خصوصیات خاک کمک می کند (Bodaghabadi et al (2015) که در تحقیقات مختلف علوم خاک اعتبار سنجی شده است. پیدا کردن ارتباط میان خصوصیات خاک و داده های کمکی، عنصر کلیدی در نقشه برداری رقومی خاک محسوب می گردد. (Kalambukattu et al (2018)., Bodaghabadi et al (2015).

در مناطقی که گچ ثانویه به تشکیل افق پتروژیپسیک منجر می گردد که جزو لایه های سخت[1] خاک محسوب شده و در نتیجه، ضمن محدودیت رشد گیاه به شوری خاک نیزمنجر می گردد و استفاده از این اراضی به صورت کشاورزی و پیشرفت شوری و گچی شدن خاک منجر می گردد (بنایی و همکاران (۱۳۸۳). از آنجایی که یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر شاخص های حاصلخیزی خاک، گچ موجود در خاک است، برآورد گچ خاک های استان تهران بر اساس داده های کمکی مستخرج از تصاویر ماهواره ای در این پژوهش هدف گذاری گردید. تا ضمن شناسایی وضعیت موجود به پیش بینی وضعیت آینده خاک نیز کمک شایانی نماید و به تاثیر خاک های گچی بر مدیریت اکوسیستم خاک بیشتر توجه شود و به مدیریت همه جانبه خاک کمک نماید.

مواد و روش ها

محدوده جغرافیایی این پژوهش اتسان تهران بود. ۵۵ نمونه خاک سطحی برداشت شد و مقدار گچ خاک در آزمایشگاه اندازه گیری شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و نقشه رقومی ارتفاع که از سایت اینترنتی www.usgs. gov دانلود شده بود ۷۶ پارامتر ژئومورفومتری با استفاده از نرم افزار ساگا جی آی اس استخراج گردید و مورد پردازش اولیه قرار گرفت. بر اساس آنالیز

[1] Hard Pan

آماری، ۲ مدل شبکه عصبی مصنوعی به روش کوکریجینگ با استفاده از نرم افزار JMP تعریف شد. ارزیابی آماری مدل ها بر اساس پارامتر R^2، RMSE انجام شد تا مدل برتر شناسایی گردد. در این مدل، برآورد مقدار گچ خاک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری امکان پذیر خواهد بود.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج آنالیز آماری نمونه های خاک مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج آنالیز آماری نمونه های خاک

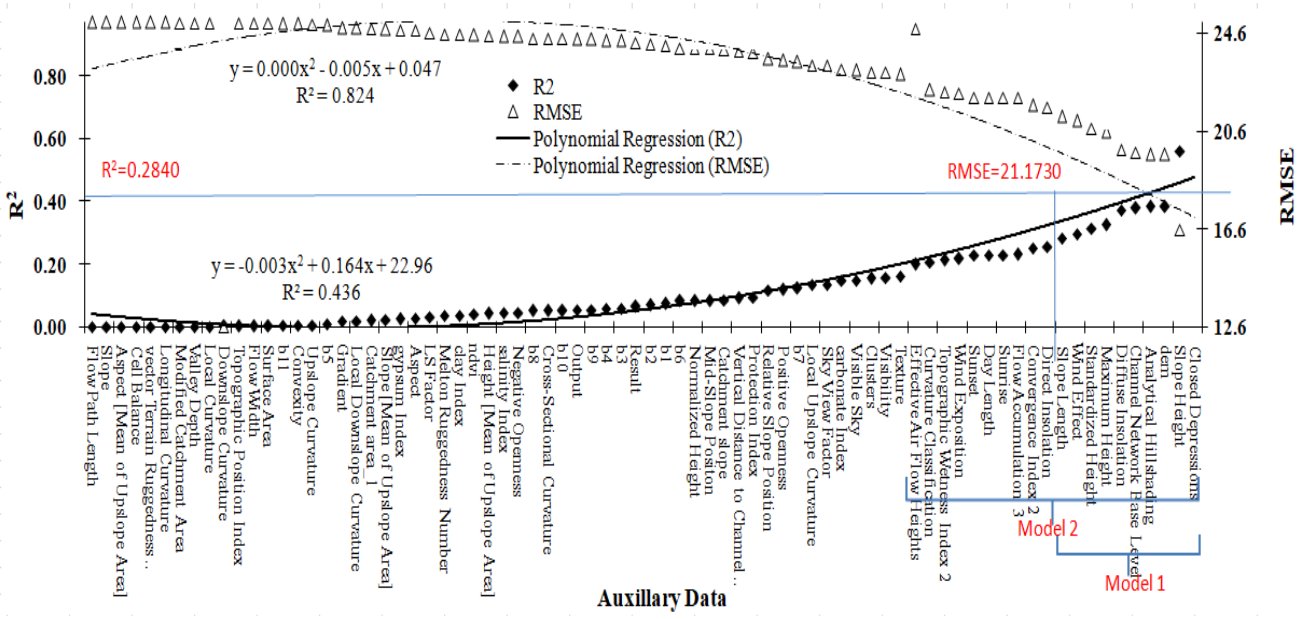
Model	Parameter (%)	Mean	Std. Dev.	Std Err Mean	Min	Median	Max	Sample/Pixel No
-	$Gypsum_m$	12.60	23.40	7.80	0	0.71	59	55
1	$Gypsum_{pred}$	12.60	23.40	7.80	-8.35e-11	0.71	59	55
		69.24	4.31	0.001	5.56e-10	69.84	100	5456151
2	$Gypsum_{pred}$	12.60	23.40	7.80	-9.09e-13	0.71	59	55
		888.39	3158.72	1.35	-8334.22	49.81	50711.54	5456151

$Gypsum_m$: Measured Gypsum in laboratory

$Gypsum_{pred}$: Predicted Gypsum based on ANN[2]

بر اساس جدول ۱ میانگین درصد گچ خاک ها ۱۲/۶۰ و کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب ۰ و ۵۹ درصد بود.

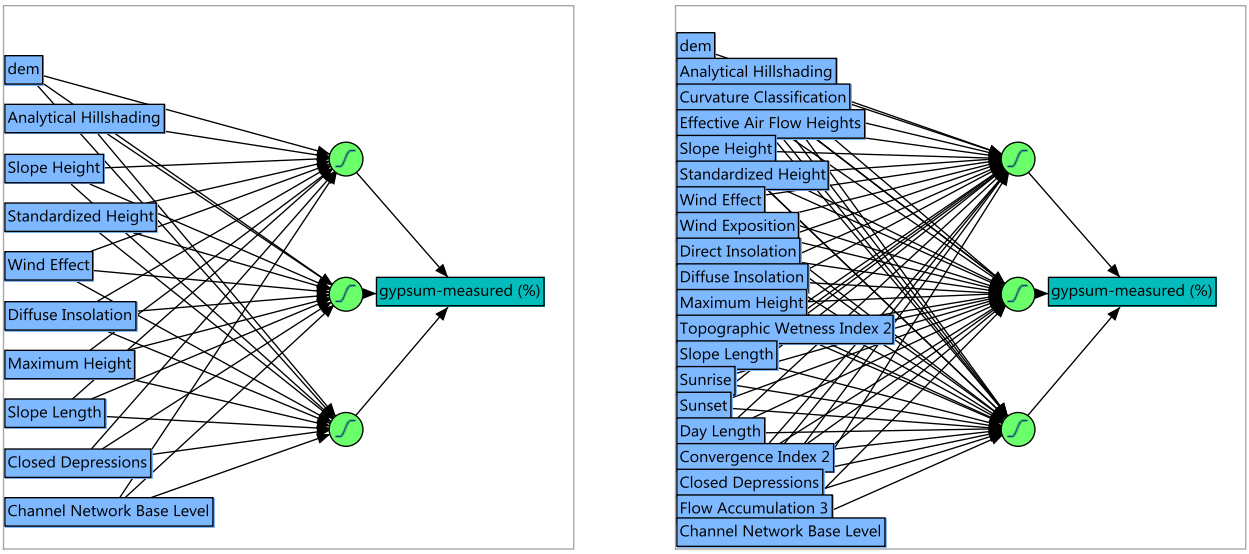
شکل ۱ مقایسه مقادیر R^2 و RMSE میان داده های محاسبه شده در این پژوهش با مقادیر گچ خاک را نشان می دهد.



شکل ۱- مقادیر R^2 و RMSE میان داده های اصلی و پارامترهای ژئومورفومتری با مقادیر گچ خاک

[2] Artificial Neural Network

شکل ۲ مدل های شبکه عصبی مصنوعی بکار رفته در این پژوهش را نشان می دهد.



شکل ۲- مدل شبکه عصبی مصنوعی در مدل ۱ (سمت راست) و مدل ۲ (سمت چپ)

جدول ۲ مقایسه آماری مدل های استفاده شده در این پژوهش را نشان می دهد.

جدول ۲- مقایسه آماری مدل ها

مدل	R^2	RMSE	ضریب همبستگی
۱	۰/۳۵	۲۰/۲۵	۰/۵۸
۲	**۰/۹۹**	**۰/۰۰۱**	**۰/۹۹**

جدول ۲ نشان داد، مدل دوم با بیشترین R^2 ، کمترین RMSE و بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۰۰۱ و ۰/۹۹ به عنوان مدل برتر انتخاب شد. بدین ترتیب، مدل ۲ برای ترسیم نقشه گچ در خاک های استان تهران انتخاب گردید.

مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی برای pH خاک به صورت زیر بدست آمد:

$$Gypsum_{Predicted}(\%) = 3822.72+$$
$$0.5551* DEM+$$
$$334.1455*Analytical\ Hillshading+$$
$$-11.0502*\ Curvature\ Classification+$$
$$-2.1150*Effective\ Air\ Flow\ Heights+$$
$$60.4210*\ Slope\ Height+$$
$$-3.1163*\ Standardized\ Height+$$
$$2108.7673*\ Wind\ Effect+$$
$$-3539.8424*\ Wind\ Exposion+$$

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد پارامترهای DEM، Analytical Hillshading، Curvature Classification، Effective Air Flow Heights، Slope Height، Standardized Height، Wind Effect و Wind Exposion بیشترین ارزش را در مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد گچ خاک های استان تهران داشتند. و از مدل ارایه شده می توان برای پیش بینی وضعیت کچ خاک های استان تهران در مواردی که اطلاعات آزمایشگاهی موجود نیست استفاده نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران و موسسه تحقیقات خاک و آب برای فراهم کردن امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می گردد.

منابع مورد استفاده

بنایی، ح.، مومنی، ع.، بای بوردی، م.، ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۳. خاک های ایران. تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری. موسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سنا. چاپ اول. ۴۸۱ صفحه.

Bodaghabadi, M.B., Martinez-Casasnovas, J., Salehi, M.H., Mohammadi, J., Borujeni, I.E., Toomanian, N. and Gandomkar, A., 2015. Digital soil mapping using artificial neural networks and terrain-related attributes. *Pedosphere*, *25*(4), pp.580-591. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(15)30038-2.

Kalambukattu, J.G., Kumar, S. & Arya Raj, R., 2018. Digital soil mapping in a Himalayan watershed using remote sensing and terrain parameters employing artificial neural network model. Environmental Earth Sciences, 77(5). Available at: http://dx.doi.org/10.1007/s12665-018-7367-9.

Zhang, Y. & Hartemink, A.E., 2018. Digital mapping of a soil profile. European Journal of Soil Science, 70(1), pp.27–41. Available at: http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12699.

Prediction of Soil Gypsum Based on Artificial Neural Network: Case Study in Tehran Province, Iran

Mahdi Sadeghi Pour Marvi*[1]., Mohamad Jamshidi[2]., Ali Reza Ziyaee[2]

1 Agricultural and natural resources research and Education Center of Tehran Province, Varamin, Iran.

Email: msadeghipour@ut.ac.ir

2 Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.

Abstract

The objective of this study was prediction of soil gypsum Tehran province, based on artificial neural network modeling using geo-morphometric parameters, until it help to soil condition prediction, not only current but also future ecosystem condition. So, 55 soil samples were taken from soil surface and gypsum content was measured in the lab. In the next stage, 66 geo-morphometric parameters were extracted from Landsat 8 satellite imagery and DEM until 2 model were defined in Co-kriging method based on statistical analysis. The results showed parameters included DEM ،Analytical Hillshading ،Curvature Classification ،Effective Air Flow Heights ،Slope Height ،Standardized Height ،Wind Effect و Wind Exposion had the most worth in selected model. Therefore, this model can be used to prediction of soil gypsum in Tehran province, Iran, wherever had not lab data.

Key words: Artificial Neural Network, Gypsum, Landsat, Tehran

تابع انتقالی خاک برای برآورد SAR با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری در استان تهران

مهدی صادقی پور مروی*[1]، محمد جمشیدی[2]، علیرضا ضیایی[2]

۱ نویسنده مسئول، محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، Email: msadeghipour@ut.ac.ir،

۲ استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب

چکیده

SAR یک پارامتر مهم برای شناسایی خاک های شور- سدیمی است و با توجه به هزینه بر و زمان بر بودن اندازه گیری آزمایشگاهی آن، استفاده از مدل های آماری برای برآورد آن مناسب می باشد. در این پژوهش، تابع انتقالی خاک برای برآورد نسبت SAR خاک های استان تهران با استفاده از پارامترهای ژئومورفورمتری تعیین گردید. برای این منظور، نمونه برداری خاک سطحی انجام شد و نسبت SAR در آزمایشگاه آندازه گیری شد. در مرحله بعد، با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره لندست ۸ و DEM، پارامترهای ژئومورفومتری مرتبط استخراج گردید و بر اساس آنالیز آماری، ۳ مدل تعیف گردید. نتایج ارزیابی آماری نشان داد ۱۳ داده ژئومورفومتری (DEM، Analytical Hillshading، [Mean of Upslope Area] Height، [Mean of Slope Upslope Area]، [Mean of Upslope Area] Aspect، Clusters، WI Values، Convergence Index، Curvature Classification، Gradient، Effective Air Flow Height، Surface Area و Slope Height) بیشترین ارزش را در مدل MLP شبکه عصبی مصنوعی داشتند (مقادیر پارامترهای R^2، ضریب همبستگی، RMSE و MAE به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۹۹، ۰/۰۰۱ و ۸/۵۰). از این مدل می توان برای برآورد نسبت SAR در خاک های استان تهران استفاده کرد.

کلمات کلیدی: مدل MLP، DEM، نسبت جذب سدیم

مقدمه

SAR یک پارامتر مهم برای شناسایی خاک های شور- سدیمی است و با توجه به هزینه بر و زمان بر بودن اندازه گیری آزمایشگاهی آن، استفاده از مدل های آماری برای برآورد آن مناسب می باشد. از آنجا که شناسایی پارامترهای هدایت الکتریکی، واکنش خاک و نسبت جذب سدیم[1] خاک الزامی است. مدلسازی حصوصیات خاک با بکارگیری تصاویر ماهواره ای موجب افزایش دقت و صحت نتایج حاصله می گردد (Zhang and Hartemink (2018). و صحت نتایج نقشه برداری رقومی خاک را در پی دارد (Kalambukattu et al (2018). در این میان، مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی در سالیان اخیر مورد توجه بوده و اعتبارسنجی آن آزموده شده است (Bodaghabadi et al (2015) . که یافتن ارتباط میان خصوصیات خاک و داده های کمکی مستخرج از تصاور ماهواره ای مکته کلیدی محسوب می گردد (Kalambukattu et al (2018)., Bodaghabadi et al (2015).

این پژوهش در این راستا، به تعیین پارامترهای تاثیرگذار بر SAR خاک های استان تهران می پردازد تا در کنار پارامترهای شوری و pH به شناسایی بهتر خاک های شور- قلیا در استان تهران کمک نماید. بر این مبنا، در این پژوهش، تابع انتقالی خاک برای برآورد نسبت SAR خاک های استان تهران با استفاده از پارامترهای ژئومورفورمتری تعیین گردید.

مواد و روش ها

این پژوهش در محدوده جغرافیایی استان تهران اجرا شد. ۵۵ نمونه خاک سطحی برداشت شد و پارامتر نسبت جذب سدیم به صورت زیر محاسبه شد:

[1] SAR, Sodium Adsorption Retio

$$SAR = \frac{Na\ (\frac{meq}{l})}{\sqrt{\frac{Ca\ (\frac{meq}{l}) + Mg\ (\frac{meq}{l})}{2}}}$$

مقادیر سدیم،کلسیم و منیزیم محلول در آزمایشگاه اندازه گیری شد. پس از دانلود تصاویر ماهواره ای و نقشه رقومی ارتفاع از سایت اینترنتی زمین شناسی آمریکا، پردازش اولیه آنها با استفاده از نرم افزار ساگاه جی آی اس انجام گردید. سپس، ۶۶ پارامتر ژئومورفومتری استخراج گردید و مورد پردازش اولیه قرار گرفت. سپس بر اساس آنالیز آماری، ۳ مدل شبکه عصبی مصنوعی به روش کوکریجینگ با استفاده از نرم افزار JMP تعریف شد. در انتها بر اساس پارامتر R^2، RMSE ارزیابی آماری مدل ها صورت پذیرفت و مدل منخب، معرفی گردید. این مدل، برآورد مقدار SAR خاک را با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری امکان پذیر می کند.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{n}[(s_i - \bar{s}_i)(c_i - \bar{c}_i)]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(s_i - \bar{s}_i)^2 (c_i - \bar{c}_i)^2}}$$

$$\mathrm{RMSE} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(s_i - c_i)^2}{n}\right)^{0.5}$$

$$\mathrm{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|s_i - c_i|}{n}$$

n: تعداد مشاهدات　　ci: مقادیر اندازه گیری شده　　ci: مقادیر اندازه گیری شده

Si: مقادیر برآورد شده　　si: مقادیر برآورد شده

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج آنالیز آماری نمونه های خاک مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد.

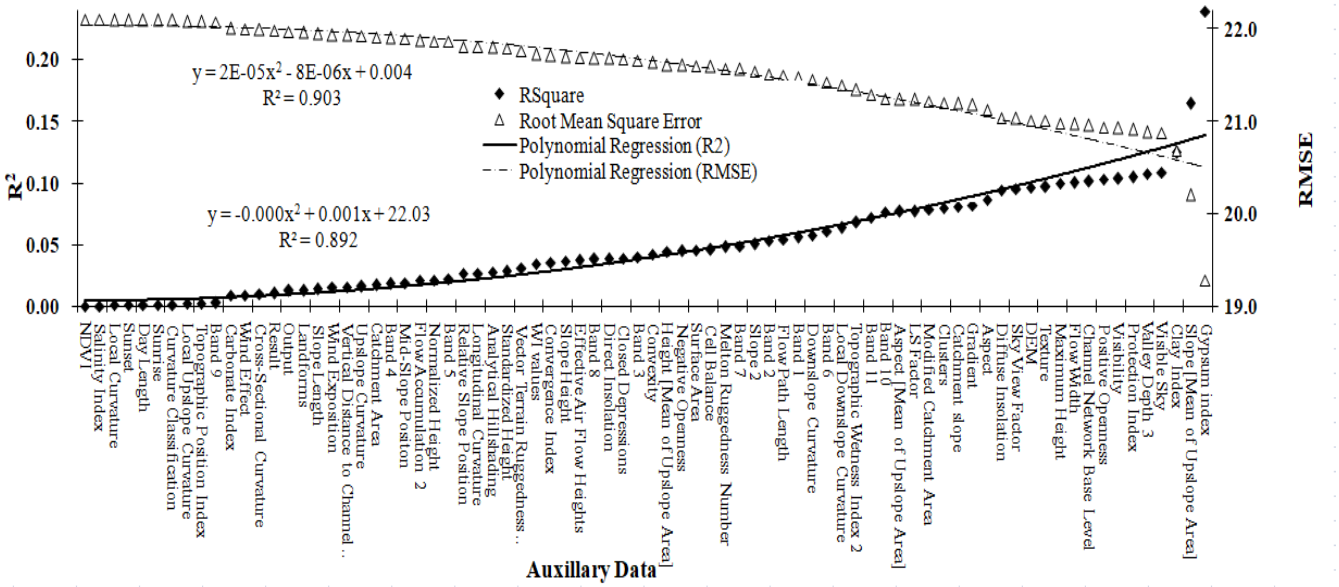
جدول ۱-۳- نتایج آنالیز آماری نمونه های خاک

Model	Parameter (%)	Mean	Std. Dev.	Std Err Mean	Min	Median	Max	Sample/Pixel No
1, 2, 3	SAR_m	10.3	21.2	5.498	0.4	1.8	75.0	55
1	SAR_{pred}	10.3	9.0	2.348	-2.5	8.7	20.3	55
		12.4	9.8	0.004	-261.1	13.7	55.0	5456151
2	SAR_{pred}	10.3	21.2	5.498	0.4	1.8	75	55
		-79.7	251.3	0.117	-790.9	-50.4	516.9	5456151
3	SAR_{pred}	10.3	21.2	5.498	0.4	1.8	75	55
		-1.60e+8	474038071	3.366	-1562368549	111.7	40544.1	5456151

SAR_m : Measured SAR in laboratory
SAR_{pred}: Predicted SAR based on ANN[2]

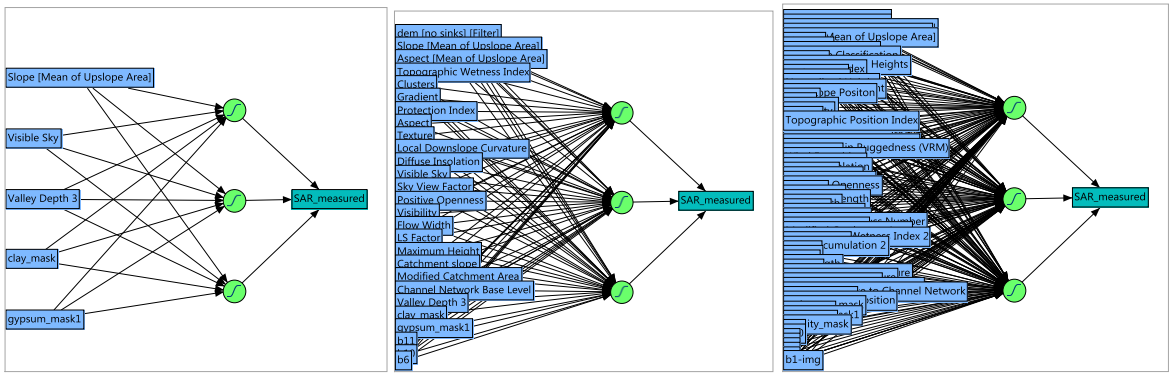
بر اساس جدول ۱ میانگین SAR نمونه های خاک اندازه گیری شده در آزمایشگاه ۱۰/۳ و کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب ۰/۴ و ۷۵ بود. شکل ۱ مقادیر R^2 و RMSE میان داده های اصلی و پارامترهای ژئومورفومتری با مقادیر SAR را نشان می دهد.

[2] Artificial Neural Network



شکل ۱- مقادیر R^2 و RMSE میان داده های اصلی و پارامترهای ژئومورفومتری با مقادیر SAR

شکل ۲ مدل های شبکه عصبی مصنوعی بکار رفته در این پژوهش را نشان می دهد.



شکل ۲- مدل شبکه عصبی مصنوعی در مدل ۱ (تصویر سمت چپ) و مدل ۲ (تصویر وسط)و مدل ۳ (تصویر سمت راست)

جدول ۲ مقایسه آماری مدل های استفاده شده در این پژوهش را نشان می دهد.

جدول ۲- مقایسه آماری مدل ها

مدل	R^2	RMSE	MAE	ضریب همبستگی
۱	۰/۱۸	۱۹/۹۸	۱۶/۰۷	۰/۴۲
۲	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۲/۲۶	۰/۹۹
۳	۰/۹۹	۰/۰۰۱	۸/۵۰	۰/۹۹

جدول ۲ نشان داد، مدل سوم با بیشترین R^2 ،کمترین RMSE و MAE و بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب ۹۹/، و ۰/۰۰۱، ۸/۵۰ و ۰/۹۹ به عنوان مدل برتر انتخاب شد. مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی برای SAR خاک به صورت زیر بدست آمد:

SAR_{pred} = 17498.681274 +
-2.5596* DEM+
732.7034* Analytical Hillshading +
0.196352270812017 *Height [Mean of Upslope Area] +
-1123.0484170322 * Slope [Mean of Upslope Area] +
0.52558784406598 * Aspect [Mean of Upslope Area] +
-106.141290602386 * Clusters+

-601.0899 * WI Values+
4.0187* Convergence Index +
11.0726 * Curvature Classification +
-3379.3108* Gradient +
2.1677 * Effective Air Flow Height +
-6.4163 * Surface Area +
45.2026 * Slope Height

نتیجه گیری

بر اساس نتایج، پارامترهای DEM، Analytical Hillshading، Height [Mean of Upslope Area]، Slope [Mean of Upslope Area]، Aspect [Mean of Upslope Area]، Clusters، WI Values، Convergence Index، Curvature Classification، Gradient، Effective Air Flow Height، Surface Area and Slope Height در مدل پرسپترون چند لایه (MLP) بیشترین ارزش را داشتند و می توان از آنها برای برآورد نسبت SAR خاک های استان تهران استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران و موسسه تحقیقات خاک و آب برای فراهم کردن امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می گردد.

منابع مورد استفاده

Bodaghabadi, M.B., Martinez-Casasnovas, J., Salehi, M.H., Mohammadi, J., Borujeni, I.E., Toomanian, N. and Kalambukattu, J.G., Kumar, S. & Arya Raj, R., 2018. Digital soil mapping in a Himalayan watershed using remote sensing and terrain parameters employing artificial neural network model. Environmental Earth Sciences, 77(5). Available at: http://dx.doi.org/10.1007/s12665-018-7367-9.

Zhang, Y. & Hartemink, A.E., 2018. Digital mapping of a soil profile. European Journal of Soil Science, 70(1), pp.27–41. Available at: http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12699.

Pedotransfer functions for prediction of Soil SAR using Geo-morphometric Parameters in Tehran Province

Mahdi Sadeghi Pour Marvi*[1]., Mohamad Jamshidi[2]., Ali Reza Ziyaee[2]
1 Agricultural and Natural Resources Research and Education Center of Tehran Province, Varamin, Iran.
Email: msadeghipour@ut.ac.ir
2 Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.

Abstract

SAR is a important parameters to identifying soil-sodic soils. Its lab analysis is extensive and long time, therefore, statistical model application is a suitable method for its prediction. In this research, pedotransfer functions were determined for prediction of Soil SAR using Geo-morphometric parameters in Tehran Province. In this way, soil surface sampling was conducted , and so sodium adsorption ratio was determined in the lab analysis. In the next stage, related geo-morphometric parameters were extracted by Landsat satellite images and DEM and 3 models was defined based on statistical analysis. Statistical results showed some parameters had the most worth in MLP model artificial neural network e.g. DEM ،Analytical Hillshading ،Height [Mean of Upslope Area] ،Slope [Mean of Upslope Area] ،Aspect [Mean of Upslope Area] ،Clusters ،WI Values ،Convergence Index ، Curvature Classification ،Gradient ،Effective Air Flow Height ،Surface Area and Slope Height (R2, Correlation coefficient, RMSE, MAE was 0.99, 0.99, 0.001, and 8.50, respectively). This model can be used to prediction of SAR in Tehran province soil, Iran.

Key words: DEM, MLP Model, Sodium Adsorption Ratio

مدلسازی pH خاک های استان تهران بر اساس مدل پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی

مهدی صادقی پور مروی*[۱]، محمد جمشیدی[۲]، علیرضا ضیایی[۲]

۱ نویسنده مسئول، محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، Email:msadeghipour@ut.ac.ir،

۲ استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب

چکیده

با توجه به تاثیرگذاری pH بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، هدف این پژوهش، مدلسازی pH خاک های استان تهران بر اساس مدل پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی بود. بدین منظور، تعداد ۵۵ نمونه خاک از مناطق مختلف برداشت گردید و سپس تصاویر ماهواره لندست ۸ و نقشه رقومی ارتفاع مورد پردازش اولیه قرار گرفت. ۶۶ پارامتر ژئومورفومتری محاسبه گردید و سپس ۲ مدل تعریف گردید. مدل اول شامل پارامترهای ژئومورفومتری با مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب بیش از ۰/۴۴ و کمتر از ۰/۳۹ و مدل دوم با مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب بیش از ۰/۹۹ و کمتر از ۰/۰۰۰۱. مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. نتایج نشان داد مدل دوم با بیشترین R^2 ، کمترین RMSE و بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۰۰۰۱ و ۰/۹۹ به عنوان مدل برتر انتخاب شد. در این مدل، پارامترهای ژئومورفومتری Cell Balance ، Local Curvature و Wind Exposition بیشترین ارزش را در مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد pH خاک در استان تهران داشتند. از این مدل می توان برای پیش بینی وضعیت pH در خاک های استان تهران استفاده کرد.

کلمات کلیدی: پارامترهای ژئومورفومتری، تهران، pH

مقدمه

مطابق مدل اسکورپن[۱] pH خاک تابعی از خصوصیات خاک (از قبیل شوری و آهک خاک)، Cl [۲] خصوصیات اقلیمی منطقه (TWI[۳])، O [۴] موجودات زنده، (شامل گیاه، جانور و انسان، شاخص های ارزیابی تنوع زیستی موجودات خاکزی)، P [۵] ماده مادری، T/a [۶] زمان لازم برای تکامل خاک ها، R [۷] پستی بلندی (از قبیل DEM[۸]) و n موقعیت مکانی است (امیریان چکان و همکاران. ۱۳۹۶). این مطالب موید این است که تغییرات pH خاک، علاوه بر تغییرات مکانی[۹] با هتروژنیتی اکولوژیک[۱۰] نیز همبستگی دارد. pH خاک متاثر از ماده مادری و متعاقبا گچ و آهک موجود در خاک می باشد. استفاده از تصاویر ماهواره ای برای مدلسازی رقومی خاک به افزایش دقت و صحت نتایج منجر می گردد و از طیف رنگی تصاویر ماهواره ای برای پیش بینی خصوصیات خاک استفاده می گردد (Zhang and Hartemink (2018). با توجه به اهمیت pH خاک بر فراهمی زیستی عناصر غذایی و حاصلخیزی زیستی خاک (بنایی و همکاران. ۱۳۸۳)، هدف این پژوهش، مدلسازی پ_هاش خاک های استان تهران بر اساس مدل پرسپترون چند لایه شبکه عصبی مصنوعی است.

مواد و روش ها

---

[1] S= f(s, c, o, r, p, a, n)
[2] Climate
[3] Topographic Wetness Index
[4] Organisms
[5] Parent Material
[6] Time/ age
[7] Relief
[8] Digital Elevation Map
[9] Spatial Variation
[10] Ecological Heterogeneity

ابتدا تعداد ۵۵ نمونه خاک از مناطق مختلف استان تهران برداشت گردید و پارامتر pH خاک در آزمایشگاه اندازه گیری شد. سپس تصاویر ماهواره لندست ۸ و نقشه رقومی ارتفاع از سایت زمین شناسی آمریکا[11] دانلود شد و مورد پردازش اولیه قرار گرفت. در مرحله بعد تعداد ۶۶ پارامتر ژئومورفومتری با استفاده از نرم افزار SAGA GIS محاسبه گردید و بر اساس آنالیز آماری ۲ مدل تعریف گردید. مقادیر R^2 و RMSE در مدل اول بیش از ۰/۴۴ و کمتر از ۰/۳۹ و در مدل دوم بیش از ۰/۹۹ و کمتر از ۰/۰۰۰۱ تعریف شد و مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی انجام گردید. نتایج نشان داد مدل دوم با بیشترین R^2 ، کمترین RMSE و بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۰۰۰۱ و ۰/۹۹ به عنوان مدل برتر انتخاب شد. در این مدل، پارامترهای ژئومورفومتری Cell Balance، Local Curvature و Wind Exposition بیشترین ارزش را در مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد pHخاک در استان تهران داشتند. از این مدل می توان برای پیش بینی وضعیت pH در خاک های استان تهران استفاده کرد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج آنالیز آماری ۵۵ نمونه خاک مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد.

جدول ۱- نتایج آنالیز آماری نمونه های خاک

Model	Parameter (%)	Mean	Std. Dev.	Std Err Mean	Min	Median	Max	Sample/Pixel No
-	pH_m	8.10	0.50	0.13	7.6	7.84	9.08	55
1	pH_{pred}	8.10	0.33	0.08	7.56	8.11	8.89	55
		3.15	51.24	2.22	0.10	8.32	10.03	5456151
2	pH_{pred}	8.10	0.50	0.13	7.6	7.84	9.08	55
		3.76	21.94	0.009	0.10	8.28	10.05	5456151

pH_m : Measured pH in laboratory

بر اساس جدول ۱-۳ میانگین pH نمونه های خاک اندازه گیری شده در آزمایشگاه ۸/۱۰ و کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب ۷/۶۰ و ۹/۰۸ بود.

Geo-morphometric Parameters	Coeficient	Std Error	t-Ratio	p-Value
Cell Balance	-1.625098	1.139236	-1.39	0.2080
Local Curvature	-61.38987	52.37419	-1.14	0.2919
Wind Exposition	50.414282	57.29722	0.86	0.4206
Topographic Position Index	5.854519	6.933274	0.82	0.4387
Curvature Classification	-0.368606	0.454666	-0.79	0.4564
Standardized Height	0.0155208	0.020171	0.75	0.4788
Wind Effect	-20.84528	29.23757	-0.69	0.5105
Upslope Curvature	-20.80016	31.59036	-0.64	0.5424
Output	0.8651908	1.478337	0.57	0.5871
Valley Depth	0.044454	0.092881	0.47	0.6558
Vector Terrain Ruggedness (VRM)	-696.3124	1500.365	-0.45	0.6655
Downslope Curvature	22.504863	62.21818	0.35	0.7354
Local Upslope Curvature	-7.413506	24.2767	-0.30	0.7752
Melton Ruggedness Number	0.2215644	1.671207	0.13	0.9011
Cross-Sectional Curvature	0	0	.	.
Vertical Distance to Channel Network	0	0	.	.
Relative Slope Position	0	0	.	.
gypsum_mask1	0	0	.	.
b9	0	0	.	.

[11] www.usgs.gov

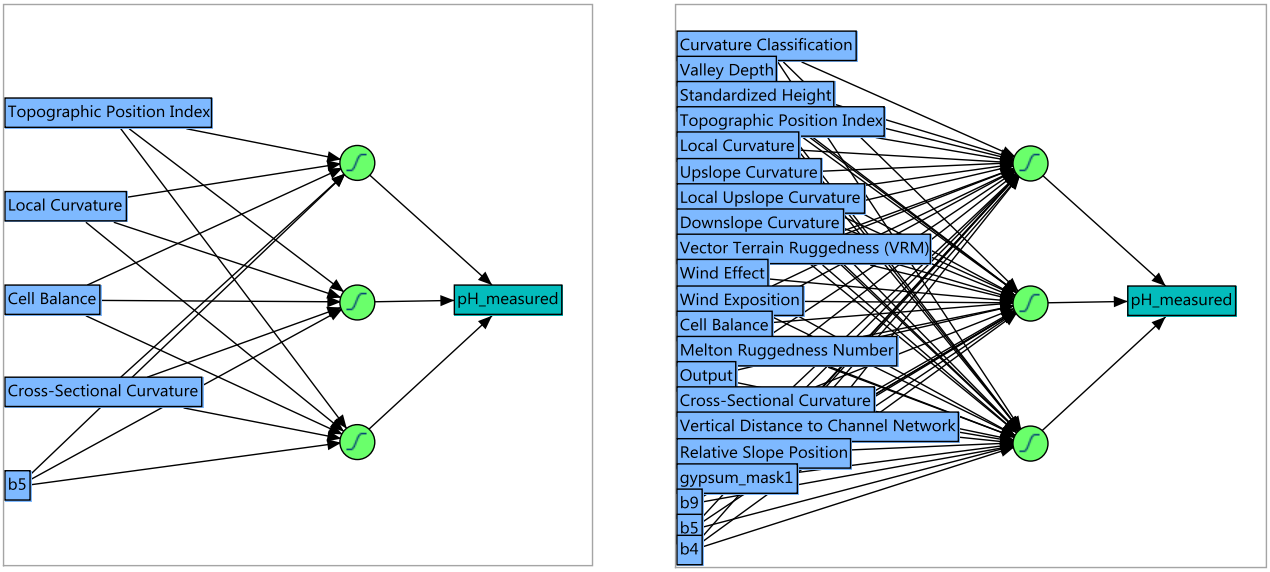
Geo-morphometric Parameters	Coeficient	Std Error	t-Ratio	p-Value
b5	0	0	.	.
b4	0	0	.	.

شکل ۱- ارزش داده های مورد استفاده در مدل شبکه عصبی مصنوعی در مدل ۲

شکل ۱ نشان داد در مدل ۲ Cell Balance، Local Curvature و Wind Exposition بیشترین ارزش را در مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد pH خاک داشتند.

۳-۱۱- مدل شبکه عصبی مصنوعی:

شکل ۶-۳ مدل های شبکه عصبی مصنوعی بکار رفته در این پژوهش را نشان می دهد.



شکل ۲- مدل شبکه عصبی مصنوعی در مدل ۱ (سمت راست) و مدل ۲ (سمت چپ)

جدول ۲ مقایسه آماری مدل های استفاده شده در این پژوهش را نشان می دهد.

جدول ۲- مقایسه آماری مدل ها

مدل	R^2	RMSE	ضریب همبستگی
۱	۰/۴۴	۰/۳۹	۰/۶۶
۲	**۰/۹۹**	**۰/۰۰۰۱**	**۰/۹۹**

جدول ۳-۱۰ نشان داد، مدل دوم با بیشترین R^2 ، کمترین RMSE و بیشترین ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۰۰۰۱ و ۰/۹۹ به عنوان مدل برتر انتخاب شد. بدین ترتیب، مدل ۲ برای ترسیم نقشه pH در خاک های استان تهران انتخاب گردید.

مدلسازی شبکه عصبی مصنوعی برای pH خاک به صورت زیر بدست آمد:

$pH_{Predicted}$ (%) = -32.7486 +
-0.3686* Curvature Classification +
0.0444* Valley Depth +
0.0155* Standardized Height +
5.8545* Topographic Position Index +
-61.3898 * Local Curvature +
-20.8001 * Upslope Curvature+

-7.4135 * Local Upslope Curvature +
22.2048 * Downslope Curvature +
-696.3123 * Vector Terrain Ruggedness (VRM) +
-20.8452 * Wind Effect +
50.4142 * Wind Exposition +
0-1.6250 Cell Balance +
0.2215 * Melton Ruggedness Number +

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این پژوهش، پارامترهای ژئومورفومتر Cell Balance ، Local Curvature و Wind Exposition بیشترین ارزش را در مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی برای برآورد pH خاک در استان تهران داشتند (R^2، RMSE و ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۰۰۰۱ و ۰/۹۹). از این مدل می توان برای پیش بینی وضعیت pH در خاک های استان تهران استفاده کرد.

تقدثر و سپاسگزاری

سپاسگزاری

بدینوسیله از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران و موسسه تحقیقات خاک و آب برای فراهم کردن امکانات و تجهیزات مورد نیاز برای اجرای این پژوهش سپاسگزاری می گردد.

منابع مورد استفاده

بنایی، ح.، مومنی، ع.، بای بوردی، م.، ملکوتی، م. ج. ۱۳۸۳. خاک های ایران. تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری. موسسه تحقیقات خاک و آب. انتشارات سنا. چاپ اول. ۴۸۱ صفحه.

Zhang, Y. & Hartemink, A.E., 2018. Digital mapping of a soil profile. European Journal of Soil Science, 70(1), pp.27–41. Available at: http://dx.doi.org/10.1111/ejss.12699.

Modeling Soil pH Based on Multilayer Perceptron, Artificial Neural Network in Tehran Soils, Iran

Mahdi Sadeghi Pour Marvi*[1]., Mohamad Jamshidi[2]., Ali Reza Ziyaee[2]
1 Agricultural and natural resources research and Education Center of Tehran Province, Varamin, Iran.
2 Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran.

Abstract

Soil pH effect on physical, chemical and biological properties of soil. The objective of this study was modeling soil pH in Tehran province based on the multilayer perceptron model of artificial neural network. In the first step, 55 soil samples were sampled from different areas and then Landsat 8 satellite imagery and digital elevation map were initially processed. 66 geo-morphometric parameters were calculated and then 2 models were defined. The first model includes geo-morphometric parameters with R^2 and RMSE values more than 0.44 and less than 0.39, respectively, and the second model includes with R^2 and RMSE values more than 0.99 and less than 0.0001, respectively. Artificial neural network modeling was performed. The results showed that the second model with the highest R^2, the lowest RMSE and the highest correlation coefficient of 0.99, 0.0001 and 0.99, respectively, was selected as the superior model. In this model, the geo-morphometric parameters Cell Balance, Local Curvature and Wind Exposition had the highest worth in artificial neural network modeling for estimating soil pH in Tehran province. This model can be used to predict the pH status in the soils of Tehran province.

Key words: Geo-morphometric parameters, Tehran, pH

بررسی اثرتنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

مریم موسی پور، محمد فیضیان، زهره بوالحسنی

۱- دانشیار شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان (feizian.m@lu.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری مدیریت حاصلخیزی و زیست فناوری خاک، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان و دانشجوی دکتری مدیریت حاصلخیزی و زیست فناوری خاک ، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان

چکیده

به منظور بررسی تاثیر سطوح ورمی‌کمپوست و تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تحت کشت ریحان آزمایشی بصوت فاکتوریل(۳*۴) بر پایه طرح کاملا تصادفی در شرایط گلخانه با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای به‌کار رفته شامل ۴ سطح ورمی‌کمپوست (۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ گرم برکیلوگرم خاک) و سه سطح تنش رطوبتی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه) بودند. نتایج نشان داد کاربرد ورمی‌کمپوست سبب افزایش ماده آلی، هدایت الکتریکی، و کاهش چگالی ظاهری و اسیدیته خاک در شرایط تنش خشکی شد. بنابراین می‌توان گفت ورمی‌کمپوست کودی مناسب برای خاک‌های آهکی در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. قبل از هرگونه توصیه کودی ورمی‌کمپوست در شرایط مزرعه می‌بایست نتایج این تحقیق مورد بررسی قرار گیرد.

کلید واژه: تنش خشکی، ورمی کمپوست، ویژگی‌های شیمیایی خاک

مقدمه

قسمت اعظمی از ایران دراقلیم گرم و خشک با میانگین بارندگی کم و توزیع مکانی و زمانی نامناسب است (Khalili, 1998). تنش خشکی یکی از شایع‌ترین تنش‌های غیرزنده دنیاست که رشد و عملکرد گیاهان را در دنیا و مخصوصا مناطق خشک و نیمه خشک را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Wang *et al*. 2011). در مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل کمبود مواد آلی استفاده از ترکیبات آلی نظیر کودهای حیوانی انواع کمپوست و ورمی‌کمپوست و لجن فاضلاب جهت بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کود ورمی‌کمپوست موادی یکنواخت و شبیه پیت هستند که بوسیله فرآیندی غیر وابسته به گرما و در نتیجه تعامل کرم خاکی و میکروارگانیسم‌های خاک منجر به اکسیداسیون زیستی و تثبیت مواد آلی می شوند (Yanga *et al*. 2015). ورمی‌کمپوست می‌تواند کیفیت موادغذایی را بدون به خطر انداختن ایمنی آنها بهبود بخشد (Hanč *et al*. 2008). ورمی‌کمپوست بر خصوصیات شیمیایی خاک نظیر اسیدیته خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد مواد آلی و همچنین خصوصیات فیزیکی خاک تاثیرگذار است (Yanga *et al*. 2015). به علت کاهش شدید ذخیره آب در جهان و ایران هر راهی که اثرات زیان‌بار تنش خشکی را کاهش دهد ممکن است بر صنعت کشاورزی مثمرثمر واقع گردد. بنابراین در این تحقیق به بررسی اثر کود ورمی-کمپوست بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌پردازیم.

مواد و روش‌ها

به منظور اثر تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، آزمایشی بصورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل ۴ سطح ورمی‌کمپوست (۰،۱۰، ۲۰ و ۳۰گرم در کیلوگرم خاک) و سه سطح رطوبتی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت مزرعه) بود. در ابتدا خاک لازم از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری برداشته و برای انجام آنالیزهای اولیه خاک الک گردید. برخی خصوصیات خاک شامل اسیدیته به روش عصاره گل‌اشباع با استفاده از دستگاه pH متر (Thomas, 1996) مواد آلی به روش اکسایش تر (Nelson and Sommers, 1982)، هدایت الکتریکی عصاره گل‌اشباع توسط دستگاه

هدایت الکتریکی (Rhoades *et al*. 1996)، بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee *et al*. 1986) و جرم مخصوص ظاهری خاک (Klute and Dirkwen, 1986) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های ورمی‌کمپوست پس از هواخشک کردن و غربال با الک ۲ میلی‌متری، pH و EC در نسبت ۱:۵ کود به آب، ماده آلی مانند روش‌های صورت گرفته برای خاک استفاده شد. پس از اختلاط سطوح ورمی‌کمپوست با خاک به تعداد ۵ عدد بذر ریحان کشت شد. آبیاری در ماه اول رشد بصورت یک روز در میان در حد ظرفیت زراعی انجام شد. با شروع ماه دوم ۲۰ روز قبل از برداشت، گلدان‌ها تحت سطوح رطوبتی مذکور قرار گرفتند. پس از پایان دوره رشد و جمع‌آوری گیاه ریحان خاک گلدان‌ها الک و جهت آنالیز به آزمایشگاه انتقال داده شد. جهت اندازه‌گیری موادآلی خاک، اسیدیته، هدایت الکتریکی و جرم مخصوص ظاهری خاک از روش‌های گفته شده در ذکر شده در بالا استفاده گردید. تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزارSPSS به روش دانکن انجام گرفت.

جدول۱- برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و ورمی‌کمپوست مورد استفاده

ویژگی	خاک	ورمی‌کموپست
جرم مخصوص ظاهری (g/cm^3)	۱/۵۳	۱/۲
pHs	۷/۶	۷/۶۱
هدایت الکتریکی $dS.m^{-1}$	۰/۷۲	۱/۷
O.C (%)	۰/۹	۱۳/۲
سیلت (%)	۳۱/۲۸	-
رس (%)	۲۰/۷۲	-
آهک (%)	۲۸/۵	-
کلاس بافت خاک	لوم	-

نتایج و بحث

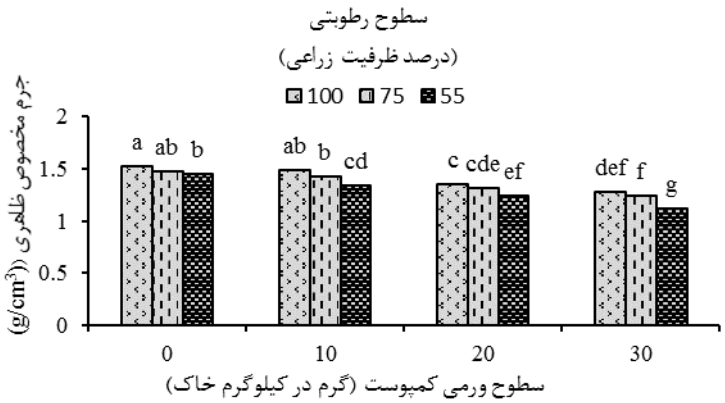
به منظور بررسی اثر کاربرد سطوح ورمی‌کپوست و تنش خشکی بر برخی ویژگی‌های فیزیک و شیمیایی خاک پس از برداشت ریحان داده‌های حاصله مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. نتایج جدول ۲ نشان داد اثر کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر مقدار هدایت الکتریکی، اسیدیته، ماده‌آلی و چگالی ظاهری خاک پس از برداشت، مثبت و معنی‌دار شد. اثر تنش رطوبتی نیز بر تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده جز هدایت الکتریکی خاک مثبت و معنی‌دار شد. در حالی‌که اثر متقابل ورمی‌کمپوست و تنش خشکی تنها بر چگالی ظاهری و درصد ماده‌آلی اثر مثبت و معنی‌داری داشت.

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف ورمی کمپوست و تنش خشکی بر صفات اندازه‌گیری شده خاک

		میانگین مربعات			
منابع تغییرات	درجه آزادی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ماده آلی	چگالی ظاهری خاک
تنش رطوبتی	۲	۰/۰۶۹^{ns}	۰/۵۱۷*	۰/۲۶۴**	۰/۰۴۴**
ورمی‌کمپوست	۳	۰/۲۳۳**	۱/۷۵**	۰/۳۳۹**	۰/۱۲۹**
تنش رطوبتی*ورمی‌کمپوست	۶	۰/۰۱۷^{ns}	۰/۱۲۰^{ns}	۰/۰۲۶**	۰/۰۰۱*
خطا	۲۴	۰/۰۴	۰/۱۲۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰

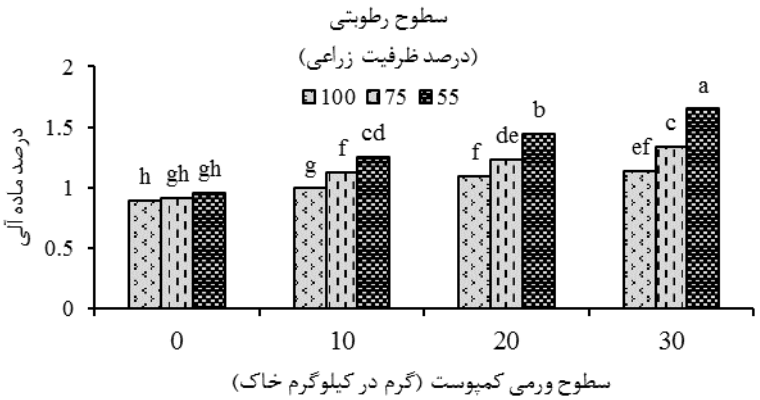
* و ** به ترتیب از لحاظ آماری با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد.ns از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

شکل۱ اثر کاربرد سطوح ورمی‌کمپوست و تنش خشکی را بر چگالی ظاهری خاک نشان می‌دهد. نتایج نشان داد در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست چگالی ظاهری خاک کاهش یافت. به‌طوری که کمترین چگالی ظاهری خاک در سطح ۳۰ گرم بر کیلوگرم خاک و بالاترین تنش رطوبتی (۵۵ درصد ظرفیت زراعی) مشاهده شد. همچنین بیشترین چگالی ظاهری در سطح شاهد (عدم کاربرد ورمی کمپوست و تنش رطوبتی) مشاهده شد. ورمی‌کمپوست ماده‌ای سبک است و چگالی ظاهری کمتری نسبت به مواد معدنی دارد بنابراین در اثر اختلات با ذرات خاک موجب کاهش تراکم خاک و در نتیجه کاهش چگالی خاک پس از برداشت شده است. قربانی و امیراحمدی(۱۳۹۷) در اثر کاربرد مواد آلی کاهش چگالی خاک را در بالاترین سطح ماده آلی به دست آوردند که با نتایج این تحقیق مشابه است. احمدآبادی (۱۳۹۰) نیز کمترین چگالی ظاهری خاک را در بالاترین سطح کاربرد ورمی‌کمپوست گزارش کرد.



شکل ۱- اثرمتقابل تنش رطوبتی و سطوح ورمی کمپوست بر مقدار چگالی ظاهری خاک پس از برداشت

شکل ۲ اثر متقابل کاربرد سطوح ورمی‌کمپوست و تنش رطوبتی را بر مقدار ماده آلی خاک نشان می‌دهد. نتایج نشان داد کاربرد سطوح مختلف ورمی‌کمپوست سبب افزایش ماده آلی خاک شده است. به‌طوری‌که بالاترین مقدار ماده آلی در اثر کاربرد بیشترین سطح ورمی‌کمپوست و بالاترین سطح تنش رطوبتی مشاهد شد. در حالی‌که کمترین مقدار ماده آلی خاک در سطح شاهد (عدم کاربرد ورمی‌کمپوست و ظرفیت زراعی) مشاهده شد. می‌توان گفت به دلیل افزایش تنش رطوبتی و کاهش رشد گیاه مقدار استفاده از ماده آلی خاک و تجزیه آن کاهش پیدا کرده است. نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی دریافتند که کاربرد بقایای گیاهی و بیوچار آنها می‌تواند موجب افزایش مقدار ماده آلی خاک شود.



شکل۲- اثرمتقابل تنش رطوبتی و سطوح ورمی کمپوست بر مقدار ماده آلی خاک پس از برداشت

براساس نتایج جدول ۳ مشخص شد کاربرد سطوح ۱۰ و ۲۰و ۳۰ گرم بر کیلوگرم ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد به ترتیب ۱۵/۸۱، ۲۴/۱۸ و ۵۰/۴۵ هدایت الکتریکی خاک را افزایش داد هرچند با برخی سطوح تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین نتایج نشان داد در سطح ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب نسبت به شاهد ۶/۷۹ و ۱۷/۳۹ هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت که بین برخی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. می‌توان گفت به دلیل شوری بیشتر ورمی‌کمپوست نسبت به خاک با افزودن به خاک شوری خاک افزایش می‌یابد زیرا ورمی‌کمپوست علاوه بر سایر عناصر غذایی حاوی مقداری زیادی سدیم نیز هست که موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌شود. همچنین در اثر تنش خشکی و کاهش جذب عناصر غذایی توسط گیاه املاح در خاک مانده و شوری خاک افزایش می‌یابد. احمدآبادی و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند با افزودن ورمی‌کمپوست به خاک بطور معنی-داری هدایت الکتریکی خاک افزایش پیدا کرد که با نتایج این تحقیق مشابهت دارد.

جدول۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش رطوبتی و ورمی‌کمپوست بر هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک

تیمار	سطح	هدایت الکتریکی	اسیدیته $dS.m^{-1}$
تنش رطوبتی (درصد ظرفیت زراعی)	۱۰۰	۰/۸۶۸a*	۷/۲۶۷ a
	۷۵	۰/۲۷ ۹ a	۶/۹۶۴ ab
	۵۵	۱/۰۱۹ b	۶/۸۷b
ورمی‌کمپوست (گرم در کیلوگرم خاک)	۰	۰/ ۷۶۵b	۷/ ۶۴۱ a
	۱۰	۰/۸۸۶ b	۷/۰۷۵ b
	۲۰	۰/۹۵ab	۶/۷۴۴ b
	۳۰	۱/۱۵۱ a	۶/۶۷۴ b

* اعدادی که در هر ردیف دارای یک حرف مشترک کوچک یا بزرگ هستند از لحاظ آماری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن فاقد تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

نتایج جدول ۳ همچنین نشان داد در اثر کاربرد ورمی‌کمپوست اسیدیته خاک کاهش پیدا کرد. بطوریکه در سطوح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ گرم بر کیلوگرم خاک ورمی‌کمپوست نسبت به شاهد به ترتیب ۷/۴، ۱۳/۳ و ۱۱/۴۷ درصد کاهش داد. هرچند بین برحی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. با افزایش تنش خشکی نیز اسیدیته خاک کاهش یافت بطوری که در سطح ۷۵ و ۵۵ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۴/۱ و ۵/۷ درصد نسبت به شاهد (۱۰۰درصد ظرفیت زراعی) کاهش پیدا کرد. علت کاهش اسیدیته خاک بعد از اضافه کردن کودهای آلی به خاک می تواند، تجزیه مواد آلی موجود در این مواد مرتبط باشد که منجر به تولید اسید کربنیک و اسیدهای آلی می شود (Hervas *et al*, 1989). به طور مشابه گزارشی دیگر نشان داد با کاربرد ورمی‌کمپوست اسیدیته خاک به طور معنی داری کاهش یافت (Parthasarathi *et al*, 2008).

نتیجه‌گیری

باتوجه به نتایج بدست آمده کاربرد ورمی‌کمپوست اثرات مثبتی بر خاک دارد. زیرا علاوه بر افزایش ماده آلی خاک نقش مهمی در کاهش چگالی خاک دارد. همچنین با کاهش مختصر اسیدیته خاک می‌تواند نقش مهمی در جذب فلزات خاک توسط گیاه داشته باشد. بنابراین کودی مناسب برای خاک‌های خشک و آهکی بحساب می‌آید. قبل از هرگونه توصیه کودی در سطح مزرعه باید نتایج این تحقیق مورد بررسی قرار گیرد.

فهرست منابع

۱. احمدآبادی، ز، قاجار سپانلو، م. رحیمی آلاشتی، س. (۱۳۹۰). اثر کاربرد ورمی کمپوست بر برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۱۵ (۵۸). ۱۳۷-۱۲۵.

۲. قربانی، م، امیراحمدی، ا. (۱۳۹۷). اثر بیوچار پوسته برنج بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و رشد ذرت در یک خاک لومی. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۷ (۳۲). ۳۱۹-۳۰۶.

۳. نجفی قیری، م، بوستانی، ح محمودی، ع. (۱۳۹۷). تأثیر بقایای سه گونه گیاهی و بیوچار آنها بر برخی ویژگی ها و وضعیت پتاسیم یک خاک آهکی. مجله پژوهش‌های علوم خاک و آب. ۳۲(۱). ۳۶-۲۵.

4. Gee, G. W., Bauder, J. W. A. Klute. (1986). Particle-size analysis. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods, 383-411.
5. Hanč, A., Tlustoš, P., Száková, J., Balík, J. (2008). The influence of organic fertilizers application on phosphorus and potassium bioavailability. Plant, Soil and Environment, 54 (6): 247–254.
6. Hervas, L., Mazuelos, C., Sensi, N., Saiz-Jimenez, C. (1989). Chemical and Physicochemical characterization of vermicompost and their humic acid fractions. Sci. Total Environ. 81/82:543-550.
7. Klute, A. and C. Dirkwen. 1986. Hyraulic conductivity and Dffusivity: Laboratory methods. PP. 687-734. *In*: A. Klute(Ed.), Method of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
8. Khalili, A. (1998). National water master plan vol 4, Studies meteorological department of energy.
9. Nelson, D. W., and L.Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soilan 2), 539-579.
10. Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds.) part III, 3rd ed. American Society of Agronomy. Inc., Madison, WI. PP: 475- 490.
11. Parthasarathi, K., Balamurugan, M., Ranganathan, L.S. (2008). Influence of vermicompost on the Physico-Chemical and Biological properties in different types of soil along with yield and quality of the pulse Crop–Blackgram. Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. 5(1): 51-58.
12. Rhoades, J. D., Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., Soltanpour, P. N. and M. E. Sumner. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of soil analysis. Part 3-chemical methods., 417-435.
13. Wang, Y., Ma, F., Li, M., Liang, D., Zou, J. (2011) Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. Plant Growth Regulation 64: 63-74.
14. Yanga, L., Zhaoa, F., Changa, Q., Li, T., Li, F. (2015). Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. Agricultural Water Management 160: 98–105.

Investigation of the effect of drought stress and vermicompost on some physical and chemical properties of Soil

Maryam Mosapour, Mohammed Feizian, Zohre Bolhasani

1- Associate Professor of Soil Chemistry and Fertility, Faculty of Agriculture, Lorestan University (feizian.m@lu.ac.ir)

2- PhD student in Soil Fertility and Biotechnology Management, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University

and PhD student in Soil Fertility and Biotechnology Management, Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University

Abstract

In order to investigate the effect of vermicompost and drought stress levels on some physical and chemical properties of soil under basil cultivation, a factorial experiment (4*3) was performed based on a completely randomized design in greenhouse conditions with three replications. The treatments used included 4 levels of vermicompost (0, 10, 20 and 30 g/ kg soil) and three levels of water stress (100, 75 and 55% of field capacity). The results showed that application of vermicompost increased organic matter, electrical conductivity, and decreased

bulk density and soil acidity under drought stress. Therefore, it can be said that vermicompost is a suitable fertilizer for calcareous soils in arid and semi-arid regions. The results of this research should be considered before making any recommendations for vermicompost fertilizer in field conditions.

Keywords: Drought stress, vermicompost, soil chemical properties

تأثیر اندازه ذرات پرلیت و مخلوط آن با پیت ماس بر عملکرد زعفران در سیستم هیدروپونیک

مینا فیضی زاده [1*]، عباس صمدی[1]، امیر رحیمی[2] و فرخ اسدزاده[1]

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲-گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:azarkhaklab@yahoo.com

چکیده

نوع بستر کشت بر رشد محصولات هیدروپونیک تأثیر دارد. به منظور انتخاب بستر کشت مناسب برای تولید بنه زعفران در شرایط کشت بدون خاک، دو آزمایش گلخانه‌ای مجزا با استفاده از بسترهای کشت حاوی اندازه‌های مختلف پرلیت و مخلوط پرلیت و پیت ماس انجام شد. تیمارهای آزمایش اول شامل بستر پرلیت: خیلی ریز (کوچکتر۰/۵ میلی‌متر)، ریز (۰/۵-۱ میلی‌متر)، متوسط (۱-۱/۵ میلی‌متر)، درشت (۱/۵-۲ میلی‌متر) و خیلی درشت (بزرگتر از ۲ میلی‌متر) که به صورت ۱۰۰٪ حجمی و تیمارهای آزمایش دوم شامل مخلوط اندازه‌های پرلیت با ۵۰٪ و پیت ماس (۵۰:۵۰)، پیت ماس (۱۰۰ درصد) حجمی بودند. آزمایش‌ها در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار طراحی شدند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری در پارامترهای مورد اندازه‌گیری در بسترهای معدنی (اندازه‌های مختلف پرلیت)، بسترهای آلی (پیت ماس) و مخلوط بسترهای آلی و معدنی مشاهده شد. بیشترین وزن (۱۸/۲۳ گرم)، و عملکرد در بسترهای مخلوط ۵۰:۵۰ با اندازه پرلیت ۱-۱/۵ به دست آمد. به طور کلی، می‌توان نتیجه گیری کرد که اگر چه افزودن پیت ماس به بسترهای پرلیت باعث افزایش پارامترهای رشد و عملکرد زعفران گردید، لیکن، در تهیه بستر کشت، باید اندازه پرلیت نیز مورد توجه قرار گیرد

واژگان کلیدی:اندازه پرلیت، پیت ماس، زعفران، هیدروپونیک

مقدمه

زعفران، ارزشمندترین رستنی ایران اقتصادی‌ترین محصول کشاورزی و گران بهاترین ادویه جهان می‌باشد. ارزش و قیمت زیاد این محصول باعث شده است تا به آن عنوان طلای سرخ داده شود (Abrishami, 2004). تولید زعفران نیازمند نیروی کار زیاد به‌ویژه برای جمع آوری گل و جدا سازی کلاله‌ها می‌باشد (Molina et al., 2004; Sadeghi, 2012). علی‌رغم قیمت بالای این محصول در بازارهای جهانی، افزایش هزینه‌های تولید و نیروی کارگری باعث افت شدید تولید در دهه‌های گذشته در حوضه مدیترانه شده است (Negbi, 1999).

ایران به عنوان بزرگترین تولید کننده و صادر کننده جهان زعفران و با تولید سالانه ۴۰۴ تن زعفران خشک از سطح بیش از ۱۱۱ هزار هکتار اراضی زراعی، عمده‌ترین تولید کننده این محصول در دنیا محسوب می‌شود (Rezvani Moghaddam et al., 2011). ایران برای حفظ جایگاه خود در بازار تجارت جهانی زعفران و جلوگیری از سقوط قیمت و کیفیت این محصول باید به راهکارهایی جهت بالا بردن راندمان تولید در مزارع زعفران و کاهش هزینه‌های تولید دست یابد. روش‌های سنتی فعلی که برای تولید و فرآوری زعفران به کار می‌رود همه قدیمی شده و میزان تولید جوابگوی هزینه‌ها نیست. لذا باید با نو اندیشی و بکارگیری روش‌های نوین میزان تولید در واحد سطح افزایش یافته و محصول اقتصادی و با کیفیت تولید شود. یکی از دلایل پایین بودن عملکرد در مزارع ایران استفاده از بنه‌های کوچک مزارع قدیمی است (Hemmati Kakhki, 2003) در حالی که در اسپانیا از بنه های درشت و سالم استفاده می‌شود (Rashed Mohassel et al., 1991).

بنه‌های کوچک اغلب در اثر تغذیه‌ی نامناسب ناشی از شرایط نامطلوب حاصلخیزی خاک تولید می‌شوند. این امر اهمیت فراهم نمودن شرایط تغذیه‌ای ممطلوب برای دست‌یابی به بنه‌های بزرگتر را گوشزد می‌نماید از این رو ارائه‌ی راهکارهای مناسب از جمله کشت بدون خاک با افزایش کنترل مدیریت تغذیه در آن می‌تواند منجر به تولید بنه‌های بزرگتر گردد (Mashayekhi et al., 2006). کشت زعفران تحت شرایط کنترل شده در بسترهای هیدروپونیک و آیروپونیک می‌تواند موفقیت آمیز باشد، با توجه به اینکه در این روش‌ها، محیط رشد و تغذیه گیاهان به دقت کنترل می‌شود، عملکرد بالاتر و کیفیت بهتر محصول

امکان پذیر خواهد بود، سیستم‌های کشت در شرایط کنترل شده می‌توانند جایگزینی مناسب برای کشت زراعی رایج زعفران شوند (ملافیلابی و همکاران، ۱۳۹۲).

تاثیر نوع بستر کشت بر گیاهان مختلف متفاوت است. بنابراین، یکی از مهمترین عوامل در ایجاد یک سیستم کشت بدون خاک، انتخاب بستر کشت مناسب می‌باشد (Olympios, 1999). انتخاب یک ماده خاص به عنوان بستر رشد، به در دسترس بودن، هزینه و تجربه استفاده از آن بستگی دارد. از بسترهای رایج می‌توان به پیت ماس، پومیس، پرلیت، و ترکیب شن و خاک اره اشاره کرد (Schwarz, 1994).

قاسمیان (۱۳۹۳) تأثیراندازه‌های مختلف پرلیت و مخلوط آن با کوکوپیت را بر گیاه دارویی ریحان در سیستم هیدروپونیک مورد آزمایش قرار داد و نتیجه گرفت که بسترهای حاوی پرلیت بسیار ریز از نظر پارامترهای رشد گیاه عملکرد زیاد را در گیاه ریحان نشان دادند. صمدی (۲۰۱۱) گزارش کرد که بستر های حاوی پرلیت ریز افزایش قابل توجهی در میانگین وزن میوه (۵۰ ٪)، ارتفاع بوته(٪۲۵) و سطح برگ (۷۰ ٪) خیار در مقایسه با بسترهای پرلیت بسیار درشت نشان داد و در نتیجه بهترین بستر برای خیار، پرلیت ریز به دست آمد. اسدالزمان و همکاران (۲۰۱۳) بهترین بستر برای رشد هویج را بستر پرلیت با اندازه ۰/۶ میلیمتر گزارش کردند. Albaho و همکاران(۲۰۰۹) با بررسی تاثیر سه بستر کشت متفاوت بر رشد و عملکرد دو رقم فلفل گزارش نمودند که رقم های فلفل پاسخ های متفاوتی به بسترهای کشت مختلف تحت بررسی نشان دادند. این بسترها تاثیر معنی دار بر ارتفاع رقم، تعداد برگها، شاخص کلروفیل و عملکرد کل گیاه داشتند.

با توجه به اهمیت توزیع اندازه محیط های کشت و اثر آن بر زعفران، این آزمایش جهت مطالعه اثر توزیع اندازه ذرات پرلیت بر رشد و تولید زعفران، و کیفیت آن انجام شد. با توجه به استفاده زیاد پرلیت در کشت های تجاری ایران، این مطالعه به منظور تعیین بهترین اندازه پرلیت و تعیین بهترین نسبت پیت ماس به پرلیت در تولید این محصول، در سیستم هیدروپونیک، و توصیه آن به تولیدکنندگان اجرا و طراحی می گردد

مواد و روش‌ها

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۱ تیمار و سه تکرار و در هر تکرار سه گلدان، در دو آزمایش مجزا انجام گردید. تیمارهای آزمایش اول شامل بستر پرلیت کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر (۱۰۰ ٪ حجمی)، پرلیت ۱-۰/۵ میلی‌متر (۱۰۰ ٪ حجمی)، پرلیت ۱/۵-۱ میلی‌متر (۱۰۰ ٪حجمی)، پرلیت ۲-۱/۵ میلی‌متر (۱۰۰ ٪ حجمی) و پرلیت بیش از ۲ میلی-متر (۱۰۰ حجمی) و تیمارهای آزمایش دوم شامل اختلاط اندازه‌های پرلیت و پیت ماس به صورت ۵۰ درصد حجمی و بستر پیت ماس به صورت۱۰۰ درصد حجمی بود. در طول فصل رشد پارامترهای اصلی رشد مانند ارتفاع گیاه(cm) (با خط کش)، سطح برگ (mm^2) (با استفاده از دستگاه سطح سنج مدل Area meter AM200)، وزن بنه (g) (با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۰۱)، قطر بنه (cm) و تعداد جوانه جانبی در مرحله کامل شدن رشد برای هر تیمار مورد سنجش قرار گرفت. علاوه بر صفات فوق صفات فیزیولوژیک مختلف نیز مورد سنجش قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی، گیاهان بعد از سه ماه و در اوایل اردیبهشت ماه نمونه‌های برگ تازه برداشت و سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی با استفاده از روش لیختن تالر(Lichtenthaler, 1987) انجام شد. طول موج های بکار گرفته شده برای سنجش رنگیزه‌ها با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UNICO) عبارت اند از 663 نانومتر برای سنجش کلروفیل a، 646 نانومتر برای سنجش کلروفیل b، 470 نانومتر برای سنجش کاروتنوئید غلظت رنگیزه ها بر حسب میکروگرم در میلی لیتر عصاره گیاهی و با روابط زیر محاسبه گردید:

$$Chl.a= (12.25A663.2-2.79A616.8)$$
$$Chl.b= (21.21A646.8-5.1A663.2)$$
$$Chl.T(a+b)= (7.15A663.2+18.71A646.8)$$
$$Car=(1000A470-18Chla-65.02Cl.b)/198$$

A : طول موج جذب به دست آمده از اسپکتروفتومتر، Chl: کلروفیل ، Car: کارتنویید.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش از نرم افزار SAS (Version 9.4; SAS Institute, 2011) استفاده شد. میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

نتایج

اثر اندازه‌های مختلف ذرات پرلیت بر خصوصیات مورفولوژیکی زعفران

تجزیه آماری داده‌های حاصل از آزمایشات اول نشان داد که تاثیر اندازه پرلیت بر پارامترهای اندازه گیری شده گیاه زعفران در معنی دار بود . تاثیر اندازه پرلیت بر میزان طول برگ گیاه اثر معنی داری نشان داد. بیشترین طول برگ (۲۰ سانتی‌متر) مربوط به پرلیت با اندازه ۱-۱/۵ میلی متر و پس از آن در پرلیت با اندازه ۲-۱/۵ میلی متر بود. کمترین ارتفاع (۱۰/۶۶ سانتی متر) در پرلیت با اندازه کوچکتر از ۰/۵ میلی متر بود.

بیشترین وزن تر برگ (۴/۲۲ گرم) مربوط به پرلیت با اندازه ۱-۱/۵ میلی‌متر بود .کمترین میزان وزن تر برگ مربوط به پرلیت با اندازه کوچک تر از ۰/۵ میلیمتر بود . طبق نتایج، بیشترین وزن بنه ۱۴/۰۱ گرم مربوط به اندازه ۱-۱/۵ میلی متر بود (جدول ۴). قطر بنه مرکزی در اندازه های مختلف پرلیت معنی دار بود پرلیت با اندازه ۱-۱/۵ میلی متر و پرلیت کوچک تر از ۰/۵ میلی متر دارای بیش ترین و کمترین قطز بنه.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر اندازه پرلیت بر خصوصیات فیزیولوژیک زعفران معنی دار بود. بیشترین مقدار کلروفیل a (۵/۱۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در بستر با اندازه پرلیت ۱-۱/۵ میلی‌متر وکمترین مقدار کلروفیل a (۰/۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در بستر پرلیت کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر بدست. آمد بیشترین مقدار کلروفیل b (۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در بستر با اندازه پرلیت ۱-۱/۵میلی‌متر بدست آمد که با اندازه‌های پرلیت ۰/۵-۱ میلی‌متر در یک گروه آماری قرار گرفت وکمترین مقدار کلروفیل b (۰/۷۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در بستر پرلیت کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر بدست آمد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر اندازه پرلیت بر میزان کلروفیل کل در برگ‌های زعفران در سطح احتمال۱٪.. بیشترین مقدار کلروفیل کل (۷میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در بستر با اندازه پرلیت ۱-۱/۵ میلی‌متر وکمترین مقدار کلروفیل کل (۰/۶۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در بستر پرلیت کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر بدست آمد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر اندازه پرلیت بر میزان کاروتنوئید در برگ‌های زعفران اختلاف معنی‌دار نداشت.

.تأثیر مخلوط اندازه های مختلف پرلیت و پیت ماس (۵۰: ۵۰) :

تجزیه آماری نتایج حاصل از آزمایش دوم نشان داد که اختلاط ۵۰ درصدی پیت ماس با اندازه‌های مختلف پرلیت بر عملکرد گیاه و عملکرد بنه زعفران معنی دار شد. با افزودن پیت ماس به بسترها، ارتفاع گیاه به طور معنی داری افزایش پیدا کرد . بیشترین طول برگ (۳۳/۲۳ سانتیمتر) مربوط به تیمار ۱-۱/۵ و در مخلوط ۵۰ درصدی پیت ماس با پرلیت کمترین طول برگ (۲۳/۸ سانتیمتر) در اندازه مخلوط ۵۰ درصدی در پرلیت کوچکتر از ۰/۵ میلی متر مشاهده گردید با افزودن ۵۰٪ پیت ماس به بسترهای پرلیت، میزان عملکرد وزن بنه‌ها به میزان معنی داری افزایش پیدا کرد .بیشترین عملکرد وزن به ترتیب در تیمارهای مخلوط ۵۰ درصدی در اندازه ۱-۱/۵ میلی متر به میزان ۱۷/۸۹گرم و کمترین مقدار مربوط به تیمارکوچک تر از ۰/۵ میلی متر به مقدار ۱۳/۳۹ گرم بود. قطر مرکزی بنه های زعفران در تیمارهای اندازه پرلیت معنی دار بود .ولی در تیمار مخلوط پیت ماس با اندازه های پرلیت در سطح ۵٪ غیرمعنی دار بود . با افزودن ۵۰٪ پیت ماس به بسترهای پرلیت، تعداد جوانه های جانبی به میزان معنی داری کاهش پیدا کرد .بیشترین تعداد جوانه های جانبی به ترتیب در تیمارهای ۱۰۰ درصدی حجمی پرلیت ۱/۵-۲ میلی متر به میزان ۶ و در تیمار1- پرلیت و پیت ماس ۵۰ درصدی این مقدار به ۵/۶ در اندازه کوچک تر از ۰/۵ کاهش یافت ..

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر اندازه پرلیت مخلوط با پیت‌ماس بر مقدار کلروفیل a برگ زعفران در سطح احتمال۰/۱٪ معنی‌دار بود. و بیشترین کلروفیل a برگ (۱۲/۳۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) در بستر با اندازه پرلیت ۱-۱/۵ میلی‌متر مخلوط با پیت‌ماس مشاهده شد و کمترین کلروفیل a برگ (۶/۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) در بستر پرلیت کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر با مخلوط پیت‌ماس بدست آمد. بیشترین کلروفیل b برگ (۴/۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) در بستر با اندازه پرلیت ۱-۱/۵ مخلوط با پیت‌ماس مشاهده شد و کمترین کلروفیل b برگ (۳/۰۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر گیاه) در بستر پرلیت بزرگ تر از ۲ میلی‌متر و بدون پیت‌ماس بدست آمد. (شکل۲).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر اندازه پرلیت مخلوط با پیت¬ماس بر مقدار کلروفیل کل برگ زعفران در سطح احتمال ۰/۱٪ معنی¬دار بود. بیشترین مقدار کلروفیل کل برگ (۱۵/۵۶ میلی¬گرم بر گرم وزن تر گیاه) در بستر با بستر با اندازه پرلیت ۱-۱/۵ مخلوط با پیت‌ماس مشاهده شد و با اندازه¬های پرلیت کوچکتر از ۰/۵ و ۱-۰/۵ و ۱-۱/۵ میلی¬متر مخلوط با پیت¬ماس در یک گروه آماری قرار گرفت وکمترین مقدار کلروفیل کل برگ (۱۰/۸۲ میلی¬گرم بر گرم وزن تر گیاه) در بستر پرلیت کوچکتر از ۰/۵ میلی¬متر و بدون پیت¬ماس بدست آمد.(شکل۲). نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر اندازه پرلیت مخلوط با پیت¬ماس بر مقدار کارتنوئید گیاه از نظر آماری معنی¬دار بود و بیشترین مقدار آن در کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر با مخلوط پیت‌ماس بدست آمد .

بحث

با توجه به نتایج به دست آمده، نشان داد که اضافه کردن پیت ماس به بستر با اندازه های مختلف پرلیت، عملکرد را نسبت به اندازه های مختلف پرلیت به صورت ۱۰۰ ٪ حجمی افزایش داد (شکل ۱ و ۲). پیت ماس بـه عنـوان مـاده آلـی گیـاهی دارای pHاسیدی، هدایت الکتریکی پایین و ظرفیت تبادل کاتیونی بالا می‌باشـد که به علت افزایش فعالیت میکروبی، ظرفیت نگهداری آب بالا، درصد تخلخل زیاد و در نتیجه تهویه و شرایط زهکشـی مناسـب، مـی توانـد شرایط رشد و توسعه مطلوب ریشه و اندام هوایی گیاه را فراهم سـازد (Barrett,2016)

همچنین ترکیب دو فاکتور بستر آلی و معدنی، نتیجه مثبتی در نگهداری مود غذایی، تبادل کاتیونی و توزیع بهینه رطوبت و هوا در اطراف ریشه دارد که در نتیجه در شکل دهی ریشه و جذب عناصر و رشد گیاه موثر است (Wood., et al,. 1993). قائمی و همکاران (۱۳۸۸) در پژوهشی که روی بسترهای مختلف کشت خیار گلخانه ای داشتند بستر پیت ماس را به عنوان بهترین بستر از نظر عملکرد معرفی کردند و دلیل این برتری را ظرفیت بالای نگهداری رطوبت و ظرفیت بالای تبادل کاتیونی ذکر کردند. همچنین، آنها به این نتیجه رسیدند که اختلاط پرلیت در بسترهای کشت باعث ایجاد تغییراتی در اکثر صفات اندازه گیری شده نسبت به حالت خالص آن شده است.

در این مطالعه اندازه‌های مختلف پرلیت بر میزان طول برگ، سطح برگ، وزن بنه، قطر بنه، تعداد بنه دختری گیاه زعفران اختلاف معنی داری داشت. بیشترین میزان رشد طول برگ و سطح برگ و وزن بنه زعفران در اندازه ۱-۱/۵ مشاهده شد. که دلیل این امر را میتوان به ویژگیهای فیزیکی پرلیت مانند تخلخل مناسب و ظرفیت نگهداری آب زیاد نسبت داد. پرلیت با اندازه۱-۱/۵ میلی¬متر ظرفیت نگهداری آب و تخلخل تهویه ای در حد متوسط میباشد.

مهمترین عامل در بستر، ایجاد و مدیریت مناسب شرایط محیطی بستر کشت گیاه می‌باشد. و در عین حال هم شاهد این بودیم که کمترین داده ها مربوط به اندازه خیلی ریز پرلیت (کمتر از ۰/۵ میلیمتر) و اندازه خیلی درشت (بزرگتر از ۲ میلیمتر) بود. خاک با ذرات ریز به طور معمول دارای سطح ویژه بالا و ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی بالا در مقایسه با ذرات درشت می باشد (Brady and weil , 1996). در جدول ۲ کمترین تخلخل تهویه‌ای برای اندازه پرلیت کمتر از ۰/۵ به دست آمد. در نتایج آلیر و همکاران (۱۹۹۶) نیز بیان شد که در ذرات ریز تخلخل تهویه ای کم بوده و باعث کمبود اکسیژن در بسترهای ریز می گردد همچنین، در بستر ریز به دلیل بالا بودن ظرفیت تبادل کاتیونی بالا که به مرور زمان به دلیل عدم زهکشی مناسب موجب تجمع کاتیون ها گردیده و افزایش EC به ویژه در لایه های سطحی می گردد (Guo *et al*, 2012)

تفاوت عمده محیط کشت خاکی و بدون خاکی در مقدار و توزیع اندازه منافذ آنها است (طباطبائی و ملکوتی ،۱۳۸۴). توزیع اندازه منافذ در بسترها مهم است زیرا فـضای منافذ، وزن مخصوص ظاهری و ظرفیت نگهداری آب و هوا را تعیین می‌کنند (Benito، 2005).

Savvas و Gizas (2007) چهار گیاه مختلف را بر روی بستر با اندازه‌های مختلف کشت کردند و مشاهده کردند که خیار و ژیپسوفیلا نسبت به رز و کاهو در مقابل اندازه نسبت آب و هوا خاک در محیط ریزوسفر ریشه حساس بوده و به تغییرات اندازه ذرات پاسخ مثبت نشان می‌دهد نتیجه گرفتند که گیاهان مختلف واکنش مختلف در مقابل اندازه‌های مختلف بستر کشت دارند.

همچنین صحت این موضوع را تأیید کرد که تهویه مهم است، زیرا هوادهی ناکافی می تواند منجر به تنفس بی هوازی شود برعکس، ذرات درشت نیز تخلخل تهویه ای بیشتری دارند.. که تخلخل تهویه ای ممکن هست تنفس ریشه ای را بهبود دهد (Drzal et al., 1999). ولی با افزایش اندازه ذرات، ظرفیت نگهداری آب کاهش یافت . که با نتایج Wallch (1992) سازگاری داشت. بستر با تهویه زیاد، به علت تجمع آب کم و افزایش حساسیت به خشکی، باعث کاهش رشد گیاه می شود (Bugbee, and Frink .1986)

در بین اندازه های مختلف پرلیت، تیمار پرلیت با اندازه اندازه ۱-۱/۵ میلی¬متر که شاهد عملکرد بالا بودیم و در عین حال کمترین تعداد بنه دختری مربوط به این تیمار به دست آمد که دلیل این امر را میتوان به رابطه بین تعداد بنه دختری و اندازه بنه مرکزی ارتباط داد به عبارت دیگر علت تولید بنه های دختری کوچک، وجود تعداد زیاد جوانه های جانبی است که منجر به تولید بنه های دختری کوچک می شود، زیرا بین جوانه ها برای جذب عناصر غذایی و مصرف مواد ذخیره شده در بنه مادری رقابت وجود دارد.

احتمالاً کاهش تعداد جوانه موجب کاهش رقابت بین جوانه ها می شود و در نتیجه بنه های کمتر اما با وزن بیشتر تولید می شود (حسینی و همکاران ، ۱۳۹۴).. بنه‌های درشت نه تنها در همان سال اول عملکرد مزرعه را بالا میبرند بلکه از طریق تولید بنه های (Hemmati Kakhki, 2003) بیشتر و درشتتر ظرفیت گل آوری و عملکرد مزرعه را برای سال‌های بعد نیز بیشتر می کنند هر چه وزن بنه بیشتر شود میزان عملکرد اقتصاد ی زعفران معمولاً براساس مقدار گل برداشت شده در واحد سطح یا زعفران خشک تولیدی در واحد سطح بیشتر می گردد.

حاجی آقایی کامرانی و همکاران (۱۳۹۱) نیز در یک مطالعه اثر بسترهای مختلف با نسبت های متفاوت از آنها را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند جهت تولید برای تولید مینی تیوبر (ریزغده) سیب زمینی در بستر آبکشت بهترین نتیجه را در محیط کشت با مخلوط پرلیت و پیت‌ماس با نسبت ۱:۱ حجمی توصیه نمودند. والتـــرز و همکـــاران ،(بـــوتز و پوپـــسکو ،نیـــز در تحقیقات خود، اثر مثبت پیت را بر رشد گوجه فرنگـی گـزارش کردند. این محققین دلیل این برتری را میزان مواد مغذی بیـشتر این بستر ناشی از قابلیت آن در نگهداری بیشتر مـواد غـذایی و آب عنوان کردند.

افشاریپور و روستا (۲۰۱۱) محیط کشت حاوی پرلیت و کوکوپیت را در سیستم هیدورپونیک مورد آزمایش قرار دادند بیشتر پارامترهای اندازه گیری شده در محیط کوکوپیت و در محیط حاوی پرلیت به تنهایی و خالص نتیجه خوبی نداشت .بلکه ترکیب آنها با یگدیگر به صورت ۵۰ درصد پرلیت + ۵۰ درصد کوپیت و ۲۵درصد پرلیت + ۷۵ درصد کوکوپیت بهترین نتیجه را داده است، که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

منابع

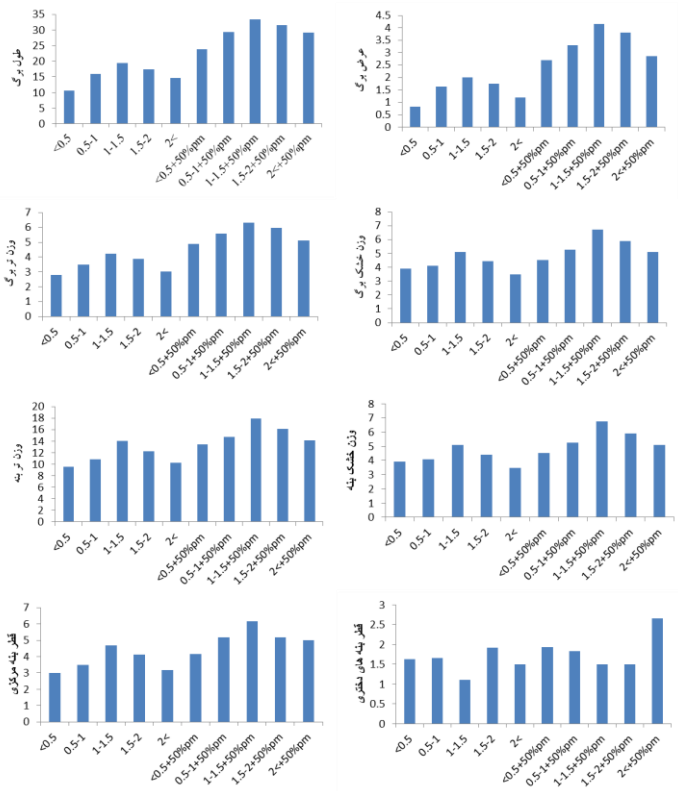
حاج آقایی کامرانی،م، هاشمی ک، مجد نجفی ن ا و حسین نیا ه .۱۳۹۳ . اثر بستر کشت خاکی و آبکشت بر رشد و عملکرد غده چه سیب-زمینی . مجله بوم شناسی گیاهان زراعی .۱۰(۳): ۳۵-۲۵.

قاسمیان، و .۱۳۹۳ . تأثیر توزیع اندازه ذرات پرلیت و بسترهای آلی بر کشت ریحان در سیستم هیدروپونیک .پایاننامه ارشد علوم خاک، دانشگاه ارومیه.

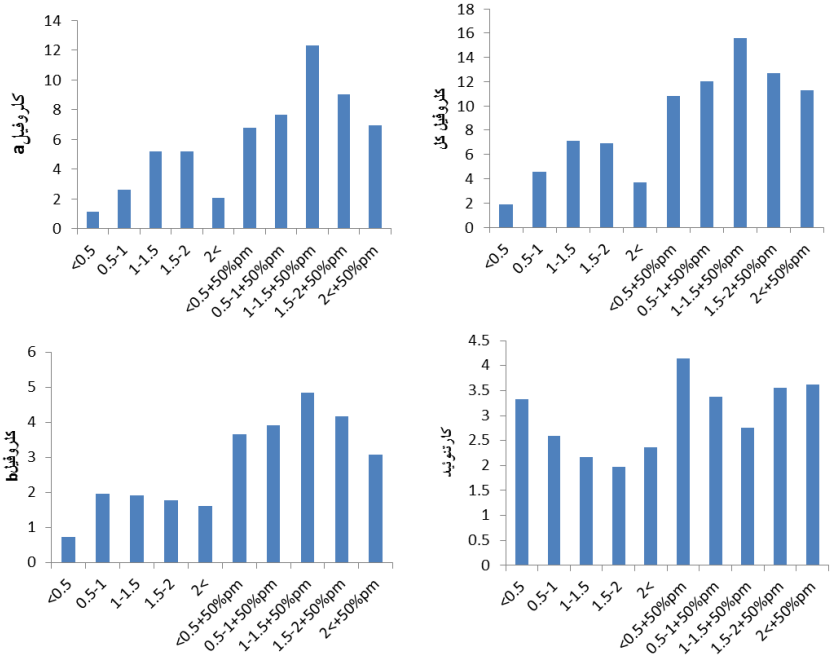
Sadeghi, B2012. Effect of corm weight on Saffron (Crocus sativus L.) flowering (Research II). In 4th .international saffron symposium. October, 22-25. Kashmir, India

Samadi A. 2011. Effect of particle size distribution of perlite and its mixture with organic substrates on cucumber in hydroponics system. Journal of Agricultural Science and Technology. 13: 121-129

Schwarz, M. 1994. Soilless culture management. Springer Verlag Germany P. 245.



شکل ۱: مقایسه میانگین طول گیاه، سطح برگ، وزن بنه، قطر بنه،تعداد جوانه جانبی در اندازه های مختلف پرلیت و مخلوط ۵۰:۵۰ پرلیت و پیت ماس



شکل ۲: مقایسه خصوصیات مورفولوژیکی زعفران در اندازه های مختلف پرلیت با اندازه های مختلف پرلیت و مخلوط ۵۰:۵۰ پیت ماس

بررسی کاربرد استفاده از آنالیز تصاویر سی‌تی اسکن برای کمی‌سازی خصوصیات فیزیکی و منافذ در علوم خاک

ماجد قصیری صبری[۱]، کمال نبی‌اللهی[۲]، کمال گنجعلی‌پور[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان (majedghosairy14@gmail.com)

[۲] دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

[۳] گروه زمین شناسی، دانشگاه خوارزمی تهران (کار شناس زمین‌شناسی شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس)

چکیده:

خاک از نظر فیزیکی ساختمانی متشکل از ذرات معدنی، مواد آلی و منافذ ریز تا درشت دارد. میزان ترکیب و شکل چینش این اجزاء در کنار هم از مهم‌ترین مباحث در علوم خاک به شمار می‌رود. دلیل این اهمیت بخاطر رفتار متفاوت خاک‌ها با ترکیب مختلف اجزاء است. لذا پیدا کردن روش‌هایی جدید که بتواند برای محققین سریع‌تر، مقرون به صرفه‌تر، ساده‌تر، دقیق‌تر، غیرمخرب و دارای دسترسی مستقیم به اجزاء داخلی خاک باشد از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. استفاده از تصویربرداری با کمک اشعه ایکس توموگرافی کامپیوتری یکی از همین روش‌های جدید می‌باشد. در طول نیم قرن گذشته محققین همواره در تلاش بوده‌اند تا این روش را با روش‌های رایج قدیمی مقایسه کنند. نتایج بیانگر این است که خوشبختانه در اکثر آزمایشات استفاده از این تکنیک نوین به خوبی جوابگوی دغدغه‌ی پژوهشگران بوده‌است. اما باتوجه به جدید بودن این روش، پیشرفت سریع تکنولوژی توموگرافی کامپیوتری و سوالات بیشمار پژوهشگران در مورد ساختمان و منافذ خاک همچنان باید تحقیقات گسترده‌تر و به‌روزتری با کمک این روش در علوم خاک انجام گیرد.

واژگان کلیدی: سی‌تی اسکن، توموگرافی کامپیوتری، مقطع‌زنی، روش مستقیم، آستانه‌گذاری

مقدمه :

برنامه‌ریزی برای داشتن خاکی سالم و تولیدکننده، لازمه بقای حیات انسان برروی این کره خاکی است. اما این برنامه‌ریزی بدون شناخت دقیق از خاک‌ها و استعداد اراضی‌های مختلف میسر نخواهد شد. از آنجایی که اجزای خاک همچون دیگر سیستم‌های طبیعی به شکل یک سازمان پیچیده می‌باشد لذا احتمال دارد درک کامل رفتار خاک صرفا با مشخص نمودن دقیق ساختار سه‌بعدی اجزای آن مشخص گردد (Taina *et al*., 2007). با توسعه روش‌های مقطع نازک خاک و سازگاری روش‌های میکروسکوپی پتروگرافیک (Kubiena 1938) ، متخصصان علوم خاک توانستند مورفولوژی خاک دست نخورده را توصیف کنند. تفسیرهای دقیق از سازمان‌بندی سه‌بعدی خاک با استفاده از مقطع‌زنی نازک دوبعدی (۲۵-۳۰ میلی متر) اساساً غیرممکن است (Stoops 2021). با بهبود روش‌های میکرومورفولوژیکی برای کمی‌سازی ویژگی‌های مختلف خاک ، نیاز به یک رویکرد سه‌بعدی به‌ویژه برای ارزیابی مناسب توزیع منافذ و سنگدانه ها آشکارتر شده است (Terribile et al., 1997). برش‌برداری متوالی(توموگرافی) می‌تواند اطلاعات مربوط به بعد سوم خاک را فراهم کند، اما این تکنیک رایج قدیمی یک روش خسته کننده است. اولین نتایج سی‌تی اسکن در علوم خاک توسط (Petrovic *et al*., 1982) گزارش شد، در آزمایشی که یک رابطه خطی بین جرم مخصوص ظاهری و میرایی اشعه ایکس را نشان داد. در طی چهار دهه گذشته ،

علاقه زیادی به استفاده از سی‌تی اسکن برای درک بسیاری از جنبه‌های ساختاری خاک وجود داشته‌است. بدون شک، تصویربرداری سی‌تی اشعه ایکس ابزاری قدرتمند برای درک ماهیت و پیکربندی مکانی اجزاء خاک و چگونگی ارتباط این امر با رفتار و فرآیندهای خاک ارائه می دهد. بررسی اولیه تحقیقات اخیر، شامل استفاده از سی‌تی در خاک ، تنوع قابل توجهی از روش‌ها را نشان می دهد. یکی از مشکلات اساسی استفاده از روش آنالیز تصاویر سی‌تی اسکن عدم وجود استانداردسازی برای روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل تصاویر می‌باشد (Taina *et al.*, 2007). هدف از این مقاله ارائه یک بررسی و ترکیب تحقیقات اخیر در مورد استفاده از تصاویر سی‌تی اسکن برای کمی‌سازی خصوصیات خاک است. به دنبال مروری کوتاه بر تئوری سی‌تی اسکن اشعه ایکس، بررسی تکنیک‌ها با توجه به دو زمینه اساسی کاربردی: خصوصیات فیزیکی و کمی‌سازی منافذ خاک سازمان یافته است.

اصول سی‌تی اسکن

هنگامی که پرتوی تابش شده اشعه ایکس از مواد عبور می‌کند، به دلیل فعل و انفعالات با اتم‌های تشکیل دهنده، میرایی تدریجی را تجربه می‌کند. در سطوح انرژی که معمولاً در سی‌تی اسکنرهای امروزی (1MV >) مشاهده می‌شود، میرایی پرتو در درجه اول نتیجه سه مکانیسم پراکندگی نامنسجم (کامپتون)، پراکندگی منسجم و جذب فوتوالکتریک می‌باشد (Simons *et al.*, 1997). پراکندگی نامنسجم شامل انتقال جزئی از انرژی فوتون به الکترون (برانگیختن یا بیرون انداختن آن) و پراکندگی فوتون با انرژی پایین‌تر است (Kak and Slaney 1988). این اثر بیشتر تحت تأثیر چگالی حجم مواد می-باشد نه تحت تاثیر عدد اتمی موثر مواد. (Simons *et al.*, 1997؛ Carlson *et al.*, 2000؛ Mees *et al.*, 2003؛ ؛ Ketcham 2005). پراکندگی منسجم تغییر مسیر فوتون اشعه X بدون از دست دادن انرژی است. این اثر در سطوح کم انرژی و بخاطر عدد اتمی بالاتر اتفاق می‌افتد. جذب فوتوالکتریک شامل انتقال کل انرژی فوتون به اتم و بیرون انداختن الکترون است (Murty and Devan 1997; Kak and Slaney 1988; Ketcham 2005). این اثر در سطوح کم انرژی غالب است و شدیداً به عدد اتمی مؤثر وابسته است (Van Geet *et al.*, 2000; Mees *et al.*, 2003). به‌طور کلی، حساسیت به انرژی فوتون اشعه ایکس برای پراکندگی نامنسجم کمترین و برای جذب فوتوالکتریک بالاترین است. پیچیدگی این مکانیسم‌های میرایی مانع از تفسیرهای ساده میرایی پرتو در مواد ناهمگن مانند خاک می‌شود. میرایی یک پرتوی تابش اشعه ایکس تک رنگ را می‌توان با قانون Beer توصیف کرد:

معادله (۱)

$$I/I_0 = \exp(-\mu h)$$

که در آن μ ضریب میرایی خطی در واحد طول ۱- است، I_0 و I اشعه ایکس ورودی و ضعیف شده و h ضخامت جسم اسکن شده است.

به دنبال بحث قبلی، μ به چگالی حجم (ρ) ماده، عدد اتمی موثر (Z) و انرژی (E) پرتو ایکس ورودی بستگی دارد (Denison *et al.*, 1997):

معادله (۲)

$$\mu = \rho(\alpha + bZ^{3.8}/E^{3.2})$$

که در آن a و b ضرایب وابسته به انرژی هستند.

متأسفانه، بیشتر اسکنرهای سی‌تی امروزی از پرتوی اشعه ایکس چند رنگی تشکیل شده‌است که متشکل از طیف پیوسته تابش "شکسته" و قله‌های گسسته تابش "مشخص" است. همانطور که توسط معادله ۲ پیش‌بینی شده‌است، میرایی تشعشع با انرژی کم ("نرم") از تشعشع با انرژی بالاتر ("سخت") بیشتر است و این منجر به تغییر در ترکیب پرتوی اشعه ایکس ("سخت شدن پرتو") می‌شود که حاصل عبور از جسم است. بنابراین، ضریب میرایی مشخص یک ناحیه از جسم تا

حدی به ضریب میرایی محیط اطراف آن بستگی دارد. واحد Hounsfield میرایی اشعه ایکس هر وکسل (عنصر حجم) را در یک تصویر سه‌بعدی توصیف می‌کند. با توجه به مقیاس Hounsfield (مقیاسی اختیاری که به نام Hounsfield نامگذاری شد) در دما و فشار استاندارد، به آب مقطر مقدار ۰ HU و هوا ، مقدار ۱۰۰۰ HU اختصاص داده می‌شود. قرائت در واحدهای Hounsfield را نیز عدد CT می‌نامند. عدد سی‌تی ماده مورد نظر، با داشتن μ به عنوان ضریب میرایی خطی ، عبارت است از:

معادله ۳

$$HU = 1000\,(\mu - \mu_w)/(\mu_w - \mu_a)$$

که در آن μ_w و μ_a ضرایب میرایی آب و هوا هستند.

پیش‌بینی سی‌تی اشعه ایکس، که از طریق بازسازی توموگرافی بدست می‌آید، شامل ادغام خطی ضریب میرایی است. متداول‌ترین روش بازسازی الگوریتم فیلتر طرح برگشتی است (Kak and Slaney 1988). عناصر تصویر سی‌تی اشعه ایکس را می‌توان با تکنیک‌های تقسیم‌بندی، که دو یا چند واحد در تصویر را شناسایی می‌کند، تفکیک کرد. ساده‌ترین روش تقسیم‌بندی با استفاده از یک آستانه جهانی، بر اساس مقداری که معمولاً با تجزیه و تحلیل هیستوگرام تصویر به‌دست می‌آید، استفاده می‌شود. نتایج دقیق‌تر با آستانه‌گذاری محلی به‌دست می‌آید، که وابستگی مکانی بین فازها را در نظر می‌گیرد (Al-Raoush and Willson 2005).

کاربرد توموگرافی در علوم خاک

اختراع سی‌تی‌اسکن برای اولین بار توسط Hounsfield (1972) در قرن نوزدهم انجام گردید. توموگرافی کامپیوتری در ابتدا فقط در پزشکی استفاده شد ولی خیلی زود در زمینه‌های دیگر مانند مهندسی، زراعت، زیست شناسی، فیزیک، شیمی و غیره مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در علوم خاک اولین بار توسط (Petrovic *et al.*, 1982) به عنوان پیشگام، کاربرد سی تی اسکن جهت اندازه‌گیری تراکم خاک با موفقیت مورد استفاده قرار گرفت. Hainsworth *et al.* (1983) و Crestana *et al.* (1985) در دو تحقیق مجزا به اندازه‌گیری حجم آب خاک با استفاده از تصاویر سی‌تی اسکن پرداختند که نتایج حاصل از تحقیق آنها زمینه لازم جهت پذیرش استفاده از سی‌تی اسکن به عنوان تکنیکی مقرون به صرفه و با دقت و کیفیت بالا را میسر ساخت. اخیراً با پیشرفت های صورت گرفته در زمینه توموگرافی کامپیوتری در سطح جهانی، در مقیاس میکرومتری استفاده از نسل‌های مختلف اشعه ایکس سی تی برای بررسی برخی از پدیده‌های فیزیکی مختلف در علوم خاک مورد استفاده قرار گرفته است.

توصیف ویژگی‌های فیزیکی خاک

نقش مهمی که فضاهای خالی در خاک (و بعضی از سنگ‌ها) بازی می کنند باعث ایجاد روش‌های مختلف برای تجسم و کمی‌سازی تخلخل شده است ، که درک ما از محلول و جابجایی شیمیایی را بهبود می‌بخشد (Perret *et al.*, 1999). با توجه به کنتراست شدید در کاهش اشعه ایکس بین منافذ خاک و مواد جامد مرتبط، تمیز آنها در تصاویر سی‌تی نسبتاً آسان است، این واقعیتی است که به کمی‌سازی شبکه‌های منافذ کمک می‌کند. این امر مطالعه اولیه خاک و دانه‌های شیشه‌ای در هسته‌های بسته‌بندی شده توسط پتروویچ و همکاران (۱۹۸۲) را تسهیل کرد، که یک رابطه خطی بین تراکم اشعه ایکس و مقادیر جرم مخصوص ظاهری را نشان داد. خصوصیات ماکروپور حاصل از تجزیه و تحلیل تصاویر سی‌تی نمونه‌های خاک هوا خشک و آغشته به رزین توسط(Grevers *et al.*, 1989) با داده‌های حاصل از تجزیه و تحلیل تصویر در مقاطع نازک و بلوک‌های آغشته به رزین مقایسه شد. سیستم‌های سی‌تی اسکن فعلی با وضوح بالا، تجزیه و تحلیل تصاویر اشعه ایکس را در مقیاسی مشابه آنچه معمولاً با استفاده از تجزیه و تحلیل میکرو مورفولوژیکی معمولی (۲۰ - ۲۵ میلی متر) استفاده می-شود، امکان‌پذیر ساخته‌اند. همچنین با مقایسه داده‌های حاصل از تصاویر سی‌تی با وضوح بالا از نمونه‌های خاک / رسوب دست‌نخورده با داده‌های ارائه شده توسط تجزیه و تحلیل تصویر در روش مقاطع نازک از همان نمونه‌ها، (Adderley *et al.*,

2001) نتیجه گرفتند که برون‌یابی ویژگی‌های مکانی با روش مقاطع نازک به تعداد زیادی تکرار نیاز دارد. ضمن اینکه تلاش‌های دیگری نیز برای تعیین دقت تجزیه و تحلیل سی‌تی اسکن بر روی نمونه‌های خاک، سنگ یا گرانول‌های مصنوعی انجام شده و با نتایج حاصل از روش‌های اشباع خلاء و جیوه-منفذسنج مقایسه شده است. بر همین اساس مشخص شد که اندازه‌گیری‌های منافذ به وسیله سی‌تی اسکن هر دو نوع منافذ متصل به هم و جدا شده را شامل می‌شود، درحالی‌که نتایج دو آزمایش دیگر (اشباع خلاء و جیوه-منفذسنج) تنها منافذ متصل به همدیگر را نشان می‌داد، که نسبتا درصد کمتری از نمونه را شامل می‌شد(Farber *et al.*, 2003; Van Geet *et al.*, 2003). علاوه بر این، سی‌تی اسکن اشعه ایکس اطلاعات ریخت‌شناسی را در مورد شکل منافذ، توزیع مکانی و اتصال آنها فراهم می‌کند. خواص مختلف ماکروپورها و شبکه‌های ماکروپورهای خاک با استفاده از تصاویر سی‌تی اشعه ایکس شامل تخلخل (Anderson *et al.*, 1990؛ Peyton *et al.*, 1992؛ Rachman *et al.*, 2005)، قطر منافذ (Anderson *et al.*, 1990؛ Peyton *et al.*, 1992)، محیط و مساحت (Grevers *et al.*, 1989 و Addelrey *et al.*, 2001)، مدور بودن (Gantzer and Anderson 2002؛ Rachman *et al.* 2005)، قطر استوانه‌ای معادل (Gantzer and Anderson 2002)، اعجاج، شعاع هیدرولیک در سه بعد، تراکم عددی شبکه ها و اتصال (Perret *et al.*, 1999) تخمین زده شده‌است. داده‌های کمی‌سازی شده اشعه ایکس سی‌تی به صورت سه‌بعدی درک خوبی از تغییرات ساختاری خاک (به عنوان مثال، کاهش منافذ درشت خاک و کاهش فعالیت جانوری) در اثر فرآیندهای انسانی مانند شخم خاک، تراکم خاک و سله‌بندی ارائه می‌دهد. تمیز خصوصیات ساختاری خاک توسط تصویربرداری سی‌تی تا حد زیادی به تفکیک‌پذیری مکانی ابزار مورد استفاده محققین بستگی دارد (Aylmore 1994؛ Rachman *et al.*, 2005). Pierret et, al (2002) توزیع اندازه ماکروپور را با استفاده از مفهوم ریخت‌شناسی ریاضی ارزیابی کردند و طول ماکروپور، شدت انشعاب، میانگین انحراف عمودی و پارامترهای توپولوژیکی از جمله اتصال منافذ نیز به خوبی برآورد شدند. همچنین روش‌هایی برای محاسبه سه بعدی بخش حجم شبکه ماکروپور در تصاویر سی‌تی اشعه ایکس توسط نویسندگان مختلف توسعه داده شده است (Gantzer and Anderson 2002؛ Perret *et al.*, 2003؛ Rachman *et al.*, 2005).

به خوبی برای محققین مشخص شده است که ترکیب، توزیع و جهت‌گیری ترکیبات جامد خاک نشان‌دهنده توسعه خاک است. بنابراین، توموگرافی کامپیوتری اشعه ایکس، با رعایت محدودیت‌هایی که توسط سطح انرژی استفاده شده برای دستیابی به تصویر و همچنین وضوح تصویر اعمال می شود، می‌تواند ابزاری مفید در استخراج اطلاعات کمی و کیفی در مورد مواد معدنی و آلی خاک به صورت مکانی باشد. داشتن اطلاعات کافی در مورد ماهیت، اندازه، شکل و ترتیب دانه‌های معدنی غالب در یک خاک می‌تواند میزان تکامل فرآیند هوازدگی و انتشار مواد مغذی را به ما بدهد. هرگونه تفسیر از ترکیب دانه‌های معدنی خاک نیاز به در نظر گرفتن اندازه ذرات دارد. به طور معمول، مواد معدنی آبرفتی، که بطور کلی، اما نه به طور حتمی، در بخش‌های شن و سیلت یافت می‌شوند ، کانی‌شناسی مواد اصلی را منعکس می‌کنند. در مقابل، بخش اندازه رس معمولاً تحت تأثیر مواد معدنی پدوژنتیک است. از دیگر استفاده‌های موفقیت‌آمیز از سی‌تی اسکن اشعه ایکس در زمینه‌های دیگر می‌توان به مواردی مثل توصیف شبکه های منافذ، توزیع زیست توده، معماری ریشه، جرم مخصوص، توزیع مواد آلی و پارامترهای انتقال اشاره نمود (Tracy *et al.*, 2010؛ Naveed *et al.*, 2013؛ Hamamoto *et al.*, 2016).

تفسیر منافذ خاک

در پژوهشی که توسط (Lou *et al.*, 2010) در آمریکا به منظور استفاده از تکنیک سی‌تی اسکن برای برآورد برخی از ویژگی‌های مختلف خاک انجام شد؛ در این تحقیق دو نوع خاک با بافت و ساختار متضاد انتخاب شدند. یک خاک لوم سیلتی و یک خاک شنی خاک‌های انتخاب شده بودند. تعداد ۵ نمونه دست‌نخورده از هر خاک؛ به وسیله لوله‌های پلی‌وینیل کلراید (PVC) که پایین لوله‌ها تیز شده بودند؛ گرفتند. نتایج حاصل از کاربرد سی‌تی اسکن بر روی دو کاربری اراضی و دو نوع خاک متفاوت در این پژوهش اثبات کرد، خصوصیات ماکروپور، سطح ویژه کلی، دانسیته شبکه‌های ماکروپور، دانسیته طول ماکروپور و دانسیته گره‌ها را می‌توان با میزان دقت و اعتبار بالا مشخص کرد.

مطالعه دیگری توسط (Rab *et al*., 2014) در جنوب شرقی ملبورن استرالیا بر روی خاک‌های یک مزرعه حصارکشی شده که به مدت ۱۵ سال تحت چرا بوده صورت پذیرفت. سه منطقه از این مزرعه انتخاب شدند که به ترتیب دروازه ورودی، بالای تپه و پایین تپه بودند. در مجموع از دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری ۴۸ نمونه استخراج کردند. این محققین عکس‌های سی‌تی اسکن را با کمک نرم‌افزار FIJI که خود زیرمجموعه‌ای از نرم‌افزار ImageJ می‌باشد تجزیه و تحلیل کردند. سپس منحنی رطوبتی به دست‌آمده در آزمایشگاه علوم خاک را با نتایج عکس‌های سی‌تی اسکن مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که برای اندازه‌گیری ماکروپورسایتی بزرگتر از ۳۰۰ میکرومتر، سی‌تی بهتر جواب می‌دهد و در نتیجه‌گیری خود این نکته را ذکر کردند که این تکنیک جدید نه فقط تخلخل؛ بلکه اندازه قطر، اتصال، و توزیع مکانی منافذ را نیز برای ما مشخص و کمی‌سازی می‌کند.

Soto-Gomez *et al.* (2020) در پژوهشی در کشور اسپانیا ۲۰ نمونه از سطح خاک، ۲-۱۲ سانتی‌متری، را از دو سیستم مختلف خاک‌ورزی رایج و بدون خاک‌ورزی برداشت کردند. سپس با دستگاه سی‌بی سی‌تی اسکن و با تنظیمات 120kV و5mA از نمونه‌ها تصویربرداری انجام دادند. ایشان از نرم‌افزار ImageJ-Fiji و روش آستانه‌گذاری محلی برای مقطع‌زنی و آنالیز عکس‌ها استفاده کردند. وجود لایه‌های فشرده در خاک با سیستم خاک‌ورزی شده، فراوانی کانال‌های ریشه و سوراخ‌های کرم خاکی در خاک بدون خاک‌ورزی کاملا مشهود بوده و عملکرد زراعی این خاک‌ها را به درستی توجیه کردند. تعداد پژوهش‌های صورت گرفته در مورد خصوصیات منافذ خاک با کمک تصویربرداری سی‌تی اسکن در حدی بوده که این روش به عنوان تکنیکی جدید از سوی اکثر محققین خاکشناسی در حال قبول شدن است. در کل می‌توان ذکر کرد که روش سی‌تی اسکن به دلیل سرعت بالا و غیرمخرب بودن، برای محاسبات منافذ روشی مناسب و کارآمد به حساب می‌آید.

تحقیقات صورت گرفته در ایران:

از جمله اولین محققین ایرانی که به استفاده از آنالیز تصاویر سی‌تی اسکن برای بررسی ساختار فیزیکی نمونه‌های خاک روی آوردند می‌توان به خدادای و همکاران (۱۳۹۵) اشاره نمود. البته این محققین نمونه‌ها را به دانشگاه گویلف کانادا منتقل کرده و با استفاده از دستگاه MS8X-130 موجود در آن دانشگاه از نمونه‌های خاک تصویربرداری به عمل آوردند. اما در تحقیقی دیگر که به وسیله قصیری صبری و همکاران (۱۳۹۹) انجام گردید، تمام مراحل در داخل کشور و با استفاده از ظرفیت‌های موجود صورت پذیرفت. محققین در این پژوهش ۶ نمونه دست‌نخورده درشت بافت را با استفاده از دستگاه پلانمکاپرومکس سه‌بعدی تصویربرداری کردند. این دستگاه یک سی‌بی سی‌تی اسکن می‌باشد که به آن توموگرافی مخروطی هم اطلاق می‌شود. این دستگاه برای بررسی منافذ و ذرات درشت خاک دارای قدرت تفکیک مناسبی می‌باشد. محققین تصاویر نمونه‌ها را با کمک نرم‌افزار ImageJ V1.4 به صورت باینری درآوردند، سپس بر روی اسلایس‌ها فیلترهای مختلفی اعمال گردید. همچنین برای محاسبات منافذ و ذرات از همه روش‌های آستانه‌گذاری بهره گرفتند تا به بهترین نتیجه دست یابند. این محققین بهترین روش آستانه‌گذاری را برای باینری نمودن تصاویر خاک Intermodes و Otsu معرفی نمودند. درنهایت پس از مشخص شدن بهترین روش آستانه‌گذاری و کمی‌سازی منافذ و ذرات خاک، نتایج تجزیه و تحلیل تصاویر سی‌بی سی‌تی اسکن با نتایج آزمایشگاهی ASTM D421 برای منحنی ذرات خاک و روابط فازی برای منافذ مقایسه گردید. نتایج اعتبارسنجی دقت بالای روش نوین آنالیز تصاویر توموگرافی کامپیوتری اشعه ایکس را نسبت به روش‌های رایج قدیمی تایید می‌نمود. از جمله نوآوری‌هایی که در این پژوهش انجام پذیرفت استفاده از یک دستگاه توموگرافی کامپیوتری مخروطی بر خلاف اکثر پژوهش‌های قبلی بود؛ زیرا در بیشتر پژوهش‌های قبلی از توموگرافی کامپیوتری بادبزنی شکل استفاده گردیده‌است. همچنین خلاقیت و نوآوری دیگر این پژوهش استفاده از ماده حاجب محلول در آب برای افزایش کنتراست در میرایی اشعه ایکس است؛ به اینصورت که این محلول چند دقیقه قبل از تصویربرداری بر روی نمونه ریخته شده و از میان منافذ مفید و متصل در شبکه ماکروپوری خاک عبور نموده است. بدین صورت محاسبات بر روی منافذ مفید بسیار راحت‌تر گردیده‌است.

نتیجه:

اگرچه خود تکنولوژی سی‌تی اسکن کمتر از نیم قرن در دسترس قرار گرفته‌است و استفاده از آن در علوم خاک هنوز در مراحل ابتدایی به سر می‌برد؛ با این حال با توجه به نتایج پژوهش‌ها در این زمینه باور اینکه استفاده از این فنآوری برای علوم خاک کاربردی و روشی مناسب و مقرون به صرفه می‌باشد در بین محققین علوم خاک شکل گرفته است. از طرفی دستگاه‌های توموگرافی کامپیوتری هر از چندگاهی وارد نسل جدیدی می‌شوند که نیازمند پژوهش‌های بیشتر برای درک کارایی آنها در علوم خاک است، همچنین در اکثر پژوهش‌های صورت گرفته محققین بر این نکته تاکید داشته‌اند که به دلیل جدید بودن این روش به پژوهش‌های بیشتری برای اطمینان از صحت کاربرد آن در علوم خاک نیاز می‌باشد.

منابع:

۱. خدادادی، م. سرمدیان، ف. پرویزی، ی. (۱۳۹۵). ارزیابی تاثیر کاربری‌های مختلف بر شبکه منافذ خاک سطحی با استفاده از سی‌تی اسکن اشعه ایکس درمنطقه نیمه خشک مدیترانه‌ای در ایران. همایش بین المللی افق های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست،تهران. *https://civilica.com/doc/598590*

۲. قصیری صبری، م. گنجعلی پور، ک. نبی الهی، ک. (۱۳۹۹). ارزیابی پارامترهای توزیع اندازه ذرات و منافذ یک خاک درشت بافت با استفاده از پرتونگاری مقطعی اشعه ایکس(CBCT-scan). مهندسی زراعی. ۵۴۸-۵۲۹ doi: 10.22055/agen.2021.35782.1594 .۴۳(۴)

1. Adderley, W. P., Simpson, I. A., & MacLeod, G. W. (2001). Testing high- resolution X- ray computed tomography for the micromorphological analyses of archaeological soils and sediments. Archaeological Prospection, 8(2), 107-112.
2. Al-Raoush, R. I., & Willson, C. S. (2005). Extraction of physically realistic pore network properties from three-dimensional synchrotron X-ray microtomography images of unconsolidated porous media systems. Journal of hydrology, 300(1-4), 44-64.
3. Anderson, S. H., Peyton, R. L., & Gantzer, C. J. (1990). Evaluation of constructed and natural soil macropores using X-ray computed tomography. Geoderma, 46(1-3), 13-29.
4. Aylmore, L. A. G. (1994). Application of Computer Assisted Tomography to Soil- Plant- Water Studies: An Overview. Tomography of Soil- Water- Root Processes, 36, 7-15.
5. Carlson, W. D., Denison, C., & Ketcham, R. A. (2000). High-resolution X-ray computed tomography as a tool for visualization and quantitative analysis of igneous textures in three dimensions. Visual Geosciences, 4(3), 1-14.
6. Crestana, S., Mascarenhas, S., & Pozzi-Mucelli, R. S. (1985). Static and dynamic three-dimensional studies of water in soil using computed tomographic scanning1. Soil Science, 140(5), 326-332.
7. DENISON*, C., Carlson, W. D., & Ketcham, R. A. (1997). Three- dimensional quantitative textural analysis of metamorphic rocks using high- resolution computed X- ray tomography: Part I. Methods and techniques. Journal of Metamorphic Geology, 15(1), 29-44.
8. Farber, L., Tardos, G., & Michaels, J. N. (2003). Use of X-ray tomography to study the porosity and morphology of granules. Powder Technology, 132(1), 57-63.
9. Gantzer, C. J., & Anderson, S. H. (2002). Computed tomographic measurement of macroporosity in chisel-disk and no-tillage seedbeds. Soil and Tillage Research, 64(1-2), 101-111.
10. Grevers, M. C. J., JONG, E. D., & St. Arnaud, R. J. (1989). The characterization of soil macroporosity with CT scanning. Canadian Journal of Soil Science, 69(3), 629-637.
11. Hainsworth, J. M., & Aylmore, L. A. G. (1983). The use of computer assisted tomography to determine spatial distribution of soil water content. Soil Research, 21(4), 435-443.
12. Hamamoto, S., Moldrup, P., Kawamoto, K., Sakaki, T., Nishimura, T. and Komatsu, T. 2016. Pore network structure linked by X-ray CT to particle characteristics and transport parameters. Soils Foundation, 56: 676–690.

13. Hounsfield, G. N. (1973). Computerized transverse axial scanning (tomography): Part 1. Description of system. The British journal of radiology, 46(552), 1016-1022.
14. Kak, A. C., Slaney, M., & Wang, G. (2002). Principles of computerized tomographic imaging.
15. Ketcham, R. A. (2005). Three-dimensional grain fabric measurements using high-resolution X-ray computed tomography. Journal of Structural Geology, 27(7), 1217-1228.
16. Kubiena, W. L. (1938). Micropedology: Collegiate Press. Ames, Iowa.
17. Luo, L., Lin, H., & Li, S. (2010). Quantification of 3-D soil macropore networks in different soil types and land uses using computed tomography. Journal of Hydrology, 393(1-2), 53-64.
18. Mees, F., Swennen, R., Van Geet, M., & Jacobs, P. (2003). Applications of X-ray computed tomography in the geosciences. Geological Society, London, Special Publications, 215(1), 1-6.
19. Murty, V. R. K., & Devan, K. R. S. (1997). Atomic photoeffect below 100 keV: An overview and future scope. Applied radiation and isotopes, 48(10-12), 1501-1506.
20. Naveed, M., Moldrup, P., Arthur, E., Wildenschild, D., Eden, M., Lamande, M., Vogel, H.J. and De Jonge, L.W. 2013. Revealing soil structure and functional macroporosity along a clay gradient using X-ray computed tomography. Soil Science Society of America Journal, 77 (2): 403–411.b
21. Perret, J. S., Prasher, S. O., & Kacimov, A. R. (2003). Mass fractal dimension of soil macropores using computed tomography: from the box- counting to the cube- counting algorithm. European Journal of Soil Science, 54(3), 569-579.
22. Perret, J., Prasher, S. O., Kantzas, A., & Langford, C. (1999). Three- dimensional quantification of macropore networks in undisturbed soil cores. Soil Science Society of America Journal, 63(6), 1530-1543.
23. Petrovic, A. M., Siebert, J. E., & Rieke, P. E. (1982). Soil bulk density analysis in three dimensions by computed tomographic scanning. Soil Science Society of America Journal, 46(3), 445-450.
24. Peyton, R. L., Haeffner, B. A., Anderson, S. H., & Gantzer, C. J. (1992). Applying X-ray CT to measure macropore diameters in undisturbed soil cores. Geoderma, 53(3-4), 329-340.
25. Pierret, A., Capowiez, Y., Belzunces, L., & Moran, C. J. (2002). 3D reconstruction and quantification of macropores using X-ray computed tomography and image analysis. Geoderma, 106(3-4), 247-271.
26. Rab, M. A., Haling, R. E., Aarons, S. R., Hannah, M., Young, I. M., & Gibson, D. (2014). Evaluation of X-ray computed tomography for quantifying macroporosity of loamy pasture soils. Geoderma, 213, 460-470.
27. Rachman, A., Anderson, S. H., & Gantzer, C. J. (2005). Computed- tomographic measurement of soil macroporosity parameters as affected by stiff- stemmed grass hedges. Soil Science Society of America Journal, 69(5), 1609-1616.
28. Simons, F. J., & Swennen, R. (1997). Quantitative characterization of coal by means of microfocal X-ray computed microtomography (CMT) and color image analysis (CIA). International journal of coal geology, 34(1-2), 69-88.
29. Soto-Gomez, D., Perez-Rodriguez, P., Juiz, L. V., Paradelo, M., & Lopez-Periago, J. E. (2020). 3D multifractal characterization of computed tomography images of soils under different tillage management: Linking multifractal parameters to physical properties. Geoderma, 363, 114129.
30. Stoops, G. (2021). Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections (Vol. 184). John Wiley & Sons.
31. Taina, I. A., Heck, R. J., & Elliot, T. R. (2008). Application of X-ray computed tomography to soil science: A literature review. Canadian Journal of Soil Science, 88(1), 1-19.
32. Terribile, F., Wright, R., & FitzPatrick, E. A. (1997). Image analysis in soil micromorphology: from univariate approach to multivariate solution. In Soil Micromorphology: Studies on Soil Diversity, Diagnostics, Dynamics (pp. 397-417). International Society of Soil Science Moscow-Wageningen.
33. Tracy, S.R., Roberts, J.A., Black, C.R., McNeill, A., Davidson, R. and Mooney, S.J. 2010. The X-factor: visualizing undisturbed root architecture in soils using X-ray computed tomography. Journal of Experimental Botany. 61 (2), 311–313.
34. Van Geet, M., Lagrou, D., & Swennen, R. (2003). Porosity measurements of sedimentary rocks by means of microfocus X-ray computed tomography (μCT). Geological Society, London, Special Publications, 215(1), 51-60.
35. Van Geet, M., Swennen, R., & Wevers, M. (2000). Quantitative analysis of reservoir rocks by microfocus X-ray computerised tomography. Sedimentary Geology, 132(1-2), 25-36.

Practical use of CT scan images to quantify physical properties and pores in soil science

Majed Ghosairy sabry[1], Kamal Nabiollahi[2*], Kamal Ganjalipour[3]

[1] MSc student, Soil Science and Engineering Department, Agriculture Faculty, University of Kurdistan

[2] Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan

[3] PhD in Engineering Geology, Kharazmi University of Tehran (Geology Expert, Mahab Ghods Consulting Engineers Company)

Soil is physically a structure composed of mineral particles, organic matter and small to large pores. The composition and shape of these components together is one of the most important issues in soil science. The reason for this importance is due to the different behavior of soils with different composition of components. Therefore, finding new methods that can be faster, more cost-effective, simpler, more accurate, non-destructive and have direct access to the internal components of the soil is of great importance for researchers. The use of X-ray computed tomography is one of these new methods. Over the past half century, researchers have been trying to compare this method with the old conventional methods. The results indicate that fortunately in most experiments, the use of this new technique has been a good answer to the concerns of researchers. However, due to the novelty of this method, the rapid advancement of computed tomography technology, and the numerous questions that researchers have about the structure and pores of the soil, more extensive and up-to-date research is still needed with the help of this method in soil science.

Keywords: CT scan, computed tomography, cross-section, direct method, threshold

تأثیر بلند مدت نانوذرات بر انتقال املاح در شرایط غیراشباع

الهه دارائی [*۱]، حسین بیات [۲]، پویا زمانی [۳]

[*۱]دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان elahe.daraei69@gmail.com

[۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان،

[۳] دانشیار گروه علوم دام دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

چکیده

به علت افزایش نگرانی‌ها در مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آبشویی مواد شیمیایی به‌کار برده شده و مواد غذایی محلول، سرنوشت مواد محلول در خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. یکی از عوامل مهم در آلودگی خاک جابه‌جایی مواد محلول می‌باشد که توجه زیادی را به خود جلب کرده است. از طرف دیگر در سال‌های اخیر رفتار نانوذرات و ویژگی‌های نانوذرات استفاده شده در محیط زیست مورد مطالعه قرارگرفته، ولی تأثیر آنها بر انتقال املاح در بلند مدت، بویژه در شرایط غیر اشباع، کمتر شناخته شده و تاکنون در هیچ تحقیقی بررسی نشده است. هدف این پژوهش بررسی تأثیر چند ساله نانوذرات بر انتقال املاح و پارامترهای آن در شرایط غیر اشباع بود. برای این منظور اثر نانواکسیدهای فلزی منیزیم و آهن در چهارسطح صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی در سه تکرار بر یک خاک لومی بعد از گذشت زمان سه سال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد نانوذرات در شرایط غیراشباع در سطح ۳ و ۵ درصد وزنی با مسدود کردن منافذ و کاهش تخلخل در خاک باعث کاهش انتشارپذیری شدند. بنابراین نتایج این پژوهش نشان داد که نانوذرات بر انتقال املاح در خاک و پارامترهای آن مؤثر است.

واژگان کلیدی: انتقال املاح، شرایط غیر اشباع، نانواکسید آهن، نانواکسید منیزیم.

مقدمه

استفاده از فناوری نانو در زمینه کشاورزی منافع زیادی را با ارائه پتانسیل بالا برای افزایش قابل ملاحظه بهره‌وری کشاورزی و بهره‌وری با هزینه کمتر و ضایعات کمتر ایجاد کرده است (Kah, 2015; Scott and Chen, 2013). ظهور این برنامه‌ها در کشاورزی و سایر بخش‌ها باعث نگرانی‌های امنیتی در مورد محیط زیست و سلامت انسان شده است.

تشدید[1] پایدار یک مفهوم مربوط به یک سیستم تولید است که هدف آن افزایش عملکرد بدون اثرات نامطلوب زیست محیطی در حین کشت و زرع یک منطقه کشاورزی است (Baulcombe et al. 2009). این الگو یک چهارچوب برای ارزیابی انتخاب بهتر ترکیبی از رویکردهای تولید محصولات کشاورزی با توجه به تأثیر وضعیت فعلی بیولوژیکی، اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی است (Garnett and Godfray, 2012). در این زمینه، نانومواد نوین مبتنی بر استفاده از نانوذرات معدنی، پلیمری و چربی که با بهره‌برداری از تکنیک‌های مختلف (از جمله امولسیون، ژل‌سازی یونی، پلیمریزاسیون، اکسید و احیاء و غیره) برای افزایش بهره‌وری توسعه داده‌شده است (Fraceto et al. 2016)، که می‌توانند برای توسعه نانوسیستم‌های هوشمند برای بی‌تحرکی مواد مغذی و انتشار آن‌ها در خاک، کاربرد پیدا کنند. چنین سیستم‌هایی دارای مزیت‌هایی برای به حداقل رساندن آبشویی، بهبود جذب مواد مغذی توسط گیاهان و کاهش اتروفیکیشن[2]، با کاهش انتقال نیتروژن به آب‌های زیرزمینی هستند (Liu and Lal, 2015).

به علت افزایش نگرانی‌ها در مورد آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق آبشویی مواد شیمیایی به‌کار برده شده و مواد غذایی محلول، سرنوشت مواد محلول در خاک به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه قرار گرفته‌است (Jalali and Rowell, 2009). یکی از عوامل مهم در آلودگی خاک جابه‌جایی مواد محلول می‌باشد که توجه زیادی را به خود جلب کرده‌است (Kolahchi and Jalali, 2007). مشکلات شوری خاک در ۳۰ سال اخیر در دنیا به‌شدت توسعه یافته است. در ایران نیز حدود ۵۰ درصد از اراضی کشاورزی شور هستند و یا

[1] Intensification
[2] Atrophication

با مشکلاتی مرتبط با شوری مواجه‌اند. منبع اصلی املاح در خاک، مواد معدنی اولیه در پوسته زمین است. همچنین آبیاری با آب‌های زیرزمینی و حرکت املاح به سطح خاک توسط جریان مویینگی می‌تواند باعث تجمع املاح شود. املاح خاک به دلیل اهمیت آن‌ها از نظر شوری، حاصلخیزی و آلودگی آب‌های زیرزمینی دارای اهمیت خاص هستند (Droogers, 2011) . غیرفعال بودن اکثر املاح و عدم جذب آن‌ها بر روی مکان‌های جذب خاک بر اهمیت مطالعه آن‌ها افزوده است. چون به راحتی می‌توانند با کمی آبشویی از پروفیل خاک شسته شده و وارد آب‌های زیرزمینی گردند و یا تحت تأثیر جریان‌های ترجیحی حاصل از درز و شکاف‌های ناشی از انقباض و انبساط قرار گیرند و به سهولت انتقال یابند. توزیع نمک در خاک از الگوی جریان آب در خاک پیروی می‌کند. به عنوان مثال نفوذ رو به پایین آب در خاک، نمک را از سطح بالایی خاک به اعماق پایین‌تر انتقال می‌دهد. نوع خاک، نوع نمک یا ترکیبات شیمیایی موجود در خاک، مقدار آب بکار برده شده و روش آبیاری تماماً بر الگوی توزیع و حرکت نمک در خاک تأثیر می-گذارند (Hanson et al. 1999). با توجه به تأثیر نانوذرات بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین انتقال املاح در خاک، تأثیر بلند مدت کابرد نانوذرات بر پارامترهای انتقال املاح، بویژه در شرایط غیر اشباع، تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. به همین دلیل هدف از این پژوهش بررسی تأثیر دو نانواکسید فلزی آهن و منیزیم در بلند مدت بر انتقال املاح در شرایط غیراشباع بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، یک نمونه خاک لومی، از روستای قیه علی بلاغ واقع در استان همدان از یک مزرعه با کشت غالب گندم، با موقعیّت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱ دقیقه و ۲۶ ثانیه شمالی و ۴۸ درجه و ۱۹ دقیقه و ۱۴ ثانیه شرقی تهیه شد. نمونه‌برداری با اطلاع از خصوصیّات خاک منطقه و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد. نمونه خاک جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه فیزیک خاک منتقل شده و بعد از هوا خشک نمودن از الک ۴/۷۵ میلی‌متر عبور داده شد. فاکتورها شامل ذرات نانو در دو سطح (نانواکسید آهن و منیزیم) و سطح استفاده از نانوذرات در چهار سطح (صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) بودند. آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و در مجموع ۲۱ نمونه آزمایشی طراحی گردید.

بعد از اعمال تیمارهای نانوذرات اکسید آهن و منیزیم به خاک با درصدهای تعیین شده، خاک‌های تیمار شده در جعبه‌های پلاستیکی به ابعاد ۶×۸×۱۴ سانتی‌متر نگه‌داری و به طور مرتب بر روی آن‌ها عمل تر و خشک شدن تا ۳۱ ماه انجام گرفت. بعداز گذشت زمان ۳۱ ماه برای آماده‌سازی ستون‌های خاک، از ستون‌هایی از جنس لوله پولیکا به قطر ۲ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. بعد از آماده سازی ستون‌های خاک، به طور مرتب بر روی آن‌ها عمل تر و خشک شدن به مدت ۵ ماه انجام گرفت. به این صورت که نمونه‌ها تا حد اشباع آبیاری می‌شدند و اجازه داده می‌شد تا حد رطوبت نقطه پژمردگی خشک شوند، سپس عمل آبیاری تکرار می‌شد. نمونه‌ها در مدت مذکور در دمای آزمایشگاه (۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد) نگه‌داری شدند.

آزمایش‌های آبشویی در شرایط جریان غیراشباع ماندگار انجام شد. برای ایجاد شرایط جریان (غیراشباع) ماندگار و ثابت ماندن شدت جریان ابتدا با محلول سولفات کلسیم (محلول زمینه) ۰/۰۱ مولار جریان ماندگار ایجاد شد، سپس غلظت ثابتی از کلرید پتاسیم (۰/۰۵ مولار) به عنوان محلول جایگزین کننده و به شکل پالسی به سطح ستون‌های خاک تحت شرایط جریان ماندگار با همان شدت جریان اعمال شد. حجم کلرید پتاسیم استفاده شده به‌عنوان پالس برای حالت غیراشباع ۰/۸، نیم حجم منفذی (V_0) بود و بعد از اتمام پالس باز با همان محلول سولفات کلسیم جریان ماندگار تا پایان آزمایش، یعنی ۳ برابر حجم منفذی، آبشویی انجام شد. در شرایط غیراشباع برای جلوگیری از اشباع شدن ستون‌های خاک و برقراری جریان ماندگار، ۰/۸ کمترین هدایت هیدرولیکی هر سه تکرار یک تیمار برای اعمال شدت جریان انتخاب و اعمال گردید و با استفاده از یک پمپ خلاء مکشی به انتهای ستون‌ها وارد شد و در نهایت مکشی انتخاب شد که در زمان‌های یکسان، حجم آب ورودی برابر با حجم آب خروجی از ستون‌ها شود. مکش به‌دست آمده در تمام طول مدت آبشویی بر انتهای ستون‌های خاک وارد گردید. سپس غلظت آنیون کلر خروجی با استفاده از روش موهر

(۱۸۵۵) بر روی نمونه‌های زه‌آب اندازه‌گیری شد.

در این پژوهش منحنی‌های رخنه کلرید بر حسب غلظت نسبی کلرید (C/C_0) در برابر زمان تجمعی رسم شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای رسم منحنی‌های رخنه نیز از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ استفاده شد. همچنین برای مدل‌سازی حرکت کلرید و تعیین پارامترهای مدل از جمله انتشارپذیری (λ)، رطوبت ناحیه‌ی ساکن (θ_{im})، ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه ساکن و روان (α) از نرم‌افزار HYDRUS-1D (Šimůnek et al. 2005) استفاده شد. داده‌های مشاهده‌ای (C/C_0 در برابر زمان تجمعی) با استفاده از مدل MIM برازش شد و برای بررسی تأثیر نانوذرات و سطوح کاربرد آن‌ها بر پارامترهای انتقال املاح در شرایط جریان غیراشباع در خاک تجزیه واریانس و مقایسه میانگین با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد.

نتایج و بحث

انتشارپذیری[3] (λ)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح کاربرد (صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) در سطح ۱ درصد و تیمار در سطح ۵ درصد آماری بر انتشارپذیری در حالت غیراشباع معنی‌دار شد (جدول ۱).

جدول ۱- جدول نتایج تجزیه واریانس پارامترهای آبشویی کلرید در شرایط جریان غیراشباع.

		P-value					
منابع تغییرات	DF	Log (Ks)	Log (λ)	$\sqrt{\theta_{im}}$	Log (α)	C	Time
نوع نانوذره	۱	۰/۲۳۴۵	۰/۱۷۶۸	۰/۱۳۴۵	۰/۵۰۵۴	۰/۰۰۶۰	<۰/۰۰۰۱
سطوح کاربرد	۲	۰/۷۱۷۵	۰/۰۰۵۰	۰/۳۰۴۱	۰/۵۸۴۲	۰/۸۸۵۵	۰/۰۲۱۲
نوع نانوذره × سطح کاربرد	۲	۰/۰۱۷۲	۰/۲۴۸۵	۰/۰۷۰۱	۰/۵۰۴۹	۰/۶۷۶۱	<۰/۰۰۰۱
تیمار	۶	۰/۱۰۴۱	۰/۰۲۴۷	۰/۱۳۷۸	۰/۷۵۵۳	۰/۱۴۶۷	<۰/۰۰۰۱

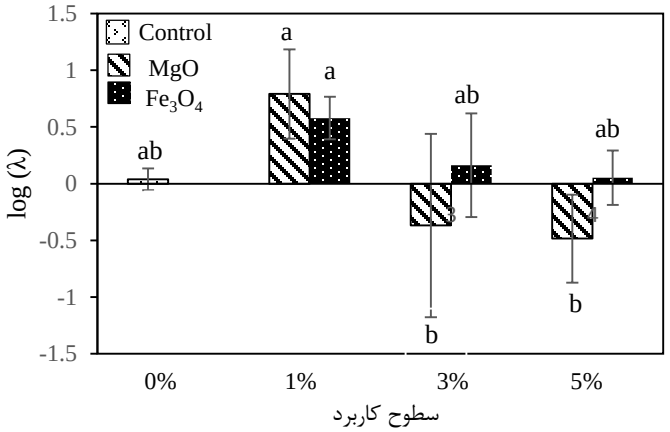
Ks: هدایت هیدرولیکی اشباع، θ_{im}:رطوبت غیرمتحرک (ساکن)، α: ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه ساکن و روان، λ: ضریب انتشارپذیری، C: غلظت یون کلر در نقطه پیک نمودار، Time: زمان پیک نمودار.

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمار نانوذرات بر انتشارپذیری در حالت غیراشباع نشان داد که سطح ۱ درصد وزنی نانوذره منیزیم باعث افزایش معنی‌دار انتشارپذیری در حالت غیراشباع نسبت به سطح ۳ و ۵ درصد وزنی این نانوذره شد (شکل ۱)؛ اما تفاوت معنی‌داری بین سطوح دیگر نانوذرات مشاهده نشد. این نتیجه نشان می‌دهد که کاربرد نانوذره منیزیم در سطح ۱ درصد وزنی باعث افزایش مسیرهای جریان شده است. وجود نانوذرات می‌تواند مسیرهای انتقال را در ستون خاک پیچیده و پرپیچ و خم کند (Tan et al. 2016). مسیرهای پیچ و خم‌دار به شدت وابسته به رطوبت خاک می‌باشند و با کاهش رطوبت خاک انتشار کاهش می‌یابد (برزگر، ۱۳۸۹). کاربرد نانوذرات در سطح بالا (۳ و ۵ درصد منیزیم) با مسدود کردن منافذ و کاهش تخلخل در خاک مقدار رطوبت در خاک را کاهش داده و باعث کاهش غیر معنی‌دار انتشارپذیری شدند. انتشارپذیری یکی از پارامترهای مهم است که مقدار آن می‌تواند تابع ویژگی‌های محیط متخلخل باشد (قائمی‌زاده و بهمنی، ۱۳۹۳). اصغری و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند که با افزایش سهم منافذ متوسط و درشت و در نتیجه افزایش تخلخل کل خاک انتشارپذیری افزایش می‌یابد.

کاهش انتشارپذیری در سطح ۳ و ۵ درصد وزنی نانوذرات نسبت به سطح ۱ درصد را می‌توان به وجود بار مثبت دو نانواکسید آهن و منیزیم مرتبط دانست. افزودن نانوذرات آهن و منیزیم در سطح بالا به دلیل داشتن بار مثبت از دفع آنیون کلرید توسط بار منفی کلوئیدهای خاک جلوگیری کرده و در نتیجه باعث کاهش انتشارپذیری شده است (برزگر، ۱۳۸۹). برزگر (۱۳۸۹) گزارش کرد که با

[3] Dispersivity

افزایش ضخامت لایه دوگانه پخشیده آنیون‌ها انتشارپذیری کاهش می‌یابد. کاربرد نانوذره در سطح ۱ درصد وزنی با افزایش سطح ویژه باعث جذب رطوبت و کاهش ضخامت لایه دوگانه پخشیده آنیون‌های کلرید شد که در نتیجه انتشارپذیری آن نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد.



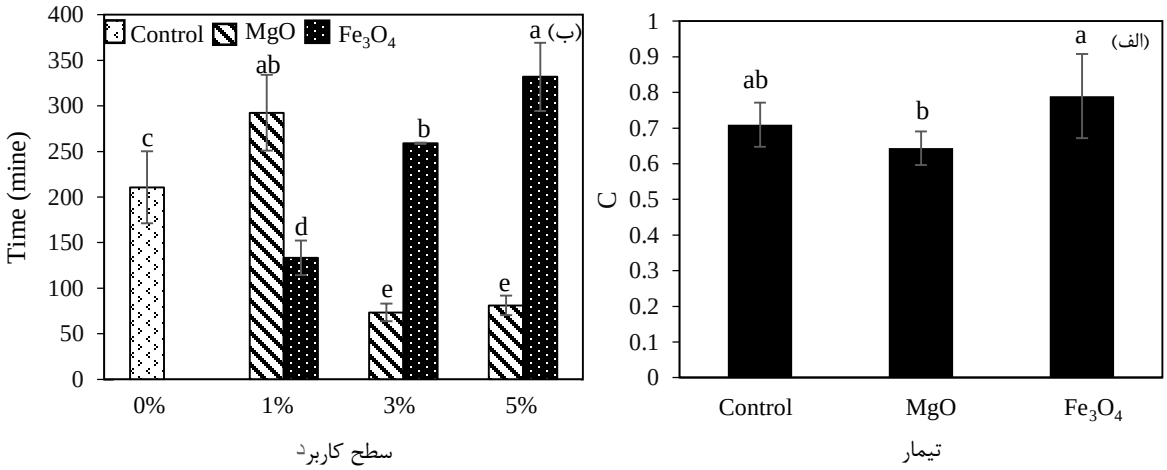
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر انتشارپذیری درحالت غیراشباع. وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی ستون‌ها انحراف استاندارد را نشان می‌دهند.

رطوبت ناحیه‌ی ساکن (θ_{im}) و ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه‌ی ساکن و روان (α)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۱) هیچکدام از اثرات اصلی و برهمکنش در شرایط غیراشباع بر رطوبت ناحیه‌ی ساکن معنی‌دار نشد که علت آن را می‌توان به شرایط رطوبتی حاکم و مسدود شدن منافذ توسط نانوذرات به کاربرده شده و کاهش تخلخل نسبت داد. a ضریب انتقال جرمی املاح بین دو ناحیه روان و ساکن است (فریبرز عباسی، ۱۳۸۶). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع نانوذره، سطح کاربرد (صفر، ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی) و برهمکنش بین نوع نانوذره و سطح کاربرد بر ضریب انتقال جرم بین دو ناحیه‌ی ساکن و روان در شرایط غیر اشباع معنی‌دار نشد (جدول ۱). احتمالا علت این نتیجه کاهش رطوبت ناحیه روان و همچنین ایجاد شراط رطوبتی غیر اشباع و مسدود شدن منافذ توسط نانوذرات بود (جدول ۱).

پیک غلظت کلرید در منحنی رخنه (C)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۱) در شرایط غیر اشباع تأثیر نوع نانوذره در سطح ۱ درصد آماری بر پیک غلظت کلرید معنی‌دار شد ولی تاثیر سطح کاربرد و برهمکنش بین آن‌ها معنی‌دار نشد. مقایسه میانگین تأثیر نوع نانوذره نشان داد که نانواکسید آهن و منیزیم در شرایط غیراشباع تأثیر معنی‌داری بر پیک غلظت کلرید در منحنی رخنه نسبت به شاهد نداشتند. ولی نانواکسید منیزیم کاهش معنی‌داری در پیک غلظت کلرید در منحنی رخنه نسبت به نانواکسید آهن داشت (شکل ۲ الف). در شرایط غیراشباع منافذ درشت خاک به سرعت خالی شده و تنها منافذ ریز در انتقال نقش دارند. بهبود ساختمان خاک به دنبال افزایش چسبندگی بین ذرات و افزایش تخلخل ریز حاصل می‌شود (بهبهانی و همکاران، ۱۳۸۸)، و چون شرایط غیراشباع حاکم نزدیک به شرایط اشباع (۰/۸ شرایط اشباع) و در مکش‌های پایین انجام شده است می‌توان گفت که با کاربرد نانوذرات منیزیم و ایجاد منافذ ریز انتقال و هدایت املاح در شرایط غیراشباع کاهش می‌یابد. همچنین افزودن بیش‌از حد نانواکسید منیزیم باعث مسدود شدن منافذ و به‌تبع آن کاهش رطوبت در شرایط غیراشباع می‌شود که باعث کاهش غلظت یون کلرید در خاک‌های حاوی نانواکسید منیزیم نسبت به خاک حاوی نانواکسید آهن در شرایط غیراشباع شد.



شکل ۲- مقایسه میانگین تاثیر نانواکسیدها بر پیک غلظت کلرید در منحنی رخنه در شرایط غیراشباع (الف)، مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر زمان پیک غلظت کلرید در منحنی رخنه در شرایط غیراشباع (ب). وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها در هر یک از شکل ها نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی ستون‌ها انحراف استاندارد را نشان می‌دهند.

زمان پیک غلظت کلرید در منحنی رخنه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد (جدول ۱) در شرایط غیراشباع تأثیر نوع نانوذره و برهمکنش بین نوع نانوذره و سطح کاربرد در سطح ۱ درصد آماری و تأثیر سطوح کاربرد در سطح ۵ درصد آماری بر زمان پیک غلظت کلرید معنی‌دار شد. مقایسه میانگین تأثیر سطوح کاربرد نانو ذره در شرایط غیراشباع نشان داد که سطح ۱ درصد وزنی نانواکسید منیزیم و سطح ۳ و ۵ درصد وزنی نانواکسید آهن باعث افزایش و سطح ۱ درصد وزنی نانواکسید آهن و ۳ و ۵ درصد وزنی نانواکسید منیزیم باعث کاهش معنی‌دار زمان پیک غلظت کلرید منحنی رخنه نسبت به شاهد شدند (شکل ۲ ب). کاهش زمان پیک غلظت کلرید در تیمارهای ۱ درصد وزنی نانواکسید آهن و ۳ و ۵ درصد وزنی نانواکسید منیزیم در شرایط غیراشباع را می‌توان با کاربرد نانوذرات در خاک مرتبط دانست که افزودن نانوذرات در خاک در شرایط غیراشباع باعث جذب رطوبت بیشتر نسبت به خاک بدون نانوذره می‌شود که در نتیجه ارتباط بین منافذ بیشتر شده و یون کلرید در خاک با نانوذره سریع‌تر از خاک بدون نانوذره انتقال می‌یابد. همچنین افزایش زمان پیک در تیمارهای ۱ درصد نانواکسید منیزیم و ۳ و ۵ درصد نانواکسید آهن به علت نوع شرایط رطوبتی حاکم و کاهش هدایت کلرید و کمتر شدن نقش جریان‌های ترجیحی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر نانوذرات اکسید آهن و منیزیم بر برخی خصوصیات یک خاک لومی بعد از گذشت زمان سه سال از اعمال تیمارها مورد بررسی قرار گرفت. به نظر می‌رسد نانوذرات بسیاری از خواص شیمیایی، فیزیکی، مکانیکی و انتقال املاح خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند که گذر زمان باعث تشدید این تغییرات شده است.

ساختمان خاک و بافت خاک تأثیر زیادی بر شکل منحنی رخنه داشته و همچنین شرایط جریان با اثر بر سرعت آب منفذی و سرعت توزیع نمک‌های محلول شکل منحنی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. غلظت نسبی زیاد کلرید در نقطه اوج منحنی نشان دهنده‌ی بهبود ساختمان خاک با تیمار نانوذرات می‌باشد. خروج زود هنگام کلرید در زه‌آب خروجی به دلیل نقش مؤثر جریان ترجیحی در این

تیمارها می‌باشد. میزان رس و نانوذرات موجب افزایش خاکدانه‌سازی، بهبود ساختمان خاک و به تبع آن پایداری منافذ خاک در هنگام انتقال آب و نمک می‌شود.

در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان گفت که کاربرد نانوذرات آهن و منیزیم با تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انتقال املاح در خاک را در شرایط غیراشباع تحت تأثیر قرار می‌دهند و می‌توانند سرنوشت املاح و آلودگی‌های وارد شده به خاک را تغییر دهند. این تغییرات برای خاک‌ها، نانوذرات، املاح و آلودگی‌های مختلف متفاوت است که نیاز به تحقیق و پژوهش‌های بیشتر و گسترده‌تری می‌باشد.

فهرست منابع

برزگر، ع. (۱۳۸۹). فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه شهید چمران. ۴۱۷-۱.

بهبهانی، م . افیونی، م. حاج‌عباسی، م ع و رضایی‌نژاد، ی. (۱۳۸۸). بررسی تأثیر پلیمر سوپرجاذب استاکوسرب بر پیاز رطوبتی آبیاری قطره‌ای و خصوصیات فیزیکی خاک. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۳ (۱). ۱۰۰-۹۱.

عباسی، ف. (۱۳۸۶). فیزیک خاک پیشرفته. انتشارات دانشگاه تهران. ۲۵۰-۱.

قائمی‌زاده، ف. بهمنی، ا. (۱۳۹۳). ارزیابی تأثیر بافت خاک و فواصل انتقال بر میزان انتشارپذیری ماده‌ی ردیاب پایدار با استفاده از مدل‌های انتقال املاح. محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران. دوره‌ی ۶۷ (۴). ۴۶۰-۴۴۹.

Baulcombe, D., Crute, I., Davies, B., Dunwell, J., Gale, M., Jones, J., Pretty, J., Sutherland, W., Toulmin, C. (2009). Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society.

Droogers, P., Salemi, H., Mamanpoush, A. (2001). Exploring basin-scale salinity problems using a simplified water accounting model: the example of Zayandeh Rud basin, Iran. *Irrigation and drainage*, 50(4), 335-348.

Fraceto, L. F., Grillo, R., de Medeiros, G. A., Scognamiglio, V., Rea, G., Bartolucci, C. (2016). Nanotechnology in agriculture: which innovation potential does it have? *Frontiers in Environmental Science*. 4, 20.

Garnett, T., Godfray, C. (2012). Sustainable intensification in agriculture. Navigating a course through competing food system priorities. *Food climate research network and the Oxford Martin programme on the future of food, University of Oxford, UK, 51*.

Hanson, B., Grattan, S. R., Fulton, A. (1999). Agricultural salinity and drainage. University of California Irrigation Program, University of California, Davis.

Jalali, M., and Rowell, D. (2009). Potassium leaching in undisturbed soil cores following surface applications of gypsum. *Environmental geology*, *57*(1), 41-48.

Kah, M. (2015). Nanopesticides and nanofertilizers: emerging contaminants or opportunities for risk mitigation? *Frontiers in chemistry*. 3, 64.

Kolahchi, Z., and Jalali, M. (2007). Effect of water quality on the leaching of potassium from sandy soil. *Journal of arid environments*, 68(4), 624-639.

Liu, R., and Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the total environment*. 514, 131-139.

Scott, N., and Chen, H. (2013). Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems. *Industrial Biotechnology*, *9*(1), 17-18.

Simunek, J., Van Genuchten, M. T., Sejna, M. (2005). The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media .*University of California-Riverside Research Reports*. 3, 1-240.

Tan, S., Zhou, B., and Wang, Q. (2016). Effects of nanocarbon on the hydraulic parameters and the solute transport process for disturbed loessial soil. *Arabian Journal of Geosciences*. 9(1), 4.

Long-term effect of nanoparticles on solute transport in unsaturated condition

E. Daraei[2*] H. Bayat[1] P. Zamani[3]
[1]. Phd. Student of Soil Science and Engineering, Bu-Ali Sina University
[2].Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Bu-Ali Sina University
[3]. Associate Professor, Department of Animal Science, Bu-Ali Sina University

Abstract
Due to increasing concerns about groundwater contamination through the leaching of chemicals and soluble nutrients, the fate of soluble substances in the soil has received considerable attention. One of the important factors in soil pollution is the movement of soluble substances, which has attracted a lot of attention. On the other hand, in recent years, the behavior and properties of nanoparticles used in the environment have been studied. However, knowledge on their effects on the solute transport in the long term, especially in unsaturated condition, is still limited and they have not been investigated in any study, so far. The aim of this study was to investigate the multi-year effect of nanoparticles on the solute transport and their parameters in unsaturated condition. Different amounts (0, 1, 3 and 5 percentages by weight) of two types of nanoparticle metal oxides, MgO and Fe_3O_4 were mixed with a loamy soil in three replications and their possible effects on different properties of the soil were investigated after three years. The results showed that the application of nanoparticles in unsaturated condition at the levels of 3 and 5 wt% reduced the dispersivity, by reducing pores and soil porosity. The results of this study showed that the nanoparticles affected the solute transport and its parameters in the soil.

Keywords:Iron oxide nanoparticles; Magnesium oxide nanoparticles, Solute transport, nsaturated

تاثیر کوتاه مدت کمپوست بستر قارچ بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با بافت-های متفاوت

چیمن مهدی‌زاده[۱]، حسین بیات[۲]،

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

(Chimanmehdizadeh@gmail.com)

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

(h.bayat@basu.ac.ir)

چکیده

کمپوست بستر قارچ مشتق شده از بستر قارچ خوراکی بوده و می‌تواند در زمین‌های کشاورزی به منظور بهبود بهره‌وری محصول و باروری خاک و افزایش موادآلی و مواد مغذی خاک استفاده شود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر کوتاه مدت کمپوست بستر قارچ بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با بافت‌های متفاوت بود. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل بافت خاک در سه سطح (لوم‌شنی، لوم و رسی)، و درصد وزنی کمپوست بستر قارچ در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ درصد) بود. نتایج نشان داد که با افزایش سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ، هدایت الکتریکی در دامنه ۹۶ تا ۳۴۵ درصد و تخلخل کل در دامنه ۴/۵ تا ۷/۸ درصد افزایش و در مقابل جرم مخصوص ظاهری در دامنه ۴ تا ۸ درصد و pH در دامنه ۳ تا ۸/۱ درصد کاهش یافت. در مجموع افزودن کمپوست بستر قارچ به خاک باعث بهبود کیفیت خاک شد. لذا می‌توان در اراضی کشاورزی جهت حفظ باروری خاک و بهبود کیفیت خاک از کمپوست بستر قارچ خوراکی استفاده کرد.

واژگان کلیدی: پ-هاش، تخلخل کل، جرم مخصوص ظاهری و قابلیت هدایت الکتریکی

مقدمه

یکی از راهکارهای عملی برای رسیدن به کشاورزی پایدار استفاده از کمپوست بستر قارچ (MSC)[1] خوراکی است. کمپوست بستر قارچ خوراکی مخلوطی از موادآلی پایدار می‌باشد و از اجزای مختلفی مانند کاه وکلش‌گندم، کود مرغی و سنگ‌گچ تشکیل شده است. این بستر غنی از مواد مغذی، مانند نیتروژن، نیترات آمونیوم، سوپر فسفات، نمک‌های پتاسیم و غیره است (لو و همکاران، ۲۰۱۷). ماده‌آلی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک در بهبود و پایداری خاک محسوب می‌شود (محمود و عبدالقادر، ۲۰۱۵). افزودن ماده آلی به خاک، با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، موجب افزایش تخلخل خاک شده و در نتیجه جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش می‌یابد (نیک روش و همکاران، ۱۳۹۷).

استفاده دراز مدت از کودهای شیمیایی، به دلیل تاثیر منفی که بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک دارند باعث کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (ژائو و همکاران، ۲۰۱۶). در مقابل کودهای آلی به دلیل اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند (آگنگنهیو و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از کمپوست در خاک‌های کشاورزی به طور گسترده‌ای به عنوان یکی از روش‌های بهبود بهره‌وری محصول و باروری خاک مورد استفاده قرار گرفته است (جییری و همکاران، ۲۰۱۴). چراکه کمپوست به‌علت داشتن موادآلی فراوان می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های خاک را تحت تاثیر قرار دهد. کمپوست بستر قارچ دارای خاصیت اصلاح‌کنندگی بالا برای خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک می‌باشد (کورتین و مولن، ۲۰۰۷). این کمپوست نسبت به سایر اصلاح کننده‌های خاک دارای قیمت بسیار ارزانی می‌باشد، که می‌تواند هزینه تولید را کاهش دهد. علی‌رغم اینکه کمپوست بستر قارچ به‌علت داشتن ماده‌آلی و مواد غذایی بالا می‌تواند بر قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده‌آلی، جرم مخصوص ظاهری و تخلخل کل تاثیر

[1] Mushroom substrate compost

داشته باشد و نحوه‌ی تاثیر آن در بافت‌های مختلف متفاوت باشد، با این وجود این موضوعات در هیچ تحقیقی مورد بررسی قرار نگرفته است، بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی تاثیر کمپوست بستر قارچ بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با بافت‌های متفاوت بود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش سه نمونه خاک با بافت‌های لوم‌شنی، لومی و رسی تهیه شد.
نمونه برداری از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه فیزیک خاک منتقل شده و پس از هوا خشک نمودن، از الک ۴ میلی‌متر عبور داده شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل بافت خاک در سه سطح (لوم شنی، لوم و رسی)، و درصدهای وزنی کمپوست بستر قارچ در سه سطح (صفر، ۳ و ۶ درصد) بود. بعد از اعمال تیمار به خاک‌ها با درصدهای تعیین شده، خاک‌های تیمار شده در ظرف‌های پلاستیکی به ابعاد ۱۲/۵×۱۳×۲۱ سانتی‌متر بر اساس چگالی مزرعه هر خاک، منتقل گردید و به طور مرتب بر روی آنها عمل تر و خشک شدن به مدت ۴ ماه صورت گرفت. بعد از این زمان، نمونه‌برداری از ظروف به صورت دست‌خورده و دست نخورده انجام شد.
از نمونه‌های دست‌خورده برای اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های شیمیایی مانند اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی و همچنین از نمونه-های دست‌نخورده برای اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی مانند جرم مخصوص ظاهری و تخلخل‌کل استفاده شد. قابلیت هدایت-الکتریکی در عصاره ۱:۵ خاک به آب به کمک دستگاه هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد (راودیس، ۱۹۹۶). پ-هاش خاک، با استفاده از دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد (توماس، ۱۹۹۶). برای اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری خاک از نمونه‌های خاک دست‌نخورده به روش استوانه‌های نمونه‌برداری، با قطر ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر، استفاده شد (بلاک و هارتگه، ۱۹۸۶). برای اندازه‌گیری بافت خاک از روش هیدرومتر استفاده شد (بایکاس، ۱۹۶۲). برای اندازه‌گیری تخلخل‌کل، رطوبت حجمی اشباع نمونه‌های دست نخورده اندازه‌گیری و برابر با تخلخل‌کل در نظر گرفته شد (هیلل، ۱۹۹۸). تجزیه و تحلیل آماری داده‌های نرمال شده با آزمون فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با نرم‌افزار SAS.9.4 انجام گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس تأثیر کاربرد کمپوست بستر قارچ بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

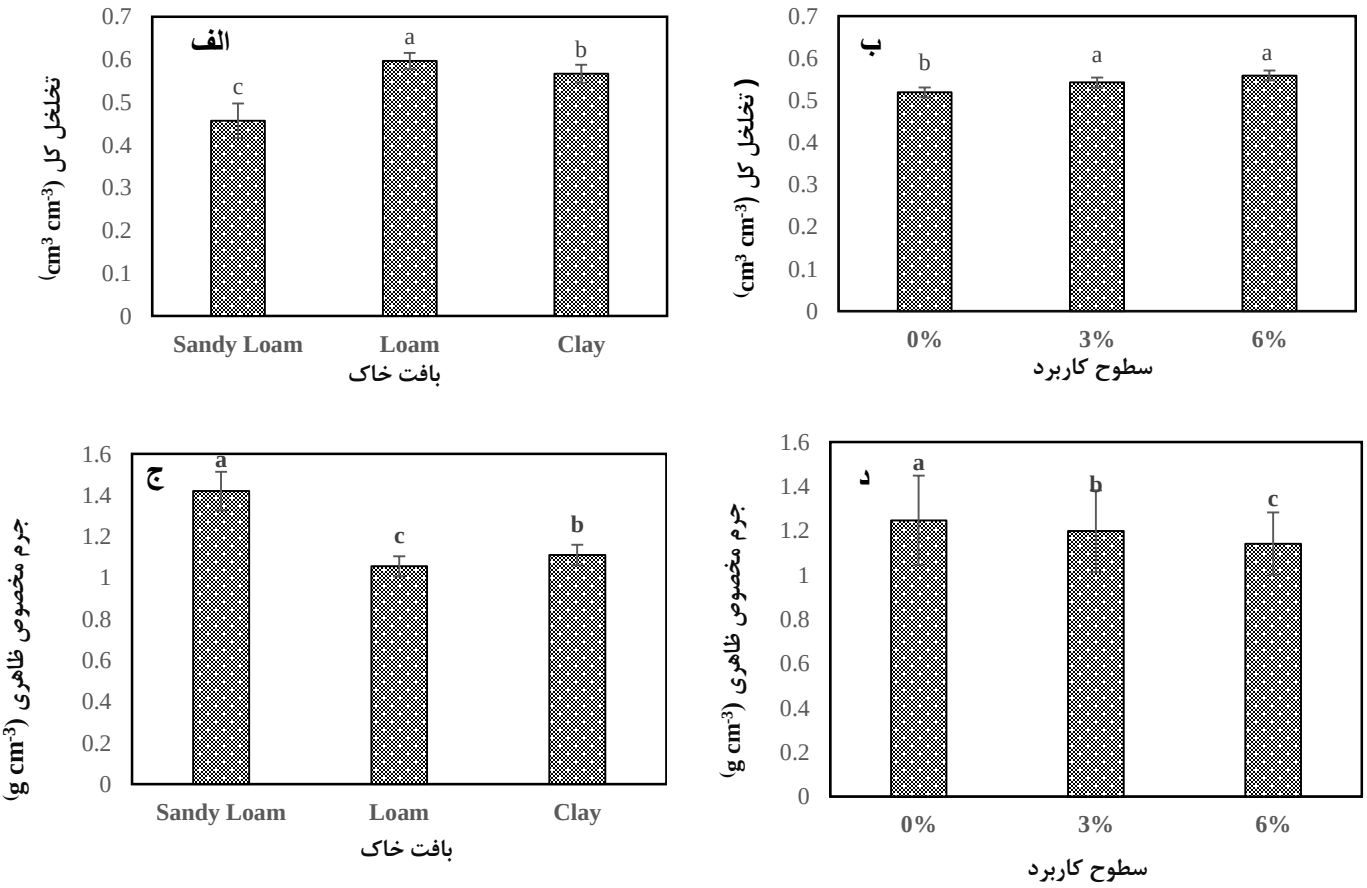
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثرات اصلی نوع بافت خاک و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (درسطح آماری ۱درصد) بر پارامترهای تخلخل و جرم مخصوص ظاهری، معنی‌دار بود. ولی اثر برهمکنش آن‌ها بر پارامترهای مذکور معنی‌دار نشد (جدول۱). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی نوع بافت خاک و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ و اثر متقابل آن‌ها (در سطح آماری ۱ درصد) بر پارامترهای هدایت الکتریکی و پ-اچ معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر تخلخل و جرم مخصوص ظاهری، هدایت الکتریکی و پ- هاش خاک.

منابع تغییر	درجه آزادی	تخلخل	جرم مخصوص ظاهری	هدایت الکتریکی	پ-اچ
		p-value			
بافت خاک	۲	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ	۲	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۰۸	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱
بافت × سطح کاربرد کمپوست	۴	۰/۱۸۱۱	۰/۱۲۹۸	<۰/۰۰۰۱	<۰/۰۰۰۱

تخلخل کل و جرم مخصوص ظاهری

نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن نشان داد که مقدار تخلخل کل در خاک‌های مورد مطالعه به ترتیب لوم > رس> لوم‌شنی بود، که تفاوت همه آن‌ها معنی‌دار بود (شکل۱-الف). نتایج مقایسه میانگین کاربرد سطوح کمپوست بستر قارچ نشان داد که سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ باعث افزایش معنی‌دار تخلخل در سطح ۳ و ۶ درصد نسبت به شاهد شد. ولی بین تخلخل کل در سطوح ۳ و ۶ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل۱-ب). هم‌چنین مقایسه میانگین نشان داد که ترتیب جرم مخصوص ظاهری در بافت‌های متفاوت دقیقا عکس تخلخل کل بود. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که جرم مخصوص ظاهری در سطح شاهد> سطح ۳ درصد > سطح ۶ درصد بود، که تفاوت همه این سطوح معنی‌دار بود (شکل۱-ج، د).



شکل۱- اثر اصلی بافت خاک (الف و ج) و سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (ب و د) به ترتیب بر تخخل‌کل و جرم مخصوص ظاهری خاک. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

علت اینکه تخلخل کل در خاک لوم نسبت به خاک رسی و لوم‌شنی بیشتر بود می‌تواند درصد ماده‌آلی زیاد در خاک لوم نسبت به خاک رسی و لوم‌شنی باشد (جدول۱). از طرفی کاهش جرم مخصوص ظاهری در خاک لوم نسبت به لوم‌شنی گواه بر این نتیجه است (شکل۱- ج). وجود ماده‌آلی در خاک با ایجاد لایه آبگریز اطراف خاکدانه‌ها سبب کاهش نفوذ آب در خاکدانه‌ها و افزایش

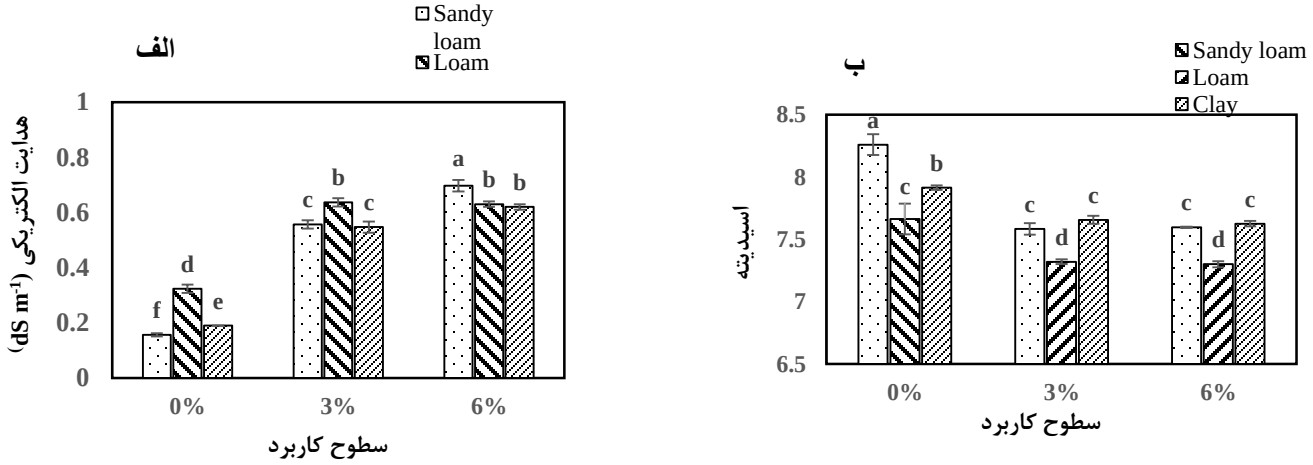
پایداری خاکدانه‌ها می‌شود (چنگ و همکاران، ۲۰۱۵). به دلیل افزایش پایداری خاکدانه‌ها، تخلخل کل و خلل و فرج درشت خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه ویژگی‌های فیزیکی خاک بهبود می‌یابد (عباسی، ۱۳۹۶).

علت اینکه در خاک رسی تخلخل نسبت به خاک لوم‌شنی بیشتر و جرم مخصوص ظاهری کمتر بود را می‌توان به درصد رس، و ماده‌آلی بیشتر بافت رسی نسبت داد (شکل۱-الف، ج). بر این اساس اسپاسینی و پیکولو (۲۰۱۳)، گزارش کردند که درصد پایداری خاکدانه‌های درشت در خاک‌هایی با بافت سنگین که مقدار بالایی رس در آن‌ها وجود دارد بیشتر می باشد.

سطوح ۳ و ۶ درصد کمپوست بستر قارچ به طور معنی‌داری در سطح آماری ۵ درصد به‌ترتیب موجب افزایش تخلخل به‌مقدار ۴/۵ تا ۷/۸ درصد و کاهش جرم مخصوص ظاهری به‌مقدار ۳/۹ تا ۸/۴ درصد گردیدند. کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک به دو دلیل می‌تواند رخ دهد. دلیل اول مخلوط شدن ماده‌ای با جرم مخصوص کمتر با خاک و دلیل دوم آن ناشی از تاثیر غیر مستقیم ماده‌آلی است. علاوه بر این، با افزودن موادآلی به دلیل افزایش تخلخل خاک، جرم مخصوص ظاهری کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات عیسوند رجبی و همکاران (۱۳۹۸)، نشان داد که، با افزدون بیوچار کودگاوی بر سه خاک لوم‌شنی، لوم و رسی در سطوح ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد در هر سه خاک تخلخل کل نسبت به شاهد افزایش یافت، به‌نحوی که بیشترین مقدار مربوط به خاک لوم و کمترین هم مربوط به خاک لوم‌شنی بود.

قابلیت هدایت الکتریکی

نتایج مقایسه میانگین آزمون دانکن قابلیت هدایت الکتریکی نشان داد که استفاده از کمپوست بستر قارچ در سطح ۳ و ۶ درصد در هر ۳ بافت موجب افزایش معنی‌دار ($p <$ ۰/۰۵) هدایت الکتریکی نسبت به شاهد شد. سطح ۳ و ۶ درصد در بافت لوم‌شنی و رسی نسبت به همدیگر تفاوت معنی‌دار ($p <$ ۰/۰۵) داشتند، ولی در بافت لومی نسبت به همدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل ۲-الف).



شکل۲- اثر برهمکنش بافت خاک × سطوح کاربرد کمپوست بستر قارچ (الف و ب)، به ترتیب بر قابلیت هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک. در هر شکل وجود حروف مشابه بر روی هر یک از ستون‌ها نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد آزمون دانکن می‌باشد. خطوط عمودی بر روی هر ستون نشان دهنده انحراف استاندارد داده‌ها است.

یکی از دلایل افزایش مقدار هدایت‌الکتریکی در هر سه خاک می‌تواند مربوط به تأثیر هدایت‌الکتریکی خود کمپوست بستر قارچ (۵/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر)، باشد، چراکه حداقل ۱۴ برابر هدایت‌الکتریکی خاک‌ها بود. از طرفی غلظت زیاد املاح در کمپوست هم موجب افزایش EC می‌شود. اکبرنژاد و همکاران (۱۳۹۱)، گزارش کردند که افزودن کمپوست پسماند شهری در سطوح ۰، ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار موجب افزایش EC خاک گردید. آن‌ها علت را به تولید اسیدهای‌آلی در اثر تجزیه ماده‌آلی نسبت دادند.

در سطح ۶ درصد مقدار هدایت‌الکتریکی در بافت لوم‌شنی نسبت به دو بافت دیگر به طور معنی‌داری بیشتر بود و بافت لوم و رسی تفاوت معنی‌داری را نسبت به همدیگر نشان ندادند. به نظر می‌رسد علت تفاوت روند هدایت الکتریکی خاک‌های متفاوت در سطوح کاربرد، همان تاثیر نوع بافت خاک باشد. در خاک لوم‌شنی همانطور که نمودار نشان می‌دهد (شکل ۲-الف)، با افزایش سطح کاربرد کمپوست مقدار هدایت الکتریکی افزایش یافته است. این نتیجه نشان می‌دهد که بافت لوم‌شنی هنوز ظرفیت آن را دارد که با افزایش سطوح کاربرد کمپوست، ماده‌آلی تجزیه شود و عناصر غذایی وارد محلول شود، درنتیجه هدایت الکتریکی خاک افزایش یابد. مطالعات آرتور و همکاران (۲۰۱۲)، نشان داد که در اثر افزودن کمپوست قارچ به یک خاک لوم‌شنی کربن‌آلی، نیتروژن‌کل، هدایت الکتریکی و واکنش خاک به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد.

اسیدیته خاک (pH)

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در هر سه خاک استفاده از کمپوست بستر قارچ موجب کاهش pH در سطح ۳ و ۶ درصد نسبت به شاهد شد. ولی سطح ۳ و ۶ درصد نسبت به همدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (شکل۲- ب). علت کاهش pH در سطوح ۳ و ۶ درصد در هر سه خاک نسبت به سطح شاهد می‌تواند ماده‌آلی کمپوست بستر قارچ باشد که با افزایش سطح کمپوست بستر قارچ، ماده‌آلی زیادی به خاک اضافه شده است. تغییرات ماده‌آلی خاک می‌تواند موجب کاهش یا افزایش pH خاک شود.

مقایسه pH خاک‌ها در سطوح مختلف کاربرد نشان داد که مقدار pH در سطح شاهد به طور معنی‌دار در خاک لوم شنی> رسی> لوم بود. در سطح ۳ و ۶ درصد مقدار متغیر pH به طور معنی‌دار در خاک لوم‌شنی = رسی > لوم بود. علت کاهش pH در سطح شاهد در خاک لوم احتمالا پایین بودن کربنات کلسیم دراین خاک می‌باشد. علت افزایشpH در خاک لوم‌شنی در سطح شاهد می‌تواند درصد کمتر ماده‌آلی دراین خاک نسبت به دو خاک دیگر باشد. چراکه تجزیه ماده‌آلی و تولید CO_2 در خاک لوم‌شنی کمتر شده و موجب افزایش pH گردیده است (والکر و همکاران، ۲۰۰۴).

نتیجه‌گیری

به طور کلی این پژوهش نشان داد که تیمار کمپوست بستر قارچ و سطوح مختلف آن سبب تغییرات و به عبارتی بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌گردد. بر طبق نتایج حاصله، تیمار کمپوست بستر قارچ خوراکی از طریق افزایش سطح ماده‌آلی خاک، موجب افزایش پارامترهای EC و تخلخل کل و کاهش پارامترهای pH و جرم مخصوص ظاهری در هر سه خاک شد. در بافت لومی پارامترهای EC، pH و تخلخل کل به علت ماده‌آلی بیشتر و در بافت رسی پارامترpH به علت بافت سنگین رس و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد خاک نسبت به بافت لوم شنی بیشترین تغییر را داشت. هم‌چنین سطوح ۶ درصد در هر سه خاک نسبت به سطح ۳ درصد و صفر درصد بیشترین تاثیر را برEC، pH ، تخلخل کل، جرم مخصوص ظاهری داشت. در مجموع نتایج نشان داد که کمپوست بستر قارچ خوراکی به علت موادآلی پایدار و جرم مخصوص ظاهری کم باعث خاکدانه‌سازی، بهبود پایداری خاکدانه‌ها و حاصلخیزی خاک شده است. با توجه به اینکه این کمپوست نسبت به سایر اصلاح کننده‌های خاک دارای قیمت بسیار ارزانی می‌باشد، می‌تواند هزینه مصرفی را کاهش دهد. لذا می‌توان در اراضی کشاورزی جهت حفظ باروری خاک، بهبود پایداری خاکدانه‌ها، و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از کمپوست بستر قارچ خوراکی استفاده کرد.

منابع

۱. اکبر نژاد، ف، آستارایی، ع، فتوت، ا و نصیری محلاتی، م. ۱۳۹۱. اثر کمپوست پسماند شهری و لجن فاضلاب بر خصوصیات شیمیایی خاک. نشریه اب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۶ ف بهمن- اسفند ۱۳۹۱، ص ۱۳۳۸-۱۳۲۹.

۲. عباسی، فریبرز. (۱۳۹۶). فیزیک خاک پیشرفته. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران

۳. عیسوند رجبی، ف، کریمی، ا و متقیان، ح. ۱۳۹۸. اثر کاربرد بیوچار کود گاوی بر تخلخل کل در سه بافت. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران.

۴. نیک روش، ا .برومند نسب، س .ناصری، ع .محمدی .ا . ۱۳۹۷ .بررسی اثر کاربرد بیوچار و هیدروچار کاه گندم بر خصوصیات فیزیکی یک خاک لوم- شنی .نشریه آب و خاک، ۳۲ ،.۳۸۷ - ۳۹۷.

5. Agegnehu, G., Bass, A.M., Nelson, P.N., Muirhead, B., Wright, G., and Bird, M.I. 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland, Australia. Agric. Ecosyst. Environ. 213: 72-85
6. Arthur, E., Cornelis, W., & Razzaghi, F. 2012. Compost amendment to sandy soil affects soil properties and greenhouse tomato productivity. *Compost Science & Utilization*, *20*(4), 215-221.
7. Bauycos, G. J. 1962. Hydrometer methods improved for making particle size of soils. *Agron. J*, 56, 464-465
8. Blake, G. R., and Hartge, K. H. 1986. Bulk Density 1. Methods of Soil Analysis: Part 1—Physical and Mineralogical Methods, (methodsofsoilan1), 363-375.
9. Cheng, M., Xiang, Y., Xue, An. Sh. And Darboux, F. 2015. Soil aggregation and inter-aggregate carbon fractions in relation to vegetation succession on the Loess Plateau. China. Catena. 124: 77-84.
10. Curtin, J. S., & Mullen, G. J. 2007. Physical properties of some intensively cultivated soils of Ireland amended with spent mushroom compost. *Land degradation & development*, *18*(4), 355-368.
11. Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics: Fundamentals, applications, and environmental considerations*. Elsevier
12. Jaiarree, S., Chidthaisong, A., Tangtham, N., Polprasert, C., Sarobol, E., & Tyler, S. C. 2014. Carbon budget and sequestration potential in a sandy soil treated with compost. *Land Degradation & Development*, *25*(2), 120-129.
13. Lou, Z., Sun, Y., Zhou, X., Baig, S. A., Hu, B., & Xu, X. 2017. Composition variability of spent mushroom substrates during continuous cultivation, composting process and their effects on mineral nitrogen transformation in soil. *Geoderma*, *307*, 30-37.
14. Mahmoud, E., & Abd El- Kader, N. 2015. Heavy metal immobilization in contaminated soils using phosphogypsum and rice straw compost. *Land Degradation & Development*, *26*(8), 819-824
15. Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, (methodsofsoilan3), 417-435.
16. Spaccini, R., & Piccolo, A. 2013. Effects of field managements for soil organic matter stabilization on water-stable aggregate distribution and aggregate stability in three agricultural soils. *Journal of Geochemical Exploration*, *129*, 45-51.
17. Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*, (methodsofsoilan3), 475-490.
18. Zhao, J., Ni, T., Li, J., Lu, Q., Fang, Z., Huang, Q., Zhang, R., Li, R., Shen, B., and Shen, Q. 2016. Effects of organic–inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice–wheat cropping system. Applied Soil Ec *ochemistry*, *37*(3), 507-515.

Short-term Effect of Mushroom Substrate Compost on Some Physical and Chemical Properties of Soils With Different Textures

Ch.Madizadeh[1], H. Bayat[2]

1- Phd. Student of Soil Science, Bu-Ali Sina University

(Chimanmehdizadeh@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Soil Science, Bu-Ali Sina University

(hbayat2001@gmail.com)

Abstract

Mushroom substrate compost (MSC) derived from spent mushroom substrate and can be used in agricultural lands to improve soil productivity and fertility and increase soil organic matter and nutrients. Therefore, objective of this study was to evaluate the short-term effect of the MSC on some physical and chemical properties of soil with different

textures. The experiment was conducted as a factorial experiment in a completely randomized design with three replications. The factors were included soil texture at three levels (sandy loam, loam and clay), and MSC at three levels (0, 3 and 6% W/W). The results showed that by increasing the application levels of mushroom substrate compost, electrical conductivity and total porosity increased in the ranges from 96 to 345% and 4.5 to 7.8%, respectively and bulk density and pH decreased in the ranges from 4 to 8% and 3 to 8.1%, respectively, by using MSC. Generally, the addition of the MSC to the soils improved the soil quality. Therefore, MSC can be used in agricultural fields to sustain soil fertility and to improve soil quality.

Keywords: bulk density, electrical conductivity, pH, total porosity

اثرات برخی نانوذرات بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک

بشارت بیداری*[1]، علی اشرف امیری نژاد[2]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه رازی besharatbidari@gmail.com

[2]استادیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه رازی

چکیده

خاک‌هایی که با اعمال کمترین نیرو، تغییرات ساختاری یافته و مقاومت و پیوند بین ذرات آن کاهش یابد را خاک‌های مسئله‌دار می‌گویند. این خاک‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی مطلوب نبوده و بایستی با اعمال بعضی تغییرات، برای فعالیت‌های مهندسی آماده شوند. یکی از روش‌های بهسازی این خاک‌ها، استفاده از مواد افزودنی مانند نانوذرات به خاک است. نانوذرات با اندازه کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر، واکنش‌پذیری بسیار فعالی با ذرات خاک دارند. به عبارتی، به دلیل داشتن بارهای سطحی و سطح ویژه بالا، حتی در صورت کاربرد با مقادیر کم در محیط خاک، رفتار و ویژگی‌های فیزیکی و مهندسی خاک را به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهند. با توجه به بررسی نتایج تحقیقات مختلف، نانوذرات و از جمله نانوذرات رس، سیلیس و اکسیدهای فلزی می‌توانند با اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری خاک، مقاومت کششی، مقاومت فروروی، موجب اصلاح فشردگی و قابلیت نگهداری رطوبت خاک شوند. در واقع، افزودن نانوذرات به خاک یک روش مناسب در راستای کاهش محدودیت‌های فیزیکی و مکانیکی خاک است.

کلمات کلیدی: تراکم پذیری، مقاومت کششی، مواد اصلاح‌گر، نانوذرات

مقدمه

خاک به عنوان پوشش سطحی زمین، اولین و مهم‌ترین بخش در اجرای پروژه‌های مهندسی است. به علت ویژگی‌های متفاوت، خاک‌ها رفتارهای مکانیکی مختلفی از خود نشان می‌دهند. به عبارت دیگر، در طبیعت خاک‌هایی وجود دارند که با اعمال کم‌ترین نیرو، تغییرات ساختاری یافته و مقاومت و پیوند بین ذرات آن کاهش خاک می‌یابد. این خاک‌های مسئله‌دار، در پروژه‌های مهندسی، مشکل‌آفرین هستند. از جمله‌ی مشکلات، تغییر در ویژگی‌های رفتاری خاک و یا تغییر در مشخصات حجمی، مکانیکی و مقاومتی خاک، به ویژه در زمان جذب آب است. بنابراین، شناسایی و چگونگی برخورد با این خاک‌ها، موضوع بسیار مهمی در مطالعات مهندسی خاک است(طبرسا، ۱۳۹۶).

از دیدگاه مهندسی، خاک‌های مسئله‌دار از نظر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مطلوب نیستند و بایستی با اعمال تغییراتی در آن‌ها، جهت فعالیت‌های عمرانی آماده شوند. از گذشته دور، روش‌های مختلفی برای بهسازی این خاک‌ها مورد استفاده قرار گرفته که یکی از این روش‌ها، افزودن مواد به خاک است. از جمله افزودنی‌های متداول سیمان، آهک، کلسیم کلرید، خاکستر بادی و قیر است که مشکلاتی مانند آلودگی محیط زیست را بوجود می‌آورند(Luo *et al*. 2018). در دهه‌های اخیر نیز با پیشرفت علوم، فناوری نانو به عنوان یک تکنیک بین رشته‌ای، مورد توجه قرار گرفته است. نانوتکنولوژی شامل تولید و کاربرد فیزیکی، شیمیایی و زیستی سیستم‌ها در مقیاس تک اتم یا مولکول است. به عبارتی، نانومواد میکروساختارهایی با حداقل یک بعد در مقیاس نانومتر هستند(عبدی نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). روش ساخت به صورت جابجا نمودن اتم‌ها و مولکول‌ها و گذاردن آن‌ها در موقعیت‌های مناسب است تا موادی سبک، محکم و ارزان ساخته شوند

مشخصه اصلی نانوذرات، اندازه کوچک (کوچکتر از ۱۰۰ نانومتر) است. لذا به دلیل اندازه بسیار کوچک، وجود بارهای سطحی و سطح ویژه بالا، به‌طور بسیار فعالی با ذرات خاک واکنش داده و با جذب در سطح ذرات، موجب تقویت و پیوستگی آنها و افزایش مقاومت مکانیکی مانند افزایش ظرفیت باربری، کاهش نشست، کاهش تورم و تثبیت خاک، در عین سازگاری با محیط زیست، می‌شوند. بنابراین، حتی در صورت استفاده بسیار کم در محیط خاک، رفتار و ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و مهندسی خاک را به‌طور قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهند. به عبارتی، در مقیاس نانو، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ذرات طوری تغییر می‌یابند که در مقیاس ماکرو وجود ندارد(Zhang, 2017).

روش کار

این مقاله بر اساس نتایج بعضی تحقیقات میدانی و نیز مطالعات کتابخانه ای توسط نویسندگان مقاله تهیه و تنظیم شده است. بنابراین، با توجه به تجزیه و تحلیل نقطه نظرات مختلف، اثرات برخی نانوذرات بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد بحث قرار گرفته و در پایان، بر مبنای کارآیی، بهترین نانوذرات در اصلاح ویژگی‌های خاک معرفی و بطور مفصل‌تر تشریح شده است.

نتایج

نانوذرات به علت سطوح واکنش‌پذیر، برهم‌کنش فعالی با ترکیبات خاک در فاز مایع و تبادلی دارند. بنابراین، تاثیرات شگرفی بر خواص فیزیکی و مهندسی خاک، حتی با حضور نسبت وزنی کم دارند. نانوذراتی که در خاک بکار می‌روند از نظر مورفولوژیک در سه گروه نانوصفحات، نانولوله‌ها و نانونقاط دسته‌بندی می‌شوند. نانوصفحات با تنها یک بعد در مقیاس نانومتر شامل ذرات رس کائولینیت، ایلیت، اسمکتیت و ورمی‌کولیت هستند. نانولوله‌ها نیز دو بعد در مقیاس نانو داشته و عمدتاً از مواد معدنی لیفی (رشته‌دار) مانند هالوسیت، پالاگورسکیت و سپیولیت تشکیل شده‌اند. اما نانونقاط که در هر سه بعد مقیاس نانو دارند شامل بعضی از مواد ارگانیک، آلوفین و اکسیدهای فلزی مانند اکسید آهن، اکسید روی و نانواکسیدهای منیزیم هستند(شریف نسب و عباسی، ۱۳۹۵).

نانورس

نانوذرات رس با محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر جزء ذرات معدنی سیلیکاتی به شکل لایه‌ای (صفحه‌ای) بوده و به علت سطح ویژه بسیار بزرگ (۷۰۰g/m^2 تا۸۰۰) و بار سطحی زیاد، همواره اندرکنش شدیدی با محیط اطراف داشته و تاثیرگذاری زیادی بر خواص مکانیکی خاک دارند(Pham and Nguyen, 2014). نانورس‌ها عموما" از خاک رس مونتموریلونیت یا اسکمتیت و گاهی بنتونیت و کائولینیت تهیه می‌شوند. مونت موریلونیت به علت داشتن ویژگی‌های خاص نسبت به سایر کانی‌های رسی کاربرد وسیعی در پژوهش‌های زیست محیطی دارد.

نانورس‌ها به صورت پودرهای رسی افزودنی برای افزایش مقاومت و پایداری خاک، افزایش مقاومت حرارتی و تثبیت خاک نسبت به دیگر روش‌ها به لحاظ فنی و صرفه اقتصادی بسیار مطلوب است. همچنین، به دلیل سطح ویژه زیاد، پایداری شیمیایی و مکانیکی، ساختار لایه‌ای و ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد، به عنوان یک ماده سودمند برای جذب آلاینده های زیست محیطی استفاده می‌شوند(عباسی و فرجاد، ۱۳۹۶.). نتایج بررسی تاثیر نانوآلومینیوم، نانومس و نانورس بر رفتار تورمی و انقباضی خاک‌های ریزدانه نشان داد که افزودن نانورس تاثیر محسوس‌تری بر مقادیر رطوبت بهینه و جرم مخصوص خشک نمونه‌ها داشته و شاخص خمیری و حد انقباض خاک نیز بطور قابل توجهی زیاد شد (Taha and Taha, 2016). در مطالعه اثرات نانومس، نانومنیزیم و نانورس بر خصوصیات تراکمی و مقاومت فشاری خاک نیز مشخص شد که استفاده از نانورس در تثبیت خاک‌های ریزدانه و افزایش مقاومت نمونه‌های خاک، نسبت به سایر نانومواد تاثیر بیشتری داشته است (Li, 2014). در ارزیابی تاثیر نانورس با درصدهای مختلف بر خصوصیات ژئوتکنیکی یک خاک رسی، نتایج نشان داد که مقاومت برشی و فشاری خاک تا نسبت ۱/۵ درصد نانورس افزایش یافته و در درصدهای بالاتر کاهش یافت(Taha and Taha, 2016). همچنین، کاربرد نانورس باعث افزایش کرنش‌های تورمی و انقباضی و حجم کلی خاک شد و افزودن آن تاثیر بسیار مهمی بر خواص خمیری و مقاومتی نمونه‌های خاک داشت، به‌طوری‌که با افزودن دو درصد نانورس به خاک، شاخص خمیری نمونه‌ها حدود ۹۰ درصد زیاد گردید(طبرسا، ۱۳۹۶). افزودن نانورس به خاک تاثیر قابل ملاحظه بر مشخصات تراکمی نداشته اما موجب کاهش شدید مقدار چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی و همینطور کاهش مقاومت برشی خاک می‌گردد. از طرفی، تاثیر نانورس در حد روانی بیشتر از تاثیر مقدار مشابه آن در خمیری است(شریف نسب. و عباسی، ۱۳۹۵).

با افزودن نانوکائولینیت تا یک درصد وزنی خاک خشک به‌ترکیب یک خاک رسی نیز میزان رطوبت اپتیمم و وزن واحد حجم خاک افزایش یافته اما در مقادیر بیش از یک درصد، وزن واحد حجم خاک شروع به کاهش کرد البته در هر حالت، وزن واحد حجم خاک رسی ترکیب شده با نانوکائولینیت بیشتر از خاک شاهد (بدون نانوکائولینیت) بود. نتایج آزمایش‌های کاساگراند نیز نشان داد که افزودن نانوکائولینیت به ترکیب خاک، حدود روانی و خمیری افزایش ولی شاخص خمیری خاک کاهش یافت که این موضوع یک نتیجه مطلوب در مهندسی بهسازی خاک است. همچنین، بررسی نتایج آزمایش‌های برش مستقیم نشان می-

دهد که افزودن نانوکائولینیت تا یک درصد وزنی سبب افزایش چسبندگی دانه‌های خاک و بالتبع افزایش مقاومت برجشی خاک شده و افزایش بیشتر نانوکائولینیت تغییر چندانی ایجاد نکرد. نانورس مونت موریلونایت نیز حدود روانی و خمیری خاک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داده، بطوری‌که با افزودن ۸ درصد وزنی نانورس به خاک رسی، دامنه خمیری خاک حدود ۶۸ درصد افزایش یافت(مجدی و همکاران، ۱۳۹۷).

در بررسی تاثیر نانورس بر پارامترهای مکانیکی یک خاک ماسه‌ی رس‌دار، نتایج حکایت از افزایش حدود روانی و خمیری خاک، کاهش دامنه خمیری و بهبود مقاومت برشی خاک در حضور نانوذرات رس است. به عبارتی، با انجام آزمایشات نفوذپذیری در مخلوط ماسه رس‌دار، نتایج نشان داد که افزودن نانورس به این ترکیب ضریب نفوذپذیری را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و ضریب نفوذپذیری آن حتی از ضریب نفوذپذیری خاک دارای رس کائولن کمتر گردید(سیدی، ۱۳۹۰).

نانو سیلیس

نانوسیلیس شامل مجموعه‌ای از ذرات کوچک SiO_2 در مقیاس نانو است که از طریق پیوندهای شیمیایی به یکدیگر متصل شده‌اند. مزیت اصلی نانوسیلیس گستره سطح بالای آن است که باعث می‌شود در بستر مورد استفاده، برهمکنش بیشتری از خود نشان دهد (تاج دینی و حاجی علیلو، ۱۳۹۷). به عبارت دیگر، به دلیل بارهای سطحی و سطح ویژه‌ی بسیار بالا، می‌توان با کاربرد حتی مقادیر کم موجب بهبود خواص خاک شد. بنابراین، اغلب نانومواد‌ی که برای اصلاح خصوصیات مکانیکی و فیزیکی خاک استفاده شده‌اند شامل نانوذرات سیلیس بوده که بر خصوصیات تحکیم، شاخص نفوذپذیری و پارامترهای مقاومتی خاک تأثیر داشته‌اند. همچنین، از نانوذرات سیلیس به‌منظور افزایش چسبندگی خاک و کاهش ویسکوزیته آن استفاده می‌شود. کاربرد اکسیدهای سیلیسیم می‌تواند با افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها موجب پایداری ساختمان و فرایند خاکدانه‌سازی خاک‌های مناطق خشک شود(Majeed *et al*. 2019).

همینطور، با کاربرد نانوسیلیس مقاومت فشاری خاک افزایش، ضریب نفوذپذیری کاهش و رفتار نمونه‌های خاک از حالت الاستیک به الاستوپلاستیک تغییر می‌یابد. به‌عنوان مثال در مطالعه تاثیر نانوذرات سیلیس در طیف ابعادی ۵ تا ۱۰۰ نانومتر مشخص گردید که مقاومت برشی خاک با کاربرد این مواد و با گذشت زمان افزایش می‌یابد. به‌عبارتی، خاک دارای نانوذرات در مراحل ابتدایی شکل‌پذیر بوده و با گذشت زمان رفتارش الاستوپلاستیک شده و خاصیت تغییرشکل بازگشت‌پذیر (ارتجاعی) پیدا می‌کند(Burton, 2019). در بررسی تاثیر نانوسیلیس بر مشخصات مکانیکی خاک در دو دوره عمل‌آوری ۷ و ۲۸ روزه نیز نتایج نشان داد که با گذشت زمان مقاومت برشی خاک افزایش می‌یابد. علاوه‌بر ویژگی‌های مذکور، ذرات نانوسیلیس بر خصوصیات آتربرگ تاثیر داشته و به عبارتی، اضافه کردن آن به خاک باعث افزایش حد روانی و حد خمیری خاک و کاهش دامنه خمیری می‌شود. این مطلب در بررسی استحکام هسته سدهای رسی حائز اهمیت است(Jahangiri and Pasha, 2015).

نانو مس

نانو اکسید مس با فرمول شیمیایی CuO به شکل یک پودر قهوه‌ای تیره بوده که به‌وسیله‌ی فرآیندهای طبیعی یا شیمیایی تشکیل می‌شود. اکسید مس بطور ویژه موجب افزایش هدایت هیدرولیکی، قابلیت شکل‌پذیری، سختی و استقامت خاک می‌گردد(Heiligtag *et al*. 2018). مطالعات تاثیر نانوذرات اکسیدمس بر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک نشان می‌دهد که اضافه کردن آن به خاک سبب کاهش حد روانی، حد خمیری، شاخص خمیرایی، انقباض خطی و افزایش چگالی ظااهری خاک خشک می‌شود. اضافه کردن مقدار بهینه این نانوذرات به خاک، علاوه بر حد خمیری، تعداد ترک‌های ناشی از خشکی در سطح نمونه‌های خاک متراکم شده را کاهش می‌دهد(Taipodia *et al*. 2018).

نانو بیوچار

اگرچه، مواد نانورس و نانوسیلیس بیشتر از دیگر مواد در بررسی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند اما اخیرا" مطالعات فراوانی در رابطه کاربرد اصلاح کننده‌های با منشا آلی نیز در جهت اصلاح ویژگی‌های خاک انجام شده است. به عبارتی، از جمله چشم‌اندازهای نوین فناوری نانو در زمینه اصلاح خاک، کاربرد ترکیب‌های زیستی و از جمله نانوذرات بیوچار است. بیوچار یک زیست‌توده غنی از کربن بوده که توسط تجزیه حرارتی (پیرولیز) زیست توده‌هایی مانند انواع چوب، کودها، برگ‌ها، کاه وکلش و نیز پسماندهای کشاورزی در شرایط اکسیژن کم یا بدون اکسیژن تولید می‌شود.

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار تولیدی بسته به نوع ماده آلی مورد استفاده، مقدار اکسیژن موجود در طی فرآیند تولید و دمای نهایی تغییر می‌کند(Lehman and Joseph, 2019).

این ترکیب زیستی با دارا بودن ویژگی‌هایی از قبیل غیرسمی بودن، تهیه ارزان و آسان، غنی از کربن، تخلخل و سطح ویژه زیاد، ظرفیت تبادلی یونی بالا و داشتن گروه‌های عاملی اکسیژنی، می‌تواند جهت بهبود حاصلخیزی و کاهش آبشویی عناصر غذایی خاک مفید باشد(Yang and Fang, 2017). همچنی، بیوچار با کاهش جرم مخصوص ظاهری و افزایش تخلخل و پوکی خاک، بر میزان نگه‌داری آب در خاک و مدل توسعه ریشه تاثیرگذر باشد. همچنین، بیوچار به علت دارا بودن منافذ ماکرو و میکرو (با قطر ۱ تا ۵۰ نانومتر) می‌تواند وضعیت آب و هوای خاک را به خوبی اصلاح کند(Chen *et al*. 2015).

نتیجه‌گیری کلی

نانوذراتی که به خاک اضافه می‌شوند، برخلاف سایر افزودنی‌های مختلف، در عین سازگاری با محیط زیست اثرات بسیار مطلوبی بر فرآیندها و رفتارهای خاک دارند. اضافه کردن نانوذرات به خاک باعث تغییراتی از قبیل افزایش مقاومت مکانیکی، کاهش تغییرشکل و نشست، پایداری حجمی (کنترل انقباض و تورم)، تغییر نفوذپذیری و کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود. به عبارتی، از راه‌های اصلاح ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک، افزودن مواد اصلاح کننده به خاک است که با ترکیب با ذرات خاک، موجب تقویت پیوستگی آن‌ها به هم و افزایش پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. تغییر حدود روانی و خمیری خاک با کاربرد نانوذرات در ساخت سازهای مهندسی خاک مفید است.

منابع

۱. تاج دینی، م و م. حاجی علیلو. (۱۳۹۷). بررسی آزمایشگاهی تاثیر افزودن نانوسیلیس با سطح ویژه‌های متفاوت در پارامترهای فیزیکی و مکانیکی مصالح خاک- سیمان. نشریه مهندسی عمران شریف. ۲(۳۴): ۱۳-۲۲.

۲. سیدی، س.ع. (۱۳۹۰). بررسی آزمایشگاهی پارامترهای ژئوتکنیکی مخلوط‌های خاک نانو مواد با نگاهی ویژه بر خصوصیات مقاومتی و نفوذپذیری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه علم و صنعت. تهران. ایران.

۳. شریف نسب، ه و ن. عباسی. (۱۳۹۵). ارزیابی تاثیر ذرات نانو رس بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خاک‌ها. نشریه ماشین‌های کشاورزی. ۶(۱):۲۵۰-۲۵۸.

۴. طبرسا، ع.ر. (۱۳۹۶). تاثیر افزودن نانورس روی رفتار ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه نرم. نشریه زمین‌شناسی مهندسی. ۱۱(۲): ۲۲۵-۲۴۶.

۵. عباسی، ن و آ. فرجاد. (۱۳۹۶). بررسی امکان استفاده از نانوذرات رس برای کنترل پتانسیل واگرایی خاک‌های رسی. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۸(۳): ۵۱۵-۵۲۴.

۶. عبدی‌نژاد، ا.ح.، عسکری جیرهنده، ص.، ترابی خداشهری، ح و ا.م. احتشامی. (۱۳۹۴). ارزیابی آزمایشگاهی بهسازی خاک رس با نانو آهک و آهک به‌منظور بهبود خواص خمیری رس. کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی.

۷. مجدی، م.، ارومیه ای، ع و م. نیکودل. (۱۳۹۷). بهبود خواص ژئوتکنیکی خاک رسی با استفاده از نانوذرات کائولینیت. مجله علوم زمین. ۲۸(۱۰۹):۲۲۱-۲۲۸.

8. Burton C. (2019). Silica sol for rock grouting, Laboratory testing of strength, fracture behavior and hydraulic conductivity, Tunneling and Underground Space Technology. PP: 603-607.

9. Chen J. Wang Y.Y. Wu J.H. Si H.P. and Lin K.Y. (2015). The research of biochar adsorption on soil. Applied Mechanics and Materials, 448-453: 417-424.

10. Heiligtag J. and Markus N. (2018).The fascinating world of nanoparticle research. Material today. 16(7): 262-271.

11. Jahangiri S. and Pasha M.A. (2015). Effect of nano-silica on swelling, compaction and strength properties of clayey soil stabilized with lime. Journal of applied environmental and biological science. 5(7S): 538-548.

12. Luo H.L. Hsiao D.H. Lin D.F. and Lin C.K. (2018). Cohesive soil stabilized using sewage sludge ash/cement and nano-aluminum oxide. International Journal of transportation science and technology. 1(1): 83-100.

13. Lehman J. and Joseph S. (2019). Biochar for environmental management. Earth scan: London, UK.Li, G. 2014. Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO_2. Cement and concrete research. 34(6): 1043-1049.

14. Majeed Z. H. Taha M.R. and Jawad I.T. (2019). Stabilization of soft soil using nano-materials. Research Journal of Applied Science, Engineering and Technology. 8(4): 503-509.
15. Majeed Z.H. and Taha M.R. (2012). Effect of nanomaterial treatment on geotechnical properties of soft soil. J. Asi. Sci. Res. 2:11. PP: 587- 592.
16. Pham H. and Nguyen Q.P. (2014). Effect of silica nanoparticles on clay swelling and aqueous stability of nanoparticles dispersions. Journal of nanoparticle research. 4(6): 218-221.
17. Taha M.R. and Taha O.M.E. (2016). Influence of nano-material on the expansive and shrinkage soil behavior. J. Nanopart Res. 14(190): 1-13.
18. Taipodia J. Dutta J. and Dey A.K. (2018). Effect of nano particle of soil, Proceeding of Indian Geotechnical Conference, December 15-17, Kochi
19. Yang Z.M. and Fang Z.Q. (2017). The research progress of repairing the soil polluted by Cd and Pb with biochar. Environmental Protection Chemical industrial. 34: 525-531.
20. Zhang G. (2017). Soil Nano particles and Their Influence on Engineering Properties of Soils, Advances in measurement and modeling of soil behavior, ASCE.

Effects of some nanoparticle types on the soil physical and mechanical properties

Besharat Bidari[1*], Ali Ashraf Amirinejad
1- MSc Student, Soil Science Department, Razi University, besharatbidari@gmail.com
2- Assistance Professor, Soil Science Department, Razi University

Abstract
Soils that the slightest force leads to their structural deformation and decrease in the resistance and bond between particles are called problematic soils. These soils are not desirable from the engineering point of view and should be prepared for the desired activities by applying changes to them. One of the methods that has been used for soil improvement is using additives such as nanoparticles. Nanoparticles with the usual size of less than 100 nm, react very actively with soil particles. In other words, due to their high surface area and surface charge, even in limited use, they affect soil behavior and physical and mechanical properties. It seems nanoparticles, such as nano-clays, silicon and metal oxides can be effective in improving soil physical properties, i.e., mean weight diameter of aggregates, bulk density, tensile strength and penetration resistance leading to improvement of soil compaction and moisture retention. In fact, adding these materials is a suitable method to reduce soil physical and mechanical limitations.
Keywords: Compressibility, modifier materials, nanoparticles, tensile strength.

بررسی تغییرات مکانی ضرایب مدل ونگنوختن در کشت گندم

لادن حیدری[۱]، حسین بیات[۲]

۱- دانشجوی دکترای دانشگاه بوعلی سینا؛ پست الکترونیکی: heydarii1370@gmail.com

۲- دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا

چکیده

منحنی نگهداری آب خاک به دلیل تأثیر عوامل زمین شناسی و پدولوژیک بر تشکیل خاک، درجه بالایی از ناهمگنی مکانی را نشان می‌دهد. از طرفی رطوبت خاک مهمترین عامل محدود کننده عملکرد محصول است و تقریباً بر تمام فرایندهای رشد گیاه تأثیر می گذارد. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات مکانی ضرایب مدل ون گنوختن تحت تأثیر خصوصیات فیزیکی و ارتباط آنها با یکدیگر برای افزایش عملکرد گیاه است. این آزمایش در زمینی به مساحت ۲۰۰ هکتار، واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، ایران انجام شد. نمونه‌های خاک از ۱۰۰ نقطه با یک شبکه منظم (۱۵۰ متر × ۱۵۰ متر) در کل زمین جمع‌آوری شد. در این مطالعه، توزیع فضایی ضرایب مدل ونگنوختن به طور معنی‌داری با خواص فیزیکی خاک در منطقه مورد مطالعه در ارتباط بود و پارامترهای خاک نقش مهمی را در تعیین توزیع فضایی ضرایب مدل ونگنوختن داشتند. تغییرات مکانی مشابه برای خصوصیات خاک مشاهده شد. نقشه‌های پیش‌بینی شده از این مطالعه برای طراحی مدیریت بهتر آبیاری، بهبود عملکرد گندم و برنامه‌های حفاظت از خاک و آب با در نظر گرفتن الگوی تغییرپذیری مکانی خاک و همچنین تأثیر آن بر گیاه مفید است.

کلمات کلیدی: تغییرات مکانی، رطوبت، کریجینگ، نقشه.

مقدمه

رطوبت خاک عامل اصلی محدود کننده رشد گیاه است و نقش اساسی در حفظ پایداری اکوسیستم در مناطق خشک (ژانگ و همکاران ، ۲۰۱۷) دارد. علاوه بر مقدار آب، نیروهایی که آب را در خاک نگه می‌دارند و در رشد گیاه نقش مهمی دارند از اهمیت بالایی برای مطالعه رشد مطلوب گیاه برخوردار هستند (اوهیو، ۱۹۹۴). منحنی نگهداری آب خاک [۱](SWRC) یکی از اساسی ترین خصوصیات فیزیکی خاک است که رابطه بین رطوبت خاک و مکش ماتریک ماتریک خاک را نشان می‌دهد. این ویژگی نه تنها رطوبت خاک را در مکش‌های مختلف نشان می‌دهد، که در مدیریت آب خاک مهم است. همچنین بر ویژگی‌های دیگری مانند توزیع اندازه منافذ، تخلخل کل و میزان رطوبت موجود و شناخته شده برای کنترل فرآیندهای هیدرولوژیکی کلیدی (مانند رواناب، نفوذ، آبیاری و زهکشی) مؤثر است. SWRC شامل اطلاعات اساسی مورد نیاز برای توصیف رفتار مکانیکی خاک اشباع نشده است (وانگ و همکاران ، ۲۰۱۰) و برای ارزیابی توانایی خاک‌های اشباع نشده برای جذب آب با محتوای مختلف آب و مکش‌های ماتریک مورد استفاده قرار می‌گیرد (چن، ۲۰۲۰).

پایداری ساختار خاک یک شاخص دقیق برای ارزیابی کیفیت خاک در برنامه ریزی استفاده بهینه از خاک و یکی از مهمترین خصوصیات فیزیکی و فعال در خاک است. بنابراین، یکی از مهمترین چالش‌ها در همه اکوسیستم‌ها، حفظ و بهبود ساختار خاک است. در حقیقت، ساختار خاک با تأثیر بر توزیع منافذ خاک بر نگهداری آب خاک تأثیر می-

[1] .Soil water retention curve

گذارد. همچنین، در زمینه‌های کشاورزی، ویژگی‌های خاک نقش اساسی در افزایش کارایی مواد مغذی و آب دارند (گیبسون ، ۲۰۱۸). بنابراین، درک اطلاعات در مورد تغییرات مکانی پارامترهای SWRC و عوامل مرتبط، هنگام توصیف و تخمین جریان آب و املاح و سرنوشت آلاینده‌ها از طریق پیوستار خاک-گیاه-جو ضروری است (مبارک و همکاران، ۲۰۱۰). منحنی نگهداری آب خاک به دلیل تأثیر عوامل زمین شناسی و پدولوژیک بر تشکیل خاک، درجه بالایی از ناهمگنی مکانی را نشان می‌دهد. رطوبت خاک از طریق اصلاح تبخیر و تعرق سطح زمین و تغییر رطوبت بر سیستم آب و هوایی و چرخه هیدرولوژیکی تأثیر می‌گذارد (شی و همکاران ، ۲۰۱۶). بنابراین، تغییر مکانی پارامترهای فیزیکی خاک به دلیل تأثیر بر منحنی نگهداری آب خاک و رطوبت خاک می‌تواند باعث تغییر مکانی عملکرد در گیاهان شود. بنابراین، هدف اصلی این مطالعه بررسی چگونگی تأثیر عواملی مانند خصوصیات فیزیکی خاک بر پارامترهای مدل ون گنوختن سپس بررسی همبستگی مکانی پارمترهای مذکور بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این آزمایش در طول سال ۲۰۱۹ در مزرعه تحقیقاتی دستجرد دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا در مزرعه‌ای به مساحت ۲۰۰ هکتار انجام شد (35º02′10.46″ N تا 35º03′39.72″ N) و (48º30′0.90″ E تا 48º28′21.25″ E).

نمونه برداری و تجزیه و تحلیل خاک

نقاط نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS)[۲] تعیین شد. نمونه‌برداری از خاک در یک شبکه مربع در قطعه ۱۵۰ × ۱۵۰ متر مربع و در بعضی نقاط ۷۵ × ۷۵ متر مربع و ۳۷ × ۳۷ متر مربع انجام شد. آنالیزهای زمین آماری حداقل به ۵۰ تا ۱۰۰ نقطه اندازه‌گیری شبکه نیاز دارند (وبستر و الیور ، ۱۹۹۲). مواد آلی خاک (OM) با استفاده از روش اکسیداسیون اندازه‌گیری شد (والکی بلک، ۱۹۳۴). چگالی ظاهری (BD) با استفاده از روش نمونه‌برداری با سیلندر تعیین شد. توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتر اندازه‌گیری شد (گی و ار، ۲۰۰۲).

منحنی نگهداری آب خاک و برازش مدل ون گنوختن (۱۹۸۰) بر داده‌ها

به‌منظور تعیین منحنی نگهداری آب خاک، استوانه‌های استیل (به قطر ۵/۳ و ارتفاع ۴/۵ سانتی‌متر) شامل نمونه‌های دست‌نخورده خاک استفاده شد. مقدار رطوبت در مکش‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر توسط دستگاه جعبه شن[۳] (کلمنت[۴]، ۱۹۶۶) و مقدار رطوبت در مکش‌های، ۳۰۰، ۱۰۰۰، ، ۵۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر توسط دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد.

از مدل ون‌گنوختن (۱۹۸۰) برای برازش بر داده‌های منحنی نگهداری آب خاک استفاده شد. این مدل به‌صورت زیر بیان می‌شود.

$$S_e = \frac{1}{\left[1+(\alpha h)^n\right]^m} \qquad (۴-۲)$$

که در آن α برابر عکس مکش ماتریک (1/cm) در نقطه ورود هوا، h مکش ماتریک (cm)، n پارامتر شکل، وابسته به توزیع اندازه منافذ و m پارامتر مربوط به شکل منحنی می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از نرم افزار بهینه ساز

---

2. Global Positioning System
3. Sand box
4. Clement

Solver مدل ون‌گنوختن با فرض معلم (۱۹۷۶) (m=1-1/n) بر داده‌های منحنی نگهداری آب خاک برازش شد.

آنالیزهای زمین آماری

تجزیه و تحلیل زمین آماری واریوگرام و آنالیزهای کریجینگ با استفاده از GS + Version 9 و ARC GIS نسخه ۱۰/۳ (Gamma Design Software, 2008) ، که نرم افزار Geo Statistics Analysis برای داده های مرجع جغرافیایی است، انجام شد.

نتایج و بحث

برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

در این مطالعه، بافت خاک شامل کلاس‌های لوم رس (۶ نمونه)، لوم (۱۰ نمونه)، لوم رسی شنی (۵۷ نمونه)، لوم شنی (۲۲ نمونه) و شن لومی (۵ نمونه) بود. داده‌ها برای نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد آزمایش قرار گرفتند.

جدول ۱- ویژگی‌های متغیرهای مورد مطالعه (N=100).

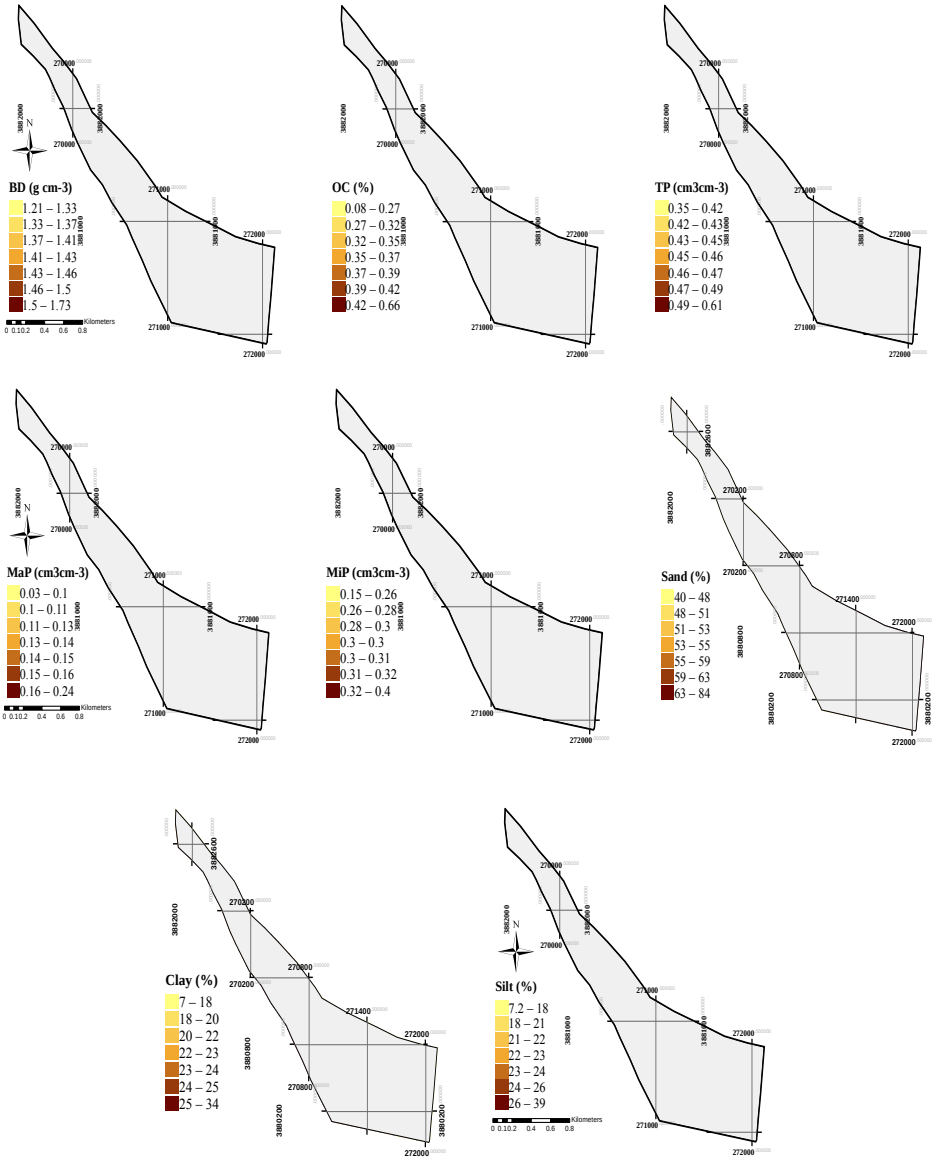
	میانگین	بیشینه	کمینه	کشیدیگی	چولگی	ضریب تغییرات
Clay	۲۱/۶۶	۳۳/۸۲	۶/۹۰	۱/۱۹	-۱/۰۲	۲۴/۲۰
Clay*	۴۹۶/۲۴	۱۱۴۳/۷۵	۴۷/۵۹	۰/۵۸	-۰/۱۴	۴۰/۰۰
Silt	۲۳/۰۱	۳۹/۲۳	۷/۲۳	۱/۲۱	۰/۲۸	۲۳/۹۰
Sand	۵۵/۳۴	۸۳/۸۴	۴۰/۴۶	۱/۳۹	۰/۹۴	۱۶/۷۰
Sand*	۱/۷۴	۱/۹۲	۱/۶۱	۰/۴۰	۰/۳۸	۴/۰۰
BD	۱/۴۲	۱/۷۳	۱/۲۰	۰/۰۴	۰/۵۰	۷/۸۰
OC	۰/۴۰	۰/۶۶	۰/۰۸	۰/۲۷	-۰/۵۲	۳۰/۵۰
TP	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۳۷	-۰/۱۶	-۰/۴۳	۸/۸۰
MaP	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۰۳	-۰/۱۶	-۰/۰۵	۳۱/۲۰
MiP	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۱۵	۱/۷۸	-۰/۹۶	۱۵/۴۰
MiP*	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۱۷	۳۷/۰۰
θ_r	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۰۰	-۰/۸۸	-۰/۵۶	۵۸/۶۰
θ_s	۰/۴۴	۰/۵۷	۰/۲۵	-۰/۳۶	-۰/۵۹	۱۲/۶۰
α	۰/۳۲	۵/۷۶	۰/۰۲	۲۶/۱۴	۵/۰۱	۲۷۳/۷۰
n	۱/۳۷	۱/۸۹	۱/۱۲	-۰/۱۰	۰/۷۰	۱۳/۰۰
n^*	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۰۵	-۰/۵۰	۰/۴۵	۴۱/۰۰

* داده‌ها توسط کاکس باکس (λ=۲/۷۶) MiP و (λ =۲/۱۹) Clay و لگاریتم (شن و n) تبدیل شدند. BD : چگالی ظاهری ($g\ cm^{-3}$)، OC: کربن آلی (٪)، TP : تخلخل کل (cm^3cm^{-3})، MiP: منافذ ریز (cm^3cm^{-3})، MaP: منافذ درشت (cm^3cm^{-3})، θ_{300kPa}: رطوبت در مکش ۳۰۰ کیلو پاسکال (cm^3cm^{-3})، θ_r: رطوبت باقی مانده (cm^3cm^{-3})، θ_s: رطوبت اشباع (cm^3cm^{-3})، α: معکوس مکش ورود هوا (cm^{-1}) و n: پارامتر مربوط به شکل منحنی و مربوط به توزیع اندازه منافذ.

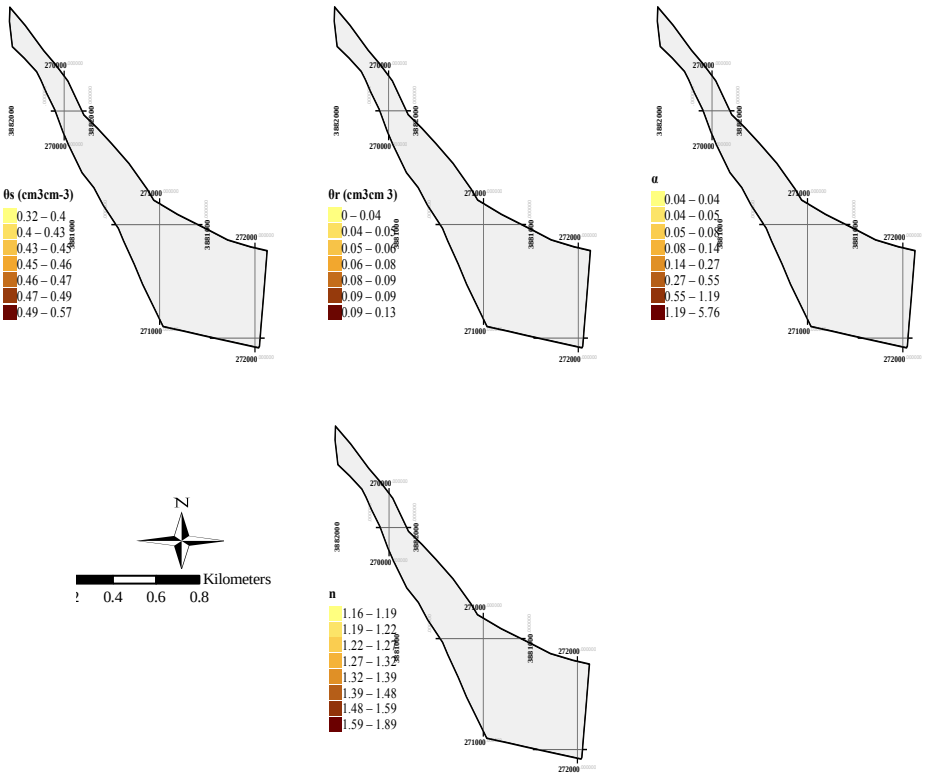
توزیع مکانی نقشه‌ها

از کریجینگ معمولی می‌توان به طور موثر برای تحلیل تنوع مکانی پارامترها استفاده کرد. کریجینگ، که یک روش درون یابی است، بهترین تخمین خطی را ارائه می‌دهد و به طور جهانی در علوم محیطی برای تجزیه و تحلیل تنوع مکانی استفاده می‌شود (گرک و همکاران ، ۲۰۰۱). سمی واریوگرام‌ها با استفاده از مدل‌های کروی و گوسی برای پارامترهای معادله VG و خصوصیات خاک رسم شدند. این مزرعه می‌تواند تقریباً به دو منطقه اصلی تقسیم شود:

خاک‌های شمال شرقی و جنوب شرقی به طور معمول کم عمق و شنی است. مقدار شن و سنگریزه بالا، ظرفیت نفوذ زیاد و مقدار رس، سیلت و ماد الی کمتری را می‌توان در بالاترین و پایین‌ترین قسمت دامنه مشاهده کرد (در قسمت شرقی)، که به دلیل حساسیت خاک به فرسایش است. خاک‌های ریز بافت (رس و سیلت) نسبت به خاک های درشت بافت به تغییرات ناشی از انجماد-ذوب، شخم و فرسایش حساس‌تر هستند. رنگ روشن در بخشی از منطقه، فرسایش و انتقال ذرات سیلت و رس و رسوبات شن را تأیید می‌کند. در حالی که قسمت‌های میانی با مقدار کم‌تر شن ، BD و α و مقادیر بالاتر OC و TP مشخص می‌شود (شکل ۱ و ۲).



شکل ۱- توزیع مکانی خصوصیات خاک در مزرعه.



شکل ۲- توزیع مکانی ضرایب مدل ونگنوختن در مزرعه.

رطوبت اشباع (θ_s) در جنوب شرقی و شمال شرقی به مقدار زیادی با شن در ارتباط است که می‌تواند به دلیل همبستگی مثبت و منفی رطوبت به ترتیب با مقدار رس و شن باشد (جدول۲). نقشه θ_s با رس، شن و سیلت همبستگی بالایی داشت (جدول ۲). از نظر فیزیکی قابل درک است که θ_s به تمام عواملی که بر توزیع اندازه منافذ تأثیر می‌گذارند بستگی دارد (مانند BD ، شن، رس، سیلت، ماده آلی، منافذ درشت و ریز خاک). رطوبت خاک با افزایش TP افزایش یافته و در نتیجه بین θ و TP همبستگی مثبتی ایجاد می‌کند (جدول ۲). نتایج حاصل از نقشه برای تشخیص اهمیت نسبی TP و بافت خاک در کنترل تغییرات مکانی رطوبت خاک در منطقه مورد مطالعه مهم است.

جدول ۲- همبستگی بین نقشه‌های خصوصیات خاک با پارمترهای مدل ونگنوختن.

BD	OC	TP	MaP	MiP	Clay	Silt	Sand	
-۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۳۶	-۰/۲۴	۰/۴۶	۰/۴۹	۰/۱۸	-۰/۳۷	θ_r
-۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۴۲	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۷۴	-۰/۸۳	θ_s
۰/۴۰	-۰/۴۶	-۰/۳۹	۰/۲۷	-۰/۵۵	-۰/۶۳	-۰/۳۱	۰/۵۱	α
-۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۱۱	-۰/۴۱	۰/۲۵	۰/۲۷	-۰/۰۳	-۰/۱۲	n

نتیجه گیری

در این مطالعه، اهمیت نسبی خصوصیات خاک در کنترل تغییرات فضایی رطوبت خاک با استفاده از روش‌های کریجینگ ارزیابی شد. توزیع فضایی پارامترهای مدل ونگنوختن به طور معنی‌داری با خواص خاک (به عنوان مثال، شن، سیلت، رس و BD) در منطقه مورد مطالعه در ارتباط بود، و نشان داد که خصوصیات فیزیکی خاک نقش مهمی را در تعیین توزیع فضایی ضرایب مدل ونگنوختن داشتند.

منابع

Chen, Y. (2020). Soil–water retention curves derived as a function of soil dry density. *GeoHazards*, *1*(1), 3-19.

Fatichi, S., Leuzinger, S., & Körner, C. (2014). Moving beyond photosynthesis: from carbon source to sink-driven vegetation modeling. *New Phytologist*, *201*(4), 1086-1095.

Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of soil analysis. Part*, *4*(598), 255-293.

Gerke, H.H., Hangen, E., Schaaf, W. and Hüttl, R. (2001). Spatial variability of potential water repellency in a lignitic mine soil afforested with Pinus nigra. *Geoderma*, *102*(3-4), 255-274

Mubarak, I., Angulo-Jaramillo, R., Mailhol, J.C., Ruelle, P., Khaledian, M. and Vauclin, M.J.A.w.m., (2010). Spatial analysis of soil surface hydraulic properties: Is infiltration method dependent? , *Agricultural water management*, *97*(10), 1517-1526.

Ohu, J., Ekwue, E. and Folorunso, O. (1994). The effect of addition of organic matter on the compaction of a Vertisol from northern Nigeria. *Soil technology*, 7(2): 155-162.

Shi, P., Yang, T., Zhang, K., Tang, Q., Yu, Z. and Zhou, X. (2016). Large-scale climate patterns and precipitation in an arid endorheic region: *linkage and underlying mechanism*. 11(4): 044006.

Walkley, A. and Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1): 29-38.

Wang, Z., Shu, Q., Liu, Z. and Si, B.J. (2010). Scaling analysis of soil water retention parameters and physical properties of a Chinese agricultural soil. *Soil Research* 47.8 (2009): 821-827.

Webster, R. and Oliver, M.A (1992). Sample adequately to estimate variograms of soil properties. *Journal of soil science*, 43(1), 177-192.

Investigation of spatial variations of van Genuchten model coefficients in wheat cultivation

Ladan. Heydari, Hossein. Bayat

PhD student of Bu Ali Sina University; E-mail: heydarii1370@gmail.com

Associate professor, Bu Ali Sina University

Soil water retention curve shows a high degree of spatial heterogeneity due to the effect of geology and pedological factors on soil formation. On the other hand, soil moisture is the most important factor limiting crop yield and affects almost all plant growth processes. The purpose of this study was to investigate spatial variations the van Genuchten parameters as influenced by physical properties and their relationship in increasing plant yield.

The experiment was conducted in a field (200 ha) in the Research Farm of the College of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. Different parameters were determined at 100 points with a regular grid (150 m×150 m) in the whole field area.

In this study, the spatial distribution of van Genuchten model coefficients was related to soil properties in the study area and soil parameters played an important role in determining the spatial distribution of van Genuchten model coefficients. Similar spatial patterns of soil properties were observed. The maps predicted from this study are useful for designing better irrigation management, improving wheat yield, and soil and water conservation programs by considering the pattern of soil spatial variability as well as its impact on the plant.

Keywords: kiriging, map, moisture, photosynthetic, spatial variability.

بررسی اثر مدیریت کاشت بر ویژگی های خاک در یک منطقه خشک

ابراهیم نگهداری[۱]، محمد جواد قانعی بافقی[۲*]، مصطفی شیرمردی[۳]
[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی طبیعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان
[۲] استادیار گروه مهندسی طبیعت دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان
[۳] استادیار گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان

چکیده

خاک به عنوان جزء مهمی از اکوسیستم نقش مهمی در تولید و عملکرد محصولات کشاورزی داشته و حفظ خاک یکی از اهداف اساس مدیریت پایدار در بخش کشاورزی می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرات سه نوع مدیریت (شامل عدم کشت محصول، کاشت انار و پسته) بر ویژگی‌های یک خاک که تحت آبیاری با آب یکسانی قرار دارد انجام شد. در سه زمان از سه عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر نمونه خاک تهیه شد و پارامترهای درصد اشباع (SP)، هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC) و pH مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد بین نوع کشت و عمق نمونه برداری و همچنین زمان نمونه برداری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی دار دارند.

کلمات کلیدی: انار، پسته، خصوصیات خاک، درصد اشباع.

مقدمه

مساله شور شدن خاک‌ها به لحاظ فعالیت‌های کشاورزی مشکل بزرگی است که بشر در طول تاریخ با آن مواجه بوده است. عملیات کشاورزی می‌تواند به طور مستقیم باعث شوری خاک شود یا این که شوری خاک از ابتدا در اثر عوامل طبیعی به طور ضعیف در جریان بوده است ولی با دخالت انسان و عملیات نادرست کشاورزی شدت یافته و به صورت شوری خاک ظاهر شده است (جعفری، ۱۳۷۹). علاوه بر این شور شدن خاک‌ها موجب اختلال در فعالیت‌های زیست شناختی (بیولوژیکی) ریز جانداران خاک، نامطلوب شدن کیفیت آب و توقف فرایندهای سوخت و ساز بین ترکیب‌های خاک و در نتیجه عدم تامین عناصر غذایی لازم برای موجودات زنده می‌شود. از این رو همه این عوامل سبب کاهش پوشش گیاهی می‌شوند که کاهش پوشش گیاهی، بستر مناسبی را برای افزایش فرسایش آبی و بادی ایجاد کرده، به تدریج حاصلخیزی و قابلیت زندگی در محیط از بین می‌رود و در نتیجه فرایند بیابان زائی گسترش می‌یابد (جعفری، ۱۳۷۹). شوری خاک یک پدیده جدید نیست ، بشریت قرنهاست که با مشکل شوری زندگی می کنند. مثال خوب آن بین‌النهرین است که در آن تمدن های اولیه ابتدا شکوفا شدند و سپس به دلیل شور شدن خاک ناشی از فعالیت انسان شکست خوردند (Shahid *et al*. 2018). آنچه مسلم است براساس گزارش Feng et al. (2002) ، خاک‌های متاثر از شوری بیش از ۷ درصد سطح زمین را در بر می‌گیرند و بیشتر این خاک‌های شور در مناطق خشک و نیمه خشک جهان گسترش یافته‌اند. از سویی در این مناطق رشد روز افزون جمعیت، همگام با گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی و همچنین خشک-سالی‌های پی در پی در سال‌های اخیر موجب شده‌اند که تقاضا برای آب افزایش یابد و منابع آب با کیفیت مطلوب به اوج بهره-برداری خود برسند و بالتبع فشار بیش از اندازه به منابع آب به ویژه آب‌های زیر زمینی وارد آید. به طوری که در حال حاضر ۲۶ کشور جهان با کمبود شدید آب روبرو هستند که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۵۲ کشور برسد (کاووسی، ۱۳۸۳).) این در حالی است که پیش‌بینی مجامع جهانی نیز حاکی از آن است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی مسئله منابع آب، اصلی‌ترین موضوع مورد بحث جهان خواهد بود چرا که تا آن زمان جمعیت جهان به مرز ۹/۴ میلیارد نفر خواهد رسید و در نتیجه تأمین آب و مواد غذایی و حفظ محیط زیست مهمترین دغدغه مدیران و رهبران کشورها خواهد بود و این وضعیت به ویژه برای کشورهای خاورمیانه بسیار نگران کننده‌تر است. زیرا کشورهای خاورمیانه تنها به یک درصد از آب‌های شیرین دسترسی دارند. از

* ایمیل نویسنده مسئول: mjghaneib@ardaka.ac.ir

طرفی اقتصاد کشورهای این منطقه به دلیل فقدان زیر ساخت‌های صنعتی به شدت وابسته به دو فاکتور اساسی یعنی کشاورزی و نفت است، آن هم نوعی از کشاورزی که حدود ۸۵ درصد از آب این مناطق را به خود اختصاص داده است (خسروشاهی، ۱۳۸۶).

مطالعه کاربری اراضی برای بررسی عوامل موثر بر ویژگی های کیفی خاک مورد توجه برنامه ریزان است. ویژگی های شیمیایی خاک تحت تاثیر کاربری مناسب اصلاح می گردند. نتایج تحقیقات جعفری و همکاران (۳۹۲) نشان داد کربن آلی و فسفر قابل جذب و واکنش خاک در کاربری‌های مختلف یونجه‌زار، درخت سیب، مرغزار و اراضی رهاشده بایکدیگر متفاوت است. و بیشترین واکنش خاک و کمترین کربن آلی مربوط به خاک رها شده و کمتری واکنش خاک و بیشترین کربن آلی مربوط به مرغزار بود. زاهدی‌فر (۱۳۹۶) نیز در مقایسه ویژگی‌های دو خاک تحت کشت و خاک رها شده نشان داد که جرم مخصوص ظاهری، درصد رطوبت حجمی، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد سیلت و رس و آهک در خاک کشت شده به طور معنی داری بیشتر از خاک کشت نشده بود. در حالی که واکنش خاک در خاک های کشت نشده بیشتر از کشت شده بود و این ویژگی‌ها در عمق‌های مختلف خاک تفاوت منعی داری نداشت. در کشاورزی در مناطق خشک استفاده از آب‌شور و لب‌شور غیر قابل انکار است. فیضی (۱۳۹۲) نشان داد استفاده از آب شور خطر تجمع نمک در پروفیل خاک را افزار می‌دهد و استفاده از آب شیرین در ابتدای فصل رشد کاهش شوری خاک را در پی دارد. صفادوست (۱۳۹۲) به بررسی اثر همزمان نوع کشت و بافت خاک بر پایداری ساختمان خاک پرداخت. نتایج نشان داد که نوع کشت و مدیریت زراعی به واسطه تأثیر بر مقدار و نوع ماده آلی بر پایداری ساختمان خاک اثرگذار است و در بین ویژگی‌های اثرگذار بر ساختمان خاک بیشترین نقش مربوط به ماده آلی و پس از آن رس و کربنات کلسیم بود.

تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر دو نوع کاشت پسته و انار بر ویزگی‌های خاک انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه اراضی دشت بختگان در منطقه دهستان بختگان حد فاصل روستاهای حسن‌آباد تا روستای کوشکک در شمال دریاچه بختگان در غرب شهرستان نی ریز انتخاب شد که این منطقه به علت همجواری با دریاچه و خشک شدن آن مستعد بیابانی شدن می باشد. دشت بختگان فاقد رودخانه و آب‌های روان و چشمه می‌باشد و کلیه اراضی این منطقه از آب چاه (بیش از ۳۵۰ حلقه چاه مجاز وتعدادی چاه غیر مجاز) مشروب می‌گردد که به علت خشک‌سالی‌های چند ساله اخیر و پی آمد آن خشک شدن دریاچه آب اکثر چاه‌های مجاور به علت برداشت بیش از حد و الگوهای کشت غلط منطقه دچار شوری و کم آبی شدید شده‌اند. تغییرات شوری در طی ۱۰ سال گذشته نشان دهنده افزایش شدید در میزان شوری اکثر منبع آب موجود در استان فارس می‌باشد و تداوم این روند باعث کاهش شدید کیفیت شده و در بسیاری از مناطق کاهش عملکرد و یا تغییر الگوی کشت را به دنبال دارد.

نمونه‌برداری و تعیین خصوصیات خاک

نمونه‌های خاک از سه نوع مدیریت مختلف شامل کشت انار و کشت پسته و زمین آیش (عدم کشت محصول) جمع آوری شد. نمونه برداری در سه مرحله زمانی مشتمل بر اواخر پاییز، اواخر زمستان و اواخر بهار بود. در هر نقطه در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر بصورت مجزا نمونه گرفته شد و در هر مدیریت کاشت بطور تصادفی در سه نقطه به عنوان سه تکرار نمونه‌گیری صورت گرفت. لازم به ذکر است که نمونه برداری به صورت مرکب انجام شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک منتقل شد و پارامترهای pH، EC و درصد اشباع (SP[1]) اندازه گیری شد. EC و pH در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد و برای محاسبه SP مقداری گل اشباع در ظرف چینی قرار گرفت و وزن گردید و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و مجدداً وزن شد. از رابطه ۱ برای محاسبه این شاخص استفاده گردید.

[1]Saturation percentage

$$SP = \frac{\text{وزن خاک خشک} - \text{وزن گل اشباع}}{\text{وزن خاک خشک}} \times 100 \quad (1)$$

آنالیز واریانس داده‌ها در نرم‌افزار SAS 9.2 .انجام شد و مقایسات میانگین به روش دانکن در سطح پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

در جدول شماره ۱ نتایج حاصل از تجزیه واریانس شاخص‌های اندازه‌گیری شده ارائه شده است. با توجه به این جدول، اثر کاربری و زمان بر شاخص SP در سطح یک درصد معنی‌دار بود. برهمکنش کاربری، عمق و زمان بر پارامترهای EC و pH به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر کاربری، عمق و زمان بر پارامترهای اندازه‌گیری شده به روش دانکن

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (Ms)		
		SP	EC	pH
کاربری	۲	۳۳۰/۳۷**	۱۶/۰۷**	۰/۴۴۳**
عمق	۲	۴۴/۳۳ns	۰/۸۴۲ns	۰/۰۳۳ns
زمان	۲	۵۰۷/۳۹**	۲۲/۴۶**	/۶۶**
کاربری xعمق	۴	۲۴/۱۴ ns	۰/۹۲ *	۰/۰۳ ns
کاربری‌xزمان	۴	۳۶/۷۶ ns	۱۰/۸۰**	۰/۱۴ **
عمق xزمان	۴	۱۵/۹۱ ns	۱/۵۱ **	۰/۱۲**
عمق‌xکاربری‌xزمان	۸	۴/۴۸ ns	۱/۵۵**	۰/۰۴ *
خطا	۲۷	۴۳/۵۹	۰/۳۲	۰/۰۱۴
کل (مجموع)	۵۳			

ns:عدم تفاوت معنی دار *تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد **تفاوت معنی دار در سطح یک درصد

درصد اشباع (SP)

مقایسات میانگین به روش دانکن نشان داد خاک در کاربری پسته نسبت به شاهد و انار دارای درصد اشباع بیشتری است و خاک مربوط به انار و شاهد از نظر میزان درصد اشباع تفاوت معنی‌داری ندارند. همچنین مقایسات میانگین به روش دانکن نشان داد که بیشترین درصد اشباع مربوط به نمونه گرفته شده در اواخر بهار است و نمونه‌های زمستان و پاییز تفاوت معنی داری در این شاخص نداشتند (شکل ۱). وجود مواد آلی در خاک یکی از عوامل افزایش توانایی نگهداری آب است. استفاده مرتب از کودهای آلی برای تقویت پسته احتمالا دلیل افزایش SP است. با توجه به اینکه کود معمولا در اواخر زمستان استفاده می‌شود اثر خود را در نمونه‌های اواخر بهار نشان داده است. نتایج صفادوست (۱۳۹۲) نیز نشان داد نوع کشت و مدیریت گیاهی به دلیل نوع و مقدار ماده آلی که به خاک اضافه میکند بر ویژگی‌های خاک اثرگذار است.

شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات اصلی کاربری و زمان نمونه برداری بر SP

هدایت الکتریکی(EC) و واکنش خاک (pH)

مقایسات میانگین به روش دانکن نشان داد بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به کاربری پسته در عمق ۳۰-۰ و در اواخر پاییز است که بطور معنی داری با ساید نمونه‌ها اختلاف دارد و کمترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به کاربری شاهد در عمق ۳۰-۰ در اواخر بهار است که آن هم بطور معنی داری با سایر نمونه‌ها اختلاف معنی‌دار دارد (جدول ۲). در این میان بین کاربری پسته و شاهد در بیشترین مقدار EC که در نمونه اواخر پاییز در عمق اول مشاهده شد اختلاف معنی‌داری نبود و نمونه‌های شاهد در اواخر پاییز و اواخر زمستان هم مقادیر بالای ۶ دسی زیمنس متر را ثبت کرد ولی در سایر نمونه‌ها مقادیر بالای ۶ ثبت نشد. در منطقه شاهد هیچگونه آبیاری صورت نگرفته بود و رها شدن زمین بدون آبیاری معمولا منجر به تجمع نمک در سطح زمین می-شود (مختاران و همکاران، ۱۳۹۸). علت مشابهت هدایت الکتریکی در کاربری پسته احتمالا به این دلیل است که خاک در کاربری پسته به دلیل دور آبیاری طولانی همان شرایط حاکم بر اراضی شاهد را تجربه می‌کند. در کاربری در اواخر پاییز معمولا بیشترین خشکی را زمین تحمل کرده است و بالا بودن هدایت الکتریکی دور از انتظار نیست. در بین سه زمان نمونه گیری در تیمار شاهد در عمق اول ودوم تفاوت معنی داری نبود ولی در عمق ۹۰-۶۰ سانتی‌متر تفاوت معنی داری با دو عمق بالا مشاهده شد. به عبارت دیگر خاک در سطح زمین دارای هدایت الکتریکی بیشتری نسبت به خاک اعماق بود.

جدول ۲- مقایسه میانگین برهمکنش کاربری، عمق و زمان بر EC خاک به روش دانکن

کاربری	عمق ۳۰-۰			عمق ۶۰-۳۰			عمق ۹۰-۶۰		
	اواخر پاییز	اواخر زمستان	اواخر بهار	اواخر پاییز	اواخر زمستان	اواخر بهار	اواخر پاییز	اواخر زمستان	اواخر بهار
پسته	۶/۳a	۲/۸۷efgh	۲/۸۵efgh	۵/۱۳de	۲/۸۹efgh	۴/۳۱bcde	۴/۳bcde	۳/۵۶def	۴/۳۴bcde
انار	۴/۳۳bcde	۲/۵۳efgh	۱/۸۱fhg	۲/۳۸efgh	۲/۴۷efgh	۲/۰۵fgh	۳/۶۸cdef	۱/۷۴fgh	۱/۲۱gh
شاهد	۶/۰۲ab	۵/۷۶abc	۰/۷۳h	۵/۹۸ab	۶/۱۸ab	۳/۱۱efg	۶/۳۶ab	۶/۵۳a	۳/۲۹defg

در جدول ۳ مقایسات میانگین برهمکنش کاربری، عمق و زمان برای شاخص pH ارائه شده است. بیشترین مقدار pH مربوط به تیمار شاهد در عمق ۳۰-۰ و زمان اواخر بهار است. و کمترین آن هم مربوط به شاهد در همان عمق و در اویل پاییز اتفاق افتاده است. میزان pH در این عمق در اواخر بهار برای کاربری پسته و انار هم با مقدار شاهد تفاوت معنی‌دار ندارد. در حالی که در دو زمان دیگر بین مقدار pH در کاربری شاهد با دو کاربری دیگر تفاوت معنی داری مشاهده می‌شود. این وضعیت در عمق‌های دوم و سوم دیده نمی‌شود و احتمالا تجمع نمک در اعماق بیشتر خاک این وضعیت را سبب شده است.

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش کاربری، عمق و زمان بر pH خاک به روش دانکن

کاربری	عمق ۳۰-۰			عمق ۶۰-۳۰			عمق ۹۰-۶۰		
	اواخر پاییز	اواخر زمستان	اواخر بهار	اواخر پاییز	اواخر زمستان	اواخر بهار	اواخر پاییز	اواخر زمستان	اواخر بهار
پسته	۷/۵۶fgh	۷/۴۳hi	۷/۸۷abc	۷/۷۶abcdef	۷/۳۳ij	۷/۵۹efgh	۷/۹۳ab	۷/۱۵jk	۷/۵۷fgh
انار	۷/۷۱bcdef	۷/۵۹efgh	۷/۹۳ab	۷/۶۵efgh	۷/۷۷abcdef	۷/۹۲abc	۷/۹۷a	۷/۷cdefg	۷/۸۳abcd
شاهد	۷/۲۱jk	۷/۱۱k	۷/۹۴a	۷/۰۳K	۷/۲۲jk	۷/۸۱abcde	۷/۶defgh	۷/۵۱hig	۷/۶۴defg

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اثر سه نوع مدیریت کشت بر سه ویژگی درصد اشباع، هدایت الکتریکی و واکنش خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد نوع کشت و مدیریت متفاوت می‌تواند بر ویژگی‌های خاک اثرگذار باشد. این نتیجه با نتایج زاهدی‌فر (۱۳۹۶) و صفادوست (۱۳۹۳) مطابقت دارد. مدیریت مختلف کشت و فاصله بین دور آبیاری در پسته‌کاری خود در شور شدن خاک سطحی مزید بر علت است خصوصا استفاده از آب‌هایی با کیفیت پایین تر در پسته‌زارها می‌تواند سبب شور شدن خاک شود (نشاط و زین-الدینی، ۱۳۹۲). در مدیریت کاشت هرچه مواد آلی اضافه شده به خاک افزایش یابد و دور آبیاری نزدیک‌تر باشد شور شدن خاک کاسته می‌شود.

فهرست منابع

جعفری، م. (۱۳۷۹). خاک‌های شور در منابع طبیعی (شناخت و اصلاح آنها) انتشارات دانشگاه تهران، ۱۹۳ص.

جعفری، ح. امیر دلاور، م. گلچین، ا. بهشتی آل آقا، ع. (۱۳۹۲). ،بررسی تاثیر مدیریت خاک و نوع کاربری اراضی بر برخی ویژگی های شیمیایی خاک،اولین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار،تهران.

زاهدی فر، م. (۱۳۹۶). اثر کشت طولانی مدت بر تغییرات عمقی برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه گربایگان فسا،پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان،

فیضی ,م. .(۱۳۹۲). اثر کیفیت و مدیریت آب بر ویژگی های شیمیایی خاک. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب. ۲۷(۲). ۲۵۲-۲۳۹.

مختاران، ع. آبسالان، ش. ورجاوند، پ. (۱۳۹۸). بررسی میدانی تاثیر سامانه آبیاری بارانی بر روی شوری خاک در کشت های ذرت و گندم مناطق مرکزی خوزستان،اولین کنگره بین المللی و چهارمین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران،ارومیه.https://civilica.com/doc/102527 .

نشاط، ع.، و زین الدینی، ع. (۱۳۹۲). بررسی اثر پیشروی آب شور بر کیفیت آب آبیاری و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک تحت کشت پسته منطقه سیرجان. علوم و تکنولوژی محیط زیست, ۱۵(۲ (مسلسل ۵۷)), ۱۳-۲۲.

Feng, Z., Wang, X. and Z. Feng, (2002). Soil N and salinity leaching after the autumn Irrigation and its impact on groundwater in Hetao Irrigation District. China. *Agricultural Water Management*, 71: 131-143.

Shahid, S. A., Zaman, M., & Heng, L. (2018). Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem. In *Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques* (pp. 43-53). Springer, Cham.

The effect of planting management on soil characteristics in an arid area

Ebrahim Negahdari[1], Mohammad Javad Ghanei-Bafghi[2], Mostafa Sirmardi[3]

1- M.Sc. Graduate, Dept. of Nature Engineering, Ardakan University,

1- Assistant Prof. of Department of Nature Engineering, Ardakan University

2- Assistant Prof. of Department of Horticultural Sciences, Ardakan University

Abstract

Soil as an important component of the ecosystem has an important role in the production and performance of agricultural products and soil conservation is one of the goals of sustainable management in agriculture. The aim of this study was to investigate the effects of three types of management (including no crop, pomegranate and pistachio) on the characteristics of a soil that is irrigated with the same water. Soil samples were taken at three times from three depths of 0-30, 30-60 and 90-60 cm and the parameters of saturation percentage (SP), electrical conductivity of saturated extract (EC) and pH were evaluated. The results showed that there was a significant difference between the type of cultivation and sampling depth as well as the sampling time of soil characteristics at the level of 5%.

Keywords: pomegranate, pistachio, soil charactrisitics, saturated percentage.

بررسی تاثیر استفاده بلند مدت پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی خصوصیات شیمیایی لایه های خاک

حمید ملاحسینی۱، مجتبی فتحی۲

۲و۱-اعضاء هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران_

molahoseini_h@yahoo.com

چکیده

تحقیق حاضرباهدف بررسی تاثیر بلند مدت پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی پارامترهای شیمیایی در لایه های خاک در سال ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. ابتدا ده مزرعه در منطقه با کاربرد ۲۶ سال پساب و منطقه تحت آبیاری با آب چاه انتخاب و از هر مزرعه یک نمونه از عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری به آزمایشگاه ارسال شدند. مقایسه نتایج منطقه تحت آبیاری با آب چاه (شاهد) با منطقه دارای کاربرد طولانی مدت فاضلاب در دو عمق نشان داد که کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب باعث افزایش معنی دار عناصر فسفر، مس و منگنز در هر دو عمق و افزایش معنی دار پتاسیم، روی، آهن، سرب و اسیدیته در عمق ۲۰-۰ سانتی متری خاک نسبت به شاهد گردید. البته برخی پارامترها نظیر کربن آلی ، نیتروژن و کادمیوم در هر دو عمق تغییر معنی داری نسبت به شاهد نداشتند. لذا نتیجه می شود که تاثیر کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب بطور غالب در تجمع عناصر تغذیه ای گیاهان و عنصر سرب در لایه سطحی خاک موثر بوده و باید در مصرف پساب فاضلاب از روش آبیاری متناوب پساب فاضلاب و آب چاه به منظور کنترل مقدار تجمع عناصر و کاهش خطر آلایندگی پساب استفاده شود.

واژگان کلیدی: بلند مدت، پساب، عناصر غذایی، آلایندگی

مقدمه

در حال حاضر حدود ۹۳ درصد از کل آب مصرفی در ایران صرف آبیاری حدود ۸/۵ میلیون هکتار از اراضی زراعی شده و سهم بخش شرب و صنعت به ترتیب ۵/۸ و ۱/۲ درصد می‌باشد. جوامع شهری و روستایی کانون اصلی مصارف آب برای مقاصد شرب، زراعی، صنعت و تولید فاضلاب انسانی می‌باشند (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت رییس‌جمهور، ۱۳۸۹). در چنین شرایطی که کشور به شدت از لحاظ کمبود منابع آب‌شیرین رنج می‌برد توجه به منابع غیرمتعارف آب اجتناب‌ناپذیر است (رادنیا و همکاران، ۱۳۹۶؛ پروینی، ۱۳۷۴). از این‌رو استفاده از فاضلاب تصفیه شده به عنوان یک منبع آب پایدار بیش از پیش مورد توجه محققان و مدیران مربوطه قرار گرفته است (مهرآوران و همکاران، ۱۳۹۴).

باتوجه به اهمیت این مسئله ضرورت بررسی دقیق این جنبه ازخصوصیات خاک از نقطه نظر آثار مثبت مانند برآورده کردن نیاز غذایی گیاه توسط مواد معدنی داخل پساب‌ها و آثار منفی وخطرناک از جمله بالا بردن غلظت فلزات سنگین(عناصر آلاینده) و ورود آن‌ها به بافت گیاهان و در نتیجه به چرخه‌ی غذایی انسان ودام اجتناب ناپذیر است.

نتیجه بررسی تاثیر دراز مدت پساب فاضلاب بر روی خاک نشان داد که اسیدیته، غلظت عناصر سدیم، بر و فسفر در عمق سطحی خاک پس از کاربرد پساب فاضلاب افزایش یافت(قیان و مچام[۱]، ۲۰۰۵) .در گزارش دیگری کاربرد دراز مدت فاضلاب باعث افزایش مقدار نمک ها، مواد آلی و عناصر غذائی شد ولی تغییری در مقدار اسیدیته خاک مشاهده نشد(روسان[۲] و همکاران ، ۲۰۰۷). استفاده از فاضلاب تصفیه شده (پساب) باعث کاهش اسیدیته، افزایش شوری، افزایش عناصری چون سدیم، کلسیم، منیزیم وکلر در بخش محلول خاک و افزایش نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و افزایش عناصر

[۱]- Qian, Y. L and B. Mecham
[۲]- Rusan

سنگین مانند نیکل، کادمیم و کروم شد(پروان، ۱۳۸۳). نتایج بررسی اثرات پساب بر برخی خواص شیمیایی خاک زیر کشت چند محصول زراعی نشان داد که پساب باعث تغییر اسیدیته، افزایش شوری و عناصر غذائی مورد نیاز گیاهان و همچنین افزایش برخی عناصر فلزی سنگین شد(باقری، ۱۳۷۹). کاربرد دو نوع فاضلاب شامل پساب تصفیه شده و فاضلاب خام تصفیه خانه شمال اصفهان بررسی و نتیجه شد که این پساب ها از نظر آبیاری بدون پیامد، از نظرمیزان بیکربنات فاضلاب خام دارای درجه پیامد بالا و پساب تصفیه شده دارای درجه پیامد بد تا متوسط واز نظر شوری پیامد کاربرد این دو نوع فاضلاب ضعیف تا متوسط بود(ایگدرنژاد و مطیع‌زاده،۱۳۸۷). کاربردپساب فاضلاب تصفیه شده و آب چاه برای مدت حدود ۷ سال درمزرعه‌ای در شمال اصفهان نشان داد که مقدار روی ،منگنز، مس و آهن در خاکهای آبیاری شده با پساب فاضلاب بیش از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه بود. اما اختلاف آنها معنی دار نبود. همچنین غلظت سرب و کادمیوم در خاکهای آبیاری شده با هر دو نوع آب نیز تقریبا یکسان بود(فیضی، ۲۰۰۱). آبیاری طولانی مدت اراضی کشاورزی در جنوب تهران با فاضلاب شهری باعث افزایش غلظت قابل استفاده کربن آلی، فسفر، پتاس، روی، مس،کادمیوم، سرب و نیکل در این اراضی نسبت به اراضی تحت آبیاری با آب چاه یا قنات شد(ملاحسینی، ۱۳۸۱). دراراضی کشاورزی تحت آبیاری با فاضلاب در جنوب تهران می توان بدون کاهش معنی داری در عملکرد گندم و ذرت، مصرف نیتروژن، فسفر و پتاس را به میزان ۷۵ درصد توصیه براساس آزمون خاک مصرف نمود(ملاحسینی، ۱۳۸۳ و۱۳۸۵).

بررسی ۵ تیمار آبیاری شامل آب چاه، ۲۵٪ پساب+۷۵٪چاه، ۵۰٪ چاه+۵۰٪ پساب، ۲۵٪ چاه+۷۵٪ پساب و پساب خالص نشان داد که افزایش نسبت پساب در تیمار آبیاری، باعث افزایش میزان مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش کلر می‌شود. همچنین میزان شوری و نسبت جذب سدیم با افزایش پساب کاهش پیدا کرد، که علت اینامر، کاهش میزان سدیم و افزایش کاتیون‌های دو ظرفیتی (کلسیم و منیزیم) در پساب بود (کریم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷).

استفاده از پساب برای آبیاری در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری درمنطقه برخوار اصفهان، باعث افزایش اسیدیته خاک، کاهش هدایت الکتریکی، کاهش درصد سدیم تبادلی و کاهش نسبت جذب سدیم خاک شد که تفاوت در مورد شوری و SAR معنی‌دار بود. همچنین آبیاری با پساب تأثیری بر میزان مواد آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی نداشت(شایان و همکاران، ۱۳۸۹). تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیر بلند مدت پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی پارامترهای شیمیایی در لایه های خاک و تعیین پتانسیل ها و تهدید های ناشی از کاربرد پساب در اراضی کشاورزی درجهت دستیابی به استفاده بهینه از پساب فاضلاب شهری با کمترین مشکل زیست محیطی انجام شد.

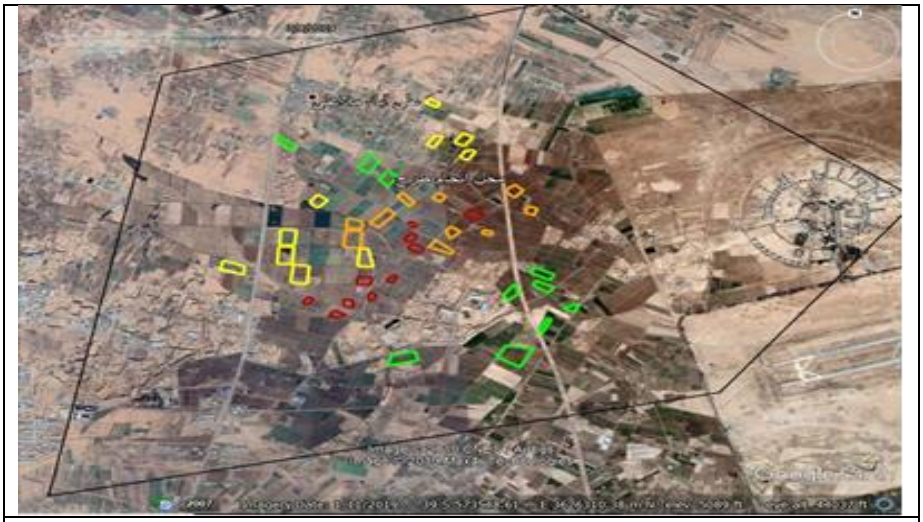
مواد و روش‌ها

تحقیق حاضرباهدف بررسی تاثیر پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی عناصرغذایی و آلاینده خاک لایه های خاک اراضی با کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب و آب چاه در طی سال ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. متغیر پاسخ شامل غلظت هفت عنصر تغذیه‌ای نیتروژن(N)، فسفر(P)، پتاسیم(K)، آهن(Fe)، منگنز(Mn)، روی(Zn) و مس(Cu)، دو فلز سنگین سرب(Pb) و کادمیوم (Cd) و سه پارامتر ماده آلی(OC)، اسیدیته(PH) و شوری(EC) و متغیر عامل کاربرد بلند مدت پساب فاضلاب و کاربرد آب چاه(شاهد) می باشد. ابتدا تعداد ده مزرعه بر اساس اطلاعات پرسشنامه و بازدید های محلی در منطقه با کاربرد ۲۶ سال پساب و منطقه تحت آبیاری با آب چاه انتخاب و در هر مزرعه به روش مرکب یک نمونه خاک از عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری خاک جمع آوری شد درمجموع در کل دو منطقه ۲۰ نمونه از عمق ۲۰-۰ و ۲۰ نمونه از عمق ۴۰-۲۰ برای انجام آنالیز تکمیلی به آزمایشگاه ارسال شدند. پارامترهای مورد آزمایش شامل شوری، اسیدیته ، کربن آلی، غلظت عناصر غذایی مهم مورد نیاز گیاهان از قبیل نیتروژن، پتاسیم ، فسفر، غلظت کل و قابل جذب عناصر روی، منگنز، آهن و مس و غلظت کل عناصر سنگین کادمیوم و سرب بود. پس از اتمام مراحل آنالیز نمونه های خاک، داده‌های به

دست آمده با روش آماری مقایسه میانگین‌های تیماری با میانگین متغیر شاهد در آزمون t مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت اجرای آزمون t و برخی تجزیه وتحلیل‌های تکمیلی آمار توصیفی، از نرم‌افزارSPSS استفاده شد.

نتایج

شکل ۱ موقعیت مزارع در مناطق با دامنه کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب (خطوط قرمز) و کاربرد آب چاه (خطوط سبز) را در اراضی زراعی نشان می دهد.



شکل۱- موقعیت ده مزرعه انتخابی در اراضی زراعی در هر یک از چهار منطقه مورد مطالعه

بررسی نتایج آزمون t متغیرهای پاسخ در دامنه کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب و شاهد متغیر عامل در هر دو عمق نشان داد کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب در عمق ۲۰-۰ سانتی متری سطحی خاک بر پارامترهای غلظت فسفر، پتاسیم، روی، منگنز، آهن، مس، سرب و اسیدیته تاثیر معنی‌دار ولی بر سایر پارامترها نظیر مقدارکربن آلی، غلظت نیتروژن، کادمیوم و شوری تاثیر معنی‌داری نداشت. همچنین در عمق ۴۰-۲۰ سانتی متری سطحی خاک بر پارامترهای فسفر، منگنز و مس تاثیر معنی‌دار ولی بر سایر پارامترهای شیمیایی نظیر مقدار کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم، روی، آهن، کادمیوم، سرب، اسیدیته و شوری تاثیر معنی‌داری نداشت.

بررسی نتایج تاثیر متغیرهای پاسخ از متغیر عامل در منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب باعث افزایش معنی دار عناصر فسفر، مس و منگنز در هر دو عمق و افزایش معنی دار پتاسیم، روی، آهن، سرب و اسیدیته در عمق ۲۰-۰ سانتی متری خاک نسبت به شاهد گردید. البته برخی پارامترها نظیر کربن آلی ، نیتروژن و کادمیوم در هر دو عمق تغییر معنی داری نسبت به شاهد نداشتند. که بیانگر عدم تاثیر پذیری آنها از پساب در منطقه مورد مطالعه می باشد.

مقایسه میانگین غلظت عناصر کادمیوم، سرب، روی و مس در کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب عامل با استاندارد های سازمان حفاظت محیط زیست ایران(IRANDOE)، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده(US EPA) و وزارت محیط زیست کانادا(CME) نشان داد که میانگین غلظت عناصر سرب، روی و مس کمتر از حدود استاندارد ولی غلظت کادمیوم بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده خطر ناک است. اما براساس نتایج مربوط به تحلیل‌های آماری زیاد بود غلظت عنصر کادمیوم از محل استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب نیست و مقدار آن در کل

خاک های منطقه بیش از حد استاندارد ایالات متحده می باشد لذا در این خصوص نیاز به تحقیق در باره سایر منابع آلاینده می باشد.

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در منطقه مورد مطالعه اولویت تاثیر کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب بر پارامترهای شیمیایی خاک در اعماق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری خاک بر عناصر فسفر، مس و منگنز و در عمق سطحی ۲۰-۰ سانتی متری خاک بر غلظت عناصر پتاسیم، روی، آهن، سرب و اسیدیته تاثیر معنی دار داشت. گزارش های متعدد با نتایج این تحقیق مبنی بر تاثیر کاربرد بلند مدت پساب فاضلاب بر برخی پارامترهای شیمیایی لایه های سطحی و عمقی خاک همخوانی دارد. بررسی تاثیر دراز مدت پساب فاضلاب بر روی خاک نشان داد که برخی پارامترهای شیمیایی خاک نظیر اسیدیته، غلظت عناصر سدیم، بر و فسفر عمق سطحی خاک در اثر کاربرد بلند مدت پساب افزایش یافته اند(قیان و مچام[۳]، ۲۰۰۵). گزارش دیگری کاربرد دراز مدت فاضلاب باعث افزایش عناصر غذائی لایه سطحی خاک شد (روسان[٤] و همکاران ، ۲۰۰۷). نتایج بررسی اثرات پساب بر برخی خواص شیمیایی خاک نشان داد که پساب باعث تغییر اسیدیته و عناصر غذائی مورد نیاز گیاهان و همچنین افزایش برخی عناصر فلزی سنگین در عمق سطحی خاک شد(باقری، ۱۳۷۹).

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی تاثیر کاربرد بلند مدت استفاده از پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی خصوصیات شیمیایی لایه سطحی و عمقی خاک نشان دادکه عناصر فسفر، مس و منگنز در هر دو عمق و عناصر پتاسیم، روی، آهن، سرب و اسیدیته در عمق سطحی ۲۰-۰ سانتی متری خاک بیشترین اثرپذیری را از متغیر عامل داشتند و در بین آنها پارامتر مس بیشترین اثر پذیری را با متغیر عامل داشت. بررسی آماری میزان تاثیر دامنه کاربرد پساب تصفیه خانه (متغیر عامل) بر برخی پارامتر های کیفی، تغذیه ای و آلاینده خاک سطحی و عمقی نشان داد که کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب باعث افزایش معنی دار عناصر فسفر، مس و منگنز در هر دوعمق و افزایش معنی دار عناصر پتاسیم، روی، آهن، سرب و اسیدیته در عمق سطحی نسبت به شاهد گردید. البته برخی پارامترها نظیر کربن آلی ، نیتروژن، کادمیوم در هر دو عمق مذکور تغییر معنی داری نسبت به شاهد نداشتند. همچنین مقایسه غلظت عناصر سنگین تغذیه ای و آلاینده خاک در دامنه های متفاوت کاربرد پساب با استانداردهای داخلی و خارجی نشان داد که در اراضی مذکور عنصر کادمیوم علی رغم عدم رابطه معنی دار با مصرف پساب در وضعیت خطرناک می باشد و باید مورد بررسی بیشتر قرار گیرد ولی غلظت هیچ یک از عناصر متاثر از پساب فاضلاب نسبت به استاندارد در حد سمیت نبود لذا نتیجه می شود که تاثیر کاربرد ۲۶ سال پساب در منطقه مورد مطالعه بیشتر در عمق ۲۰-۰ سانتی متری خاک و بطور غالب در تجمع عناصر تغذیه ای گیاهان و عنصر سرب در لایه سطحی خاک موثر بوده و باید مصرف پساب فاضلاب در منطقه مدیریت و از روش آبیاری متناوب با آب پساب و آب چاه به منظور کنترل مقدار تجمع عناصر آلاینده و کاهش خطر آلایندگی پساب استفاده شود همچنین با توجه به آلودگی خاک های منطقه به کادمیوم پیشنهاد می شود در این اراضی از کشت محصولات سبزی و صیفی خودداری شود.

فهرست منابع

-ایگدرنژاد، ا و مطیع زاده، م. (۱۳۸۷). ارزیابی کیفیت فاضلاب خام و پساب تصفیه شده تصفیه خانه شمال اصفهان برای استفاده مجدد در کشاورزی. سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی، خوراسگان، دانشگاه آزاد واحد خوراسگان.

۳-
٤-

-باقری، م.(۱۳۷۹). اثرات پساب و سیستم های آبیاری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و آلودگی خاک تحت کشت چند محصول زراعی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
-پروینی، م. ا. (۱۳۷۴). استفاده مجدد از پساب شهری، راه‌حل دیگر و منبعی قابل اطمینان. مجله آب و توسعه ۳(۴). ۲۷-۱۸.
-پروان، م. (۱۳۸۳). اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
-رادنیا، م. ر.، بذرافشان، ا. کردمصطفی‌پور، ف. شهریاری، ع. خاکسفیدی، ر. کریم‌پور، ز. (۱۳۹۶). بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب بیمارستان علی‌بن‌ابیطالب (ع) شهر زاهدان جهت آبیاری فضای سبز. چهارمین کنفرانس بین-المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه تهران. ۸-۱.
-شایان‌جزی، م. قربانی، ه. فیضی، م. (۱۳۸۹). تأثیر استفاده از پساب در کشاورزی بر برخی خواص شیمیایی خاک. دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، کاربردها در کشاورزی و فضای سبز، مشهد.
-سازمان حفاظت محیط زیست ایران، حدود مجاز آلودگی خاک و آلاینده های ورودی به آن برای کاربری‌هایمختلف خاک و راهنماهای آن (بر اساس قانون حفاظت از خاک)، معاونت محیط زیست انسانی، دفتر آب و خاک.
-کریم‌زاده، ح. ر. میرغفاری، ن. کدخدائی، م. شایسته، ا. (۱۳۸۷). کاربرد پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان جهت آبیاری فضای سبز و تأثیر آن بر برخی خواص شیمیایی خاک. اولین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.
-معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور. (۱۳۸۹). ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها. شماره ۵۳۵، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، تهران. شماره ۵۳۵، ۱۵۵.
- ملاحسینی ، ح.(۱۳۸۱). بررسی شدت و گستردگی آلودگی خاکها به عناصر سنگین و گیاهان آبیاری شده با فاضلاب در جاده ورامین ،مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین ،گزارش نهائی ۸۱/۳۶۵.
-ملاحسینی ، ح. (۱۳۸۳). بررسی اثرات تغذیه ای ازت ،فسفر و پتاس و تراکم کاشت روی خصوصیات کمی وکیفی ذرت علوفه ای (۷۰۴) تحت آبیاری بافاضلاب در جاده ورامین ،مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین ، گزارش نهایی ۸۳/۱۲۵۲ .
-ملاحسینی ، ح. (۱۳۸۵). بررسی نقش کیفیت فاضلاب در تامین ازت ،فسفر و پتاس در زراعت گندم ،مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین ، گزارش نهایی ۸۵/۱۲۹۰.
-مهرآوران، ب. انصاری، ح. بهشتی، ع. ا. اسماعیلی، ک. (۱۳۹۴). بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده در ابیاری با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه‌خانه پرکنآباد مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳(۹): ۴۴۶-۴۳۹.
and Sediment Standards for Use -Canadian Ministry of the Environment (CME). (2009). Soil, Ground Water under PartXV.1 of the Environmental Protection Act.
-Feizi, M. 2001. Effect of Treated wastewater on Accumulation of Heavy metals in plants and soil. International workshop on wastewater Reuse Management. ICID International workshop on wastewater Reuses management. 19-20 sept.
-Qian, Y. L., Mecham, B. (2005). Long-Term Effects of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties on Golf Course Fairways. Journal of Agronomy. 97
-Rusan, M.J., Hinnawi, S., Rousan, L.(2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Journal of Desalination 215.

-United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2002). Supplemental guidance for developing soilscreening levels for superfund sites. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C. http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/index.htm

-United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2014). Cleaning up the Nation's Hazardous Wastes Sites.http://www.epa.gov/superfund/

Investigating the effect of long-term use of wastewater treatment north of Isfahan on some chemical properties of soil layers

Hamid Molahoseini

Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran,Email: molahoseini_h@yahoo.con

Abstract

This study carried out to investigate the long-term effect of wastewater treatment north of Isfahan on some chemical parameters in soil layers in 2009-2010. First, ten farms in the area were selected using 26 years of effluent and the area irrigated with well water, and a sample from each farm was sent to the laboratory from a depth of 0-20 and 20-40 cm. Comparison of the results of the irrigated area with well water (control) with the area with long-term use of sewage at two depths showed that 26 years of wastewater application caused a significant increase in phosphorus, copper and manganese at both depths and a significant increase in potassium, zinc, iron, lead and acidity at a depth of 0-20 cm in the soil compared to the control. However, some parameters such as organic carbon, nitrogen and cadmium at both depths did not change significantly compared to the control. Therefore, it is concluded that the effect of 26 years of wastewater application is mainly effective in the accumulation of plant nutrients and lead in the soil surface layer and should be used in wastewater consumption by intermittent irrigation of wastewater and well water to control the accumulation of elements and Reduce the risk of effluent pollution.

Keywords: Long-term, effluent, nutrients, pollution.

بررسی اثر استفاده از پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی خصوصیات شیمیایی لایه سطحی خاک

حمید ملاحسینی۱، بابک خیام باشی

۱و۲-اعضاء هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران_

molahoseini_h@yahoo.com

چکیده

تحقیق حاضرباهدف بررسی تاثیر پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی پارامترهای شیمیایی در اراضی با کاربرد زمانی مختلف در طی سال ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. ابتدا ده مزرعه بر اساس اطلاعات پرسشنامه و بازدید های محلی در چهار منطقه انتخاب و از هر منطقه ۱۰ نمونه از عمق ۲۰-۰ سانتی متری به آزمایشگاه ارسال شدند. مقایسه نتایج منطقه تحت آبیاری با آب چاه (شاهد) با سایر مناطق نشان داد که کاربرد متناوب پساب فاضلاب و آب چاه فقط باعث افزایش معنی دار عنصر مس و کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب باعث افزایش معنی دار فسفر، پتاسیم، مس، روی، منگنز، آهن، سرب و اسیدیته نسبت به شاهد گردید. البته برخی پارامترها نظیر کربن آلی ، نیتروژن، کادمیوم و شوری تغییر معنی داری نسبت به شاهد نداشتند. لذا نتیجه می شود که تاثیر کاربرد پساب در دوره های زمانی طولانی بطور غالب درتجمع عناصر تغذیه ای گیاهان موثر بوده و همبستگی مثبت و معنی داری بر افزایش عناصر سنگین آلاینده در این اراضی نداشته است ولی با توجه به افزایش برخی پارامترها باید مصرف پساب فاضلاب در منطقه مدیریت و از روش آبیاری متناوب پساب فاضلاب و آب چاه به منظور کنترل مقدار تجمع عناصر و کاهش خطر آلایندگی پساب استفاده شود.

واژگان کلیدی: بلند مدت، پساب، عناصر غذایی، آلایندگی

مقدمه

در حال حاضر حدود ۹۳ درصد از کل آب مصرفی در ایران صرف آبیاری حدود ۸/۵ میلیون هکتار از اراضی زراعی شده و سهم بخش شرب و صنعت به ترتیب ۵/۸ و ۱/۲ درصد می‌باشد. جوامع شهری و روستایی کانون اصلی مصارف آب برای مقاصد شرب، زراعی، صنعت و تولید فاضلاب انسانی می‌باشند (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت رییس‌جمهور، ۱۳۸۹). در چنین شرایطی که کشور به شدت از لحاظ کمبود منابع آب‌شیرین رنج می‌برد توجه به منابع غیرمتعارف آب اجتناب‌ناپذیر است (رادنیا و همکاران، ۱۳۹۶؛ پروینی، ۱۳۷۴). از این‌رو استفاده از فاضلاب تصفیه شده به عنوان یک منبع آب پایدار بیش از پیش مورد توجه محققان و مدیران مربوطه قرار گرفته است (مهرآوران و همکاران، ۱۳۹۴).

باتوجه به اهمیت این مسئله ضرورت بررسی دقیق این جنبه ازخصوصیات خاک از نقطه نظر آثار مثبت مانند برآورده کردن نیاز غذایی گیاه توسط مواد معدنی داخل پساب‌ها و آثار منفی وخطرناک از جمله بالا بردن غلظت فلزات سنگین(عناصر آلاینده) و ورود آن‌ها به بافت گیاهان و در نتیجه به چرخه‌ی غذایی انسان ودام اجتناب ناپذیر است.

نتیجه بررسی تاثیر دراز مدت پساب فاضلاب بر روی خاک نشان داد که اسیدیته، غلظت عناصر سدیم، بر و فسفر در عمق سطحی خاک پس از کاربرد پساب فاضلاب افزایش یافت(قیان و مچام[۱]، ۲۰۰۵) .در گزارش دیگری کاربرد دراز مدت فاضلاب باعث افزایش مقدار نمک ها، مواد آلی و عناصر غذائی شد ولی تغییری در مقدار اسیدیته خاک مشاهده نشد(روسان[۲] و همکاران ، ۲۰۰۷). استفاده از فاضلاب تصفیه شده (پساب) باعث کاهش اسیدیته، افزایش شوری، افزایش عناصری چون سدیم، کلسیم، منیزیم وکلر در بخش محلول خاک و افزایش نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و افزایش عناصر

[۱]- Qian, Y. L and B. Mecham
[۲]- Rusan

سنگین مانند نیکل، کادمیم و کروم شد(پروان، ۱۳۸۳). نتایج بررسی اثرات پساب بر برخی خواص شیمیایی خاک زیر کشت چند محصول زراعی نشان داد که پساب باعث تغییر اسیدیته، افزایش شوری و عناصر غذائی مورد نیاز گیاهان و همچنین افزایش برخی عناصر فلزی سنگین شد(باقری، ۱۳۷۹). کاربرد دو نوع فاضلاب شامل پساب تصفیه شده و فاضلاب خام تصفیه خانه شمال اصفهان بررسی و نتیجه شد که این پساب ها از نظر آبیاری بدون پیامد، از نظرمیزان بیکربنات فاضلاب خام دارای درجه پیامد بالا و پساب تصفیه شده دارای درجه پیامد بد تا متوسط واز نظر شوری پیامد کاربرد این دو نوع فاضلاب ضعیف تا متوسط بود(ایگدرنژاد و مطیع‌زاده،۱۳۸۷). کاربردپساب فاضلاب تصفیه شده و آب چاه برای مدت حدود ۷ سال درمزرعه‌ای در شمال اصفهان نشان داد که مقدار روی ،منگنز، مس و آهن در خاکهای آبیاری شده با پساب فاضلاب بیش از خاک‌های آبیاری شده با آب چاه بود. اما اختلاف آنها معنی دار نبود. همچنین غلظت سرب و کادمیوم در خاکهای آبیاری شده با هر دو نوع آب نیز تقریبا یکسان بود(فیضی، ۲۰۰۱). آبیاری طولانی مدت اراضی کشاورزی در جنوب تهران با فاضلاب شهری باعث افزایش غلظت قابل استفاده کربن آلی، فسفر، پتاس، روی، مس،کادمیوم، سرب و نیکل در این اراضی نسبت به اراضی تحت آبیاری با آب چاه یا قنات شد(ملاحسینی، ۱۳۸۱). دراراضی کشاورزی تحت آبیاری با فاضلاب در جنوب تهران می توان بدون کاهش معنی داری در عملکرد گندم و ذرت، مصرف نیتروژن، فسفر و پتاس را به میزان ۷۵ درصد توصیه براساس آزمون خاک مصرف نمود(ملاحسینی، ۱۳۸۳ و۱۳۸۵).

بررسی ۵ تیمار آبیاری شامل آب چاه، ۲۵٪ پساب+۷۵٪چاه، ۵۰٪ چاه+۵۰٪ پساب، ۲۵٪ چاه+۷۵٪ پساب و پساب خالص نشان داد که افزایش نسبت پساب در تیمار آبیاری، باعث افزایش میزان مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش کلر می‌شود. همچنین میزان شوری و نسبت جذب سدیم با افزایش پساب کاهش پیدا کرد، که علت اینامر، کاهش میزان سدیم و افزایش کاتیون‌های دو ظرفیتی (کلسیم و منیزیم) در پساب بود (کریم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷).

استفاده از پساب برای آبیاری در هر دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری درمنطقه برخوار اصفهان، باعث افزایش اسیدیته خاک، کاهش هدایت الکتریکی، کاهش درصد سدیم تبادلی و کاهش نسبت جذب سدیم خاک شد که تفاوت در مورد شوری و SAR معنی‌دار بود. همچنین آبیاری با پساب تأثیری بر میزان مواد آلی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی نداشت(شایان و همکاران، ۱۳۸۹). تحقیق حاضر با هدف بررسی تاثیرکاربرد پساب در دوره های زمانی مختلف بر میزان تجمع و آلایندگی برخی پارامترهای شیمیایی غذایی و آلاینده و تعیین پتانسیل ها و تهدید های ناشی از کاربرد پساب در اراضی کشاورزی درجهت دستیابی به استفاده بهینه از پساب فاضلاب شهری با کمترین مشکل زیست محیطی انجام شد.

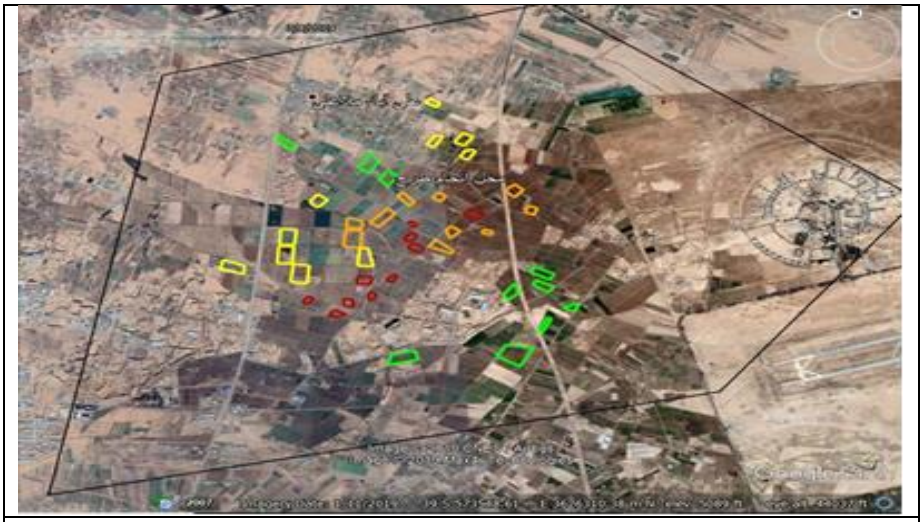
مواد و روش‌ها

تحقیق حاضرباهدف بررسی تاثیر پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی عناصرغذایی و آلاینده خاک در اراضی با ۴ دوره کاربرد زمانی مختلف شامل اراضی تحت آبیاری بلند مدت با پساب فاضلاب (حدود ۲۶ سال)، اراضی تحت آبیاری بلند مدت با پساب فاضلاب (حدود ۱۰ الی ۱۵ سال)، اراضی تحت آبیاری متناوب پساب فاضلاب و آب چاه و اراضی تحت آبیاری با آب چاه در طی سال های ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. متغیر پاسخ شامل غلظت هفت عنصر تغذیه‌ای نیتروژن(N)، فسفر(P)، پتاسیم(K)، آهن(Fe)، منگنز(Mn)، روی(Zn) و مس(Cu)، دو فلز سنگین سرب(Pb) و کادمیوم (Cd) و سه پارامتر ماده آلی(OC)، اسیدیته(PH) و شوری(EC) و متغیر عامل شامل مدت زمان آبیاری با پساب تصفیه‌خانه در چهار سطح شامل آبیاری با آب چاه(شاهد)، آبیاری متناوب پساب فاضلاب و آب چاه(سطح یک)، آبیاری بلند مدت (۱۵ سال) فقط با پساب فاضلاب(سطح دو)، آبیاری بلند مدت (۲۶ سال) فقط با پساب فاضلاب(سطح سه) می باشد. ابتدا تعداد ده مزرعه بر اساس اطلاعات پرسشنامه و بازدید های محلی در هر کدام از چهار منطقه فوق الذکر انتخاب و درهر مزرعه به روش مرکب یک نمونه خاک از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک جمع آوری شد درمجموع در کل چهار منطقه ۴۰ نمونه از

عمق ۲۰-۰ برای انجام آنالیز تکمیلی به آزمایشگاه ارسال شدند. پارامترهای مورد آزمایش شامل شوری، اسیدیته ، کربن آلی، غلظت عناصر غذایی مهم مورد نیاز گیاهان از قبیل نیتروژن، پتاسیم ، فسفر، غلظت کل و قابل جذب عناصر روی، منگنز، آهن و مس و غلظت کل عناصر سنگین کادمیوم و سرب بود. پس از اتمام مراحل آنالیز نمونه های خاک، داده‌های به دست آمده با روش آماری مقایسه میانگین‌های تیماری با میانگین متغیر شاهد در آزمون t مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. جهت اجرای آزمون t و برخی تجزیه وتحلیل‌های تکمیلی آمار توصیفی، از نرم‌افزارSPSS استفاده شد.

نتایج

شکل۱ موقعیت مزارع در مناطق با دامنه کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب (خطوط قرمز)، دامنه کاربرد ۱۵ سال پساب فاضلاب(خطوط نارنجی)، دامنه کاربرد متناوب پساب فاضلاب و آب چاه (خطوط زرد)، و کاربرد آب چاه (خطوط سبز) را در اراضی زراعی نشان می دهد.



شکل۱- موقعیت ده مزرعه انتخابی در اراضی زراعی در هر یک از چهار منطقه مورد مطالعه

بررسی نتایج آزمون t متغیرهای پاسخ در سطح یک و شاهد متغیر عامل در عمق ۲۰-۰ نشان داد سطح یک عامل بر پارامترهای غلظت مس و غلظت سرب تاثیر معنی‌دار ولی بر سایر پارامترها نظیر مقدار کربن آلی، غلظت نیتروژن(N)، فسفر، پتاسیم، روی، منگنز، آهن، کادمیوم، اسیدیته و شوری تاثیر معنی‌دار نداشت. بررسی نتایج آزمون t متغیرهای پاسخ در سطح دو و شاهد متغیر عامل در عمق ۲۰-۰ نشان داد سطح دو عامل بر پارامترهای غلظت فسفر، پتاسیم، روی، منگنز، آهن و مس تاثیر معنی‌دار ولی بر سایر پارامترها نظیر مقدارکربن آلی، غلظت نیتروژن، کادمیوم، سرب، اسیدیته و شوری تاثیر معنی‌داری نداشت. همچنین بررسی نتایج آزمون t متغیرهای پاسخ در سطح سه و شاهد متغیر عامل در عمق ۲۰-۰ نشان داد سطح سه عامل بر پارامترهای غلظت فسفر، پتاسیم، روی، منگنز، آهن، مس، سرب و اسیدیته تاثیر معنی‌دار ولی بر سایر پارامترها نظیر مقدارکربن آلی، غلظت نیتروژن، کادمیوم و شوری تاثیر معنی‌داری نداشت.

بررسی نتایج تاثیر متغیرهای پاسخ از متغیر عامل در منطقه مورد مطالعه نشان داد که عنصر مس در کلیه دامنه های کاربرد کاربرد پساب فاضلاب منطقه شمال اصفهان از کم تا زیاد نسبت به اراضی تحت آبیاری با آب چاه افزایش معنی دار دارد و باید در اراضی تحت آبیاری با پساب با هر دامنه کاربرد مورد توجه قرار گیرد از طرفی پارامترهای مقدارکربن آلی، غلظت نیتروژن، کادمیوم و شوری در کلیه دامنه های کاربرد پساب تغییر معنی دار نسبت به اراضی تحت آبیاری با آب چاه نداشته و تغییرات آنها ارتباط با کاربرد پساب ندارد.

مقایسه میانگین غلظت عناصر کادمیوم، سرب، روی و مس در هریک از سطوح عامل با استاندارد های سازمان حفاظت محیط زیست ایران(IRANDOE)، سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده(US EPA) و وزارت محیط زیست کانادا(CME) نشان می‌دهد که میانگین غلظت عناصر سرب، روی و مس کمتر از حدود استاندارد ولی غلظت کادمیوم بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده خطر ناک است. اما براساس نتایج مربوط به تحلیل‌های آماری زیاد بود غلظت عنصر کادمیوم از محل استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب نیست و مقدار آن در کل خاک های منطقه بیش از حد استاندارد ایالات متحده می باشد لذا در این خصوص نیاز به تحقیق در باره سایر منابع آلاینده می باشد.

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در منطقه مورد مطالعه اولویت تاثیر عامل(دامنه کاربرد پساب) بر پارامترهای شیمیایی خاک در عمق سطحی ۲۰-۰ سانتی متری خاک و به ترتیب اول بر عنصر مس، دوم بر غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، روی، منگنز و آهن و سوم بر پارامتر سرب و اسیدیته بود. گزارش های متعدد با نتایج این تحقیق مبنی بر تاثیر کاربرد بلند مدت پساب فاضلاب بر برخی پارامترهای شیمیایی خاک سطحی همخوانی دارد. بررسی تاثیر دراز مدت پساب فاضلاب بر روی خاک نشان داد که برخی پارامترهای شیمیایی خاک نظیر اسیدیته، غلظت عناصر سدیم، بر و فسفر عمق سطحی خاک در اثر کاربرد بلند مدت پساب افزایش یافته اند(قیان و مچام[۳]، ۲۰۰۵). گزارش دیگری کاربرد دراز مدت فاضلاب باعث افزایش عناصر غذائی لایه سطحی خاک شد (روسان[٤] و همکاران ، ۲۰۰۷). نتایج بررسی اثرات پساب بر برخی خواص شیمیایی خاک نشان داد که پساب باعث تغییر اسیدیته و عناصر غذائی مورد نیاز گیاهان و همچنین افزایش برخی عناصر فلزی سنگین در عمق سطحی خاک شد(باقری، ۱۳۷۹).

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی تاثیر کاربرد استفاده از پساب تصفیه خانه شمال اصفهان بر برخی خصوصیات شیمیایی لایه سطحی خاک نشان دادکه تعداد پنج پارامتر خاک سطحی شامل سرب، کادمیوم، مس، منگنز و روی بیشترین اثرپذیری را از متغیر عامل داشتند و در بین آنها پارامتر مس بیشترین اثر پذیری را با متغیر عامل داشت. لذا غلظت این عنصر در لایه سطحی خاک(۲۰-۰ سانتی متری) مبنای تفکیک اراضی به چهار منطقه با دوره زمانی کاربرد پساب فاضلاب شهری شامل اراضی تحت آبیاری حدود ۲۶ سال با پساب فاضلاب (سطح سوم)، اراضی تحت آبیاری ۱۵ سال با پساب فاضلاب (سطح دوم)، اراضی تحت آبیاری متناوب با پساب فاضلاب و آب چاه (سطح اول)، و اراضی تحت آبیاری با آب چاه(شاهد) شد. بررسی آماری میزان تاثیر دامنه کاربرد پساب تصفیه خانه (متغیر عامل) بر برخی پارامتر های کیفی،تغذیه ای و آلاینده خاک سطحی نشان داد که کاربرد متناوب پساب فاضلاب و آب چاه (سطح اول) فقط باعث افزایش معنی دار عنصر مس نسبت به شاهد شد ولی کاربرد ۲۶ سال پساب فاضلاب (سطح سوم) باعث افزایش معنی دار فسفر، پتاسیم، مس، روی، منگنز، آهن، سرب و اسیدیته نسبت به شاهد گردید. البته برخی پارامترها نظیر کربن آلی ، نیتروژن، کادمیوم و شوری در عمق مذکور تغییر معنی داری نسبت به شاهد نداشتند. همچنین مقایسه غلظت عناصر سنگین تغذیه ای و آلاینده خاک در دامنه های متفاوت کاربرد پساب با استانداردهای داخلی و خارجی نشان داد که در اراضی مذکور عنصر کادمیوم علی رغم عدم رابطه معنی دار با مصرف پساب در وضعیت خطرناک می باشد و باید مورد بررسی بیشتر قرار گیرد ولی غلظت هیچ یک از عناصر متاثر از پساب فاضلاب نسبت به استاندارد در حد سمیت نبود لذا نتیجه می شود که تاثیر کاربرد پساب در دوره های زمانی مختلف در منطقه مورد مطالعه بیشتر در عمق ۲۰-۰ سانتی متری خاک و بطور غالب درتجمع عناصر تغذیه ای

۳-

٤-

گیاهان موثر بوده و همبستگی مثبت و معنی داری بر افزایش عناصر سنگین آلاینده نداشته است ولی با توجه به افزایش برخی پارامترها ناشی از کاربرد پساب فاضلاب در دوره های طولانی، ضروری است مصرف پساب فاضلاب در منطقه مدیریت و از روش آبیاری متناوب با آب پساب و آب چاه به منظور کنترل مقدار تجمع عناصر آلاینده و کاهش خطر آلایندگی پساب استفاده شود همچنین با توجه به آلودگی خاک های منطقه به کادمیوم پیشنهاد می شود در این اراضی از کشت محصولات سبزی و صیفی خودداری شود.

فهرست منابع

-ایگدرنژاد، ا و مطیع زاده، م. (۱۳۸۷). ارزیابی کیفیت فاضلاب خام و پساب تصفیه شده تصفیه خانه شمال اصفهان برای استفاده مجدد در کشاورزی. سومین کنگره ملی بازیافت و استفاده از منابع آلی تجدید شونده در کشاورزی، خوراسگان، دانشگاه آزاد واحد خوراسگان.

-باقری، م.(۱۳۷۹). اثرات پساب و سیستم های آبیاری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و آلودگی خاک تحت کشت چند محصول زراعی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

-پروینی، م. ا. (۱۳۷۴). استفاده مجدد از پساب شهری، راه‌حل دیگر و منبعی قابل اطمینان. مجله آب و توسعه ۳(۴). ۲۷-۱۸.

-پروان، م. (۱۳۸۳). اثرات آبیاری با فاضلاب تصفیه شده بر روی خصوصیات خاک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

-رادنیا، م. ر.، بذرافشان، ا. کردمصطفی‌پور، ف. شهریاری، ع. خاکسفیدی، ر. کریم‌پور، ز. (۱۳۹۶). بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب بیمارستان علی‌بن‌ابیطالب (ع) شهر زاهدان جهت آبیاری فضای سبز. چهارمین کنفرانس بین-المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، دانشگاه تهران. ۸-۱.

-شایان‌جزی، م. قربانی، ه. فیضی، م. (۱۳۸۹). تأثیر استفاده از پساب در کشاورزی بر برخی خواص شیمیایی خاک. دومین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، کاربردها در کشاورزی و فضای سبز، مشهد.

-سازمان حفاظت محیط زیست ایران، حدود مجاز آلودگی خاک و آلاینده های ورودی به آن برای کاربری‌هایمختلف خاک و راهنماهای آن (بر اساس قانون حفاظت از خاک)، معاونت محیط زیست انسانی، دفتر آب و خاک.

-کریم‌زاده، ح. ر. میرغفاری، ن. کدخدائی، م. شایسته، ا. (۱۳۸۷). کاربرد پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان جهت آبیاری فضای سبز و تأثیر آن بر برخی خواص شیمیایی خاک. اولین سمینار ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مشهد.

-معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور. (۱۳۸۹). ضوابط زیست‌محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها. شماره ۵۳۵، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، تهران. شماره ۵۳۵، ۱۵۵.

- ملاحسینی ، ح.(۱۳۸۱). بررسی شدت و گستردگی آلودگی خاکها به عناصر سنگین و گیاهان آبیاری شده با فاضلاب در جاده ورامین ،مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین ،گزارش نهائی ۸۱/۳۶۵.

-ملاحسینی ، ح. (۱۳۸۳). بررسی اثرات تغذیه ای ازت ،فسفر و پتاس و تراکم کاشت روی خصوصیات کمی وکیفی ذرت علوفه ای (۷۰۴) تحت آبیاری بافاضلاب در جاده ورامین ،مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین ، گزارش نهایی ۸۳/۱۲۵۲ .

-ملاحسینی ، ح. (۱۳۸۵). بررسی نقش کیفیت فاضلاب در تامین ازت ،فسفر و پتاس در زراعت گندم ،مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین ، گزارش نهایی ۸۵/۱۲۹۰.

-مهرآوران، ب. انصاری، ح. بهشتی، ع. ا. اسماعیلی، ک. (۱۳۹۴). بررسی امکان استفاده از پساب تصفیه شده در ابیاری با توجه به اثرات زیست‌محیطی آن (مطالعه موردی پساب خروجی تصفیه‌خانه پرکنآباد مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳(۹): ۴۴۶-۴۳۹.

and Sediment Standards for Use -Canadian Ministry of the Environment (CME). (2009). Soil, Ground Water under PartXV.1 of the Environmental Protection Act.

-Feizi, M. 2001. Effect of Treated wastewater on Accumulation of Heavy metals in plants and soil. International workshop on wastewater Reuse Management. ICID International workshop on wastewater Reuses management. 19-20 sept.

-Qian, Y. L., Mecham, B. (2005). Long-Term Effects of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties on Golf Course Fairways. Journal of Agronomy. 97

-Rusan, M.J., Hinnawi, S., Rousan, L.(2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Journal of Desalination 215.

-United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2002). Supplemental guidance for developing soilscreening levels for superfund sites. Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington, D.C. http://www.epa.gov/superfund/health/conmedia/soil/index.htm

-United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2014). Cleaning up the Nation's Hazardous Wastes Sites.http://www.epa.gov/superfund/

Investigating the effect of wastewater use on some soil chemical properties in suface layer

Hamid Molahoseini
Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran,Email: molahoseini_h@yahoo.con

Abstract

This study carried out to investigate the effect of Isfahan north wastewater on some nutrients and soil contaminants in lands with 4 different application periods during 2019-2020. Firstly, base on the questionnaire information and local visits lands are divided into 4 periods of wastewater application. Then, ten farms were selected in each of the above-mentioned areas, and in each farm, a soil sample from a depth of 0-20 were collected by combined method. Finally, 40 samples from 0-20 depth were selected in all four regions and were sent to the laboratory. Comparison of the results of each area with the control (irrigation with well water) showed that the intermittent application of wastewater and well water (first level) only caused a significant increase in copper compared to the control, but the use of 26 years of wastewater (Level 3) caused a significant increase in phosphorus, potassium, copper, zinc, manganese, iron, lead and acidity in the soil compared to the control. However, some parameters such as organic carbon, nitrogen, cadmium and salinity did not change significantly compared to the control. Therefore, it is concluded that the effect of effluent application in different time periods in the study area is mainly in the accumulation of plant nutrients and has no significantly correlation on the increase of heavy metals pollutants, but Due to the increase of some parameters due to the use of wastewater in long periods, it is necessary to use wastewater in the management area and use the method of intermittent irrigation with wastewater and well water to control the accumulation of pollutants and reduce the risk of wastewater pollution.

Keywords: Long-term, effluent, nutrients, pollution.

اثرات بیوچار هسته زیتون بر ویژگی‌های مکانیکی یک خاک رس سیلت

عباس شعبانی روفچائی[۱]، سپیده ابریشم کش[۲]، محمود شعبانپور[۳]، محمود فاضلی[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، sabrishamkesh@guilan.ac.ir

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان

چکیده

اثرات مثبت بیوچار بر حاصلخیزی خاک و بهبود باردهی محصول اثبات شده است. اما تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و به خصوص ویژگی‌های مکانیکی خاک به ندرت مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین در این پژوهش، تأثیر کاربرد سطوح یک و دو درصد وزنی بیوچار هسته زیتون در دو دامنه اندازه ذرات ۲۵۰-۵۳ و ۵۰۰-۲۵۰ میکرون در یک خاک رس سیلت فقیر از ماده آلی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که سطح دو درصد بیوچار و همچنین بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون در مقایسه با شاهد (بدون بیوچار) موجب افزایش حد روانی خاک شد. افزایش شاخص خمیرائی خاک نیز فقط در سطح دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۲۵۰-۵۳ میکرون مشاهده شد اما سایر تیمارها تأثیر معنی‌داری را نداشتند. اگرچه این‌گونه تغییرات در ویژگی‌های مکانیکی از قبیل افزایش شاخص خمیرائی می‌تواند اثرات منفی بر قابلیت کار بر روی خاک را به دنبال داشته باشد. اما نتایج این مطالعه نشان داد که بیوچار در اندازه ذرات و سطوح کاربرد متفاوت، اثر مشابه‌ی را بر ویژگی‌های مکانیکی خاک ندارند. بنابراین می‌توان با کاربرد سطح کم‌تر و همچنین اندازه ذرات بزرگ‌تر بیوچار از کاهش مقاومت خاک در برابر تنش‌های خارجی از قبیل عملیات خاکورزی، عبور ماشین‌الات و ... جلوگیری کرد.

واژگان کلیدی: حد روانی، حد خمیری، شاخص خمیرائی، قابلیت کار

مقدمه

بیوچار که به مواد غنی از کربن، تولید شده از مواد آلی در فرایند پیرولیز حرارتی (در غیاب یا محدودیت حضور اکسیژن) اشاره دارد، می‌تواند به عنوان اصلاح‌کننده برای بهبود کیفیت خاک استفاده شود (Zong *et al.* 2014). بیوچار می‌تواند حاصلخیزی از قبیل واکنش خاک، مواد مغذی و ظرفیت تبادل کاتیونی آن را بهبود بخشد (Laird *et al.* 2010). با این حال، تأثیر بیوچار بر ویژگی‌های مکانیکی خاک تا به حال به‌خوبی مورد بررسی قرار نگرفته است (Zong *et al.* 2014). حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرائی، به عنوان حدود پایداری خاک معرفی می‌شوند. اطلاعات مربوط به پایداری خاک برای مدیریت خاک در اهداف مهندسی (به عنوان مثال، پایداری پایه ساختمان‌ها) و اهداف زراعی (به عنوان مثال، تراکم و عملیات خاکورزی) ضروری است (Blanco-Canqui *et al.* 2006).

مطالعات نشان داده است که در یک خاک شنی، کاربرد ۲، ۴ و ۶ درصد سه بیوچار تولیدی از کاه گندم، تکه‌های چوب و لجن فاضلاب در دمای پیرولیز ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد پس از یک دوره انکوباسیون ۱۸۰ روزه، حد روانی را به میزان ۸ تا ۲۲ درصد و شاخص خمیرائی خاک را به میزان ۴۸ تا ۹۹ درصد افزایش داد، اما حد خمیری خاک تمایل به کاهش داشت (Zong *et al.* 2016). در تحقیقی دیگر در یک خاک با بافت رسی، کاربرد بیوچار پوسته برنج در سطوح ۲، ۴ و ۶ درصد، حد خمیری و روانی خاک را ۱۵ تا ۱۸ درصد افزایش داد، اما بر روی شاخص خمیرائی تأثیری نداشت (Lu *et al.* 2014). علاوه بر تعداد کم تحقیقات در مورد اثر گذاری بیوچار بر ویژگی‌های مکانیکی خاک، مطالعات در مورد اثر اندازه ذارات بیوچار، بسیار محدودتر انجام شده است. همچنین استفاده از بیوچار یکی از راهکارهای موجود برای مدیریت پسماندهای آلی از قبیل هسته زیتون است که معمولاً در طبیعت بدون هیچ استفاده‌ای رها و یا سوزانده می‌شود. با توجه به مطالب ذکرشده، هدف این پژوهش، تولید بیوچار از هسته زیتون و بررسی اثرات سطح کاربرد و به ویژه اندازه ذرات آن بر حدود پایداری خاک است.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در این تحقیق از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری یک خاک فرسایش‌پذیر واقع در منطقه منجیل، استان گیلان با مختصات جغرافیایی N36° 45′.618 و E49° 20′.607 تهیه شد. بیوچار از هسته زیتون (پسماند کارخانجات روغن کشی زیتون) و توسط پیرولیز در دمای پیک ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد در کوره الکتریکی القائی تولید شد. میزان هیدروژن، نیتروژن و کربن کل بیوچار به روش احتراق خشک و توسط دستگاه CHN آنالایزر تعیین شدند. بیوچار هسته زیتون توسط آسیاب و الک به دو اندازه ۲۵۰-۵۳ و ۵۰۰-۲۵۰ میکرون تقسیم شدند. سپس این دو اندازه بیوچار در سطوح صفر، یک و دو درصد به خاک افزوده و کاملاً مخلوط شدند. سپس هر کدام از تیمارها در داخل ستون‌های پلاستیکی (قطر: ۲۵ و ارتفاع: ۱۵ سانتی متر) منتقل شدند (شکل ۱). ستون‌های خاک به مدت ۹ ماه در گلخانه در شرایط انکوباسیون در دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و به وسیله آبیاری رطوبت آن‌ها در ۷۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه حفظ شد. بعد از گذشت دوره انکوباسیون، نمونه‌های خاک از ستون‌ها برای بررسی ویژگی‌های مکانیکی خاک تهیه شد. در این پژوهش حد روانی و حد خمیری خاک به ترتیب به وسیله دستگاه گاساگرانده (Mcbride 2008) و تهیه فیتیله (ASTM D4318 1999) اندازه‌گیری شد. بعد از تعین این دو پارامتر، شاخص خمیرائی خاک با توجه به فرمول زیر تعیین شد:

$$PI = LL - PL \quad (۱)$$

که در این معادله، PI شاخص خمیرائی خاک، LL حد روانی و PL حد خمیری خاک است.

شکل ۱- ستون‌های خاک مورد آزمایش

سپس تأثیر دو فاکتور شامل اندازه ذرات بیوچار (۲۵۰-۵۳ و ۵۰۰-۲۵۰ میکرون) و سطح کاربرد بیوچار (یک و دو درصد) در چهار تکرار به صورت فاکتویل در قالب طرح کاملاً تصادفی توسط نرم افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. همچنین میانگین داده‌ها با استفاده از روش آزمون توکی و در سطح احتمال یک و پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

میزان کربن، هیدروژن و نیتروژن هسته زیتون و بیوچار آن در جدول ۱ و خصوصیات اولیه خاک در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- میزان کربن، هیدروژن و نیتروژن هسته زیتون و بیوچار آن

	کربن (٪)	هیدروژن (٪)	نیتروژن (٪)
هسته زیتون	۵۵/۴۷	۷/۴۱	۰/۵۵
بیوچار هسته زیتون	۷۹/۷۹	۲/۳۱	۰/۴۱

خاک مورد استفاده در این تحقیق دارای بافت رس سیلتی و میزان ناچیز ماده آلی (جدول ۲) و بر اساس تقسیم بندی منابع از شاخص خمیرائی، دارای خمیرائی متوسط است (جدول ۲).

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های خاک مورد مطالعه

شن	سیلت	رس	بافت	ماده آلی	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیرائی
(٪)	(٪)	(٪)		(٪)	(٪)	(٪)	
۱۵	۴۰	۴۵	رس سیلت	۰/۳	۳۸/۹	۲۶/۵۶	۱۲/۳۴

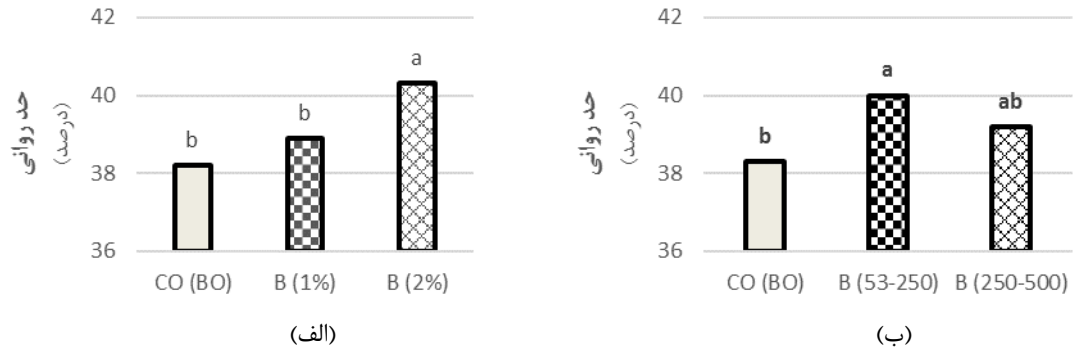
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطح کاربرد بیوچار بر رطوبت حد روانی و شاخص خمیرائی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل اندازه ذرات و سطح کاربرد بیوچار بر شاخص خمیرائی خاک در سطح احتمال پنج درصدمعنی‌دار بود. اما هیچ یک از منابع تغییرات، تأثیر معنی‌داری را بر حد خمیری نشان ندادند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر ترکیب بیوچار با خاک بر ویژگی‌های مکانیکی خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	حد روانی	حد خمیری	شاخص خمیرائی
اندازه ذرات بیوچار	۱	۰/۰۰۰۲۴^{ns}	۰/۰۰۰۵۷^{ns}	۰/۰۰۱۵^{ns}
سطح کاربرد بیوچار	۱	۰/۰۰۰۸۵**	۰/۰۰۰۹۰^{ns}	۰/۰۰۳۵۱**
اندازه ذرات × سطح کاربرد	۱	۰/۰۰۰۳۳^{ns}	۰/۰۰۰۷۳^{ns}	۰/۰۰۲۰*
خطا	۱۵	۰/۰۰۰۰۸۳	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۳۴
ضریب تغییرات	-	۲/۳۲	۵/۰۰	۱۳/۳۹

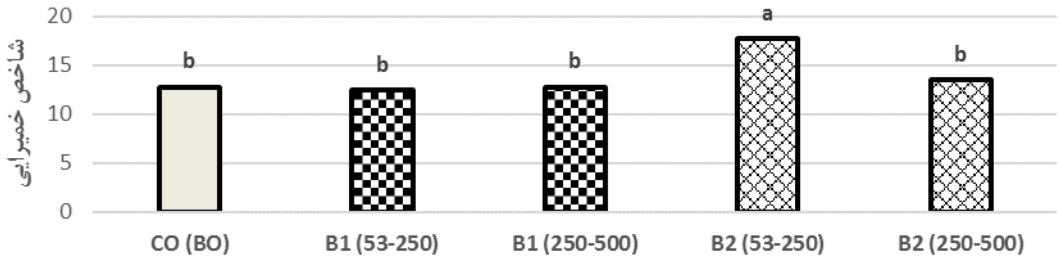
ns، *، ** به ترتیب نشاندهندی غیرمعنی‌دار، معنی‌دار بودن در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد دو درصد بیوچار توانست حد روانی را در مقایسه با تیمار شاهد به طور معنی‌داری افزایش دهد اما کاربرد یک درصد بیوچار در مقایسه با تیمار شاهد و تیمار دو درصد بیوچار تفاوت معنی‌داری در حد روانی ایجاد نکرد (شکل ۲- الف). اگرچه دو اندازه ذرات بیوچار تفاوت معنی‌داری با یکدیگر از لحاظ تأثیر بر حد روانی خاک نداشتند اما بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش معنی‌دار ($p<0.01$) حد روانی شد (شکل ۲- ب). سطح دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون توانست تأثیر معنی‌داری بر افزایش شاخص خمیرائی داشته باشد (شکل ۳).



شکل ۲- تأثیر الف) سطح کاربرد و ب) اندازه ذرات بیوچار بر حد روانی خاک

CO(B0): تیمارشاهد بدون بیوچار، **B(1%)** و **B(2%)**: سطح یک و دو درصد بیوچار، **B(53-250)** و **B(250-500)**: بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ و ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرون.



شکل۳- اثر متقابل اندازه و سطح کاربرد بیوچار بر شاخص خمیرائی خاک

CO(B0): تیمارشاهد بدون بیوچار، **B1(53-250)** و **B2(53-250)**: سطح یک و دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون، **B1(250-500)** و **B2(250-500)**: سطح یک و دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۲۵۰ تا ۵۰۰ میکرون

اطلاعات در مورد حدود پایداری خاک‌ها برای طبقه‌بندی خاک‌ها در ارتباط با تراکم و عملکرد خاکورزی (Soane *et al.* 1972; Campbell 2001)، رطوبت مطلوب جهت انجام عملیات خاکورزی (Campbell 2001; Dexter and Bird 2001) و در تعاملات خاک و ماشین‌های کشاورزی می‌تواند مفید واقع شود(Campbell 2001). افزودن بیوچار به خاک با تاثیرگذاری بر مقدار کربن آلی و در نتیجه اثر گذاری بر ماده آلی خاک می‌تواند ویژگی‌های مکانیکی خاک را تغییر دهد. تعاملات کربن آلی با مواد معدنی خاک باعث تغییر ویژگی‌های باند تنشی و ویژگی‌های تحمل تنش سطحی خاک می‌شود (Hemmat *et al.* 2010)، که می‌تواند بر مقدار حد روانی و خمیری تأثیر داشته باشد. نتایج مطالعه Zong *et al.* (2016) نشان داد که کاربرد ۶ درصد وزنی سه بیوچار تولیدی از کاه گندم، خرده‌های چوب و لجن فاضلاب در مقایسه با تیمار شاهد، حد روانی خاک را به ترتیب به مقدار ۲۲، ۸ و ۸ درصد افزایش داد. افزایش حد روانی با افزودن بیوچار در این پژوهش می‌تواند به دلیل ساختار متخلخل بیوچار و جذب زیاد آب توسط آن باشد که می‌تواند باعث افزایش حد روانی خاک شود(Guo *et al.* 2014). همچین در مطالعه Zong *et al.* (2016) کاربرد بیوچار، رطوبت حد خمیری خاک را کاهش داد اما این کاهش در سطوح مختلف نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود. در مطالعه Zong *et al.* (2016) همانند پژوهش حاضر، بیوچار به طور معنی‌داری باعث افزایش شاخص خمیرائی شده است. در مورد اثرگذاری اندازه ذرات بیوچار بر ویژگی‌های مکانیکی خاک اطلاعاتی بسیار اندکی وجود دارد. نتایج یک مطالعه نشان داد که استفاده از بیوچار با اندازه ذرات ۲۱۲-۰/۵ میکرون و سطح کاربرد ۱۰ درصد باعث افزایش بیشتر حد روانی، حد خمیری و شاخص خمیرائی خاک در مقایسه با اندازه ذرات ۴۲۵-۲۱۲ و ۸۵۰-۴۲۵ میکرومتر و سطوح کاربرد ۲ و ۵ درصد بیوچار شد (Ahmed *et al.* 2017). در این مطالعه تنها اندازه ذرات ۲۵۰-۵۳ میکرون بیوچار در سطح کاربرد ۲ درصد توانست باعث افزایش شاخص خمیرائی خاک شود که این می‌تواند به علت تعامل بیش‌تر اندازه ذرات کوچک بیوچار نسبت به اندازه ذرات بزرگ‌تر بیوچار با ماتریس خاک باشد. افزایش شاخص خمیرائی خاک، باعث افزایش محدوده رطوبتی می‌شود که خاک مستعد تراکم است (Mapfumo *et al.* 1998) و می‌تواند بر قابلیت کارپذیری خاک تأثیرات منفی داشته باشد. البته باید توجه داشت که در مطالعه حاضر، این اثر منفی فقط در سطوح مصرف بالا و اندازه ذرات کوچک بیوچار مشاهده شد که با انتخاب اندازه ذرات بیوچار و سطح کاربرد مناسب بیوچار می‌توان از بروز این گونه اثرات منفی بر ویژگی‌های مکانیکی خاک جلوگیری کرد.

نتیجه‌گیری

بیوچار با اثرگذاری بر میزان ماده آلی و قابلیت جذب آب می‌تواند باعث تغییر در ویژگی‌های مکانیکی خاک‌ها شود. در این مطالعه افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش حد روانی و شاخص خمیرائی خاک شد. افزایش شاخص خمیرائی خاک می‌تواند موجب باعث افزایش خطر تراکم‌پذیری خاک شود. اما این اثر منفی بیوچار فقط در سطح کاربرد دو درصد بیوچار با اندازه ذرات ۵۳ تا ۲۵۰ میکرون مشاهده شد. بنابراین ضمن دستیابی به توقف طولانی‌مدت کربن در خاک و مدیریت پایدار پسماندهای بلااستفاده از قبیل هسته زیتون می‌توان احتمالاً با کاربرد سطوح کم‌تر و اندازه ذرات بزرگ‌تر بیوچار از بروز تغییرات نامطلوب بر خاک پیشگیری کرد.

البته قبل از کاربرد بیوچار در مقیاس‌های بزرگ‌تر، تحقیقات بیشتر در مورد اثر اندازه ذرات بیوچار و سطوح کاربرد آن در خاک‌ها با ویژگی‌های متفاوت ضروری به نظر می‌رسد.

فهرست منابع

Ahmed, A., Gariepy, Y., & Raghavan, V. (2017). Influence of wood-derived biochar on the compactibility and strength of silt loam soil. *International Agrophysics*, 31(2), 149.

ASTM (American Society for Testing Materials, US). 1999. Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials (D-1037). *Annual Book of ASTM Standards:* Section 4, Construction, 410.

Blanco-Canqui, H., Lal, R., Post, W. M., Izaurralde, R. C., & Shipitalo, M. J. (2006). Organic carbon influences on soil particle density and rheological properties. *Soil Science Society of America Journal*, *70*(4), 1407-1414.

Campbell, D. J. (2001). Liquid and plastic limits. In *Soil and Environmental Analysis* (pp. 361-388). CRC Press.

Dexter, A. R., & Bird, N. R. A. (2001). Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil and Tillage Research*, *57*(4), 203-212.

Guo, Y., Tang, H., Li, G., & Xie, D. (2014). Effects of cow dung biochar amendment on adsorption and leaching of nutrient from an acid yellow soil irrigated with biogas slurry. Water, Air, & Soil Pollution, 225(1), 1-13.

Hemmat, A., Aghilinategh, N., Rezainejad, Y., & Sadeghi, M. (2010). Long-term impacts of municipal solid waste compost, sewage sludge and farmyard manure application on organic carbon, bulk density and consistency limits of a calcareous soil in central Iran. *Soil and Tillage Research*, *108*(1-2), 43-50.

Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, *158*(3-4), 436-442.

Lu, S. G., Sun, F. F., & Zong, Y. T. (2014). Effect of rice husk biochar and coal fly ash on some physical properties of expansive clayey soil (Vertisol). *Catena*, *114*, 37-44.

McBride, R. A., Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2008). Soil consistency: upper and lower plastic limits. *Soil sampling and methods of analysis. CRC Press, Boca Raton, FL*, 761-781.

Mapfumo, E., & Chanasyk, D. S. (1998). Guidelines for safe trafficking and cultivation, and resistance–density–moisture relations of three disturbed soils from Alberta. *Soil and tillage research*, *46*(3-4), 193-202.

Soane, B. D., Campbell, D. J., & Herkes, S. M. (1972). The characterization of some Scottish arable topsoils by agricultural and engineering methods. *Journal of Soil Science*, *23*(1), 93-104.

Zong, Y., Chen, D., & Lu, S. (2014). Impact of biochars on swell–shrinkage behavior, mechanical strength, and surface cracking of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *177*(6), 920-926.

Zong, Y., Xiao, Q., & Lu, S. (2016). Acidity, water retention, and mechanical physical quality of a strongly acidic Ultisol amended with biochars derived from different feedstocks. *Journal of Soils and Sediments*, *16*(1), 177-190.

Effects of olive kernel biochar on mechanical properties of a silt caly soil

Abbas Shabani Rofchaee[1], Sepideh Abrishamkesh[2], Mohammad Shabanpour[3], Mahmood Fazeli[4]

1- Abbas Shabani Rofchaee: phD student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht

2- Sepideh Abrishamkesh : Assistant professor, Soil Science department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, sabrishamkesh@guilan.ac.ir

3- Mohammad Shabanpour: Associate professor, Soil Science department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht

4- Mahmood Fazeli: Associate professor, Soil Science department, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht

Abstract

The positive effects of biochar on soil fertility crop yield improvementhave been proven. However, the effect of the biochar on soil physical especially mechanical ones has been rarely studied. Therefore, in this study, the effect of applying 1 and 2 weight percent levels of olive kernel biochar in two ranges of particle size of 53-250 and 250-500 microns in a silit clay poor in organic matter was studied. The results of this study showed that the level of 2% of biochar and also biochar with a particle size of 53 to 250 microns compared to the control (without biochar) increased the soil liquid limit. An increase in soil plasticity index was also observed at the level of 2% of biochar with a particle size of 53-250 microns, but other treatments did not show a significant effect. Although such changes in soil mechanical properties as increase of placticity index can have negative effects on the soil workability. However, the results of this study showed that biochars with different particle size and application level does not exert same effect on soil mechanical properties.. Therefore, it is possible to reduce the soil resistance to external tensions such as tillage operations and the passage of machinery by applying a less application rate as well as a coarser particle size.

Keywords: liquid limit, plastic limit, placticity index, workability

تأثیر بافت خاک و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد برنج رقم طاهر

فرید خوش اخلاق*[۱]، صفورا اسدی کپورچال[۲]، سپیده ابریشم‌کش[۲]، مجتبی رضایی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

khoshakhlagh.farid@gmail.com

۲- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

چکیده

کمبود منابع آب یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد محصولات زراعی به‌ویژه برنج است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر بافت خاک و تنش خشکی بر عملکرد برنج رقم طاهر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۲ فاکتور و ۳ تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در شهرستان رشت انجام شد. فاکتور اول بافت خاک در دو سطح لومی و رسی سیلتی و فاکتور دوم آبیاری در پنج سطح غرقاب دائم، اشباع، ظرفیت زراعی (FC)، ۹۰٪ ظرفیت زراعی و ۸۰٪ ظرفیت زراعی بود. پس از طی دوره رشد کل اندام هوایی گیاه به‌صورت دستی برداشت و عملکرد و اجزای آن اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که هرچند تغییرات عملکرد برنج رقم طاهر نسبت به تنش آبی در بافت رسی سیلتی نسبت به بافت لوم کمتر بوده است لیکن در بافت لوم مقدار عملکرد در تمام تیمارها نسبت به خاک رسی سیلتی بیشتر بوده است. در شرایط بحرانی کمبود آب برای استفاده بهینه از منابع آب در بافت رسی سیلتی می‌توان سطح آبیاری را تا رطوبت FC ۸۰٪ و در بافت لوم تا FC ۹۰٪ بدون کاهش عملکرد نسبت به تیمار اشباع کاهش داد.

واژگان کلیدی: بافت خاک، تنش خشکی، عملکرد

مقدمه

گیاهان همواره با تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی که حیات آنها را به خطر می‌اندازد، مواجه هستند. تنش خشکی از جمله تنش‌های غیرزیستی است که تاثیر زیادی در عملکرد و حیات گیاهان دارد و یکی از علل اصلی کاهش عملکرد گیاهان زراعی است (Wang *et al*., 2003). بیش از یک چهارم سطح کره زمین در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارد و طبق یک برآورد حدود یک سوم از اراضی قابل کشت دنیا در شرایط کمبود آب قرار دارند (Kirigwi *et al*., 2004). بنابراین با توجه به این امر وجود تنش خشکی از اهمیت خاصی برخوردار بوده و خشکی به عنوان مهم‌ترین فاکتور کنترل‌کننده عملکرد محصولات زراعی، تقریبا روی کلیه فرآیندهای رشد گیاه تاثیرگذار است (Siddiquee *et al*., 1999). نتایج پژوهشی که بر روی تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت انجام شد نشان داد که افزایش تنش پیش از گلدهی بر عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب بسیار تأثیرگذار بوده است، به طوری که افزایش تنش در این مرحله سبب کاهش شدیدتر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت شد (اکبری نودهی، ۱۳۹۶). در پژوهش دیگری نیز که تأثیر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در مراحل مختلف رشد ارقام گندم انجام شد نتایج نشان داد که تنش در مرحله گل‌دهی حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی بود (بهداد و همکاران، ۱۳۸۸). تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید برنج نیز بوده که می‌تواند در هر زمانی از ابتدای فصل رشد تا گلدهی و پرشدن دانه رخ دهد (Venuprasad *et al*., 2007). تنش خشکی علاوه بر تاثیر بر میزان آب مصرفی با

جلوگیری از انتقال مواد غذایی و املاح به گیاه باعث کاهش تعداد پنجه، سطح برگ، تجمع ماده خشک، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد می‌شود (Rezaei and Nahvi., 2007). با توجه به اینکه احتمال وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی در مقایسه با مرحله رویشی بیشتر است و تنش خشکی به‌ویژه در مرحله زایشی تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد دارد، به طور معمول در ارزیابی ژنوتیپ‌های برنج، تنش خشکی در انتهای فصل بررسی می‌شود (Kumar *et al*., 2006). نتایج پژوهش Pirdashti *et al*.(2004) نشان داد که تنش خشکی در مرحله زایشی و پر شدن دانه، شبب کاهش معنی‌دار تعداد دانه در خوشه، وزن هزاردانه و عملکرد شلتوک شد. در ایران استان‌های شمالی گیلان و مازندران از نواحی اصلی کشت برنج محسوب می شوند که هر ساله با مشکل تنش خشکی به ویژه در اواخر مرحله‌ی گلدهی مواجه هستند. براساس گزارش مرکز پایش و هشدار خشکسالی کشور، در سال ۱۳۹۴ در دو استان گیلان و مازندران به ترتیب ۳۷/۹ و ۴۴/۹ درصد از اراضی تحت تأثیر خشکی خفیف، ۱۹/۲ و ۴۴/۵ درصد خشکی متوسط و ۴/۸ و ۹/۳ درصد تحت تنش خشکی شدید قرار داشتند (اسدی و همکاران، ۱۳۹۵).

کـم آبیاری یک روش اضطراری آبیاری در شرایط کـم آبـی نیست، بلکه یک نوع مدیریت کارا و پویای بهره‌برداری از منابع آب به‌شمار می‌رود و آثار ویژه‌ای در مدیریت استحصال، انتقال و مصرف آب و در نهایت بر مدیریت اقتـصادی دارد. هدف اصلی از اجرای کم آبیاری، افزایش راندمان و کارایی مصرف آب، از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت و یا حذف آبیاری‌هایی است که کمترین بازدهی را دارند (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵).

بافت خاک با تأثیری که بر دسترسی و نگهداشت مقدار آب خاک دارد رشد گیاه و جذب عناصر غذایی را تحت تأثیر قرار می دهد (Staff. 1999). براساس یافته های هادسون hudson (1994) زمانی‌که محتوای مواد آلی خاک از ۰/۵ تا ۳ درصد افزایش یابد، ظرفیت آب قابل استفاده خاک بیش از دو برابر می‌شود. با توجه به یافته‌های Alhaj hamoud *et al*.(2019) پاسخ ریشه‌ها، ساقه‌ها، تجمع پتاسیم و کارایی مصرف پتاسیم در برنج به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر بافت خاک و رژیم‌های آبیاری قرار داشته است. با توجه به کمبود آب در کشور و بروز خشکسالی در سال‌های اخیر پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر بافت خاک و تنش خشکی بر میزان عملکرد برنج رقم طاهر انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر بافت خاک و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد برنج رقم طاهر به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۲ فاکتور و ۳ تکرار در زیر شلتر در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در شهرستان رشت، در سال زراعی ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتور اول بافت خاک شامل دو سطح لومی و رسی سیلتی و فاکتور دوم آبیاری در پنج سطح غرقاب دائم، اشباع، ظرفیت زراعی، ۹۰٪ ظرفیت زراعی و ۸۰٪ ظرفیت زراعی بود. برای جلوگیری از ورود باران به گلدان‌ها سقف شلتر با پلاستیک روشن پوشانده شد. گلدان‌های مورد استفاده در این پژوهش به ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر و قطر ۲۴/۵ سانتی‌متر بود. برای جلوگیری از افزایش دما نیز اطراف شلتر کاملاً باز گذاشته شد تا هوا به راحتی در جریان باشد. ابتدا جرم ویژه ظاهری هر دو خاک به روش کلوخه و پارافین (Blake and Hartge., 1986) برای مشخص شدن مقدار خاک مورد نیاز برای هر گلدان اندازه‌گیری شد. سپس رطوبت در حد اشباع خاک‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین رطوبت FC[1] نیز توسط صفحات فشاری (klute, 1986) برای اعمال سطوح مختلف آبیاری محاسبه گردید. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder., 1986) اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری کربن آلی خاک به روش اکسید کردن با اسید سولفوریک غلیظ در مجاورت دی کرومات پتاسیم (Nelson and Sommers., 1996) انجام شد. نیتروژن کل با استفاده از دستگاه کجلدال، فسفر قابل جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم قابل جذب خاک نیز با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر درخاک‌های مورد مطالعه اندازه‌گیری شد.

پس از آماده‌سازی گلدان‌ها سه عدد نشاء که در شرایط معمولی آماده شده بود در گلدان‌ها کشت و تیمارهای تنش خشکی دو هفته پس از کاشت نشاء اعمال شد. پس از طی دوره رشد و در پایان فصل رشد کل اندام هوایی گیاه به صورت دستی برداشت و

[1] Field Capacity

برای اندازه‌گیری عملکرد و اجزای عملکرد به آزمایشگاه منتقل شد. تعداد خوشه، تعداد پنجه و ارتفاع گیاه در هرگلدان اندازه‌گیری شد. برای به‌دست آوردن عملکرد، خوشه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون خشک شده و وزن خشک دانه‌ها بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد با استفاده از ترازویی با دقت یک صدم گرم به عنوان عملکرد (برحسب گرم) تعیین شد. وزن خشک کاه نیز با ترازوی با دقت یک صدم گرم اندازه‌گیری شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی در محیط نرم افزار SPSS و رسم نمودارها در محیط اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر اثر بافت خاک و تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم طاهر بررسی شد. برخی ویژگی‌های خاک‌های مورد استفاده در پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول شماره ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه

بافت خاک	OC ٪	ازت کل ٪	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	FC ٪	Sand ٪	Silt ٪	Clay ٪	θs ٪	ρb (gr/cm^3)
SiC	۲/۱۴	۰/۱۷	۳۳/۲	۲۶۳	۵۵/۹۵	۴	۴۴	۵۲	۷۳	۱/۲۰
Loam	۳/۹۸	۰/۳۹	۱۸/۳	۱۵۸	۴۸/۶۷	۳۶	۴۶	۱۸	۶۶	۱/۱۱

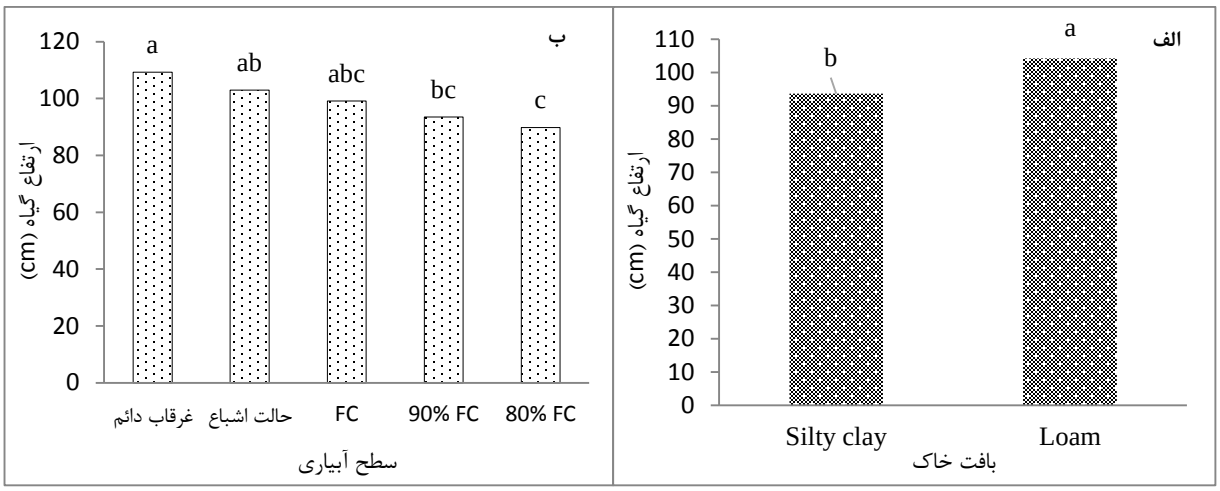
نتایج تجزیه واریانس عوامل مورد مطالعه بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم طاهر در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اثر بافت خاک بر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی دار شده که با نتایج Dou *et al.*(2016) همخوانی دارد. اثر آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع گیاه و عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار بوده لیکن بر تعداد خوشه و تعداد پنجه معنی‌دار نمی‌باشد. اثر متقابل بافت خاک و آبیاری بر تمامی صفات به‌جز ارتفاع گیاه معنی‌دار است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر بافت خاک ، آبیاری و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم طاهر

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع گیاه (cm)	وزن خشک اندام هوایی (gr)	تعداد پنجه	تعدادخوشه	عملکرد (gr/pot)
بافت خاک	۱	۸۴۲/۷۰**	۲۳۷/۲۲**	۶۴/۵۳**	۴۰/۸۳**	۲۳۲/۴۱**
آبیاری	۴	۳۵۵/۶۲**	۳۲/۷۰**	۲/۹۲^{ns}	۲/۳۷^{ns}	۷۳/۶۷**
بافت خاک× آبیاری	۴	۳۱/۶۲^{ns}	۱۰/۳۵**	۵/۶۲**	۴/۸۳**	۱۶/۵۲**
خطای آزمایش	۱۸	۳۸/۶۰	۲/۵۸	۱/۲۰	۱/۶۹	۳/۴۵

^{ns}، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح پنج درصد و معنی‌دار در سطح یک درصد

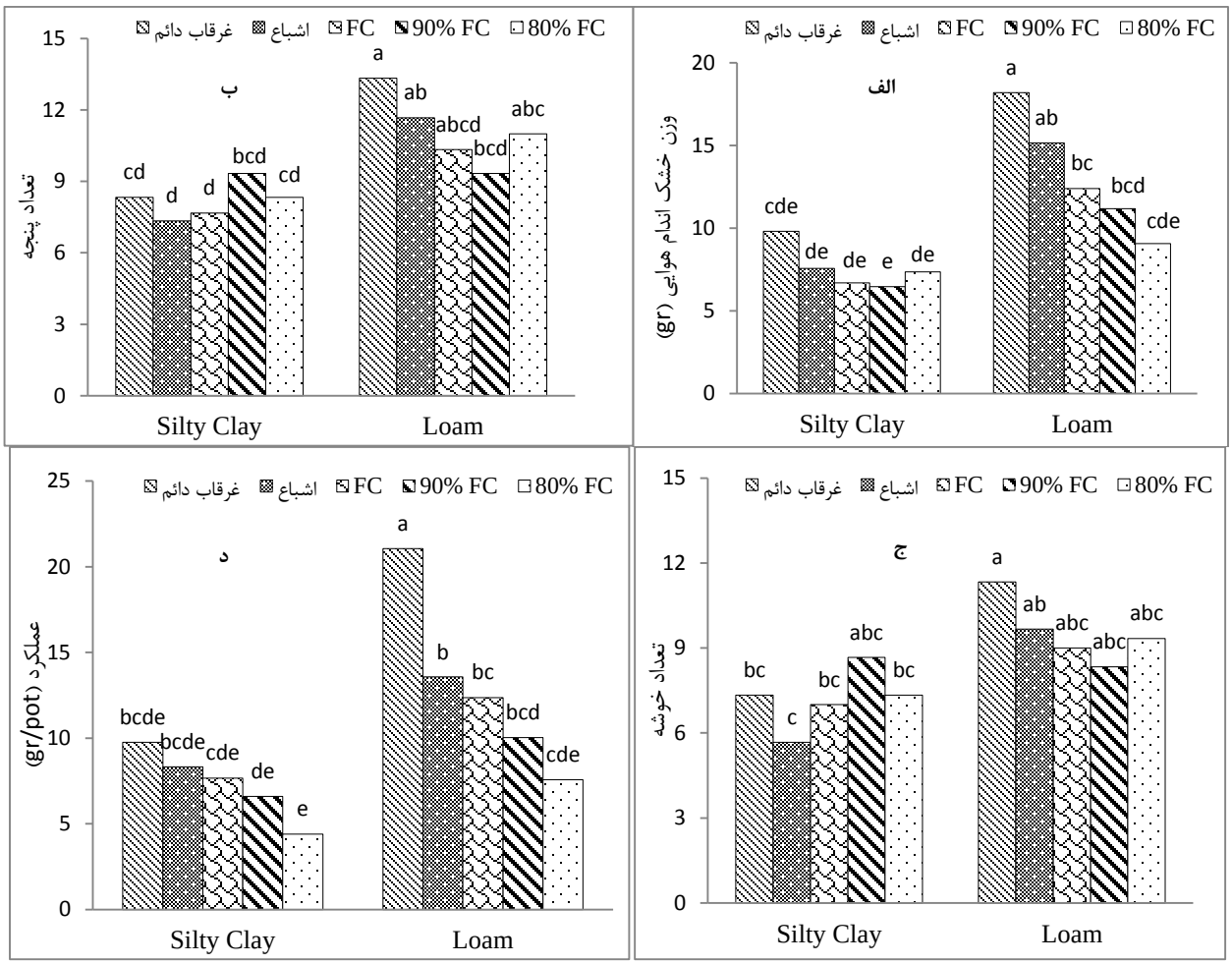
نظر به اینکه اثر متقابل بافت خاک × آبیاری بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نبوده، لذا مقایسه میانگین‌ها برای اثر ساده بافت خاک و آبیاری بر ارتفاع گیاه انجام شد که در شکل ۱ ارائه شده است، همانطور که مشاهده می‌شود اختلاف ارتفاع گیاه در بافت لوم و رسی سیلتی معنی‌دار است (شکل ۱-الف). همچنین اثر ساده آبیاری بر ارتفاع گیاه (شکل ۱-ب) نشان‌دهنده آن است که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای غرقاب دائم، اشباع و FC وجود ندارد لیکن با اندک اختلافی بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار غرقاب دائم و کمترین ارتفاع برای تیمار FC ۸۰٪ بوده است.



شکل ۱- اثر بافت خاک و سطوح مختلف آبیاری بر ارتفاع گیاه

مقایسه میانگین برهم‌کنش بافت خاک و آبیاری بر سایر صفات مورد بررسی در شکل ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی به ترتیب در تیمارهای غرقاب دائم خاک لوم و FC ۹۰٪ خاک رسی سیلتی به‌دست آمده است. همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای خاک رسی سیلتی و تیمارهای FC ۹۰٪ و FC ۸۰٪ خاک لوم وجود ندارد (شکل ۲-الف). برهم کنش بافت خاک و آبیاری بر تعداد پنجه در شکل ۲-ب بیانگر آن است که بیشترین مقدار تعداد پنجه در تیمار غرقاب دائم بافت لوم بوده است. اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای بافت رسی سیلتی وجود ندارد لیکن با اندک اختلافی کمترین مقدار تعداد پنجه در تیمارهای اشباع، FC بافت رسی سیلتی به‌دست آمده است. همچنین بین تیمارهای FC و FC ٪۹۰ بافت لوم و تیمارهای بافت رسی سیلتی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. به طور کلی تعداد پنجه در بافت لوم بیشتر از بافت رسی سیلتی بوده است.

برهم‌کنش بافت خاک و آبیاری بر تعداد خوشه در شکل ۲-ج ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در هر دو بافت بین تیمارهای مختلف آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود نداشته است. بیشترین تعداد خوشه مربوط به تیمار غرقاب دائم بافت لوم بوده که با نتایج پژوهش خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۹) که بر روی برنج رقم آنام انجام شده بود همخوانی دارد. شکل ۲-د برهم‌کنش بافت خاک و آبیاری را بر عملکرد نشان می دهد. بیشترین مقدار مربوط به تیمار غرقاب دائم بافت لوم بوده که با نتایج خوش اخلاق و همکاران (۱۳۹۹) بر روی رقم آنام همخوانی داشته است. در پژوهش حاضر کمترین مقدار عملکرد نیز مربوط به تیمار FC٪۸۰ بافت رسی سیلتی بوده است. همچنین اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای مختلف بافت رسی سیلتی با تیمار FC٪۸۰ بافت لوم وجود ندارد. کاهش عملکرد در رژیم‌های دارای تنش آبی در پژوهش hamoud *et al.*(2019) مشاهده شد که با نتایج بدست آمده در این پژوهش نیز همخوانی دارد.



شکل ۲- اثر برهم‌کنش بافت خاک و آبیاری بر صفات مورد بررسی

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اثر بافت خاک بر تمام صفات در سطح یک درصد معنی دار است. اثر آبیاری بر ارتفاع گیاه، وزن خشک اندام هوایی و عملکرد در سطح یک درصد معنی دار بوده لیکن بر تعداد خوشه و تعداد پنجه معنی‌دار نبود. اثر متقابل بافت خاک و آبیاری بر روی تمام صفات مورد بررسی به‌جز ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار عملکرد به ترتیب مربوط به تیمارهای غرقاب دائم بافت لوم و ۸۰٪FC بافت رسی سیلتی بوده است. در نهایت بر اساس نتایج به‌دست آمده هرچند که تغییرات عملکرد دانه برنج رقم طاهر نسبت به تنش آبی در بافت رسی سیلتی معنی‌دار نبوده و نسبت به بافت لوم کمتر بوده است لیکن در بافت لوم مقدار عملکرد در تمام تیمارها نسبت به خاک رسی سیلتی بیشتر بوده است. در شرایط بحرانی و کمبود آب برای استفاده بهینه از منابع آب در بافت رسی سیلتی می‌توان سطح آبیاری را تا رطوبت ۸۰٪ FC و در بافت لوم تا ۹۰٪ FC بدون کاهش عملکرد نسبت به تیمار اشباع کاهش داد.

فهرست منابع

اسدی، ر. علیزاده، ا. انصاری، ح. کاوسی، م. امیری، ا. (۱۳۹۵).تاثیر مقادیر آب و نیتروژن مصرفی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی ۳۰(۲).۱۴۵-۱۷۵.

اکبری نودهی، داوود. (۱۳۹۶). تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت. مدیریت آب و آبیاری ۷(۲): ۳۱۸-۳۰۵.

بهداد، م. پاک‌نژاد، ف.، وزان، س. اردکانی، م.ر. نصری، م. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در مراحل مختلف رشد ارقام گندم. مجله تنش‌های محیطی در علوم گیاهی ۱ (۲): ۱۵۷-۱۴۳.

سپاسخواه، ع.ر. توکلی، ع.ر. موسوی، ف. (۱۳۸۵). اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۱۰.

خوش اخلاق، ف. اسدی کپورچال، ص. ابریشم‌کش، س. رضایی، م. (۱۳۹۹). تأثیر بافت خاک و تنش خشکی بر عملکرد برنج رقم آنام. دومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست محیطی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری. ۷-۱.

Alhaj Hamoud, Y., Wang, Zh., Guo, X., Shaghaleh, H., Sheteiwy, M., Chen, Sh., Qiu, R. and Elbashier, M.M.A. (2019). Effect of Irrigation Regimes and Soil Texture on the Potassium Utilization Efficiency of Rice. Agronomy, 9(2), 1-17.

Blake, G.R., and Hartge, K.H. (1986). Bulk density. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed. Agronomy, 9: 363-382.

Dou, F. G., Soriano, J., Tabien, R. T. and Chen, K. (2016). Soil Texture and Cultivar Effects on Rice (Oryza sativa, L.) Grain Yield, Yield Components and Water Productivity in Three Water Regimes. PLoS ONE 11(3): e0150549.

Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle-Siz analysis. In: Methodes of soil Analysis, Part 1, Phsical and Mineralogical Methods, Klute A(ED.). Agronomy Monograph NO. 9(2nd edn). American Society of Agronomy, Madison, WI, 383-411.

Hamoud, Y,A., Guo, X., Wang, Z., Shaghaleh, H., Chen, SH., Hassan, A., Bakour, A. (2019). Effects of irrigation regime and soil clay content and their interaction on the biological yield, nitrogen uptake and nitrogen-use efficiency of rice grown in southern China. Agricultural Water Management, 213: 934–946.

Hudson, B.D. (1994). Soil organic-matter and available water capacity. Journal of Soil and Water Conservation, 49: 189–194.

Kirigwi, FM., Van Ginkel, M., Trethowan, RG., Sears, RG., Rajaram, S., Paulsen, M. (2004). Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. Euphytica, 135: 361-371.

Klute, A. (1986). Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. SSSA Book Ser. 5.1. SSSA, ASA, Madison, WI.

Kumar, R., Sarawgi, A.K., Ramos, C., Amarante, S.T., Ismail, A.M and Wade, L.J. (2006). Partitioning of dry matter during drought stress in rainfed lowland rice. Field Crop Research, 98: 1–11.

Nelson, D.W. and Sommers, L.E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter, 961-1010. In D.W. Nelson, et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 3, Chemical methods. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.

Pirdashti, H., Sarvestani, Z.T., Nematzadeh, G. and Ismail, A. (2004). Study of water stress effects in different growth stage on yield components of different rice (Oryza sativa L.) cultivars. New directions for a diverse planet: Proceeding of 4th International Crop Science Congress. Brisbane, Australia.

Rezaei, M., Nahvi, M. (2007). Effect of different irrigation management methods on water use efficiency and rice yield. Agriculture Science 1: 15-25.

Siddique, MRB., Hamid, A., Islam, MS. (1999). Drought stress effects on photosynthetic rate and leaf gas exchange of wheat. Botanical Bulletin-Academia Sinica, 40:141-145.

Staff, S.S. Soil Taxonomy, 2rd ed.; Agriculture Handbook 436; USDA-NRCS: Washington, DC, USA, (1999). p. 869.

Venuprasad, R., Lafitte, H., Atlin, G. (2007). Response to direct selection for grain yield under drought stress in rice. Crop Sci, 47:285-293.

Wang, W., Inocur, B., Altman, A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperature: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, 218:1-14.

Effect of soil texture and different irrigation levels on yield of rice, cultivar Taher

Farid Khoshakhlagh[1*], Safoora Asadi Kapourchal[2], Sepideh Abrishamkesh[2] and Mojtaba Rezaei[3]

[1]MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran.
[2]Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran.
[3]Research Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

Corresponding author: khoshakhlagh.farid@gmail.com

Abstract

Deficit of water resources is one of the most important factors for reducing the crops yield, especially rice. The objective of this study was to investigate the effect of soil texture and drought stress on rice yield of Taher cultivar. For this purpose, a factorial experiment based on completely randomized design was conducted with 2 factors and 3 replications at the Rice Research Institute of Iran. The first factor was soil texture in two levels of loam and silty clay and the second factor was irrigation in five levels of full flooding, saturation, field capacity (FC), 90%FC and 80%FC. After the growth period, the whole shoot of the plant was harvested and yield and yield components were measured. The results showed that although the yield changes of Taher cultivar in silty clay texture were less than loam texture, but in loam texture the yield in all treatments was higher than silty clay texture. In critical conditions of water scarcity for optimal use of water resources in silty clay texture, the irrigation level can be reduced to 80% FC and in loam texture to 90% FC without reducing yield compared to saturation treatment.

Keywords: Drought stress, Soil texture, Yield

تعیین توزیع شاخص‌های ساختمان خاک به دو روش کریجینگ و IDW در منطقه خانقاه نمین

زهرا کریم زاده[۱] ، حسین شهاب آرخازلو[۲]، علی اشرف سلطانی طولارود[۳]، شکراله اصغری[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
z.karimzadeh97@gmail.com

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

چکیده

ساختمان خاک از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک می‌باشد که به شدت تحت تاثیر عوامل مدیریتی قرار می‌گیرد. MWD خشک و تر، GMD و SI مهم‌ترین شاخص‌های کمی مورد استفاده برای بررسی پایداری ساختمان خاک می‌باشند. در این مطالعه به منظور تعیین توزیع ساختمان خاک در سطح منطقه خانقاه نمین، ۷۲ نمونه خاک تهیه شد و شاخص‌های ساختمان خاک تعیین گردید. سپس با استفاده از دو روش درونیابی کریجینگ و IDW نقشه توزیع این شاخص‌ها در سطح منطقه تهیه شد. مشاهده شد همبستگی معنی‌داری بین برآوردها با مقادیر اندازه‌گیری شده وجود ندارد. بنابراین IDW و کریجینگ کارایی لازم برای برآورد شاخص‌های ساختمان خاک را نداشتند.

واژگان کلیدی: شاخص ساختمان خاک، کریجینگ، وزن‌دهی فاصله معکوس، مدل واریوگرام

مقدمه

ساختمان خاک بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیرگذار بوده و از جمله مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز به شمار می‌رود (Annabi et al, 2007). ساختمان خاک به طور مستقیم بر بسیاری از ویژگی‌های خاک ازجمله مقدار و چگونگی حرکت آب در خاک، گرما و تهویه، انتشار عناصر غذایی و اندازه‌ی منافذ تأثیر دارد. فرسایش خاک به میزان زیادی تحت تأثیر پایداری ساختمان و پایداری خاکدانه‌های آن است (Kay, 2000). در واقع پایداری ساختمان خاک مترادف با پایداری خاکدانه‌های خاک درنظر گرفته می‌شود. پایداری ساختمان خاک عبارت است از توانایی خاک برای مقاومت در برابر نیروهای فرساینده و بازسازی پس از تخریب (Tongway and Hindley, 2004). روش‌ها و شاخص‌های زیادی برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک پیشنهاد شده است که بسته به نوع نیروی فرساینده و هدف از آزمایش یا پژوهش، از یک یا ترکیبی ازآن‌ها استفاده می شود. به طور مثال برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک در برابر نیروی فرساینده باد (فرسایش بادی)، ازروش الک خشک استفاده می‌شود. درصورتی که برای ارزیابی اثر نیروهای فرساینده آب (فرسایش آبی) از روش الک تربهره‌گیری می‌شود (Kemper and Rosenau, 1986). همچنین می‌توان از ویژگی‌هایی مثل میانگین هندسی قطر (GMD) و شاخص پایداری (SI) نیزبرای بیان ساختمان خاک بهره گرفت. پایداری خاکدانه‌های خاک به عنوان شاخص کلیدی برای ارزیابی ساختمان، کیفیت و سلامت خاک در نظر گرفته می‌شود (Herrick et al, 2001). مدیریت پایدار اکوسیستم مستلزم شناخت و ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی در خصوصیات خاک به منظور بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع می‌باشد که از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مدیریت پایدار اکوسیستم، حفظ کیفیت خاک آن اکوسیستم می‌باشد. لذا شناخت شاخص‌های ساختمان خاک می‌تواند کمک شایانی در نوع تصمیمات مدیریتی و اجرایی پروژه‌های مختلف زیست محیطی داشته باشد (Chenget al, 2006). در ارتباط با مطالعه‌ی خصوصیات خاک و بررسی تغییرپذیری مکانی و زمانی آن، مطالعات و تحقیقات گسترده ای در دنیا صورت گرفته است. مطالعات شیرانی و همکاران (۱۳۹۴) برای ارزیابی برخی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از زمین آمار در منطقه بافت کرمان در ۱۸۳ نقطه و تهیه

نقشه‌های کریجینگ، حاکی از ارزیابی قابل قبول این تکنیک در پهنه‌بندی تغییرات کیفی خاک بود. پیری صحراگرد و پیری (۱۳۹۵) با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک در شهرستان خاش به این نتیجه رسیدند که خصوصیات مرتبط با خاک درصد شن، رس و سیلت (دارای ساختار مکانی قوی هستند و بالا بودن مقدار خطا و اریب برآوردها نشان می‌دهد که به علت بالا بودن مقدار اثر قطعه‌ای و ضعیف بودن ساختار مکانی، کریجینگ نتوانسته بر اساس مدل برازش شده برای برخی متغیرها برآورد صحیحی انجام دهد. با توجه به نتایج سوابق تحقیق ملاحظه می شود که در زمینه تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک مطالعات دقیقی انجام شده است. با این حال بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های ساختمان خاک در منطقه خانقاه نمین استان اردبیل انجام نشده است. از آنجا که تکنیک زمین آمار در بیشتر مطالعات پروژه‌های مرتبط با خاک تخمین‌گر مناسبی بوده است، لازم است تا مطالعه ساختمان خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در کیفیت خاک در این منطقه مورد بررسی قرار گیرد. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های ساختمان خاک به دو روش درونیابی کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس(IDW) و مقایسه بین آن‌هاست.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه‌ای به مساحت حدود ۲۰۸ هکتار در اطراف روستای خانقاه شهرستان نمین واقع در استان اردبیل انجام شد. منطقه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و ۳۶ ثانیه طول شرقی قرار دارد. میانگین دما و بارندگی این منطقه به ترتیب ۹/۴ درجه سانتی گراد و ۲۹۱ میلی‌متر می‌باشد. به منظور انجام این تحقیق، در فصل پاییز نمونه برداری از خاک منطقه به روش شبکه بندی منظم و با فواصل حدود ۲۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه انجام شد که به این ترتیب از ۷۲ نقطه نمونه‌های خاک تهیه شد. از شاخص‌های ساختمان خاک ۴ ویژگی میانگین وزنی قطر(MWD) به دو روش تر و خشک (Kemper and Rosenau, 1986)، میانگین هندسی قطر(GMD) (برزگر،۱۳۸۰) و شاخص پایداری (SI) (Pieri, 1992) محاسبه شد. در این پژوهش، پارامترهای آماری (شامل بیشینه، کمینه، میانگین، چولگی، کشیدگی، واریانس و ضریب تغییرات داده‌ها) با استفاده از نرم افزار محاسبه و ارزیابی شدند. هم چنین، توزیع داده‌ها در SPSS19 به دو روش هیستوگرام و بررسی چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت و در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از تبدیل لگاریتمی و یا ریشه‌ی دوم استفاده شد. در روش IDW برای هر یک از نقاط اندازه‌گیری، وزنی بر اساس فاصله بین آن نقطه تا موقعیت نقطه مجهول در نظر می‌گیرد. سپس این اوزان توسط توان وزن‌دهی کنترل می‌شود، به طوریکه توان‌های بزرگ‌تر اثر نقاط دورتر از نقطه مورد تخمین را کاهش داده و توان‌های کوچک‌تر وزن را به طور یکنواخت‌تری بین نقاط همجوار توزیع می‌کند که در این پژوهش برای استخراج نقشه ها از توان ۲ استفاده شد. این روش بدون توجه به موقعیت و آرایش نقاط فقط فاصله آن‌ها را در نظر می‌گیرد (Davis, 1989). به منظور تشریح پیوستگی مکانی متغیرها، واریوگرام تجربی داده‌ها با استفاده از نرم افزار زمین آماری GS+ تعیین و با استفاده از واریوگرام، پارامترهایی مثل حدآستانه، دامنه و اثر قطعه‌ای تعیین شد و بهترین مدل واریوگرام با توجه به اطلاعات واریوگرام انتخاب شد. در روش کریجینگ پس از اندازه‌گیری مقدار متغیر برای نمونه‌های متعدد همراه با در نظر گرفتن موقعیت آنها، مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده نیز با توجه به موقعیت فاصله آنها و فاصله‌ای که با نقاط معلوم دارند برآورد می‌گردد. این امر در عمل با رسم واریوگرام که در واقع بیانگر ساختار واریانس نمونه‌های معلوم برداشت شده نسبت به فواصل آن‌ها می‌باشد و ساختار تغییرپذیری نسبت به فاصله مکانی یا زمانی را نشان می‌دهد، صورت می‌گیرد (حسنی پاک،۱۳۸۹). در نهایت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقشه توزیع شاخص‌های ساختمان خاک با استفاده از روش‌های زمین آماری کریجینگ و IDW استخراج شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از پارامتر های آماری شاخص‌های ساختمان خاک در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول۱- ویژگی های آماری متغییرهای اندازه‌گیری شده

ویژگی	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
MWD تر	mm	۰/۷۷	۵/۴	۳/۱۴	۰/۸۵	-۰/۲	۰/۱۹
MWD خشک	mm	۳/۶۹	۵/۷۸	۴/۶۴	۰/۴۸	۰/۲۲	-۰/۷۱
GMD	mm	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۴۲	۰/۰۲۸	۱/۶۲	۳/۱۱
SI	٪	۱/۶۲	۱۴/۲۱	۴/۹۴	۲/۲	۱/۳۷	۳/۵۸

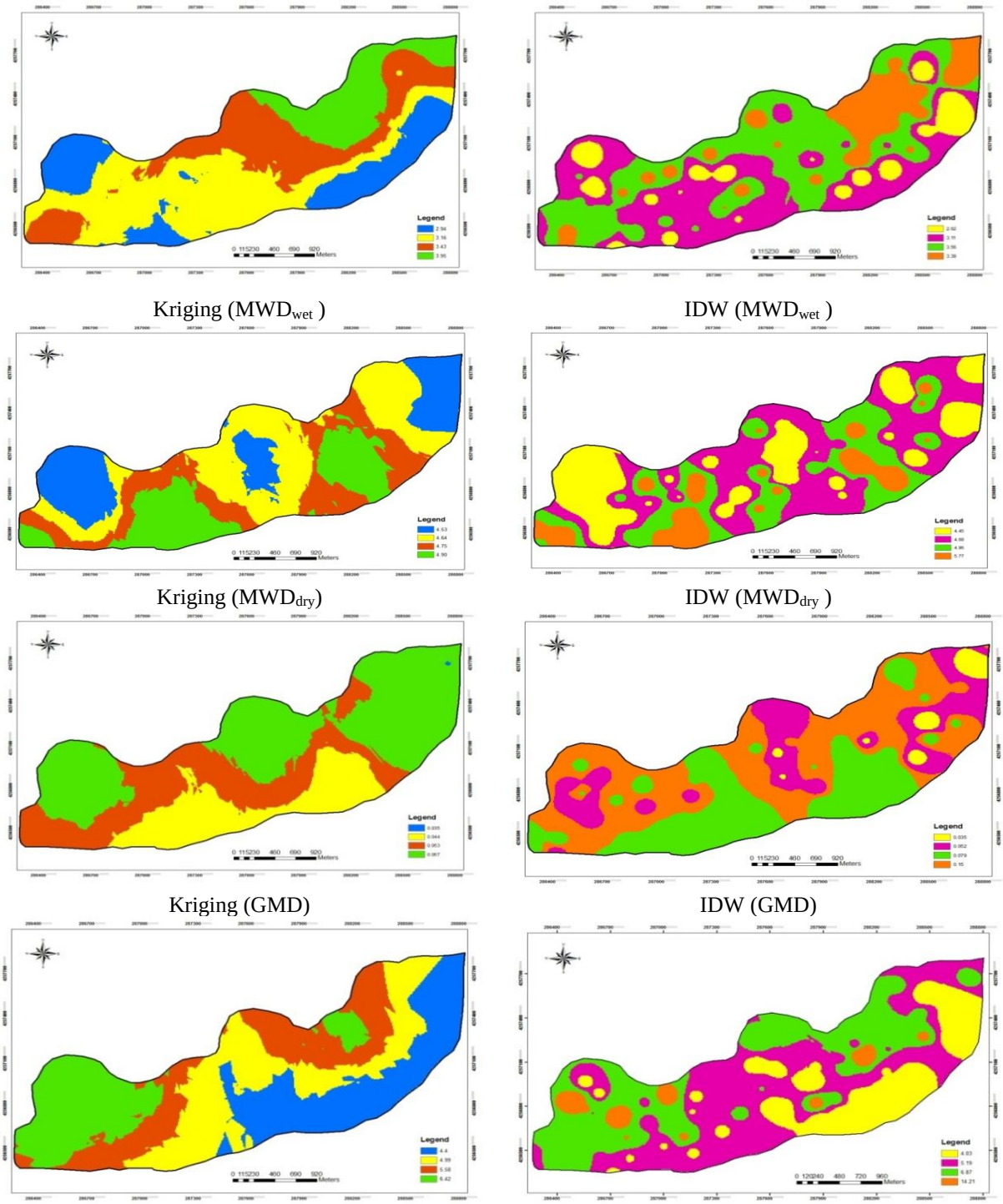
مشاهده می‌شود شاخص SI و شاخص GMD به ترتیب بیشترین و کمترین ضریب تغیرات را به خود اختصاص داده اند. برای تعیین توزیع شاخص‌های ساختمان خاک در سطح منطقه مورد مطالعه نقشه توزیع ساختمان خاک منطقه با دو روش IDW و کریجینگ تهیه شد. به‌منظور تعیین توزیع شاخص‌های کیفیت خاک در سطح منطقه به روش درونیابی کریجینگ ابتدا واریوگرام منفرد شاخص‌های ساختمان خاک به طور جداگانه محاسبه شد. از بین مدل‌های مختلف کروی، نمایی، گوسی و خطی برازش داده شده به واریوگرام، بهترین‌ترین مدل انتخاب شد. به این ترتیب که مدل انتخابی کمترین مجموع مربعات خطا (RSS) و بیشترن ضریب تبیین را دارا بود همچنین اثر قطعه‌ای پایینی داشت. در تحلیل‌های زمین آماری پایین بودن اثر قطعه‌ای به برآورد دقیق‌تر کمک می‌کند (نائبی، ۱۳۹۳). نسبت اثر قطعه‌ای به سقف واریوگرام $\frac{C}{C_0+C}$ نشان می‌دهد که چه مقدار از کل تغییرات را اثر قطعه‌ای توجیه می‌کند. در جدول شماره ۹ ، C_0 بیان کننده اثر قطعه ای، C_0+C سقف واریوگرام یا آستانه، A_0 دامنه یا شعاع تاثیر مناسب ترین مدل برازش داده شده بر شاخص‌های سلامت خاک است و مناسب‌ترین مدل واریوگرام هر شاخص ارائه شده است. با توجه به جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود که دامنه تاثیر دو شاخص MWD تر و GMD باهم و دو شاخص MWD خشک و SI باهم برابر است. همچنین بیشترین اثر قطعه‌ای و کمترین ضریب تبیین را شاخص SI به خود اختصاص داده است. شاخص GMD دارای کمترین اثر قطعه‌ای و بیشترین ضریب تبیین در بین سایر شاخص‌ها است. در نتیجه شاخص GMD می‌تواند برآورد بهتری از ساختمان خاک نسبت به سایر شاخص‌ها باشد.

جدول۲- مدلهای برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی منفرد و خلاصه‌ای از اطلاعات زمین‌آماری

فاکتور	مدل	اثر قطعه ای C_0	آستانه C_0+C	نسبت همبستگی مکانی $\frac{C}{C_0+C}$	دامنه تأثیر، متر A_0	ضریب تبیین R^2
MWD تر	نمایی	۰/۶۳۵	۱/۲۷۱	۰/۵	۵۱۱۰	۰/۳۳۴
MWD خشک	خطی	۰/۲۳۲۴۳	۰/۲۳۲۴۳	۰	۲۰۹۱/۸۵	۰/۰۹۱
GMD	کروی	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۱۳۷	۰/۵۳۳	۵۱۱۰	۰/۵۳۵
SI	خطی	۴/۹۷۷	۴/۹۷۷	۰	۲۰۹۱/۸۵	۰/۰۰۳

با استفاده از مدل‌های واریوگرام انتخاب شده نقشه‌های شاخص‌های سلامت خاک با استفاده از روش درونیابی نقطه‌ای کریجینگ تهیه شد. همچنین با استفاده از روش درونیابی IDW نقشه شاخص‌های ساختمان خاک منطقه تهیه شد و با روش کریجینگ مقایسه گردید. پس از تهیه نقشه‌ها با دو روش، ساختمان خاک منطقه در چهار کلاس طبقه‌بندی شده که در شکل شماره ۱ ارائه شده است. با توجه به شکل شماره ۱ در نقشه‌های خروجی به روش کریجینگ شاخص‌های ساختمان خاک SI و GMD در قسمت شمال غربی کمترین مقدار را دارا بودند. MWD تر و SI در قسمت‌های جنوب شرقی بیشترین مقدار و GMD و MWD تر در قسمت‌های شمالی دارای مقدار حداقل بودند. بطور کلی روند تغییرات شاخص SI از جنوب شرقی تا شمال غربی نزولی است. در

روش IDW مبنا فقط فاصله است و سایر اطلاعات زمین آماری دخیل نیست به همین دلیل نقشه‌ها حالت شعاعی دارند و نمی-توان روند خاصی را در کل منطقه دید (Davis, 1989). در نقشه هر دو روش IDW و کریجینگ شاخص‌های ساختمان خاک محل کمترین و بیشترین مقدار تقریبا مشابه برآورد شده است.



شکل۱- نقشه درون یابی به روش کریجینگ و وزن دهی بر مبنای عکس فاصله

به منظور مقایسه کارایی روش‌های درونیابی در برآورد شاخص‌های ساختمان خاک، مقادیر برآورد شده شاخص‌ها توسط IDW و کریجینگ در نقاط نمونه‌برداری استخراج گردید و همبستگی بین مقادیر تعیین۴ شاخص در نمونه‌های خاک و مقادیر برآورد شده توسط IDW و کریجینگ محاسبه شد که در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳- همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده شاخص های ساختمان خاک

	کریجینگ	IDW
MWD تر	-۰/۱۰۴^{ns}	-۰/۲۸ ^{ns}
MWD خشک	۰/۰۱^{ns}	۰/۱۸۷ ^{ns}
GMD	۰/۰۴۸ ^{ns}	۰/۰۹۲ ^{ns}
SI	۰/۰۶۱^{ns}	۰/۱۱۳^{ns}

** : همبستگی معنی دار در سطح یک درصد *: همبستگی معنی دار در سطح پنج درصد **ns: همبستگی معنی دار نیست**

نتایج نشان می‌دهد که بطور کلی همبستگی مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با روش درونیابی IDW نسبت به روش کریجینگ بیشتر است. این در حالی است که همبستگی‌ها در هر دو روش معنی‌دار نیست. این امر نشان می‌دهد هرچه روش‌های کریجینگ و IDW برای تعیین توزیع ویژگی‌های مختلف خاک مانند ماده آلی (جهاندیده و همکاران، ۱۳۸۸)، بافت، آهک و عناصری مثل مس، روی، آهن (سرمدیان و تقی‌زاده، ۱۳۸۸) به طور گسترده استفاده شده است، اما این روش‌ها کارایی لازم را جهت برآورد شاخص‌های ساختمان خاک نداشتند.

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های ساختمان خاک به دو روش درونیابی کریجینگ و وزن‌دهی فاصله معکوس(IDW) و مقایسه بین آن‌ها بود. نتایج نشان داد که بین برآوردها یا مقادیر اندازه‌گیری شده همبستگی معنی‌داری وجود نداشت به همین دلیل IDW و کریجینگ کارایی لازم را جهت برآورد شاخص‌های ساختمان خاک نداشتند.

فهرست منابع

۱- برزگر، ع. ا. (۱۳۸۰) . فیزیک خاک پیشرفته .چاپ اول، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

۲- پیری صحراگرد، حسین، و پیری، جمشید .۱۳۹۵ . تحلیل ساختار مکانی برخی از خصوصیات خاک با استفاده از، روش زمین آمار(مطالعه موردی :مراتع غرب تفتان، شهرستان خاش)، نشریه علمی پژوهشی مرتع، ۱۰(۲)، ۲۳۶-۲۲۴

۳- جهاندیده مهجن آبادی، و. کرمی، ع. موسوی، ر. اسدی رحمانی، ه. (۱۳۹۶). بررسی پراکنش مکانی شاخص‌های بیولوژیک کیفیت خاک در مزارع گندم دشت پاسارگاد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۱(۴): ۱۲۱۵-۱۲۳۱

۴- سرمدیان، ف. تقی‌زاده مهرجردی، ر. (۱۳۸۸). مقایسه روش های درونیابی جهت تهیه نقشه خصوصیات کیفی خاک مطالعه موردی (مزرعه دانشکده کشاورزی). مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۰(۲): ۱۵۷- ۱۶۵

۵- شیرانی، حسین، حبیبی، مطهره، کمالی، اردوان، اسفندیارپور بروجنی، عیسی .۱۳۹۴ . ارزیابی برخی شاخصهای کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از سنجش از دور و زمین آمار در منطقه بافت کرمان، مجله الکترونیک مدیریت خاک و تولید پایدار، دوره5 ، شماره ۱، ص۱۵۹-۱۷۲

۶- حسنی پاک، ع. (۱۳۸۹) . زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات داتشگاه تهران، ۳۱۴ ص.

۷- نائبی، ه.(۱۳۹۳)۱۳۹۳. آمارپیشرفته کاربردی همراه با SPSS . انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۴۰۱.

8- Annabi, M., S. Houot, C. Francou, M. Poitrenaud and Y.L. Bissonnais. 2007. Soil aggregate stability improvementwith urban compost of different maturities. Soil Sci. Soc. Am. J. 71: 413–423

9- Cheng, Xa, AN, Seo, Chen, Jio, Li, Ben, 2006. Spatial relationships among species aboveground biomass, N and P in degraded grassland in ordos Plateau. Journal of Arid Environment, Vol 3(1): 75-88.

10- Davis, B.M. (1987).Uses and abuses of cross-validation in geostatistics .Math. Geol.Vol (19), 241- 248.

11- Herrick, J.E., W.G. Whitford, A.G. de Soyza, J.W. van Zee, K.M. Havstad, C.A. Seybold and M. Walton. 2001. Field soil aggregate stability kit for soil quality and rangeland health evaluations. Catena 44: 27–35..

12- Kay, B.D. 2000. Soil Structure, in: Handbook of Soil Science. CRC Press, E. M. Sumner, Ed., USA: F.I., Boca Raton A229–A264.

13- Kemper, W.D, and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution, in: Methods of Soil Analysis. Part Physical and Mineralogical Methods, Klute, A., Ed. 425–442

14- Tongway, D.J. and N.L. Hindley. 2004. Landscape Function Analysis: procedures for monitoring and assessing landscapes with special reference to mine sites and rangelands, Version 3.1. 2004. Canberra Australia: CSIRO Sustainable Ecosystems.

Determining the distribution of soil structure indices by Kriging and IDW methods in Khaneghah Namin area

Z. Karimzadeh[1], H.Shahab[2], A.Soltani[3], Sh.Asghari[4]

1. MSc student , department of soil science, college of agriculture and natural resources, university of mohaghegh ardabili
2. Assistant professor, department of soil science, college of agriculture and natural resources, university of mohaghegh ardabili
3. Associated professor, department of soil science, college of agriculture and natural resources, university of mohaghegh ardabili
4. Associated professor, department of soil science, college of agriculture and natural resources, university of mohaghegh ardabili

Abstract

Soil structure is one of the most important physical properties of soil that is strongly influenced by management factors. Dry and wet MWD, GMD and SI are the most important quantitative indicators used to evaluate the stability of soil structure. In this study, in order to determine the distribution of soil structure in Khaneghah Namin area, 72 soil samples were prepared and soil structure indices were determined. Then, using Kriging and IDW interpolation methods, the distribution map of these indicators in the region was prepared. It was observed that there is no significant correlation between the estimates and the measured values. Therefore, IDW and Kriging did not have the necessary efficiency to estimate soil structure parameters.

Keywords: Soil structure index, kriging, inverse distance weighting, variogram model

تاثیر پلیمر نوکلئوس(M19) در جابجایی تپه‌های ماسه‌ای دشت سگزی در شرق اصفهان

فرزاد حیدری[۱]، راضیه صبوحی[۲]، کورش شیرانی[۳] ، احمد مختاری[۴]

۱- مربی پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران، پست الکترونیک: farzad.heidari@gmail.com

۲- محقق ارشد بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۳- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۴- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثر استفاده از پلیمر نوکلئوس(M19) در جابجایی تپه‌های ماسه‌ای تعریف ودر دو عرصه کاملا مشابه اجرا گردید. برای تعیین میزان جابجایی تپه ماسه‌ای و برداشت و یا ترسیب در عرصه از پیکه‌هایی در اطراف تپه و عرصه پلات نصب شد. با فرض بر این‌که پلیمر نوکلئوس(M19) توانایی کنترل تپه ماسه‌ای را دارد. یکی از عرصه‌ها مالچ‌پاشی و دیگری به عنوان شاهد استفاده شد. سپس جابجایی تپه‌های ماسه‌ای در آنها طی بازه زمانی دو ساله مورد پایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که طی بازه زمانی تپه ماسه‌ای شاهد حدود ۰/۷۵ تا ۲/۵ متر جابجایی داشته، در صورتی که تپه ماسه‌ای مالچ‌پاشی شده کاملا ثابت مانده‌بود. از سویی دیگر این پلیمر با گذشت زمان، پوسته پوسته شده و علایم فرسودگی در آن مشاهده می‌گردد. همچنین این پلیمر در زمان انبارداری و حمل به دو لایه کاملا مجزا تقسیم شد که برای استفاده مجدد نیاز به مخلوط کردن داشت. با توجه به اینکه تپه ماسه‌ای مالچ‌پاشی شده ثابت مانده ولی چنین نواقصی در عرصه مشاهده شده‌است، می‌توان این گونه استنتاج کرد که یا این پلیمر در شرایط این منطقه کارایی مناسب ندارد و یا این‌که متولیان مالچ‌پاشی با نحوه استفاده از این ماده آشنایی کامل نداشتند.

کلمات کلیدی: پلیمر ، مالچ ، فرسایش بادی ، گرد و غبار

مقدمه

یکی از مهمترین فرایندهای طبیعی در مناطق خشک و بیابانی، فرسایش بادی است. شرایط وقوع این فرایند در محلی که باد دارای حاکمیت و سرعت قابل توجه باشد، رفاهی(۱۳۹۱) تابع عواملی چون: خصوصیات خاک، آب و هوا، پوشش گیاهی، زبری سطح خاک، پستی و بلندی و طول زمینی که در معرض باد قرار دارد می‌باشد. موحدان و همکاران (۱۳۹۱) به طورکلی، خطر فرسایش بادی در مناطقی شدیدتر است که خاک سست، خشک و برهنه بوده و بادهای با سرعت و تکرار زیاد وجود داشته باشد. اهمیت سرعت باد بیش از فراوانی آن است و قدرت فرسایندگی باد از توان سوم سرعت باد پیروی می‌کند. شرایط دینامیک باد و فراوانی منابع ماسه و گرد و غبار، عوامل اصلی گرد و غبار ماسه‌ای می‌باشند. احمدی و مسیب زاده(۱۳۹۰) در تحقیقی مشابه توان حمل ماسه توسط باد در دو منطقه کرمان و جاسک با دو روش سرعت لحظه‌ای و کلاس‌های سرعت فرایبرگر توسط نرم افزار گل‌ماسه نما بررسی و مشخص گردید که این دو روش در منطقه جاسک تفاوتی نداشته ولی در کرمان مقادیر حمل شده توسط سرعت لحظه‌ای به مراتب بیشتر از روش فرایبرگر می‌باشد.

در سال‌های اخیر، استفاده از مواد پلیمری به منظورجایگزین نمودن آنها به‌جای مالچ نفتی مورد توجه جدی قرار گرفته است. ی از ویژگی‌های بارز پلیمرهامی‌توان به استفاده آسان و کم خطرتروعدم ایجاد معضلات مالچ نفتی اشاره نمود. پلیمرها باعث اتصال ذرات ریز به یکدیگر شده و خاکدانه‌های درشت‌تری ایجاد می‌نمایند که در واقع باعث افزایش پایداری خاکدانه‌ها در مقابل فرسایندگی باد می‌گردند. با این حال انتخاب یک ماده پلیمری به عنوان تثبیت کننده خاک در برابر فرسایش بادی یا آبی امر ساده‌ای نبوده و مسائل مهمی در این خصوص می‌بایستی مورد توجه و بررسی قرار گیرد. پژوهش‌های متنوعی بر روی اثرات پلیمر بر فرسایش انجام شده است. Tamsavas and Kara(۲۰۱۱) در تحقیقی، تاثیر پلیمر اکریل‌آمید بر کاهش رواناب و افزایش نفوذپزیری خاک، بررسی و مشخص گردید که پلیمر اکریل‌آمید به طور معنی‌داری مقدار رواناب را کاهش و نرخ نفوذپذیری را نیز افزایش می‌دهد. باغبان و همکاران(۱۳۹۵) در تحقیقی دیگر، امکان‌سنجی استفاده از روش به‌سازی بیولوژیکی با استفاده از باکتری‌های کلسیت‌ساز، جهت تثبیت ماسه‌های روان در محوطه‌های تاریخی و همچنین حفاظت بقایای باستانشناسی در حین و بعد از کاوش مورد مطالعه قرار گرفتـه اسـت. نتایج نشـان داد دوغـاب بیولـوژیکی مورد استفاده قادر به تحکیم ماسه بادی تا عمق ۵۰cm است و تثبیت ماسه با مواد دوغاب زیستی موجب شده تا نفوذ سـنبه در هـر دو حالت بسیار کاهش یافته و حتی به صفر برسد. تحقیقات Ayeldeen, et al (۲۰۱۶) بر عملکرد چهار بیوپلیمر گوار، زانتان، کاراگینان و نشاسته‌ی اصلاح شده (با غلظت‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد) بر روی فرسایش بادی خاک نشان داد که استفاده از این بیوپلیمرها، سبب کاهش فرسایش بادی خاک شده و در این میان بیوپلیمر گوار بیشترین تأثیر را داشته است. Ding.et al. (۲۰۱۸) تأثیر بیوپلیمرهای زانتان و گوار بر فرسایش بادی خاک را بررسی نمودند. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نیز بیانگر کاهش مقدار خاک فرسایش یافته در اثر استفاده از بیوپلیمرها و همچنین نشانگر افزایش زمان ماندگاری سله و کاهش مقدار خاک فرسایش یافته بر اثر افزایش غلظت بیوپلیمر است. این تحقیق همچنین نشان داد که اثر بیوپلیمر گوار بر کاهش فرسایش بیشتر از بیوپلیمر زانتان بوده است.

توفیق و قاسمی(۲۰۲۰) عملکرد بیوپلیمر گوار بر کاهش تولید گرد و غبار مورد بررسی قرار گرفت. غلظت‌های گوار مصرفی در این پژوهش ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۵ درصد بوده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که افزودن بیوپلیمر سبب بهبود ظرفیت نگهداشت آب، افزایش مقاومت سطح و فشاری خاک و کاهش تولید گرد و غبار می‌گردد

در تحقیقاتی که توسط Chang, etal (۲۰۲۰) انجام گرفته، به بیوپلیمر دیگری با نام آگارگام اشاره شده که همچون گوارگام یـک پلی‌ساکارید است. این ماده خاصیت غلیظ کنندگی داشته و در صنایع غذایی به کار مـی‌رود. آگارگـام اثـر قابـل تـوجهی بـر بهبـود ویژگی‌های مکانیکی خاک دارد. افزودن این ماده سبب افزایش قابل توجه چسبندگی بین ذرات خاک شده و به این ترتیـب موجـب افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش بادی می‌گردد. مقدار ماده مصرفی آگارگام در تحقیق اشاره شده، معـادل سـه درصـد وزنـی بوده است(5). هدف از این بررسی تاثیر کاربرد پلیمرنوکلئوس(M19) در کنترل تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

دشت سگزی با وسعت ۱۱۲۱۶۷ هکتار در مختصات ۳۲ درجه و ۲۸ دقیقه و ۲۱ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۴۳ دقیقـه و ۵۲ ثانیـه عـرض شمالی و ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه و ۱۶ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۱۴ دقیقه و ۰۹ ثانیه قرار دارد. این دشـت، بـا توجـه بـه نزدیکـی آن بـه مناطق شهری، تأسیسات نظامی، حمل و نقل و نیز صنایع و کارگاه‌هایی که در آن واقع شده‌اند، از جنبـه‌ی جلـوگیری از فرسـایش بادی و بیابان‌زدایی در اولویت مطالعاتی و اجرایی قرار دارد. مرتفع‌ترین نقطه‌ی این منطقه، با ارتفاع ۲۱۲۰ متر، در شمال شرقی آن و پست‌ترین نقطه در جنوب‌غربی منطقه، با ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح دریای آزاد واقع است. شیب متوسـط منطقـه برابـر بـا ۱/۰۸ درصد است. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان، متوسط بارش سالیانهٔ منطقه ۱۰۶ میلیمتـر و متوسـط دمـای سـالیانه ۱۵/۲ درجهٔ سانتیگراد است. میانگین تبخیر سالیانه در منطقه ۲۲۰۱/۵ میلیمتر است. میانگین سرعت ماهانه‌ی شدیدترین بادها در طی یک دورهٔ آماری ۲۴ ساله (۵۹ - ۸۳)از ۱۱/۷ متر بر ثانیه در شهریور ماه تا ۱۹ متر بر ثانیه در فروردین ماه در نوسان است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، اقلیم منطقه، خشک و طبق تقسیم‌بندی آمبرژه، خشک سرد است. مسطح بـودن منطقـه باعـث

شده طبقات شیب زیادی در آن مشاهده نگردد. دشت سگزی به لحاظ گستردگی و شدت فرآیند بیابان‌زایی یکی از مناطق بحرانی استان اصفهان محسوب می‌شود. این منطقه به دلیل وجود مراکز صنعتی، پایگاه هوایی شهید بابایی، فرودگاه بین‌المللی شهید بهشتی، خطوط راه‌آهن، جاده ترانزیت اصفهان – بندرعباس، مراکز کشاورزی و نزدیکی به شهر تاریخی اصفهان از موقعیت استراتژیکی خاصی برخوردار است.

- بررسی وضعیت باد منطقه:

گلبادهای فصول مختلف سال نشان می‌دهد که جهت باد غالب و باد فرساینده در دشت سگزی غربی- شرقی است. بادهای فرساینده در فصل بهار درصد بیشتری نسبت به سایر فصول دارد. بیشینه سرعت باد در این فصل ۲۰ متر بر ثانیه است اما درصد فراوانی آن تنها حدود ۰/۲ درصد در بازه زمانی یک‌ساله است. بیشترین فراوانی وزش در فصل بهار متعلق به بادهایی با سرعت ۶ تا ۱۰ متر بر ثانیه است. در نهایت بیشینه سرعتی که فراوانی قابل توجهی دارد، گروه باد با سرعت ۱۴ تا ۱۶ متر بر ثانیه است(شکل۳).

باد غالب در فصل تابستان از سمت شمال شرق و شرق می‌وزد. اما فراوانی کلی آن در سال نسبت به باد غربی کمتر است. بنابراین، بادی که از سمت غرب می‌وزد، باد غالب منطقه است. در فصل تابستان نیز بیشترین فراوانی مربوط به بادهای گروه ۶ تا ۱۰ متر بر ثانیه می‌باشد. بیشترین سرعت باد در این فصل ۱۴ متر بر ثانیه است. در فصل پاییز نیز مانند سایر فصول فراوان‌ترین سرعت باد، سرعت ۶ تا ۱۰ و به خصوص ۸ تا ۱۰ متر بر ثانیه است. بیشترین سرعت باد اندازه‌گیری شده در این فصل ۱۶ تا ۱۸ متر بر ثانیه می‌باشد که حدود ۰/۵ درصد فراوانی دارد.

بادهایی با سرعت ۶ تا ۸ متر بر ثانیه بیشترین فراوانی را در فصل زمستان دارند. در این فصل بادهای گروه ۱۲ تا ۱۴ متر بر ثانیه فراوانی بیشتری نسبت به فصول تابستان و پاییز دارند و بیشترین سرعت باد در این فصل ۱۶ تا ۱۸ متر بر ثانیه است که فراوانی آن در حدود ۰/۲ درصد است.بر اساس داده‌های اداره هواشناسی فراوانی تجمعی بادها در گروه‌های مختلف به صورت زیر است(جدول۱).

جدول۱- فراوانی تجمعی بادها در سرعت‌های مختلف

سرعت بادm/s	کم‌تر از ۶	کم‌تر از ۸	کم‌تر از ۱۰	کم‌تر از ۱۲	کم‌تر از ۱۴	کم‌تر از ۱۶	کم‌تر از ۱۸
فراوانی تجمعی (٪)	۹۴	۹۷/۵	۹۸/۹	۹۹/۲	۹۹/۳	۹۹/۸	۹۹/۹

بنابراین، تنها ۰/۱ درصد از بادها سرعتی بیش از ۱۸ متر بر ثانیه دارند. این داده‌ها همچنین نشان می‌دهد که ۹۹/۸ درصد بادهای منطقه سرعتی کم‌تر از ۱۶ متر بر ثانیه دارند.

در این راستا سرعت آستانه فرسایش بادی با استفاده از تونل باد در عرصه اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل نشان داد که سرعت آستانه فرسایش بادی طی سه مرحله اندازه‌گیری در این منطقه به ترتیب ۶،۰۳، ۶،۰۳ و ۶،۰۱ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. در نتیجه سرعت آستانه بطور متوسط در عرصه مالچ‌پاشی نشده ۶،۰۲ متر بر ثانیه برآورد شد. در عرصه مالچ‌پاشی شده تا سرعت ۱۵ متر بر ثانیه(حداکثر سرعت بادی که تونل می‌تواند ایجاد کند) هیچگونه حرکتی مشاهده نشد.

آماده‌سازی پلیمر:

به این منظور ابتدا پلیمر مورد استفاده با دستگاه همزن برقی تا ممزوج شدن دو لایه تشکیل شده مطابق اشکال ۱ و ۲ مخلوط گردید.

شکل ۱- همزدن پلیمر

شکل ۲- پلیمرمخلوط شده

سپس مخلوط بدست آمده به تانکر پخش انتقال داده شد و به نسبت ۱ به ۱۱ به آن آب اضافه گردید(۱ قسمت مالچ و ۱۰ قسمت آب). سوسپانسیون بدست آمده خاکپوش مورد نظر برای پخش در سطح خاک بود. که به عرصه تحقیق انتقال یافت.

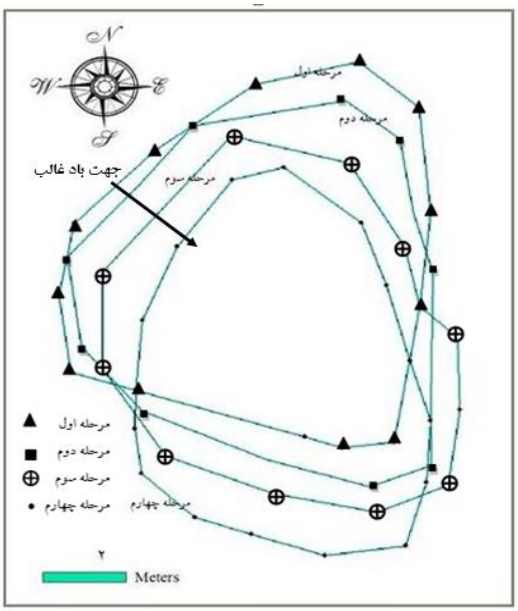
- آماده‌سازی عرصه:

پس از انتخاب عرصه، ابتدا دو پلات ۵۰۰ مترمربعی که از لحاظ مورفولوژیکی و پوشش گیاهی دارای شرایط یکسانی داشتند، به نحوی که طول هر پلات در جهت باد غالب منطقه قرار گیرد(با بررسی‌های انجام شده بر روی داده‌های باد منطقه، جهت باد غالب منطقه غربی- شرقی است) انتخاب شد. پلات‌ها در این تحقیق،دارای یک تپه فعال و پوشش گیاهی دست کاشت و طبیعی بودند. به منظور تعیین اثر خاکپوش محدوده هر پلات توسط پیکه‌های چوبی مشخص و علاوه بر آن اطراف تپه‌های ماسه‌ای برای تعیین میزان جابجایی آن‌ها پیکه‌کوبی شد و برای جلوگیری از تردد بر روی عرصه مالچ‌پاشی شده، مسیر دسترسی توسط موزاییک و مصالح ساختمانی مستعمل، مشخص و سپس پلات اندازه‌گیری با پلیمر نوکلئوس(M19) توسط دستگاه سمپاش پمپی مالچ‌پاشی شد. در راستای بررسی تاثیر پلیمر مورد استفاده در کنترل جابجایی تپه‌ماسه‌ای و میزان انباشت رسوب در سطح عرصه (در صورت وجود) در پلات‌های ایجاد شده طی ماه‌های مختلف اندازه‌گیری و میزان اثربخشی پلیمر با تیمار شاهد(در صورت ایجاد اصلاعات مفید) با استفاده از آزمون T-Test مقایسه شد.

نتایج و بحث

با مقایسه دو عرصه‌ی مالچ‌پاشی شده و شاهد، کارآیی پلیمر نوکلئوس(M19) در کنترل تپه‌های شنی بررسی شد. بدین منظور در اطراف تپه‌ها و به صورت پراکنده در سطح عرصه پیکه‌های چوبی نصب گردید. سپس هر گونه تغییر در عرصه از جابجایی تپه شنی تا برداشت و یا ترسیب، بر اساس تغییرات صورت گرفته در اطراف پیکه‌های نصب شده، اندازه‌گیری شد.

همان‌گونه که شکل ۳ نشان می‌دهد، تپه شاهد در بازه زمانی یک‌ساله در جهت‌های مختلف جابجایی بین ۰/۷۵ تا ۲/۵ متر داشته‌است(لازم به ذکر است جابجایی نسبت به راس تپه اندازه‌گیری شده است.). اما در تپه مالچ‌پاشی شده هیچ‌گونه جابجایی مشاهده نشد. بدین دلیل مقایسه آماری امکان‌پذیر نبود و فقط با مقایسه عددی تاثیر پلیمر سنجیده شد.



شکل ۳- جابجایی تپه شاهد طی دوره برداشت

پس از مالچ‌پاشی و شروع داده‌برداری به تدریج نکات مشخصی مشاهده شد که پاره‌ای از آنها از جمله اثرات مثبت مالچ تلقی می‌شود و برخی از آنها از نواقص این خاک‌پوش به حساب می‌آید. از آن جمله می‌توان به توانایی این خاک‌پوش در افزایش زبری سطح خاک اشاره نمود. افزایش زبری سطح خاک سبب کاهش سرعت باد در سطح خاک و افزایش رسوب‌گذاری و یا به عبارت دیگر به دام اندازی رسوبات بادی می‌شود. در برخی از قسمت‌های بستر مالچ‌پاشی شده در فروردین ۱۳۹۸ زادآوری گونه تاغ مشاهده شد.

از نکات بارزی که طی زمان تحقیق شخص شد، پوسته شدن تدریجی پلیمر در عرصه و تپه مالچ‌پاشی شده است. این پدیده به وضوح پس از یک‌سال از زمان مالچ‌پاشی، به صورت ترک‌های ریز و پوسته شدن به صورت پراکنده مشاهده شد. بروز این علایم پس از بارش‌های منطقه و باد با سرعت بالا(طوفان ماسه) که در فصل بهار بیشتر از سایر فصول اتفاق می‌افتد، مشاهده شد، ولی هیچ‌گونه علایمی از تخریب و یا حرکت تپه مالچ‌پاشی شده مشاهد نشد(شکل ۴).

شکل ۴ - تخریب عرصه مالچ‌پاشی شده

نتیجه‌گیری

یکی از معضلات اولیه این پلیمر در بازه زمان حمل و انبارداری تا زمان مالچ‌پاشی، تفکیک آن به دو لایه که به‌طور واضح از هم قابل تشخیص می‌باشد. در نتیجه، در موقع آماده‌سازی امولسیون نهایی برای یکنواخت شدن پلیمر، همزدن آن امری ناگزیر است.

این معضل تاکنون در هیچ گزارشی مشاهده نشده و می‌تواند از جمله خصوصیات منفی پلیمر مورد استفاده تلقی شود، زیرا در هم آمیختن کامل و مجدد آن بسیار مشکل، زمان‌بر، هزینه‌زا است و نیاز به دستگاه‌های همزن مخصوص داشته والبته ممکن است برای همگن سازی آن در حین همزدن نیاز به دستگاه‌ها گرم کننده شرایط اختلال را ساده‌تر کند، تا درنهایت امولسیون یکنواخت‌تر داشته باشیم.

مشاهده یکی دو مورد زادآوری علاوه بر تاثیر مالچ، می‌تواند ناشی از پرباران‌تر بودن این سال نسبت به سال‌های گذشته باشد. نتایج بدست آمده با تحقیق ابطحی و خسروشاهی(۱۳۹۵) با کمی اختلاف شباهت بسیاری دارد، با این تفاوت که تحقیق آنها فقط برروی امکان رویش از طریق بذر پاشی، رشد نهال‌های سبز شده و استقرار قلمه‌های گیاهان بوده و بر روی تاثیر آن بر کاهش فرسایش و رسوب تمرکزی نداشته‌اند.

مالچ مورد استفاده طی گذشت بازه زمانی یک ساله ابتدا ترک‌های ریزی برداشت و بعد به مرور بر مقدار و عمق ترک‌ها افزوده شد و سپس این ترک‌ها باعث پوسته پوسته شدن سطح عرصه مالچ‌پاشی شده گردید. به دنبال این عارضه، ناپایداری و علایم فرسودگی در عرصه مالچ‌پاشی شده، مشاهده شد. ولی با تمام موارد ارایه شده هیچ‌گونه جابجایی و تغییر مکانی در تپه مالچ‌پاشی شده مشاهد نشد. باید خاطر نشان کرد که ممکن است با گذشت زمان و ایجاد تخریب بیشتر در سطح عرصه مالچ‌پاشی شده و به‌دنبال پوسته پوسته شدن بیشتر، سطح مالچ‌پاشی شده به‌طور کامل تخریب شده و فرسایش تپه آغاز شود که این مورد نیاز به پایش بیشتر و دقیق‌تر تحقیق را توجیه می‌نماید.

منابع

1) Abtahi.Morteza and Khosroshahi. Mohammad.2016. Effects of Six Chemical and Mineral Mulches on the Establishment and Survival of Calligonum and Haloxylon. Volume 26, 1-1 - Serial Number 2, Spring 2016, Pages39-46(In Persian).
2) Ahmadi. Hasan and Mesbahzadeh.T.2011.Comparison of Sand Drifts Potential Stimating, Using Momentum Method and Fryberger Velocity Classes Method (Case Study: Jask and Kerman). Journal of Water and Soil. Vol. 25, No. 1, Mar-Apr 2011, p. 11-18(In Persian).
3) Ayeldeen, M. et al. 2016. Laboratory study of using biopolymer to reduce wind erosion. International Journal of Geotechnical Engineering12(3): 228–240.(4)
4) Baghbanan.A., Ramezanifar.F., Hashemolhosseini.H., Razani. M.2016. Possibility of Using Biogrout for Stabilization of Sand Dunes in Desert Areas with Approach in Conservation of Archaeological Remains. Jornal of Research on Archaeometry. Vol. 2, No. 1, Semi-Annual Spring & Summer 2016. (In Persian)
5) Chang, I., Lee, M., Thi Phuong Tran, A., Lee, S., Kwon, Y-M., Im, J., Cho, G-C. 2020. Review on Biopolymer-Based Soil Treatment (BPST) Technology in Geotechnical Engineering Practices, Transportation Geotechnics. 24.
6) Ding, X., Xu, G., Zhou, W. and Kuruppu, M. 2018. Effect of Synthetic and Natural Polymers on Reducing Bauxite Residue Dust Pollution. Environmental Technology 40(0): 1–10.(7)
7) Movahedan.M.,Abbasi.N., Keramati.M.,2012. Wind erosion control of soils using polymeric materials. Eurasian Journal of Soil Science 2 (2012) 81 –86.
8) Refahi.hoseingholi.2012. wind erosion and conservation. University of Tehran press. 320pp.ISSN: 978-9640341063. (In Persian)
9) Tamsavas, Z. and Kara, A. 2011. The effect of polyacrylamide (PAM) applications on infiltration, runoff and soil losses under simulated rainfall conditions. African Journal of Biotechnology. 10 (15): 2894-2903
10) Toufigh, V. and Ghassemi, P. 2020. Control and Stabilization of Fugitive Dust : Using Eco-Friendly and Sustainable Materials. International Journal of Geomechanics 20(9): 1–15.(24)

The effect of nucleus polymer (M19) on the movement of sand dunes in Segzi plain in east Isfahan

Farzad.Heidari
Scientific board, Research Division of Soil Conservation and Watershed Management, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
Razieh Saboohi
Senior Researcher, Research Division of Soil Conservation and Watershed Management, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
Koorosh Shirani
Assistant Professor, Research Division of Soil Conservation and Watershed Management, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
Ahmad Mokhtari
Assistant Professor, Research Division of Soil Conservation and Watershed Management, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of using polymeric nucleoside mulch (M19) on reducing wind erosion, controlling sand dunes, and dusts. For this reason, two completely similar areas with sand dune and harvesting area were selected. For determine the extent of sand dune movement and erosion or deposit in the area of plot, the wooden Pieces that were installed around the hill and scattered in the plot area were used. Assuming that the nucleus mulch (M19) has the ability to reduce wind erosion and stabilize sand dune and microgrids. One area was used to spread mulch and the other use to a control. Then, changes in moisture content, growth rate of seedlings cultivated in the area , and change of sand dune displacement were monitored over a period of one year. The results showed that there is no significant difference between presence and absence of mulch in terms of its effect on annual growth rate and moisture changes. But during the monitoring period, control sand dune about 0.75 to 2.5 m displaced while the mulched sand dune remained completely stable. On the other hand, over time, the polymer is scaly and shows signs of wear and tear. It is also divided into two separate layers during storage and transport that require mixing for reuse. Given that the mulched mound remains stable but some defects are observed in the field, it can be deduced that either this pumper does not work properly in the area or that mulching authorities are not fully

familiar with the use of this material. Both methods are recommended to obtain more accurate replication results of this design, however, with remediation

Keywords: Polymer, mulch, wind erosion, dust

بررسی اثر بقایای نیشکر و بیوچار آن بر ویژگی های آب گریزی خاک

آمنه اظهری [۱]، محمد علی حاج عباسی [۲]

۱- دانشجو دکتری گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان (azhari@ag.iut.ac.ir)

۲- استاد و مدیر گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان (hajabbas@cc.iut.ac.ir)

چکیده

در این پژوهش اثر هیدروکربن های نفتی در سه سطح آلودگی صفر، چهار و هشت درصد وزنی همراه با سه سطح صفر، پنج و ده تن درهکتار از باگاس نیشکر و یا بیوچارآن و همچنین در دو وضعیت کاشت ذرت و عدم کشت بر شاخص آب گریزی در یک خاک با بافت سیلتی لوم مطالعه و بررسی شد. آب گریزی خاک با استفاده از ریز نفوذسنج مکشی انجام شد و میزان جذب آب در شرایط نزدیک اشباع و اتانول ۹۵٪ توسط خاک، اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان دادکه همبستگی مثبت و معنی داری بین شاخص آب گریزی (R) و زاویه تماس آب_خاک (β) وجود داشت. ترکیبات نفتی با پوشاندن سطوح خاکدانه با پوشش های آب گریز باعث افزایش آبگریزی شدند.

واژگان کلیدی: آب گریزی، باگاس، بیوچار، هیدروکربن های نفتی.

مقدمه

آلودگی های نفتی یک پیامد اجتناب ناپذیر از افزایش سریع جمعیت و فرایند صنعتی شدن است که به دنبال آن آلودگی خاک توسط مواد هیدروکربنه نفتی به شکل وسیع در اطراف تاسیسات اکتشاف و پالایش و به شکل موضعی در مسیرهای انتقال این مواد قابل مشاهده است. علاوه بر انتشار مستقیم این آلاینده ها، غبارات حاصل از سوخت گازهای همراه نفت، طی سالیان متمادی میتواند مواد سمی و مضری به خاک های منطقه اضافه کند. هر چه مواد نفتی به عمق بیشتری از خاک نفوذ کند، رفع آلودگی آن مشکل تر و هزینه آن بیشتر خواهد بود. دریابیگی و همکاران، (۱۳۸۹). آلوده شدن خاک به ترکیبات نفتی یکی از شایع ترین معضلات زیست محیطی در دهه های اخیر بوده (Huang et al.,(2005 و البته در برخی موارد این ترکیبات به عنوان اصلاح کننده ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک نیز شناخته شده است.

ترکیبات نفتی از جمله مهمترین آلاینده های آلی محیط زیست به ویژه خاک هستند که به سبب سمی بودن و خصوصیات سرطان زایی برای موجودات زنده به ویژه انسان و ورود این ترکیبات به زنجیره غذای موجودات زنده و آلودگی منابع آب زیر زمینی و سطحی، به یکی از مهمترین نگرانی های حامیان محیط زیست تبدیل شده است. Garcia et al, (2011)

آب گریزی به کاهش آب پذیری و نگهداشت آب در خاک، ناشی از پوشش های آب گریز روی ذرات خاک گفته می شود ذوالفقاری و همکاران، (۱۳۸۷). آب گریزی خاک به کاهش در میزان خیس شدن و نگهداری آب درخاک به علت وجود پوشش های آب گریز روی سطوح ذرات خاک اطلاق می شود. آبگریزی خاک می تواند باعث ایجاد تنش رطوبتی برای گیاهان و کاهش عملکرد آنها شود و همچنین قابلیت کاربری چمن را پایین آورد. حضور آلاینده های نفتی درخاک می تواند بر ویژگی های شیمیایی و فیزیکی و بیولوژیکی خاک تاثیر مهمی داشته باشد، از جمله این آثار می توان به آب گریزی، کاهش نفوذ پذیری و تغییر در ویژگی های ساختمانی خاک اشاره کرد. Hallett et al,(1999)

مواد و روش‌ها

الف)منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در گلخانه دانشکده کشاورزی (دانشگاه صنعتی اصفهان) در سال ۱۳۹۸ انجام پذیرفت. خاک آلوده به هیدروکربن-های نفتی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری از منطقه‌ای در مسجد سلیمان واقع در استان خوزستان در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹۳ دقیقه شمالی برداشت شد.

ب) مواد به کار رفته

خاک آلوده و خاک غیر آلوده از منطقه نمونه برداری شد و با نسبت وزنی ۱:۱ و ۲:۱ (غیرآلوده:آلوده) مخلوط و به منظور ایجاد همگنی و یکنواختی پراکندگی آلاینده های نفتی درخاک به مدت چهار ماه در آزمایشگاه نگهداری شد که طی این مدت خاک ها در حد ظرفیت زراعی آبیاری و کاملا زیر و رو گشت.

ج) روش انجام تحقیق

آزمایش درطرح بلوک کاملا تصادفی با ۳ بار تکرار اجرا گردید.

د) آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده ها بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام گرفت.

روش آزمایش:

بسیاری از خصوصیات خاک از جمله ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی آن تحت تأثیر آبگریزی قرار دارند. نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری آبگریزی، در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شده تا اثر رطوبت اولیه بر آبگریزی در تیمارهای مختلف حذف شوند (۷). به وسیله روش جذب پذیری ذاتی، اندازه‌گیری آبگریزی نمونه‌های خاک انجام شد. در این روش با استفاده از ریز نفوذسنج مکشی که از پژوهش هالت و یانگ (۱۹۹۹) الگوبرداری شده (۶)، میزان جذب آب در شرایط نزدیک اشباع و اتانول ۹۵٪ توسط خاک، اندازه‌گیری گردید. جذب‌پذیری ذاتی (S^*) که مستقل از نوع سیال است با استفاده از معادله زیر به جذب‌پذیری (S) ارتباط داده می‌شود.

$$s^*=\left(\frac{M}{Y}\right)^{.5} S \qquad (۱)$$

در این معادله M و Y به ترتیب گرانروی ($g\ cm^{-1}s^{-1}$) و کشش سطحی سیال ($g\ s^{-2}$) است. مقدار جذب پذیری (s) با داشتن دبی ماندگار سیال و با استفاده از معادله زیر قابل محاسبه است:

$$s=\sqrt{\frac{QF}{4br}} \qquad (۲)$$

در این معادله Q دبی ماندگار سیال ($cm^{-3}s^{-1}$)، پارامتر b ثابت و برابر ۰/۵۵، r شعاع انتهای لوله نفوذسنج در تماس با خاک و F تخلخل پر از هوای خاک ($cm^{-3}s^{-1}$) است.

و در نهایت تیلمن و همکاران (۱۹۸۹) شاخص (RI) را برای ارزیابی آبگریزی خاک پیشنهاد کردند. که از طریق اندازه‌گیری جذب‌پذیری آب[1] (S_W) و اتانول[2] (S_E) و با استفاده از معادله زیرمحاسبه می شود (۱۰).

$$RI=\frac{s_E^*}{s_W^*}=\left[\frac{ME/YE}{Mw/Yw}\right]^{.5} * \frac{SE}{Sw} \qquad (۳)$$

نتایج و بحث

در جدول ۱- که مربوط به توصیف آماری شاخص آبگریزی خاک است نشان می‌دهد که زاویه تماس آب-خاک دارای کمترین میزان ضریب تغییرات بین شاخص های آب گریزی خاک مربوط است. Vogelmannو همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که وجود ترکیبات آلی با زنجیره‌های طولانی و افزایش زاویه تماس با آب باعث افزایش شدت آبگریزی می‌شوند (۱۱). Royو مک گیل

[1] -Water sorptivity
[2] - Ethanol sorptivity

(۲۰۰۱) بیان کردند آلودگی خاک به ترکیبات نفتی سبب ایجاد آبگریزی در خاک می‌شود، و ترکیبات هیدروکربنی نسبت به مواد آلی بومی خاک آبگریزی پایدارتری (بیشتر از ۶۰۰ ثانیه) در خاک ایجاد می‌کنند(۹ و ۸).

جدول۱- توصیف آماری شاخص های آب گریزی خاک مورد مطالعه

ویزگی	واحد	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
S_w	$(cm/s^{0.5})$	۰/۰۵	۰	۰/۱۴	۰/۰۱	۳۲/۵	۰/۹۰	۱/۷۴
S_e	$(cm/s^{0.5})$	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۰۴	۲۳/۵	۰/۵۹	۰/۲
β		۷۶/۴۵	۵۹/۳۰	۸۴/۴۵	۵/۵۵	۴/۴۵	-۱/۳۰	۱/۹۵
R	_	۴/۹۰	۱/۹۵	۱۰/۲	۱/۷۵	۲۳	۰/۷۴	۰/۴۵

S_w: جدب آب، S_e: جذب اتانول، β: زاویه تماس آب- خاک وR: شاخص آب گریزی

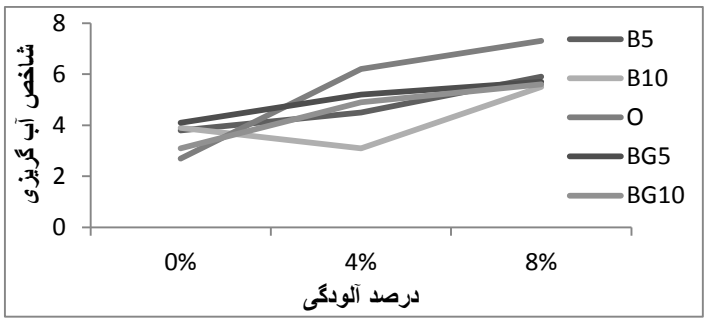
جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات تیمارها را بر شاخص آبگریزی نشان داده است. در این جدول اثر آلودگی نفتی بر شاخص آبگریزی خاک معنی‌دار است. مواد اصلاحی بر شاخص آبگریزی خاک تفاوت معنی‌داری نداشته است ولی اثر هر دو آلودگی و مواد اصلاحی بر شاخص آبگریزی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات تیمارها بر شاخص‌های آبگریزی خاک مورد مطالعه

منابع تغییرات	میانگین مربعات			
	Sw	Se	β	R
آلودگی	۰/۰۰۲**	۰/۰۰۸**	۴۳۷/۵۱***	۴۷/۸۰***
مواد اصلاحی	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}	۱۱/۵۰^{ns}	۳/۰۴^{na}
کشت	۰/۰۰۲*	۰/۰۴***	۳۴/۲۵^{ns}	۱۴/۸۰**
آلودگی× مواد اصلاحی	۰/۰۰۰۶*	۰/۰۰۱^{ns}	۶۱/۲****	۳/۶۰*
مواداصلاحی× کشت	۰/۰۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۱۷/۸۰^{ns}	۲/۲۵^{ns}
آلودگی×کشت	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۵**	۱۳/۷۵^{ns}	۱/۷۵^{ns}
آلودگی×مواد اصلاحی×کشت	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۲^{ns}	۶۴/۳۰***	۵/۹۵***
خطا	۰/۰۰۰۴	۱۱/۷۰	۱/۳۰	۱۱/۷۵

(ns، غیر معنی داری ،*، ** و* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصداست)**

در شکل۱- مقایسه میانگین اثرات تیمار ها بر زاویه تماس آب- خاک (β) را نشان می‌دهد. در خاک‌های بدون آلودگی نفتی مواد بیوچار و باگاس باعث افزایش زاویه تماس آب- خاک نسبت به خاک بدون ماده اصلاحی شده اند. pH، بافت خاک، نوع کاربری اراضی و ماده آلی خاک از دیگر عوامل مهم و اثرگذار بر شدت آبگریزی در خاک‌ها می‌باشند. مک کیساک و همکاران (۲۰۰۳) معتقدند که بررسی کیفی ماده آلی و شناسایی گروه‌های عاملی آبگریزی به جای در نظر گرفتن کل توده کربن آلی خاک می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در رابطه با میزان و شدت آبگریزی خاک ارائه دهد (۳).



شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات تیمارها بر زاویه تماس آب- خاک(β) (B5: بیوچار ۵ تن در هکتار، B10: بیوچار ۱۰تن در هکتار، O: خاک بدون تیمار،BG5: باگاس نیشکر۵ تن در هکتار،BG10: باگاس نیشکر۱۰ تن در هکتار).

در این پژوهش نقش بقایای نیشکر و بیوچار و آلودگی زدایی هیدروکربن های نفتی بر ویژگی های آب گریزی مورد بررسی قرار گرفت. وجود بیوچار و باگاس نیشکر باعث تفاوت در برخی ویژگی‌های خاک مورد نظر گردید ترکیبات نفتی به علت قرار گرفتن به صورت پوشش های آبگریز در سطوح خاکدانه باعث افزایش آبگریزی شدند. خاک منطقه به علت حضور آلاینده های نفتی در خاک از وضعیت آبگریزی نسبتاً آبگریز تا بی نهایت آبگریز در مناطق با غلظت زیاد هیدروکربن های نفتی کل برخور دار شدکه نشان از مشکل نفوذ آب به خاک در بیشتر خاک منطقه است.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از جناب آقای دکتر محمد علی حاج عباسی که حامی و پشتیبان این پروژه بوده اند، صمیمانه تشکر و قدردانی میگردد.

فهرست منابع

۱- دریا بیگی، ع. مهردادی، ن. و روانبخش، ش. (۱۳۸۹) . توانایی گونه های گیاهی مختلف در حذف ترکیبات نفتی از خاک و تاثیر آلودگی نفتی بر رشد این گونه های گیاهی، علوم و تکنولوژی محیط زیست، (۱۲). ۵۷-۴۱.

۲- ذوالفقاری، ع. و حاج عباسی، م. ع. (۱۳۸۷) . تا ثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات فیزیکی و آب گریزی خاک در مراتع فریدون شهر و جنگل های لردگان، علوم آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، (۲۲).۲۶۲-۲۵۱.

۳- سعادت، ن .،ن. دوانگر، م. رودپیما، م، ر. مصدقی.(۱۳۹۴). ارزیابی تاثیر آلودگی نفتی بر شدت آب گریزی خاک در خاک بختیار دشت اصفهان، نشریه پژوهشی حفاظت خاک و آب، ۲۹ (۳). ۳۱۰-۳۰۷.

4- Goebel M., Bachmann J., Reichstein M. and Janssens I. 2011. Soil Water repellency and its implications for organic matter decomposition – its there a link to extrerme climatic events Global Chang Biological, 17: 2640-2656.

5- Hallet P. D. and Young I. M. 1999. Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate- induced microbial activity, European Journal of Soil Science, 50: 35- 40.

6- Huang, X. D., Y. El-Alawi, J. Gurska, B. R. Glick, and B. M. Greenberg. 2005. A multi-process phytoremediationsystem for decontamination ofpersistent total petroleumhydrocarbons(TPHs) from soils. Microchem. J.81: 139-147.

7- Hallett, P. D., Gordon, D. C. and Bengough, A. G. 2003. Plant influence on rizospher hydraulic properties: direct measurement using a miniaturized infiltrometer. New Phytol. 157: 597-603.

8-Roy J. L. and Mc Gill W. B. 2001. Observation on the chemistry of organic materials in water- repellent soils. Turfgrass Research, 9: 428- 436.

9- Steffens, M., Kolbl, A., Totsche, K. U. and Kogel-Knabner, I. 2008. Grazing Effects on Soil Chemical and Physical Properties in a Semi arid Steppe of Inner Mongolia (P.R. China). Geoderma. 143: 63-72.

10- Tillman R. W., D. R. Scotter, M. G. Wallis and B. E. Clothier. 1989. Water repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. Aust. J. Soil Res. 27: 637-644.

11- Vogelmann E., Reichert J., Prevedello J., Consensa C., Oliveira A., Awe G. and Mataix-Solera J. 2013. Threshold water content beyond which hydrophobic soils become hydrophilic: The role of soil texture and organic matter content, Geoderma, 209: 177- 187.

Investigation of the effect of sugarcane and biochar residues on soil hydrophobic properties

A. Azhari [1], M. A. Haj Abbasi [2]

1 -PhD student, Department of Soil Science Engineering, Isfahan University of Technology (azhari@ag.iut.ac.ir)

2 -Professor of Soil Science Engineering, Isfahan University of Technology (hajabbas@cc.iut.ac.ir)

Abstract

In this research, the effect of petroleum hydrocarbons on water repellency index in A soil with silty loam texture at three levels of pollutions (zero, four and eight percent by weight) along with three levels (zero, five and ten tons per hectare) of sugarcane bagasse or biochar, and also in two conditions of planting corn and no cultivation was studied. Soil hydrophobicity was measured using a suction microscopy and the uptake of water at near saturation and 95% ethanol by the soil was measured. The results showed that there was a positive and significant correlation between hydrophobicity index (R) and soil-water contact angle (β). Petroleum compounds increased hydrophobicity because of being in the form of hydrophobic coatings on aggregate surfaces.

Keywords: hydrophobicity, bagasse, biochar, petroleum hydrocarbons

ذرات کلوئیدی قابل انتشار در آب

امین گلی کلانپا

کارشناسی ارشد شیمی و حاصلخیزی خاک، دانشگاه محقق اردبیلی، soilgoli@yahoo.com

چکیده

فسفر یکی از عناصر پر مصرف غذایی ضروری گیاهان است که حدود ۰/۲ تا ۰/۴ وزن خشک آنها را تشکیل می‌دهد. یکی از راه‌های آگاهی از میزان هدررفت فسفر، بررسی میزان آن در ذرات کلوییدی انتشار یافته در آب است. تعیین میزان ذرات کلوییدی قابل انتشار در آب در خاک های کشت شده در مناطق نیمه‌خشک ممکن است به پیش بینی خطر و نتایج فرسایش آبی کمک کند. با توجه به اهمیت و آثار مثبت و منفی فسفر در تغذیه گیاه و در نهایت تغذیه و سلامت انسان، لازم است جهت دستیابی به اطلاعات دقیق‌تر از میزان فسفر و برهمکنش آن با خاک‌های زراعی منطقه، تحقیق حاضر انجام گیرد. بدین منظور تعداد ۱۲ نمونه خاک از منطقه اردبیل انتخاب و به چهار جزء شن درشت، شن خیلی ریز، سیلت و رس تفکیک شد. سپس برخی ازخصوصیات نمونه ها از قبیل میزان کربن آلی، فسفر قابل استفاده، کربنات کلسیم معادل و فعال اندازه گیری شد. با توجه به اهمیت ذرات سیلت به عنوان حساسترین ذرات به فرسایش و ذرات رس به عنوان ذرات دارای بیشترین مقدار سطح ویژه، آزمایشات تکمیلی بر روی این دو ذره انجام گرفت. نتایج نشان داد این ذرات دارای مقادیر زیادی فسفر هستند که قابل استفاده برای گیاهان است. این موضوع با توجه به فرسایش‌پذیری این ذرات از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و فرسایش چنین خاکهایی منجر به هدر رفت مقادیر قابل توجهی فسفر از خاک شده و در دراز مدت حاصلخیزی آن را کاهش می دهد.

کلمات کلیدی: ذرات کلوییدی، فرسایش خاک، فسفر قابل استفاده، هدر رفت فسفر

مقدمه

فرسایش خاک یکی از عوامل موثر در انتقال ذرات خاک است. به خاطر پویایی محدود فسفر در خاک‌ها، رواناب سطحی راه اصلی انتقال فسفر در نظر گرفته می‌شود. از میان ذرات خاک، رس‌ها به دلیل سطح ویژه بسیار زیاد، اهمیتی خاص دارند که در معرض خطر فرسایش می‌باشند. ذرات ریزتر، که نسبت به ذرات بزرگ دارای غلظت بیشتری از فسفر هستند، به طور انتخابی در طول رواناب سطحی فرسوده می‌شوند (مک دوول و همکاران ، ۲۰۰۱). گروهی از آلاینده ها متصل به ذرات خاک می‌باشند، در این حالت انتقال و سرنوشت این مواد در محیط زیست توسط فرآیند فرسایش خاک تعیین می‌گردد. مغذی شدن، کاهش اکسیژن و بالا رفتن غلظت عناصر غذایی(فسفر و نیتروژن) مخازن، کانالها و سایر منابع آب از مهمترین عواقب آلودگی آبها می‌باشند. وارد شدن مقدار زیادی فسفر به رودخانه طی بارندگی بر کیفیت منابع آب پایین دست اثر سویی دارد (نور و همکاران، ۱۳۹۱). فرسایش خاک و تأثیرات زیست محیطی آن از جمله مشکلات قرن حاضر جوامع انسانی می‌باشد، اثرات سوء این پدیده متفاوت بوده و در کشورهای در حال توسعه خطر جدی برای توسعه پایدار محسوب می‌شود. در بسیاری از مناطق، فرسایش خاک منجر به تخریب منابع طبیعی با ارزش شده و اثرات آن به تدریج در حاصلخیزی اراضی ظاهر می‌گردد. در اغلب موارد فرسایش تنها از نظر هدررفت خاک در منطقه فرسایش دیده، پر شدن مخازن، از کار افتادگی سیستمهای آبیاری و برنامه ریزی به منظور اقدامات آبخیزداری مهم می باشد(بنت، ۲۰۰۱، کوتیاری و همکاران، ۲۰۰۲، ژانگ و همکاران، ۲۰۰۵، نور و همکاران، ۲۰۱۱).

فسفر از یک سو جزء عناصر مهم در رشد گیاهان و حیات جانداران بوده و از سوی دیگر از عوامل مهم درآلودگی منابع آب و مغذی شدن آنها بشمار می‌آید(فضلی و همکاران، ۱۳۹۰). رسوب به علت انتقال ذرات خاک و عناصر غذایی همراه با آن، به عنوان بزرگترین منبع آلودگی برای محیط های آبی است.

فرسایش یک فرآیند انتخابی است و تمایل به انتقال ریزترین و کوچکترین ذرات خاک که غنی از عناصر غذایی هستند، دارد. فسفر یکی از عناصر حیاتی برای رشد گیاهان و حیات جاندران می‌باشد که علاوه بر مشکلات ایجاد شده در خاک فرسایش یافته مبدا و فقیر شدن خاک از این عنصر مهم، انتقال فسفر به رودخانه‌ها، مخازن آب، دریاچه ها و سایر منابع آب، موجب کاهش کیفیت آنها می‌گردد. به گونه‌ای که مقادیر اندک غلظت فسفر در حدود ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر باعث مغذی شدن آبها گردیده و محیط را برای رشد موجودات به خصوص جلبکها فراهم می‌کند(مک دوول و همکاران،۲۰۰۱، ویل‌کوک و مک‌دوول،۲۰۰۴، لل و بلانکو،۲۰۰۸). بخش عمده فسفر بر روی ذرات کلوییدی چسبیده است. بنابراین با انتقال این ذرات از طریق فرسایش، مقدار بسیار زیادی فسفر از مزرعه خارج می‌شود. باید توجه داشت که علاوه بر مواد کلوییدی مواد دیگر خاک مانند لیمون و هوموس نیزبه مقدار قابل ملاحظه‌ای فسفردارند که بوسیله فرسایش از بین می‌روند. نکته دیگراینکه میزان فسفری که بوسیله گیاه برداشت می‌شود فسفرقابل جذب است در حالیکه فسفری که از طریق فرسایش از بین می‌رود کل فسفر خاک است که فسفرقابل جذب جزیی از آن می-باشد(رفاهی، ۱۳۷۵).

اطلاعات مربوط به تغییرات مولفه‌های خاک نشان می‌دهدکه سالانه بطور متوسط در هر هکتاراز اراضی گندم دیم حدود ۰/۰۴ تن(معادل ۴۰ کیلوگرم) فسفر در اثر فرسایش از بین می‌رود (قربانی و حسینی، ۱۳۸۴).از اینرو طی دهه های اخیر توجه زیادی به فرسایش خاک به عنوان منبعی برای انتشار فسفر در آبها بوجود آمده است(آیده و همکاران،۲۰۰۸). به طور کلی بیشترین مقدار هدر رفت فسفر خاک در طی وقایع بارش و از طریق فرسایش خاک صورت می‌گیرد. در این حالت بیشترین شکل هدررفت فسفر را نوع ذره‌ای تشکیل می دهد(نور و همکاران،۲۰۱۱). فسفر ذره‌ای آن قسمت از کل فسفر خاک می‌باشد که به ذرات رسوب چسبیده و توسط فرسایش خاک جدا و در رواناب حمل می‌گردد (مک دوول و همکاران، ۲۰۰۱). بنابراین می‌توان گفت که اطلاع از هدررفت موادغذایی به ویژه فسفر از سطح حوزه‌های آبخیز به عنوان معیاری مناسب برای سلامت اکوسیستمها، برنامه‌ریزیهای حفاظت آب و مباحث زیست‌محیطی می‌باشد.

مواد و روش‌ها:

به منظور بررسی میزان هدر رفت فسفر قابل استفاده در هر یک از اجزای سیلت و رس، ۱۲ نمونه خاک انتخاب شد. خاک‌ها به اجزای معدنی شن، سیلت و رس تفکیک شدند. روش جداسازی ذرات به این صورت بود که ابتدا ۱۰۰ گرم خاک وزن و به ارلن مایر ۲۵۰ میلی لیتری منتقل شد، نمونه ها به مدت یک ساعت شیک شده و یک شب به حال خود رها شدند. بعد از آن ذرات شن بوسیله الک ۰/۰۵ میلی لیتری با آب مقطر شسته شده و ذرات سیلت و رس در زیر الک در یک ظرف جمع آوری شد. محلول حاوی ذرات سیلت و رس به استوانه‌های یک لیتری منتقل شدند. برای جداسازی ذرات سیلت و رس از هم، هر روز نمونه‌ها با هم‌زن دستی هم زده شده و ۲۴ ساعت بعد از عمق ۲۴ سانتی متری استوانه‌ها ذرات معلق رس به یک ظرف دیگری سیفون می‌شدند. این کار تا زمانی که نمونه‌ها کاملا شفاف شوند(رسی در محلول باقی نمانده باشد) ادامه یافت. سپس ذرات سیلت در آون در دمای ۱۰۵ درجه خشک شده و نگهداری شدند. ذرات رس نیز فریزدرای شده و نگهداری شدند. سپس برخی از خصوصیات عمومی آنها از قبیل ماده آلی به روش والکی بلاک، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید و باز، کربنات کلسیم فعال به روش اگزالات آمونیوم نیم نرمال و فسفر قابل استفاده به روش اولسن اندازه گیری شد.

نتایج و بحث:

برخی از خصوصیات شیمیایی اندازه گیری شده ذرات رس و سیلت در جدولهای ۱ و ۲ نشان داده شده است.چنانچه در جدول ۱بیان شده است، میزان ماده آلی در ذرات رس قابل انتشار در آب از ۰/۶۷ تا ۱/۵ درصد، کربنات کلسیم معادل از ۹/۹ تا ۱۷/۵درصد، کربنات کلسیم فعال از ۸ تا ۱۵/۳۷ درصد می‌باشد. همچنین فسفر قابل استفاده گیاه (Olsen-P) از ۲/۷۹ تا ۳۱/۰۹ میلیگرم در کیلوگرم ذره رس(به طور متوسط ۱۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم ذره رس) می‌باشد.

همانطوری که در جدول ۲ ملاحظه می‌فرمایید، میزان ماده آلی در ذرات سیلت قابل انتشار در آب از ۰/۱۳ تا ۲/۴۸ درصد، کربنات کلسیم معادل از ۱۸ تا ۴۰ درصد، کربنات کلسیم فعال از ۴ تا ۹ درصد و فسفر قابل جذب نیز از ۸/۴۷ تا ۲۷/۳۳میلی‌گرم درکیلوگرم ذره سیلت (به طور متوسط ۱۴/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم ذره سیلت) می‌باشد.

جدول ۱. برخی از خصوصیات شیمیایی ذرات رس

خصوصیات نمونه	ماده آلی	کربنات کلسیم کل	کربنات کلسیم فعال	فسفر قابل جذب
شماره نمونه		%		mg/kg
۱	۰/۸۴	۱۰	۸	۲۳/۰۵
۲	۰/۶۷	۱۷/۵	۱۵/۳۷	۱۷/۴۶
۳	۰/۸۴	۱۰/۱	۹/۷۵	۱۱/۸۷
۴	۰/۷۵	۹/۹	۹	۲/۷۹
۵	۱/۵	۱۰/۲	۹/۷۵	۳۱/۰۹
۶	۰/۶۸	۱۴	۱۱	۵/۲۴
۷	۰/۸۹	۱۴	۱۳/۱۲	۱۲/۲۲
۸	۱/۱۷	۱۰	۹	۱۱/۸۷
۹	۱/۴۵	۱۵	۱۲/۵	۱۸/۵۱
۱۰	۱/۱	۱۰	۹/۵	۳۰/۷۴
۱۱	۰/۹۴	۱۰	۹/۵	۱۲/۲۲
۱۲	۰/۷۵	۱۰/۲	۹/۳۷	۷/۳۳

جدول ۲. برخی از خصوصیات شیمیایی ذرات سیلت

خصوصیات نمونه	ماده آلی	کربنات کلسیم معادل	کربنات کلسیم فعال	فسفر قابل استفاده
شماره نمونه		%		Mg/kg
۱	۰/۸۷	۲۲	۴/۲۵	۹/۱۷
۲	۲/۴۸	۳۳	۵/۷۵	۱۷/۵۵
۳	۱/۶۱	۲۰	۵/۲۵	۱۱/۳۵
۴	۱/۴۱	۲۷	۵	۱۰/۰۴
۵	۱/۴۱	۲۱	۶/۵	۱۴/۴۹
۶	۰/۶	۳۲	۵/۲۵	۱۱/۰۹
۷	۰/۴۷	۴۰	۹	۱۶/۰۶
۸	۱/۴۷	۳۵	۷/۷۵	۱۴/۰۶
۹	۱/۵۴	۴۰	۸	۲۷/۳۳

۱۰	۱/۴۱	۳۰	۷/۲۵	۲۳/۴۹
۱۱	۱	۳۳	۶/۵	۱۳/۱۸
۱۲	۰/۱۳	۱۸	۴	۸/۴۷

با مشاهده اعداد بدست آمده در قسمت نتایج می‌توان نتیجه گرفت که ذرات سیلت هم بـه انـدازه ذرات رس دارای میزان قابل ملاحظه ای فسفر قابل استفاده هستند. میانگین فسفر قابل استفاده گیاه در ذرات رس و سیلت قابل انتشـار در آب بیشتر بوده و به ترتیب برابر با ۱۵/۴۰ و ۱۴/۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ذره بدسـت آمـد (جـدولهای ۱ و ۲). ایـن موضوع بیانگر نقش مهم این دو ذره در تامین فسفر مورد نیاز گیاه نسبت به سایر ذرات می‌باشد. علاوه بر ایـن، فراوانـی فسفر در ذرات رس و سیلت قابل انتشار در آب بر هدر رفت فسفر در فرآیند فرسایش خـاک را نیـز بیـان مـی‌کنـد. بـه عبارت دیگر، ذرات سیلت که حساسیت بیشتری به فرسایش دارند با خروج خود از خاک‌های زراعی مـی‌تواننـد مقـادیر قابل ملاحظه‌ای از فسفر قابل استفاده گیاه را از خاک خارج کنند. این موضوع نه تنها از لحاظ کشاورزی بلکـه از جهـت مسائل زیست محیطی مهم بوده و می‌تواند به عنوان یکی از عوامل مهم در آلودگی و یوتریفیکاسـیون منـابع آب مـورد بحث و بررسی قرار گیرد.

همانطوری که می دانید ذرات رس به علت داشتن سطح ویژۀ بیشـتر و فعـال دارای میـزان بیشـتری فسـفر قابـل دسترس هستند. در رابطه با میزان زیاد فسفر قابل دسترس در ذرات سیلت نیز می توان گفت که شـاید میـزان بـالای مواد آلی در این ذرات(به طور متوسط میزان مواد آلی در ذرات سیلت ۱/۲ درصد می‌باشد) باعـث زیـادی فسـفر قابـل دسترس در این ذرات شده است. همانطوری که در قسمت مقدمه گفته شد بخش عمده فسفر بـر روی ذرات کلوییـدی چسبیده اسـت، بنـابراین بـا انتقـال ایـن ذرات از طریـق فرسـایش مقـدار بسـیار زیـادی فسـفر از مزرعـه خـارج مـی شود(رفاهی،۱۳۷۵).

مومنی و همکاران(۱۳۸۸) اشاره کردند که ذرات سیلت و رس بخش عمده‌ای از ذرات رسوب را تشکیل مـی‌دهنـد، بنابراین نقش مهمی را در انتقال عناصر غذایی بر عهده دارند. در این میان ذرات رس به دلیل غلظت بیشتر فسفر قابـل دسترس و ذرات سیلت به دلیل سهم بیشتر در کل ذرات رسوب، هر یک می‌توانند در انتقال فسفر قابل دسـترس مهـم باشند. بنابراین می‌توان گفت که ذرات سیلت به دلیل حساسیت بیشتر به فرسایش و کنده شدن، و ذرات رس به دلیـل غنی بودن از فسفر نقش به سزایی در انتقال فسفر از حوضه‌های آبخیز دارند.

همچنین به دلیل اینکه ذرات سیلت و رس دارای بخش عمده‌ای از فسفر قابل جذب برای گیاه هستند، خروج آنها از خاک موجب کاهش حاصلخیزی و توان باروری خاک به جا مانده می‌شود. با توجـه بـه آسـانی انتقـال ذرات سـبکتر مانند سیلت و رس و غنی بودن این ذرات از فسفر، تهنشینی آنها در مخازن آب می‌توانـد در درازمـدت باعـث افـزایش غلظت فسفر شود. بویژه اینکه این ذرات دارای میزان زیادی فسفر قابل دسترس بوده که می‌توانند بـه آسـانی بـه درون آب آزاد شوند. بنابراین می توان گفت که ذرات سیلت به دلیل حساسیت بیشتر به فرسایش و کنده شدن، و ذرات رس به دلیل غنی بودن از فسفر نقش به سزایی در انتقال فسفر از حوضه های آبخیز دارند(مومنی و همکاران، ۱۳۸۸).

نسبت میزان کربنات کلسیم فعال به کربنات کلسیم معادل در رس قابل انتشار در آب ۰/۹ بـود. ایـن نسـبت بیـان می‌کند که قسمت اعظم کربنات کلسیم در رس قابل انتشار درآب به شکل فعال بوده و می‌تواند در فرآیندهای فیزیکـی و شیمیایی که در خاک اتفاق می‌افتد نقش بیشتری نسبت به دیگر ذرات معدنی ایفا نماید.

همچنین نسبت ماده آلی در ذرات رس و سیلت قابل انتشار در آب نسبت به نمونـه خـاک بـه ترتیـب ۰/۸۸ و ۱/۱ بدست آمد. این نسبت بیانگر اینست که ذرات رس و سیلت دارای مقادیر قابل ملاحظه‌ای ماده آلی می‌باشند. هدر رفت

این اجزاء در اثر پدیده فرسایش ممکن است منجر به خروج مقادیر قابل توجهی ماده آلی خاک بشود. این موضوع با عنایت به فقر مواد آلی در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله خاک‌های ایران از اهمیت خاصی برخوردار است.

کم شدن فسفر در نتیجه فرسایش یا برداشت به وسیله گیاه اگرچه از لحاظ عددی ممکن است شبیه باشند و در بیشتر موارد فرسایش مقدار بیشتری فسفر را از خاک خارج کند. ولی از لحاظ کیفیت فسفری که از خاک خارج شده است این دو قابل مقایسه نیستند. زیرا گیاه فقط فسفر قابل جذب خاک را خارج می کند، در صورتی که فرسایش مجموعه ای را که فسفر قابل جذب جزئی از آن است تلف می نماید. ارزش فسفر قابل جذب برای گیاه خیلی بیش از ارزش فسفری است که با فرسایش از دست می رود. ضمنا خاک قادر است فسفری را که برای رشد گیاه عرضه نموده بود، دوباره از منابع ذخیره شده فسفر تامین کند و غالب خاکها قادرند سالها بدون دریافت کود فسفری این میزان فسفر را تامین کنند، در صورتی که کم شدن فسفر در نتیجه فرسایش فقط با افزایش کودهای فسفری امکان پذیر است(سالار دینی، ۱۳۵۸).

نتیجه گیری:

همانطوری که در قسمت نتایج و بحث اشاره شد ذرات سیلت و رس حاوی مقادیر قابل ملاحظه ای فسفر و ماده آلی می باشند. از آنجایی که این ذرات بخش عمده‌ای از ذرات رسوب را تشکیل می‌دهند، بنابراین نقش مهمی را در انتقال عناصر غذایی بر عهده دارند. هدر رفت این اجزاء در اثر پدیده فرسایش ممکن است منجر به خروج مقادیر قابل توجهی ماده آلی و فسفر از خاک بشود.

منابع

مقاله در مجله:

– قربانی، محمد؛ حسینی، سید صفدر،۱۳۸۴، فقر مواد غذایی خاک : نگرشی اقتصادی بر فرسایش در ایران، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، سال دوازدهم، شماره اول.

– مومنی، م، کلباسی، م، جلالیان ،ا ، خادمی ، ح. ۱۳۸۸. ارزیابی اثر تغییر کاربری و چرای بیرویه بر تولید رواناب و رسوب و هدررفت فسفر خاک در زیر حوضه سولگان، مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، دوره ۶۲، شماره ۱، دانشگاه صنعتی اصفهان.

-Allison, L. E., Moodie, C. D. 1962. Carbonates. PP 1379- 1396. In: C. A. Black et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2, Am. Soc. Agron. , Madison, WI.

-Ide JI, Haga H, Chiwa M and Otsuki K, 2008. Effects of antecedent rain history on particulate phosphorus loss from a small forested watershed of Japanese cypress (Chamaecyparisobtusa). Journal of Hydrology 352, 322– 335.

-Kothyari UC, Jain M and Ranga Raju K, 2002. Estimation of Temporal Variation of Sediment Yield using GIS. Hydrological Sciences Journal 47(5),693-706.

-McDowell RW and Wilcock RJ, 2004. Particulate phosphorus transport within stream flow of an agricultural catchment. Journal of Environmental Quality 33,2111–2121.

-Olsen, S.R., Watanabe, F. S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Am. 21: 144-149.

-Walky, A., Black, I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determination soil organic matter and a proposed modification of chromic acid in soil analysis. Experimental Soil Science, 79: 459-465.

-Zhang F, He X, Gao X, Zhang C and Keli T, 2005. Effects of erosion patterns on nutrient loss following deforestation on the Loess Plateau of China. Agriculture, Ecosystems and Environment 108, 85–97.

مقاله در همایش:

–نور، ح. میرنیا، س.خ. و ظریف معلم، م.س.، ۱۳۹۱. توانایی داده های دبی جریان و رسوب معلق در بر آورد غلظت فسفر(بررسی موردی :حوزۀ آبخیز کجور).

-McDowell RW, Sharpley AN, Condron LM, Haygarth PM and Brookes PC, 2001. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. Nutrient Cycling in Agroecosystems 59, 269–284.
-Noor H, Mirnia SKH and Raiesi MB, 2011. Estimation of Organic Matter Losses in a Hyrcanian Ecosystem (A Case Study of Kojor Watershed). Environmental Sciences 8(1), 107-114.

کتاب:

- رفاهی، حسین‌قلی، ۱۳۷۵، فرسایش آبی و کنترل آن.انتشارات دانشگاه تهران.۵۵۱ صفحه.

-سالار دینی، ع.ا، ۱۳۵۸. حاصلخیزی خاک، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.

-Bennett H, 2001. Soil conservation. Agrobios. New Dehli. 993pp.
-Blanco H and Lal R, 2008. Principles of Soil Conservation and Management. Springer Science. PP.
-617.

Water Dispersible Colloids

Amin Goli Kalanpa

M.Sc Soil Chemistry and Fertility, University of Mohaghegh Ardabili, soilgoli@yahoo.com

Abstract

Phosphorus is an essential macro nutrient elements for plants that forms about 0.2 -0.4 dry weight of them. One way of awareness the amount of phosphorus loss rate evaluation of this element in Water Dispersable Colloids(WDC). Determining WDC for cultivated soils in semiarid areas might aid prediction of the risk and consequences of water erosion. Given the importance of the positive and negative effects of phosphorus in plant nutrition and finally human healthy and nutrition is necessary in order to obtain more precise information and its interaction with the soil, the present study must be done. For this purpose, 12 soil samples were selected from Ardabil region and separated into four parts coarse sand, very fine sand, silt and clay. Then some parameters of them such as, organic matter, calcium carbonate equivalent, activated calcium carbonate and available phosphorus were measured. Given the importance of silt as a most sensitive particles to erosion and clay as a particles that have a the most special surface, Supplementary experiments were measured on them. Results showed that this particles have a many available P that can be used by plants. This is due to the erodiblity of this particles are more important and the erosion of this soils leads to the loss of significant amounts of phosphorus from the soil and reduced fertility of them in longtime.
Keywords: Colloidal particles, Soil erosion, Available phosphorus, phosphorus loss

گروه بندی ویژگی‌های فیزیکی خاک متأثر از بیوچار کاه گندم با روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و آنالیز کلاستر

حسن اصولی*[۱]، احمد کریمی[۲]، حسین شیرانی[۳]

۱*- دانشجوی دوره دکتری علوم خاک، osoolih@gmail.com

۲- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه شهرکرد.

۳- استاد گروه علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان.

چکیده

بیوچار شکلی از مواد آلی است که به‌عنوان ماده اصلاح‌کننده به خاک اضافه می‌شود. اثر بیوچار بر ویژگی‌های خاک به ماهیت ویژگی‌های مورد مطالعه و ویژگی‌های بیوچار بستگی دارد. هدف از این تحقیق بررسی اثر بیوچار کاه گندم در مقادیر ۰/۵%، ۱/۵% و ۳% درصد و اندازه ذرات ۰/۵-۰، ۱-۰/۵ و ۲-۱ میلی‌متر بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک لوم شنی بود. آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار (یک شاهد در هر تکرار) اجرا شد. نتایج با آنالیز واریانس یک طرفه، تجزیه به مولفه های اصلی (PCA) و تجزیه کلاستر بررسی گردیدند. نتایج نشان داد که چگالی ظاهری و مقاومت فروروی خاک نسبت به شاهد، کاهش و تخلخل کل، قطر خاکدانه‌های خشک و تر، رطوبت در گنجایش زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) نسبت به شاهد افزایش یافت. بیوچار با اندازه ذرات ۲-۱ میلی‌متر در مقدار ۳٪ بیوچار تأثیر بیشتری در تغییر ویژگی‌های مورد مطالعه داشت. PCA نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم، ۷۶٪ از واریانس کل را تبیین می‌کند. در مؤلفه اول، PWP و FC بیشترین تغییرات را داشتند و از نظر تاثیرپذیری از بیوچار در یک گروه قرار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان داد که پاسخ ویژگی‌های خاک به افزودن بیوچار متفاوت است.

واژگان کلیدی: مقاومت فروروی خاک، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، گنجایش زراعی، نقطه پژمردگی دائم.

مقدمه

بسیاری از عملکردهای خاک با ذخایر کربن آلی خاک ارتباط مستقیمی دارد (فلاح زاده و حاج عباسی، ۱۳۸۹). بیوچار فرمی از مواد آلی غنی از کربن است که در سال‌های اخیر به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک مورد توجه واقع شده است. بیوچار که در ابتدا به‌عنوان یک ماده جنبی در فرایند تولید سوخت زیستی تلقی می‌شد، سه اثر عمده مثبت تثبت کربن آلی در خاک، فواید آگرونومیکی و اکولوژیکی را دارد. مطالعات انجام شده اثر مثبت بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند چگالی ظاهری، تخلخل کل خاک، پایداری ساختمان خاک (افزایش میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها) و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک را نشان داده است (بلانکو، ۲۰۱۷).

نسیمی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش کردند که بیوچار حاصل از برگ خرما با داشتن تخلخل و مقدار کربن آلی قابل‌توجه، سبب بهبود تخلخل و پایداری ساختمان خاک (میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با الک تر و خشک) شد. ایشان نتیجه‌گیری کردند که می‌توان از بیوچار برای بهبود ساختمان خاک‌های تخریب یافته و ضعیف استفاده کرد. قربانی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که اضافه کردن بیوچار تهیه شده از شلتوک برنج در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد که در مقادیر ۰، ۱ و ۳٪ به دو خاک با بافت‌های لوم شنی و رسی، موجب بهبود میانگین وزنی و میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها، پایداری و بعد فرکتال خاکدانه‌ها در خاک با بافت رسی شد، ولی تأثیری بر ویژگی‌های مذکور در خاک با بافت لوم شنی نداشت. ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیق مزرعه‌ای در منطقه‌ای با اقلیم معتدل مرطوب، بیوچار کاه گندم تهیه شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد را در مقادیر ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار به زمینی که با تناوب برنج- گندم کشت می‌شد، اضافه کردند و نتایج مطالعه ایشان نشان داد که ۶ سال بعد از افزودن بیوچار به خاک، پایداری خاکدانه‌ها افزایش یافت.

مطالعات انجام شده نشان داده است که با افزودن بیوچار به خاک، ویژگی‌های خاک دچار تغییر می‌شود، ولی اثر بیوچار بر ویژگی‌های خاک یکسان و به ویژگی‌های خاک و بیوچار بستگی دارد. در این تحقیق مزرعه‌ای با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، اثر

بیوچار کاه گندم در مقادیر و اندازه ذرات مختلف بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک آهکی با بافت لوم شنی بررسی و میزان تأثیر بیوچار در تغییر ویژگی‌های خاک با تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تعیین شد.

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش و ویژگی‌های خاک: این تحقیق در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی تبریز با مختصات جغرافیایی ۳۷/۹۷۵۲° عرض شمالی، ۴۶/۵۵۱۶° طول شرقی و ارتفاع ۱۸۴۳ متر از سطح دریا اجرا گردید. برای اطلاع از وضعیت خاک محل آزمایش، یک نمونه مرکب تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پایه‌ای خاک اندازه‌گیری گردید. pH در نسبت ۱:۱ خاک به آب مقطر، EC در عصاره گل اشباع، بافت خاک با روش هیدرومتری، مقدار کربنات کلسیم با روش کلسی‌متری، کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شدند. خاک موردمطالعه، دارای pH=۷/۸۵، EC=۱/۶۵، بافت لوم شنی (۵۷ ٪ شن، ۳۰ ٪ سیلت و ۱۳٪ رس)، مقدار کربنات کلسیم ۱۳/۵٪ و ماده آلی ۱/۱۷٪ بود.

تهیه بیوچار: بیوچار مورد استفاده از کاه گندم هوا خشک تهیه شد. مواد اولیه در یک کوره با ظرفیت ۲۰۰ لیتر از نوع دو بشکه در دما ۳۳۰°C در ۸ ساعت گرما کافت شدند. بیوچارهای تهیه‌شده با الک‌های با قطر منافذ ۲، ۱ و ۰/۵ میلی‌متری الک شدند.

طراحی آزمایش و اعمال تیمارها: در آزمایشی با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، بیوچار کاه گندم (SB) با مقدارهای ۰/۵(R1)، ۱/۵ (R2) و ۳ (R3) درصد وزنی و اندازه ذرات بیوچار ۰/۵-۰ (S1)، ۱-۰/۵ (S2) و ۲-۱ (S3) میلی‌متر در سه تکرار به خاک اضافه شدند. در هر تکرار یک کرت شاهد در نظر گرفته شد. برای این منظور، کرت‌هایی به مساحت یک مترمربع (۱متر×۱ متر) احداث گردید. بین دو کرت متوالی (در هر بلوک) نیم متر فاصله و بین بلوک‌ها (تکرارها) یک متر فاصله در نظر گرفته شد. در ۲۰ ام مرداد ۱۳۹۷، تیمارها به سطح خاک اضافه‌شده و تا عمق ۱۵ سانتی‌متر با خاک مخلوط شدند. برای انجام عمل انکوباسیون، کرت‌های آزمایشی به مدت سه ماه (هر هفته)، آبیاری شدند. طبق تقویم کشت منطقه در کرت‌های آزمایشی گندم آبی رقم میهن کشت شد. حدودا ۲۷۰ روز بعد از افزودن بیوچار به خاک، نمونه‌برداری از کرت‌های آزمایشی برای تعیین ویژگی‌های مورد مطالعه انجام گردید.

اندازه‌گیری‌ها

جرم مخصوص ظاهری خاک (BD) و تخلخل کل خاک (TP) با استفاده از استوانه نمونه‌برداری و با روش گفته‌شده در منبع تعیین شد (ایکسیااو و همکاران، ۲۰۱۶). مقاومت فروروی[1] (PR) خاک با فرو سنج مخروطی دینامیک تعیین شد (هریک و جونز، ۲۰۰۲). برای این منظور در سه نقطه از هر کرت تعداد ضربات لازم برای فرورفتن فرو سنج تا عمق ۱۵ سانتی‌متر یادداشت و مقاومت فروروی خاک از رابطه زیر به دست آمد.

$$R = \frac{N \times M \times g \times SD}{A \times PD} \qquad (۱)$$

که در آن، R: مقاومت فروروی (Pa)، N: تعداد ضربات لازم برای فرورفتن دستگاه تا عمق موردنظر، M: وزن قسمت متحرک (چکش) نفوذسنج (kg)، g: شتاب ثقل زمین (۹/۸۱ ms^{-2}) SD: طول مسیر حرکت چکش (m)، A: مساحت مخروط (m^2) و PD: عمق نفوذ دستگاه (m) است.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها با الک خشک (MWDdry) و تر (MWDwet)، ۱۰۰ گرم از خاک هوا خشک الک شده با الک ۸ میلی‌متری، بر روی سری الک‌های با قطر سوراخ‌های ۴، ۲، ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ میلی‌متر با استفاده از رابطه زیر تعیین شدند (لی یو و همکاران، ۲۰۱۲).

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} d_i w_i \qquad (۲)$$

از هر کرت آزمایشی نمونه دست‌نخورده تهیه شد و با استفاده از دستگاه‌های قیف هنز و صفحه‌های فشاری، مقدار رطوبت در گنجایش زراعی (FC) در مکش ۰/۱ بار و نقطه پژمردگی دائمی (PWP) در مکش ۱۵ بار تعیین گردید (کلوت، ۱۹۸۶).

[1] Penetration resistance

آنالیزهای آماری: ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک و یکنواختی واریانس با آزمون لوون تست گردید. برای پی بردن به اثر بیوچار بر ویژگی‌های مورد مطالعه، آنالیز واریانس یک‌طرفه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. برای تعیین میزان تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک، از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. در این روش ابتدا ماتریس همبستگی بین متغیرها برای ورود آن‌ها به تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تعیین و برای تعیین کفایت نمونه‌ها از آزمون کرویت بارتلت و آزمون Kaiser-Meyer-Olki (KMO) استفاده شد. برای گروه‌بندی تأثیرپذیری ویژگی‌های فیزیکی خاک از بیوچار، تجزیه کلاستر بر مبنای نزدیکی بین گروه‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افزودن بیوچار به خاک لوم شنی موجب تغییر معنی‌دار ویژگی‌های مورد مطالعه شد (جدول ۱). چگالی ظاهری خاک (BD) در تیمار شاهد ۱/۲۷ $gr\ cm^{-3}$ بود که با افزودن بیوچار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد پیداکرده و در محدوده ۱/۱-۰/۸۹ $gr\ cm^{-3}$ قرار گرفت. کمترین BD (۰/۸۹ $gr\ cm^{-3}$) با کاهش ۲۹/۹ درصدی نسبت به شاهد در تیمار R3S2 مشاهده شد که با تیمار R3S3 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۲). علت کاهش چگالی ظاهری خاک، به اثر رقت حاصل از افزودن یک ماده با چگالی کم مانند بیوچار به خاک بستگی دارد که بلافاصله بعد از افزودن آن به خاک بروز می‌نماید. در غالب مطالعات انجام‌یافته، گزارش شده که با افزودن مقادیر مختلف بیوچار به خاک باکلاس‌های بافتی مختلف (از شنی تا رسی) و در رده‌های مختلف خاک، کاهش معنی‌داری را در چگالی ظاهری خاک ایجاد کرده است (قامایج و همکاران، ۲۰۱۶).

تخلخل کل خاک (TP) در تیمار شاهد ۰/۲۵ $cm^3\ cm^{-3}$ بود و با اعمال تیمارها، TP افزایش یافت و در محدوده $cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۶۵-۰/۵۴ قرار گرفت. بیشترین TP (۰/۶۵ $cm^3\ cm^{-3}$) در تیمار R3S3 مشاهده شد که نسبت به شاهد، ۱۶۰٪ افزایش یافت. مطالعات نشان داده است که با افزون بیوچار به خاک، تعداد میکرو پورهای خاک افزایش می‌یابد و تغییر در توزیع اندازه منافذ، میزان تخلخل کل خاک را نیز افزایش می‌دهد. افزایش اندازه ذرات بیوچار موجب کاهش یکنواختی توزیع اندازه منافذ خاک و موجب افزایش تخلخل کل خاک می‌شود (قامایج و همکاران، ۲۰۱۶).

مقاومت فروروی خاک (PR) در تیمار شاهد ۱/۶۵ KPa بود و با اعمال تیمارها، PR کمتر شد و در محدوده KPa ۱/۲۵-۰/۷۰ قرار گرفت. کمترین PR (۰/۷ KPa) در تیمار R3S3 مشاهده شد که نسبت به شاهد، ۵۷/۶ کاهش یافت. علت کاهش مقاومت فروروی خاک (و نیز کاهش چگالی ظاهری خاک) اثر رقت افزوده شدن ماده‌ای با چگالی کم مانند بیوچار به خاک بیان شده است (بلانکو، ۲۰۱۷). در برخی از مطالعات گزارش شده که افزودن بیوچار به خاک تأثیری بر مقاومت فروروی خاک نداشت، ولی احمد و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که با اضافه نمودن بیوچار به خاک، مقاومت فروروی و تنش برشی خاک کاهش یافت.

میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های خشک (MWDdry) در تیمار شاهد ۰/۸۹ mm بود و با اعمال تیمارها، MWDdry افزایش یافت و در محدوده mm ۱/۲۵-۰/۹۵ قرار گرفت. بزرگ‌ترین MWDdry (۱/۲۵ mm) با افزایش ۴۰/۴٪ نسبت به شاهد، در تیمار R3S3 مشاهده شد که با تیمارهای R3S2، R3S1 و R1S1 تفاوت معنی‌داری نداشت. میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های مرطوب (MWDwet) در تیمار شاهد ۰/۲۰ mm بود و با اعمال تیمارها، MWDwet افزایش یافت و در محدوده mm ۰/۸۱-۰/۴۵ قرار گرفت. بزرگ‌ترین MWDwet (۰/۸۱ mm) با افزایش ۳۰۵ درصدی نسبت به شاهد در تیمار R3S2 مشاهده شد که با تیمارهای R3S1 تفاوت معنی‌داری نداشت. تماس سطوح مواد معدنی خاک با بیوچار می‌تواند موجب تشکیل پیوندهایی بین گروه‌های عاملی فنلیک و کربوکسیلیک موجود بر سطوح بیوچار با مواد معدنی خاک شود (لی یو و همکاران، ۲۰۱۲).

میزان رطوبت در گنجایش زراعی (FC) در تیمار شاهد ۰/۲۵ $cm^3\ cm^{-3}$ بود و با اعمال تیمارها، FC افزایش یافت و در محدوده $cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۴۲-۰/۲۶ قرار گرفت. بیشترین FC (۰/۴۲ $cm^3\ cm^{-3}$) در تیمار R3S2 مشاهده شد که نسبت به شاهد، ۶۸٪ افزایش یافت. میزان رطوبت در نقطه پژمردگی دائمی (PWP) در تیمار شاهد ۰/۰۹۱ $cm^3\ cm^{-3}$ بود و با اعمال تیمارها، PWP افزایش یافت و در محدوده $cm^3\ cm^{-3}$ ۰/۲۵-۰/۱ قرار گرفت. بیشترین PWP (۰/۲۵ $cm^3\ cm^{-3}$) در تیمار R3S2 مشاهده شد که نسبت به

شاهد، ۱۷۴/۷٪ افزایش یافت. بیوچار کاه گندم با ایجاد ساختار شبکه‌ای مانند، موجب افزایش فضای بین ذرات خاک شده و ظرفیت نگهداری رطوبت خاک در FC و PWP را افزایش می‌دهند (لی یا او و همکاران، ۲۰۱۹).

جدول ۲: مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه

تیمار	BD	TP	PR	MWDdry	MWDwet	FC	PWP
شاهد	۱/۲۷a	۰/۲۵d	۱/۲۶a	۰/۸۹f	۰/۲g	۰/۲۵۱۷g	۰/۰۹۱۲h
R1S1	۱/۱b	۰/۵۴۳۳c	۱/۲۵۳۳a	۱/۲۱۳۳ab	۰/۵۷۶۷de	۰/۲۶۳۳g	۰/۱۱f
R1S2	۱/۰۵۶۷bc	۰/۵۴۳۳c	۱/۰۰۶۷b	۱/۰۶cd	۰/۵۸de	۰/۳۰۶۷e	۰/۱۴e
R1S3	۱/۰۲۶۷bc	۰/۵۳۶۷c	۰/۹۳bc	۱/۰۶۳۳cd	۰/۴۵f	۰/۳۱e	۰/۱۴e
R2S1	۱/۰۲۳۳bc	۰/۵۲۶۷c	۱/۲۴a	۰/۹۵۶۷ef	۰/۶۹۳۳bc	۰/۲۸f	۰/۱g
R2S2	۰/۹۶۳۳cd	۰/۵۵c	۰/۸۶bc	۱/۱۲bcd	۰/۶۴۶۷cde	۰/۳۷c	۰/۱۹d
R2S3	۱/۰۰۶۷bc	۰/۶b	۰/۹۰۶۷bc	۱/۰۴de	۰/۶۷۶۷bcd	۰/۳۸۶۷b	۰/۲۳۳۳b
R3S1	۰/۹۶۶۷cd	۰/۶۱b	۰/۷۸۳۳cd	۱/۱۵۶۷abc	۰/۷۶۶۷ab	۰/۳۵d	۰/۲۰۶۷c
R3S2	۰/۸۹d	۰/۶۲b	۰/۶۶۳۳d	۱/۱۹۶۷ab	۰/۸۰۶۷a	۰/۴۲۳۳a	۰/۲۵a
R3S3	۰/۸۹۳۳d	۰/۶۵۳۳a	۱/۲۵۳۳a	۰/۷۰۶۷d	۰/۵۴۳۳ef	۰/۳۶۳۳cd	۰/۲۱c

- میانگین‌های دارای حروف یکسان تفاوت معنی‌داری ندارند.

گروه‌بندی ویژگی‌های مورد مطالعه: نتایج آزمون بارتلت (معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪) و KMO (۰/۷۴۲) نشان داد که تعداد داده‌ها برای انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) کفایت می‌کند. ماتریس همبستگی هم نشان داد که بین ویژگی‌های مورد مطالعه همبستگی معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳).

جدول ۳: ماتریس همبستگی بین ویژگی‌های مورد مطالعه

	BD	TP	MWDdry	MWDwet	FC	PWP
TP	-۰/۸۲۶۳**					
PR	۰/۶۸۳۳**	-۰/۶۵۲۱**				
MWDdry	-۰/۵۷۶۸**	۰/۶۹۱۱**				
MWDwet	-۰/۶۷۱۶**	۰/۷۶۵۶**	-۰/۴۸۶۴**	۰/۴۳۸۱*		
FC	-۰/۷۰۵۲**	۰/۶۷۲۵**	-۰/۸۵۷۷**	۰/۴۲۲۷**	۰/۶۱۱۳**	
PWP	-۰/۷۱۲۳**	۰/۷۰۱۰**	-۰/۸۶۹۱**	۰/۵۰۲۵**	۰/۵۹۳۵**	۰/۹۶۷۴**

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ ($P<0.01$) و *: معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ ($P<0.05$).

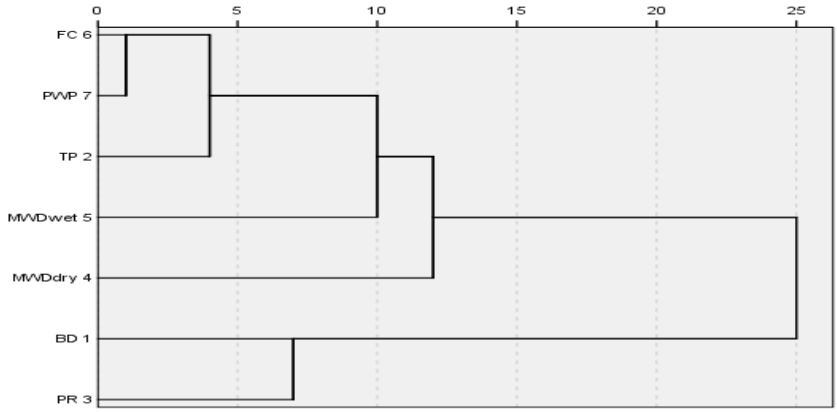
نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مقادیر ویژه مؤلفه اول و مؤلفه دوم بیشتر از ۱ است و به ترتیب ۶۱ و ۱۵ درصد (به‌صورت تجمعی ۷۶٪) از تغییرات واریانس کل را تبیین می‌نمایند (جدول۴). در مؤلفه اول بیشترین سهم تغییرات به ترتیب برای PWP (۰/۹۴۸) و FC (۰/۹) و TP (۰/۸۶۷) و در مؤلفه دوم بیشترین سهم تغییرات برای MWDwet (۰/۵۹۹) است (جدول ۵). با افزودن بیوچار کاه گندم در مقدار و اندازه ذرات مختلف، ویژگی‌های PWP، FC و TP بیشترین تأثیر مثبت (افزایش در مقادیر ویژگی‌های ذکرشده) را پذیرفته و در تجزیه کلاستر در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۱). ویژگی‌های PR و BD بیشترین تأثیر منفی (کاهش در مقادیر ویژگی‌های مذکور) را از افزودن تیمارهای مورد مطالعه نشان دادند و ازنظر تأثیرپذیری در یک گروه قرار گرفتند (شکل ۱).

جدول ۴: سهم هر یک از مؤلفه‌ها از واریانس کل

مؤلفه	وزن ویژه[2]		
	کل	واریانس٪	تجمعی٪
۱	۴/۲۷۲	۶۱/۰۲۵	۶۱/۰۲۵
۲	۱/۰۵۷	۱۵/۱۰۵	۷۶/۱۳۰
۳	۰/۷۱۴	۱۰/۲۰۲	۸۶/۳۳۲
٤	۰/۵۰۹	۷/۲۷۵	۹۳/۶۰۷
٥	۰/۲۶۰	۳/۷۱۹	۹۷/۳۲۶
٦	۰/۱۶۷	۲/۳۹۱	۹۹/۷۱۷
۷	۰/۰۲۰	۰/۲۸۳	۱۰۰/۰۰۰

جدول ۵: سهم هر یک از ویژگی‌های از تغییرات در هر مؤلفه

ویژگی‌های مورد مطالعه	مؤلفه	
	۱	۲
PWP	۰/۹۴۸	۰/۱۳۰
FC	۰/۹۰۰	۰/۲۷۰
PR	-۰/۸۸۹	۰/۰۴۹
TP	۰/۸۶۷	-۰/۲۴۸
BD	-۰/۷۴۸	۰/۰۳۶
MWDdry	۰/۴۹۰	-۰/۷۳۸
MWDwet	۰/۴۷۰	۰/۵۹۹



شکل ۱: گروه‌بندی ویژگی‌های مورد مطالعه با تجزیه کلاستر

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که با اضافه کردن بیوچار به خاک لوم شنی ویژگی‌های مورد مطالعه در مقایسه با شاهد تغییر کردند. چگالی ظاهری و مقاومت فروروی خاک نسبت به شاهد کاهش و تخلخل کل خاک، قطر خاکدانه‌های خشک و تر، رطوبت در گنجایش زراعی و نقطه پژمردگی دائم نسبت به شاهد افزایش یافت. کمترین BD ($0/89\ gr\ cm^{-3}$) در تیمار R3S2 مشاهده شد که با تیمار R3S3 تفاوت معنی‌داری نداشت. کمترین PR (۰/۶۵ KPa) و بزرگ‌ترین MWDdry (۱/۲۵ mm) در تیمار R3S3 و نیز بزرگ‌ترین MWDwet (۰/۸۱ mm)، بیشترین FC ($0/42\ cm^3\ cm^{-3}$) و PWP ($0/25\ cm^3\ cm^{-3}$) در تیمار R3S2 مشاهده شد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که مؤلفه‌های اول و دوم ۷۶٪ از واریانس کل را تبیین می‌کند. در مؤلفه اول، PWP و FC در مؤلفه دوم، MWDwet بیشترین تغییرات را داشتند و همچنین در گروه‌بندی با تجزیه کلاستر، PWP و FC در یک گروه که، قرار گرفتند که تغییرات مشابهی را داشتند. نتایج این تحقیق نشان داد که پاسخ ویژگی‌های خاک به افزودن بیوچار متفاوت است.

فهرست منابع

نسیمی، پ.، کریمی، ا.، گرامی، ز. (۱۳۹۹). اثرات بلندمدت بیوچار حاصل از برگ خرما بر تخلخل و پایداری ساختمان خاک لوم رسی شنی. پژوهش‌های خاک ۳۴(۲)، ۲۱۴-۱۹۹.

[2] Initial Eigenvalues

فلاح زاده، ج.، و حاج عباسی، م. (۱۳۸۹). بررسی ذخایر مواد آلی خاک دانه در خاک‌های رسی تحت کاربری مرتع تخریب‌شده و کشاورزی در زاگرس مرکزی. پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۷(۳)، ۱۷۹-۱۹۴.

Ahmed, A., Gariepy, Y., and Raghavan, V. 2017. Influence of wood-derived biochar on the compactibility and strength of silt loam soil. *International Agrophysics*, 31(2): 149-155.

Blanco-Canqui, H. 2017. Biochar and soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4): 687-711.

Gamage D. V., Mapa R. B., Dharmakeerthi R. S., and Biswas, A. 2016. Effect of rice-husk biochar on selected soil properties in tropical Alfisols. *Soil Research*, 54(3): 302-310.

Zhang, Q., Song, Y., Wu, Z., Yan, X., Gunina, A., Kuzyakov, Y., and Xiong, Z. 2020. Effects of six-year biochar amendment on soil aggregation, crop growth, and nitrogen and phosphorus use efficiencies in a rice-wheat rotation. *Journal of Cleaner Production*, 242: 118435.

Ghorbani, M., Asadi, H., & Abrishamkesh, S. 2019. Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International soil and water conservation research*, 7(3): 258-265.

Herrick, J. E., and Jones, T. L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal*, 66(4): 1320-1324.

Klute A. 1986. Water retention: laboratory methods. In: Klute A. (Ed.) Methods of soil analysis: Part 1, Physical and mineralogical methods. *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy*, Madison, pp 635-662.

Liu, X.H., Han, F.P., and Zhang, X.C. 2012. Effect of biochar on soil aggregates in the loess plateau: results from incubation experiments. *International Journal Agricultural Biology*, 14: 975–979.

Liao W., and Thomas S.C. 2019. Biochar particle size and post-pyrolysis mechanical processing affect soil pH, water retention capacity, and plant performance. *Soil Systems*, 3(1): 14.

Xiao Q., Zhu L. X., Zhang H. P., Li, X. Y., Shen Y. F., and Li S. Q. 2016. Soil amendment with biochar increases maize yields in a semi-arid region by improving soil quality and root growth. *Crop and Pasture Science*, 67(5): 495-507.

Grouping of physical properties of soil affected by wheat straw biochar by principal component analysis and cluster analysis

Hassan Osooli *[1], Ahmad Karimi [2], Hossein Shirani [3]

1-PhD Student in Soil Sciences Department, Shahrekord Universit., osoolih@gmail.com

2-Assistant Professor of Soil Science Department, Shahrekord University.

3-Professor of Soil Science, Vali Asr University, Rafsanjan.

Abstract

Biochar is a form of organic matter that is added to the soil as an amedmeant. The effect of biochar on soil properties depends on the nature of the soil properties and biochar characteristics. The aim of this study was to investigate the effect of wheat straw biochar in the amounts of 0.5%, 1.5% and 3% and particle size of 0-0.5, 0.5-1 and 1-2 mm on some physical properties of sandy loam soil. An experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications (one control per replication). The results were analyzed by one-way ANOVA, principal component analysis (PCA) and cluster analysis. The results showed that the bulk density and penetrometer resistance of the soil reduced and total porosity, diameter of dry and wet aggregates, moisture content in the field capacity (FC) and permanent wilting point (PWP) increased compared to the control. Biochar with a particle size of 1-2 mm in the amount of 3% Biochar had a greater effect on changing the studied properties. PCA showed that the first and second components accounted for 76% of the total variance. In the first component, PWP and FC had the most changes and were in the same group in terms of biochar influence. The results of this study showed that the response of soil properties to the addition of biochar is different.

Keywords: Aggregates diameter, field capacity, permanent wilting point, Soil penetrometer resistance.

آثار بیوچار حاصل از کاه گندم بر نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی

حسن اصولی*[۱]، احمد کریمی[۲]، حسین شیرانی[۳]

۱- دانشجوی دوره دکتری علوم خاک دانشگاه شهرکرد، osoolih@gmail.com.

۲- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه شهرکرد.

۳- استاد گروه علوم خاک دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

چکیده

اندازه ذرات بیوچار از ویژگی‌های مهم بیوچار است که در مطالعات انجام‌شده کمتر موردتوجه بوده است. این تحقیق مزرعه‌ای با هدف بررسی اثر اندازه ذرات بیوچار کاه گندم در مقادیر مختلف بر متوسط سرعت نفوذ آب در خاک (i) و هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (K_{sf}) در خاک آهکی با بافت لوم شنی انجام شد. آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. بیوچار کاه گندم در مقدارهای ۰/۵ (R1)، ۱/۵ (R2) و ۳ (R3) درصد و اندازه‌های ۰/۵-۰ (S1)، ۱-۰/۵ (S2) و ۲-۱(S3) میلی‌متر تا عمق ۱۵-۰ cm به خاک اضافه شد. افزودن بیوچار کاه گندم موجب افزایش i (در غالب تیمارها) و K_{sf} (در تمام تیمارها) نسبت به شاهد شد. اثر تغییر در اندازه ذرات بیوچار بسته به مقدار بیوچار اضافه شده به خاک متفاوت بود. ذرات کوچک (S1) در تمام مقادیر مورد مطالعه، تغییر معنی‌داری در i نسبت به شاهد را سبب نشد. بیشترین مقدار هر دو ویژگی مورد مطالعه در ذرات درشت (S3) در مقدار R3 مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزودن بیوچار با اندازه ذرات مناسب، ویژگی‌های هیدرولیکی خاک بهبود می‌یابد.

واژگان کلیدی: اصلاح خاک، بیوچار کاه گندم، سرعت نفوذ آب به خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک.

مقدمه

نفوذ آب در خاک یک فرایند مهم در چرخه آب است و ویژگی‌های سطح خاک و داخل خاک رخ از عواملی هستند که سرعت نفوذ آب به خاک و سرعت حرکت آب در خاک را تعیین می‌کنند. اصلاح ویژگی‌های ذکرشده موجب افزایش ورود آب آبیاری و بارش‌های جوی، ذخیره آب در خاک و به‌طورکلی مدیریت بهینه آب خاک می‌شود. افزودن بیوچار به خاک پتانسیل بالایی در کاهش اثرات خشک‌سالی و افزایش محصول را دارد (یو و همکاران، ۲۰۱۳).

بررسی تحقیقات انجام‌یافته نشان می‌دهد که افزودن بیوچار به خاک موجب کاهش چگالی ظاهری و افزایش تخلخل خاک و نیز تغییر در توزیع اندازه منافذ خاک می‌شود (آبل و همکاران، ۲۰۱۳). تغییر در ویژگی‌های ذکرشده سرعت نفوذ آب در خاک، هدایت هیدرولیکی اشباع و هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، که این تغییر بسته به ویژگی‌های خاک و بیوچار و شرایط مطالعه می‌تواند متفاوت باشد. نوواک و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که افزودن مخلوط بیوچار تهیه شده از چوب کاج و کود مرغی با نسبت ۵۰:۵۰ و ۲۰:۸۰ به خاک متراکم، موجب افزایش معنی‌دار سرعت نفوذ آب به خاک نسبت به تیمار شاهد (بدون بیوچار) شد. این در حالی بود که افزودن بیوچار کود مرغی به‌تنهایی تغییر معنی‌داری سرعت نفوذ آب نسبت به شاهد را سبب نشد. نتایج مطالعه سان و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که افزودن بیوچار دانه‌بندی نشده (الک نشده) تهیه شده از کاه ذرت[۱] به مقدار ۱۰٪ ، نفوذ آب در خاک شور ساحلی[۲] را در مقایسه با شاهد کاهش داد.

در مطالعات انجام‌شده کمتر به بررسی اثر در تغییر در اندازه ذرات بیوچار در یک مقدار ثابت بر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک آهکی بررسی شده است. این تحقیق مزرعه‌ای با هدف بررسی اثر تغییر اندازه درات بیوچار در مقادیر مختلف بیوچار کاه گندم بر سرعت نفوذ آب به خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای انجام شد.

---

[۱] Corn straw

[۲] Coastal saline soil

مواد و روش‌ها

محل اجرای آزمایش و ویژگی‌های خاک

این تحقیق در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی تبریز با مختصات جغرافیایی ° ۳۷/۹۷۵۲ عرض شمالی، ° ۴۶/۵۵۱۶ طول شرقی و ارتفاع ۱۸۴۳ متر از سطح دریا اجرا گردید. برای اطلاع از وضعیت خاک محل آزمایش، یک نمونه مرکب تهیه و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پایه‌ای خاک اندازه‌گیری گردید. pH در نسبت ۱:۱ خاک به آب مقطر، EC در عصاره گل اشباع، بافت خاک به روش بایکاس، مقدار کربنات کلسیم با روش کلسی‌متری، کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر اندازه‌گیری شدند. خاک موردمطالعه، دارای pH=۷/۸۵، EC=۱/۶۵ ds/m، بافت لوم شنی (۵۷ ٪ شن، ۳۰ ٪ سیلت و ۱۳٪ رس)، مقدار کربنات کلسیم ۱۳/۵٪ و کربن آلی ۰/۵۱۷٪ بود.

تهیه بیوچار

بیوچار مورد استفاده در این تحقیق از کاه گندم هوا خشک تهیه شد. کاه گندم در یک کوره با ظرفیت ۲۰۰ لیتر از نوع دو بشکه در دمای °C ۳۳۰ در ۸ ساعت گرما کافت شد.

طرح آزمایش و اعمال تیمارها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با سه فاکتور نوع، مقدار و اندازه بیوچار در سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل بیوچارهای کاه گندم (SB)، ورمی کمپوست (VB) و هیزم زردآلو (AB) و مقدارهای ۰/۵(R1)، ۱/۵ (R2) و ۳ (R3) درصد وزنی و اندازه ذرات بیوچار ۰/۵-۰ (S1)، ۱-۰/۵ (S2) و ۲-۱ (S3) میلی‌متر بود. در هر بلوک یک کرت شاهد نیز در نظر گرفته شد.

بعد از شخم زمین، کرت‌هایی به مساحت یک مترمربع (۱متر×۱ متر) احداث گردید. بین دو کرت متوالی (در هر بلوک) نیم متر فاصله و بین بلوک‌ها (تکرارها) یک متر فاصله در نظر گرفته شد. در ۲۰ ام مرداد ۱۳۹۷، تیمارها به سطح خاک اضافه‌شده و تا عمق ۱۵ سانتی‌متر با خاک مخلوط شدند. برای انجام عمل انکوباسیون، کرت‌های آزمایشی به مدت سه ماه (هر هفته)، آبیاری شدند. بر اساس تقویم کشت منطقه در کرت‌های آزمایشی گندم آبی میهن کشت شد.

آنالیزهای آماری

نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو- ویلک ($P<0.05$) و یکنواختی واریانس داده‌ها با آزمون لوون ($P<0.05$) آزمون گردید. برای مقایسه تیمارها با شاهد تجزیه واریانس یک‌طرفه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد و میانگین تیمارها با شاهد از طریق آزمون دانت در سطح احتمال ۵٪ ($P<0.05$) مقایسه شدند. برای ارزیابی اثرات اصلی و متقابل، تجزیه واریانس برای آزمایش فاکتوریل انجام شد. اثر متقابل اندازه ذرات بیوچار در مقدار بیوچار (BR×BS) با روش برش دهی اثر متقابل[3] در هر سطح از مقدار بیوچار به‌صورت جداگانه بررسی شد (سلطانی، ۱۳۹۳). میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ ($P<0.05$) مقایسه شدند. برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای SAS 9.1 استفاده گردید.

اندازه‌گیری‌ها

یک سال بعد از اضافه کردن بیوچار به خاک، در هر کرت میزان نفوذ تجمعی از روش تک استوانه با قطر داخلی و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد (رینولدز، ۲۰۰۶). برای محاسبه متوسط سرعت نفوذ ($m\ hr^{-1}$) از رابطه نفوذ تجمعی کوستیاکوف – لوئیس (رابطه ۱) نسبت به زمان مشتق گرفته شد (رابطه ۲).

$$Z=kt^{a}+f_0t \qquad (۱)$$

[3] Slicing of interactions

که در آن Z نفوذ تجمعی آب در خاک (cm)، t زمان سپری شده (hr)، f_0 سرعت نهایی نفوذ ($cm\ hr^{-1}$)، a و k مقادیری که برحسب نوع خاک متفاوت است، a بدون بعد بوده و مقدار آن بین ۰ و ۱ متغیر است و k دارای بعد LT^{-a} هست.

$$i=60kt^{a-1}+60f_0 \quad (۲)$$

که در آن i متوسط سرعت نفوذ آب به خاک ($m\ hr^{-1}$)، t زمان (min) است و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند (بی‌نام، ۱۳۸۰).

برای محاسبه هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای در روش تک استوانه (در شرایط شبه ماندگار[۴]) با دو ارتفاع آب ۵ و ۱۵ سانتی‌متر، از روابط زیر استفاده گردید.

$$k_{fs} = \frac{q_s T(q_1 - q_1)}{(H_2 - H_1)} \quad (۳)$$

$$\alpha^* = \frac{(q_1 - q_1)}{(q_1(H_2+T) - q_2(H_1+T)} \quad (۴)$$

$$T = C_1 d + C_2 a \quad (۵)$$

$$q_s = \frac{Q_s}{\pi a^2} \quad (۶)$$

که در آن q_s سرعت جریان شبه ماندگار، a شعاع داخلی استوانه، C_1=0.31 و C_2=0.18 که ضرایب تجربی هستند و برای $d \geq 3$ و $H \geq 5$ به کار می‌روند و q_1 همان q_s در H_1، q_2 همان qs در H_2 و $q_1 < q_2$ و $H_1 < H_2$ است (رینولدز، ۲۰۰۶).

نتایج و بحث

متوسط سرعت نفوذ آب

متوسط سرعت نفوذ آب به خاک در تیمار شاهد ۰/۰۸۳۸ $m\ hr^{-1}$ بود و نتایج نشان داد که بعد از افزودن بیوچار کاه گندم در تمام مقادیر و اندازه ذرات مورد مطالعه، متوسط سرعت نفوذ آب به خاک نسبت به شاهد تغییر معنی‌داری داشت و در محدوده ۰/۰۷۷۴ cm^3cm^{-3} تا ۰/۱۹۵۷ cm^3cm^{-3} قرار گرفت و در تیمار R1S2 سرعت نفوذ آب نسبت به شاهد کاهش یافت ولی این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۱ و ۴).

جدول ۱: جدول تجزیه واریانس یک‌طرفه ویژگی‌های مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	متوسط سرعت نفوذ (متر بر ساعت)	هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (سانتیمتر بر ثانیه)
بلوک	۲	۰/۰۰۰۰۹ ns	۳/۶۵۹E-۰۸ ns
تیمار	۹	۰/۰۰۴۶۳ **	۱/۴۰۳E-۰۶ **
خطا	۱۸	۰/۰۰۰۲۰	۵/۸۲۸E-۰۸
ضریب تغییرات	-	۱۱/۸۵	۲۰/۵۲

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ns: غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی مقدار، اندازه ذرات بیوچار و اثرات متقابل آن‌ها بر متوسط سرعت نفوذ آب به خاک معنی‌دار است. برش دهی اثر تغییر در اندازه ذرات بیوچار کاه گندم در سطح مقادیر مورد مطالعه، نشان داد که در هر یک از مقادیر ۰/۵ و ۱/۵ و ۳٪ بیوچار، تغییر در اندازه ذرات بیوچار موجب تغییر معنی‌دار متوسط سرعت نفوذ آب به خاک در مقادیر R1، R2 و R3 شد (جدول ۴). به‌این‌ترتیب که در مقدار R1، متوسط سرعت نفوذ آب به خاک در اندازه ذرات S1 و S2 تغییر معنی‌داری نکرد ولی با افزایش اندازه ذرات از S2 به S3 متوسط سرعت نفوذ آب به خاک کاهش معنی‌داری داشت. روند تغییرات در مقادیر R2 و R3 با افزایش اندازه ذرات بیوچار برعکس حالت قبل بود. بیشترین متوسط سرعت نفوذ آب به خاک در مقادیر R1، R2 و R3 در اندازه ذرات S3 مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه متوسط سرعت نفوذ آب به خاک نشان داد که در بین تمام تیمارهای مورد مطالعه بیشترین

[۴] quasi steady

متوسط سرعت نفوذ آب به خاک در تیمار بیوچار با مقدار R3 اندازه ذرات S3 مشاهده شد که با متوسط سرعت نفوذ آب به خاک در مقدار R2 و اندازه ذرات S2 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). این نتیجه تحقیق حاضر با نتایج گزارش‌شده مطابقت دارد. بیوچار با کاهش چگالی ظاهری خاک، افزایش تخلخل خاک و تغییر خاکدانه‌های خاک بر نفوذ آب در خاک تأثیر می‌گذارد. آبرول و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک به مقدار ۲٪ موجب افزایش معنی‌دار نفوذ آب به خاک در خاک‌های غیر آهکی شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیوچار کاه گندم در مقادیر ۰/۵، ۱/۵ و ۳٪ متوسط سرعت نفوذ آب به خاک آهکی را به‌صورت معنی‌داری افزایش داد و بیشترین متوسط نفوذ آب به خاک در ذرات درشت (۲-۱ mm) حاصل شد. دلیل این امر این است که ذرات درشت بیوچار از طریق افزایش منافذ بین ذرات در ترکیب خاک - بیوچار سرعت نفوذ آب به خاک را افزایش می‌دهد. درحالی‌که ذرات کوچک بیوچار از طریق مسدود کردن منافذ خاک نفوذ آب در خاک را کاهش می‌دهند (سان و همکاران، ۲۰۱۸). القمدی و همکاران (۲۰۲۰) برای بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک‌های با بافت سبک، بیوچار با اندازه ذرات بزرگ‌تر از ۱ mm را پیشنهاد کردند.

جدول ۲: جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های مورد مطالعه

منابع تغییر	درجه آزادی	متوسط سرعت نفوذ (متر بر ساعت)	هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (سانتیمتر بر ثانیه)
		میانگین مربعات	
بلوک	۲	۰/۰۰۰۱۰۰۹۴ ns	۴/۰۶۵۴۷۳۱E-۸ ns
مقدار بیوچار	۲	۰/۰۰۵۱۷۶۴۸ **	۳/۰۷۳۹۰۶۲E-۶ **
اندازه بیوچار	۲	۰/۰۰۵۱۷۶۴۸ **	۸/۹۱۴۳۱۱۶E-۷ **
مقدار بیوچار×اندازه بیوچار	۴	۰/۰۰۲۶۰۱۲۸ **	۶/۳۰۶۱۱۵۷E-۷ **
خطا	۱۶	۰/۰۰۳۶۶۸۳۷	۷/۰ E -۸

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ns: غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

جدول ۳: برش دهی اثر تغییر در اندازه ذرات بر ویژگی‌های مورد مطالعه در سطح مقادیر مورد مطالعه بیوچار

اندازه ذرات (mm)	درجه آزادی	متوسط سرعت نفوذ (متر بر ساعت)	هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (سانتیمتر بر ثانیه)
(R1) ۰-۰/۵	۲	۰/۰۰۳۱۲۰ *	۰/۰۰۰۰۰۱۴۳۸ *
(R2) ۰/۵-۱	۲	۰/۰۰۱۳۹۶ *	۰/۰۰۰۰۰۰۶۸۶ *
(R3) ۱-۲	۲	۰/۰۰۸۸۶۰ *	۲/۸۶۱ E -۸ ns

**: معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، ns: غیر معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪.

هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای

نتایج این تحقیق نشان داد که هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای در تیمار شاهد ۰/۰۰۰۳۶۸ cm sec^{-1} بود. بعد از افزودن بیوچار کاه گندم در تمام مقادیر و اندازه ذرات مورد مطالعه، هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت و در محدوده ۰/۰۰۰۵۲ cm sec^{-1} تا ۰/۰۰۲۵۶ cm sec^{-1} قرار گرفت (جدول ۱ و ۴). این یافته، با گزارش بلانکو (۲۰۱۷) مطابقت دارد. ایشان بعد از بررسی نتایج مطالعات انجام‌شده گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را افزایش داد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی مقدار، اندازه ذرات بیوچار و اثرات متقابل آن‌ها بر هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای معنی‌دار است (جدول ۲). برش دهی اثر تغییر در اندازه ذرات بیوچار کاه گندم در سطح مقادیر مورد مطالعه نشان داد که در مقادیر ۰/۵ و ۱/۵ بیوچار، تغییر در اندازه ذرات بیوچار موجب تغییر معنی‌دار آب قابل‌استفاده گیاه شد. در مقدار ۳٪ بیوچار، تغییر در اندازه ذرات بیوچار تغییر معنی‌داری در میزان هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای ایجاد نکرد (جدول ۳). در مقدار R1، با افزایش ذرات از

S1 به S2 و از S2 به S3 موجب هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای تغییر معنی‌داری کرد. در مقدار R2، افزایش ذرات از S1 به S2 موجب تغییر معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای شد، ولی با تغییر اندازه ذرات از S2 به S3 هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای تغییر معنی‌داری نکرد. در مقدار R3 با تغییر اندازه ذرات تغییر معنی‌دار در هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای مشاهده نشد (جدول ۴).

مقایسه هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای نشان داد که در بین تمام تیمارهای مورد مطالعه، بیشترین هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای در تیمار بیوچار با مقدار R3 و اندازه ذرات S3 مشاهده شد که با هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای در مقدار R2 و اندازه ذرات S2 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). این یافته در تحقیق حاضر با گزارش رابی و همکاران (۲۰۲۱) یکسان است. ایشان گزارش کردن که افزودن بیوچار به خاک‌های با بافت‌های مختلف در مقادیر زیادی موجب تغییر معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع نسبت به مقادیر کمتر بیوچار نمی‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر مقدار بیوچار اضافه‌شده به خاک ، اندازه ذرات خاک هم در تغییر هدایت هیدرولیکی نقش دارند. ادا و ماسک (۲۰۲۱) نتیجه‌گیری کردند که هدایت هیدرولیکی خاک با کاهش اندازه ذرات، به غیر از بیوچار با اندازه ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۶۳ mm، که کاهش قابل‌توجهی در مقایسه با اندازه ذرات بزرگ‌تر نشان داد، افزایش یافت. ایشان دلیل این امر را تأثیر بیشتر منافذ داخلی ذرات بیوچار بر هدایت هیدرولیکی بیان کردند که با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات بیوچار، تعداد آن‌ها بیشتر می‌شود. نتایج این تحقیق نشان داد که اثر تغییر در اندازه ذرات بر هدایت هیدرولیکی اشباع بسته به مقدار بیوچار اضافه‌شده به خاک می‌تواند متفاوت باشد و برآیند حضور منافذ بین ذرات بیوچار و داخل ذرات بیوچار نتیجه نهایی بر هدایت هیدرولیکی را تعیین می‌کند (جدول ۴). برای نمونه نتایج این تحقیق نشان داد که در مقدار R3 (۳٪) تغییر در اندازه ذرات بیوچار موجب تغییر معنی‌دار هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای نشد.

جدول ۴: مقایسه میانگین ویژگی‌های مورد مطالعه تیمارها با شاهد و بین تیمارها

مقدار بیوچار	اندازه ذرات بیوچار	متوسط سرعت نفوذ (متر بر ساعت)	هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای (سانتیمتر بر ثانیه)
شاهد	-	۰/۰۸۳۸	۰/۰۰۰۳۶۸
R1	S1	۰/۱۰۸۲(ns) b CDE	۰/۰۰۱۳۵(*) b CD
	S2	۰/۰۷۷۴(ns) b F	۰/۰۰۲۵۶(*) a A
	S3	۰/۱۴۱۹(*) a B	۰/۰۰۱۳۷(*) b CD
R2	S1	۰/۰۸۹۶(ns) b EF	۰/۰۰۰۹۳۷(ns) b DE
	S2	۰/۱۱۷۲(ns) a BCD	۰/۰۰۱۴۱(*) a C
	S3	۰/۱۳۲۲(*) a BC	۰/۰۰۱۸۹(*) a B
R3	S1	۰/۰۹۱۳(ns) b DEF	۰/۰۰۰۵۲(ns) a E
	S2	۰/۱۷۱(*) a A	۰/۰۰۰۷۱۵(ns) a E
	S3	۰/۱۹۵۲(*) a A	۰/۰۰۰۶۳۲(ns) a E

(*) و (ns) به ترتیب تفاوت معنی‌دار و تفاوت غیر معنی‌دار با شاهد در سطح احتمال ۵٪ ($P<0.05$).

حروف کوچک: مقایسه میانگین در سطح مقدار بیوچار، حروف بزرگ: مقایسه چندگانه میانگین در بین تمام تیمارهای مورد مطالعه.

- میانگین‌های دارای حروف یکسان تفاوت معنی‌داری باهم ندارند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با افزودن بیوچار به خاک متوسط سرعت نفوذ آب به خاک در اندازه ذرات S1 در تمام مقادیر و در تیمار R2S2 نسبت به تیمار شاهد تغییر معنی‌داری نکرد ولی در بقیه سطوح مقدار و اندازه ذرات بیوچار متوسط سرعت نفوذ آب در خاک افزایش معنی‌داری داشت. نتایج نشان داد که در تمام مقادیر و اندازه ذرات بیوچار، هدایت هیدرولیکی اشباع مزرعه‌ای نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری داشت. تغییر در اندازه ذرات بیوچار بسته به مقدار بیوچار اضافه‌شده به خاک اثر متفاوتی بر متوسط سرعت نفوذ آب و هدایت هیدرولیکی اشباع داشت. بیشترین متوسط سرعت نفوذ آب و هدایت هیدرولیکی در تیمار R3S3 مشاهده شد. نتایج این

تحقیق نشان داد که برای اصلاح ویژگی‌های هیدرولیکی خاک باید، در کنار مقدار بیوچار اضافه‌شده به خاک، به اندازه ذرات بیوچار نیز توجه شود.

منابع

سلطانی،ا. (۱۳۹۲). کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری (برای رشته‌های کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۰۰ص.

بی‌نام (۱۳۸۰). دستورالعمل اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک با روش استوانه. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی. تهران. ۴۳ ص.

Abel S., Peters A., Trinks S., Schonsky H., Facklam M., Wessolek G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*, 202, 183-191.

Abrol, V., Ben-Hur, M., Verheijen, F. G., Keizer, J. J., Martins, M. A., Tenaw, H., Tchehansky, L. Graber, E. R. (2016). Biochar effects on soil water infiltration and erosion under seal formation conditions: rainfall simulation experiment. *Journal of Soils and Sediments*, 16(12), 2709-2719.

Alghamdi, A. G., Alkhasha, A., Ibrahim, H. M. (2020). Effect of biochar particle size on water retention and availability in a sandy loam soil. *Journal of Saudi Chemical Society*, *24*(12), 1042-1050.

Edeh, I., Mašek, O. (2021). The role of biochar particle size and hydrophobicity in improving soil hydraulic properties (No. EGU21-4117). Copernicus Meetings.

Novak, J., Sigua, G., Watts, D., Cantrell, K., Shumaker, P., Szogi, A., Johnson, M.G., Spokas, K. (2016). Biochars impact on water infiltration and water quality through a compacted subsoil layer. *Chemosphere*, *142*, 160-167.

Rabbi, S. M., Minasny, B., Salami, S. T., McBratney, A. B., Young, I. M. (2021). Greater, but not necessarily better: The influence of biochar on soil hydraulic properties. *European Journal of Soil Science*.

Rynolds W.D. (2006). Saturated Hydraulic Properties : Ring Infiltrometer . In Carter, M. R., Gregorich, E. G. (2006). Soil Sampling and Methods of Analysis. *Canadian Society of Science*.1079-1092 Pp.

Sun, J., Yang, R., Li, W., Pan, Y., Zheng, M., Zhang, Z. (2018). Effect of biochar amendment on water infiltration in a coastal saline soil. *Journal of Soils and Sediments*, *18*(11), 3271-3279.

Yu, O. Y., Raichle, B., Sink, S. (2013). Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, *4*(1), 1-9.

Effects of wheat straw biochar on permeability and saturated hydraulic conductivity in sandy loam soil

Osooli [1], Ahmad Karimi [2], Hossein Shirani [3]

1- PhD candidate in Soil Science, Shahr-e-kord University, osoolih@gmail.com
2-Assistant Professor of Soil Science, Shahr-e-kord University.
3-Professor of Soil Science, Vali Asr University, Rafsanjan.

Abstract

Biochar particle size is an important characteristic of biochar that has been less considered in studies. The aim of this field study was to investigate the effect of wheat straw biochar particles in different amounts on the average water infiltration rate in soil (i) and field saturation hydraulic conductivity (Ksf) in calcareous soil with sandy loam texture. Factorial experiment was performed with a randomized complete block design with three replications. Wheat straw biochar in the amounts of 0.5 (R1), 1.5 (R2) and 3 (R3) percent and sizes of 0.5 (S1), 0.5-1 (S2) and 1-2 (S3) mm to a depth of 0-15 cm was added to the soil. Addition of wheat straw biochar increased i (in most treatments) and Ksf (in all treatments) compared to the control. The effect of change in biochar particle size varied depending on the amount of biochar added to the soil. Small particles (S1) in all studied values did not cause a significant change in i compared to the control. The highest amount of both studied properties was observed in coarse particles (S3) in the amount of R3. The results of this study showed that by adding biochar with suitable particle size, soil hydraulic properties are improved.

Keywords: Soil hydraulic conductivity, Soil improvement, water infiltration rate in soil, Wheat straw biochar.

تاثیر خاک‌ورزی حفاظتی در بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های رسی مناطق مرتفع استان کردستان

سارا صلواتی[۱]، ابراهیم روحی[۲]، کمال نبی الهی[۳] ، محمد علی محمودی[۴]

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد منابع خاک و ارزیابی اراضی، دانشگاه کردستان salavati_la86@yahoo.com

۲- استادیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان

۳،۴- دانشیار، استادیار، دنشکده علوم خاک، دانشگاه کردستان

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی در ایران توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این مطالعه به منظور بررسی اثرات سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی بر روی ویژگی‌های فیزیکی خاک انجام شد. بدین منظور آزمایشی ۵ ساله در مزرعهٔ تحقیقاتی ایستگاه سارال در استان کردستان تحت طرح کرت‌های نواری انجام گرفت. تیماراصلی(A) به کار رفته در این آزمایش نوع سیستم خاک‌ورزی در سه سطح خاک‌ورزی سنتی، کم خاک‌ورزی، بدون خاک‌ورزی و تیمار فرعی (B) بکار رفته تسیستم تناوب گندم با سه گیاه نخود، ماشک و گلرنگ بود. در سال چهارم آزمایش ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها شامل جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل، آب قابل استفاده و نفوذ پذیری خاک اندازه‌گیری شد. در این میان نفوذپذیری در کل پروفیل خاک و سایر ویژگی‌ها در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک در ۲۷ نمونه خاک برداشته شده از هر کرت اندازه‌گیری شد. نتایج بدست آمده نشان داد که سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی سنتی باعث کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری ($P<0.05$)، افزایش معنی دار تخلخل ($P<0.05$) و همینطور افزایش معنی‌دار آب قابل استفاده ($P<0.01$) شده است. همچنین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش نفوذپذیری خاک شد گرچه این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. از طرفی تیمارهای همزمان خاک‌ورزی- تناوب نیز موجب تأثیر معنی‌داری بر روی جرم مخصوص ظاهری ($P<0.01$)، تخلخل ($P<0.01$)، و آب قابل استفاده گیاه (($P<0.01$) شده است.

واژگان کلیدی: خاک‌ورزی، کردستان، گندم، ویژگی‌های فیزیکی خاک

مقدمه

خاک یکی از مهمترین عوامل تولید محصولات کشاورزی است (Castellini and Domenico, 2012). هدف از عملیات خاک-ورزی کاهش مقاومت در برابر نفوذ ریشه، بهبود ساختمان و افزایش نفوذپذیری خاک، دفن بقایای گیاهی، کنترل علف‌های هرز، تماس کامل بذر، اختلاط کود و سم با خاک و بر هم زدن ساختار لوله‌های موئین خاک برای کاهش تبخیر آب از خاک می‌باشد (De Vita et al., 2007). در یک آزمایش سه ساله اثر خاک‌ورزی و تناوب محصول بر ویژگی‌های فیزیکی، شمیایی و زیستی خاک‌های شرق هیمالیا را مطالعه کردند. طبق نتیجه‌گیری آن‌ها، محتوای رطوبت خاک و میزان نفوذپذیری در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی تا حد چشمگیری نسبت به خاک‌ورزی معمول بهبود یافت (Das et al 2018). انتخاب خاک‌ورزی مناسب برای نوع محصول، شرایط خاک و اقلیم جهت اطمینان از بهره‌وری محصول دارای اهمیت زیادی است (Nnadi et al, 2019). عملیات شخم ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، ظرفیت نگهداری آب و خاکدانه‌ها را تحت تاثیر قرار داده و در ساختار خاک تغییر ایجاد می کند در حالی که شخم حفاظتی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژی خاک را بهبود می‌بخشد (Mathew *et al*., 2012). دستیابی به عملکرد مطلوب در کشت دیم به‌طور مستقیم به میزان بارندگی و ذخیره رطوبت در خاک بستگی دارد. سیستم خاک‌ورزی به طور مستقیم بر ذخیره رطوبتی خاک تاثیر می‌گذارد (De Vita et al,2007). عملیات خاک‌ورزی با تاثیر بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک بر عملکرد محصول موثر است (Castellini and Domenico, 2012).

اصول خاک‌ورزی حفاظتی، بر حفظ مقدار کافی بقایای گیاهی در سطح خاک، تردد کمتر در زمین و دستکاری کمتر خاک استوار است (یونسی الموتی و همکاران، ۱۳۹۴). شاید مهمترین عاملی که گسترش تولید کشاورزی را در مناطق نیمه‌خشک فراهم می‌کند، بهبود مصرف آب باشد که با تطبیق سیستم‌های بدون خاک‌ورزی امکان‌پذیر می‌شود (Hatfield *et al*., 2001). رطوبت وزنی و جرم مخصوص ظاهری خاک نیز از سیستم‌های خاک‌ورزی متاثر شده، به طوری که در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری کمترین مقدار جرم مخصوص ظاهری و بیشترین مقدار رطوبت وزنی مشاهده می‌شوند (اصغری میدانی، ۱۳۹۱). میزان نفوذپذیری در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی تا حد چشمگیری نسبت به خاک‌ورزی معمول بهبود می‌یابد (Das *et al*, 2018). بر این اساس اهمیت مطالعه روش‌های مختلف خاک‌ورزی و تعیین بهترین روش آن بیشتر نمایان می‌گردد. با توجه به اهمیت عملیات خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک در تحقیق حاضر تاثیرات انواع روش‌های خاک‌ورزی (خاک‌ورزی معمولی، کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی) بر خصوصیات فیزیکی خاک ازجمله نفوذ پذیری، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، تخلخل خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک و نفوذپذیری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

این پژوهش از سال زراعی ۱۳۹۵-۱۴۰۰در منطقه مورد مطالعه ایستگاه سارال مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، که در محور سنندج-دیواندره در فاصله ۵۵کیلومتری شمال شهر سنندج واقع شده است به مدت ۵ سال زراعی در قلب طرح کرتهای نواری به مرحله اجرا در آمد: سه تیمار خاک‌ورزی شامل:A۱) کم‌خاک‌ورزی (استفاده از خاک ورزی مرکب بلافاصله بعد از برداشت)، A۲) بی‌خاک‌ورزی (بدون هیچگونه عملیات کشاورزی)، A۳) خاک ورزی سنتی (استفاده از گاوآهن برگردان‌دار در پاییز + دیسک ماله) به‌صورت کرت‌های افقی در قالب طرح مربع لاتین و سه تیمار تناوب شامل B۱) گندم- نخود، B۲) گندم- ماشک وB۳) گندم- گلرنگ درقالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تحقیق حاضر مربوط به سال چهارم آزمایش و قطعه تحت کاشت گندم می‌باشد.

برای شروع، دو قطعه زمین مساوی و مجاور هم که سال قبل کشت گندم بوده و در شروع آزمایش دارای سطح مناسبی از بقایای گندم بودند انتخاب شدند (قطعه A و قطعه B). در شروع آزمایش (سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴) در قطعه A تیمارهای مختلف شخم اعمال شد. و محصولات تناوبی شامل نخود، ماشک و گلرنگ کشت شدند. در همان سال قطعه B بدون اعمال تیمارهای خاک ورزی تحت کشت مجدد گندم قرار گرفت تا برای اجرای تیمارهای خاک ورزی و تناوب در سال بعد (سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵) آماده شود. گیاهان گندم، نخود و ماشک در پاییز و گلرنگ در بهار کشت شد. ابعاد هر قطعه ۵۳×۳۲ بوده که در آن مساحت کرت‌های اصلی در هر تکرار سایت تناوبی به ابعاد(۱۰× ۱۵ متر مربع) و مساحت کرت‌های فرعی به ابعاد(۵× ۱۰ متر مربع) انتخاب شد.

در روش کم‌خاک‌ورزی با استفاده از دستگاه خاک ورز دلتای هفت شاخه بعد از برداشت محصول سال قبل در تابستان خاک ورزی انجام و در روش بی‌خاک‌ورزی هیچ گونه عملیات تهیهٔ زمین انجام نشده و در زمان مناسب در بهار با علف‌های هرز به صورت شیمیایی و وجین دستی مبارزه شد. در روش مرسوم، عملیات خاک‌ورزی رایج در منطقه شامل شخم با گاوآهن و دیسک و ماله صورت گرفت. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک به ترتیب از روش‌های استوانه و پیکنومتر در عمق ۵-۰ سانتی‌متری استفاده شد (Grossman and Reinsch, 2002; Flint and Flint, 2002a) برای تعیین رطوبت معادل ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) خاک از دستگاه صفحات فشاری استفاده شد. بدین منظور به نمونه خاک‌های اشباع فشار پنوماتیکی معادل ۳۳ و ۱۵۰۰ کیلوپاسکال به ترتیب برای تعیین FC وPWP اعمال گردید. بعد از رسیدن به نقطه تعادل، رطوبت جرمی آن‌ها محاسبه گردید. سپس با ضرب کردن رطوبت جرمی در جرم مخصوص ظاهری خاک، رطوبت حجمی معادل ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم تعیین شد. با تعیین رطوبت PWP و FC خاک، مقدار آب قابل دسترس گیاه (AW) نیز محاسبه گردید (Dane and Hopmans, 2002). داده‌های مربوط به نفوذ آب در خاک با استفاده از آزمایش استوانه‌های دوگانه جمع‌آوری گردید (Margesin and Schinner, 2005). برای این منظور، داده‌های نفوذ با استفاده از آزمایش استوانه‌های دوگانه با سه تکرار در

یک نقطه از منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شـــد. تعیین بافت خاک در عمق ۱۵-۰ ســـانتی‌متری خاک و به روش هیدرومتری اندازه‌گیری گردید (Bouyoucos, 1962). تجزیهٔ واریانس با اســتفاده از نرم‌افزار MATLAB انجام شـد و برای مقایسـهٔ میانگین‌ها از آزمون Dunn-Sidak استفاده گردید.

نتایج و بحث

در جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثرات خاک‌ورزی برروی ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله جرم مخصوص حقیقی خاک (PD) آورده شده است. به‌طوری‌که ملاحظه می‌شود نوع سیستم خاک‌ورزی (A) و نوع تناوب و اثرات متقابل آنها تاثیر معنی‌داری بر روی جرم مخصوص حقیقی خاک‌ها نداشته است. این نتیجه قابل انتظار است زیرا مقدار PD خاک به جنس کانی‌ها و ذرات تشکیل دهندهٔ خاک بستگی دارد و بنابراین با توجه به اینکه نوع کانی‌های تشکیل دهندهٔ خاک‌ها معمولا" ثابت است PD خاک نیز ثابت باقی می‌ماند هر چند که افزایش مادهٔ آلی خاک در طول زمان می‌تواند موجب کاهش PD خاک شود. کاهش (غیر معنی‌دار) PD در تیمارهای خاک‌ورزی نیز می‌تواند ناشی از این مسئله باشد (شکل ۱). نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تیمار A (خاک‌ورزی) و اثرات متقابل بین خاکورزی- تناوب تاثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بر جرم مخصوص ظاهری خاک دارد هرچند که نوع تناوب معنی دار نبوده است. نمودار مربوط به مقایسه میانگین، تاثیر تیمارها بر روی ویژگی‌های فیزیکی خاک (شکل ۱) به طور واضح نشان می‌دهند که جرم مخصوص ظاهری خاک در روش خاک‌ورزی مرسوم در مقایسه با دو تیمار خاک‌ورزی دیگر و در تناوب گندم-گلرنگ بیشتر است.

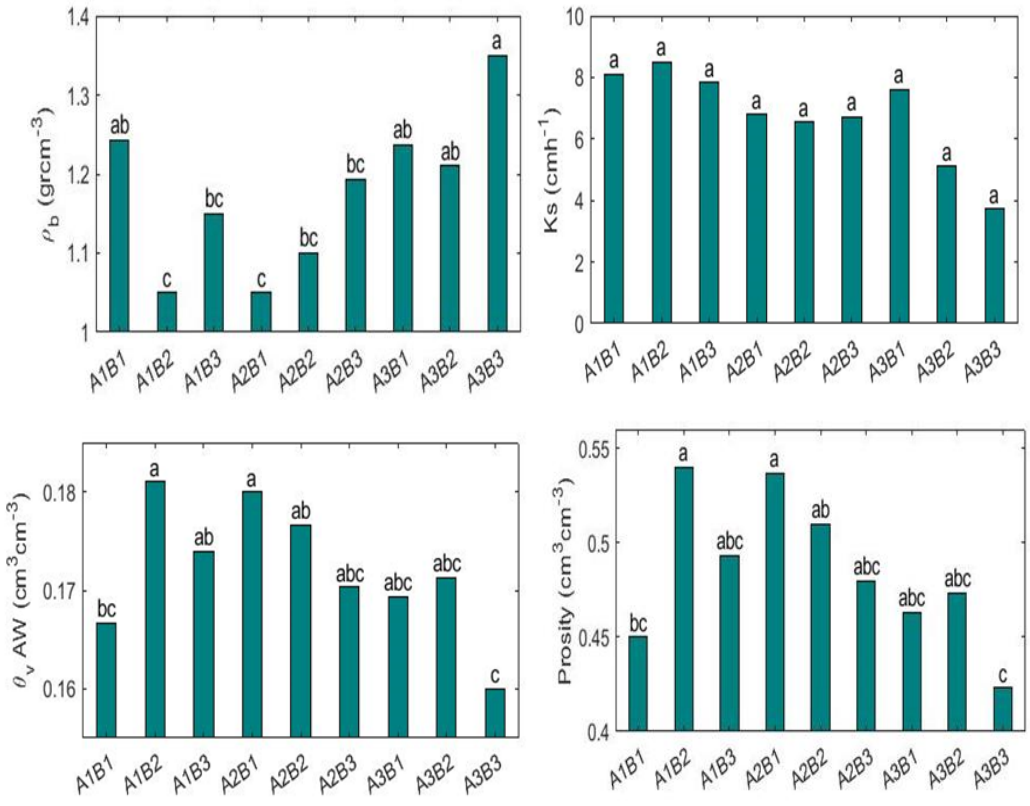
جدول ۱- تجزیه واریانس تاثیر خاک‌ورزی بر خصوصیات فیزیکی خاک

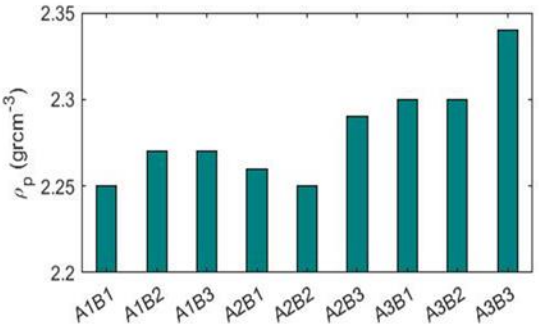
منابع تغییرات	درجهٔ آزادی	سطح معنی‌داری				
		جرم مخصوص حقیقی	جرم مخصوص ظاهری	تخلخل	آب قابل استفاده	نفوذ پذیری خاک
A	۲	۰/۱۳۳	۰/۰۳۸*	۰/۰۴۳*	۰/۰۱۷*	۰/۷۰۴
بلوک	۲	۰/۳۳۸	۰/۷۲۶	۰/۲۸۲	۰/۱۷۱	۰/۸۵۲
ستون	۲	۰/۱۵۱	۰/۹۷۰	۰/۳۵۵	۰/۲۷۶	۰/۱۹۰
خطای (A)	۲					
B	۲	۰/۳۵۰	۰/۱۲۸	۰/۱۲۷	۰/۱۱۷	۰/۰۴۷*
خطای (B)	۴					
AB	۴	۰/۷۳۷	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۴**	۰/۴۰۷
خطای (AB)	۸					
کل	۲۶					

همچنین در این پژوهش تیمارA (خاکورزی) در سطح (P<0.05) و اثرات متقابل خاکورزی(A)و تناوب(B) در سطح(P<0.01) بر آب قابل استفاده معنی دار بوده است. همچنین با توجه به نمودار مقایسه میانگین (شکل ۱) بیشترین مقدار آب قابل استفاده مربوط به تیمار کم‌خاکورزی و تناوب گندم- ماشک می‌باشد. این یافته با مطالعه پاتینو و همکاران (۲۰۰۹) همخوانی دارد که نتیجه گرفتند که ظرفیت نگهداری آب در سیستم بی‌خاک‌ورزی با حفظ بقایا در مقایسه با حذف بقایا، مساوی یا بیش از ۱/۱ برابر بود (Patino-Zuniga *et al*., 2009). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی علاوه برآنکه مقدارکل تخلخل خاک افزایش می‌یابد مقدار خلل و فرج حاوی آب قابل استفاده برای گیاه نیز افزایش می‌یابد (جدول ۱).

در مطالعه حاضر تاثیر روش های مختلف خاکورزی بر روی میزان تخلخل خاک معنی‌دار بود که این امر با یافته‌های مطالعه فلاح هروی و همکاران همسوست زیرا آنها نتیجه گرفتند که روش‌های مختلف خاک‌ورزی باعث بروز تفاوت معنی‌داری در میزان تخلخل شده است (فلاح هروی و همکاران، ۱۳۹۶). بر اساس شکل (۱)، مقدار تخلخل در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی به طور واضح بیش از خاک‌ورزی مرسوم است.هر چند که مقدار نفوذپذیری خاک و نیز مقدار نفوذ تجمعی آب در خاک در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از خاک‌ورزی سنتی است (شکل۱) با این حال این اختلاف معنی‌دار نیست (جدول ۱). صرف‌نظر از خطاهای آزمایشی از آنجایی که اثرات مفید سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی با گذشت زمان بیشتر نمایان می‌شود می‌توان امیدوار بود که با اجرای این سیستم در سال‌های متمادی این اختلاف بیشتر شده و معنی‌دار گردد. دلیل افزایش مقدار Ks در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌تواند عدم تخریب ساختمان خاک، حفظ کرم راه‌ها، منافذ ایجاد شده توسط ریشه‌ها و افزایش مواد آلی خاک به دلیل برگرداندن بقایای گیاهی به خاک در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به سیستم‌های خاک‌ورزی سنتی باشد. بعلاوه کاهش تردد ماشین آلات کشاورزی و به تبع آن کاهش تراکم خاک در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی نسبت به خاک‌ورزی سنتی مزید بر علت است.

نمودار۱- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای خاک‌ورزی و تناوب بر پارامترهای فیزیکی مختلف





نتیجه گیری

در این پژوهش اثرات سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و تناوب زراعی برروی ویژگی‌های فیزیکی خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی(کم‌خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی) نسبت به خاک‌ورزی سنتی باعث کاهش معنی‌دار جرم مخصوص ظاهری($P<0.05$) و افزایش معنی‌دارتخلخل ($P<0.05$)و آب قابل استفاده ($P<0.05$) شده است. همچنین تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی باعث افزایش نفوذپذیری خاک نیز گردید، هرچند که این افزایش از نظر آماری معنی دار نیست. تأثیر تیمار همزمان خاکورزی- تناوب بر روی تخلخل، در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود ($P<0.01$). بر پایهٔ این نتایج بیشترین میزان تخلخل در تیمار همزمان کم‌خاکورزی و تناوب گندم- ماشک و کمترین میزان تخلخل در تیمار خاک‌ورزی سنتی گندم- گلرنگ حاصل شده است. همچنین تیمارهای همزمان خاک‌ورزی- تناوب موجب تأثیر معنی‌داری بر روی جرم مخصوص ظاهری ($P<0.01$) و آب قابل استفاده گیاه ($P<0.01$) شده است. تأثیر تناوب برروی نفوذپذیری خاک معنی‌دار بوده است ($P<0.05$)،به طوریکه بیشترین نفوذ پذیری مربوط به تیمارکم‌خاک‌ورزی و تناوب گندم- ماشک بود اما اثرات همزمان خاک‌ورزی و تناوب نیز تأثیر معنی‌داری نشان نمی‌دهد. بطور کلی اثرات مطلوب سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی برروی ویژگی‌های فیزیکی خاک را می‌توان به بهبود ساختمان خاک و جلوگیری از تخریب آن در اثر کشت و کار ممتد نسبت داد.

تشکر و قدردانی:

از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان جهت همکاری در اجرای این طرح تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

اصغری میدانی، ج. کریمی، ا. پورمحمد، ع. (۱۳۹۱). تاثیر روش¬های مختلف خاک‌ورزی و کاشت بر رطوبت خاک و عملکرد گلرنگ در تناوب با گندم در مناطق دیم. نشریه دانش آب و خاک. جلد ۲۳. شماره ۱. صفحات ۲۳۷ تا ۲۴۵.

فلاح هروی، ا.، عباس دخت، ح.، زارع فیض آبادی، ا.، غلامی، ا. (۱۳۹۶). تأثیر روش‌های مختلف خاکورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در زراعت گندم، تحقیقات آب و خاک ایران، دورهٔ ۴۸، شماره ۴، ص ۸۵۱-۸۴۱.

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1. Agronomy journal. 54(5), 464-465.

Castellini, M., and Domenico, V. 2012. Impact of conventional and minimum tillage on soil hydraulic conductivity in typical cropping system in Southern Italy. Soil Till. Res. 124: 47-56.

Dane, J.H., and J.W. Hopmans. 2002. Soil Water Retention and Storage -Introduction. IN: Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods

Das, A., Lyngdoh, D., Ghosh, P.K., Lal, R., Layek, J. and Idapuganti, R.G., 2018. Tillage and cropping sequence effect on physico-chemical and biological properties of soil in Eastern Himalayas, India. Soil and Tillage Research, 180, pp.182-193.

De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., and Pisante, M., 2007. No tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. Soil Till. Res. 92: 69-78.

Grossman, R. B., & Reinsch, T. G. 2002. 2.1 Bulk density and linear extensibility. Methods of soil analysis: Part 4 physical methods, 5, 201-228.
Hatfield, J.L., Sauer, T.J., Prueger, J.H., 2001. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. Agron. J. 93, 271–280.
Margesin, R., Schinner, F. 2005. Soil analysis, monitoring and assessing soil bioremediation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 370p.
Mathew, R., Feng, Y., Githinji, L., Ankumah, R. andBalkcom, K. (2012). Impact of no-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities.Journal ofApplied and Environmental Soil Science. Article ID 548620, 10 pages.
Nnadi, E.O., Mbah, C.N., Nweke, A.I. and Njoku, C., 2019. Physicochemical properties of an acid ultisol subjected to different tillage practices and wood-ash amendment: Impact on heavy metal concentrations in soil and Castor plant. Soil and Tillage Research, 194, p.104288.
Patiño-Zúñiga, L., Ceja-Navarro, J. A., Govaerts, B., Luna-Guido, M., Sayre, K. D. and Dendooven, L. 2009. The effect of different tillage and residue management practices on soil characteristics, inorganic N dynamics and emissions of N2O, CO2 and CH4 in the central highlands of Mexico: a laboratory study. Journal of Plant Soil, 314, 231–241.

Title

The effect of conservation tillage on improving the physical properties of clay soils in the highlands of Kurdistan province

Abstract

In recent years, the use of conservation tillage systems in Iran has attracted much attention. This study was conducted to investigate the effects of different tillage systems on different soil characteristics and wheat yield. For this purpose, a 5-year experiment was conducted in the research farm of Saral station in Kurdistan province under the design of strip plots. The treatment used in this experiment was the type of tillage system in three levels of traditional tillage, low tillage and no tillage. In the fifth year of expriment, the physical properties of the soils, including bulk density, porosity, usable water and permeability, were measured. Meanwhile, permeability in the whole soil profile and other characteristics were measured at a depth of 0-15 cm in 27 soil samples taken from each plot. The results showed that conservation tillage systems compared to traditional tillage significantly reduced the specific gravity ($P < 0.05$), significantly increased the wilting point ($P < 0.01$), field moisture ($P < 0.01$)) As well as a significant increase in usable water ($P<0.01$). Also, conservation tillage treatments increased soil permeability, although this increase was not statistically significant.

Keywords: tillage, Kurdistan, wheat, physical properties of soil

بررسی تاثیر کود حیوانی برخصوصیات فیزیکی خاک تحت کشت گندم

شهرام امیدواری[۱]، نیاز علی ابراهیمی پاک[۲]، صمد عبدی[۳]

۱و ۲-استادیار و دانشیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران.
Shomid1350@yahoo.com

۳-استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات، آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم آباد، ایران.

چکیده

به منظور بررسی تاثیر کود حیوانی برخصوصیات فیزیکی خاک تحت کشت گندم آزمایشی به صورت اسپلیت فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش به شرح زیر بودند: کود آلی : M_0 (بدون استفاده از کود آلی) و M_1 (۱۰ تن کود دامی)، M_2 (۲۰ تن کود دامی) مساحت هر کرت آزمایشی ۲۰ متر مربع (۴*۵) بود. کود آلی بر مبنای وزن خشک محاسبه و در تیمارهای مختلف اعمال شدند و همه کرت ها زیر کشت گندم رفت. در پایان صفات پایداری خاکدانه با استفاده از روش الک تر، درصد رطوبت وزنی ۱/۲۰ اتمسفر ، درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی ، درصد رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی ، آب در دسترس و درصد اشباع با استفاده از روش وزنی اندازه گیری شد. برای اعمال مکش های مورد نظر از دستگاه جعبه شن استفاده شد. نتایج آزمایش با استفاده از نرم افزارهای آماری MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار داده شدند. نتایج نشان داد تیمارهای M1 و M2 اختلاف معنی داری با تیمار بدون مصرف کود آلی بر صفات فیزیکی خاک دارند.

کلمات کلیدی: پایداری خاکدانه، درصد رطوبت وزنی، درصد اشباع

مقدمه

خاک‌های زراعی ایران اکثرا از نظر ماده آلی فقیر هستند لذا استفاده از موادآلی می‌تواند راه کاری موثر در جهت بهبود ساختمان و خصوصیات فیزیکی و شیمیائی خاک، افزایش عملکرد محصول و رسیدن به یک کشاورزی پایدار باشد. استفاده از کودهای دامی علاوه بر افزایش ماده آلی خاک باعث افزایش فعالیت میکرو ارگانیسم‌ها شده و ساختمان خاک بهبود می‌یابد (توحید لو، ۱۳۸۰). کاربرد ترکیبات آلی نظیر کودهای حیوانی عامل مدیریتی مهم و مؤثر بر کیفیت خاک و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و باروری خاک به حساب می آید (Smith, 2002). مصرف کود دامی باعث افزایش ماده آلی خاک، کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک، افزایش نفوذ آب به خاک، کاهش فرسایش پذیری خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می شود (رضایی، ۱۳۹۲). نتایج یک تحقیق ۴ ساله در ایالات متحده نشان داد که مصرف کودهای دامی موجب افزایش pH خاک شده و در ابتدا تاثیری در افزایش کربن آلی خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری آن نداشته اما بعد از گذشت ۴ سال این کودها قادر بوده‌اند در لایه سطحی خاک حدود صفر تا ۱۵ سانتی‌متری موجب تراکم کربن و ازت شوند در حالی که تیمارهای کود شیمیایی باعث تراکم ازت در عمق ۱/۲ متری شده بودند (Eghbal, 2002). در آزمایشی با استفاده از ۲۲ تن در هکتار کمپوست و ۴۵ تن در هکتار کود دامی بعد از ۵ سال باعث افزایش معنی‌دار مقدار ماده آلی خاک در مقایسه با تیمار شاهد و نیز بهبود شرایط فیزیکی خاک گردید (Erich et al., 2002).. روستا و همکاران (۱۳۸۹) در یک بررسی آزمایشگاهی دریافتند افزودن کود دامی باعث افزایش معنی دار میانگین وزنی قطر خاکدانه در خاک شور

سدیمی می شود. فلاح و همکاران (۱۳۸۶) تلفیق کود شیمیایی و دامی را در ذرت دانه ای مورد توجه قرار دادند و مقادیر مختلف کود مرغی و کود شیمیایی را بررسی نمودند و ذکر نمودند که اختلاط ۱۶ تن کود مرغی درهکتار همرا ه با ۴۰ ،۲۰و ۲۰ کیلوگرم ازت، فسفر و پتاسیم در هکتار مناسب می باشد. میرزا شاهی (۱۳۸۵) مقادیر مختلف کود دامی و سطوح مختلف کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک را بررسی نمود و دریافت که مصرف کود شیمیایی تا سطح ۱۰۰درصد توصیه بر حسب آزمون خاک و مصرف ۲۰ تن کود حیوانی بهترین تیمارها بوده است. مجیدیان و همکاران (۱۳۷۸) با انجام آزمایش بر روی ذرت اعلام نمودند که مصرف کود نیتروژنی به صورت تلفیقی (شیمیایی و کود دامی) عملکرد دانه را تحت شرایط تنش آبی افزایش می‌دهد. با توجه به توصیه های وزارت کشاورزی برای مصرف کمتر کودهای شیمیایی و ترغیب کشاورزان به مصرف بیشتر کودهای آلی، بررسی اثر کودهای آلی بر رشد گیاه از اولویت ویژه ای برخوردار است بنابراین هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر کود حیوانی و سطوح مختلف نیتروژن برخصوصیات فیزیکی خاک تحت کشت گندم بود.

مواد و روش

محل انجام پژوهش

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سراب چنگایی خرم‌آباد طی دو سال زراعی۱۳۹۱-۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ - ۱۳۹۲ اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی، اقلیم معتدل، ارتفاع از سطح دریا ۱۱۷۱ متر و متوسط بارندگی سالانه ۵۱۶ میلیمتر است. این ایستگاه دارای رژیم رطوبتی زریک و رژیم حراتی ترمیک می باشد. برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: برخی خصوصیات شیمیایی‌خاک مزرعه مورد آزمایش ایستگاه سراب چنگایی لرستان

عمق Depth	درصد اشباع S.P.	نفوذپذیری cm/hr	جرم مخصوص ظاهری gr/cm3	هدایت الکتریکی Ec.10^3	واکنش گل اشباع PH of	درصد آهک T.N.V	درصد کربن آلی O.C.	فسفر قابل جذب P(av.) P.P.m	پتاسیم قابل جذب K(av.) P.P.m	بافت خاک
۳۰-۰	۴۳	۱/۶۳	۱/۴۴	۰/۸۸	۷/۸۲	۳۸/۵۰	۱/۲۱	۲۳	۶۷۰	Si.C.L

اجرا تیمارهای آزمایشی

آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در سه تکرار، درکرت‌های دائم بود. تیمارهای آزمایش به شرح زیر بودند: کود آلی : M_0 (بدون استفاده از کود آلی) و M_1 (۱۰ تن کود دامی)، M_2 (۲۰ تن کود دامی) مساحت هر کرت آزمایشی ۲۰ متر مربع (۴*۵) بود. طبق نقشه آزمایش فاصله کرت اصلی منابع کود آلی از یکدیگر دو متر و بین تکرار ها نیز دو متر در نظر گرفته شد. در نمونه‌های کود دامی درصد رطوبت، اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسم و عناصر میکرو اندازه‌گیری شد(جدول ۲). کود آلی بر مبنای وزن خشک محاسبه و در تیمارهای مختلف اعمال شدند و همه کرت ها زیر کشت گندم رفت. در پایان صفات پایداری خاکدانه با استفاده از روش الک تر، درصد رطوبت وزنی ۱/۲۰ اتمسفر ، درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی ، درصد رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی ، آب در دسترس و درصد اشباع با ستفاده از روش وزنی اندازه گیری شد. برای اعمال مکش های مورد نظر از دستگاه جعبه شن استفاده شد. نتایج آزمایش با استفاده از نرم افزارهای آماری MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار داده شدند.

جدول ۲: برخی از خصوصیات کود آلی مصرفی در آزمایش

نیتروژن کل	کربن آلی	۱:۵pH	رطوبت	۱:۵ EC	پتاسیم کل	فسفر کل	منگنز کل	روی کل	مس کل	آهن کل	نیترات کل
%			%		ds/m		%			mg/kg	
۲/۲۶	۲۶/۵	۷/۴۷	۷/۲۴	۱۰/۴۸	۱/۵۱	۰/۷۷۴	۳۹۳	۲۷۹	۳۵/۸	۹۲۹۸	۹۴۶۹

نتایج و بحث

تجزیه واریانس اثرنیتروژن و کود دامی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول ۳ نشان داده شده است همان طور که مشاهده می‌شود تیمارهای مورد نظر بر صفات فیزیکی اثر معنی‌دار داشته است.

جدول ۳: تجزیه واریانس اثرنیتروژن و کود دامی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

	میانگین مربعات					
	پایداری خاکدانه	درصد رطوبت وزنی ۱/۲۰ اتمسفر	درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی	درصد رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی	آب در دسترس	درصد اشباع
تیمار	۰/۰۱۳ **	۲/۴۰۰ **	۰/۰۸۲ **	۰/۵۷۸ **	۰/۴۸۸ **	۵/۱۰۰ **
بلوک (تکرار)	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۱۷۹ ns	۲/۴۳۹ ns	۱/۳۲۳ ns	۰/۰۰۱ ns
خطا	۰/۰۰۰۱ >	۰/۰۰۰۱ >	۰/۰۸۹	۰/۵۶۵	۰/۴۸۶	۰/۰۰۰۱ >
C.V.	-	-	۲/۲۸	۳/۰۲	۵/۹۰	-

مقایسه میانگین سطوح مختلف کود دامی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول ۴ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود تیمارهای M1 و M2 اختلاف معنی داری با تیمار بدون مصرف کود آلی بر صفات فیزیکی خاک دارند.

مارنیاری و همکاران (۲۰۰۰) در ارزیابی تاثیر مقادیر مختلف کودهای آلی و معدنی بر ویژگیهای فیزیکی و بیولوژیکی خاک به این نتیجه رسیدند که کودهای آلی باعث بهبود ویژگیهای فیزیکی و بیولوژیکی خاک می شود که به افزایش ماکروپورها و منافذ بهم پیوسته مربوط میشود.

جدول ۴: مقایسه میانگین سطوح مختلف کود دامی بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

	پایداری خاکدانه	درصد رطوبت وزنی ۱/۲۰ اتمسفر	درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی	درصد رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی	درصد اشباع	آب در دسترس
M_0	۰/۵۷ d	۳۷/۰۰ c	۱۳/۱۲۷ a	۱۹/۲۳۰ c	۵۷/۰۰ b	۶/۱۰۳ c
M_1	۰/۶۳ a	۳۸/۰۰ b	۱۲/۳۸۷ b	۲۱/۴۳۷ b	۵۸/۰۰ a	۸/۸۵ b
M_2	۰/۶۷ a	۳۹/۰۰ a	۱۰/۹۶۷ c	۲۴/۹۳۰ a	۵۵/۰۰ c	۱۴/۲۷ a

لطفی و همکاران (۱۳۸۸) در آزمایشی مشاهده کردند که تیمار کود دامی۱۰۰تن در هکتار اثر معنی داری روی خصوصیات فیزیکی خاک دارد .

نتیجه گیری

با توجه به اینکه اثرات مثبت مواد آلی به ویژه بر خصوصیات فیزیک و شیمیایی و بیولوژی خاک در بلند مدت مشهود است لذا احتمال دارد که کشاورز برای افزایش مواد آلی در سالهای اولیه تا حدودی از نظر مالی متضرر شود ولی قطعاً در آینده اثرات مطلوب مواد آلی را مشاهده خواهد نمود بنابراین کاربرد تمام منابع مواد آلی قابل دسترس با توجه به توان مالی کشاورزان امری ضروری میباشد. در مجموع با توجه به شرایط اجرای این آزمایش مقادیر ۱۰ تن در هکتار کود حیوانی و در زراعت گندم عکس‌العمل مناسبی نسبت به این مواد نشان داد و توصیه می‌گردد.

منابع

توحیدلو،ق.، صادقیان مطهر،س.ی.و کاشانی، ع. ۱۳۸۰.بررسی کارایی مصرف آب و برخی پارامترهای زراعی فیزیولوژیکی سه رگه چغندرقند در شرایط مطلوب و تنش خشکی. پایان نامه کارشناسی ارشد. رشته زراعت دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج .

رضایی، ح. ۱۳۹۲. مروری بر تحقیقات کاربرد کودهای دامی دراراضی کشاورزی ایران. نشریه مدیریت اراضی، ۱(۱): ۵۵-۶۸.

روستا، م.ج.، عنایتی، ک. و وکیلی، آ.۱۳۸۹ .بررسی آزمایشگاهی تاثیر افزودن ترکیبات معدنی و مواد آلی بر میانگین وزنی قطر خاکدانه ها در یک خاک شور-سدیمی .مجله پژوهشهای خاک، جلد ۲۴، شماره ۳ ص ،۲۳۵-۲۲۹.

فلاح، سیف اله، قلاوند، امیر و محمد رضا خواجه پور. ۱۳۸۶. تاثیر نحوه اختلاط کود دامی با خاک و تلفیق آن با کود شیمیایی بر عملکرد و اجزا عملکرد ذرت دانه ای در خرم آباد لرستان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۴۰: ۲۴۲-۲۳۳.

میرزا شاهی، کامران. ۱۳۸۵. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی تاثیر استفاده توام مواد آلی (کود حیوانی) و کود شیمیایی بر عملکرد ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۷و مواد آلی خاک. مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول.

مجیدیان، م.، قلاوند، ا.، کریمیان، ن و گندمکار حقیقی. ، ع.ا. ۱۳۸۷. تاثیر تنش رطوبت، کود شیمیایی نیتروژنه، کود دامی و تلفیقی از کود نیتروژن و کود دامی بر عملکرد و اجزای عملکرد و راندمان استفاده از آب ذرت سینگل کراس ۷۰۴. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی شماره ۴۵: ۴۱۸-۴۳۲.

لطفی، ی.، نوربخش، ف.، و ملکی، ع. ۱۳۸۸. یک روش آسان و سریع جهت سنجش پتانسیل معدنی شدن نیتروژن در زمین های آهکی تیمار شده با کود گاوی. مجله پژوهش در علوم زراعی. ۱(۴):۸۳-۹۴.

Smith, P. 2002. Organic matter modelling. In: Lal, R. ed. Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker, Inc., New York, New York, USA.

Erich, M. S., Fitzgerald, C. B., Porter, G. A. 2002. The effect of amendments on phosphorus chemistry in a potato cropping system. Agriculture, Ecosystems and Environment .88, 79-88.

Eghball, B. (2002). Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications. Agronomy,94,128–135.
Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, and Grego S, 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties. Bioresource Technol 72: 9-17.

Investigation of the effect of animal manure on the physical properties of soil under wheat cultivation

Shahram Omidvari[1], Niazali Ebrahimipak[2], Samad Abdi[3]
1 and 2**:** Assistant professor and associate professor of Soil and Water Research institute, Agricultural Research,Education and Extension Organization(AREEO), Karaj, Iran.
3: Assistant professor of Soil and Water Research department, Lorestan Agricultural education and Natural Resources. Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Khoramabad, Iran.

Abstract
In order to investigate the effect of animal manure on the physical properties of soil under wheat cultivation, an experimental split factorial was performed in three replications. The experimental treatments were as follows: Organic fertilizer: M0 (without the use of organic fertilizer) and M1 (10 tons of livestock manure), M2 (20 tons of livestock manure) The area of each experimental plot was 20 square meters (5 * 4). Organic fertilizers were calculated based on dry weight and applied in different treatments and all plots were planted with wheat. At the end of aggregate stability traits were measured using wet sieve method, weight moisture content of 1.20 atmospheres, weight moisture content at wilting point, weight moisture content in field capacity, available water and saturation percentage were measured using weight method. A sandbox tool was used to apply the desired suction. The test results were statistically analyzed using MSTATC statistical software. The results showed that M1 and M2 treatments were significantly different from the treatment without soil fertilizer on soil physical properties.
Keywords: Aggregate stability, moisture content by weight, saturation percentage

مقایسه شاخص کیفیت فیزیکی خاک در دو خاک آلوده و غیر الوده (خرم آباد)

حمیدرضا متین فر[1] زهرا جوانمرد[2]، داریوش گودرزی[3]

۱-دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه لرستان ۲- دانشجوی دکترای دانشگاه لرستان،گروه علوم خاک ۳- دانشور گروه زراعت و اصلاح نباتات ، دانشگاه لرستان

چکیده :کیفیت خاک در واقع ظرفیت آن به عنوان یک منبع در اکوسیستم‌های طبیعی یا مدیریت‌شده برای حفظ میزان تولیدات گیاهی و حیوانی، حفظ یا افزایش کیفیت آب و هوا و حمایت از سلامت انسان تعریف شده است از شاخص‌های تعیین کیفیت خاک ،خصوصیات فیزیکی است که تغییرات در خصوصیات فیزیکی منجر به تغییر در کیفیت خاک می گردد. تغییر در کیفیت آب آبیاری نیز ازعوامل موثر در تغییر کیفیت خاک می‌باشد، که موجب تفاوت معنی داری در کیفیت خاک می‌شود. ارزیابی تمام خصوصیات موثر بر کیفیت خاک هزینه بر، وقت گیر، طاقت فرسا می‌باشد. بر این اساس به بررسی تاثیربلندمدت استفاده از پساب بر برخی شاخص های کیفیت فیزیکی خاک درمنطقه سرآب چنگایی پرداخته شد. جهت انجام این پژوهش دو ناحیه اراضی آبیاری شده با پساب و آبیاری با آب چاه انتخاب شد. تعداد60 نقطه به روش شبکه بندی منظم با استفاده از نرم افزار Arc GIS به فاصله ۲۰۰ متر از عمق ۰-۲۰ سانتی متری انتخاب و نمونه برداری گردید.سیزده ویژگی فیزیکی خاک شامل: درصدرس، درصد سیلت، درصد شن ، وزن مخصوص ظاهری، پایداری خاک دانه ها،میانگین هندسی قطر خاکدانه ها ،درصد رطوبت درنقطه PWP،FC، درصد رطوبت(%SP)، ظرفیت نگهداری آب(WHC)، ماده آلی، نوع و اندازه ساختمان اندازه گیری و مورد بررسی قرارگرفت. ازجمله فاکتور های مؤثر بر کیفیت فیزیکی، شامل درصد شن و سیلت، پایداری و میانگین هندسی قطر خاکدانه ها ،منحنی رطوبتی،درصدوظرفیت رطوبت، کربن آلی دراراضی آبیاری شده با فاضلاب نسبت به اراضی آبیاری شده با آب چاه بیشتربودند و مقدار درصدرس و وزن مخصوص ظاهری کم تر می‌باشد. مهم‌ترین این فاکتور ها که بر کیفیت خاک منطقه اثر می‌گذارد مواد آلی است که بر روی سایر ویژگی‌ها نیز تأثیر می‌گذارد، وجودماده آلی در خاک باعث حفظ کیفیت خاک، بهبود شرایط خاکدان هسازی،وضعیت تخلخل ونفوذپذیری خاک می‌شود. و همچنین حضور آن موجب هماوری ذرات خاک می‌شود که از این طریق اثرات زیانبار فرسایش کاهش میابد. محاسبه شاخص کیفیت خاک نشان داد که میزان شاخص منطقه آبیاری شده با فاضلاب بیشتراز منطقه تحت آبیاری با آب چاه بوده که مقدار آن درمنطقه آلوده ۷/۲بوده درحالی که در منطقه سالم حدود۶/۹ بوده است. پس می‌توان استنباط کرد که آبیاری با پساب موجب بهبودشاخص کیفیت ودرنتیجه کیفیت فیزیکی خاک گردید.

واژگان کلیدی: کیفیت خاک، کیفیت پساب، خصوصیات فیزیکی، T^2 هتلینگ، تابع تشخیص

مقدمه

در دهه های اخیر به دلیل رشد روز افزون جمعیت کره ی زمین و نقش خاک در تامین غذای بشرتوجه به جنبه های مختلف فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی وکانی شناسی مورد توجه قرار گرفته است(لل و همکاران۱۹۹۹[1]، بلیر و همکاران ۱۹۹۵[2]) .رشد روز افزون جمعیت جهان از یکسو و خشک سالی های پی در پی از جهت دیگر باعث شده که در سال های اخیر تقاضا و استفاده از آب افزایش یابد که باعث شده فشار بسیار زیادی بر منابع آب وارد شود و کیفیت آن دچار مشکل گردد .هدف اصلی استفاده از پساب؛ تأمین آب آبیاری در زمینهای کشاورزی است و بیشترین کاربرد پساب،در اراضی کشاورزی می‌باشد (استیوارت[3] ۲۰۰۸). کیفیت خاک درواقع به مفهوم ارزیابی و مدیریت خاک است که در حال حاضر به طور استاندارد ازآن استفاده نمی شود و به منظور حفظ

1 lal
2 Balier
3 Astevart

خاک برای آیندگان ،تخریب آن باید متوقف شود(حاج عباسی و همکاران ۱۳۸۶). جهت تعیین کیفیت بایدعوامل مؤثر بر کیفیت خاک را بررسی کرد که این عوامل می تواند ویژگی‌ها و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی یا زیستی باشند که مدیریت خاک نیزروی این عوامل می تواند تاثیر گذار باشد. جهت تعیین کیفیت باید ویژگی‌هایی از خاک که شامل خصوصیات فیزیکی ،شیمیایی، بیولوژیکی و نوع کاربری اراضی می باشد را مورد ارزیابی قرار داد (پیرس و همکاران[۴]، ۱۹۸۳). می توان میزان ماده آلی را رایج ترین خصوصیت جهت تخمین کیفیت خاک بیان کرد(ساینجو[۵]و همکاران، ۲۰۰۸).فریدمن[۶] و همکاران (۲۰۰۱) خصوصیاتی که به‌عنوان عوامل مؤثر برکیفیت خاک می باشند را شامل:

۱)اندازه‌گیری آن‌ها آسان باشد۲)درکاربری‌های مختلف خاک قابل اندازه گیری بوده و تغییرات را به خوبی نشان دهد ۳)قابل ارزیابی در زمان استانداردی باشد ۴)برای کاربری‌های مختلف دردسترس بوده و قابل کاربرد درشرایط مزرعه باشند ۵)به تغییرات اقلیمی و مدیریتی حساس باشند ۶)به خوبی بیانگر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک باشد و به وسیله روش‌های کمی و یا کیفی قابل ارزیابی باشند.

خاکهایی که دارای تهویه نامناسب، نفوذپذیری کم باشد موجب ایجاد رواناب های سطحی، خاصیت سخت شدگی، قابلیت ریشه دوانی ضعیف می باشد که دراین حالت می توان گفت خاک کیفیت فیزیکی نامطلوبی دارد (دکسر[۷]۲۰۰۴). خاک ها به طور طبیعی از نظر ویژگی و عملکرد متفاوت اند، از این رو کیفیت هر نوع خاک در واقع ویژه همان خاک است .کیفیت شامل دو جنبه کیفیت ذاتی و کیفیت پویا می باشد (کارتر[۸] و همکاران ،۱۹۹۷؛ شوکلا[۹] و همکاران، ۲۰۰۴). ویژگی هایی مانند وزن مخصوص، بافت، کانی شناسی و... ویژگی های ذاتی خاک هستند که فاکتورهای خاکسازی مانند: اقلیم، توپوگرافی، پوشش گیاهی، مواد مادری، و زمان تعیین کننده این ویژگی هاست.

کیفیت خاک به طور مستقیم قابل اندازه گیری نیست، بلکه بسته به مقیاس و هدف پژوهش با اندازه گیری چند خصوصیت تعیین می شود. طبق نظر دوران و پارکین (۲۰۰۰) سه وظیفه مهم خاک عبارتند از: ۱) اثر گذاری بر روی رشد متوسط گیاهان ۲) تنظیم کردن و جزء بندی آب جاری ۳) استفاده از خاک در جهت محافظت های محیطی که تمامی این ویژگی ها متأثر از کیفیت خاک است.

از مهم ترین ویژگی های موثر برخصوصیت فیزیکی خاک در خاک های کشاورزی: ماده آلی، ماده آلی ذره ای(POM)، شاخص S، آب قابل استفاده،جرم مخصوص ظاهری است(شکفته و همکاران، ۱۳۹۵). ویژگی های دیگر خصوصیت فیزیکی خاک مانند تخلخل درشت، گنجایش هوایی، ظرفیت آب قابل استفاده‌ی گیاه، گنجایش نسبی آب و تخلخل موثرکه مستخرج از منحنی رطوبتی هستند توسط پژوهشگران مختلفی پیشنهاد و صحت کاربردشان بررسی شده است(بیگی هرچگانی و همکاران ،۱۳۹۲). یکی از ویژگی های اولیه موثر بر کیفیت خاک ماده آلی است، که دربحث کشاورزی و محیط زیست، در نظر گرفته می‌شود و عواملی همانند تغییر در مدیریت و کاربری اراضی بر روی آن تاثیر گذار است. از سوی دیگر ماده آلی بسیاری از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک شامل: ظرفیت نگهداری آب، مواد غذایی، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، ساختمان خاک، پایداری خاکدانه ها، جرم مخصوص ظاهری، و نفوذپذیری را تحت تاثیر قرار داده و از این رو منجر به افزایش کیفیت خاک می گردد(سیکس [۱۰]و همکاران، ۲۰۰۰).

---

4 Pierce
5 Sainju
6 Friedman
7 Dexer
8 Carter
9 Suhkala
10 Six

جهت تعیین کیفیت باید عوامل موثر بر کیفیت خاک را بررسی کرد که این عوامل می تواند ویژگی ها و فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی یا زیستی باشند که مدیریت خاک نیز روی این عوامل می تواند تاثیر گذار باشد. کیفیت آب آبیاری از عوامل کلیدی و مؤثر در تغییر ویژگی‌های خاک و همچنین شاخص‌های کیفیت خاک به‌خصوص میزان ماده‌ی آلی در خاک است که نه تنها مقدار ماده آلی را کنترل می‌کند بلکه بر ترکیب و کیفیت مواد آلی خاک نیزتأثیر گذار است. پسابهای شهری و صنعتی روی ویژگیهای مختلف خاک اثرات مختلفی می‌گذارند، مطالعات زیادی درباره‌ی تاثیر استفاده از پساب بر ویژگیهای فیزیکی خاک صورت گرفته است. با این وجود مطالعات اندکی درباره‌ی تاثیرپساب بر ویژگیهای فیزیکی از قبیل نگهداشت آب در خاک و پایداری خاکدانه ها انجام شده است(روحانی شهرکی و همکاران ۱۳۸۶). به دلیل گسترش روزافزون استفاده از منابع مختلف آب جهت آبیاری برای کشت محصولات مختلف نیاز به شناخت رابطه‌ی میان کیفیت خاک وکیفیت آب آبیاری الزامی است. رودخانه شهر خرم آباد حاوی فاضلاب شهری و مقداری صنعتی می باشدکه از آن، جهت آبیاری اراضی استفاده می شود که ازجمله این اراضی دشت‌های منطقه سرآب چنگایی است.هدف این تحقیق ارزیابی تاثیربلند مدت پساب برشاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک در اراضی منطقه سرآب چنگایی شهرخرم آباد می باشد.

مواد و روش ها

منطقه موردمطالعه سرآب چنگایی روستایی ازتوابع شهرخرم آباد که در۱۰کیلومتری جنوب غربی خرم آباد قرار گرفته است. مساحت منطقه موردمطالعه ۳۵ هکتار و بین عرض جغرافیایی ۳۳/۴۸درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸/۳۵درجه شرقی قرار گرفته است، کاربری منطقه بیشتر شامل کشاورزی، و باغات و زمین‌های رها شده می‌باشد. ایـن منطقه ازنظرآب و هوایی دارای رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی زریک(رژیم مدیترانه‌ای)می باشد. میانگین بارندگی آنحدود ۵۰۹ میلی‌متر و همچنین میانگین دمای سالیانه۱۷/۲ درجـه سـانتیگـراد می‌باشد. ارتفاع منطقه ازسطح دریا۱۱۴۷/۸مترمی باشد.

شکل۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و لرستان

در این پژوهش به بررسی تاثیربلند مدت استفاده از پساب بر برخی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک در منطقه سرآب چنگایی پرداخته شد. برای این منظور دو منطقه از اراضی آبیاری شده با پساب و آبیاری با آب چاه انتخاب شد. نقاط به روش شبکه بندی منظم به فاصله ۲۰۰ متر از عمق ۰-۲۰ سانتی متری انتخاب و نمونه برداری شد.

در این مطالعه مشخصه های فیزیکی با استفاده ازروش حداکثر داده جهت محاسبه شاخص کیفیت فیزیکی در نظر گرفته شده است. این مشخصه ها شامل: وزن مخصوص ظاهری(چگالی ظاهری)، درصد کربن آلی، پایداری خاکدانه به دو حالتGWD،MWD، درصد رطوبت در نقطه FC، PWP، درصد رطوبت و ظرفیت نگهداری آب می باشد. امتیازدهی به هریک ازداده های ذکر شده باتوجه به اینکه این مشخصه ها معمولاً شامل یکی از این دو گروه می‌باشند انجام شد(اندروز[11]و همکاران، ۲۰۱۰):

گروه اول:بیشتر بهتر، آن دسته مشخصاتی هستند که مقادیر بالای آنها اثر مطلوبی برخاک می‌گذارد(درصدکربن آلی، پایداری خاکدانه، ظرفیت زراعی، درصد رطوبت و ظرفیت نگهداری آب).

گروه دوم: کمتر بهتر، آن دسته مشخصاتی هستند که مقادیرکمتر آنها اثر بهتری بر خاک می‌گذارد (وزن مخصوص ظاهری، نقطه پژمردگی).

در نهایت امتیاز مربوط به هریک از متغییرهای قرار گرفته دراین دوگروه به وسیله روابط ۱ و۲ محاسبه می‌شود:

(۱) گروه اول=ارزش (مقدار)هرتکرار/بالاترین ارزش

(۲)گروه‌دوم=پایین‌ترین ارزش/ارزش(مقدار)هرتکرار

در نهایت با ادغام امتیازهای محاسبه شده درون یک شاخص کلی با عنوان شاخص کیفیت خاک رابطه(۳) محاسبه می شود(مازاییولی [12]و همکاران ،۲۰۰۲، اندروز و همکاران،۲۰۱۰).

$$SQIndex = \frac{\sum si}{n} \times ۱۰ \qquad (۳)$$

Si = امتیاز داده شده به هر ویژگی، N= تعداد کل ویژگی ها، SQindex= شاخص کلی

نتایج و بحث

تأثیرکیفیت آب آبیاری برخصوصیات خاک

نتیجه آزمون T برای خصوصیت کربن آلی بین دو خاک مورد مطالعه در سطح اطمینان ۰/۰۵، ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری را نشان می دهد و همچنین مقادیر میانگین آن در مناطق آبیاری شده با فاضلاب ۲/۵۲ درصد، و برای مناطق آبیاری شده با آب چاه۱/۲۱درصد که مقدار ماده آلی در منطقه آبیاری شده با پساب بیشتر است.

آبیاری با پساب کربن آلی خاک راافزایش داده است که این با نتایج بیگی هرچگانی(۱۳۹۲) مطابقت داردکه بیان کردند آبیاری باپساب باعث افزایش کربن آلی خاک میگردد؛ زیرا پساب برخلاف آب تازه حاوی مقداری کربن آلی است. همچنین دریچزل و همکاران(۲۰۰۵) نیز نشان دادند که آبیاری با پساب شهری به مدت ۲۵سال منجر به افزایش کربن آلی خاک شده است.

[11] Andrews
[12] Marzaioli

.نتایج تابع تشخیص

با توجه به آزمون T از بین صفات بررسی شده۱۰ صفت اختلاف معنا داری داشت، که این تعداد صفات را جهت تعیین رابطه خطی مورد استفاده قرار گرفت(جدول۱) و تابع حاصل به شرح زیر می باشد:

جدول۱- ضرایب در تابع تشخیص محاسبه شده

ضرایب	صفات	ضرایب	صفات
-۰/۳۵۶	PWP	۰/۳۵۴	%OC
-۱/۰۸۵	%SP	0/032	Bb
۱/۳۷۶	WHC	۰/۱۹۷	MWD
-۰/۷۴	CLAY	-۰/۱۶	GMD
۰/۵۳۵	SAND	۰/۲۱۶	FC

که در این پژوهش تابع تشخیص برای اراضی به صورت:

$$Z=0.354x_1 -0.032x_2 +0.197x_3 -0.16x_4 +0.216x_5 -0.356x_6 -1.085x_7 \quad +1.376x_{8}_0.74x_9 +0.535x_{10}$$

x_1 =%OC $x_6 = PWP$

$x_{2=}$Bb $x_7 = \%SP$

x_3 =MWD x_8 =WHC

x_4 =GMD x_9 = %CLAY x_5 =FC $x_{10} = \%SAND$ x_5 =FC $x_{10} = \%SAND$

۱.۳ آزمون تابع تشخیص

جدول ۲- آزمون تابع تشخیص دو گروه خاک مورد مطالعه

نتیجه	درجه آزادی	کای اسکور	مقدارلامبادا
**	۱۰	۱۱۵/۳۳	۰/۱۱۳

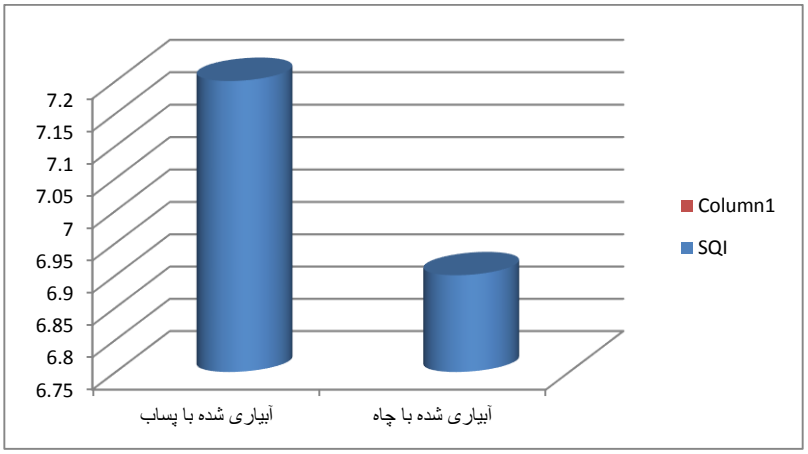
با توجه به آزمون لامبادا این تابع تشخیص معنادار است، یعنی این تابع به خوبی توانسته دو گروه خاک مورد مطالعه را از هم متمایز کند. و از این به بعد نمونه ی جدید ناشناخته را با وارد کردن ضرایب تشخیص هریک از صفات نام برده شده به تابع مشخص می کند این خاک جزء گروه سالم یا آلوده می باشد.

شاخص کیفیت خاک دراراضی مورد مطالعه

ارزیابی شاخص کیفیت خاک،مناسب ترین راه جهت مدیریت صحیح اراضی می‌باشد(دوران و پارکین ۱۹۹۴). شاخص کیفیت خاک مجموعه ای از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک هستندکه در محاسبه شاخص کلی کیفیت یاد شده مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه میانگین شاخص کیفیت نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص مختص اراضی آبیاری شده با پساب است.دراین پژوهش جهت محاسبه شاخص کیفیت ابتدا با استفاده از روابط (۱)،(۲) میزان امتیاز هر ویژگی را تعیین می کنیم که مقدار هر ویژگی در هر اراضی در جدول(۳)، نشان می‌دهد و سپس با استفاده از رابطه (۳)میزان شاخص تعیین می‌گردد.

جدول۳ محاسبه میزان شاخص کیفیت خاک در دو منطقه

	%OC	MWD	GWD	Bb	FC	PWP	%SP	WHC	SQI
آب پساب	0/7	0/5	0/97	۰/۷	0.9	0/32	0/9	0/8	7/2
آب چاه	0/5	0/32	0/95	۰/۸	۰/۸	0/72	0/81	0/71	6/95



شکل۲ مقایسه میزان شاخص کیفیت خاک دراراضی مورد مطالعه

روحانی شهرکی و همکاران (۱۳۸۴) پساب را به عنوان عامل اصلاح کننده درخاک دانسته و بیان نمودند که آبیاری با آن موجب بهبود ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش کیفیت خاک گردیده است.

نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی تعیین تاثیر بلند مدت آبیاری با پساب بربرخی شاخص های کیفیت فیزیکی خاک در منطقه سرآب چنگایی خرم آباد انجام شد. از جمله فاکتور های مؤثر بر کیفیت فیزیکی، شامل درصد شن و سیلت، پایداری خاکدانه ها، منحنی رطوبتی، درصد و ظرفیت رطوبت، کربن آلی در اراضی آبیاری شده با فاضلاب نسبت به اراضی آبیاری شده با آب چاه بیشتر بودن و مقدار درصدرس و وزن مخصوص ظاهری کم تر می‌باشد. مهم‌ترین این فاکتور ها که بر کیفیت خاک

منطقه اثر می‌گذارد مواد آلی است که بر روی سایر ویژگی‌ها نیز تأثیر می‌گذارد وجود ماده آلیدر خاک باعث حفظ کیفیت خاک، بهبود شرایط خاکدانه سازی، وضعیتت خلخل و نفوذپذیری خاک می‌شود. و همچنین حضور آن موجب هماوری ذرات خاک می‌شود که از این طریق اثرات زیانبار فرسایش کاهش می‌ابد. نتایج این پژوهش نشان داد که براساس آزمون T بین صفات بررسی شده بین دوگروه اختلاف معنی داری وجود دارد به جز دو مورد، همچنین نتایج حاصل از آزمون T^2 هتلینگ نیزکه کلیه صفات را با هم بررسی می کند نیز بیانگر رابطه و اختلاف معنی داری بین دو گروه می باشد.محاسبه شاخص کیفیت خاک نشان داد که میزان شاخص منطقه آبیاری شده با فاضلاب بیشتر از منطقه تحت آبیاری با آب چاه بوده که مقدار آن در منطقه آبیاری شده با چاه ۶/۹ بوده درحالیکه در منطقه آبیاری شده با پساب۷/۲بوده است. پس می‌توان استنباط کرد که آبیاری با پساب موجب بهبود شاخص کیفیت و در نتیجه کیفیت فیزیکی خاک گردید.

فهرست منابع

Beigi Harchegani, H. Bani Talibi, G. "The Effect of Long-Term Uses of Urban Wastewater on Physical Quality Indicators of Shahrekord Taghak Soil", Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology), Volume 27, Number 5 2013.

Haj Abbasi, M. Bassalatpour, A. Melli, R. "The Effect of Rangeland Transformation on Agricultural and Physical and Chemical Properties of Soils of South and Southwest Isfahan", Agricultural Science and Technology 42: 525 -534, 2007.

Haj Abbasi, M. Jalalian, A. Khajaddin, J. Karimzadeh, H. "A Case Study of the Impact of Rangelands Conversion on Agricultural Lands on Some Physical Properties, Fertility and Soil Index of Agriculture in Borujen", Journal of Agricultural Science and Techniques, Volume 6, No. 2002.

Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H., and Pierce F.J." Concepts of soil quality and their significance. In Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health, ed. Gregorich E.G. and Carter M., 1-19. Amsterdam,Netherlands": *Elsevier Science Publishers*.۱۹۹۷.

Doran, J.W. and Parkin, T.B. "Defining and assessing soil quality. In:Doran, J.W., D.C., Coleman, D.F., Bezdicek, and B.A., Stewart (Eds), definingsoil quality for a sustainable environment". *SSSA. Special Publication,* No. 35.۱۹۹۴.

Dexter, A.R." Soil physical quality. Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusionsabout S-theory". *Geoderma,120:227-239.*۲۰۰۴.

Pierce FJ, Larson RH and Graham WA. "Productivity of soils assessing long term changes due to erosion". *Journalof Soil and Water Conservation* 38: 39-44.۱۹۸۳.

Parkin, T.B., J.W. Doran and E. Franco-Vizcaino. "Field and laboratory tests of soil respiration". In: J.W..۱۹۹۶

اثرات نوع، مقدار و اندازه ذرات بیوچار بر جرم مخصوص ظاهری و پایداری ساختمان خاک

حسن اصولی[۱]، احمد کریمی[۲]، حسین شیرانی[۳]

۱- دانشجوی دوره دکتری علوم خاک، osoolih@gmail.com

۲- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه شهر کرد.

۳- استاد گروه علوم خاک دانشگاه ولی عصر رفسنجان.

چکیده

اخیرا بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک مورد توجه محققان قرارگرفته است. در تحقیقات انجام یافته، بیشتر به اثر نوع و مقدار بیوچار بر ویژگی‌های خاک پرداخته‌شده است. این تحقیق مزرعه‌ای با هدف بررسی اثر توأم نوع، مقدار و اندازه ذرات بیوچار بر جرم مخصوص ظاهری (ρb)، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های تر (MWDwet) در خاک آهکی با بافت لوم شنی انجام شد. آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی و با بیوچارهای کاه گندم، ورمی کمپوست و هیزم زردآلو در مقدارهای ۰/۵ (R1)، ۱/۵ (R2) و ۳ (R3) درصد و اندازه‌های ۰/۵-۰ (S1)، ۱-۰/۵ (S2) و ۲-۱(S3) میلی‌متر در سه تکرار اجرا گردید. کمترین ρb در تیمار بیوچار کاه گندم با مقدار و اندازه ذرات R3S3 میلی‌متر به دست آمد. در این تحقیق بزرگترین MWDwet (۰/۹۲ mm)، در بیوچار ورمی کمپوست با مقدار و اندازه ذرات R3S2 میلی‌متر مشاهده شد. در تیمارهای بیوچار ورمی کمپوست تغییر در اندازه ذرات و مقدار موجب تفاوت معنی‌دار در ρb نشد ولی درMWDwet تغییر معنی‌داری ایجاد کرد. در بیوچارهای کاه گندم و هیزم زردآلو کمترین ρb به ترتیب در مقدار و اندازه ذرات R3S3 و R3S2 و بیشترین MWDwet به ترتیب در مقدار و اندازه ذرات R3S2 و R2S3 مشاهده شد.

واژگان کلیدی: مقدار بیوچار، اندازه ذرات بیوچار، جرم مخصوص ظاهری خاک، میانگین وزنی خاکدانه های تر، اصلاح خاک.

مقایسه کارایی روش تکاملی و کریجینگ درتخمین بافت خاک

لاله پرویز[۱]، رضا احدی[۲]، فاطمه سید میلانی[۳]

۱- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان (laleh_parviz@yahoo.com)

۲،۳- دانشجوی کارشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

چکیده

بافت خاک به‌عنوان یکی از مهمترین خصوصیات خاک در عملیات کشاورزی و مدیریتی دارای نقش اساسی است. در این تحقیق به مقایسه عملکرد یکی از روش‌های تکاملی (برنامه‌ریزی بیان ژن) و زمین آمار (کریجینگ) در برآورد بافت خاک در مناطقی از استان آذربایجان‌شرقی پرداخته شد. تعیین دقیق پارامترهای روش برنامه‌ریزی بیان ژن مانند تعداد کروموزوم و اندازه سر، تعداد ژن و مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنما در کریجینگ مانند خطی، دایره‌ای نیز مورد بررسی قرار گرفت. میزان کاهش AMAPE از کریجینگ به برنامه‌ریزی بیان ژن در رس، سیلت، شن به‌ترتیب برابر با ۱۴/۸۹، ۱۹/۶۷، ۲۰ و میزان کاهش MAE به‌ترتیب برابر با ۱۶/۵۵، ۱۹/۷۶، ۹/۸۴ درصد بود که بیانگر برتری برنامه‌ریزی بیان ژن نسبت به کریجینگ در برآورد درصدهای بافت خاک بود. همچنین محاسبه قدرمطلق اختلاف بین میانگین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در نه نقطه حاکی از عملکرد بهتر برنامه‌ریزی بیان ژن می‌باشد. کمترین مقدار قدرمطلق بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در نه نقطه در مورد سه جزء بافت خاک مربوط به نقاطی در مراغه است. بیشترین ضریب همبستگی خط برازشی بر دیاگرام پراکنش مربوط به شن می‌باشد.

واژه‌گان کلیدی: بافت خاک، برآورد، برنامه‌ریزی بیان ژن، کریجینگ

مقدمه

دستیابی به اطلاعات در مورد تغییرات مکانی خاک در کشاورزی، توسعه پایدار و مدیریت منابع طبیعی قابل توجه است (Bhunia *et al.* 2018) و تعیین الگوی توزیع مکانی خصوصیات خاک با روشی کارآمد به عنوان رهیافت موثری می‌باشد. در این میان بافت خاک یکی از مهمترین خصوصیات خاک است، زیرا بر مقدار آب قابل دسترس، نفوذپذیری، زهکشی، تهویه و تخلخل تاثیر گذار است. همچنین بافت خاک در سیستم جامع طبقه‌بندی خاک مهم می باشد. داده‌های بافت خاک از جمله داده‌های ورودی لازم برای بیشتر مدل‌های هیدرولوژیکی، محیط‌زیستی، اقلیمی و اکولوژیکی بشمار می‌آیند. علاوه بر این بافت خاک در توابع انتقالی برای تخمین خصوصیاتی مانند چگالی، هدایت آبی و ظرفیت نگهداری آب خاک کاربرد دارد. همچنین بافت خاک در تعیین مناسب بودن خاک برای برخی موارد خاص مانند مدیریت آب مهم است (Mehrabi-Gohari *et al.* 2019). زمین آمار یکی از رهیافت‌هایی است که در تخمین خصوصیات خاک از جمله بافت خاک مورد استفاده قرار گرفته است. کریجینگ در پیش‌بینی تغییرات مکانی بافت خاک در دشت فراهان در استان مرکزی بکار گرفته شد. تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده ۵۴ بود. با توجه به شاخص‌های ارزیابی، استفاده از کریجینگ نتایج قابل قبولی را در پهنه‌بندی خصوصیت خاک نشان داد. نتایج بیانگر تاثیر ویژگی‌های ذاتی خاک، اقلیم و کاربری اراضی بر تغییرات بافت خاک بودند(افضلی و همکاران ۱۳۹۷). با بکارگیری زمین آمار و سنجش از دور تغییرات مکانی اجزاء بافت خاک مورد بررسی قرار گرفت. نمونه-برداری با استفاده از روش تصادفی سیستماتیک در ۶۰ نقطه در شرق استان آذربایجان شرقی انجام گرفت. برای رس، سیلت و شن بهترین مدل تغییرنما به ترتیب کروی، کروی و نمایی بودند. بیشترین و کمترین خطا در برآورد ذرات به ترتیب مربوط به شن و رس بود. همچنین میزان انطباق نقشه کوکریجینگ مربوط به بافت خاک با بافت خاک اندازه‌گیری شده به میزان ۷۰

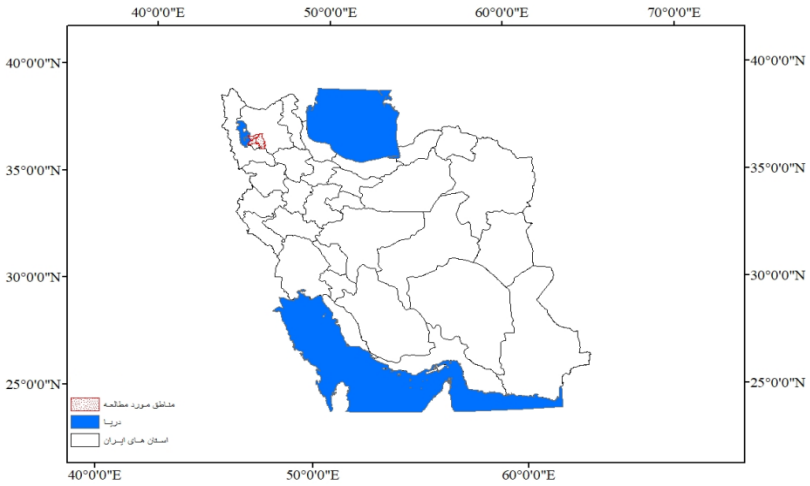
درصد بیان شد (اسدزاده و همکاران ۱۳۹۷). از زمین آمار در برآورد تغییرات مکانی بافت خاک، کلسیم کربنات، کربن آلی و شوری خاک در مسیر زابل به زاهدان استفاده شد. تعداد نمونه‌ها ۲۵۲ و از عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتری بود. روش‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، کریجینگ گسسته، کوکریجینگ و وزنی معکوس فاصله بود. بهترین مدل برای متغیرهای اندازه گیری شده (بجز کربن آلی که مدل گوسی است) مدل نمایی است. برای رس، کلسیم کربنات و کربن آلی مناسب‌ترین روش کوکریجینگ معمولی و برای سیلت، شوری خاک روش وزن‌دهی معکوس و برای شن کریجینگ معمولی بود(بهنام و همکاران ۱۳۹۸). استفاده از زمین آمار در پهنه‌بندی برخی خصوصیات خاک از جمله بافت خاک در اراضی شرق کارون نیز مورد بررسی قرار گرفت. بهترین مدل مربوط به اجزاء بافت خاک، مدل گوسی بود. در این تحقیق سیلت مقادیر بالای دامنه تاثیر در منطقه را داشت (غلامی و همکاران ۱۳۹۹). ارزیابی توزیع مکانی برخی خصوصیات خاک (نیتروژن، pH خاک، شوری، فسفر، پتاسیم و کربن آلی) با استفاده از زمین آمار در هند نیز مورد بررسی قرار گرفت. فسفر در قسمت شرقی متمرکز بود، در حالی محل تجمع شوری در مناطق شمال شرقی و جنوب غربی بود (Bhunia *et al.* 2018). در تحقیقی مدل‌های بافت خاک سطحی تولید و با رگرسیون خطی چندگانه، کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده و کریجینگ عام ارزیابی شدند. تعداد نمونه‌ها ۱۷۷ در فیلیپین بود (Mondejar and Tongco 2019). عملکرد مدل‌هایی مانند شبکه عصبی مصنوعی نیز در برآورد توزیع مکانی داده‌های موردبررسی، مطالعه شده است. در تخمین فسفر، پتاسیم و سدیم، مقایسه‌ای بین شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون وزنی فضایی و کوکریجینگ در منطقه‌ای در استان گلستان انجام گرفت. تعداد نمونه‌ها ۱۰۶و از عمق ۰-۳۰ سانتیمتری بود. داده‌ها به دو دوره واسنجی (۸۴) و صحت‌سنجی (۲۲) تقسیم شدند. عملکرد شبکه عصبی مصنوعی نسبت به دو مدل دیگر بهتر بود (Emamgholizadeh *et al.* 2017). در برآورد سطح ایستابی از روش ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی که با الگوریتم ژنتیک بهینه شده در دشت‌های دزفول و زیدون استفاده شد. در دشت دزفول و زیدون به‌ترتیب روش کوکریجینگ و کریجینگ با مدل نیم‌تغییر نما گوسین از عملکرد خوبی برخوردار بود. روش ترکیبی نسبت به زمین آمار عملکرد خوبی داشت. همچنین روش ترکیبی در دشت زیدون که تعداد چاه مشاهده کمتری دارد، نسبت به دشت دزفول موثرتر بود (زمانی احمد محمودی و همکاران ۱۳۹۶). کارایی روش‌های مختلف درون‌یابی مانند روش وزنی معکوس فاصله، کریجینگ، کوگریجینگ و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین بافت خاک در استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت. تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده ۱۰۵ و از عمق ۰ تا ۱۵ سانتیمتری بود. نقشه گروه‌های مختلف ذرات خاک با استفاده از روش‌های درون‌یابی توسط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد. سپس طول و عرض جغرافیایی، درصد شیب به مدل شبکه عصبی وارد شدند. کارایی شبکه عصبی مصنوعی نسبت به سه روش دیگر بالا بود (Khanbabakhani *et al.* 2020). از روش‌های زمین آمار (کریجینگ) و شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه در دشت شبستر- صوفیان در برآورد سطح تراز آب زیرزمینی استفاده شد. عملکرد روش‌های هوش مصنوعی نسبت به زمین آمار بهتر بود (عبادی و همکاران ۱۳۹۸).

هدف این تحقیق مقایسه کارایی روش‌های زمین آمار (کریجینگ معمولی) و برنامه‌ریزی بیان ژن در برآورد توزیع مکانی بافت خاک (شن، رس، سیلت) است. تعیین دقیق پارامترهای روش برنامه‌ریزی بیان ژن و مدل نیم تغییرنمای کریجینگ نیز مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

نمونه‌های جمع‌آوری شده به روش تصادفی مربوط به مناطقی از مراغه، بناب و عجب‌شیر در استان آذربایجان شرقی بوده است که موقعیت منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است. تعیین بافت خاک براساس روش هیدرومتری بود.



شکل ۱- موقعیت منطقه نمونه‌برداری در کشور

کریجینگ

یکی از روش‌های درون‌یابی، کریجینگ است که از تابع نیم‌تغییر نما در بیان همبستگی مکانی استفاده می‌کند (اسدزاده و همکاران ۱۳۹۷). تغییرنما کمیت برداری است که میزان همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را برحسب توان دو تفاضل مقدار دو نقطه و براساس جهت و فاصله نشان می‌دهد. هر تغییر نما دارای یکسری پارامترها از جمله سقف، دامنه تاثیر است (بهنام و همکاران ۱۳۹۸). نیم تغییر نما را می‌توان به‌صورت معادله ۱ و معادله تخمینی برای کریجینگ را با رابطه ۲ نشان داد.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(xi) - Z(xi+h)]^2 \quad (۱)$$

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^{I} \lambda_i z(xi) \quad (۲)$$

$\gamma(h)$: اندازه تغییر نما در فاصله h، N(h): جفت نمونه‌های بکار رفته، $Z(x_i)$ و $Z(x_{i+h})$ مقادیر متغیر در موقعیت‌های نمونه-برداری شده، $Z^*(x)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه X_i (اسدزاده و همکاران ۱۳۹۷).

برنامه‌ریزی بیان ژن

روش تکاملی مورداستفاده تحقیق، تعمیم یافته الگوریتم ژنتیک است. برنامه‌ریزی بیان ژن از جمعیتی از افراد استفاده می‌کند و انتخاب را براساس برازندگی انجام می‌دهد و با استفاده از یک یا چند عملگر ژنتیکی تغییرات ژنتیکی را اعمال می‌کند. تولید جمعیت اولیه از جواب‌ها اولین مرحله در روش برنامه‌ریزی بیان ژن است. در مرحله بعد کروموزوم‌ها به‌صورت بیان درختی نمایش داده می‌شوند که این مساله براساس تابع برازش ارزیابی می‌شود. درصورت دستیابی به کیفیت رضایت‌بخش از جواب‌ها و یا رسیدن نسل‌ها به تعداد معینی تکامل متوقف شده و بهترین جواب در نظر گرفته می‌شود. اگر شرایط توقف حاصل نشد، از نخبه‌گزینی استفاده می‌شود. در برنامه‌ریزی بیان ژن از روش چرخ رولت در گزینش افراد استفاده می‌شود (روشنگر و همکاران ۱۳۹۳). هدف عملگر جهش بهسازی تصادفی در داخل برخی از کروموزوم‌ها است (خادم پور و همکاران ۱۳۹۷).

آماره‌های ارزیابی

جهت مقایسه عملکرد روش‌های زمین آمار و برنامه‌ریزی بیان ژن از برخی آماره‌های ارزیابی استفاده شدکه روابط در معادلات ۳-۵ آورده شده است.

$$AMAPE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{|O_i - S_i|}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}O_i} \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(O_i - S_i)^2} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|O_{i-}S_i| \quad (۵)$$

S : داده‌های تخمینی، O: داده‌های اندازه‌گیری شده، N: تعداد داده‌ها جهت ارزیابی مدل (Chen et al.,2021).

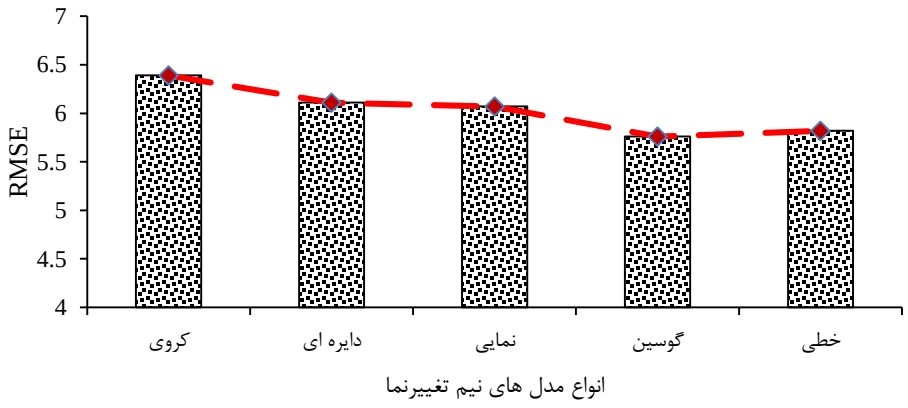
نتایج

در این تحقیق یکی از روش‌های تکاملی (برنامه‌ریزی بیان ژن) و زمین آمار (کریجینگ) در برآورد توزیع مکانی اجزاء بافت خاک مورد استفاده قرار گرفتند. تعداد نقاط برداشته شده براساس ۸۰ به ۲۰ به دو قسمت واسنجی و صحت‌سنجی تقسیم شدند، به طوری که تعداد ۳۴ نقطه برای واسنجی و ۹ نقطه برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت. یکی از اجزای مدلسازی تعیین دقیق پارامترهای مدل است که در این تحقیق پارامترهای مربوط به برنامه‌ریزی بیان ژن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای مدل برنامه ریزی بیان ژن

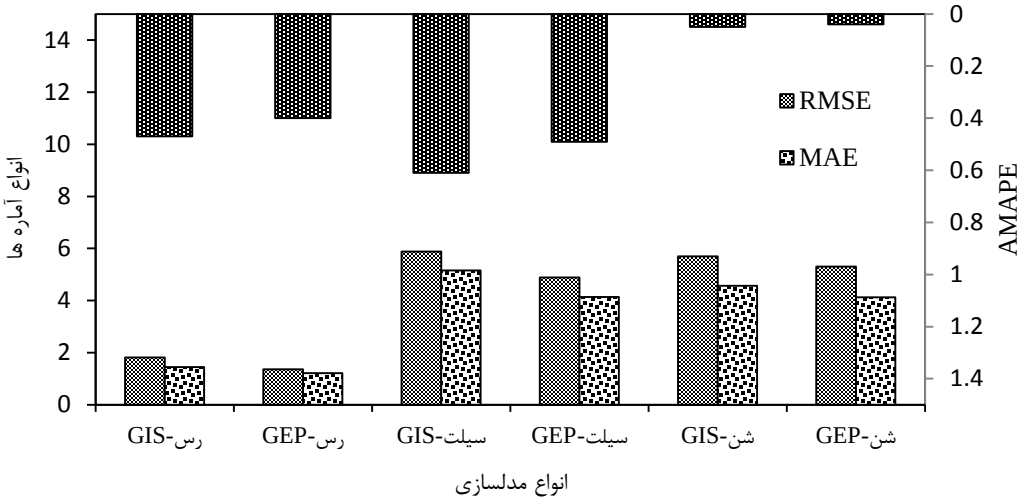
اجزاء بافت خاک	تعداد نسل	تعداد کروموزوم	اندازه سر	تعداد ژن
رس	۱۰۰۰	۲۰	۷	۳
سیلت	۵۰۰	۶۰	۷	۳
شن	۱۰۰۰	۱۵	۷	۳

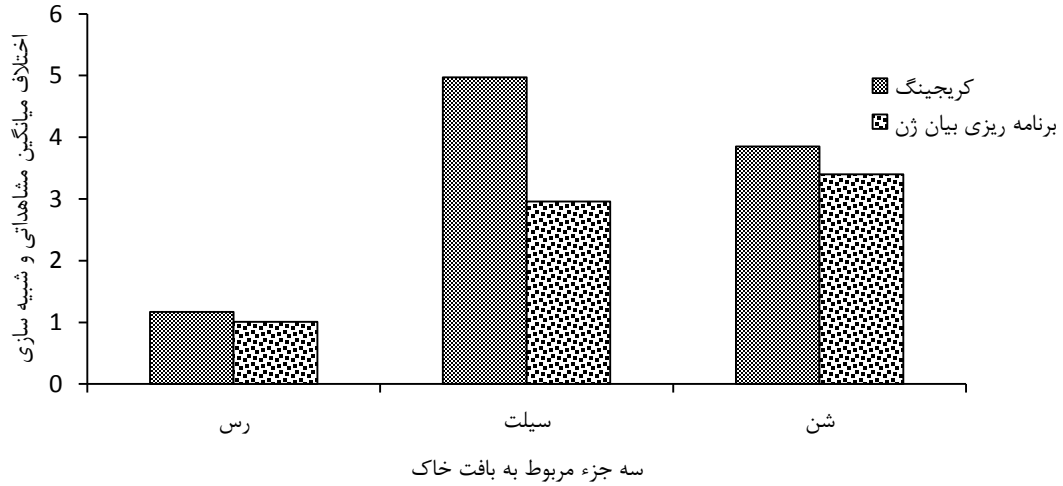
تعیین دقیق پارامترهای مدل اهمیت چشمگیری در افزایش کارایی مدل دارد، به طوری که در برآورد درصد سیلت در برنامه-ریزی بیان ژن درصد کاهش RMSE با تعداد کروموزوم برابر با ۳۰، اندازه سر برابر با ۷، تعداد ژن برابر با ۳ و تعداد نسل برابر با ۱۰۰۰ به تعداد کروموزم برابر با ۶۰ برابر با ۶/۸۶ درصد و درصد کاهش RMSE با تعداد کرموزوم برابر با ۳۰، اندازه سر برابر با ۷، تعداد ژن برابر با ۳ و تعداد نسل برابر با ۱۰۰۰ به تعداد کروموزم برابر با ۶۰، اندازه سر برابر با ۷، تعداد ژن برابر با ۳ و تعداد نسل برابر با ۵۰۰، ۲۱/۸۸ درصد است. در مورد استفاده از زمین آمار نیز تعیین مدل‌های نیم تغییر نما براساس کمینه مقدار خطا بود که نتایج مربوط به تعیین مدل‌ها در مورد شن در شکل ۲ آورده شده است.



شکل ۲- بررسی تاثیر انواع مدل‌های نیم تغییر نما در درون‌یابی کریجینگ

براساس شکل ۲ کمینه خطا مربوط به مدل گوسین است. در برآورد توزیع مکانی شن درصد کاهش RMSE از مدل‌های کروی، دایره‌ای، نمایی، خطی به گوسین به ترتیب برابر با ۹/۸۵، ۵/۷۲، ۵/۱، ۱/۰۳ می‌باشد. مدل‌های خطی و گوسین دارای خطای کمتری نسبت به سایر مدل‌ها هستند. در مورد سیلت به‌ترتیب مدل‌های گوسین و دایره‌ای دارای کمترین مقدار خطا هستند. بعد از تعیین ساختار حاکم بر مدل‌های مورد استفاده، عملکرد دو نوع مدلسازی با استفاده از برخی آماره‌ها و اختلاف بین میانگین ها ارزیابی شد که نتایج در شکل ۳ آورده شده است.





شکل ۳- مقایسه عملکرد برنامه‌ریزی بیان ژن و کریجینگ در برآورد توزیع مکانی بافت خاک

براساس شکل ۳، تمامی معیارهای خطا در برنامه‌ریزی بیان ژن نسبت به کریجینگ از حالت بهتری برخوردار هستند، به طوری‌که میزان کاهش RMSE در شن از کریجینگ به برنامه‌ریزی بیان ژن در رس، سیلت، شن به ترتیب برابر با ۲۵/۲۷، ۱۶/۸۳، ۶/۸۴ و میزان کاهش AMAPE در رس، سیلت و شن به ترتیب برابر با ۱۴/۸۹، ۱۹،۲۰/۶۷ و میزان کاهش MAE در رس، سیلت و شن به ترتیب برابر با ۱۶/۵۵، ۹/۸۴،۱۹/۷۶ بود. در تحقیق عبادی و همکاران (۱۳۹۸) و Khanbabakhani *et al.(2020)* نیز روش‌های هوش مصنوعی نسبت به زمین آمار بهتر جواب دادند. در حالت مقایسه عملکرد برنامه‌ریزی بیان ژن

و کریجینگ با استفاده از قدرمطلق اختلاف بین میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی در نه نقطه انتخابی، کمینه میزان اختلاف مربوط به برآورد برنامه‌ریزی بیان ژن بود. در بررسی دیگر میانگین قدر مطلق اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی در مورد هر سه درصد محاسبه شد کمترین مقدار مربوط به برنامه‌ریزی بیان ژن بود، به طوری که میزان کاهش میانگین قدر مطلق اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی از کریجینگ به برنامه‌ریزی بیان ژن در رس، سیلت و شن به ترتیب برابر با ۱۶/۵۵، ۱۹/۷۶، ۹/۸۴ درصد بود. بیشترین مقدار قدرمطلق اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در رس در کریجینگ مربوط به نقطه‌ای در عجب‌شیر (۳/۸۳) و در برنامه‌ریزی بیان ژن مربوط به نقطه‌ای در مراغه (۲/۰۳) و در سیلت در کریجینگ مربوط به نقطه‌ای در عجب‌شیر (۱۰/۵۵) و در برنامه‌ریزی بیان ژن مربوط به نقطه‌ای در بناب (۹/۲) و در شن در برنامه‌ریزی بیان ژن (۱۱/۳۷) و کریجینگ (۱۱/۷) مربوط به نقطه‌ای در بناب بوده است. در این حالت هم برنامه‌ریزی بیان ژن نسبت به درون‌یابی کریجینگ از خطای کمتری برخوردار است. براساس نتایج بدست آمده که بیانگر عملکرد قابل قبول برنامه ریزی بیان ژن است، کمینه مقدار قدرمطلق اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه-سازی شده در نه نقطه مورد ارزیابی قرار گرفت که کمینه خطا در رس، سیلت و شن در نقاط مختلف در مراغه بوده است. اگر ضریب همبستگی خط برازشی دیاگرام پراکنشی داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی محاسبه شود، بیشترین ضریب مربوط به شن و سپس سیلت بوده است.

نتیجه‌گیری کلی

جهت مقابله با چالش‌های جهانی و منطقه‌ای در ارتباط با تخریب سرزمین، امنیت غذایی، کمبود آب و تغییرات آب و هوایی اطلاعات دقیق از خصوصیات مکانی خاک مانند بافت خاک دارای اهمیت چشمگیری است. در این تحقیق به مقایسه عملکرد کریجینگ و برنامه‌ریزی بیان ژن در برآورد مکانی بافت خاک پرداخته شد. براساس آماره‌های ارزیابی عملکرد برنامه‌ریزی بیان ژن نسبت به کریجینگ برتری داشت. همچنین کمترین مقدار میانگین قدر مطلق اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه-سازی مربوط به برنامه‌ریزی بیان ژن بود. کمینه مقدار قدر مطلق اختلاف بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در نه نقطه انتخابی در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه در سه جزء بافت خاک در مراغه بود. بیشترین ضریب همبستگی خط برازشی بر دیاگرام پراکنش مربوط به شن است.

فهرست منابع

اسدزاده، ف، خسروی اقدم، ک. یغمائیان مهابادی، ن. رمضان پور، ح. (۱۳۹۷). تغییرات مکانی ذرات معدنی با استفاده از زمین آمار و سنجش از دور جهت پهنه بندی بافت خاک. نشریه آب و خاک (علوم وصنایع کشاورزی) ۳۲(۶).۱۲۲۲-۱۲۰۷.

افضلی، ع، وروانی، ج. جعفری نیا، ر. (۱۳۹۷).کاربرد زمین آمار در پیش بینی تغییرات مکانی بافت خاک. فصلنامه جغرافیایی سرزمین ۱۵(۵۸). ۱-۱۶.

بهنام، و، غلامعلی زاده آهنگر، ا. رحمانیان، م. بامری، ا. (۱۳۹۸). بررسی توزیع مکانی برخی از ویژگی های فیزیکی وشیمیایی خاک با استفاده از روش های زمین آمار (مطالعه موردی: مسیر زابل به زاهدان). مجله محیط زیست و مهندسی منابع آب ۵(۳):۲۶۳-۲۵۱.

خادم پور، ف، خاشعی سیوکی، ع. امیرابادی زاده، م. (۱۳۹۷). بررسی عملکرد روش برنامه ریزی بیان ژن در پیش بینی تابش خورشیدی روزانه در گستره ایران. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی. ۹ (۳۶). ۴۳-۵۶.

روشنگر، ک، اعلمی، م.ت. میرحیدریان، ش. (۱۳۹۳). بررسی عملکرد و کارائی روش برنامه ریزی بیان ژن در برآورد عمق آبشستگی پایه های پل د بسترهای با خاک چسبنده و غیر چسبنده. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست ۴۴ (۲). ۲۱-۳۶.

زمانی احمد محمودی، ر، آخوند علی، ع.م. زارعی، ح. (۱۳۹۶).کاربرد روش ترکیبی زمین آمار و شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک در تخمین سطح ایستابی (مطالعه موردی: دشت های دزفول و زیدون). علوم و مهندسی آبیاری۴۰(۲).۳۷-۲۷.

عبادی، ی، جاودان، ج. رضائی مقدم، م.ح. (۱۳۹۸). ارزیابی دقت روش شبکه های عصبی مصنوعی و زمین آمار در میان یابی سطح تراز آب های زیرزمینی مطالعه موری: دشت شبستر-صوفیان. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی ۲۸ (۱۱۰). ۱۳۳-۱۴۵.

غلامی، ع، ولی پور چهارده چریک، پ. نورزاده حداد، م. (۱۳۹۹). بررسی کارایی روش های زمین آماری در پهنه بندی برخی ویژگی های شیمیایی خاک (مطالعه موردی: اراضی شرق کارون). فصلنامه علمی فضای جغرافیایی ۲۰(۶۹).۱-۱۵.

Bhunia, G.S. Shit, P.K. Chattopadhyay, R. (2018). Assessment of spatial variability of soil properties using geostatistical approach of lateritic soil (West Bengal, India). *Annals Of Agrarian Science*, 16(4), 436-443.

Chen., W. Xu, H. Chen, Z. Jiang, M. (2021). A novel method for time series prediction based on error decomposition and nonlinear combination of forecasters. *Neurocomputing*.22,426:85-103.

Emamgholizadeh, S. Shahsavani, S. Eslami, M.A. (2017). Comparison of artificial neural networks, geographically weighted regression and Cokriging methods for predicting the spatial distribution of soil macronutrients (N, P, and K). *Chinese Geographical Science*, *27*(5), .747-759.

Khanbabakhani, E. Torkashvand, A.M. Mahmoodi, M.A.(2020). The possibility of preparing soil texture class map by artificial neural networks, inverse distance weighting, and geostatistical methods in Gavoshan dam basin, Kurdistan Province, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(5),1-14.

Mehrabi-Gohari, E., Matinfar, H.R., Jafari, A., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Triantafilis, J.(2019). The Spatial Prediction of Soil Texture Fractions in Arid Regions of Iran. *Soil Syst*, 3(65),1-18.

Mondejar, J.P. Tongco, A.F. (2019). Estimating topsoil texture fractions by digital soil mapping-a response to the long outdated soil map in the Philippines. *Sustainable Environment Research*, *29*(1), 1-20.

Comparison the efficiency of evolutionary algorithm and kriging for soil texture estimation

[1]Laleh Parviz, [2]Reza Ahadi, [3]Fatemeh Seyed Milani
[1]Associate Professor, [2,3]BSc student, Faculty of Agriculture, Azarbaijan Shahid Madani University
(laleh_parviz@yahoo.com)

Abstract
Soil texture is as one of the most important soil properties has an essential role in agricultural and management operation. In this study, the performance of the evolutionary algorithm (gene expression programming) and geostatistics (kriging) was compred for soil texture estimation in some areas of Azerbaijan province. Accurate determination of gene expression programming parameters such as chromosome number and head size and number of genes and different models of semivariogram such as linear were also examined. The reduction of AMAPE from kriging to the gene expression programming in caly, silt and sand was 14.89%, 19.67% and 20% respectively, and the MAE reduction was 16.55%, 19.76%, 9.89% respectively, which indicates the superiority of the gene expression programming relative to kriging regard to soil texture estimation. Calculation the absolute value of the difference between the mean of the observed and the simulated values at nine points indicates the better performance of gene expression programming. The highest coefficient related to the fitting line on the scatter plot is related to sand.

Keywords:Soil texture, Kriging, Gene expression programming, Estimation

اثر ضایعات چای بر ویژگی‌های مهم فیزیکی یک خاک لوم رسی

مهدی شرفا[1*]،آزاده آبداری[2]و بابک متشرع زاده[3]

۱*- استاد گروه علوم و مهندسی خاک-دانشگاه تهران -mshorafa@ut.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد-دانشگاه تهران- azadeh.abdari@gmail.com

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک- دانشگاه تهران- moteshare@ut.ac.ir

چکیده

در فرایند تولید چای، بخشی از فرایند به‌صورت ضایعات چای حاصل می‌گردد که حاوی مقدار ماده آلی زیادی بوده ولی کاربرد چندانی ندارد. این پژوهش باهدف بررسی اثرات نسبت‌های مختلف ضایعات چای بر برخی ویژگی‌های مهم فیزیکی، قبل و بعد از انکوباسیون بر روی یک خاک لوم رسی مورد ارزیابی و تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. برای این منظور، ستون‌هایی از خاک با قطر۱۲ و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر تهیه گردید و هرکدام با سه کیلوگرم خاک پرشده و ضایعات چای به نسبت ۲،۱و۴ در صد وزنی به آن اضافه شد، سپس بعد از اعمال تیمارها، انکوباسیون به مدت ۶ ماه در شرایط کنترل‌شده: دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت حد ظرفیت مزرعه(۱۶/۵ درصد حجمی) انجام پذیرفت. نتایج حاصله نشان داد مصرف سطوح بالاتر ضایعات چای سبب کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک و افزایش ضریب آبگذری اشباع، پایداری خاکدانه با(۱۵/۵۰) درصد، تخلخل کل با(۴۵/۱۶ درصد) و درصد منافذ ریز، متوسط و درشت می‌گردد، به‌خصوص این تأثیرات در تیمار ۴ درصد وزنی ضایعات چای بیشتر است.

کلمات کلیدی: انکوباسیون، ضایعات چای، ویژگی‌های فیزیکی

مقدمه

به‌طورکلی از۱۳میلیارد هکتار اراضی که در جهان وجود دارد،۲۱ درصد آن به دلیل شرایط نامناسب مثل: عدم حاصلخیزی، عمق کم خاک، شیب زیاد و شرایط اقلیمی و... حاصلخیز نیستند(Funk and Brown,2009). از دیگر سو، مواد آلی با اثرات مثبتی که بر خصوصیات مختلف خاک‌دارند به‌عنوان مهم‌ترین عامل بهبود کیفیت خاک شناخته می‌شوند. افزایش مواد آلی در خاک می‌تواند ساختار خاک را در کوتاه‌مدت بهبود داده و ضمن افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، باعث بهبود ساختمان خاک شده و عملکرد و کیفیت محصول را افزایش دهد(سالاریان،۱۳۹۰). درواقع ماده آلی سبب افزایش جمعیت میکروارگانیسم‌ها در خاک، افزایش عناصر موردنیاز گیاه و افزایش پایداری خاکدانه‌ها، کاهش فرسایش[1] خاک، افزایش تخلخل و قابلیت نگه‌داری آب در خاک، نفوذ بهتر ریشه در خاک،کاهش تراکم و سله بستن خاک می‌شود(پاداش و جوزی،۱۳۸۶).ضایعات کشاورزی در مراحل مختلف تولید به وجود می‌آید و برای کشاورز و تولیدکننده هزینه‌ی اضافی به همراه دارد. با توجه به حجم بالای ضایعات کشاورزی، این ضایعات برای کشاورزان و تولیدکنندگان بی‌ارزش بوده و به آن به‌عنوان پایین آمدن عملکرد محصول و کاهش صرفه‌ی اقتصادی محصول نگاه می‌کنند،در حقیقت به وجود آمدن ضایعات کشاورزی برای کشاورز هیچ‌وقت پایان نمی‌یابد و همیشه ادامه دارد، درنتیجه می‌توان بامطالعه بیشتر در جهت کاهش این ضایعات برنامه‌ریزی کرد(ایمانی،۱۳۸۶). درواقع استفاده مجدد یا بازیافت ضایعات دورریز محصولات کشاورزی سبب کاهش هزینه‌ها و آلودگی محیط‌زیست می‌شود(صابری وهمکاران،۱۳۹۱). با استفاده از روش‌های گوناگون می‌توان از ضایعاتی که از گیاهان برجای می‌ماند استفاده کرد، که البته استفاده از این ضایعات به‌صورت خام و یا کمپوست[2] به برخی از ویژگی‌های خاک بستگی دارد.

[1] Erosion

[2] Compost

بااین‌حال، ماده‌ی آلی تأثیر مثبت فراوانی بر خواص زیستی، فیزیکی و شیمیایی خاک دارد(Glab et al., 2018). از سوی دیگر اقدامات زیادی در جهت کاهش ضایعات کشاورزی[۳] باید انجام شود و از این مواد دورریز بهترین استفاده ممکن را کرد. درواقع جلوگیری از دور ریخت ضایعات کشاورزی و تولیدی و اقدام برای بازیافت و استفاده مجدد آن چه در حیطه‌ی کشاورزی و چه دامداری علاوه بر جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست برای کشاورز و تولیدکننده نیز صرفه‌ی اقتصادی به همراه دارد. بر اساس آمارها صنایع بازیافتی در کشور ایران قادر به استفاده‌ی صددرصدی تمام محصول به‌دست‌آمده نیستند و مقدار بسیار زیادی از محصولات کشاورزی در مراحل مختلف چرخه‌ی تولید به‌صورت ضایعات از بین می‌رود. ضایعات کشاورزی در کشورهای مختلف به‌عنوان یک منبع برای تأمین ماده آلی خاک شناخته‌شده و همواره مورداستفاده قرار می‌گیرند و با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک سبب افزایش کیفیت و پایداری خاک می‌شوند. بنابراین هدف از این مطالعه افزودن ضایعات چای به خاک به‌عنوان یک منبع افزودنی مواد آلی به خاک است که علاوه بر این‌که همگام با محیط‌زیست است، به افزایش پایداری خاک کمک کرده و سبب جلوگیری از هدر رفت محصولات کشاورزی شده و درعین‌حال صرفه‌ی اقتصادی برای کشاورز نیز به دنبال دارد. درواقع چای به‌عنوان یک کالای استراتژیک همواره مورداستفاده‌ی عموم مردم کشور قرار می‌گیرد به‌طوری‌که هرساله میزان مصرف‌کنندگان چای و درنهایت تولیدات چای افزایش می‌یابد از طرفی چای در طی مراحل مختلف تولیدی و فرآوری دارای حجم بالای ضایعات می‌باشد، طبق آمار FAO در سال ۲۰۱۷ با توجه به افزایش تولیدات چای در ایران، میزان ضایعات چای تولیدشده در ایران حدود ۱۳ هزار تن می‌باشد که این میزان با توجه به تحقیقات پاداشت دهکایی که میزان ضایعات چای در کشور را ۶-۵ هزار تن در سال بیان می‌کنند، افزایش‌یافته است(پاداشت دهکایی و غلامی،۱۳۸۸). همچنین طبق بررسی‌های انجام‌شده، علاوه بر این‌که ضایعات چای به‌واسطه درصد بالای رطوبت (۶۰ درصد)، تخلخل بالا (۵۶ درصد)، ظرفیت بالای نگهداری آب (۱۶۰ درصد)، و نیز اسیدیته حدود ۶ می‌تواند برای اصلاح خصوصیات خاک مورداستفاده قرار گیرد، می‌توان از این ضایعات در جهت کمپوست کردن یا بستر کشت نیز استفاده نمود(صابری وهمکاران، ۱۳۹۱).

مواد و روش‌ها

انتخاب خاک

با توجه به هدف آزمایش یعنی بررسی اثر ضایعات چای بر ویژگی‌های فیزیکی خاک، از خاکی با بافت لوم رسی از عمق ۰-۲۵ سانتی‌متری مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج با مختصات("5 , 15 ' 48 º 35 :N) و("0 58' º 50 :E) به روش مرکب نمونه‌برداری انجام شد.خاک موردنظر پس از یکنواخت سازی و هوا خشک شدن به دو بخش تقسیم شد. بخشی از آن، جهت تعیین برخی ویژگی‌های فیزیکی از الک ۲ میلی‌متری و بخش دیگر به‌منظور ایجاد ستون‌های خاک از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد.

طراحی آزمایش و انکوباسیون

تیمارهای مورد استفاده دارای نسبت‌های صفر، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی ضایعات چای با سه تکرار بودند که با وزن‌های صفر، ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ گرم ضایعات چای با ۳ کیلوگرم خاک مخلوط گردیدند و در ستون‌هایی به قطر ۱۲ و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر رسیدند. سپس ستون‌ها از انتها اشباع‌شده و زمانی که رطوبت آن‌ها به حد ظرفیت مزرعه رسید، ستون‌ها به اتاق انکوباسیون به مدت ۶ ماه با دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد منتقل شدند و در مدت‌زمان انکوباسیون با آبیاری به روش وزنی، رطوبت در حد ظرفیت مزرعه نگهداری شد. برای انجام این تحقیق همان‌طور که ذکر گردید، چهار سطح ضایعات چای در سه تکرار جمعاً ۱۲ تیمار و تکرار داشتیم. دو سری ۱۲ تایی به همین صورت آماده گردید. سری اول ستون‌ها قبل از دوره‌ی انکوباسیون و سری دوم ستون‌ها بعد از دوره‌ی انکوباسیون تحت آزمایشات فیزیکی قرار گرفتند.

اندازه‌گیری صفات در ستون‌های خاک

برای تعیین ویژگی‌های خاک موردمطالعه، آزمایشات اولیه شامل اندازه‌گیری بافت خاک به روش هیدرومتر(Klute et al.,1986). جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر(Blake and Hartge,1986). جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر (Carter et al.,2007).قابلیت هدایت الکتریکی

[۳]Agricultural Waste

خاک با دستگاه سنجش قابلیت هدایت الکتریکی Page et al., 1982). بر روی خاک موردنظر انجام شد. در این پژوهش طبق مقاله‌ی(Pramanik et al.,2019) از ضایعات خام چای (سیاه) که شامل ساقه، چوب و برگ چای لاهیجان می‌باشد، استفاده شد، و به جهت مخلوط شدن با خاک از الک ۴ میلی‌متری عبور داده شد تا مخلوط یکنواختی به وجود آید. ضایعات چای به نسبت ۰- ۱-۲ و۴ درصد وزنی طبق مقاله‌ی(Glab et al., 2018) به ستون‌های خاک اضافه شد.برای آماده‌سازی ستون‌های خاک، ستون‌هایی از جنس پلاستیک با قطر۱۲ و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری تهیه شد، انتهای ستون‌ها با پارچه و تور سیمی محکم بسته شد و به‌منظور جلوگیری از خروج خاک و زهکشی مناسب، حدود ۲ سانتی‌متر شن بادی در انتهای ستون‌ها ریخته شد. نمونه خاک‌های موردنظر پس از مخلوط شدن کامل با ضایعات خام چای در ستون‌های خاک ریخته شد و به‌منظور نزدیک شدن جرم مخصوص ظاهری خاک ستون‌ها به جرم مخصوص ظاهری خاک مزرعه که مقدار آن ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود، با زدن چند ضربه به ستون، چگالی ظاهری خاک موجود در ستون‌ها به چگالی خاک مزرعه رسید.

آنالیز آماری

نتایج حاصل از این پژوهش با استفاده از طرح پایه کاملاً تصادفی ساده در قالب فاکتوریل و با استفاده از نرم‌افزار SPSS و SAS تجزیه‌وتحلیل شد، همچنین مقایسات میانگین تیمارها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه خاک موردمطالعه قبل از افزودن ضایعات چای در جدول(۱) ارائه‌شده است. بر این اساس خاک انتخابی دارای بافت لوم رسی، اسیدیته قلیایی، بدون مشکل شوری و با کربنات کلسیم معادل کم بود. مقدار ماده آلی در خاک‌های ایران به‌جز شمال، بسیار ناچیز و کمتر از یک درصد است(اصغرزاده وهمکاران، ۱۳۸۳). به همین خاطر مقدار ماده‌ی آلی خاک منطقه‌ی انتخاب‌شده کمتر از یک درصد می‌باشد.از طرفی چون ماده‌ی آلی انتخاب‌شده ضایعات خام چای می‌باشد که حالت اسیدی دارد، خاک انتخاب‌شده دارای اسیدیته قلیایی(۸/۱۱) می‌باشد تا اثرگذاری نوع ماده‌ی آلی انتخاب‌شده مشخص گردد.

جدول ۱: نتایج تجزیه‌ی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

ویژگی	واحد	مقدار
رس	%	۳۸
سیلت	%	۳۰
شن	%	۳۲
بافت	...	لوم رسی
pH	...	۸/۱۱
ECe	dS/m	۱/۲۷
جرم مخصوص ظاهری	g/cm^3	۱/۴
جرم مخصوص حقیقی	g/cm^3	۲/۵۷
پتاسیم قابل‌جذب	mg/kg	۱۱۲/۰۵
نیتروژن کل	%	۰/۱۲۴
سدیم محلول	meq/l	۲/۱
پتاسیم محلول	meq/l	۰/۳۶
فسفر قابل‌جذب	mg/kg	۱۷/۴۵
کربنات کلسیم معادل	%	۶/۵
ماده‌ی آلی	%	۰/۸۵

نتایج تجزیه ضایعات چای

ویژگی‌های شیمیایی یک گرم ضایعات چای در عصاره ۱ به ۵ در جدول(۲) نشان داده‌شده است.

جدول ۲: ویژگی‌های شیمیایی موجود در یک گرم ضایعات چای

ویژگی	واحد	مقدار
pH	...	۵/۷۵
ECe	dS/m	۱/۸۲
پتاسیم	%	۰/۷۹
نیتروژن	%	۱/۹۳
فسفر	%	۰/۱۷۱
آهن	mg/kg	۲۱۱/۷۱
روی	mg/kg	۲۶/۵۰

ویژگی‌های فیزیکی خاک قبل و بعد از دوره‌ی انکوباسیون

جدول(۳) نشان‌دهنده‌ی تجزیه واریانس اثر درصدهای مختلف ضایعات چای بر جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، ضریب آبگذری اشباع و درصد پایداری

خاکدانه قبل از انکوباسیون و جدول(۴) بعد از انکوباسیون می‌باشد.

جدول ۳: تجزیه واریانس تأثیر درصدهای ضایعات چای بر خصوصیات فیزیکی خاک قبل از انکوباسیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		جرم مخصوص ظاهری(g/cm³)	جرم مخصوص حقیقی(g/cm³)	ضریب آبگذری اشباع (cm/h)	پایداری خاکدانه٪
ضایعات چای	۳	۰/۰۰۴۴۵۳ ns	/۰۰۲۵۲۲ ۰ns	۴/۷۸۱۶ ۰ns	۳/۶۸۲۹۱۹ ۶**
خطا	۸	۱/۳۷۳۶۰۸	/۲۰۹۲۴۶ ۲	۱۸۱/۶۸	۹/۱۷۱۰۳۶
ضریب تغییرات ٪		۴/۱۹۹۳۰۹	/۳۱۲۱۷۷ ۱	۷۴۴۰۷۹ ۱/	۱/۴۴۱۸۵۰ ۸

* و ** معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ و ۱ درصد و ns اختلاف آماری غیر معنی‌دار

جدول ۴: تجزیه واریانس تأثیر درصدهای ضایعات چای بر خصوصیات فیزیکی خاک بعد از انکوباسیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		جرم مخصوص ظاهری(g/cm³)	جرم مخصوص حقیقی(g/cm³)	ضریب آبگذری اشباع (cm/h)	پایداری خاکدانه٪
ضایعات چای	۳	۰۳۰۴۷۵ ۰/**	۰۰۵۳۶۷ ۰/ns	۰۰۳۴۹ ۰/۹**	۵۱۵۵۸ ۱۰/۶*
خطا	۸	۷۸۶۷۱۳ ۱۲/	۷۰۵۸۸۲ ۲/	۴۷۷۹۱ ۵۲/۷	۳۷۰۳۲ ۴/۶
ضریب تغییرات ٪		۶۳۱۹۴۵ ۳/	۷۳۸۵۰۲ ۱/	۳۱۴۰۲ ۱۸/۰	۴۳۱۷۵ ۱۲/۰

* و ** معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ و ۱ درصد و ns اختلاف آماری غیر معنی‌دار

تجزیه‌ی واریانس قبل از انکوباسیون نشان می‌دهد که جرم مخصوص ظاهری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نیست درحالی‌که تجزیه‌ی واریانس بعد از انکوباسیون نشان می‌دهد که جرم مخصوص ظاهری در سطح یک درصد معنی‌دار است، در حقیقت تیمار ۴ درصد ضایعات خام چای باعث بیشترین اثرگذاری بین تیمارهای موجود بر جرم مخصوص ظاهری بعد از انکوباسیون می‌شود و نسبت به تیمارهای دیگر بیشتر باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری بیشتری شده است. در این پژوهش، جرم مخصوص حقیقی قبل از دوره‌ی انکوباسیون ازلحاظ آماری در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار نشد. در پژوهش مشابه(گلستانی وهمکاران،۱۳۹۹) نیز پایین بودن جرم مخصوص ظاهری در بستر ضایعات چای و پرلیت نسبت به دیگر بسترهای موردمطالعه نشان داده‌شده است. همچنین نتایج اندازه‌گیری(احمدی دهج وهمکاران،۱۳۹۱) که در مورد خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بسترها بر روی گیاه گوجه‌فرنگی رقم گاوریش انجام شد، نشان داد، بستر ضایعات چای کمترین جرم مخصوص ظاهری و جرم مخصوص حقیقی را داشته است. نتایج ضریب آبگذری سری اول آزمایشات قبل از انکوباسیون نشان داد، اضافه کردن درصدهای مختلف ضایعات چای در ابتدای آزمایشات اثر معنی‌داری بر روی ضریب آبگذری اشباع خاک نداشته و ضریب آبگذری تمامی تیمارها بسیار کم بود که صفر فرض شد. از طرفی نتایج جدول(۴)تجزیه‌ی واریانس بعد از انکوباسیون نشان می‌دهد که ضریب آبگذری خاک بعد از دوره‌ی ۶ ماهه‌ی انکوباسیون ازلحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و افزودن ضایعات چای در آزمایشات بعد از انکوباسیون بر ضریب آبگذری اشباع مؤثر بوده و با اضافه شدن درصدهای مختلف ضایعات چای ضریب آبگذری افزایش‌یافته است و بیشترین اختلاف بین تیمار شاهد و تیمار ۴ درصد مشاهده شد. نتایج جدول(۳) تجزیه‌ی واریانس قبل از انکوباسیون نشان می‌دهد که پایداری خاکدانه‌ها قبل از انکوباسیون در سطح یک درصد معنی‌دار بوده و ضایعات چای به‌عنوان ماده‌ی آلی در همان ابتدای آزمایشات اثرگذاری نسبتاً خوبی بر پایداری خاکدانه‌ها داشته است. این در حالی است که پایداری خاکدانه‌ها بعد از دوره‌ی انکوباسیون نیز ازلحاظ آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد و ضایعات چای هم در آزمایشات قبل و هم بعد از انکوباسیون بر پایداری خاکدانه‌ها مؤثر بوده و با اضافه شدن درصدهای ضایعات چای پایداری خاکدانه نیز افزایش‌یافته است که البته این افزایش پایداری خاکدانه‌ها بعد از دوره‌ی انکوباسیون بیشتر بوده است. منحنی رطوبتی تیمارهای مختلف ترسیم گردید و با بهره‌گیری از منحنی رطوبتی و رابطه $h=0.3/d$ که در آن h مکش وd قطر منافذ برحسب سانتی‌متر است قطر

منافذ متناظر با هر مکش بدست آمد.سپس با توجه به نتایج(Kay(1998 منافذ برحسب قطر به سه دسته منافذ ریز(0.2 µm>، متوسط 0.2-30 µm و درشت(30 µm <) تقسیم شدند.همان‌طور که در جداول ۵ و ۶ ملاحظه می‌گردد،افزودن ضایعات چای سبب افزایش همه گروه‌های منافذ و همچنین منافذ کل قبل و بعد از انکوباسیون گردید.افزودن تیمار ۴ درصد ضایعات چای نسبت به بقیه تیمارها نتایج شاخص‌تری نشان داده است.

جدول ۵: تجزیه واریانس تأثیر درصدهای ضایعات چای بر خصوصیات فیزیکی خاک قبل از انکوباسیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تخلخل کل	درصد منافذ ریز	درصد منافذ متوسط	درصد منافذ درشت
ضایعات چای	۳	۳۲۰۷۱۹ ۲۹/**	۲۲۲۹۵۶ ۱/**	۱۰۰۵۴۴ ۲۹/**	۵۹۴۵۸۶ ۱۴/**
خطا	۸	۳۷۴۶۰۹ ۲۳/	۹۶۰۹۰۵ ۵۲/	۹۶۹۱۷۷ ۱۶۰/	۱۱۴۷۱۵ ۸/
ضریب تغییرات ٪		۶/۰۹	۵/۰۱	۱۸/۴۸	۱۰/۵۵

* و ** معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ و ۱ درصد و ns اختلاف آماری غیر معنی‌دار

جدول ۶: تجزیه واریانس تأثیر درصدهای ضایعات چای بر خصوصیات فیزیکی خاک بعد از انکوباسیون

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		تخلخل کل	درصد منافذ ریز	درصد منافذ متوسط	درصد منافذ درشت
ضایعات چای	۳	۷۵/۴۳۷۶۹۷ **	۱/۴۳۴۹**	۲۰۰۰۴۴ ۱۷/**	/۷۴۶۴۹۷ ۱۱**
خطا	۸	۹۷/۱۲۵۹۱۴	۲/۱۰۰۹۵۵ ۶	۸۷۴۱۴ ۲۲/۷	۳۵۸۵۵۵ ۱۲/
ضریب تغییرات ٪		۱۱/۶۰	۶/۰۲	۲۴/۱۵	۱۰/۲۵

*** و ** معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ و ۱ درصد و ns اختلاف آماری غیر معنی‌دار**

در پژوهش مشابه(حقیقت و ترکاشوند،۱۳۹۵) بر روی ضایعات چای مشخص شد، که با افزایش ضایعات چای در خاک مقدار رطوبت معادل FC و PWP افزایش می‌یابد که دلیل آن افزایش مقدار کربن آلی خاک و فرآیند تجزیه بقایای آلی و افزایش منافذ آن در خاک است. در بررسی‌های مشابه(ابراهیمی وهمکاران،۱۳۸۲) اظهار داشتند، مواد آلی سبب کاهش تبخیر و تعرق، افزایش ظرفیت نگهداری آب به‌ویژه در خاک‌های سبک بافت، کاهش شکاف و ترک در سطح خاک به‌ویژه در خاک‌های ریزبافت، بهبود و اصلاح خاکدانه سازی و جلوگیری از تراکم‌پذیری خاک‌ها شده است.طبق گزارشات (Yongjie and Yangsheng, 2005)نیز مواد آلی باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی،شیمیایی و زیستی خاک به‌ویژه ویژگی‌های فیزیکی مانند: افزایش تخلخل، پایداری خاکدانه‌ها و کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک می‌شوند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که استفاده از ضایعات چای، خصوصیات فیزیکی خاک را تحت تأثیر قرارداده است و به‌طورکلی ضایعات چای موجب بهبودی خصوصیات خاک نسبت به خاک شاهد شده است. با توجه به این نتایج، ضایعات چای در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک مؤثر بوده است و سبب افزایش ضریب آبگذری اشباع، پایداری خاکدانه‌ها، تخلخل کل خاک و باعث افزایش درصد منافذ ریز، متوسط و درشت در،درصدهای مختلف ضایعات چای بعد از انکوباسیون شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد، تیمار ۴ درصد ضایعات چای نسبت به خاک شاهد از مؤثرترین تیمارها برای بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک به‌حساب می‌آید. در حالت کلی می‌توان بیان کرد که استفاده از ضایعات چای به‌عنوان یک افزاینده ماده آلی به خاک سبب بهبود اکثر خصوصیات فیزیکی خاک موردمطالعه شده و با توجه به این امر، و افزایش میزان تولیدات چای و درنتیجه افزایش ضایعات آن در ایران و به سبب جلوگیری از دورریز شدن آن توسط کشاورزان می‌توان از این ضایعات به نحو احسن و به‌عنوان یک منبع کود آلی همگام با حفظ محیط‌زیست و به‌صرفه ازلحاظ اقتصادی و جلوگیری از هدر رفت محصولات کشاورزی در راستای رسیدن به بهبود عملکرد محصولات کشاورزی و رسیدن به کشاورزی پایدار استفاده کرد.

References

-ابراهیمی، س.، بهرامی، ح .ملکوتی، م .ج .۱۳۸۲ . نقش مواد آلی در اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آهکی کشور، نشریه فنی شماره ۳۰۲ ، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب.

-اصغرزاده، ا. ملکوتی، م ج. بهرامی، ح ع. ابراهیمی، س. بایبوردی، ا. ۱۳۸۳. ماده آلی و نقش آن در اصلاح خصوصیات خاک‌های کشور. خاک‌های ایران مجموعه مقالات. چاپ اول. انتشارات سنا.

-پاداش، ا، جوزی .س،ع.۱۳۸۶.استراتژی محلی در مدیریت مواد زائد و پسماندها، مطالعه موردی کشورهای انگلیس و آلمان .سومین همایش ملی روز پاک، مدیریت پسماند و جایگاه آن در برنامه‌ریزی شهری تهران .

-حقیقت،ن . ترکاشوند ،ع، م . پذیرا،ا. ۱۳۹۵. تاثیر جاذبهای طبیعی و مصنوعی رطوبت بر تأخیر در ضریب رطوبتی نقطه پژمردگی دائم، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال ششم، شماره ۲، زمستان ۱۳۹۵.

-سالاریان، م.۱۳۹۰. بررسی تأثیر افزودن تفاله روغن‌کشی شده کلزا بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و بازدهی محصول کاهو در گلخانه .پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

-صابری, س. مینایی،س. الماسی ،م. برقعی،ع. ۱۳۹۱. تأثیر کاربرد ضایعات چای به‌عنوان کمپوست بر برخی از خصوصیات فیزیکی خاک، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، تهران، وزارت کشور.

-گلستانی،م،ع. شور،م.تهرانی فر،ع. نعمتی،م،ح. ۱۳۹۹. تاثیر بسترهای کشت مختلف بر خصوصیات رشدی گیاه پلکترانتوس در دیوار سبز داخلی.فصلنامه علمی پژوهشی علوم محیطی،پاییز ۱۳۹۹،دوره ی ۱۸،شماره‌ی۳. ۶۵-۷۳.

- Blake, G.R. K.H. Hartge. 1986. Bulk density. In: Klute,A., Ed., Methods of Soil Analysis, Part 1- Physical and Mineralogical Methods, 2n Edition, Agronomy Monograph. 9. American Society of Agronomy- Soil Science Society of America, Madison, 363-382.

- Carter,M.,Gregorich,E.,ADL,S.,Acosta-Mercado, D., R. Anderson,T. & H. Lynn, D. 2007. Soil Sampling and Methods of Analyisis.

- Funk, C., Brown, M. 2009. Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. Food Sec, 1, 271-289.

- Glab, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopeć, M., Mierzwa–Hersztek, M., Tabor, S.(2018). Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. Geoderma, 315(1), 27-35.

- Kay, B. D. 1998. Soil structure and organic carbon: a review. Soil processes and the carbon cycle, 169-167.

- Klute, A., D. Kemper, W.& C. Rosenau, R. 1986. Aggregate Stability and Size Distribution Physical Methods: Madison Wiscosin, Soil Science of America, 317-328.

- Page , A. L. , R. H. Miller and D. R. Keeneyy. 1982. Methods of Soil Analysis , Part 2 , Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy. In Soil Science of America , 1159.

- Pramanik,P. Safique ,S. Jahan,A.(2019). Humic substrates extracted by recycling factory tea waste improved soil properties and tea productivity: an innovative approach. International Journal of Environmental Science and Technology, 374-391.

- Yongjie W. and Yangsheng L. 2005. Effect of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3- year fields study. Chemosphere, 59, 1257-1265.

تعیین رابطه پایداری خاکدانه و خواص زودیافت خاک با استفاده از روش تجزیه به مولفه های اصلی

زرتشت عزیزی[۱]، محمود شعبانپور[۲]، سپیده ابریشم کش[۳]

۱- زرتشت عزیزی، دپارتمان علوم خاک دانشگاه گیلان (zartosht.azizi.1375@gmail.com)

۳،۲- محمود شعبانپور و سپیده ابریشم کش، دپارتمان علوم خاک دانشگاه گیلان

چکیده

پایداری خاکدانه ها یکی از مهم ترین خصوصیات فیزیکی و ساختمانی خاک است که می‌تواند بر بسیاری از ویژگی‌های دیگر خاک اثرگذار باشد. این تحقیق با هدف مدل‌سازی رگرسیونی پایداری خاکدانه ها در ارتباط با ویژگی‌های زودیافت خاک در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انجام این تحقیق خصوصیات خاک شامل میانگین وزنی قطر خاکدانه، جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، درصد ماده آلی، درصد آهک، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک به روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه-گیری شدند. نتایج این تحقیق نشان داد که بین ماده آلی خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها همبستگی مثبت معنی‌داری وجود داشت. همچنین نتایج مدل‌سازی رگرسیونی بیانگر آن است که معادله خطی در مناطق مورد مطالعه ۸۴ درصد از تغییرات پایداری خاکدانه‌ها را به کمک متغیر مستقل ماده آلی خاک توجیه می‌نمایند. در مجموع نتایج حاصله امکان استفاده از ماده آلی خاک را در برآورد پایداری خاکدانه‌ها در استان گیلان تایید می‌نماید.

واژگان کلیدی: آنالیز مؤلفه اصلی، مدل‌سازی، معادلات رگرسیونی، ویژگی های‌خاک

مقدمه

پایداری خاکدانه‌ها یکی از مهم ترین خصوصیات فیزیکی خاک است که به عنوان شاخصی از میزان حساسیت خاک به متغیرهای هیدرولوژیکی معرفی شده است Liu *et al*.(2019). خاکدانه‌ها گروهی از ذرات اولیه رس، شن و سیلت هستند که اتصال آنها به یکدیگر توسط عوامل متصل کننده مانند مواد آلی و رس بیشتر از اتصال آنها به ذرات خاک اطراف این مجموعه می‌باشد Bronick and Lal (2005). شاخص‌های مختلفی به منظور تعیین کمی پایداری خاکدانه‌ها وجود دارد که از این جمله میتوان به میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[۱] اشاره کرد.

روش‌های موجود جهت تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها وقت‌گیر، دشوار و همراه با خطای انسانی است و علاوه بر این استانداردسازی این روش‌ها نیز مشکل است Besalatpour *et al*.(2013). با توجه به این مشکلات برای تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به ویژه در مقیاس‌های بزرگ و در سطح بررسی مناطق مختلف، ایجاد مدلی که بتواند از طریق اطلاعات زودیافت خاک، پایداری خاکدانه‌ها را برآورد کند، بسیار موثر بوده و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه خواهد بود. در این راستا خنیفر و همکاران (۱۳۹۹) گزارش دادند که مدل‌های رگرسیونی در حوضه‌ی آبخیز دهدز در شمال شرق استان خوزستان می‌توانند بالای ۷۰ درصد از تغییرات مکانی پایداری خاکدانه‌ها را به کمک داده‌های توپوگرافی و ویژگی‌های خاک توجیه نمایند. علاوه بر این در تحقیقات Ali Kalhoro *et al*.(2017) گزارش شد که ، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌تواند یک رابطه خطی و همبستگی مثبت معنی‌داری را با درصد کربن آلی خاک داشته باشد.

با وجود این مطالعات، تحقیقات بیشتری به منظور بررسی امکان استفاده از ویژگی‌های خاک برای برآورد وضعیت پایداری خاکدانه-ها در شرایط مختلف اقلیمی نیاز است. این تحقیق در این راستا و با هدف پیش‌بینی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها به عنوان شاخص مهمی از وضعیت پایداری خاکدانه‌ها از ویژگی‌های زودیافت خاک در ۸ منطقه در استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت.

[1] Mean weight diameter, MWD

مواد و روش‌ها

این آزمایش در محدوده خاک‌های هشت شهرستان در استان گیلان مورد آنالیز آماری قرار گرفت (شکل۱). شهرستان‌های مورد پژوهش، شامل پاشاکی، امین آباد، منجیل، سقالکسار، کدوسرا، شفت، انزلی و خمام بودند که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفتند. متوسط دما و بارندگی سالیانه در گیلان به ترتیب ۱۶/۳ درجه سلسیوس و ۱۳۵۹ میلی‌متر گزارش شده است(Meteorological organization of Iran (2009. تعداد ۳۰ نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) به صورت کاملا تصادفی از مناطق مورد مطالعه نمونه برداری شد. پس از آماده سازی اولیه نمونه‌ها، ویژگی‌های خاک شامل میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک، درصد ماده آلی، درصد آهک، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک توسط روش‌های استاندارد آزمایشگاهی اندازه‌گیری شدند(Carter and Gregorich (2006. پس از بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها به وسیله‌ی آزمون کولموگروف- اسمیرنوف و تست QQ-plots، از انواع مدل‌های رگرسیونی جهت انجام مدل‌سازی و انتخاب بهترین مدل از طریق اعتبارسنجی آنها با استفاده از دو شاخص جذر میانگین مربع خطا و ضریب تعیین استفاده شد. سپس با استفاده از تست تحلیل مؤلفه‌های اصلی همبستگی‌های میان ویژگی‌های خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. تمام تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار XLSTAT 9.0 انجام شد.

شکل ۱- مناطق مورد مطالعه در استان گیلان

نتایج و بحث

میانگین ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده در مناطق مورد مطالعه با ۱۰ تکرار برای هر ویژگی در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان داد که بین جرم مخصوص ظاهری و حقیقی، هدایت الکتریکی و اسیدیته در خاک‌های مناطق مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. با این حال دیگر ویژگی‌های خاک شامل ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه و درصد آهک این تفاوت را در بین خاک‌های مناطق مختلف نشان دادند. در جزئیات بیشتر، ماده آلی و میانگین وزنی قطر خاکدانه بیشترین مقدار را در در خاک منطقه سقالکسار و کمترین مقدار را در خاک منطقه کدوسرا نشان دادند. علاوه بر این خاک منطقه منجیل بیشترین درصد آهک را در بین مناطق مورد مطالعه نشان داد.

جدول۱- میانگین ویژگی‌های خاک مناطق مورد مطالعه

منطقه	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی متر مکعب)	ماده آلی (درصد)	میزان آهک (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلی‌متر)
پاشاکی	۱/۴^{a}	۲/۴^{a}	۰/۶^{c}	۱۱/۳^{a}	۰/۲۱^{a}	۷/۶^{a}	۱/۱۷^{b}
امین آباد	۱/۲^{a}	۲/۶^{a}	۱/۰۹^{c}	۱۲/۵^{a}	۰/۲۲^{a}	۸/۱^{a}	۰/۳۶^{c}
منجیل	۱/۳^{a}	۲/۶^{a}	۱/۰۹^{c}	۱۴/۵^{a}	۰/۲۶^{a}	۷/۷^{a}	۰/۳۵^{c}
سقالکسار	۱/۲^{a}	۲/۵^{a}	۲/۹۶^{a}	۱^{c}	۰/۲۴^{a}	۶/۱^{a}	۱/۶۴^{a}
کدوسرا	۱/۳^{a}	۲/۶^{a}	۰/۵۲^{c}	۱^{c}	۰/۲۲^{a}	۷/۶^{a}	۰/۳۲^{c}
شفت	۱/۳^{a}	۲/۶^{a}	۱/۷۸^{b}	۲^{c}	۰/۲۸^{a}	۵/۷^{a}	۱/۱۶^{b}
انزلی	۱/۲^{a}	۲/۴^{a}	۱/۹۳^{b}	۴/۷^{b}	۰/۱۶^{a}	۷/۹^{a}	۱/۴۱^{a}
خمام	۱/۲^{a}	۲/۴^{a}	۲/۵۶^{a}	۸/۵^{b}	۰/۱۴^{a}	۸/۱^{a}	۱/۵۴^{a}

حروف کوچک نشان‌دهنده سطحی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین خاک‌های مناطق مختلف است.

ضرایب همبستگی پیرسون نشان دادند که بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و ماده آلی خاک در مناطق مورد مطالعه همبستگی مثبت معنی‌دار وجود دارد ($P <$ ۰/۰۱) (جدول ۲). این نتیجه در تطابق با نتایج تحقیقات Canasveras *et al.*(2010) می‌باشد که گزارش دادند که پایداری خاکدانه‌ها با میزان مواد آلی خاک رابطه مستقیمی دارد و هر چه درصد مواد آلی خاک بالاتر باشد، پایداری ساختمان خاک بیش‌تر بوده و خاکدانه‌ها بهتر می‌توانند تنش ناشی از خیس شدن سریع و شکسته شدن ساختمانی را تحمل کنند. همچنین مواد آلی خاک موجب انسداد و افزایش اعوجاج منافذ می‌گردد و به همین سبب مواد آلی منجر به افزایش مقاومت خاکدانه‌ها در برابر تنش‌های آبی می‌شوند.

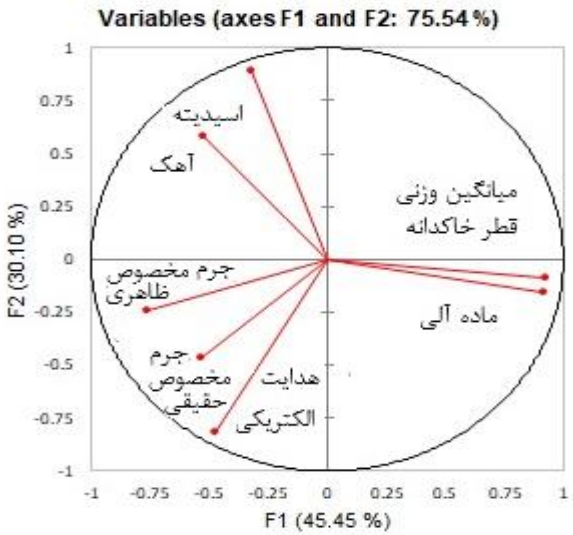
جدول۲- ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص پایداری خاکدانه و ویژگی‌های خاک

شاخص پایداری خاکدانه	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی متر مکعب)	ماده آلی (درصد)	میزان آهک (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته
میانگین وزنی قطر خاکدانه (میلی‌متر)	-۰/۳۸۴	-۰/۳۴۰	۰/۶۸۴**	-۰/۵۳۶**	-۰/۳۳۲	-۰/۳۴۸

**معنی دار در سطح احتمال یک درصد

علاوه بر این کاربرد تجزیه مولفه اصلی نیز این همبستگی را اثبات کرد که در این آنالیز سه مولفه اصلی تشخیص داده شدند که با یکدیگر حدود ۷۵/۵۴ درصد واریانس کل ویژگی‌های خاک را توضیح دادند (شکل۲). در جزئیات بیشتر، مولفه اول ۴۵/۴۵ درصد این تغییرپذیری و مولفه دوم ۳۰/۱۰ درصد آن را توضیح داد و بقیه تغییرپذیری در مولفه سوم قابل توضیح است. به طوری که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، جرم مخصوص ظاهری و موادآلی خاک یک اثر معنی دار را بر روی مولفه اول نشان دادند در حالی

که آهک، هدایت الکتریکی و اسیدیته این اثر را روی مولفه دوم نشان دادند و جرم مخصوص حقیقی تنها ویژگی از خاک است که اثر خود را بر روی مولفه سوم نشان داد (جدول ۳).



شکل ۲- اثر مقادیر ویژگی‌های خاک در آنالیز مولفه اصلی

جدول ۳- مقدار اثرات ویژگی‌های خاک روی سه مولفه اصلی برای شاخص پایداری خاک

ویژگی‌های خاک	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم
جرم مخصوص ظاهری	**۰/۵۸۷**	۰/۰۵۶	۰/۱۰۵
جرم مخصوص حقیقی	۰/۲۸۵	۰/۲۱۶	**۰/۴۱۵**
ماده آلی	**۰/۸۴۰**	۰/۰۲۳	۰/۰۳۷
آهک	۰/۲۷۷	**۰/۳۴۲**	۰/۰۹۰
هدایت الکتریکی	۰/۲۲۱	**۰/۶۷۰**	۰/۰۰۰
اسیدیته	۰/۱۰۶	**۰/۷۹۲**	۰/۰۱۴
میانگین وزنی قطر خاکدانه	**۰/۸۶۴**	۰/۰۰۷	۰/۰۱۸

مقادیر هایلایت شده نشان دهنده موثر بودن ویژگی خاک روی مولفه مورد نظر است

به منظور توسعه روابط رگرسیونی ویژگی‌های خاک شامل جرم مخصوص ظاهری،جرم مخصوص حقیقی، ماده آلی، آهک، هدایت الکتریکی و اسیدیته به عنوان متغیرهای مستقل و میانگین وزنی قطر خاکدانه به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. انواع مدل‌های رگرسیونی برای مناطق مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند که از میان این مدل‌ها، معادلات رگرسیونی خطی برای ایجاد معادله بین میانگین وزنی قطر خاکدانه و ویژگی‌های خاک انتخاب شدند که مدل‌سازی و نتایج اعتبارسنجی آنها در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج تحلیل رگرسیون خطی برای پایداری خاکدانه‌ها نشان می‌دهد که مدل توسعه یافته از طریق متغیر ماده آلی توانسته است ۸۴ درصد از تنوع پایداری خاکدانه را در مناطق مورد مطالعه تبیین نماید. به عبارت دیگر با توجه به شاخص ضریب تعیین می‌توان بیان نمود که قسمت عمده تغییرات شاخص پایداری خاکدانه‌ها می‌تواند به وسیله ماده آلی خاک‌ها توجیه شود. نتایج اعتبارسنجی معادلات نیز نشان می‌دهد که مقدار شاخص جذر میانگین مربع خطا کمترین مقدار را در وجود متغیر مستقل ماده آلی خاک دارد که این امر بیانگر دقت مناسب این مدل توسعه یافته در برآورد میانگین وزنی قطر خاکدانه است. این نتایج در

تطابق با نتایج تحقیقات خنیفر و همکاران (۱۳۹۹) می‌باشد که در مطالعات خود امکان استفاده از ماده آلی خاک به عنوان متغیر مستقل برای پیش‌بینی و تخمین شاخص پایداری خاکدانه از طریق روابط رگرسیونی خطی را تایید می‌نمایند.

جدول۴- مدل‌های رگرسیونی خطی بین شاخص پایداری خاکدانه و ویژگی‌های خاک

ویژگی خاک	معادله رگرسیونی	ضریب تعیین	جذر میانگین مربع خطا
جرم مخصوص ظاهری	MWD = -0.089x+ 1.36	۰/۶۵	۰/۲۳
جرم مخصوص حقیقی	MWD = -0.105x+ 2.65	۰/۵۲	۰/۲۹
ماده آلی	MWD = 1.881x- 0.03	۰/۸۴	۰/۰۲
میزان آهک	MWD = -7.701x+ 15.66	۰/۶۱	۰/۲۷
هدایت الکتریکی	MWD = -0.031x+ 0.24	۰/۶۲	۰/۳۶
اسیدیته	MWD = -0.717x+ 7.91	۰/۵۳	۰/۳۳

x ویژگی خاک، MWD میانگین وزنی قطر خاکدانه

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان پایداری خاکدانه‌ها که توسط میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها ارزیابی گردید دارای همبستگی بالایی با مقدار ماده آلی خاک می‌باشد و با افزایش این متغیر پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد که این نتیجه از طریق ضریب همبستگی مثبت آزمون پیرسون بین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و مواد آلی خاک نشان داده شد که موید ارزش مواد آلی خاک در حفظ و بهبود وضعیت خاک به ویژه در خاک‌های استان گیلان با پوشش گیاهی مناسب می‌باشد. علاوه بر این از طریق آنالیز مولفه اصلی مشخص شد که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و موادآلی خاک‌ها به عنوان دو ویژگی مهم خاک اثر معنی دار خود را بر روی مولفه اول نشان دادند. همچنین نتایج نشان داد که بر اساس آماره‌های به دست آمده مدل‌های رگرسیونی خطی دارای دقت تخمین بیشتری در برآورد میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها می‌باشند که از میان این مدل‌ها، معادله مربوط به ماده آلی ۸۴ درصد از کل تغییرات پایداری خاکدانه‌ها را تبیین نموده است. در کل نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از ماده آلی خاک جهت برآورد پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های استان گیلان استفاده کرد.

فهرست منابع

۱.خنیفر، ج، خادم‌الرسول، ع. عامری‌خواه، ه. (۱۳۹۹). مدل‌سازی پایداری خاکدانه‌ها به عنوان شاخصی از فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی)۴۳ (۱).۶۴-۴۹.

2. Ali Kalhoro, S., Xu, X., Chen, W., Hua, R., Raza, S., Ding, K. (2017). Effects of Different Land-Use Systems on Soil Aggregates: A Case Study of the Loess Plateau (Northern China). *Sustainability*, 9, 1349.

3.Besalatpour, A.A., Ayoubi, S., Hajabbasi, M.A., Mosaddeghi, M., Schulin, R. (2013). Estimating wet soil aggregate stability from easily available properties in a highly mountainous watershed. *Catena*, 111, 72-79.

4.Bronick, C.J., Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1), 3-22.

5.Canasveras, J.C., Barrón, V., Del Campillo, M.C., Torrent, J., Gómez, J.A. (2010). Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 158(1-2), 78-84.

6.Carter, M.R. (1992). Influence of reduced tillage systems on organic matter, microbial biomass, macroaggregate distribution and structural stability of the surface soil in a humid climate. *Soil and Tillage Research*, 23(4), 361-372.

7.Carter M.R. and Gregorich. (2006). Soil Sampling and Methods of Analysis (2 th ed.). Canadian Society of Soil Science.

8. Liu, M., Han, G., Zhang, Q. (2019). Effects of Soil Aggregate Stability on Soil Organic Carbon and Nitrogen under Land Use Change in an Erodible Region in Southwest China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16(20), 3809.

9.Meteorological organization of Iran. (2009). Climate data of synoptic station, Retrieved December 3, 2014, from http://www.irimo.ir/farsi/amar/map/province/gilan.asp.

Determining the relationship between aggregate stability and using easily available soil properties using principal component analysis

Zartosht Azizi[1], Mahmood Shabanpour[2], Sepideh Abrishamkesh[3]
1,2,3-Department of Soil Science, University of Guilan

Abstract

Aggregate stability is one of the most important physical and structural properties of soil that can affect many other soil properties. The aim of this study was to investigate the regression modeling of aggregate stability in relation to easily available soil properties in Guilan province. In order to conduct this research, soil properties including mean weight diameter of soil aggregates, soil bulk density, soil particle density, organic matter percentage, lime percentage, electrical conductivity and soil acidity were measured by standard laboratory methods. The results of this study showed that there was a significant positive correlation between soil organic matter and mean weight diameter of soil aggregates. Also, the results of regression modeling indicate that the linear equation in the study areas explains 84% of the changes in the stability of aggregates using the independent variable of soil organic matter. In general, the results confirm the possibility of using soil organic matter in estimating the stability of aggregates in Gilan province.

Keywords: Modeling, Principal component analysis, Regression equations, Soil properties

تاثیر رطوبت بر مقاومت کششی برخی خاکهای جنگلی استان گیلان

علی عباسی[۱]، محمود شعبانپور[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک شناسی دانشگاه گیلان (abbbasi.ali99@gmail.com)

۲- دانشیار خاک شناسی دانشگاه گیلان (shabanpour@guilan.ac.ir)

چکیده

این پژوهش برای بررسی اثر رطوبت های مختلف بر مقاومت کششی خاکدانه‌های خاک های جنگلی استان گیلان در رطوبت های آون خشک، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و۳۰ درصد انجام شد. پس از جمع آوری نمونه‌های خاک و بعد از هوا خشک شدن خاکدانه های با قطر بین ۱۱تا ۱۲,۵ میلیمتر با استفاده از الک جدا شدند و از هر نمونه تعداد ۳۵ عدد خاکدانه را جدا و همه خاکدانه های انتخاب شده در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند، بعد از خشک شدن، با اضافه کردن مقادیر مشخص آب خاکدانه ها به رطوبت های مورد نظر رسانده شدند. مقاومت کششی خاکدانه ها به روش غیر مستقیم و با استفاده از دستگاه برزیلی اندازه گیری شد. نتایج اندازه گیری مقاومت کششی خاکدانه ها در رطوبت های مختلف نشان داد که با افزایش مقدار رطوبت خاک، مقاومت کششی خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد. در واقع افزایش رطوبت خاک باعث ضعیف شدن پیوند بین ذرات خاکدانه‌ها شده و مقاومت کششی آنها را کاهش میدهد.

واژگان کلیدی: روش غیر مستقیم برزیلی، مقاومت کششی خاکدانه، رطوبت.

مقدمه

مقاومت کششی یک شاخص حساس از شرایط فیزیکی و یک ویژگی پویا در خاک است. Dexter and Kroesbergen (1985) عنوان کردند که احتمالاً مقاومت کششی مفیدترین معیار از مقاومت خاکدانه‌های یک خاک است. مقاومت مناطق گسیختگی در هر زمان بستگی به منافذ پر از هوا، درز و ترک‌های کوچک و پیوندهای بین ذرات درون یا بین درز و ترک دارد. مقاومت کششی خاک‌ها به مقدار آب و فرآیندهای تغییر توزیع منافذ یا پیوند بین خاکدانه‌ها بستگی دارد Kay and Dextre (1992). مقاومت کششی به عنوان نیرو در واحد سطح موردنیاز برای شکستن خاکدانه‌ها به ذرات کوچکتر تعریف شده و یک پارامتر با ارزش از ساختمان میکروسکوپی خاک است. پس در نتیجه مقاومت کششی به عنوان تنش یا نیرو در واحد سطح تعریف شده که برای شکست خاکدانه لازم است و همچنین وابسته به خاکدانه‌های کوچک و به مقدار رطوبت خاک و مقدار ذرات رس خاک وابسته بوده و ناشی از اثر متقابل نیروهای فیزیک و شیمیایی می‌باشد، که با افزایش رطوبت خاک، مقاومت خاک بطور نمایی کاهش می‌یابد. افزایش درصد رس منجر به افزایش تعداد پیوند بین ذرات شده که در نتیجه آن فضای بین ذرات سیلت و شن با ذرات رس پر می‌شود و مقاومت خاک افزایش می‌یابد Blanco and Lal(۲۰۰۹).

مقاومت کششی معیار بسیار مفید و معمول برای ارزیابی مقاومت خاکدانه‌های خاک می‌باشد. شکنندگی، یک ویژگی بحرانی خاک می‌باشد که در ارتباط با توانایی خاک برای فراهم کردن شرایط رشد گیاه و حداقل انرژی مورد نیاز برای خاکورزی است. از جمله عوامل موثر بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها می‌توان به رطوبت و بافت خاک اشاره نمود. کانی شناسی و محلول خاک، کربن آلی خاک و همچنین اندازه خاکدانه‌ها نیز از دیگر عوامل اثرگذار بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها شناخته شده‌اند Munkholm, (2011).

برپایه نتایج صفادوست مقاومت کششی خاکدانه‌ها و کلوخه‌ها با اندازه آن‌ها رابطه‌ای معکوس دارد. در واقع با افزایش مقدار رطوبت خاک، مقاومت خاکدانه‌ها و کلوخه‌ها کاهش یافت. به این صورت که، با افزایش اندازه خاکدانه‌ها مقاومت کششی آن‌ها کاهش می‌یابد، که بیانگر این است که خاکدانه‌های بزرگ، مقاومت کمتری نسبت به خاکدانه‌های کوچک دارند. همچنین به این نتیجه رسید که

وضعیت رطوبتی خاک نقش موثر و معنی داری بر پایداری ساختمان خاک دارد. به گونه‌ای که پیوند میان مواد سیمانی کننده ذرات معدنی با کاهش مقدار آب خاک، افزایش می‌یابد Safadoust (2016).

رطوبت یکی از مهمترین اجزاء خاک است که بخشی از خلل و فرج موجود بین ذرات را پرمی‌کند. با افزایش مقدار رطوبت خاک، مقاومت کششی خاکدانه کاهش می‌یابد. در واقع افزایش رطوبت خاک باعث ضعیف شدن پیوند بین ذرات خاکدانه‌ها شده و مقاومت کششی آن‌ها را کاهش می‌دهد Yousefi et al, (2012).

رطوبت یکی از مهمترین عوامل موثر بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها می‌باشد. به‌طوری که تغییر رطوبت خاک توانسته درصد زیادی از تغییرات مقاومت را توجیه کند. منحنی مقاومت کششی، رابطه بین مقاومت کششی و پتانسیل ماتریک یا مقدار رطوبت خاک است به‌طوری که با کاهش مکش ماتریک، مقاومت کششی خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد خزائی و همکاران (۱۳۸۷).

شرایط رطوبتی نمونه خاک یک پارامتر مهم در زمان آزمایش پایداری ساختمان خاک می‌باشد. در برخی شرایط پایداری خاکدانه‌ها با کاهش مقدار آب یا افزایش مکش ماتریک، ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همچنین در مقادیر کم رطوبت خاک، خاکدانه‌هاکم و مقاومت کششی زیادی دارند و در رطوبت‌های زیاد، مقاومت کششی کاهش می‌یابند Hajabbasi, (2007).

بررسی تحقیقات نشان می‌دهد که با افزایش مقدار رطوبت خاک، مقاومت کششی خاکدانه کاهش می‌یابد. از طرف دیگر در مقادیر کم رطوبت، خاکدانه‌ها مقاومت کششی زیادی دارند لذا توسعه مدلی که روند تاثیر رطوبت‌های مختلف را بر مقاومت کششی خاکدانه نشان دهد ضرورت دارد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بر برخی نمونه های خاک جنگلی واقع در استان گیلان (۳۶ تا ۳۸ درجه عرض شمالی و ۴۸ تا ۵۰ درجه طول شرقی) انجام شد. درصد ذرات اولیه (بافت خاک) به روش هیدرومتری(Gee and Or, (2002 ماده آلی خاک به روش والکی بلاک Walkley and Black, (1934) جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه اندازه‌گیری شد، برای اندازهگیریEC خاک با استفاده از قیف بوخنر و پمپ خلا عصاره‌ی گل اشباع تهیه شد و هدایت الکتریکی عصاره‌ها به وسیله دستگاه EC سنج و pH در گل اشباع خاک اندازه‌گیری شد Page et al.,(1982) (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین خصوصیات خاک های استفاده شده.

خصوصیات خاک ها	رس	سیلت	شن	ماده آلی	EC	pH
	(٪)				$dS\ m^{-1}$	
	17.21	24.83	58.03	5.15	340.46	6.23

۳۰ نمونه خاک از خاکهای سطحی و به آهستگی بدون به هم خوردن ساختمان خاک انجام شد. نمونه خاک بدون کوبیدن و الک شدن، با کمترین دست‌خوردگی از محل نمونه برداری به آزمایشگاه منتقل شده و درون کیسه های پلاستیکی ریخته شدند. پس از گذشت زمان، از خاک‌ها با دقت و بدون خردشدگی خاکدانه‌ها، نمونه‌برداری انجام شد و برای انجام اندازه‌گیری‌ها در ظروف مناسب نگهداری شدند. اندازه‌گیری مقاومت کششی خاکدانه‌ها به روش غیرمستقیم و با استفاده از دستگاه برزیلی انجام شد Dexter (1985) and Kroesbergen, برای اندازه‌گیری مقاومت کششی، خاکدانه‌ها به ابعاد ۱۲,۵-۱۰ میلی‌متر به وسیله الک جدا شدند. سپس از هر نمونه تعداد ۳۵ عدد خاکدانه، که روی الک ۱۰ میلیمتری باقی مانده را جدا و همه خاکدانه های انتخاب شده را در آون و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شدند. خاکدانه ها را به هفت گروه پنج تایی تقسیم کرده و در اقدام بعدی هرگروه از خاکدانه ها را به یکی از رطوبت های شامل ۱- آون خشک ۲- رطوبت ۵ درصد ۳- رطوبت۱۰ درصد ۴- رطوبت ۱۵ درصد ۵- رطوبت ۲۰ درصد ۶- رطوبت ۲۵ درصد ۷- رطوبت ۳۰ درصد رساندیم. به این صورت است که ۵ عدد خاکدانه را جدا و وزن نموده داخل ظرفی گذاشته و همچنین مقدار معینی آب (باتوجه به جرم خاکدانه و درصد رطوبت هدف) در ظرف کنار خاکدانه ها اضافه می کنیم این عمل برای

رساندن خاکدانه ها به رطوبت مورد نظر می باشد و سپس درب ظرف گذاشته می شود و اجازه می دهیم تعادل رطوبتی حاصل شود. بعد از اینکه خاکدانه ها به رطوبت های مورد نظر رسیدند مقاومت کششی هر کدام تعیین می شود. مقاومت کششی خاکدانه از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$y = 0.576 \frac{F}{d_{eff}^2} \quad (۱)$$

که در این رابطه F نیروی فشاری بیشینه مورد نیاز برای شکستن خاکدانه با قطر مؤثر d_{eff} و y مقاومت کششی خاکدانه می‌باشد. قطر مؤثر هر خاکدانه با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Dexter and Kroesbergen, (1985:

$$d_{eff} = d_{max} + d_{min/2} \quad (۲)$$

که در این رابطه d_{max} : حداکثر قطر خاکدانه و d_{min} : حداقل قطر خاکدانه است و مقدار نیروی فشاری لازم برای شکست خاکدانه بر حسب نیوتن از رابطه زیر محاسبه می شود:

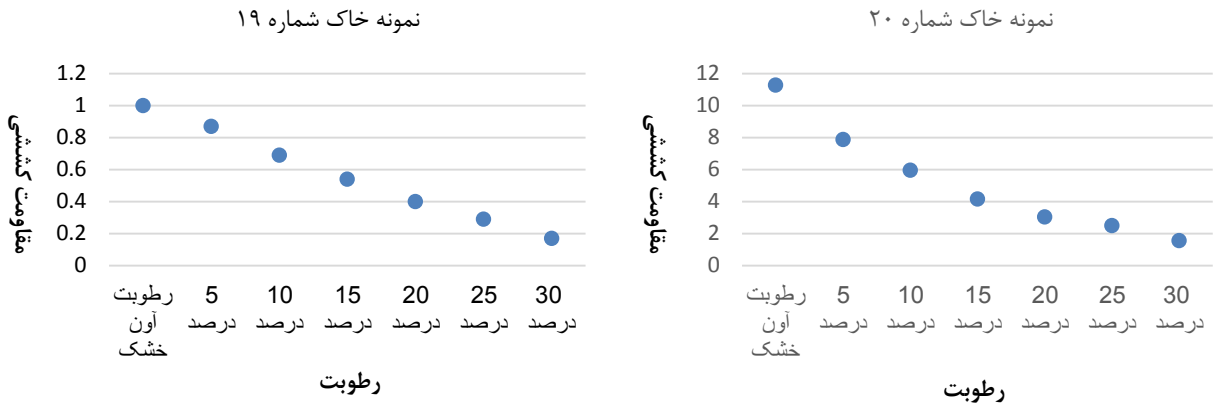
$$F = (M_c\ g\ * \frac{x_1}{x_2}) \quad (۳)$$

M_c : جرم آب لازم برای شکست خاکدانه (کیلوگرم)و x_1 : طول اهرم بالا (متر) و x_2 : طول اهرم پایین (متر) و g : شتاب ثقل (ms^{-2}) می باشد.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از آزمون مقاومت کششی خاکدانه‌ها در رطوبت های مختلف (۱- آون خشک ۲- رطوبت ۵ درصد ۳- رطوبت ۱۰ درصد ۴- رطوبت ۱۵ درصد ۵- رطوبت ۲۰ درصد ۶- رطوبت ۲۵ درصد ۷- رطوبت ۳۰ درصد) نشان داد که با افزایش مقدار رطوبت خاک، مقدار مقاومت کششی خاکدانه ها کاهش داشت و کمترین مقادیر مقاومت کششی مربوط به نمونه هایی با کمترین مقدار رس و بیشترین ماده آلی و هدایت الکتریکی(EC)[1] (نمونه خاک شماره ۱۹) بود. همچنین نمونه خاک ۲۰ با بیشترین مقدار رس در بین نمونه ها، بیشترین مقدار مقاومت کششی خاکدانه را دارا می باشد(شکل ۱).

[1] Electrical conductivity



شکل ۱- مقاومت کششی خاکدانه‌ها در برابر رطوبت های مختلف

پس می‌توان گفت مشاهده روند کاهشی مقاومت با افزایش ماده آلی و هدایت الکتریکی(EC) مقدار مقاومت کششی کاهش پیدا کرد و همچنین با روند افزایشی مقاومت با افزایش درصد رس مقدار مقاومت کششی افزایش پیدا می کند. با بررسی رابطه مقادیر مقاومت کششی با رطوبت های مختلف در نمونه هایی که مقادیر رس بسیار بالاست نشان داد که مقاومت کششی با افزایش میزان رس، در نمونه خاک شماره ۲۳ بدلیل افزایش میزان ماده آلی مقاومت کششی کمتری نسبت به خاک شماره ۲۰مشاهده شد و همینطور در نمونه خاک شماره ۴ هم باتوجه به بالا بودن مقدار ماده آلی و رس، مقاومت کششی ان کاهش پیدا کرده است در واقع بیشتر بودن اثر ماده آلی می‌تواند مقاومت کششی آن را تحت تأثیر قرار دهد و از این طریق اثر رس بر مقاومت کششی را تحت الشعاع قرار گیرد، در نتیجه مقادیر مقاومت را نیز متأثر می‌سازد. در نمونه خاک های (۱۰-۱۷-۲۴) میزان ماده آلی بسیار بالاست باعث کاهش مقاومت کششی و خاک های (۱۶-۲۹-۳۰) با توجه به اینکه هدایت الکتریکی(EC) بسیار بالاتری دارند مقاومت کششی انها هم کاهش پیدا کرده است.

افزایش رطوبت با کاهش مقاومت کششی، با نتایج به دست امده توسط صفادوست هماهنگی دارد. مقاومت کششی خاکدانه‌ها در واقع با افزایش مقدار رطوبت خاک، مقاومت خاکدانه‌ها و کلوخه‌ها کاهش یافت Safadoust (2016). Causarano (۱۹۹۳) نیز در بررسی خود به منظور تعیین اثر ماده آلی و رس بر مقاومت کششی در دامنه رطوبتی بررسی شده، دریافت که هم ماده آلی و هم رس بر مقاومت کششی خاک به طور پیچیده ای اثر گذار می‌باشند. خزائی و همکاران (۱۳۸۷) در مطالعه خود به بررسی تاثیر شرایط آزمایش، مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه‌ها به عنوان دو شاخص پایداری ساختمان خاک پرداختند و به این نتیجه رسیدند که از بین ویژگی‌های ذاتی خاک ماده آلی بیشترین اثر را بر مقاومت کششی خاکدانه‌ها دارد. صفا دوست و همکاران دریافتند که ماده آلی بیشترین نقش را در مقاومت کششی خاکدانه‌های خشک ایفا می‌کند؛ نتایج پژوهشی آنها بیانگر آن بود که با افزایش مقدار رطوبت، نقش ماده آلی و رس خاک (یا به عبارتی اثر بافت خاک) در مقاومت کششی (پایداری) خاکدانه‌هاکاهش یافت این بدین معناست که با افزایش رطوبت، مقاومت کششی خاکدانه‌ها به شدت کاهش می‌یابد(2012).,Safadoust et al.

منابع

خزائی، ع.، مصدقی، م.، محبوبی، ع.ا .۱۳۸۷ . تاثیر شرایط آزمایش، مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم خاک بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه ها در برخی از خاک های استان همدان .مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی .سال۱۲ . شماره۴۴ . صفحات ۱۲۳ تا۱۳۴.

Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk Density, In: Klute, A. et al., (eds.), Methods of Soil Analysis,Part 1-Physical and Mineralogical Methods, 2nd ed. Agronomy Monograph, vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, 363-375

Blanco-Canqui, H. and R. Lal. 2009. Corn stover removal for expanded uses reduces soil fertility and structural stability, Soil Science Society of America Journal, 73(2): 418-426.

Causarano, H. 1993. Factors affecting the tensile strength of soil aggregates. Soil and Till. Res. 28: 15-25.

Dexter A.R. and Kroesbergen B. 1985. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. Journal of Agriculture Engineering Research, 31: 139-147.

Hajabbasi M.A. 2007. Soil Physical properties. 1st Ed. Isfahan Univ. of Technology press. 288 p. (in Persian)

Kay B.D. and Dexter A.R. 1992. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown earth. Australian Journal of Soil Research, 30: 297-310.

Munkholm, L.J. 2011. Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. Geoderma, 167-168, 236–246.

Page, A.L., R.H. Miller and D.R. Keeney. 1982. Methods of Soil Anaiysis. Part 2. Chemical and Microbological Properties. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. United States of America.

Safadoust. 2016. Effects of Soil Texture, Moisture Condition and Cropping Systems on Soil Friability .Journal of Water and Soil. Vol. 30, No. 1, Mar.-Apr. 2016, p. 186-193.

Safadoust. 2012. Effects of Wetting/Drying, Freezing/Thawing and Earth Worm Activities on Soil Hydraulic Properties. Journal of Water and Soil .Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 340-348.

Yousefi et al, 2012. Effects of Wetting/Drying, Freezing/Thawing and Earth Worm Activities on Soil Hydraulic Properties. Journal of Water and Soil .Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 340-348.

Walkley and Black,1934.Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titrationmethod.soil sci. 37:29-38.

The effect of moisture on the tensile strength of some forest soils in Guilan province

Ali Abbasi [1], Mahmoud Shabanpour [2]

1 -Master student of Soil Science, University of Guilan(abbbasi.ali99@gmail.com)

2- Associate Professor of Soil Science, University of Guilan (shabanpour@guilan.ac.ir)

Abstract

This study was conducted to investigate the effect of different humidity on the tensile strength of forest soil aggregates in Guilan province in dry oven, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% humidity. After collecting soil samples and air drying, sift the samples using 10 mm and 12.5 mm sieves and then separate 35 aggregates from each sample, which remain on the remaining 10 mm sieve. All selected aggregates were dried in oven at 105 $^{\circ C}$. After the aggregates reached the desired humidity, the tensile strength of aggregates weremeasured indirectly by Brazilian method. The results showed that with increasing the amount of soil moisture, the tensile strength of aggregates decreases. In fact, increasing soil moisture weakens the bond between aggregate particles and reduces their tensile strength.

Keywords: Aggregate tensile strength, Indirect Brazilian method, humidity.

مقایسه اثربخشی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر عملکرد برنج در استان گیلان

سامان ولی‌زاده ناوی[۱]، حسن رمضان‌پور[۲]، نفیسه یغمائیان مهابادی[۳]، محمود فاضلی سنگانی[۴]، محمود شعبانپور[۵]
۱- کارشناسی ارشد پیدایش و رده‌بندی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، samanvalizadeh90@gmail.com
۲- دانشیار پیدایش و رده‌بندی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، hasramezanpour@yahoo.com
۳- استادیار پیدایش، ارزیابی و رده‌بندی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، yaghmaeian-na@yahoo.com
۴- استادیار شیمی و آلودگی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، mfazeli@guilan.ac.ir
۵- دانشیار فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، shabanpour@guilan.ac.ir

چکیده

با توجه به وسعت زیاد شالیزارها در استان گیلان و محدود بودن پژوهش‌ها در زمینه تاثیر ویژگی‌های خاک شالیزار با عملکردهای مختلف، این پژوهش با هدف بررسی رابطه بین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شالیزار با عملکرد برنج دراستان گیلان انجام گرفت. با توجه به نقشه زمین‌شناسی استان گیلان (۱/۲۵۰۰۰۰)، شالیزارهای سه منطقه اسالم، آستانه اشرفیه و لاکان برای نمونه‌برداری خاک مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد محصول برنج با مقادیر سیلت، رس، جرم مخصوص ظاهری، رطوبت پژمردگی دائم و رطوبت ظرفیت مزرعه، همبستگی منفی و با مقادیر شن، آهک، کربن آلی و آهن کل همبستگی مثبت داشته است، که بیشترین همبستگی عملکرد برنج با مقدار آهن کل بوده است (R^2=۰/۶۲ , P>۰/۰۱)، که میزان عملکرد برنج را بهبود ببخشده است.

واژگان کلیدی: شالیزار، عامل محدودکننده، گیاه برنج، آهن کل

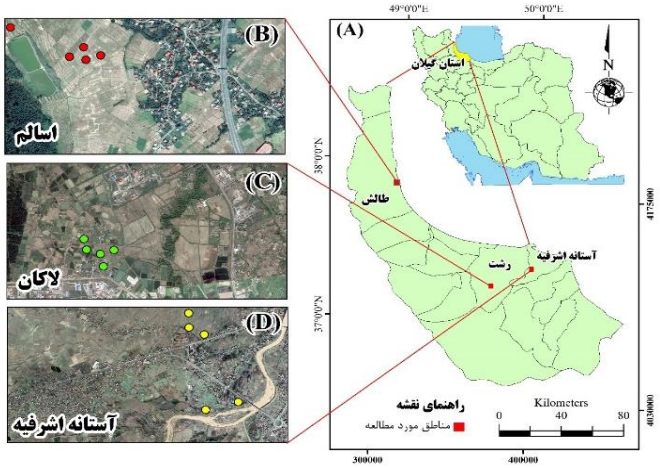
مقدمه

گیاه برنج با نام علمی *Oryza Sativa L.*، پس از گندم، عمده‌ترین محصول اصلی غذایی جهان با مصرف سالانه ۵۴ کیلوگرم برای هر شخص است (FAO2018). برنج، محصولی راهبردی است و در سبد غذایی مردم جهان، جایگاه ویژه‌ای دارد. در ایران، سطح زیر کشت گیاه برنج در حدود ۶۲۲۹۹۱ هکتار و تولید آن ۳۱۰۶۳۸۰ تن بوده است. در استان گیلان نیز سطح زیر کشت برنج در حدود ۲۲۰۰۰۰ هکتار و تولید این محصول ۱۰۹۳۶۶۵ تن بوده است (پندی و همکاران ۱۳۹۷). از این رو، متداول‌ترین روش در کشت برنج غرقاب کردن زمین است (Ali *et al.* 2019). بافت خاک یک ویژگی مهم خاک است که اکثر فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک را کنترل می‌کند (Liu *et al*. 2020) و به طور غیرمستقیم برروی بهره‌وری زراعی و عملکرد محصول تاثیرگذار است (Tabor *et al*. 2017) و به عنوان یک عامل تأثیرگذار بر وضعیت حاصلخیزی، اهمیت ویژه‌ای دارد (Chivenge *et al*. 2020). به طور خاص، بافت یا ساختار خاک می‌تواند بر تولید ریشه تاثیر بگذارد. معمولاً ریشه‌های بزرگتر، پتانسیل بیشتری در جذب آب دارند، بنابراین می‌توانند باعث جذب بهتر آب و جذب مواد مغذی و تولید ریشه و در نهایت افزایش محصول شوند (dou *et al*. 2016). ظرفیت نگهداری آب خاک، یکی از مهم‌ترین عوامل خاک برای رشد گیاه، تأثیر گذاری بر تخصیص کربن، چرخه مواد مغذی و میزان فتوسنتز دارد (Minasny and McBratney2018). کربن آلی مهم‌ترین عنصر موجود برای رشد گیاه است و با تأثیرگذاری بر کیفیت و خواص خاک، نقش مهمی در عملکرد گیاهان دارد و به علت تأثیر سازنده آن بر ویژگی‌های خاک، به عنوان یکی از ارکان مهم باروری خاک شناخته می‌شود (Zhu *et al*. 2017). یک ریز مغذی ضروری برای گیاهان است (Masuda *et al*. 2019) و در خاک بسیار زیاد است، اما قسمت اعظم آن در شرایط معمولی بـرای گیاه قابل استفاده نیست (حشمتی و همکاران ۱۳۹۹). پس با این تفاسیر حضور آهن در خاک رس و مواد معدنی رسی نباید جای تعجب داشته باشد (Stucki2006). گیاهان

هنگامی که در خاک‌های آهکی رشد می‌کنند، با کمبود آهن مواجه می‌شوند، که منجر به کاهش عملکرد محصول و مشکل کشاورزی می‌شود (Masuda *et al*. 2019). Cheng *et al*. (2009) در مطالعه خود بیان کردند که میزان آهن کل، درصد رس و مواد آلی را در اراضی شالیزاری نسبت به غیرشالیزاری بیشتر است. غرقاب شدن خاک با دانه‌بندی خوب و متخلخل، تشکیل یک ساختمان توده‌ای را می‌دهد که جرم ویژه ظاهری آن خیلی بالا است و با خشک شدن در اثر انقباض هم افزایش می‌یابد (حسن‌نژاد ۱۳۸۶). Atwell(1988) بیان کرد که افزایش جرم ویژه ظاهری، باعث افزایش قطر ریشه اصلی و فرعی اولیه گیاه و رشد مناسب آن می‌شود. هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر پارامترهای ذکرشده فیزیکی و شیمیایی خاک شالیزار بر عملکرد نهایی محصول گیاه برنج در استان گیلان می‌باشد

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ۳۰ شالیزار برنج شهرهای اسالم، آستانه اشرفیه و لاکان واقع در استان گیلان انجام گردید. پس از برداشت نمونه-های خاک شالیزارها، آزمایش‌های فیزیکی بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee and Bauder1986)، رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با دستگاه صفحات فشاری و جرم ویژه ظاهری به روش کلوخه و پارافین (Grossman and Reinsch2002) و آزمایش‌های شیمیایی کربن آلی روش والکلی-بلک (Walkly and Black1934) استفاده شد، آهک با روش تیتراسیون و آهن کل خاک با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. همچنین، عملکرد شلتوک گیاه برنج در روز برداشت محصول در زمین‌های انتخابی به روش وزنی اندازه‌گیری شد.

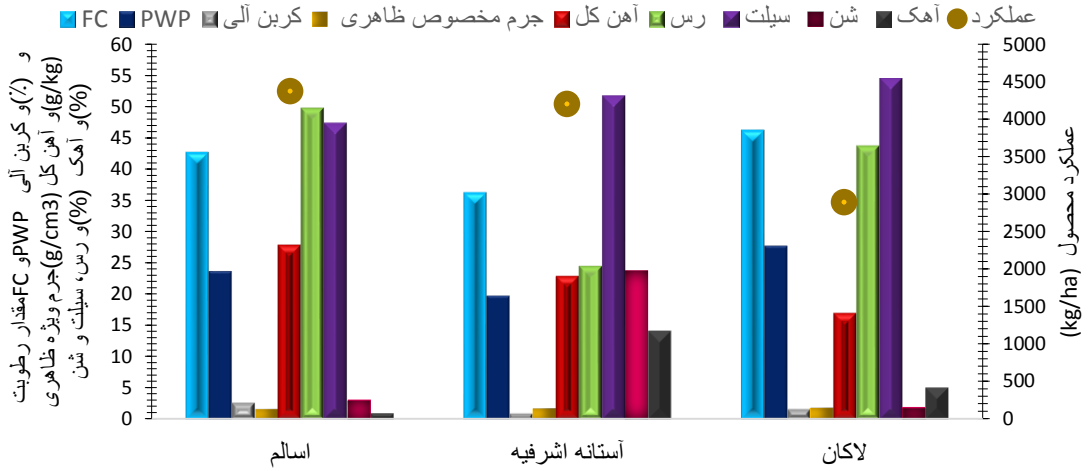


شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه در استان گیلان (A) و نقاط نمونه برداری در اسالم (B)، لاکان (C) و آستانه اشرفیه (D)

نتایج و بحث

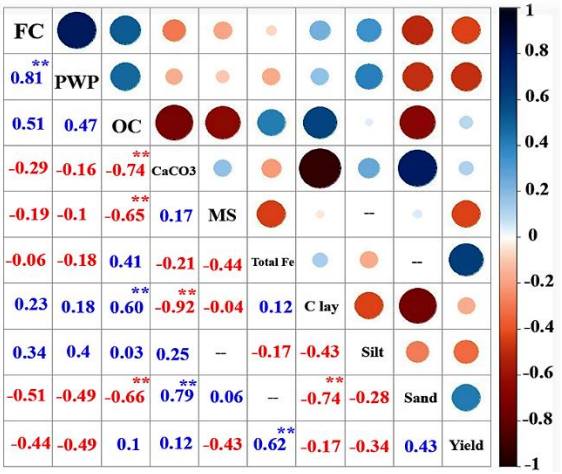
میانگین مقادیر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده فیزیکی و شیمیایی خاک شالیزارها در این مطالعه در شکل ۲ آورده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد مربوط به منطقه اسالم (۴۳۶۹/۸ کیلوگرم در هکتار) و همچنین کمترین مقدار آن مربوط به منطقه لاکان (۲۸۸۷/۸ کیلوگرم در هکتار) بوده است. همچنین، بیشترین مقدار آهک مربوط به منطقه آستانه اشرفیه (۱۴ درصد) بوده است؛ همچنین کمترین مقدار آهک مربوط به منطقه اسالم (۰/۹۵ درصد) بوده است. دلیل بیشتر بودن آهک در منطقه آستانه اشرفیه احتمالا به رسوبات و نهشته‌گذاری آبرفت‌های رودخانه سفید رود و نیز صدف های دریایی برمی‌گردد. با توجه

به حضور سخت کفه با نفوذپذیری اندک، ناشی از عملیات کشت، میزان آبشویی در شالیزار در مقایسه با سایر کشت‌ها به مراتب کم‌تر بوده و این امر می‌تواند دلیلی بر ناچیز بودن آهک درمنطقه اسالم باشد (اولیایی و نجفی قیری ۱۳۹۲). از دست دادن آهک در خاک‌های سطحی شالیزاری بیشتر و سریع تر از خاک‌های غیرشالیزاری است؛ همچنین کشت طولانی مدت برنج موجب کاهش میزان آهک خاک به دلیل آبشویی می‌شود (Gholami *et al*. 2017). همچنین Wissing *et al*. (2011)، بیان کردند که غرقاب شدن فصلی منجر به از دست دادن تدریجی آهک در طول کشت برنج می‌شود. با توجه به مقایسات میانگین برای ویژگی کربن آلی، بیشترین مقدار کربن آلی مربوط به منطقه اسالم (۲/۴۷ درصد) بوده است؛ همچنین کمترین مقدار کربن آلی مربوط به منطقه آستانه اشرفیه (۰/۸۴ درصد) بوده است. طبق مطالعه Genxing *et al*. (2008)، این میزان در اکثر خاک‌های شالیزاری در دامنهٔ ۲ تا ۴/۱ درصد و طبق پژوهش حسن‌نژاد (۱۳۸۶)، ۱/۵-۳/۹۷ گرم در کیلوگرم بوده است. برخی از شالیزارهای آستانه اشرفیه پس از برداشت محصول برنج، کشاورز برای کشت محصولات دیگری مانند بادام زمینی به عنوان کشت دوم، بقایای گیاهی را سوزانده و یا از زمین خارج می‌کند، که باعث کاهش میزان کربن آلی خاک نسبت به دو منطقه دیگر شده است. عامل بعدی کاهش کربن آلی در شالیزارها، عملیات خاکورزی است، که شخم مزرعه باعث کاهش مقدار کربن آلی خاک می‌شود (Liping and Erda2001). از دلایل دیگر کاهش کربن آلی خاک در مزرعه‌ها، می‌تواند مصرف کودهای شیمیایی برای افزایش عملکرد محصول باشد، که خود باعث افزایش رشد گیاه شده و در نتیجه تجزیه کربن آلی نیز افزایش می‌یابد و پس از مدتی، مقدار کربن آلی خاک کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار آهن مربوط به منطقه اسالم (۲۸/۳۷ گرم بر کیلوگرم) بوده است. همچنین کمترین مقدار آن مربوط به منطقه لاکان (۱۶/۹۴ گرم بر کیلوگرم) است. با توجه به اینکه مواد مادری منطقه اسالم از نوع رسوبات آبرفتی آتشفشانی بوده است و کانی پیروکسین در این خاک‌ها که یک کانی آهن‌دار محسوب می‌شود وجود دارد، دلیل زیاد بودن آهن کل این منطقه را توجیه می‌کند، که با مطالعات اولیایی و نجفی قیری (۱۳۹۲) و Cheng *et al*. (2009) در یک راستا قرار دارد. بیشترین مقدار رس مربوط به منطقه اسالم (۴۹/۷ درصد) و همچنین کمترین آن مربوط به منطقه آستانه اشرفیه (۲۴/۵۷ درصد) بوده است. کشت برنج به‌طور قابل توجهی میزان رس را افزایش می‌دهد (هاشمی و اسدی ۱۳۹۵) و بیشترین درصد رس در اراضی شالیزاری وجود دارد. همچنین، عملکرد دانه برنج در خاک رس، ۴۶ درصد بالاتر از خاک شنی است که با مطالعه Dou *et al*. (2016) هم‌راستا است. با توجه به مقایسات میانگین برای ویژگی مورد نظر، بیشترین مقدار شن مربوط به منطقه آستانه اشرفیه (۲۳/۸ درصد) بود؛ همچنین کمترین مقدار آن مربوط به منطقه لاکان (۱/۸۵ درصد) بوده است. مقدار پایین بودن رس سطحی و بالا بودن مقدار شن در منطقه آستانه اشرفیه نسبت به دو منطقه دیگر می‌تواند مربوط به بیشتر بودن آهک در این منطقه باشد; زیرا آهک در ابعاد شن و سیلت بیشتر وجود دارد و باعث سبکی بافت خاک می‌شود.



شکل ۲- میانگین مقدار پارامترهای اندازه گیری شده فیزیکی و شیمیایی خاک شالیزار در سه منطقه لاکان، آستانه اشرفیه و اسالم

مقدار ضریب همبستگی بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری‌شده با عملکرد در شکل ۳ نشان داده شده است. از بین ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده، فقط مقدار آهن کل با عملکرد همبستگی معناداری (Pvalue= 0.5) نشان داد که با مطالعه Agboola and Fube(1983) هم‌راستا بوده است. همچنین درصد آهک خاک با مقدار شن دارای همبستگی مثبت است و با مقدار رس و کربن آلی موجود در خاک دارای رابطه منفی است. همچنین مشاهده گردید که رطوبت ظرفیت مزرعه (FC) با نقطه پژمردگی دائم (PWP) دارای همبستگی مثبت است. کربن آلی موجود در خاک نیز در سطح پنج درصد با درصد رس رابطه مثبت و در سطح یک درصد با جرم ویژه ظاهری و درصد شن، رابطه منفی نشان داده است. مقدار رس با آهک و شن رابطه منفی و با کربن آلی رابطه مثبت در سطح یک درصد دارد. اما عملکرد در سطح پنج درصد تنها با مقدار آهن کل رابطه مثبت دارد. با این وجود هیچ گونه همبستگی معنی‌داری میان سیلت با دیگر خصوصیات اندازه‌گیری شده دیده نشد. همچنین، نتایج تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری‌شده مزرعه نشان داد که ویژگی‌های آهک، کربن آلی، آهن کل، درصد رس، شن و عملکرد مناطق مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد دارند. اما اختلاف معنی‌داری در ویژگی‌های سیلت، جرم ویژه ظاهری، FC و PWP مشاهده نشده است.



شکل ۳- همبستگی بین ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده با عملکرد برنج

نتیجه‌گیری

بر مبنای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی این پژوهش و نتایج آن، مقدار آهن کل خاک، بیشترین عامل تاثیرگذاری است که برروی عملکرد محصول گیاه برنج اثربخشی خوبی دارد (R^2=۰/۶۲) و سایر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه برروی عملکرد برنج، کم‌تاثیر (درصد آهک، کربن آلی، رس، شن و آهن کل) یا بی‌تاثیر (سیلت، جرم ویژه ظاهری، رطوبت ظرفیت مزرعه و رطوبت نقطه پژمردگی) بوده‌اند، اگرچه بعضی از این ویژگی‌ها می‌توانند به‌صورت غیرمستقیم بر دیگری تاثیرگذار باشند. وضعیت و ویژگی-های خاک‌ها در شالیزارهای استان گیلان از نظر توزیع جغرافیایی یکسان نمی‌باشند و عوامل مختلفی در خاک شالیزار، می‌توانند برروی عملکرد نهایی محصول برنج تاثیرگذار باشند؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که سایر ویژگی‌های خاک، ارزیابی و اندازه‌گیری شوند، تا با کنترل و اصلاح خاک شالیزارها با روش‌های متفاوت، عملکرد گیاه برنج بهبود یابد.

منابع

اولیایی، ح.ر.، نجفی قیری، م. (۱۳۹۲). اثرات کشت طولانی مدت برنج بر برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی رس خاک در منطقهٔ یاسوج. نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۷(۶۵): ۵۵-۳۹.

پندی، ح.، شعبانی روفچایی، ع. امینی، م. (۱۳۹۷). مقایسه تبخیر-تعرق با برخی خصوصیات مورفولوژیکی گیاه برنج در طول دوره رشد. اولین همایش بین المللی و سومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

حسن‌نژاد، ه. (۱۳۸۶). بررسی برخی خصوصیات فیزیکی شیمیایی، میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی اراضی شالیزاری استان مازندران (منطقه آمل). پایانامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

حشمتی، م.، قوچی، پ. کرمی، ن. (۱۳۹۹). اهمیت آزمایش عناصر خاک مزارع در توصیه کودی به منظور پایداری محیط (مطالعه موردی مزارع ذرت کوزران در استان کرمانشاه). مجله انسان و محیط زیست، ۱۸(۱): ۶۶-۵۷.

هاشمی، س.س.، اسدی، ف. (۱۳۹۵). اثر کشت غرقاب بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی، شالیزارهای منطقه دورود، استان لرستان. مجله تحقیقات کاربردی خاک، ۶(۱): ۱۲۳-۱۱۲.

Agboola, A.A., and Fube, H.N. (1983). Effect of iron on yield and performance of upland rice (var OS 6) in South West Nigeria. *Fertilizer research*, 4(2): 119-126.

Ali, M.A., Inubushi, M. Joo, K. Kim, P. Amin, S. (2019). Management of Paddy Soil towards Low Greenhouse Gas Emissions and Sustainable Rice Production in the Changing Climatic Conditions. *In Soil Contamination and Alternatives for Sustainable Development*.

Atwell, W.A. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal foods world*, 33: 306-311.

Cheng, Y.Q., Yang, L.Z. Cao, Z.H. Ci, E. Yin, S. (2009). Chronosequential changes of selected pedogenic properties in paddy soils as compared with non-paddy soils. *Geoderma*, 151(1-2): 31-41.

Chivenge, P., Hadi, O.B. Acuin, C. Connor, M. Stuart, A. Puskur, R. Johnson-Beebout, S. (2020). Ecosystem Services in Paddy Rice Systems. *In The Role of Ecosystem Services in Sustainable Food Systems*, 181-201 pp, Academic Press.

Dou, F., Junel Soriano, R. Tabien, E. Chen, K. (2016). Soil Texture and Cultivar Effects on Rice (*Oryza Sativa, L.*) Grain Yield, Yield Components and Water Productivity in Three Water Regimes, *PLoS ONE*, 11(3): 1–12.

FAO, (2018). FAOSTAT Database Collections. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food outlook biannual report on global food markets, Rome.

Gee, G.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: Klute A (Eds.), Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods, Agron, 2nd (eds.), Madison, WI, 404–408 pp.

Gholami, A., Baghernejad, M. Abtahi, A. Owliaie, H.R. (2017). Comparison of Pedogenic Properties of Some Paddy and Non Paddy Soils of Southern Iran, 36: 7–16.

Grossman, R. and Reinsch, B.T.G. (2002). Bulk Density. In: Dane, J.H., and Topp, G.C. Methods of soil analysis, Physical methods, *Soil science society of America*, Inc, Madison, Wisconsin, USA, Part 4.

Liping, G., and Erda, L. (2001). Carbon sink in cropland soils and the emission of greenhouse gases from paddy soils: a review of work in China. *Chemosphere Global Change Science*, 3(4): 413-418.

Liu, F., Zhang, G.L. Song, X. Li, D. Zhao, Y. Yang, J. Wu, H. Yang, F. (2020). High Resolution and Three Dimensional Mapping of Soil Texture of China. *Geoderma* 361 (June).

Masuda, H., Aung, M.S. Kobayashi, T. Hamada, T. Nishizawa, N.K. (2019). Enhancement of iron acquisition in rice by the mugineic acid synthase gene with ferric iron reductase gene and OsIRO2 confers tolerance in submerged and non-submerged calcareous soils. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1179.

Minasny, B., and McBratney, A.B. (2018). Limited Effect of Organic Matter on Soil Available Water Capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1): 39–47.

Tabor, N.J., Myers, T.S. Michel, L.A. (2017). Sedimentologist's Guide for Recognition, Description, and Classification of Paleosols. In Terrestrial Depositional Systems, *Elsevier*, 165-208 pp.

Genxing, P.A.N., Laosheng, W. Lianqing, L. Xuhui, ZH. Wei, G. Yvonne, W. (2008). Organic Carbon Stratification and Size Distribution of Three Typical Paddy Soils from Taihu Lake Region, China, *Journal of Environmental Sciences*, 20(4): 456–63.

Stucki, J.W. (2006). Chapter 8 Properties and Behaviour of Iron in Clay Minerals. *Developments in Clay Science* 1, 423–75 pp.

Walkly, A., and Black, J.A. (1934). An examination of digestion method for determiningsoil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration. *Soil Science*, 37: 29-38.

Wissing, L., Kölbl, A. Vogelsang, V. Fu, J. R. Cao, Z.H. Kögel-Knabner, I. (2011). Organic carbon accumulation in a 2000 year chronosequence of paddy soil evolution. *Journal of Catena*, 87(3): 376-385.

Zhu, J., Hu, H. Tao, S. Chi, X. Li, P. Jiang, L. Ji, C. Zhu, J. Tang, Z. Pan, Y. Birdsey, R.A. He, X. Fang, J. (2017). Carbon stocks and changes of dead organic matter in China's forests. *Nat*, 8: 1–10.

Comparison of the effectiveness of some physical and chemical properties of soil on rice yield in Guilan province

Saman Valizadeh Navi[1], Hassan Ramzanpour[2], Nafiseh Yaghmaeian Mahabadi[3] ,Mahmood Fazeli Sangani[4], Mahmood shabanpour [5]

۱- Masters of Genesis, Classification and Evaluation of Soil Lands, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Samanvalizadeh90@gmail.com

2- Associate Professor of Genesis and Soil Classification, University of Guilan; Hasramezanpour@yahoo.com

3- Assistant Professor of Genesis, Classification and Evaluation of Soil Lands, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Yaghmaeian-na@yahoo.com

4- Associate Professor of Physics and Soil Conservation, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Shabanpour@guilan.ac.ir

5- Assistant Professor of soil chemistry and pollution, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Mfazeli@guilan.ac.ir

Abstract

Due to the large area of paddy fields in Guilan province and limited research on the effect of paddy soil properties with different yields, this study was conducted to investigate the relationship between some physical and chemical characteristics of paddy soil with rice yield in Guilan province. According to the geological map of Guilan province (1.250000), paddy fields of three tawnship of Asalem, Astaneh ashrafieh and Lakan were examined for soil sampling. The results indicated that the yield of rice crop was negatively correlated with the amounts of silt, clay, bulk density, permanent wilting point moisture and field capacity moisture and positively correlated with the amounts of sand, lime, organic carbon and total iron, which had the highest yield correlation. Rice had a total iron content (R^2>0.62 , P>0.01), which improved the yield of rice.

Keywords: paddy, limiting agent, Rice plant, Total iron

ارزیابی منحنی توزیع اندازه منافذ خاک در سری‌های غالب خاک آهکی استان خوزستان

فاطمه مسکینی ویشکایی[۱]، علیرضا جعفرنژادی[۲]

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی(AREEO)، اهواز، ایران. fatemeh.meskini@yahoo.com

۲- دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی(AREEO)، اهواز، ایران.

چکیده

خاک‌های آهکی به طور وسیعی در مناطق خشک و نیمه خشک پراکنده شده‌اند. کربنات‌ها با تأثیر بر ساختمان خاک و در نتیجه توزیع اندازه منافذ خاک بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک همچون قابلیت دسترسی آب خاک و نفوذ آب در خاک موثرند. در این مطالعه، توزیع اندازه منافذ خاک در شش سری غالب خاک‌های آهکی جنوب استان خوزستان بررسی شد. توزیع اندازه ذرات خاک، جرم مخصوص ظاهری و منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شد. سپس پارامترهای موقعیت و شکل منحنی توزیع اندازه منافذ خاک محاسبه گردید. در تمام خاک‌های مورد مطالعه، پارامترهای شکل همچون کشیدگی و چولگی تقریبا مشابه و نزدیک به هم به دست آمد. در سری خاک جنوب اهواز، مقادیر سه پارامتر موقعیت منحنی، قطر میانگین، مد و میانه بسیار بهم نزدیک بودند که نشان‌دهنده‌ی تنوع بسیار اندک اندازه منافذ خاک در سری خاک مذکور است که احتمالاً ناشی از تراکم خاک و جرم مخصوص ظاهری بالای خاک است. نتایج نشان داد که منحنی توزیع اندازه منافذ خاک می‌تواند به طور مناسبی بیانگر محدودیت‌های فیزیکی کیفیت خاک باشد.

واژگان کلیدی: توزیع اندازه ذرات خاک، خاک آهکی، محدودیت‌های فیزیکی خاک، منحنی مشخصه آب خاک.

مقدمه

خاک آهکی به خاکی اطلاق می‌گردد که حاوی پنج درصد و یا بیشتر کربن غیرآلی یا کربنات کلسیم معادل باشد. این خاک‌ها در بسیاری مناطق به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک غالب هستند. براساس FAO، حدود ۱۲ درصد از خاک‌های جهان و ۶۵ درصد از خاکهای ایران، آهکی است (Asgari Hafshejani and Jafari, 2017). کربنات‌ها با تأثیر بر ساختمان خاک و در نتیجه توزیع اندازه ذرات خاک بر بسیاری از ویژگی های فیزیکی مهم خاک همچون قابلیت دسترسی آب خاک و نفوذ آب در خاک موثرند. جرم مخصوص ظاهری نیز به طور واضح تابعی از میزان تخلخل و میزان کربن آلی خاک بوده و بر تخلخل، توزیع اندازه منافذ و منحنی رطوبتی خاک تاثیر می‌گذارد (Reynolds et al., 2009). کیفیت فیزیکی خاک-های کشاورزی عمدتاً به پایداری ساختمان خاک و توانایی آن در انتقال و ذخیره آب در ناحیه توسعه ریشه بستگی دارد (Reynolds et al., 2002). بنابراین توزیع اندازه منافذ خاک رابطه معنی‌داری با کیفیت فیزیکی خاک دارد. تعیین شاخص-های مختلف توزیع اندازه منافذ خاک باعث افزایش آگاهی ما از ارتباط بین کیفیت فیزیکی خاک با تنش‌های زیست محیطی، تولید محصول و حرکت آب و املاح در خاک می‌شود (Reynolds et al., 2009). در این مطالعه، منحنی‌های توزیع اندازه منافذ خاک در شش سری غالب خاک‌های آهکی جنوب خوزستان بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سری‌های غالب خاک در مناطق جنوب استان خوزستان اجرا شد. بر اساس مطالعات انجام شده حدود ۲۰ سری خاک در این مناطق با توجه به ویژگی‌های شوری، بافت، درصد آهک و گچ شناسایی شده‌اند. از نظر رده‌بندی خاک، رده‌های انتی‌سول، اریدی‌سول و اینسپتی‌سول خاک‌های این مناطق را تشکیل می‌دهند. با توجه به غالب بودن برخی از سری‌ها، تعداد نه سری غالب انتخاب و از هر سری خاک در مناطق مختلف تعداد ۵ نمونه دست‌خورده و به همان تعداد نمونه دست‌نخورده (از هر سری ۱۰ نمونه جفتی) از عمق ۲۰-۰ سانتیمتری تهیه و به آزمایشگاه ارسال گردید. نمونه‌های خاک با استفاده از روش‌های استاندارد از نظر موادآلی، میزان شوری، واکنش خاک، درصد اجزاء بافت و جرم مخصوص ظاهری بررسی شدند. برای اندازه‌گیری منحنی رطوبتی خاک از دستگاه صفحات فشاری (مکش‌های کمتر از ۵۰۰۰ سانتی‌متر) و غشاء فشاری (مکش‌های بیشتر از ۵۰۰۰ سانتی‌متر) استفاده شد. معادله ون گنوختن با استفاده از نرم‌افزار RTCE بر داده‌های منحنی مشخصه آب خاک اندازه‌گیری شده برازش داده شد (رابطه ۱):

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha|h|)^n\right]^m} \quad (۱)$$

در این معادله، θ_s رطوبت اشباع خاک، θ_r رطوبت باقیمانده خاک، θ رطوبت خاک در پتانسیل ماتریک h و α برابر است عکس مکش نقطه ورود هوا به خاک، m و n ضرایب تعیین‌کننده شکل منحنی مشخصه آب خاک می‌باشند.

شیب منحنی رطوبتی در هر مکش با اندازه منافذ در آن نقطه رطوبتی ارتباط مستقیم دارد (Dexter, 2004). تابع توزیع اندازه، $S_v(h)$(-)، را می‌توان به صورت شیب منحنی رطوبتی تعریف نمود، بنابراین هنگامی که منحنی رطوبتی بر اساس رطوبت حجمی، θ_v ($m^3\ m^{-3}$)، و ln(h) رسم شود، قطر معادل در هر مکش، d_e (µm)، با استفاده از معادله صعود موئینگی (رابطه ۲) تعیین می‌گردد (Warrick, 2002).

$$d_e = \frac{2980}{h} \quad (۲)$$

تابع نرمال شده توزیع اندازه منافذ، $S^*(h)$، با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود. $S^*(h)$ مستقل از جرم مخصوص ظاهری و تخلخل می‌باشد. پس می‌توان از آن به عنوان مفهومی برای مقایسه توزیع اندازه منافذ در مواد متخلخل استفاده کرد (Reynolds et al., 2002).

$$S^*(h) = \frac{m(\alpha h)^n[1 + m^{-1}]^{(m+1)}}{[1 + (\alpha h)^n]^{(m+1)}} \quad (۳)$$

توزیع اندازه منافذ خاک‌های مختلف را می‌توان با استفاده از پارامترهای موقعیت و شکل منحنی تعیین و با یکدیگر مقایسه کرد. پارامترهای موقعیت منحنی شامل مد، میانه و میانگین d_e می‌باشد (شاخص‌های گرایش به مرکز)، که از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$d_{\text{میانه}} = d_{0.5} = \frac{2980\alpha}{(0.5^{-1/m} - 1)^{1/n}} \quad (۴)$$

$$d_{\text{مد}} = \frac{2980\alpha}{m^{-1/n}} \quad (۵)$$

$$d_{\text{میانگین}} = exp\left(\frac{lnd_{0.16} + lnd_{0.05} + lnd_{0.84}}{3}\right) \quad (۶)$$

میانه d_e قطر منافذ در $\theta = 0.5$ است و $d_{\text{مد}}$، که نقطه اوج منحنی توزیع اندازه منافذ است، به عنوان مقدار d_e با بیشترین فراوانی تعریف و در رطوبت نقطه ی عطف منحنی رطوبتی (θ_i) تعیین می‌شود. برای بیان تقارن و پراکندگی توزیع اندازه منافذ از میانگین هندسی d_e (d_{mean}) و پارامترهای شکل منحنی شامل انحراف معیار (SD)، کشیدگی (Skewness) و چولگی (Kurtosis) منحنی استفاده می‌شود که به وسیله روابط ۷ تا ۹ به دست می‌آیند:

$$SD = exp\left(\frac{lnd_{0.84} - lnd_{0.16}}{4} + \frac{lnd_{0.95} - lnd_{0.05}}{6.6}\right) \quad (۷)$$

$$1 \leq SD < \infty$$

$$\text{کشیدگی} = \frac{1}{2}\left(\frac{lnd_{0.16} + lnd_{0.84} - 2(lnd_{0.5})}{(lnd_{0.84} - lnd_{0.16})} + \frac{lnd_{0.05} + lnd_{0.95} - 2(lnd_{0.5})}{(lnd_{0.95} - lnd_{0.05})}\right) \quad (۸)$$

$$-1 \leq \text{کشیدگی} \leq +1$$

$$\text{چولگی} = \frac{lnd_{0.05} - lnd_{0.95}}{2.44(lnd_{0.25} - lnd_{0.75})} \quad (۹)$$

$$۰/۴۱ \leq \text{چولگی} < \infty$$

در این روابط $d_{0.16}$ و $d_{0.84}$ به وسیله رابطه ۴ و با جایگزاری مقادیر ۰/۱۶ و ۰/۸۴ به جای ۰/۵ به دست می‌آید. در SD=1 همه منافذ به یک اندازه‌اند و با افزایش SD تنوع در اندازه منافذ بیشتر می‌شود. در کشیدگی برابر صفر و همچنین چولگی برابر با یک، منحنی دارای توزیع لوگ نرمال است، مقادیر منفی کشیدگی بیانگر وجود منافذ ریز بیشتر و مقادیر مثبت آن بیانگر وجود منافذ درشت بیشتر است. در پخی بزرگ‌تر از یک منحنی نسبت به توزیع لوگ نرمال در مرکز دارای اوج بیشتر بوده و دارای دنباله به سمت بینهایت است و در مقادیر کمتر از یک، منحنی به صورت خوابیده یا پخ است.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که نمونه خاک‌های مورد مطالعه از سری‌های غالب خاک‌های آهکی استان خوزستان دارای بافت متوسط تا سنگین و شامل بافت لوم (۵۵ درصد)، لوم رسی سیلتی (۲۳ درصد)، لوم رسی (۱۱ درصد) و رسی (۱۱ درصد) بودند (جدول ۱). بیشترین مقدار جرم مخصوص ظاهری خاک در سری‌های جنوب اهواز (۱/۵۲ g cm^{-3})، رامهرمز- بازیدی (۱/۴۱ g cm^{-3}) و خرمشهر ۲ (۱/۴ g cm^{-3}) مشاهده شد، این موضوع نشان‌دهنده تخریب خاک در مناطق مورد مطالعه به دلیل اعمال مدیریت‌های نامناسب در کشت و کار محصولات مختلف است (جعفرنژادی و همکاران، ۱۳۹۸).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در سری‌های غالب خاک در استان خوزستان

	بافت خاک	pH (-)	EC (dS m^{-1})	آهک (%)	Bd (g cm^{-3})
جنوب اهواز	لوم	۷/۱	۳۳/٤	٥٢	۱/٥٢
جنوب شرق اهواز	لوم	۷/۳	٤٧	٥٤	۱/۱٤
رامهرمز-بازیدی	لوم رسی	۷/٦	٤/٦	٦٠	۱/٤۱
رامهرمز- رستم آباد۱	لوم	۷/۲	٦/۰۲	٥٠	۱/۲۲

رامهرمز- رستم آباد۲	لوم رسی سیلتی	۷/۵	۲/۴۳	۵۲	۱/۱۲
شادگان	لوم	۷/۵	۷/۶	۵۰	۱/۲۳
خرمشهر۱	لوم	۷/۶	۱۷	۴۹	۱/۲
خرمشهر ۲	رسی	۷/۴	۱۹/۵	۵۰	۱/۴
اهواز- حمیدیه	لوم رسی سیلتی	۷/۳	۵/۷	۴۸	۱/۲۵

مقادیر پارامترهای موقعیت و شکل منحنی توزیع اندازه منافذ سری های غالب خاک‌های آهکی جنوب خوزستان در جدول ۲ ارائه شده است. هرچه توزیع حجم منافذ خاک به توزیع نرمال نزدیک تر باشد و خاک دارای توزیع متعادلی از منافذ ریز و درشت خواهد بود و در نتیجه کشیدگی منحنی و تراکم بیشتر آن در محدوده منافذ ریز یا درشت حاکی از محدودیت تهویه و نگهداشت آب در خاک خواهد بود (Meskini-Vishkaee et al., 2020). در تمام خاک‌های مورد مطالعه، پارامترهای شکل همچون کشیدگی و چولگی تقریبا مشابه و نزدیک به هم به دست آمد. اما، پارامتر انحراف استاندارد به عنوان یک شاخص شکل می‌تواند تاحدی محدودیت های ممکن را نشان دهد. در مقادیر انحراف استاندارد برابر با یک، اندازه منافذ برابر با هم بوده و با افزایش مقدار انحراف استاندارد، توزیع اندازه منافذ افزایش می‌یابد (Blott and Pye, 2001)، بنابراین مقادیر بسیار بالای انحراف استاندارد در سری‌های خاک رامهرمز- رستم آباد ۲ و شادگان مبین وجود منافذ در اندازه های درشت تا بسیار ریز در سری‌های خاک مذکور می‌باشد که می‌تواند موجب محدودیت خاک قابلیت دسترسی آب در خاک گردد. مطالعات Moncada et al. (2014) نیز گزارش نمودند که پارامترهای موقعیت منحنی توزیع اندازه منافذ خاک نسبت به پارامترهای شکل، اثرات بیشتری از کمبود تهویه خاک و شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک را نشان می‌دهد. پارامترهای شکل منحنی در سری‌های خاک مورد مطالعه دارای مقادیر متفاوت‌تری بودند. براساس محدوده مقدار بهینه پارامتر $d_{مد}$ پیشنهاد شده توسط Reynolds et al. (2009) ۱۲۰ تا ۱۴۰ میکرومتر، سری خاک رامهرمز- رستم آباد ۱ دارای توزیع اندازه ی منافذ بهینه است و احتمالاً فاقد محدودیت‌های تهویه و قابلیت دسترسی آب در خاک است. کمترین مقدار پارامتر انحراف استاندارد منحنی مربوط به سری خاک جنوب اهواز بود (SD=3.16). در سری خاک جنوب اهواز، مقادیر سه پارامتر موقعیت منحنی، قطر میانگین، مد و میانه بسیار بهم نزدیک بودند که نشان‌دهنده ی تنوع بسیار اندک اندازه منافذ خاک در سری مذکور است که احتمالاً ناشی از تراکم خاک و جرم مخصوص ظاهری بالا در این سری خاک است (جدول ۱).

جدول ۲- مقادیر پارامترهای موقعیت و شکل منحنی توزیع اندازه منافذ خاک در سری های غالب خاک‌های آهکی خوزستان

سری خاک	پارامترهای موقعیت			پارامترهای شکل		
	d_{mean} (µm)	d_{median} (µm)	d_{mode} (µm)	انحراف استاندارد	کشیدگی	چولگی
جنوب اهواز	۱۰/۱۷	۱۱/۱۲	۱۳/۴۵	۳/۱۶	-۰/۱۵	۱/۱۴
جنوب شرق اهواز	۱/۳۶	۵/۱۴	۹۶/۶۸	۴۴۰/۸۵	-۰/۴۲	۱/۱۴
رامهرمز-بازیدی	۰/۳۴	۱/۳۲	۲۶/۵۷	۴۸۷/۹۲	-۰/۴۲	۱/۱۴
رامهرمز- رستم آباد۱	۵/۳۷	۱۴/۷۵	۱۲۸/۱۸	۱۳۲/۶۳	-۰/۳۹۶	۱/۱۴
رامهرمز- رستم آباد۲	۰/۰۷	۰/۵۱	۶۰/۳۴	۶۵۶۹/۸	-۰/۴۴	۱/۱۲
شادگان	۰/۰۷	۰/۵۸	۸۲/۲۶	۸۵۵۲/۳	-۰/۴۴	۱/۱۲
خرمشهر۱	۰/۰۶	۰/۲۳	۴/۱۱	۴۰۴/۴۴	- ۰/۴۱۷	۱/۱۴
خرمشهر ۲	۰/۳۰	۰/۷۲	۴/۵۸	۷۹/۴۶	-۰/۳۸	۱/۱۵

اهواز- حمیدیه	۰/۱۲	۰/۳۶	۳/۸۲	۱۷۸/۹۲	-۰/۴۰۳	۱/۱۴

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، با استفاده از منحنی مشخصه آب خاک منحنی توزیع اندازه منافذ خاک در ۶ سری غالب خاک‌های آهکی استان خوزستان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به تأثیر آهک بر ساختمان و توزیع اندازه منافذ خاک، براساس ویژگی ها و شاخص های توزیع اندازه منافذ خاک می‌توان محدودیت های فیزیکی خاک در تأمین آب و هوا برای محصولات را بررسی نمود. پنتایج این مطالعه نشان داد که پارامترهای موقعیت منحنی توزیع اندازه منافذ خاک شاخصی مناسبی برای بررسی محدودیت های ناشی از کیفیت فیزیکی خاک است.

فهرست منابع

جعفرنژادی، ع.، موسوی فضل، م.ه.، جوادزاده، م. (۱۳۹۹). ارزیابی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مؤثر بر قابلیت نگهداشت آب در سری‌های غالب خاک های آهکی استان خوزستان. مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) ۴۲(۳). ۴۷-۳۳.

Asgari hafshejani, N. and Jafari, S. (2017). The study of particle size distribution of calcium carbonate and its effects on some soil properties in khuzestan province. *Iran Agricultural Research*, 36 (2), 71-80.

Blott, S.J., Pye, K. (2001). Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, 1237–1248.

Dexter A.R. (2004). Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120, 201-214.

Meskini-Vishkaee, F., Jafarnejadi, A. and Mousavi-Fazl, M.H. (2020). Evaluation of soil physical quality in dominant series of calcareous soils in south-west of Iran. *Polish Journal of Soil Science*, 2, 225-243.

Moncada, M.P., Ball, B.C., Gabriels, D., Lobo, D., Cornelis, W.M. (2014). Evaluation of soil physical quality index S for some tropical and temperate medium-textured soils. *Soil Science Society of American Journal*, 79, 9–19.

Reynolds W.D., Bowman B.T., Drury C.F., Tan C.S., and Lu X. (2002). Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*, 110, 131-146.

Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. (2009). Use of indicators and pore volumefunction characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma*, 152, 252-263.

Warrick A.W. (2002). Soil Physics Companion. CRC Press LLC, Boca Raton, USA.

Investigation of soil pore size distribution curve in the dominant series of calcareous soil in Khuzestan province

Fatemeh Meskini-Vishkaee[1], Alireza Jafarnejadi [2]

1- Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran; corresponding author: fatemeh.meskini@yahoo.com

2- Associate Professor, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.

Abstract

Calcareous soils are widely distributed in arid and semi-arid regions. Carbonates affect many important physical properties of soil, such as soil water availability and water infiltration, by affecting soil structure and thus soil pore size distribution. In this study, the soil pore size distribution in six dominant series of calcareous soils in

the south of Khuzestan province was investigated. Soil particle size distribution, bulk density and soil water characteristic curve were measured. Then the parameters of location and shape of the soil pore size distribution curve were calculated. In all studied soils, the values of shape parameters such as kurtosis and skewness were almost similar and close to each other. In the soil south Ahvaz series, the values of the three parameters of curve location, mean, mode and median diameter were very close, indicating a very small variation in soil pore size, which is probably due to soil compaction and high bulk density. The results showed that the soil pore size distribution curve can adequately indicate the physical limitations of soil quality.

Keywords: Soil particle distribution, Calcerous soil, Soil physical limitations, Soil water charesteristic curve.

تأثیر کشت گونه غیربومی Atriplex lentiformis بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

مهدی نجفی قیری[۱]، حمیدرضا بوستانی[۲]، علیرضا محمودی[۳]، رخساره مرادی علمدارلو[۴]، فائزه زارعی[۴]

۱- دانشیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، آدرس الکترونیکی: mnajafighiri@yahoo.com

۲- دانشیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۳- استادیار بخش مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۴- دانش‌آموختگان بخش مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

چکیده

A. lentiformis یکی از گونه‌های مقاوم به خشکی و شوری بوده که در برخی مراتع داراب، جنوب استان فارس کشت شده است. بوته‌کاری مراتع با گونه غیربومی Atriplex lentiformis می‌تواند سبب تغییرات در ویژگی‌های خاک و حاصلخیزی آن شود. بخشی از مراتع شهرستان داراب که با این گونه احیاء شده بود انتخاب و نمونه‌های خاک از زیر سایه‌انداز گیاه و بین گیاه در اعماق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر برداشته شد. ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی و قابلیت استفاده عناصر در خاک اندازه‌گیری شد. A. lentiformis سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی و ماده آلی در خاک سطحی و زیرسطحی گردید. قابلیت استفاده نیتروژن، پتاسیم، منگنز و روی در خاک سایه‌انداز گیاه بیشتر از خاک بین گیاه بود و ارتباط مثبت و معنی‌داری بین قابلیت استفاده عناصر مختلف و ماده آلی خاک به دست آمد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گونه A. lentiformis با توجه به مواد آلی که به خاک اضافه می‌کند می‌تواند سبب بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش قابلیت استفاده عناصر مورد نیاز گیاه گردد، اما از طرفی با افزایش شوری خاک می‌تواند به‌تدریج سبب تغییر گونه‌های گیاهی بومی و هجوم گیاهان شورپسند شود.

واژگان کلیدی: رطوبت خاک، سدیم، عناصر گیاه، قابلیت هدایت الکتریکی، ماده آلی

مقدمه

پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل خاک‌ساز مطرح بوده و ارتباط متقابل خاک و گیاه می‌تواند در بقاء و یا تخریب اکوسیستم‌های مختلف حائز اهمیت باشد. در دهه‌های اخیر فعالیت‌های انسان در طبیعت منجر به تخریب بخش وسیعی از مراتع جهان و از جمله کشور ایران شده است. در چند دهه اخیر جهت توسعه مراتع و احیای آنها از گونه‌های غیربومی در برخی مناطق کشور استفاده شده است. گونه Atriplex lentiformis از خانواده Chenopodiaceae (اسفنجیان) بوده که به سبب مقاومت زیاد نسبت به شرایط نامساعد به‌خصوص خشکی و شوری خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران توسعه یافته است (Eskandari *et al.*, 2008; Ghazavi *et al.*, 2015). این گونه با توجه به غیربومی بودن، ممکن است تأثیرات مخربی بر پوشش گیاهی بومی (فراوانی گونه‌های بومی) و وضعیت خاک (افزایش شوری خاک) داشته باشد (Ghazavi *et al.*, 2012).

منطقه داراب در جنوب شرقی استان فارس واقع شده و دارای آب و هوای نیمه‌خشک و بسیار گرم است (Banaei, 1998). در نتیجه وضعیت آب و هوایی نامناسب و در پاره‌ای از موارد دخالت انسان‌ها و آتش‌سوزی، برخی از اراضی مرتعی این شهرستان نیاز به اصلاح و احیاء داشته و به همین سبب بوته‌کاری مصنوعی با A. lentiformis در بخشی از مراتع این شهرستان انجام شده است. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کشت گیاه A. lentiformis بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در اعماق مختلف و تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی خاک است. نتایج این تحقیق می‌تواند در

برنامه‌ریزی‌های آتی جهت کشت گونه‌های غیربومی در مناطق مختلف ایران و پیش‌بینی تأثیرات مثبت و یا منفی گونه‌ها بر وضعیت خاک منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در ۳ کیلومتری شرق شهر داراب (جنوب شرقی استان فارس) به سمت جنت‌شهر قرار گرفته است. در این منطقه گونه Atriplex lentiformis حدود ۴۰ سال پیش کشت شده است. طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع منطقه از سطح دریا ۵۴ درجه و ۳۴/۰۷ دقیقه شرقی، ۲۸ درجه و ۴۳/۶۵ دقیقه شمالی و ۱۰۷۰ متر می‌باشد. میانگین بارندگی و دمای سالیانه به‌ترتیب ۲۸۰ میلی‌متر و ۲۲ درجه سلسیوس می‌باشد. با توجه به یکنواختی منطقه مورد مطالعه از نظر وضعیت توپوگرافی و پوشش گیاهی، سه نقطه به‌صورت تصادفی انتخاب شد و سپس از زیر سایه‌انداز گیاه A. lentiformis و بین گیاهان از اعماق ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری خاک صورت گرفت. نمونه‌ها بلافاصله جهت حفظ رطوبت به ظروف سربسته منتقل و توزین گردیدند. نمونه‌ها سپس به آزمایشگاه منتقل و پس از هواخشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی شامل بافت خاک به روش هیدرومتر (Rowell, 1994)، ماده آلی به روش سوزاندن تر (Nelson & Sommers, 1996)، پ‌هاش در خمیر اشباع (Salinity Laboratory Staff, 1954)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (Salinity Laboratory Staff, 1954)، کربنات کلسیم معادل به روش اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با هیدروکسید سدیم (Salinity Laboratory Staff, 1954) و ظرفیت تبادل کاتیونی (Chapman, 1965) روی آنها صورت گرفت. مقداری از نمونه‌ها نیز جهت تعیین مقدار رطوبت در آون در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. جهت بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک نیز قابلیت استفاده عناصر غذایی شامل نیتروژن خاک به روش میکروکلدال (Bremner, 1965)، فسفر به روش اولسن و همکاران (Olsen *et al.*, 1954)، پتاسیم به روش هلمک و اسپارکز (Helmke & Sparks, 1996) و عناصر کم‌مصرف شامل آهن، منگنز، مس و روی به روش لیندسی و نرول (Lindsay & Norvell, 1978) تعیین گردید. آنالیز آماری داده‌ها و تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.20 و مقایسه میانگین نمونه‌ها نیز با آزمون T-test در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام گردید.

نتایج

برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک برداشت شده در دو موقعیت زیر سایه‌انداز گیاه و بین گیاه بر اساس عمق نمونه‌برداری در جدول ۱ نشان داده شده است. خاک‌های برداشت شده دارای ۳۱ تا ۴۴ درصد رس و ۹ تا ۱۳ درصد شن بودند. واکنش خاکها کمی قلیایی و مقدار کربنات کلسیم معادل آنها ۴۰ تا ۴۲ درصد بود. خاک‌ها دارای شوری کمتر از ۰/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر بودند و مقدار ماده آلی آنها نیز از ۰/۳ تا ۱/۴ درصد متغیر بود. ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک بین گیاه از ۱۳/۰ تا ۱۴/۸ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم و در خاک زیر گیاه از ۱۲/۸ تا ۱۶/۰ سانتی مول بار بر کیلوگرم متغیر بود. مقدار رطوبت نمونه‌های خاک کمتر از ۱۵/۱ درصد بود. مقدار عناصر قابل استفاده در نمونه‌های خاک در جدول ۲ آورده شده است. مقدار نیتروژن در خاک‌ها کمتر از ۰/۰۶ درصد بود. مقدار فسفر در خاک‌های بین گیاه و زیر گیاه به‌ترتیب ۱۶/۹-۲۱/۰ و ۱۸/۸-۲۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقدار پتاسیم در خاک‌ها تا ۵۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک سطحی می‌رسید. دامنه تغییرات آهن، منگنز، روی و مس به‌ترتیب ۵/۵-۶/۸، ۴/۵-۱۰/۶، ۰/۲۶-۰/۶۶ و ۱/۰۳-۱/۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک بر اساس موقعیت نسبت به گیاه و عمق.

موقعیت	عمق (سانتی‌متر)	شن (٪)	سیلت (٪)	رس (٪)	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	CEC ($cmol(+)\ kg^{-1}$)	کربنات‌ها (٪)	ماده آلی (٪)	رطوبت (٪)
بین گیاه	۲۰-۰	۹^{b}	۵۵^{a}	۳۶^{b}	۷/۴۱^{a}	۰/۱۶^{b}	۱۳/۰^{b}	۴۲^{a}	۱/۰^{b}	۶/۹^{c}
	۴۰-۲۰	۱۳^{a}	۴۴^{b}	۴۳^{a}	۷/۵۱^{a}	۰/۱۵^{b}	۱۴/۵^{a}	۴۱^{a}	۰/۳^{c}	۱۲/۶^{b}
	۶۰-۴۰	۱۳^{a}	۴۳^{b}	۴۴^{a}	۷/۴۸^{a}	۰/۱۶^{b}	۱۴/۸^{a}	۴۱^{a}	۰/۴^{c}	۱۵/۱^{a}
زیر گیاه	۲۰-۰	۱۲^{a}	۵۸^{a}	۳۱^{b}	۷/۵۴^{a}	۰/۱۹^{a}	۱۲/۸^{b}	۴۴^{a}	۱/۴^{a}	۷/۹^{c}
	۴۰-۲۰	۱۰^{ab}	۴۹^{b}	۴۱^{a}	۷/۵۹^{a}	۰/۱۹^{a}	۱۶/۰^{a}	۴۰^{a}	۰/۸^{b}	۱۰/۲^{b}
	۶۰-۴۰	۱۱^{ab}	۴۷^{b}	۴۳^{a}	۷/۵۳^{a}	۰/۱۸^{a}	۱۵/۰^{a}	۴۲^{a}	۰/۵^{c}	۱۲/۱^{b}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین ها با آزمون T-test در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۲- مقدار عناصر قابل استفاده در نمونه‌های خاک بر اساس موقعیت نسبت به گیاه و عمق.

موقعیت	عمق (سانتی‌متر)	نیتروژن (٪)	میلی‌گرم بر کیلوگرم					
			فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
بین گیاه	۲۰-۰	۰/۰۴^{b}	۲۱/۰^{a}	۳۲۰^{b}	۶/۴^{a}	۷/۱^{b}	۰/۴۷^{b}	۱/۰۹^{a}
	۴۰-۲۰	۰/۰۱^{c}	۱۶/۹^{b}	۲۵۳^{c}	۵/۷^{b}	۶/۰^{c}	۰/۳۶^{c}	۱/۰۳^{a}
	۶۰-۴۰	۰/۰۲^{bc}	۱۸/۷^{b}	۱۹۷^{d}	۵/۵^{b}	۴/۵^{d}	۰/۳۲^{c}	۱/۰۳^{a}
زیر گیاه	۲۰-۰	۰/۰۶^{a}	۲۲/۰^{a}	۵۸۷^{a}	۶/۶^{a}	۱۰/۶^{a}	۰/۶۶^{a}	۱/۰۸^{a}
	۴۰-۲۰	۰/۰۴^{b}	۱۹/۳^{b}	۳۰۰^{b}	۶/۸^{a}	۷/۸^{b}	۰/۵۰^{b}	۱/۱۲^{a}
	۶۰-۴۰	۰/۰۳^{bc}	۱۸/۸^{b}	۱۹۷^{d}	۶/۶^{a}	۶/۱^{c}	۰/۲۶^{c}	۱/۱۰^{a}

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین ها با آزمون T-test در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

بحث

بافت خاک تحت تأثیر عمق قرار گرفت طوری‌که افق‌های سطحی در خاک زیر سایه‌انداز گیاه و بین گیاه دارای مقدار رس کمتر و سیلت بیشتری نسبت به خاک‌های زیرسطحی بودند که این می‌تواند در نتیجه افزوده شدن ذرات سیلت حمل شده به‌وسیله باد به افق‌های سطحی باشد. منطقه مورد مطالعه دارای بادهای شدید فصلی بوده و از طرفی ذرات سیلت به دلیل اندازه ریزتر و بدون چسبندگی در معرض فرسایش بادی قرار می‌گیرند. مقدار شن، سیلت و رس در خاک زیر گیاه و بین گیاه تفاوت معنی‌داری نشان نداد. Ghazavi و همکاران (۲۰۱۲) نیز با مطالعه مناطقی از استان فارس که به صورت مصنوعی تحت کشت آتریپلکس قرار گرفته بودند نشان دادند که بافت خاک زیر گیاه آتریپلکس و بین گیاه تفاوت معنی‌داری نشان داد.

پ‌هاش خاک تحت تأثیر کشت A. lentiformis و عمق خاک قرار نگرفت و این موافق نتایج Ghazavi و همکاران (۲۰۱۲) برای گونه‌های مختلف غیربومی آتریپلکس می‌باشد. رحیمی زاده و همکاران (۱۳۸۹) بیان کردند که پ‌هاش خاک سطحی زیر آتریپلکس بیشتر از خاک زیرسطحی بود در حالی که در خاک‌های شاهد حالت عکس مشاهده گردید.

A. lentiformis سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی خاک در اعماق مختلف نسبت به خاک بین گیاه شد که این با نتایج Ghazavi و همکاران (۲۰۱۲)، جعفری و همکاران (۱۳۸۴)، محمدی و همکاران (۱۳۸۹) و رحیمی نژاد و همکاران (۱۳۹۶) برای گونه‌های مختلف غیربومی آتریپلکس مطابقت دارد. خطیر نامنی (۱۳۸۴) بیان می‌کند که تغییر شوری خاک به وسیله آتریپلکس بستگی به شرایط داشته و آتریپلکس جهت سازگار کردن محیط خاک برای رشد خود می‌تواند مقدار شوری خاک را افزایش و یا کاهش دهد. رحیمی زاده و همکاران (۱۳۸۹) بیان کردند که آتریپلکس سبب افزایش شوری

خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متر شده اما این تأثیر بر خاک عمقی (۲۰-۸۰ سانتی‌متر) معنی‌دار نبود. از دلایل افزایش شوری خاک در زیر A. lentiformis می‌توان به افزوده شدن املاح جذب شده از خاک در اعماق مختلف (بیش از ۶۰ سانتی‌متر) در بخش‌های هوایی گیاه اشاره کرد.

ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک سطحی کمتر از خاک‌های زیرسطحی بود که این به دلیل مقدار کمتر رس در خاک‌های سطحی است. A. lentiformis تأثیری بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نداشت. مقدار ماده آلی در خاک‌های سطحی به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌های زیرسطحی بود. خاک زیر A. lentiformis مقدار ماده آلی بیشتری نسبت به خاک بین گیاه داشت که این موافق نتایج جعفری و همکاران (۱۳۸۴) و رحیمی نژاد و همکاران (۱۳۹۶) می‌باشد.

مقدار رطوبت خاک تحت تأثیر عمق و وجود گیاه قرار گرفت. طوری که خاک‌های سطحی مقدار رطوبت کمتری نسبت به خاک‌های زیرسطحی داشتند. اگر چه خاک سطحی زیر A. lentiformis دارای رطوبت بیشتری نسبت به خاک سطحی بین گیاه بود اما برای خاک‌های زیرسطحی این وضعیت برعکس بود. این تفاوت به دلیل جذب رطوبت خاک به وسیله ریشه‌های A. lentiformis از خاک عمقی می‌باشد و این سبب خشک شدن سریع‌تر آنها می‌گردد. در حالی که خاک سطحی زیر A. lentiformis به دلیل عدم تابش مستقیم آفتاب و سایه گیاه دیرتر رطوبت خود را از دست می‌دهد.

مقدار نیتروژن، پتاسیم، منگنز و روی تحت تأثیر گیاه A. lentiformis قرار گرفت. Ghazavi و همکاران (۲۰۱۲) افزایش معنی‌داری در مقدار پتاسیم، منیزیم و سدیم در خاک زیر گیاه آتریپلکس نسبت به خاک بین گیاه گزارش کردند. به‌طورکلی خاک‌های سطحی زیر A. lentiformis دارای نیتروژن، پتاسیم، منگنز و روی بیشتری نسبت به خاک‌های سطحی بین گیاه بودند. از نظر مقدار فسفر، آهن و مس تفاوتی بین خاک سطحی زیر گیاه و بین گیاه مشاهده نشد. تأثیر گیاه A. lentiformis بر مقدار عناصر غذایی در خاک‌های زیر سطحی نیز مشهود بود. به‌طورکلی مقدار نیتروژن، پتاسیم، آهن، منگنز و روی در خاک‌های زیر گیاه در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متر بیشتر از مقدار آنها در خاک‌های همان عمق بین گیاه بود. مقدار آهن و منگنز در خاک‌های زیر گیاه در عمق ۴۰-۶۰ سانتی‌متر نیز بیشتر از مقدار آنها در بین گیاه در همان عمق بود. جعفری و همکاران (۱۳۸۴) و خطیر نامنی (۱۳۸۴) افزایش معنی‌دار در مقدار پتاسیم و فسفر در خاک زیر گیاه آتریپلکس نسبت به خاک بین گیاه گزارش کردند. مقدار عناصر غذایی تحت تأثیر عمق نیز قرار گرفت. در بین گیاه مقدار همه عناصر به جز مس با افزایش عمق کاهش یافت. در خاک‌های بین گیاه نیز با افزایش عمق مقدار همه عناصر به‌جز آهن و مس کاهش معنی‌دار نشان داد.

ارتباط معنی‌داری بین مقدار عناصر قابل استفاده گیاه و برخی ویژگی‌های خاک به‌دست آمد (جدول ۳). نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، منگنز و روی ارتباط معنی‌داری با مقدار رس و ماده آلی داشتند. با کاهش مقدار رس و یا افزایش ماده آلی مقدار عناصر مورد اشاره افزایش یافت. همه عناصر (به‌جز روی و مس) ارتباط مثبت با قابلیت هدایت الکتریکی و منفی با مقدار رطوبت خاک نشان دادند. ارتباط معنی‌داری بین مقدار مس و ویژگی‌های خاک به دست نیامد. ماده آلی از راه‌های مختلف می‌تواند بر قابلیت استفاده عناصر غذایی اثر بگذارد که عبارتند از تغییر پ‌هاش، معدنی شدن عناصر موجود در آن و یا کلات کردن عناصر به وسیله ملکول‌های کمپلکس کننده (Havlin *et al.*, 1999). با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار در مقدار پ‌هاش خاک‌های مورد مطالعه انتظار ارتباط بین مقدار پ‌هاش و ماده آلی نمی‌رود. به هر حال آزاد شدن عناصر از مواد آلی و خاصیت کلات کنندگی ماده آلی می‌تواند بر قابلیت استفاده عناصر غذایی اثر بگذارد. ارتباط بین قابلیت هدایت الکتریکی و قابلیت استفاده عناصر نیز به‌صورت غیرمستقیم متأثر از ارتباط قابلیت هدایت الکتریکی با ماده آلی می‌باشد. در واقع با افزودن مواد آلی به خاک و در نتیجه آزاد شدن عناصر معدنی موجود در آن، شوری خاک نیز افزایش می‌یابد. رطوبت خاک نیز متأثر از مقدار رس بوده و با افزایش رس مقدار آن افزایش می‌یابد و بنابراین به صورت غیرمستقیم بر قابلیت استفاده عناصر اثر می‌گذارد.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عناصر قابل استفاده و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

عناصر خاک	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
رس	-۰/۹۳۱**	-۰/۶۲۳**	-۰/۸۹۶**	-۰/۳۶۴	-۰/۷۸۷**	-۰/۵۹۰**	-۰/۰۷۷
ماده آلی	۰/۹۸۵**	۰/۵۵۵*	۰/۸۲۴**	۰/۵۵۴*	۰/۷۶۸**	۰/۶۱۴**	۰/۲۴۲
رطوبت	-۰/۸۳۷**	-۰/۵۱۹*	-۰/۶۷۳**	-۰/۵۲۰*	-۰/۶۳۴**	-۰/۴۶۵	-۰/۳۱۱
EC	۰/۴۹۳*	۰/۵۰۲*	۰/۴۱۶	۰/۴۹۵*	۰/۷۱۸**	۰/۳۹۲	۰/۲۶۱

** و * به ترتیب نشان دهنده سطح احتمال ۰/۰۱ و ۰/۰۵ می باشند.

نتیجه‌گیری

تأثیر کاشت گونه غیربومی A. lentiformis بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و قابلیت استفاده عناصر خاک نشان داد که این گونه سبب افزایش مقدار ماده آلی و قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌های سطحی و زیرسطحی زیر گیاه شد که هر دو عامل در نتیجه افزوده شدن بقایای گیاهی به خاک می‌باشد. برخی ویژگی‌های خاک مانند بافت، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل و پ‌هاش تحت تأثیر گیاه قرار نگرفت. در واقع جذب کاتیون‌های مختلف از جمله کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم از اعماق مختلف خاک توسط ریشه گیاه و سپس افزوده شدن آن به خاک سطحی و آزاد شدن آنها در نتیجه تجزیه مواد آلی سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک می‌شود. گونه A. lentiformis تأثیر معنی‌داری بر قابلیت استفاده عناصر خاک‌های سطحی و زیرسطحی داشت طوری‌که مقدار نیتروژن، پتاسیم، منگنز و روی در خاک سطحی و زیرسطحی افزایش نشان داد. ارتباط معنی‌داری بین قابلیت استفاده عناصر مختلف خاک و مقدار ماده آلی به دست آمد که این نشان از تأثیر قابل توجه ماده آلی در بهبود خصوصیات حاصلخیزی خاک به‌وسیله این گونه دارد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که گونه A. lentiformis با توجه به مواد آلی زیادی که تولید می‌کند می‌تواند سبب بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش قابلیت استفاده عناصر مورد نیاز گیاه گردد اما افزایش شوری خاک به‌وسیله این گونه هم در مدیریت احیای مراتع به‌وسیله این گونه باید مد نظر قرار داد.

فهرست منابع

جعفری، م.، رسولی، ب.، عرفان زاده، ر. (۱۳۸۴). بررسی تاثیر کشت گونه های تاغ، آتریپلکس و گز بر خصوصیات خاک در مسیر بزرگراه تهران – قم. منابع طبیعی ایران ۵۸(۴). ۹۲۱-۹۳۱.

خطیرنامنی، ج. (۱۳۸۴). بررسی تاثیر آتریپلکس بر خاک مراتع استان گلستان. تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۲(۳). ۳۱۱-۳۳۴.

رحیمی زاده، ا.، فرزادمهر، ج.، رستاقی، ع. ا.، رمضانی گسک، م. (۱۳۸۹). مقایسه تاثیر کاشت گونه های تاغ و آتریپلکس، بر خصوصیات پوشش گیاهی و خاک مراتع دشت سلم آباد سربیشه. تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده ۱(۲). ۱-۱۳.

رحیمی نژاد، ف.، ساغری، م.، رستم پور، م.، فروغی فر، ح. (۱۳۹۶). مقایسه برخی خصوصیات خاک زیر اشکوب گیاه بومی Salsola yazdiana Assadiبا گیاه غیربومی Atriplex lentiformis Breweri در مراتع نیمه بیابانی (مطالعه موردی: مراتع شهرستان طبس). تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۲۴(۱). ۸۹-۹۷.

محمدی، ر.، حشمتی، غ. ع.، ناصری، ک.، میرشاهی، م. ح. (۱۳۸۹). بررسی اثر کاشت آتریپلکس کانسنس (Atriplex canescens)بر غنا، تنوع گونه ای و خاک (بررسی موردی: منطقه عباس آباد مشهد). مرتع و آبخیزداری ۶۳(۴). ۵۱۵-۵۲۷.

Banaei, M. H. (1998). Soil Moisture and Temperature Regime Map of Iran. Soil and Water Research Institute, Ministry of Agriculture, Iran.

Bremner, J. M. (1965). Total nitrogen. 1149-1178. In: Black, C. A., et al. (Eds). Methods of soil analysis. Am. Soc. Agron., Madison, WI.

Chapman, H. D. (1965). Cation exchange capacity. 891-901. In: Black, C. A., (Eds). Methods of soil analysis. Part 2. Madison (WI): American Society of Agronomy.01.

Eskandari, N., Alizade, A., Mahdavi, F. (2008). Policies of range management in Iran. 1st ed. Pone Publishing, Iran, ISBN: 978-964-6931-93-0.

Ghazavi, R., Vali, A. Najafi-Ghiri, M. (2012). Differences in soil properties and vegetation cover in an arid environment revegetated with Atriplex lentiformis: A case study. *Arid land research and management*, 26(4): 355-364.

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., Nelson, W. L. (1999). Soil fertility and fertilizers. Prentice-Hall International (UK) Limited, London.

Helmke, P. A., Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. 551-574. In: Sparks, D. L., (Ed.). Methods of Soil Analysis, part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.

Lindsay, W. L., Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*, 42: 969-974.

Nelson, D. W., Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. 961-1010. In: Sparks, D. L., (Ed.). Methods of Soil Analysis, Part III, 3rd Ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI.

Olsen, S. R., Kole, C. W., Wantanabe, F. S., Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Circular. US Dept. of Agriculture, p. 939.

Rowell, D. L. (1994). Soil Science: Methods and applications. Longman Scientific and Technical, UK.

Salinity Laboratory Staff (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook No. 60. Washington (DC): United States Department of Agriculture (USDA).

Effect of Atriplex lentiformis cultivation on some physicochemical soil properties

Mahdi Najafi-Ghiri[1], Hamid Reza Boostani[2], Ali Reza Mahmoodi[3], Rokhsareh Moradi-Alamdarloo[4], Faeze Zarei[4]

[1]Associate Professor of Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Corresponding author, Email: mnajafighiri@yahoo.com

[1]Associate Professor of Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

[3]Assistant Professor of Range and Watershed Management Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

[4]B. Sc. Graduated of Range and Watershed Management Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University

Abstract

Atriplex lentiformis is one of the resistant species to drought and salinity that is planted in some rangelands of Darab region, southern Fars. Revegetation of rangeland with this non-native shrub may affect soil properties and soil nutrients availability. A rangeland in Darab region (southern Fars) that revegetated with Atriplex lentiformis was selected, and soil samples from different depths including 0-20, 20-40 and 40-60 cm under plant canopy and between plants were randomly collected. Plant samples were also collected from aerial parts of the shrubs. Different physicochemical soil properties, soil nutrients availability and nutrients content in the aerial parts of the plant were determined. A. lentiformis increased EC and organic matter content of surface and subsurface soils. The availability of N, K, Mn and Zn in soils of canopy was more than soils of between plants and a positive and significant relationship was observed between soil nutrient availability and organic matter content. The contents of N, P, K, Ca, Mg and Na in the aerial parts of the plants were 2.39, 0.13, 2.5, 2.8, 0.58 and 3%, respectively and the contents of Fe, Mn, Zn and Cu was also were 90, 56, 22 and 11 mg kg-1, respectively. Generally, it is concluded that A. lentiformis due to organic matter addition to soil may improve soil fertility and increase plant nutrient availability, but it also increases soil salinity and replaces the native plant species to halophyte species.

Keywords: soil moisture; sodium; plant nutrients; electrical conductivity; organic matter

اثر فشردگی خاک بر نفوذ تجمعی آب در یک خاک آهکی در تناوب گندم–ذرت

چکیده

به‌منظور بررسی اثر فشردگی خاک بر میزان نفوذ آب در یک خاک آهکی و در تناوب گندم-ذرت، پژوهشی مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۶ به‌صورت کرت‌های یک‌بار خُرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در زرقان، استان فارس اجرا گردید. فاکتور اصلی خاک‌ورزی با سه روش شخم رایج، کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی و فاکتور فرعی شامل بقایای گیاهی گندم و ذرت با دو سطح حذف و حفظ ۳۰ درصد بقایا بود. در تناوب گندم-ذرت، عملیات کم خاک‌ورزی و حفظ بقایا منجر به کاهش فشردگی خاک و افزایش نفوذ تجمعی آب در خاک شد. در مقابل، بیشترین فشردگی خاک به‌ویژه در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری (بیش از ۱/۳۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و کمترین نفوذ تجمعی آب در خاک (کمتر از ۱۰ سانتی‌متر در ۱۵۰ دقیقه) در سامانه بی خاک‌ورزی به دست آمد. به‌طور کلی، جایگزین کردن سامانه کم خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج و حفظ بقایا می‌تواند موجب کاهش فشردگی خاک و بهبود نفوذ تجمعی آب در خاک به‌ویژه در تناوب گندم-ذرت گردد.

واژگان کلیدی: حفظ بقایا، فشردگی خاک، کم خاک‌ورزی، نفوذ تجمعی آب.

مقدمه

فرآیند نفوذ آب در خاک از پارامترهای مهم در طراحی سامانه‌های آبیاری، مطالعات هیدرولوژی، مدیریت منابع آب، حفاظت خاک، طراحی و اجرای پروژه‌های زهکشی و تخمین مقدار آب مورد نیاز گیاهان می‌باشد. فرآیند نفوذ آب به خاک تابع عواملی مانند بافت و ساختمان خاک، رطوبت خاک، کیفیت آب، دمای آب و خاک، قابلیت پراکندگی ذرات سطح خاک و پوشش گیاهی می‌باشد که تغییرپذیری زمانی و مکانی آن‌ها موجب تفاوت در میزان نفوذ آب در خاک‌های مختلف می‌شود (Ghorbani Dashtaki *et al*., 2009). رمضانی و همکاران (Ramazani *et al*., 2012) نشان دادند که با کاهش تردد ماشین آلات خاک‌ورزی در خاک مقدار خلل و فرج درشت و هم‌چنین درصد جریان آب در خاک افزایش می‌یابد. لیتچ و الکایسی (Licht and Al-Kaisi, 2012) نشان دادند که خاک‌ورزی به دلیل شکستن حفرات درشت و فشرده کردن حفرات ریز، نفوذ آب به خاک را کاهش می‌دهد. بنابراین تغییر روش خاک‌ورزی از روش‌های رایج به روش‌های حفاظتی اجتناب ناپذیر است. اثر مثبت خاک‌ورزی حفاظتی بر قدرت نگهداری آب خاک و بهبود ساختمان خاک توسط سایر محققان گزارش شده است. فان و همکاران (Fan *et al*., 2013) نشان دادند که شدت نفوذ آب به خاک در سامانه بی‌خاک‌ورزی از ۱/۶ تا ۲/۱ و مقدار آب نفوذ یافته از ۱/۴ تا ۲ برابر بیشتر از سامانه خاک‌ورزی رایج بود که احتمالا دلیل آن افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و موجودات مفید خاکزی و ایجاد خلل و فرج درشت در خاک می‌باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اثرات روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر فشردگی خاک و نفوذ آب در تناوب گندم-ذرت در زرقان استان فارس بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش به صورت کرت‌های یک‌بارخرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی (۱۳۹۶-۱۳۹۸) در مرکز تحقیقات کشاورزی زرقان، فارس، در ۳ تکرار اجرا شد. فاکتور اصلی شامل شامل روش‌های خاک‌ورزی در سه سطح (خاک‌ورزی رایج (شخم با گاوآهن برگردان‌دار، دیسک و تراز کردن به وسیله‌ی ترازکننده کششی)، کم خاک‌ورزی (یک بار

استفاده از خاک‌ورز مرکب متشکل از پنجه غازی و روتاری) و بی خاک‌ورزی (بدون هیچ‌گونه عملیات شخم یا خاک‌ورزی) و مدیریت بقایای گیاهی در دو سطح (حفظ و حذف تمام بقایای از سطح خاک) به عنوان فاکتور فرعی بود. بافت خاک مزرعه از نوع لُوم رُس سیلتی بود. برای کشت گندم (رقم چمران) از خطی کار کشت مستقیم (بذرکار-کودکار اسفوجیا، ۱۷ ردیفه، عرض کار سه متر و شیار بازکن دیسکی) و برای کشت ذرت (هیبرید سیگل کراس ۷۰۴) از ردیف کار کشت مستقیم (ردیفکار برتینی، پنج ردیفه و با عرض کار سه متر) استفاده گردید. ابعاد هر کرت فرعی ۲۰×۶ متر با فاصله دو متر از یکدیگر در نظر گرفته شد. فرآیند نفوذ آب به خاک با استفاده از روش استوانه‌های دوگانه (مضاعف) پس از برداشت هر گیاه زراعی و با ۳ تکرار انجام شد (۵۴ تست نفوذ) که جمعا برای هر دو محصول گندم و ذرت ۱۰۸ تست نفوذ مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری نفوذ استوانه‌ها به صورت هم‌مرکزحدود ۱۵ سانتی‌متر در خاک فرو رفتند. سپس بین دو استوانه و درون استوانه داخلی آب ریخته شد و میزان نفوذ آب به خاک (حجم آب نفوذ یافته به خاک) در طول آزمایش از زمان شروع آزمایش تا دقیقه دوم آزمایش در فواصل زمانی ۱۵ ثانیه، از دقیقه دوم تا دقیقه دهم با فاصله زمانی یک دقیقه و پس از آن در فواصل زمانی مناسب تا رسیدن به شرایط پایدار ثبت شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3 انجام گرفت و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد و جهت رسم شکل‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

نتایج و بحث

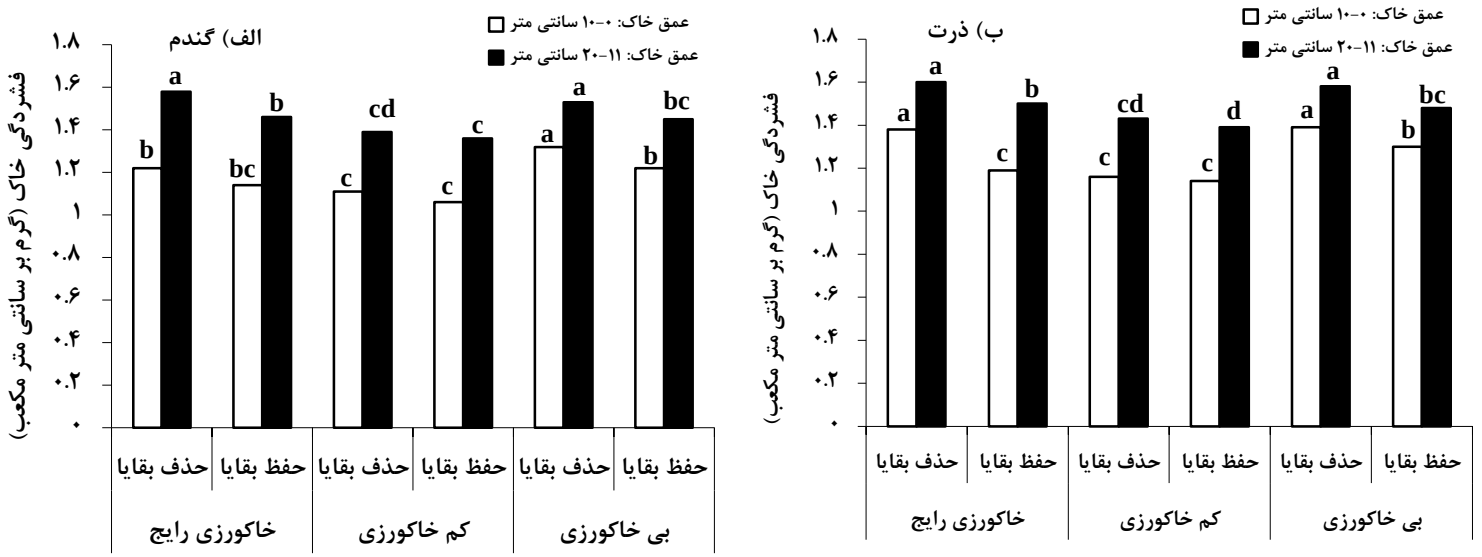
در تناوب گندم-ذرت، از میزان فشردگی خاک با کاهش تردد ماشین آلات در سامانه‌های کم خاک‌ورزی و بی خاک-ورزی در طی عملیات خاک‌ورزی، کاشت و کوددهی کاسته شد. در کشت گندم، کمترین فشردگی خاک (۱/۰۶ و ۱/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب به ترتیب در عمق ۰-۱۰ و ۱۱-۲۰ سانتی‌متر) در سامانه کم خاک‌ورزی و حفظ بقایای ذرت به دست آمد (شکل ۱ الف). به‌طور مشابه، عملیات کم خاک‌ورزی و نگهداری بقایای گندم منجر به کاهش فشردگی خاک در کشت ذرت شد اما میزان فشردگی خاک در مقایسه با کشت گندم به‌طور متوسط در هر دو عمق خاک ۴/۵ درصد بیشتر بود (شکل ۱ ب). در هر دو حالت حذف و یا حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک با گذشت زمان از شروع فرآیند نفوذ، اختلاف میان نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده در سامانه‌های خاک‌ورزی افزایش یافت. به‌طور کلی، در شرایط حفظ بقایا میزان نفوذ تجمعی آب در خاک به مراتب بیشتر از حذف بقایا در تناوب گندم-ذرت بود. در شرایط حذف بقایا، به ترتیب بیشترین و کمترین میزان نفوذ تجمعی در تناوب گندم-ذرت در سامانه کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی حاصل شد (شکل ۲ الف و ج). در مقابل، در شرایط حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک بیشترین میزان نفوذ تجمعی در سامانه کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی رایج مشاهده شد که نسبت به میزان نفوذ آب به خاک در سامانه بی خاک‌ورزی تفاوت محسوسی داشت (شکل ۲ ب و د). لیپیک (Lipiec, 2009) بیان کردند که فشردگی خاک در زمین‌های کشاورزی که عمدتا به وسیله عبور ماشین آلات سنگین در طی عملیات خاک‌ورزی ایجاد می‌شود می‌تواند اثر منفی بر مقدار خلل و فرج درشت و فشرده کردن حفرات ریز در خاک داشته باشد. لیتچ و الکایسی (Licht and Al-Kaisi, 2012) نشان دادند که خاک‌ورزی رایج به دلیل شکستن حفرات درشت و فشرده کردن حفرات ریز، نفوذ آب به خاک را کاهش می‌دهد. بنابراین تغییر روش خاک‌ورزی از روش‌های رایج به روش‌های حفاظتی اجتناب ناپذیر است.

با توجه به متفاوت بودن میزان بهم خوردگی خاک و مدیریت بقایای گندم در روش‌های مختلف خاک‌ورزی، متفاوت بودن میزان نفوذپذیری خاک در برابر آب قابل توجیه می‌باشد. احتمالا دلیل افزایش نفوذ آب به خاک در سامانه‌های کم خاک‌ورزی و خاک‌ورزی رایج نسبت به سامانه بی خاک‌ورزی به ویژه در خاک‌های نیمه سنگین و سنگین، انجام عملیات

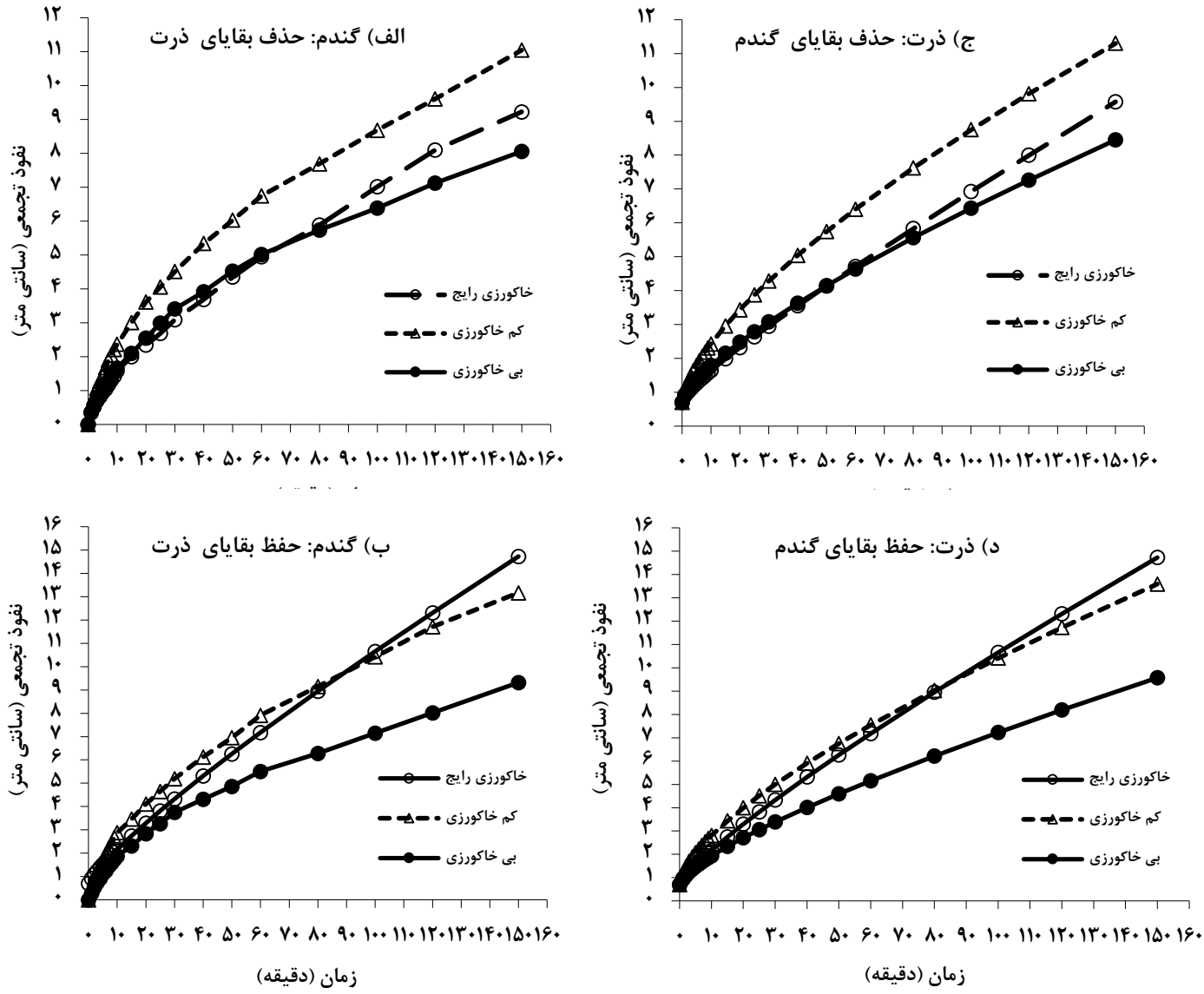
خاک‌ورزی و به هم خوردن خاک باشد که نقش مثبتی بر افزایش نفوذ آب دارد. اما در بلندمدت انجام عملیات خاک‌ورزی رایج همراه با حذف بقایا نیز می‌تواند منجر به کاهش نفوذپذیری شود که دلیل آن افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک و تشکیل لایه سخت در خاک می‌باشد. در مقابل، ایجاد لایه سخت رویی خاک به دلیل عدم روش بی خاک‌ورزی در کوتاه مدت باعث کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود. بنابراین در کم خاک‌ورزی هدایت هیدرولیکی خاک به دلیل به هم خوردن خاک و ایجاد شکاف‌های سطحی در خاک و هم‌چنین کاهش تردد ماشین آلات خاک‌ورزی افزایش یافته و منجر به بهبود نفوذپذیری خاک در بلند مدت می‌شود که با نتایج میرزاوند و همکاران (Mirzavand *et al*., 2016) و افضلی‌نیا و کرمی (Afzalinia and Karami, 2018) هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد بیشترین فشردگی خاک به‌ویژه در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری (بیش از ۱/۳۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و کمترین نفوذ تجمعی آب در خاک (کمتر از ۱۰ سانتی‌متر در ۱۵۰ دقیقه) در سامانه بی خاک‌ورزی حاصل شد. بنابراین، جایگزین کردن سامانه کم خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج و حفظ بقایا می‌تواند موجب کاهش فشردگی خاک و بهبود نفوذ آب در خاک به‌ویژه در تناوب گندم-ذرت گردد.



شکل۱. اثر روش‌های خاک‌ورزی در شرایط حفظ و یا حذف بقایا بر فشردگی خاک در تناوب گندم-ذرت (ستون‌های با حروف مشابه بر اساس ازمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند)



در تناوب گندم-ذرت (میانگین نقاط اندازه‌گیری شده در هر آزمایش)

منابع

Afzalinia, S., Karami, A.D. (2018). Effect of conservation tillage on soil properties and corn yield in the corn-wheat rotation. *Iranian Journal of Biosystem Engineering*, 49(1), 129-137. (In Persian).

Fan, R., Zhang, X., Yang, X., Liang, A., Jia, S., Chen, X. (2013). Effects of tillage management on infiltration and preferential flow in a black soil, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 23, 312-320.

Ghorbani-Dashtaki, S., Homaee, M., Mahdian, M.H., Kouchakzadeh, M. (2009). Site-dependence performance of infiltration models. *Water Resource Management*, 23, 1573-1650. (In Persian).

Licht, M., Al-Kaisi, M. (2012). Less tillage for more water. Integrated Crop Management News, Iowa State University Extension and Outreach, Department of Agronomy.

Lipiec, B.U.J. (2009). Spatial distribution of soil penetration resistance as affected by soil compaction: The fractal approach. *Ecological Complexity*, 3, 256-271.

Mirzavand, J., Moosavi, S.A.A., Sameni, A.M., Afzalinia, S., Karimian, N.A. (2016). Effects of soil tillage systems and plant residue managementon unsaturated hydraulic conductivity of soil in wheat-corn rotation. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(3), 131-150. (In Persian).

Ramazani, N., Barzegar, A.R., Sayyad, G., Haghnia, G.H., Mansuri, Y. (2012). Effect of compaction on physical and hydraulic properties of a loamy soil. *Journal of Water and Soil*. 26, 214-225. (In Persian).

Effects of Bulk Density on Water Infiltration in a Calcareous Soil under Wheat-Corn Rotation

Abstract

Field experiment was conducted in 2016 in Zarghan, Fars province to evaluate the effects of bulk density (BD) on cumulative water infiltration (CWI) in a calcareous soil under wheat-corn cropping system based on split plot with three replications. Treatments were, tillage (Conventional tillage, CT; Reduced tillage, RT; No Tillage, NT) as main plots, and with and without crop residue (at 30% residue retained and removed) as sub plots. Under wheat-corn rotation, applying RT with crop residue retention were tended to be decrease BD and increase CWI. In contrast, NT method had higher BD at 0-10 cm soil depth (up to 1.32 Mg m^{-3}), thereby lower CWI (less than 10 cm/150 min). Our research has shown that replacing RT with CT method with crop residue retention can greatly decrease BD and improve CWI under wheat- and corn in a rotation.

Keywords: Cumulative Water Infiltration, Residue Retention, Reduced Tillage, Soil Compaction.

تأثیر طولانی مدت مواد آلی مختلف بر خصوصیات فیزیکی خاک تحت شرایط مزرعه‌ای

مهدی بهشتی*[۱]، کریم شهبازی[۲]، مصطفی مارزی[۲]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، m.beheshti@ut.ac.ir (نویسنده مسئول).

۲- به ترتیب دانشیار و محقق موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

چکیده

مواد آلی به علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیریکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند به عنوان یکی از ارکان مهم حاصلخیزی خاک‌ها شناخته می‌شوند. به علت پایین بودن ماده آلی در خاک‌های استان البرز آزمایشی به صورت کاملاً تصادفی در شرایط مزرعه‌ای برای بررسی تأثیر مواد آلی مختلف شامل کمپوست، ورمی کمپوست و کود گاوی بر خصوصیات فیزیکی خاک در یک بازه زمانی چهار ساله طراحی گردید. نتایج نشان داد کاربرد تیمارهای مواد آلی باعث بهبود خصوصیات فیزیکی مانند ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s)، چگالی ظاهری، و پایداری خاکدانه خشک و تر شد. مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع در تیمار کمپوست ۷۰۰ درصد نسبت به کرت شاهد افزایش نشان داد. تیمار ورمی‌کمپوست پایداری الک تر را از ۰/۳۳ در کرت شاهد به ۰/۷۲ میلی‌متر افزایش داد که این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار بود. بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد که مصرف کودهای آلی به خصوص به شکل کمپوست و ورمی کمپوست اثرات مثبت و مفیدی بر خصوصیات فیزیکی خاک داشته که خود منجر به حفظ سلامت و تولید پایدار در دراز مدت خواهد شد.

واژگان کلیدی: مواد آلی، کمپوست، کود گاوی، ورمی کمپوست.

مقدمه

بقایای آلی مختلف ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی دارند، بنابراین اکوسیستم خاک را به روش‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهند. مطالعه تأثیر این مواد بر خصوصیات خاک ضروری است تا بتوان از پتانسیل آنها به عنوان اصلاح کننده و برای جلوگیری از آثار نامطلوب زیست محیطی برخی فرآیندها در خاک بهره گرفت. تغییر مواد آلی خاک به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، نه تنها تاثیر مستقیمی بر عرضه پایدار نیتروژن و سایر عناصر ضروری گیاهان داشته (De Clercq et al., 2015; Hue, Uehara, Yost, & Ortiz-Escobar, 2007)، بلکه عامل مؤثر در کیفیت خاک مانند ظرفیت نگهداری آب، نفوذپذیری، تهویه مناسب است (Pete Smith et al., 2012). با توجه به کمبود مواد آلی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک، کاربرد ترکیبات آلی نظیر کودهای حیوانی و کمپوست عامل مدیریتی مهم و مؤثر بر کیفیت خاک و بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و باروری خاک به حساب می‌آید (Peter Smith, 2002). اندک بودن مقدار ماده آلی خاک و همچنین تنش‌های خشکی، باعث ایجاد مشکلات فیزیکی، شیمیایی، تغذیه‌ای و به ویژه بیولوژیک در خاک‌های این مناطق گردیده که به تدریج، باعث کاهش حاصلخیزی و کیفیت خاک می‌شود (Raiesi, 2006). بعلاوه، استفاده از اصلاح‌کننده‌ها و کودهای آلی با گسترش رویکرد کشاورزی اورگانیک و حتی در میان کشاورزان سنتی هم افزایش یافته است (Hartz, Mitchell, & Giannini, 2000). با وجود مطالعاتی در مورد تجزیه مواد آلی و معدنی شدن کربن و نیتروژن در ایران، تاکنون تأثیر طولانی مدت مواد آلی مختلف بر خصوصیات فیریکی در خاک‌های کشاورزی کشور مورد مطالعه قرار نگرفته است. درک این تغییرات در توصیف سیستم‌های مختلف و همچنین مقایسه سیستم‌هایی که از نظر کمیت و کیفیت نهاده‌های مصرفی متفاوت هستند، می‌تواند بسیار مفید باشد. تحقیق حاضر تحت شرایط مزرعه‌ای در استان البرز با هدف بررسی روند تغییرات بلند مدت خصوصیات فیزیکی لایه سطحی خاک تحت تأثیر منابع مختلف کربن آلی خاک طراحی و انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

اجرای آزمایش

تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقاتی موسسه خاک و آب واقع در استان البرز طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۲ به مدت ۴ سال (از آذر ۱۳۹۲ تا آذر ۱۳۹۶) انجام شد. قبل از اعمال تیمارها، نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از مکان اجرای طرح تهیه و ویژگی‌های فیزیکی آن اندازه‌گیری شد. سه منبع کود آلی که از منابع آلی عمده مورد مصرف در اراضی مزروعی استان البرز بود آماده و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی و مقادیر مصرف آنها در جدول (۱) و ویژگی‌های شیمیایی آنها در جدول (۲) نشان داده شده است. تیمارهای آزمایشی در دو تکرار در کرت‌هایی به طول ۳ متر و عرض ۳ متر اعمال گردید. ابتدا خاک کرت‌ها تا عمق ۳۰ سانتیمتری کاملاً نرم شده و ماده آلی با خاک تا این عمق بطور یکنواخت، کاملاً مخلوط گردید. قبل از مصرف، کودهای آلی آسیاب شده، سپس از الک دو میلیمتری عبور داده شدند. مبارزه با علف‌های هرز در طول مدت انجام آزمایش بصورت مکانیکی انجام شد.

آنالیز آزمایشگاهی

خصوصیات فیزیکی خاک مثل جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه (Blake & Hartge, 1986)، هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان (A1 Klute & Dirksen, 1986)، ظرفیت زراعی در فشار KPa ۳۳- و نقطه پژمردگی دائم در فشار KPa ۱۵۰۰- در نمونه دست نخورده اندازه‌گیری گردید (Arnold Klute, 1986). پایداری خاکدانه الک تر و خشک به روش (Gee & Bauder, 1986) محاسبه گردید. خشک‌کردن نمونه‌های خاک در سریعترین زمان ممکن صورت گرفت تا از تغییرات شدید کربن آلی در اثر فعالیت‌های میکروبی جلوگیری شود. در صورتی‌که امکان خشک‌کردن سریع نمونه‌ها بدلیل شرایط جوی وجود نداشت از آون با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد برای خشک کردن خاک استفاده گردید. در کودهای آلی مورد استفاده، درصد رطوبت، اسیدیته (pH)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی، نیتروژن، نسبت C:N، فسفر، پتاسیم اندازه‌گیری شدند (Shahbazi, Davoodi, 2019). میانگین نتایج ویژگی‌های شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های اصلی (C، N و نسبت C/N) و مقدار مصرف تیمارهای آزمایشی

منبع کود آلی	بر اساس وزن خشک g.kg^{-1} (OM)			g.kg^{-1} خاک خشک	Field dose (t.ha^{-1})
	C	N	C:N	کربن اضافه شده	نیتروژن اضافه شده	
کود گاوی	۱۵۰/۵	۱۱/۲	۱۳/۴۴	۵/۴۱	۰/۴	۱۴۹
ورمی‌کمپوست	۱۹۴/۸	۱۳/۸	۱۴/۱۲	۱۳/۰۷	۰/۹۳	۲۷۸
کمپوست	۱۱۵/۸	۱۳/۳	۸/۷۱	۸/۳	۰/۹۵	۲۹۷

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده در کرت‌های آزمایشی

منبع کود آلی	OC	N	P	K	EC(1:5) (dS.m^{-1})	pH(1:5)	رطوبت (٪)
	%						
کود گاوی	۱۵/۰۵	۱/۱۲	۰/۶۷	۱/۲۲	۵/۲*	۸/۱۳	۵/۱۱
ورمی‌کمپوست	۱۹/۴۸	۱/۳۸	۰/۶۵	۰/۲۶	۰/۵۵	۷/۵۳	۱۱/۳۴
کمپوست	۱۱/۵۸	۱/۳۳	۰/۴۴	۰/۸۳	۸/۱۸	۷/۶۳	۹/۴۶

* اعداد میانگین دو تکرار می‌باشد.

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

عمق (cm)	ECe ($dS.m^{-1}$)	pH	N (%)	OC (%)	CEC ($Cmolc^{+}.kg^{-1}$)
۰-۳۰	۰/۱۲۵	۸/۷	۰/۰۳	۰/۴	۰/۱۵

* اعداد میانگین دو تکرار می‌باشد.

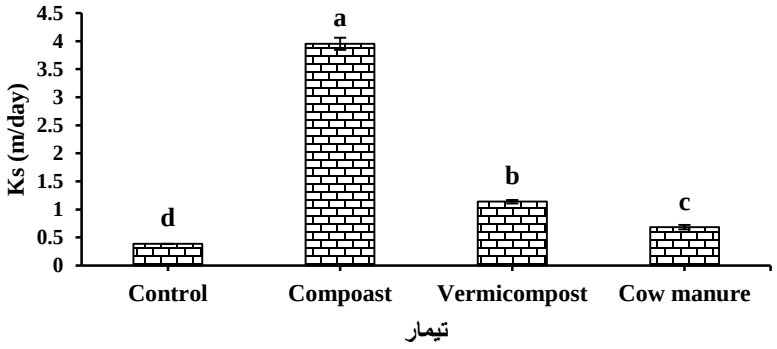
تجزیه و تحلیل داده‌ها

این آزمایش در غالب در طرح کاملاً تصادفی در ۲ تکرار در مزرعه انجام شد. تیمارها شامل کرت شاهد، کود گاوی، ورمی‌کمپوست و کمپوست بود. از نرم افزار SPSS 24 برای تعیین میانگین، انحراف معیار و مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ٪۵ استفاده شد. برای بدست آوردن همبستگی بین پارامترهای مختلف از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج و بحث

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (Ks)

هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در ۱۱۸۵ روز پس شروع آزمایش اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که بیشترین آبگذری مربوط به تیمار کمپوست با ۳/۹۵ m/day می‌باشد. پس از آن تیمار ورمی‌کمپوست و کودگاوی به ترتیب با ۱/۱۴ و ۰/۶۹ m/day آبگذری بیشتری نسبت به کرت شاهد را نشان دادند. بین تیمارهای مختلف از لحاظ آماری ($P<0.05$) در مقدار هدایت هیدرولیکی اختلاف معنی‌داری وجود داشت (شکل ۱). با توجه به ماده آلی کمتر در کود کمپوست استفاده شده و کاربرد بیشتر آن این امر طبیعی می‌باشد. تیمارهای کمپوست و ورمی کمپوست نسبت به کود دامی در برابر تجزیه مقاومتر بوده و سطح ماده آلی خاک را بالاتر نگه داشته و ماده آلی باعث افزایش خلل و فرج درشت در خاک گردیده است. ماده آلی یکی از ارکان کلیدی کیفیت خاک می‌باشد که بر خاکدانه‌سازی تأثیر می‌گذارد و باعث افزایش نفوذپذیری خاک می‌شود (Franzluebbers, 2002). کاربرد کمپوست زباله شهری+ لجن فاضلاب به میزان ۳۹، ۷۸ و ۱۵۶ ton/ha در خاک لومی باعث افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به ترتیب به میزان ۳۲، ۵۳ و ۹۵/۲ درصد نسبت به کرت شاهد شد و در خاک رسی باعث افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به میزان ۵۵/۳، ۹۷/۴ و ۱۶۸/۴ درصد نسبت به کرت شاهد شد (Aggelides & Londra, 2000).

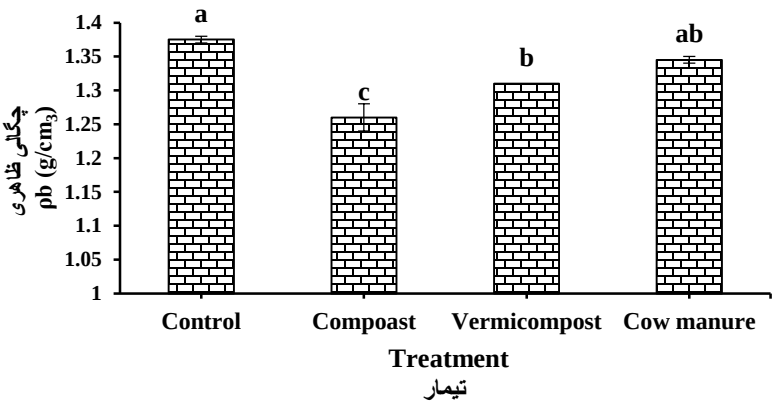


شکل ۱- هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (میانگین ± انحراف معیار).

جرم مخصوص ظاهری خاک (ρb)

جرم مخصوص ظاهری در انتهای آزمایش یعنی در روز ۱۴۷۵ اندازه‌گیری گردید. کمترین جرم مخصوص ظاهری در تیمار کمپوست مشاهده شد که با نتایج هدایت هیدرولیکی مطابقت دارد و بیشترین جرم مخصوص ظاهری در کرت شاهد ($1/375\ g/cm^3$) اندازه‌گیری

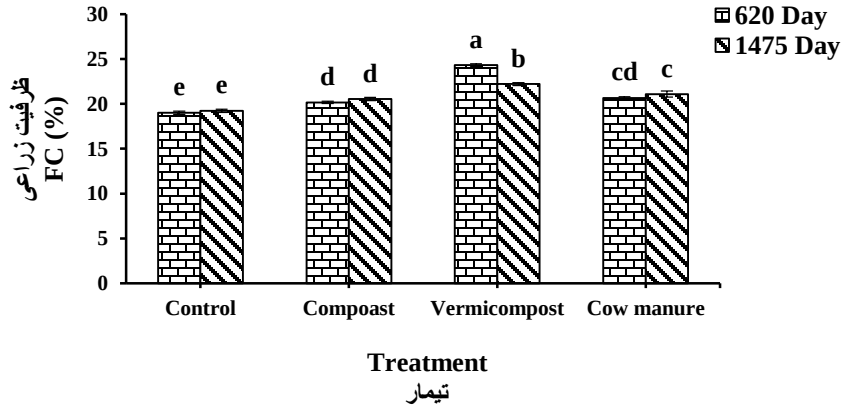
گردید. کاربرد تیمار کود آلی باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری شده بود به طوری که جرم مخصوص ظاهری در تیمار کمپوست، ورمی‌کمپوست و کود گاوی به g/cm^3 ۱/۲۶، ۱/۳۱ و ۱/۳۵ کاهش یافته بود (شکل ۲). جرم مخصوص ظاهری به ساختمان خاک بستگی دارد و نشان‌دهنده تراکم خاک، تهویه و سهولت نفوذ ریشه به ویژه در خاک‌های با محتوای رس بالا می‌باشد (Celik, Ortas, & Kilic, 2004). جرم مخصوص ظاهری خاک بعد سه سال کاربرد اصلاح کننده آلی از g/cm^3 ۱/۶۷ به g/cm^3 ۱/۴۱ کاهش پیدا کرد (Zebarth, Neilsen, Hogue, & Neilsen, 1999). کاربرد کمپوست تولید شده از زباله شهری + لجن فاضلاب در دو نوع خاک لومی و رسی باعث کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک در هر دو نوع خاک شد (Aggelides & Londra, 2000).



شکل ۲- جرم مخصوص ظاهری خاک (میانگین ± انحراف معیار).

ظرفیت زراعی (FC)

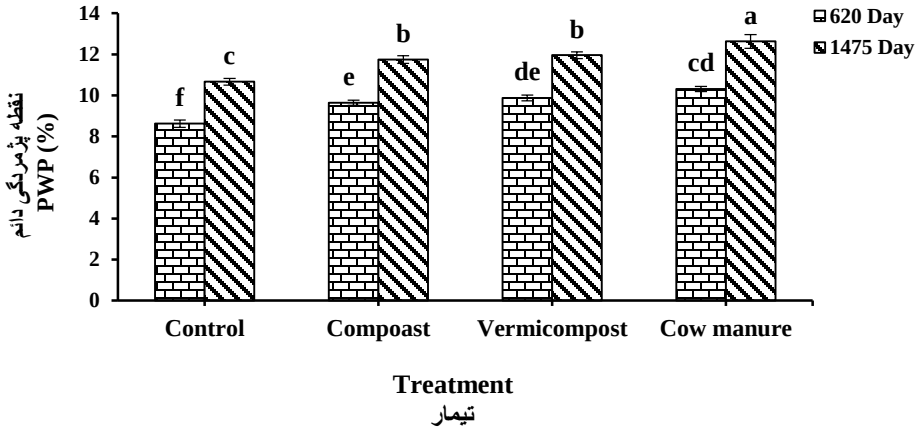
ظرفیت زراعی در دو بازه زمانی ۶۲۰ و ۱۴۷۵ روز پس از شروع آزمایش اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که کاربرد کود آلی باعث افزایش ظرفیت زراعی می‌شود و این اثر در طولانی مدت حفظ می‌شود. بیشترین اثر مربوط به تیمار کود ورمی‌کمپوست می‌باشد که درصد مواد آلی بیشتری نسبت به سایر تیمارها دارد. پس از آن تیمار کود گاوی و کود کمپوست قرار دارد که این نتایج با مقدار ماده آلی در مواد آلی اولیه مطابقت دارد. در تیمار کود ورمی‌کمپوست پس از حدود ۴ سال مقدار ظرفیت زراعی کاهش یافته است ولی در تیمار کود کمپوست و کود گاوی ظرفیت زراعی افزایش نشان داده است ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد (شکل ۳). تخلخل و ظرفیت نگهداری آب در خاک‌های لومی و رسی با کاربرد کمپوست در خاک افزایش می‌یابد (Aggelides & Londra, 2000). کاربرد کود گاوی باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Nyamangara, Gotosa, & Mpofu, 2001). افزایش کود آلی در دو سطح ۲/۵ و ۵ تن در هکتار باعث افزایش ظرفیت زراعی خاک گردید (Rahman, Islam, Jahiruddin, Puteh, & Mondal, 2013).



شکل ۳- ظرفیت زراعی (میانگین ± انحراف معیار).

نقطه پژمردگی دائم (PWP)

نتایج اندازه‌گیری نقطه پژمردگی دائم در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشخص می‌باشد بین دو بازه زمانی اندازه‌گیری در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین درصد رطوبت نقطه پژمردگی دائم در تیمار کود گاوی پس از حدود ۴ سال مشاهد شد. افزایش پژمردگی دائم در ۱۴۷۵ روز پس از شروع آزمایش می‌تواند ناشی از اثر ریشه علف‌های هرز رشد کرده در طول تابستان گذشته باشد که باعث افزایش ماده آلی خاک شده است. نیمانگرا و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند کاربرد کود گاوی باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود (Nyamangara et al., 2001)، با این وجود، هاینس و نادیو (۱۹۹۸) نتیجه گرفتند چون کاربرد کود گاوی هم ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم افزایش می‌یابد، رطوبت سهل الوصول تغییر چندانی نمی‌کند (Haynes & Naidu, 1998).

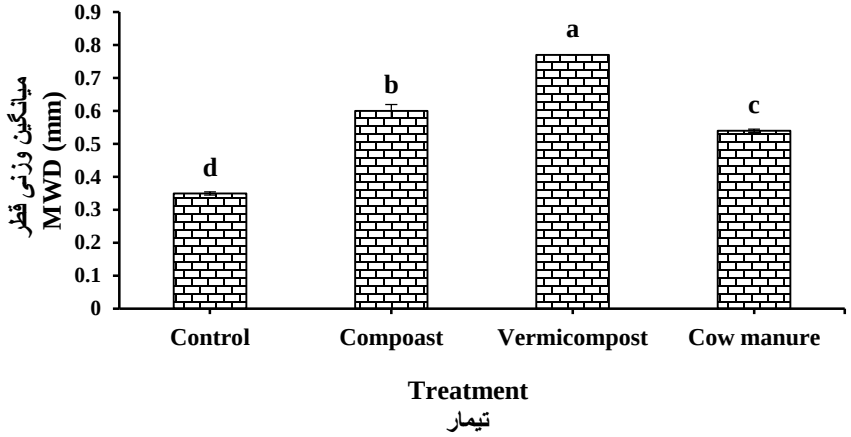


شکل ۴- نقطه پژمردگی دائم (میانگین ± انحراف معیار).

پایداری خاکدانه (الک تر)

پایداری خاکدانه که با MWD[1] نشان داده می‌شود، اختلاف معنی‌داری ($p<0.05$) بین تیمارهای مختلف نشان داد (شکل ۵). با توجه شکل افزایش کود آلی باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود. بیشترین تأثیر در پایداری خاکدانه در تیمار کود ورمی‌کمپوست مشاهد شد و پس از آن کود کمپوست و کود گاوی قرار دارند. آیواما و همکاران (۱۹۹۹) نشان دادند که کاربرد کود دامی به تنهایی و ترکیب کود دامی + N-P-K باعث افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک و تشکیل خاکدانه‌های پایدار در خاک می‌شود، ولی کاربرد N-P-K به تنهایی اثر معنی‌داری روی این خصوصیات نداشت (Aoyama, Angers, & N'dayegamiye, 1999). کابرد کود گاوی در شرایط مزرعه در زیمباوه نشان داد که کود گاوی باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود (Nyamangara et al., 2001).

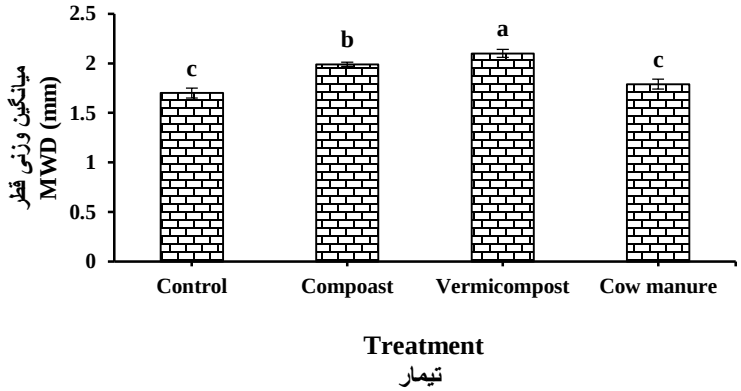
[1] Mean Weight Diameter



شکل ۵- پایداری خاکدانه تر (میانگین ± انحراف معیار).

پایداری خاکدانه (الک خشک)

نتایج پایداری خاکدانه به روش الک خشک نشان داد که کاربرد کود آلی باعث افزایش پایداری خاکدانه می‌شود. بیشترین پایداری مربوط به تیمار کود ورمی‌کمپوست می‌باشد. پس از آن تیمار کود کمپوست قرار دارد. بین کود گاوی و تیمار شاهد اختلاف معنی داری در مقدار پایداری خاکدانه وجود ندارد (شکل ۶). نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که کاربرد کوتاه مدت کمپوست زباله شهری باعث افزایش ماده آلی خاک و پایداری خاکدانه خاک می‌شود (Aggelides & Londra, 2000; Nyamangara et al., 2001).



شکل ۶- پایداری خاکدانه خشک (میانگین ± انحراف معیار).

نتیجه‌گیری

مواد آلی یکی از عناصر کلیدی حاصلخیزی و باروری خاک به حساب می‌آیند. مواد آلی بعد از افزوده شدن به خاک درگیر فرآیندهای تجزیه میکروبی می‌شوند. نتایج نشان داد که خصوصیات فیزیکی خاک به شدت تحت تأثیر ماده آلی اضافه شده به خاک قرار می‌گیرند. با افزایش ماده آلی خاک جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش ولی هدایت هیدرولیکی و ظرفیت نگهداری آب افزایش می‌یابد. با افزایش ماده آلی پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد که بیشترین تأثیر را تیمار ورمی‌کمپوست در پایداری خاکدانه‌ها داشت. این مطالعه نشان داد که ماده آلی اضافه شده به خاک در طولانی مدت باعث بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می‌گردد. براساس نتایج این مطالعه اگر از افزودن مواد آلی به خاک افزایش مقدار ماده آلی خاک در بلند مدت مدنظر باشد، کاربرد موادی مثل کمپوست و ورمی‌کمپوست توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

1. Aggelides, S., & Londra, P. (2000). Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. *Bioresource technology*, *71*(3), 253-259.
2. Aoyama, M., Angers, D., & N'dayegamiye, A. (1999). Particulate and mineral-associated organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. *Canadian Journal of Soil Science*, *79*(2), 295-302.
3. Blake, G., & Hartge, K. (1986). Bulk density. p. 363–375. A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI. *Bulk density. p. 363–375. In A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.*, -.
4. Celik, I., Ortas, I., & Kilic, S. (2004). Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research*, *78*(1), 59-67.
5. De Clercq, T., Heiling, M., Dercon, G., Resch, C., Aigner, M., Mayer, L., . . . Leifeld, J. (2015). Predicting soil organic matter stability in agricultural fields through carbon and nitrogen stable isotopes. *Soil Biology and Biochemistry*, *88*, 29-38.
6. Franzluebbers, A. J. (2002). Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. *Soil and Tillage Research*, *66*(2), 197-205.
7. Gee, G., & Bauder, J. (1986). Particle-size analysis In: Klute, A.(ed) Methods of soil analysis, Part 1. American society of Agronomy. *Inc.*, *Ma*.
8. Hartz, T., Mitchell, J., & Giannini, C. (2000). Nitrogen and carbon mineralization dynamics of manures and composts. *HortScience*, *35*(2), 209-212.
9. Haynes, R. J., & Naidu, R. (1998). Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient cycling in agroecosystems*, *51*(2), 123-137.
10. Hue, N., Uehara, G., Yost, R., & Ortiz-Escobar, M. (2007). Distribution of soil orders in Hawaii. *Journal of Hawaiian and Pacific Agriculture*, *14*, 17-29.
11. Klute, A. (1986). Water retention: laboratory methods. *Methods of soil analysis: part 1—physical and mineralogical methods*(methodsofsoilan1), 635-662.
12. Klute, A., & Dirksen, C. (1986). Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. *Methods of soil analysis: part 1—physical and mineralogical methods*(methodsofsoilan1), 687-734.
13. Nyamangara, J., Gotosa, J., & Mpofu, S. (2001). Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity of a granitic sandy soil in Zimbabwe. *Soil and Tillage Research*, *62*(3-4), 157-162.
14. Rahman, M. H., Islam, M. R., Jahiruddin, M., Puteh, A. B., & Mondal, M. M. A. (2013). Influence of organic matter on nitrogen mineralization pattern in soils under different moisture regimes. *International Journal of Agriculture and Biology*, *15*(1).
15. Raiesi, F. (2006). Carbon and N mineralization as affected by soil cultivation and crop residue in a calcareous wetland ecosystem in Central Iran. *Agriculture, ecosystems & environment*, *112*(1), 13-20.
16. Smith, P. (2002). Soil organic matter modeling. *Encyclopedia of soil science*.
17. Shahbazi, K. M. H. David, M. Feizollah Zadeh Ardebili. 2019. Methods of fertilizer analysis. First Edition, *Soil and Water Research Institute*, Karaj, Iran, (In Persian).
18. Smith, P., Davies, C. A., Ogle, S., Zanchi, G., Bellarby, J., Bird, N., . . . Cowie, A. (2012). Towards an integrated global framework to assess the impacts of land use and management change on soil carbon: current capability and future vision. *Global Change Biology*, *18*(7), 2089-2101.
19. Zebarth, B., Neilsen, G., Hogue, E., & Neilsen, D. (1999). Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties. *Canadian Journal of Soil Science*, *79*(3), 501-504.

Long-term effect of different organic matter on soil physical properties under field conditions

Mehdi Beheshti[1*], Karim Shahbazi[2], Mostafa Marzi[2]

1. PhD student, Department of Soil Science, University of Tehran, Karaj, m.beheshti@ut.ac.ir (Corresponding author).

2. Associate Professor and Researcher of Soil and Water Research Institute, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran., respectively.

Abstract

Organic matter is known as one of the most important factors of soil fertility due to its constructive effects on physical, chemical and biological properties of soil. Due to the low organic matter in the soils of Alborz province, an experiment was designed completely randomized in field conditions to investigate the effect of different organic materials including compost, vermicompost and cow manure on soil physical properties over a period of four years. The results showed that the application of organic matter treatments improved physical properties such as field capacity, permanent wilting point, saturated hydraulic conductivity (Ks), bulk density, and dry and wet aggregate stability. The amount of saturated hydraulic conductivity in compost treatment increased by 700% compared to the control plot. Vermicompost treatment increased the sieve stability from 0.33 in the control plot to 0.72 mm, which was statistically significant. Based on the results of this experiment, it can be stated that the use of organic fertilizers, especially in the form of compost and vermicompost, has positive and beneficial effects on the physical properties of the soil, which in turn will lead to maintaining health and sustainable production in the long periods.

Keywords: Organic matter, compost, manure, vermicompost.

هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش مدیریت آب در مزرعه

استفاده از الگوریتم شباهت سنجی به منظور تعمیم مدل‌های خاک در نقشه برداری رقومی

محمد جمشیدی[۱]، محمد امیر دلاور[۲]، روح اله تقی زاده مهرجردی[۳]، مستانه رحیمی مشکله[۴]

۱- استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

(mo.jam1970@gmail.com)

۲- دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۳- استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد

۴- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

چکیده

تکنیک نقشه‌برداری رقومی خاک به واسطه قابلیت آن در استفاده از الگوریتم شباهت‌سنجی برای تعمیم داده‌ها و اطلاعات از مناطق دارای داده (منطقه مرجع) به مناطق فاقد اطلاعات خاک، روش نسبتاً سریع و کم هزینه‌ای برای تعیین خصوصیات و کلاس‌های خاک در مناطق فاقد نقشه خاک است. در این پژوهش برای ارزیابی این قابلیت تحت عنوان "خاک‌های هم‌سنخ" در گستره جغرافیایی استان فارس، دشت سعادت‌شهر به عنوان منطقه مرجع و دهنده اطلاعات انتخاب و با استفاده از شاخص شباهت سنجی ماهالونوبیس میزان شباهت فاکتورهای محیطی خاک‌ساز در سطح استان مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس ویژگی‌های اقلیمی، ۱۷درصد از استان و عمدتاً بخش‌های مرکزی مشابه دشت سعادت‌شهر تشخیص داده شدند. از نظر پستی و بلندی، مناطق مرکزی و شرق استان شباهت بیشتری به دشت سعادت شهر نشان دادند به طوریکه ۲۶ درصد از استان دارای دامنه ارتفاعی هم تراز سعادت‌شهر می‌باشند. به لحاظ زمین‌شناسی، ۴۴ درصد از سطح استان که بیشتر متأثر از رسوبات کواترنر و سازندهای مربوط به مخروط افکنه‌های حاشیه دشت‌های استان بودند، با منطقه مرجع مشابهت داشتند. بر اساس شاخص NDVI به عنوان شاخص نماینده پوشش گیاهی، ۵۲ درصد از استان دارای دامنه مشابه این شاخص در دشت سعادت‌شهر می‌باشد. بر اساس نتایج هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی از شباهت فاکتورهای خاک‌سازی، ۴/۴ درصد از مناطق استان فارس بر اساس یک دامنه معین به لحاظ فاکتورهای مورد بررسی برای شباهت سنجی، شبیه دشت سعادت‌شهر هستند. از میان مناطق مشابه در استان فارس، دشت سیدان به عنوان مشابه‌ترین منطقه شناخته شد. لذا انتظار می‌رود بر اساس روش‌ها و تکنیک‌های نقشه‌برداری رقومی خاک، داده‌های دشت سعادت‌شهر به خوبی بتواند برای پیش‌بینی الگوی کلاس‌ها یا ویژگی‌های خاک در مناطق مشابه در استان مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: استان فارس، خاک‌های هم‌سنخ، شاخص شباهت، نقشه برداری رقومی خاک

مقدمه

نقشه‌های خاک ابزاری کارآمد برای پیش‌بینی رفتار خاک‌ها و تفسیر داده‌های آن در مقابل کاربری‌های مختلف می‌باشند. در این رابطه نقشه‌برداری رقومی خاک به عنوان روشی نوین و زیر مجموعه‌ای از روش‌های پدومتری، به دلیل دسترسی آسان به منابع داده‌های کمکی یا محیطی فراوان به صورت کاربردی توانسته است به برخی انتقادات وارده به روش‌های مرسوم خاک‌شناسی فائق آید و به‌طور گسترده‌ای در اغلب کشورها برای پهنه‌بندی خصوصیات و کلاس‌های خاک استفاده شود (Arrouays et al., 2014 ; McBratney et al., 2003). به طور کلی پایه و اساس نقشه‌برداری رقومی خاک معادله اسکورپن (McBratney et al., 2003) برگرفته از مدل کلرپت[1] ینی (۱۹۹۴) است که بر اساس آن تشکیل و تکامل خاک بر روی یک زمین‌نما تابعی از عوامل محیطی است.

در عین حال به علت محدودیت در منابع و عدم دسترسی به برخی منابع اطلاعاتی در بسیاری از مناطق جهان، به‌دست آوردن

1 ClORPT

اطلاعات خاک دشوار است. از این‌رو یکی از مهمترین اهداف نقشه‌برداری رقومی خاک تهیه نقشه با استفاده از متغیرهای کم هزینه برای مناطقی است که اطلاعات خاک از آن‌ها در دسترس نمی‌باشد (Abbaszade Afshar et al., 2018). در سال‌های اخیر در منابع علمی برای دستیابی به این هدف پیشنهاد شده‌است که مدل ساخته شده از روابط خاک و زمین‌نما در منطقه‌ای که اطلاعات خاک در آن به تفصیل در دسترس است به مناطق مشابه فاقد اطلاعات تعمیم داده شود (جمشیدی، ۱۳۹۸). برای حصول نتایج بهتر در رابطه با تعمیم مدل تهیه نقشه خاک به مناطق خارج از محل ساخت مدل، روش خاک هم‌سنخ[۲] در قالب روش‌های نقشه‌برداری رقومی خاک پیشنهاد شده‌است (Mallavan et al., 2010). اساس این روش، تعیین معیار شباهت بین خصوصیات محیطی نماینده عوامل خاک‌سازی در منطقه دهنده اطلاعات با مناطق گیرنده اطلاعات است. ایده خاک هم‌سنخ توانسته است بستری برای تعمیم اطلاعات و مشاهدات در دسترس از مناطق دهنده اطلاعات خاک به مناطق مشابه گیرنده اطلاعات (که از نظر جغرافیائی به هم نزدیک هستند) فراهم آورد، اما به استناد منابع علمی این تلاش به عنوان یکی از عرصه‌های فعالیت مطالعات نقشه‌برداری رقومی خاک، در موارد معدودی مورد توجه قرار گرفته است (Zhu et al., 2015 ; Malone et al., 2017).

از آن‌جایی که بخش قابل توجهی از مناطق ایران فاقد نقشه‌های خاک می‌باشند و از طرفی دسترسی به اطلاعات خاک از طریق انجام مطالعات خاک‌شناسی زمان‌بر و هزینه‌بر است، در چنین شرایطی شباهت‌سنجی می‌تواند به عنوان روشی کارامد برای پیش‌بینی کلاس و خصوصیات خاک به‌کار رود (جمشیدی، ۱۳۹۸).

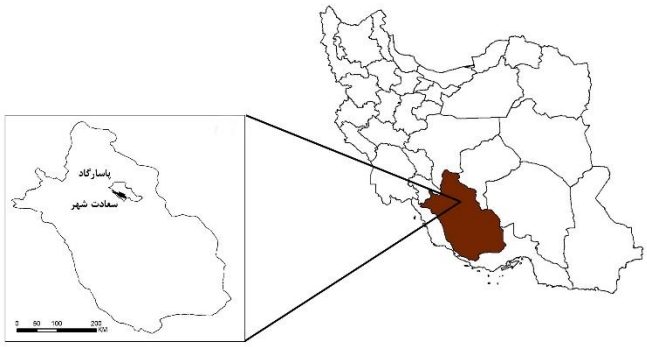
با مرور تحقیقات اندک صورت گرفته، برای بدست آوردن شباهت‌ها و تفاوت‌ها و یا به طورکلی همبستگی بین واحدهای خاک در سامانه‌های مختلف، از محاسبه فاصله تاکسنومیک و تشابه استفاده می‌شود. فاصله تاکسونومیک اندازه‌ای است که نشان می‌دهد دو مشاهده تا چه حد جدا از یکدیگرند. در حالی که تشابه، شاخص نزدیکی عوامل تأثرگذار بر یک پدیده است. هدف از این پژوهش استفاده از الگوریتم شباهت سنجی در نقشه‌برداری رقومی خاک در استان فارس و ارزیابی آن برای یافتن مناطق مشابه منطقه مرجع انتخابی (دشت سعادت شهر) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، استان فارس به عنوان گستره جغرافیائی مورد با مساحتی بالغ بر ۱۲۲۶۰۸ کیلومتر مربع، در نیمه جنوبی ایران بین حدود طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی قرار دارد. استان فارس به واسطه گسترش رشته کوه زاگرس از تعداد زیادی دشت‌های میان کوهی تشکیل شده که منابع اراضی حاصلخیز کشاورزی استان به شمار می‌روند و اغلب در امتداد جغرافیایی شمال غرب-جنوب شرق در راستای امتداد رشته کوه زاگرس گسترش دارند. اکثر مطالعات خاک‌شناسی در اراضی کشاورزی استان فارس با دقت اجمالی و نیمه تفصیلی انجام شده و نقشه‌های خاک و طبقه‌بندی اراضی در این مناطق قدیمی و دارای مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ یا نزدیک به آن می‌باشند. مواد مادری خاک‌ها بیشتر مناطق استان فارس از سنگ آهک تشکیل شده و در بعضی مناطق، رسوبات تبخیری غنی از گچ و نمک‌های محلول به ویژه در واحدهای کم ارتفاع دشت‌ها معمول است.

منطقه مرجع دشت سعادت‌شهر در استان فارس با وسعت حدود ۱۶ هزار هکتار در مختصات جغرافیایی بین ″۴۰ ′۵۲ °۵۲ تا ″۵۴ ′۱۱ °۵۳ طول شرقی و ″۲۸ ′۰۰ °۳۰ تا ″۴۵ ′۹ °۳۰ عرض شمالی قرار دارد (شکل۱). ارتفاع منطقه مورد مطالعه از حدود ۱۷۰۵ تا ۲۱۷۰ متر متغیر است. به استناد آمار هواشناسی موجود در یک دوره ۴۰ ساله (۱۳۸۹-۱۳۴۹) در ایستگاه نزدیک به منطقه، متوسط دمای سالانه ۱۵/۱ درجه سلسیوس، متوسط بارندگی ۳۸۰/۸ و تبخیر-تعرق پتانسیل ۱۸۲۰ میلی‌متر در سال است. رژیم حرارتی خاک دشت سعادت‌شهر ترمیک و رژیم رطوبتی زریک است (بنائی، ۱۳۷۷).

2 Homosoil



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش کار: در استفاده از روش‌های نقشه‌برداری رقومی خاک برای تعمیم نتایج از یک منطقه به منطقه‌ای دیگر گام نخست یافتن مناطق مشابه منطقه مرجع است در این پژوهش برای یافتن مناطق مشابه دشت سعادت‌شهر (منطقه دهنده اطلاعات) در گستره جغرافیائی استان فارس از روش خاک‌های هم‌سنخ (Mallavan et al., 2010) که مبتنی بر یک الگوریتم درختی است، استفاده شد. اساس این روش، شباهت عوامل خاک‌سازی در منطقه دارای نقشه خاک و مناطق خارج از محدوده مطالعاتی در گستره جغرافیائی مورد مطالعه است. رایج‌ترین روش محاسبه ارتباط تاکسنومیک؛ فاصله اقلیدسی یا ماهالنوبیس (معادله ۱) می‌باشد که این فاصله بر اساس جدول ماتریس مابین دسته‌های مختلف، با استفاده از بسته نرم افزاری R و Excel محاسبه می‌شود (Baier T and Neuwirth, 2007).

$$d_{jk} = \sqrt{(x_j - x_k)^T \mathbf{V}^{-1} (x_j - x_k)} \qquad (۱)$$

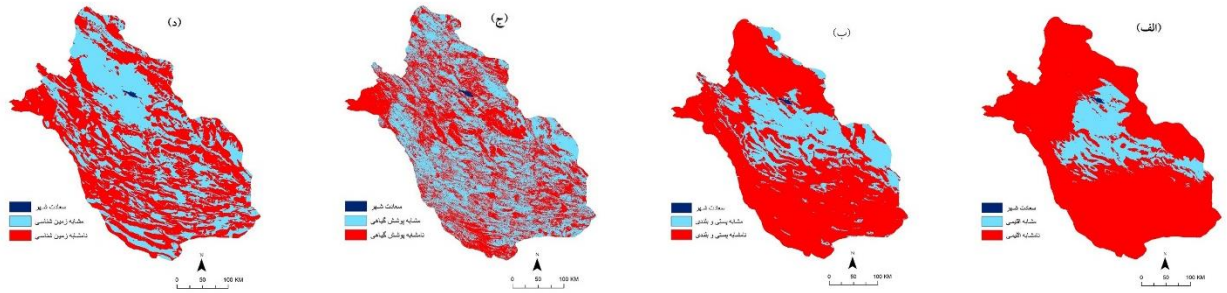
در این معادله dij: عنصری از ماتریس D به اندازه: C×C، C: تعداد گروه‌های خاک، V: ماترس کوواریانس، ارزشdij بیان‌کننده فاصله تاکسنومیکی ما بین گروه خاک i و گروه j و X: برداری از شاخص‌های خصوصیات خاک می‌باشد.

شباهت سنجی بر پایه استفاده از نقشه‌های رستری با قدرت تفکیک ۳۰ متری و بر پایه دامنه خصوصیات مورد بررسی در منطقه دهنده و گستره جغرافیائی برای تعمیم نتایج انجام شد. برای تهیه نقشه پستی و بلندی از نقشه مدل رقومی ارتفاع دریافت شده از سنجنده Aster با قدرت تفکیک ۳۰ متری، نقشه اقلیمی (بارندگی و دما) از داده‌های سازمان هواشناسی کشور، نقشه زمین شناسی بر اساس اطلاعات و داده‌های نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور و نقشه کاربری اراضی و نقشه شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI) بر اساس تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۶ میلادی استفاده شد. نقشه‌های مشابه به لحاظ عوامل خاک‌سازی در نرم‌افزار R با تعریف حدود آستانه برای هر متغیر محیطی به فرمت رستری تولید و نقشه تولید شده برای نمایش در نرم‌افزار ArcGIS (ESRI, 2016) به فرمت شیپ فایل تبدیل گردید.

نتایج و بحث

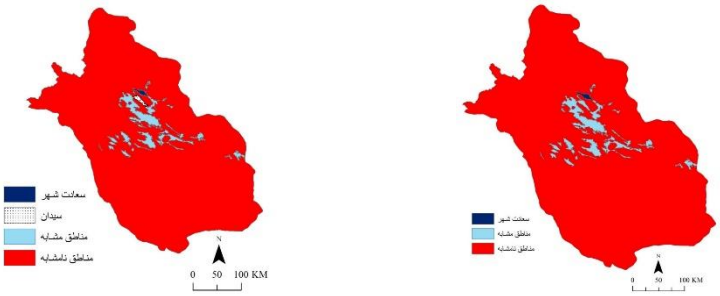
اساس روش‌های نقشه‌برداری رقومی خاک (McBratney et al., 2003) ارتباط بین داده‌های خاک (کلاس یا خصوصیات) و متغیرهای محیطی کمکی است. لذا دستیابی به منطقه یا مناطق مشابه یک منطقه مرجع (در این مطالعه دشت سعادت شهر) در یک گستره جغرافیائی وسیع به لحاظ عوامل محیطی در دسترس از جمله نقشه‌های رستری اقلیم، کاربری اراضی، زمین شناسی و پستی و بلندی (ارتفاع) در قالب مدل مفهومی خاک‌های هم‌سنخ (Malavan et al., 2010) می‌تواند به موفقیت انتقال مدل ساخته شده کمک نماید. شکل ۲، به تفکیک مناطقی از استان فارس را نشان می‌دهد که دارای شباهت اقلیمی، پستی و بلندی، پوشش گیاهی و زمین شناسی با دشت سعادت‌شهر می‌باشند. بر اساس نقشه اقلیمی، دامنه تغییرات دما و بارندگی در استان فارس به ترتیب بین ۷ تا ۲۷/۱ درجه

سلسیوس و ۹۶ تا ۷۵۷ میلی‌متر است. در مقایسه با دما و بارندگی، متوسط سالانه دشت سعادت‌شهر (به ترتیب ۱۵/۱ درجه سلسیوس و ۳۸۰/۸ میلی‌متر)، ۲۰۸۳۴ کیلومتر مربع از استان فارس یعنی ۱۷ درصد از این استان به لحاظ اقلیمی مشابه دشت سعادت‌شهر است. بر اساس نقشه شباهت اقلیمی، بخش‌های مرکزی استان فارس از بیشترین شباهت اقلیمی (دما و بارندگی) با دشت سعادت‌شهر برخوردار می‌باشند. در استان فارس ارتفاع از سطح دریا بین ۱۱۵ تا ۳۹۲۲ متر متغیر است، در حالی که در منطقه سعادت‌شهر در پست‌ترین مناطق، ارتفاع از سطح دریا ۱۷۰۵ متر و در مرتفع‌ترین نقطه به ۲۱۷۰ متر می‌رسد. از نظر پستی و بلندی، مناطق مرکزی و شرق استان مشابه تشخیص داده شدند و ۲۶ درصد از استان دارای دامنه ارتفاعی هم تراز سعادت‌شهر می‌باشند. به لحاظ زمین‌شناسی، مناطقی مشابه بیشتر متأثر از رسوبات کواترنر و سازندهای مربوط به مخروط افکنه‌های حاشیه دشت‌های استان بودند. از ۷۱ واحد مختلف زمین‌شناسی که در گستره جغرافیائی استان فارس شناخته شده است، پنج واحد زمین‌شناسی در منطقه سعادت‌شهر گسترش دارند که بیشترین آن مربوط به واحد رسوبات کواترنر است. بر این اساس، ۵۳۹۰۷ کیلومتر مربع از استان فارس یعنی ۴۴ درصد از این استان به لحاظ ساختار زمین‌شناسی مشابه دشت سعادت‌شهر است. این مناطق در سرتاسر استان گسترش دارند. مقدار شاخص NDVI که در این مطالعه به عنوان شاخص نماینده پوشش گیاهی استفاده شد، در استان فارس در دامنه ۰/۸۳- تا ۰/۷۴ قرار دارد. دامنه این ویژگی در دشت سعادت شهر بین ۰/۵۱- تا ۰/۷۳ است. بر اساس ویژگی NDVI، ۶۳۴۱۳ کیلومتر مربع معادل ۵۲ درصد از استان فارس مشابه دشت سعادت‌شهر می‌باشد.



شکل ۲- نقشه‌های مناطق مشابه دشت سعادت‌شهر در گستره استان فارس الف) شباهت اقلیمی، ب) شباهت پستی و بلندی، ج) شباهت پوشش گیاهی، د) شباهت زمین‌شناسی

مناطق مشابه دشت سعادت‌شهر به لحاظ ویژگی‌های محیطی نماینده عوامل خاک‌سازی که با استفاده از نقشه‌های فوق و بر اساس یک الگوریتم شباهت‌سنجی تولید شده در شکل ۳- الف، نشان داده شده است. این نقشه نشان می‌دهد ۴/۴ درصد از مناطق استان فارس به لحاظ فاکتورهای مورد استفاده برای شباهت سنجی، شبیه دشت سعادت‌شهر هستند. این سطح از شباهت با توجه به حدود آستانه تعیین شده برای ویژگی‌های مورد بررسی بدست آمده است، به گونه‌ای که عیناً معادل ارزش عددی فاکتورهای مورد بررسی در منطقه سعادت‌شهر بوده است. تغییر در این دامنه (افزایش یا کاهش حدود آستانه) می‌تواند سطوح متفاوتی را به عنوان محدوده مشابه در قالب نقشه مناطق مشابه نمایش دهد.



شکل ۳- الف)خاک‌های هم‌سنخ دشت سعادت شهر بر اساس شباهت عوامل خاک‌سازی و ب) موقعیت دشت سیدان بر روی نقشه خاک‌های هم‌سنخ دشت سعادت‌شهر در استان فارس

ملانو و همکاران (۲۰۱۶) برای تعمیم مکانی شمارش اشعه رادیومتریک گاما[3] از یک منطقه کم وسعت (۴km2) به منطقه بزرگتر (۲۲۰km2)، از معادله ماهالانوبیس (Mahalanobis, 1936) برای تعیین فاصله تاکسونومیکی ویژگی‌های پستی و بلندی بین منطقه دهنده و گیرنده اطلاعات استفاده و بر اساس یک حد آستانه، مناطق مشابه را تعیین کردند. عباس‌زاده افشار و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه ارزیابی شباهت دو منطقه زرند و بم در جنوب شرق ایران از شاخص تشابه گاور (Gower, 1971) استفاده کردند. از بین مناطق مشابه دشت سعادت‌شهر در استان فارس، دشت سیدان (شکل ۳- ب) به عنوان شبیه‌ترین منطقه به دست سعادت شهر انتخاب شد. بنابراین در صورت تعمیم مدل نقشه‌برداری رقومی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک دشت سعادت‌شهر در دشت سیدان انتظار می‌رود نتایج قابل قبول به دست آید. ارتفاع دشت سیدان کمی پائین‌تر از دشت سعادت‌شهر و از حدود ۱۶۰۸ تا ۱۹۰۰ متر متغیر است. دمای متوسط سالانه، متوسط حداقل و متوسط حداکثر به ترتیب ۱۷/۳، ۹/۰ و ۲۵/۶ درجه سلسیوس و متوسط بارندگی سالانه ۳۰۲/۶ میلی‌متر است. رژیم حرارتی و رژیم رطوبتی خاک دشت سیدان مانند دشت سعادت‌شهر است (بنائی، ۱۳۷۷). بر اساس تقسیم‌بندی فیزیوگرافیکی ایران (Mahler, ۱۹۷۰)، دشت سیدان دارای سه واحد اصلی فیزیوگرافی شامل مخروط افکنه‌های آبرفتی، دشت‌های دامنه‌ای و فلات‌های مرتفع است. در مقایسه با دشت سعادت‌شهر که فاقد واحد فلات‌های مرتفع است، در مقابل دشت سیدان فاقد واحد اراضی پست است. سازندهای زمین‌شناسی در منطقه گسترش این دشت نیز شباهت قابل توجهی با دشت سعادت شهر دارد (حسن شاهی، ۱۳۷۰). رودخانه سیوند پس از عبور از دشت سعادت شهر از شمال وارد دشت سیدان شده و از نوار شمالی آن عبور می‌نماید. در این دشت مشابه دشت سعادت‌شهر، کشاورزی به‌صورت آبی و دیم انجام می‌گیرد. جنگل‌ها و مراتع در اراضی شیب‌دار اطراف دشت گسترش یافته‌اند و نواحی مرکزی تحت کشت محصولات کشاورزی شامل گندم، جو، چغندرقند، صیفی‌جات و برنج است.

نتیجه‌گیری

استفاده از الگوریتم‌های شباهت‌سنجی در نقشه‌برداری رقومی به عنوان روشی کارآمد در کاهش هزینه و سرعت بالا در تهیه نقشه خاک فرصت مناسبی را برای خاکشناسان قرار داده تا بتوانند برای مناطق فاقد اطلاعات و داده نقشه خاک تهیه نمایند. این روش می‌تواند رابطه سیمای اراضی و خاک را در مناطق فاقد اطلاعات با استفاده از مناطق مرجع مشابه تعیین کرده و این‌گونه مناطق با محدودیت اطلاعاتی را تحت پوشش اطلاعات قرار دهد. انتظار می‌رود تعمیم مدل‌های ساخته شده از روابط خاک زمین نما در دشت سعادت شهر بتواند نقشه‌های دارای دقت قابل قبولی را در مناطق مشابه به ویژه دشت سیدان به دست دهد. پیشنهاد می‌گردد برای تعیین مناطق مشابه، علاوه بر روش ارائه شده در این پژوهش (مقایسه سطح با سطح) از الگوریتم‌های شناخته شده دیگر هم برای مقایسه ویژگی‌های محیطی نقاط دارای اطلاعات خاک با گستره جغرافیائی مورد بررسی (مقایسه نقطه با سطح) همچون الگوریتم "mess[4]" استفاده نمود.

فهرست منابع

بنائی، م. ح. (۱۳۷۷). نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاکهای ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.

جمشیدی، م. (۱۳۹۸). نقشه‌برداری رقومی خاک با استفاده از داده‌های جدید خاک برای تعمیم در مقیاس منطقه‌ای، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه زنجان.

حسن‌شاهی، ح. (۱۳۷۰). مطالعات خاک‌شناسی نیمه تفضیلی دشتهای سعادت‌شهر، سیوند، سیدان و ارسنجان (استان فارس). موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه شماره ۸۳۸، ۱۴۵ صفحه. کرج. ایران.

Adhikari, K., Hartemink, A. E., Minasny, B., Bou Kheir, R., Greve, M. B. and Greve, M. H. (2014). Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. PLoS One. 9: 1- 13.

3 Gamma radiometric counts

4 Multivariate Environmental Similarity Surfaces

Abbaszadeh Afshara, F., Ayoubib, S. and Jafari, A. (20180. The extrapolation of soil great groups using multinomial logistic regression at regional scale in arid regions of Iran. Geoderma. 315: 367- 48.
Arrouays, D., Grundy, M. G., Hartemink, A. E., Hempel, J. W., Heuvelink, G. B. M., Hong, S. Y., Lagacherie, P., Lelyk, G., McBratney, A. B., McKenzie, N. J., Mendonça -Santos, M. L., Minasny, B., Montanarella, L., Odeh, I. O. A., Sanchez, P. A., Thompson, J. A. and Zhang, G. L. (2014). Global Soil Map: Toward a fine-resolution global grid of soil properties. Advances in Agronomy. 125: 93-134.
Baier T and Neuwirth E. (2007). Excel:: COM :: R. Comput. Stat. 22, 91–108.
Gower, J. C. (1971). A general coefficient of similarity and some of its properties. Biometrics. 27: 857–871.
Jenny, H. (1994). Factors of Soil Formation-A System of Quantitative Pedology. Dover Inc, New York.
McBratney, A. B., Mendonça Santos, M. L. and Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. Geoderma. 117: 3–52.
Mahalanobis, P. C. (1936). On the generalized distance in statistics. Proceedings of National Institute of Sciences. 1: 49–55.
Mallavan, B.P., Minasny, B., McBratney, A.B. (2010). Homosoil, a methodology forquantitative extrapolation of soil information across the globe. In: Janis, L.,Boettinger, D.W., Howell, A.C., Moore, A.E., Hartemink, Kienast-Brown, S. (Eds.),Digital Soil Mapping Bridging Research, Environmental Application, and Operation. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, pp. 137–150.McBratney, A.B., Santos, M.M., Minasny, B., 2003. On digital soil mapping. Geoderma 117(1), 3-52.
Malone, B. P., Minasny, B. and McBratney, A. B. (2017). Using R for digital soil mapping. Springer, Netherlands.
Zhu, A. X., Liu, J., Du, F., Zhang, S. J., Qin, C. Z., Burt, J., Behrens, T. and Scholten, T. (2015). Predictive soil mapping with limited sample data. European Journal of Soil Science. 66: 535–547.

Use of similarity algorithm to generalize soil models in digital mapping

Mohamad Jamshidi[1], Mohamad Amir Delavar[2], Ruhollah Taghizadeh Mehrjardi[3], Mastaneh Rahimi Mashkaleh[4], Zohreh mosleh Ghahfarokhi2, Alireza Ziyaee Javid[2]
1- Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran (mo.jam1970@gmail.com)
2- Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Zanjan, Iran
3- Assistant Prof., Dept. of Soil Science, University of Ardakan, Yazd
4- Ph.D Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Iran

Abstract
Digital soil mapping technique is a relatively fast and low-cost method for determining soil characteristics and classes in areas without soil maps, by its ability to use a similarity algorithm to generalize data from regions with information (reference region) to regions without information soil is used. In this study, to evaluate this capability under the title of "homosoil" Saadatshahr plain in Fars province was selected as a reference and information region and using the similarity index of Mahalonobis, the similarity of soil-forming environmental factors in the province was investigated. Based on climatic characteristics, 17% of the province and mainly central parts similar to Saadatshahr plain were identified. In terms of elevation, the central and eastern regions of the province showed more similarity to Saadatshahr plain, so that 26% of the province has a height range equal to Saadatshahr. Geologically, 44% of the province was similar to the reference area, which was mostly affected by Quaternary sediments and alluvial fan formations along the plains of the province. According to the NDVI index as a representative vegetation index, 52% of the province has a similar range in the Saadatshahr plain. Based on the results of overlapping information layers of similarity of soil factors, 4.4% of the areas of Fars province are similar to Saadatshahr plain. Among similar areas in Fars province, Seydan plain was recognized as the most similar area. Therefore, it is expected that based on digital soil mapping methods and techniques, Saadatshahr plain data can be well used to predict the pattern of classes or soil characteristics in similar areas in the Fars province.
Keywords: Didital soil mapping, Fars province, Homosoil, Similarity index

تأثیر بیوچار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، ترسیب کربن و تغییرات نیتروژن در فرایند کمپوست‌شدن

کمال خلخال[۱]، عادل ریحانی تبار[۲]،شاهین اوستان[۳] و ناصر علی‌اصغرزاد[۴]

۱*دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز ۲ دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. ۳ و ۴ استادان گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

ازجمله معایب تولید و مصرف کمپوست انتشار گازهای گلخانه‌ای، هدررفت نیتروژن و کربن است که تغییرات اقلیمی را به دنبال دارد. هدف این مقاله مروری نگاهی اجمالی به مطالعات تأثیر بیوچار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (CH_4، CO_2 و N_2O)، ترسیب کربن و تغییرات نیتروژن است و در ایران تاکنون گزارش منتشر شده‌ای در این‌زمینه وجود ندارد. تأمین و توزیع اکسیژن ناشی از تخلخل و سطح ویژه بالای بیوچار از طرفی باعث محدود کردن فعالیت‌های متانوژن و بهبود فعالیت‌های متیلوتروف و در نتیجه جذب و احتباس CH_4 می‌شود. از طرف دیگر این اکسایش مجدد درکنار جذب آمونیوم روی سطوح بیوچار باعث کاهش فرایند دنیتریفیکاسیون و کاهش هدررفت NO_3^-، NH_3 وN_2O می‌شود. همچنین pH بالای بیوچار باکتری‌های دنیتریفیکاتور موجود در کمپوست را محدود می‌کند. بنابراین بیوچار این ماده جامد غنی از کربن با ساختار متخلخل، گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار فعال (کربوکسیل، هیدروکسیل، فنول و کربونیل) و کربن آروماتیک و مقاوم به تجزیه، نقش مهمی در ترسیب کربن، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش هدررفت نیتروژن و مدیریت محیطزیست دارد.

واژگان کلیدی: بیوچار، کمپوست‌شدن، گازهای گلخانه‌ای، ترسیب کربن، نیتروژن

مقدمه

هر تن زباله آلی که در محل دفع زباله دفن و توسط تخمیر بی‌هوازی تجزیه می‌شود، حدود یک تن دی‌اکسیدکربن معادل (CO_2-e) گاز گلخانه‌ای به شکل متان آزاد می‌کند. اگرچه با کمپوست‌سازی تا حدی می‌توان پسماندها را مدیریت کرد اما معایبی مانند دوره طولانی اصلاح، انتشار گازهای گلخانه‌ای و بد بو و هدررفت عناصر غذایی از جمله نیتروژن (N) وجود دارد (Chowdhury et al. 2014; Wu et al. 2017) مهمترین گازهای گلخانه‌ای مسئول گرم شدن کره زمین CO، CH_4، CO_2 و N_2O می باشند. در میان این مشکلات هدر رفت C و N را می توان از مهمترین معایب فرایند کمپوست‌سازی یا کمپوستینگ[۱] نامید. شکل اصلی نیتروژن منتشر شده در فرایند کمپوست‌شدن، آمونیاک است و میزان آن از انتشار N_2O بیشتر است. از طرف دیگر انتشار CH_4 و N_2O توجهات را به خود جلب کرده است زیرا پتانسیل گرمایش جهانی آنها به ترتیب ۲۵ و ۲۹۸ برابر بیشتر از CO_2 در افق زمانی ۱۰۰ ساله است (IPCC. 2014). غلظت کم نیتروژن که معلول انتشار گازهای گلخانه ای است ارزش زراعی کمپوست حاصله را کاهش می‌دهد. اخیراً در کشورهای پیشرفته از یک سری مواد افزودنی به‌ویژه بیوچار برای ترسیب کربن و حذف یا کاهش انتشار گازهای یاد شده در فرایند معروف به "کمپوست مشترک یا هم‌نوا[۲]" استفاده شده است. بیوچار یک ماده جامد غنی از کربن است که از تبدیل ترموشیمیایی زیست توده در شرایط بدون اکسیژن بدست می‌آید و به رغم ارائه مقالات ارزشمندی در شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران با این حال، توصیه‌ای در مورد کاربرد بیوچار به عنوان افزودنی کمپوست در ایران وجود نداشته و لذا تحقیق و بررسی جنبه‌های مختلف این کار ضروری است. هدف این مقاله مروری نگاهی اجمالی به بررسی تأثیر بیوچار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، ترسیب کربن و تغییرات نیتروژن در فرایند تهیه کمپوست هم‌نوا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

ایمیل نویسنده مسئول: k.khalkhal@tabrizu.ac.ir

[۱] Composting

[۲] Co-Compost

اطلاعات این مقاله از منابع گوناگون، شامل سایت انجمن بین‌المللی بیوچار (IBI)، مقالات متعدد مروری و تحقیقاتی، پایگاه ایرانداک (گنج) و سیلویکا با جستجوی اصطلاحات بیوچار، کمپوست‌شدن، کمپوست مشترک، گازهای گلخانه‌ای، ترسیب کربن و تغییرات نیتروژن تا تاریخ ۱۴۰۰/۴/۲۹ جمع‌آوری گردید.

نتایج و بحث

۱. تغییرات نیتروژن در طول کمپوست شدن

در طی فرایند کمپوست‌شدن، تغییر شکل نیتروژن پیچیده بوده و عمدتاً از طریق فرایندهای معدنی‌شدن، غیرمتحرک‌شدن، تصاعد، نیترات‌سازی و نیترات‌زدایی (روابط ۱ تا ۴) رخ می‌دهد.

Mineralization (aerobic or anaerobic) (۱)
$R\text{-}NH_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow NH_4^+$
organic N — ammonia — ammonium

Nitrification (aerobic) (۲)
$NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$
ammonium — nitrite — nitrate
$\hookrightarrow N_2O$
nitrous oxide

Volatilization (basic conditions) (۳)
$NH_4^+ \rightarrow NH_3$
ammonium — ammonia

Denitrification (anaerobic) (۴)
$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO \rightarrow N_2O \rightarrow N_2$
nitrate — nitrite — nitric oxide — nitrous oxide — nitrogen

۱-۱ هدررفت نیتروژن و تصاعد NH_3

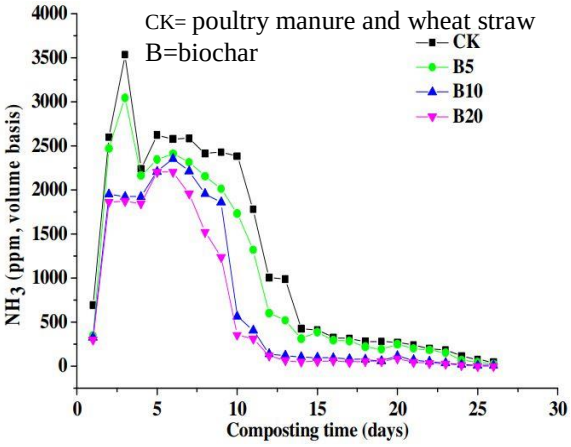
در فرایند کمپوستینگ هدررفت نیتروژن از طریق تصاعد آمونیاک (NH_3) یک مشکل اساسی است. آمونیوم می‌تواند به صورت آمونیاک (pH بالاتر از ۷/۵) تصاعد یابد (رابطه ۳) یا توسط ریزجانداران در مواد کمپوست شده غیرمتحرک شود (Dias et al. 2010). تصاعد NH_3 منجر به افزایش هدررفت نیتروژن در مرحله ترموفیلی باعث کاهش ارزش زراعی کمپوست می‌شود. به‌عبارتی‌دیگر بیشترین تصاعد NH_3 همزمان با بیشترین کاهش غلظت نیتروژن کل است (شکل ۱). گزارش شده است که هدررفت نیتروژن در هنگام کمپوست‌سازی ۲۱ تا ۷۷ درصد از کل N اولیه را شامل شده و تصاعد NH_3 می‌تواند تا ۹۲ درصد از کل هدررفت N باشد (Barrington et al. 2002).

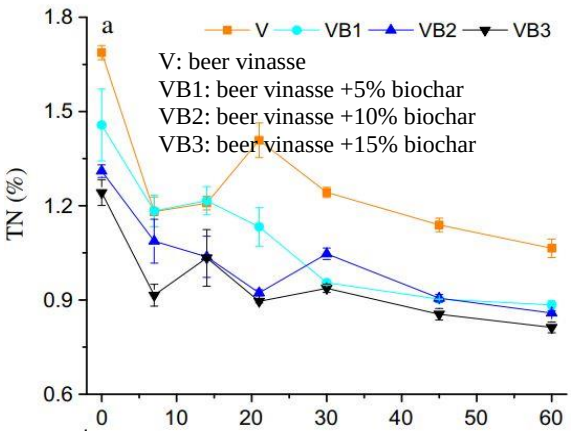
افزودن بیوچار به کمپوست می‌تواند باعث کاهش هدررفت نیتروژن به سه دلیل شود:

(۱) سطح ویژه وسیع و ظرفیت جذب زیاد باعث می‌شود که بیوچار NH_4^+ را جذب و در نتیجه غلظت آن را کاهش دهد.

(۲) حفظ نیتروژن آلی و بنابراین جلوگیری از معدنی شدن نیتروژن

و (۳) بیوچار زیستگاه مناسبی را برای باکتری‌های نیترات‌ساز فراهم می‌کند که آمونیوم را به نیترات تبدیل می‌کنند و از تصاعد آمونیاک جلوگیری می‌کند (Jindo et al. 2020). اختلاط ۹ درصد بیوچار در کمپوست لجن ۶۴ درصد تصاعد آمونیاک را کاهش داد. این اثر را می‌توان به اکسایش زیستی سطوح بیوچار و جذب مواد هیومیک نسبت داد (Li et al. 2009). بنابراین، کاربرد بیوچار می‌تواند یک استراتژی مفید برای کمپوست‌شدن پسماندهای آلی غنی از نیتروژن مانند پسماندهای کشاورزی و شهری باشد.

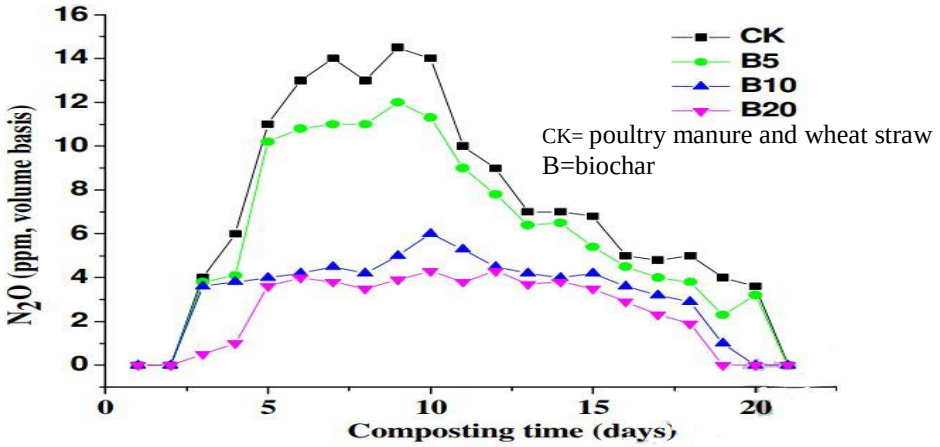




شکل ۱. تصاعد NH_3 و درصد نیتروژن کل در فرایند کمپوست‌شدن (Liu et al. 2017; Wang et al. 2017).

۱-۲ N_2O

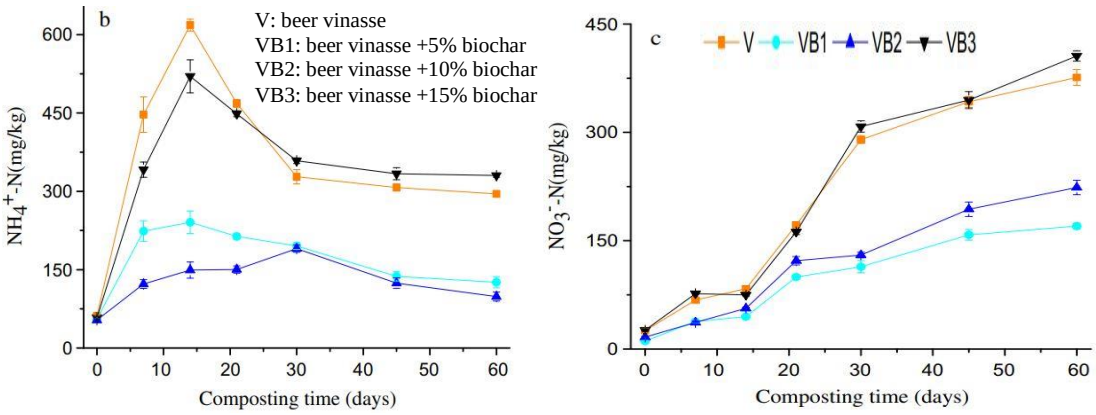
هدر رفت N به شکل N_2O در فرایند نیترات‌زدایی و در شرایط بی‌هوازی یا بی‌هوازی ناقص به دلیل کمبود O_2 و تجمع نیترات رخ می‌دهد (رابطه ۴). دلایل اصلی برای کاهش انتشار N_2O در طول کمپوست‌شدن (شکل ۲) توسط بیوچار در سه مرحله قابل توضیح است. بیوچار به دلیل تخلخل و سطح ویژه زیاد، تهویه و ظرفیت نگهداری آب را افزایش می‌دهد، در نتیجه فراهمی اکسیژن و شرایط اکسایش مجدد را بهبود می‌بخشد. میزان رطوبت زیاد نیز با انتقال عناصر غذایی محلول، فعالیت‌های میکروبی را افزایش می‌دهد. در مرحله دوم، بیوچار NH_3 یا NH_4^+ محلول در آب را جذب و بنابراین هدررفت NH_3 یا NO_3^- و انتشار N_2O را کاهش می‌دهد. سرانجام، افزودن بیوچار منجر به افزایش pH کمپوست شده، بنابراین میزان باکتری‌های دنیتریفیکاتور را به طور معناداری تغییر می‌دهد.



شکل ۲. تصاعد N_2O در طول کمپوست‌شدن (Liu et al. 2017)

۱-۳ NH_4^+ و NO_3^-

از نسبت NH_4^+/NO_3^- به عنوان شاخص نیتریفیکاسیون می‌توان برای انعکاس بلوغ و پایداری کمپوست استفاده کرد. برنال و همکاران (۲۰۰۹) مقادیر استاندارد $N\text{-}NH_4^+$ را کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و نسبت $N\text{-}NH_4^+/N\text{-}NO_3^-$ را کمتر از ۰/۱۶ گزارش کرده‌اند. بیوچار می‌تواند با تأثیر بر نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون (روابط ۲ و ۴) روی گونه‌بندی N در کمپوست نهایی تأثیر گذارد و درصد بالایی از N در شکل NO3- نسبت به+NH4 در کمپوست هم‌نوای بیوچار وجود دارد (Wang et al. 2017; Liu et al. 2017). به‌عبارتی دیگر در طول کمپوست شدن نیترات روند افزایشی و آمونیوم روند کاهشی دارد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) در کمپوست کود خوک اصلاح شده با بیوچار، افزایش معناداری درغلظت NO_3^- در مرحله اولیه کمپوست تا دو هفته اولیه مشاهده نکردند اما پس از آن، NO_3^- به دلیل نیتراتسازی به سرعت افزایش یافته و بعد از چهار هفته به یک سطح نسبتاً ثابت رسید (شکل ۳). تخلخل و سطح ویژه بالای بیوچار می‌تواند به اتصال عناصر غذایی کمک کرده و از هدررفت نیتروژن به‌صورت آبشویی نیترات جلوگیری کند. گروه‌های عاملی کربوکسیلی و فنلی که در نتیجه فرایند پیری روی سطح بیوچار متصل شده‌اند، بار منفی داشته و می‌توانند NH_4^+ را با جذب الکترواستاتیک جذب سطحی کنند (Nguyen et al. 2017). نیترات (NO_3^-) که شکل ناپایدار نیتروژن است، از طریق جذب الکترواستاتیک نمی‌تواند بر روی سطح بیوچار جذب سطحی شود؛ زیرا سطح بیوچار خود نیز بار منفی دارد. اما وجود گروه‌های عاملی بازی مانند کرومن‌ها، کتون‌ها و پیرون‌ها و پیوند هیدروژن غیر متداول می‌تواند جذب سطحی نیترات را در سطح بیوچار تسهیل کند (Nguyen et al. 2017). بنابراین، بیوچار می‌تواند یک استراتژی قابل استفاده برای کمپوست انواع پسماندهای غنی از نیتروژن باشد و ارزش زراعی کمپوست را بهبود می‌بخشد.



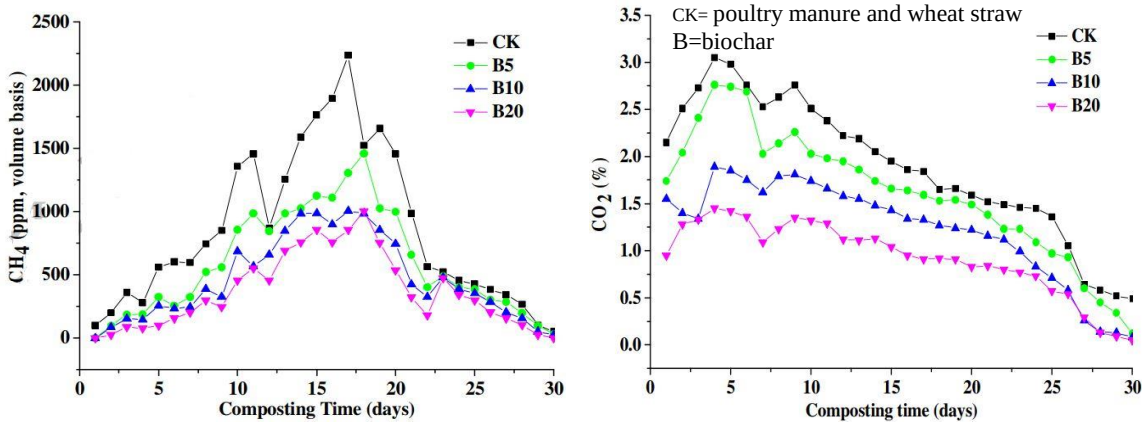
شکل ۳. تغییرات NH_4^+ و NO_3^- در طول کمپوست شدن (Wang et al. 2017; Liu et al. 2017)

۲. تأثیر کمپوست مشترک بیوچار در ترسیب کربن

واژه ترسیب کربن از دو دیدگاه حائز اهمیت است: ۱) جلوگیری از تصاعد کربن ایجاد شده (CO_2 و CH_4) درنتیجه فعالیتهای انسانی به اتمسفر به وسیله به دام انداختن آن در یک ذخیره مطمئن و ۲) حذف کربن از اتمسفر به وسیله روش‌های متفاوت و ذخیره کردن آن (Al-Kaisi. 2001). انتشار جهانی کربن از زباله از سال ۱۹۷۰ تقریباً دو برابر شده است (IPCC. 2014). بنابراین مدیریت صحیح پسماندهای آلی و بازگرداندن کربن‌های آلی آنها به خاک، ممکن است پتانسیل ترسیب C خاک‌ها افزایش دهد چرا که خاک بزرگترین مخزن ذخیره کربن می‌باشد. با این‌حال، کمپوست از طریق تجزیه سریع در خاک به دلیل وجود مقادیر زیادی ترکیبات آلی لبایل، که توسط جمعیت میکروبی خاک مصرف می‌شود، منجر به افزایش انتشار کربن می‌شوند. بنابراین بیوچار این ماده جامد غنی از کربن با داشتن ساختار متخلخل، سطح ویژه بالا، pH بالا، گروه‌های عاملی اکسیژن‌دار فعال (کربوکسیل، هیدروکسیل، فنول و کربونیل) و کربن آروماتیک و مقاوم به تجزیه، نقش مهمی در جذب و غیرمتحرک ساختن آلاینده‌های خاک و ترسیب کربن و مدیریت محیطزیست دارد (Ahmad et al. 2014). علاوه بر این، ترسیب کربن مستقیماً از طریق ماده کمپوست هم‌نوا و به‌طور غیر مستقیم از طریق افزایش زیست‌توده سیستم‌های ریشه گیاه نیز افزایش می‌یابد.

۲-۱ CH_4

در روند هوازی کمپوست‌سازی، گاز متان تولید نمی‌شود، زیرا میکروب‌های تولید کننده متان در حضور اکسیژن فعال نیستند. با این حال، CH_4 در مراحل اولیه و ترموفیلی کمپوست‌کردن به دلیل کمبود اکسیژن در نتیجه رطوبت بیش از حد یا وجود مناطق بی‌هوازی حتی در سیستم‌های به خوبی مدیریت شده انتشار می‌یابد. بنابراین، انتشار CH_4 یک مشکل عمده مرتبط با کمپوست زباله‌های آلی است که بایستی به حداقل برسد. محققان گزارش کرده‌اند که افزودن بیوچار به کمپوست منجر به کاهش انتشار متان از کمپوست می‌شود (شکل ۴). حداقل سه دلیل برای توضیح کاهش انتشار CH_4 توسط بیوچار در فرایند کمپوست شدن وجود دارد. در مرحله اول، بیوچار تأمین و توزیع اکسیژن را بهبود می‌بخشد و سپس فعالیت‌های متانوژن محدود و فعالیت‌های متیلوتروف فعال می‌شوند (Sonoki et al. 2013). در مرحله دوم، بیوچار باعث جذب و احتباس CH_4 می‌شود. در آخر، pH بالای موجود در بیوچار فعالیت متانوژن‌هایی را که ترجیح می‌دهند pH تقریبا خنثی باشد، محدود می‌کند. این مطالعات نشان می‌دهد که بیوچار می‌تواند یک استراتژی کاهش دهنده گازهای گلخانه‌ای برای کمپوست باشد. اما برخی از محققان نگرش‌های متفاوتی دارند، مانند سانچز-گارسیا و همکاران (۲۰۱۵) که دریافتند که بیوچار تأثیر کمی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. این احتمال وجود دارد که مقدار کم بیوچار (۳-۴٪) برای بهبود شرایط تهویه سطح مورد نیاز برای کمپوست کافی نباشد. میزان کاربرد بیوچار عامل کلیدی در کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای در کمپوست‌شدن هم‌نوا می‌باشد که بایستی در تحقیقات آینده به آن پرداخته شود (Wu et al. 2017).



شکل ۴. تأثیر بیوچار بر انتشار CO_2 و CH_4 در طول کمپوست‌شدن (Liu et al. 2017)

CO_2 ۲-۲

انتشار CO_2 بیوژنیک در طول کمپوست شدن ناشی از تجزیه ماده آلی هوازی توسط ریزجانداران می‌باشد (سانچز-گارسیا و همکاران ۲۰۱۵). CO_2 فراوانترین گاز ساطع شده هنگام کمپوست شدن است. انتشار CO_2 ممکن است تحت تأثیر نوع افزودنی به ویژه قابلیت تجزیه افزودنی آلی قرار گیرد. این انتشارات به طور کلی با افزودن مواد آلی به آسانی قابل تجزیه (کاغذ، کلش، مواد پیت و غیره) افزایش می‌یابد و با افزودن مواد آلی غنی از لیگنین یا سایر ترکیبات آلی که به آرامی تخریب می‌شوند کاهش می‌یابد (Chowdhury et al. 2014). افزودن بیوچار در طول کمپوست شدن اثرات متناقضی در انتشار CO_2 در مقایسه با کمپوست معمولی دارد، برخی افزایش (Wu et al. 2017) و برخی دیگر کاهش (شکل ۴) را گزارش کرده‌اند (Chowdhury et al. 2014). اشتاینر و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که بیوچار باعث افزایش معنادار میزان تنفس یا CO_2 خروجی از کود مرغی شد و تنفس اولیه ۴۴ ٪ و تنفس کلی ۲۸ ٪ افزایش یافت. تنفس با کربن آلی محلول (DOC) ارتباط داشته و تنفس بالاتر و همچنین تجزیه سریعتر DOC نشانگر تکثیر بیشتر ریزجانداران به دلیل وجود بیوچار است. با این حال، هنوز اطلاعات جامعی در مورد تأثیر بیوچار بر فعالیت تنفسی کمپوست و اشکال مختلف کربن وجود ندارد.

نتیجه گیری

بیوچار به دلیل ساختار متخلخل باعث بهبود تهویه توده کمپوست، تسریع در تجزیه مواد آلی، افزایش غلظت عناصر غذایی، کاهش تحرک فلزات سنگین، افزایش پایداری کربن، کاهش مدت زمان کمپوست‌شدن با دخالت در فاز ترموفیلی، کاهش آبشویی نیترات، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترسیب کربن می‌شود.

تحقیقات پیشنهادی برای آینده

۱) بررسی تأثیر اندازه، نوع مواد اولیه و دمای پیرولیز بیوچار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترسیب کربن کمپوست هم‌نوا
۲) اصلاح یا مهندسی بیوچار مورد استفاده در کمپوست هم‌نوا بسته به هدف کاربرد
۳) بررسی هدررفت و تغییرات محتوای نیتروژن با کاربرد بیوچار در تولید کمپوست هم نوا در کوتاه‌مدت و طولانی‌مدت
۴) مقایسه بیوچار با دیگر افزودنی‌های آلی، معدنی و زیستی از نظر شاخص‌های کیفی کمپوست و ارائه مناسبترین افزودنی
۵) بررسی تأثیر کمپوست هم‌نوای بیوچار بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف در خاک‌های آهکی و اسیدی ایران

منابع

Ahmad, M., Rajapaksha, A.U., Lim, J.E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S. and Ok, Y.S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. Chemosphere, 99; 19-33.

Al-Kaisi, M. (2001). Impact of Tillage and Crop Rotation Systems on Soil Carbon Sequestration. University Extension, Lowa, USA. PM1871.

Barrington, S., Choinière, D., Trigui, M., & Knight, W. (2002). Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. Bioresource technology, 83(3); 189-194.

Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., and Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresource Technology,100: 5444–5453.

Chowdhury, M.A., de Neergaard, A., and Jensen, L.S. (2014). Potential of aeration flow rate and biochar addition to reduce greenhouse gas and ammonia emissions during manure composting.Chemosphere. 97: 16-25.

Dias, B.O., Silva, C.A., Higashikawa, F.S., Roig, A., and Sánchez-Monedero, M.A. (2010). Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: effect on organic matter degradation and humification. Bioresource Technology, 101: 1239–1246.

IPCC (2014) Climate change 2014. Synthesis Report.

Jindo, K., Audette, Y., Higashikawa, F.S., Silva, C.A., Akashi, K., Mastrolonardo, G., Sánchez-Monedero, M.A. and Mondini, C. (2020). Role of biochar in promoting circular economy in the agriculture sector. Part 1: A review of the biochar roles in soil N, P and K cycles. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 7(1):1-12.

Li, L., Wu, J., Tian, G., and Xu, Z. (2009). Effect of the transit through the gut of earthworm (Eisenia fetida) on fractionation of Cu and Zn in pig manure. Journal of Hazardous Materials. 167; 634–640.

Liu, N., Zhou, J., Han, L., Ma, S., Sun, X., & Huang, G. (2017). Role and multi-scale characterization of bamboo biochar during poultry manure aerobic composting. Bioresource technology, 241; 190-199.

Nguyen, T.T.N., Xu, C.-Y., Tahmasbian, I., Che, R., Xu, Z., Zhou, X., Wallace, H.M., Bai, S.H. (2017). Effects of biochar on soil available inorganic nitrogen: a review and metaanalysis. Geoderma 288; 79–96.

Sánchez-García M, Alburquerque JA, Sánchez-Monedero MA, Roig A, Cayuela ML. (2015). Biochar accelerates organic matter degradation and enhances N mineralisation during composting of poultry manure without a relevant impact on gas emissions. Bioresource technology, 192; 272–279.

Sonoki, T., Furukawa, T., Jindo, K., Suto, K., Aoyama, M., & Sánchez- Monedero, M. Á. (2013). Influence of biochar addition on methane metabolism during thermophilic phase of composting. Journal of basic microbiology, 53(7); 617-621.

Steiner, C., Melear, N., Harris, K. and Das, K.C., 2011. Biochar as bulking agent for poultry litter composting. Carbon Management, 2(3); 227-230.

Wang, X., Zhao, Y., Wang, H., Zhao, X., Cui, H., & Wei, Z. (2017). Reducing nitrogen loss and phytotoxicity during beer vinasse composting with biochar addition. Waste Management, 61; 150-156.

Wu, S., He, H., Inthapanya, X., Yang, C., Lu, L., Zeng, G., and Han, Z. (2017). Role of biochar on composting of organic wastes and remediation of contaminated soils-a review. Environmental Science and Pollution Research, 24(20):16560-16577.

Zhang, J., Chen, G., Sun, H., Zhou, S. and Zou, G., (2016). Straw biochar hastens organic matter degradation and produces nutrient-rich compost. Bioresource technology, 200; 876-883.

The effect of biochar on greenhouse gas emissions, carbon sequestration and nitrogen changes in the composting process

Kamal Khalkhal*[1], Adel Reyhanitabar[2], Shahin Oustan[3] and Naser Aliasgharzad[4]

1. PhD Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3 , 4. Prof, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran[3]

Abstract

Disadvantages of compost production and consumption include greenhouse gas emissions, nitrogen and carbon loss, which lead to climate change. The purpose of this article is to review the studies of the effect of biochar on greenhouse gas emissions (CH_4, CO_2 and N_2O), carbon sequestration and nitrogen changes because there is no published report in this field in Iran. The supply and distribution of oxygen due to the porosity and high specific surface area of the biochar limits methanogenic activity and improves methylotrophic activity, resulting in the uptake and retention of CH_4. On the other hand, this reoxidation along with ammonium adsorption on biochar surfaces reduces the denitrification process and reduces the loss of $NO3^-$, NH3 and N2O. Also, the high pH of biochar limits the denitrifying bacteria in the compost. Therefore, these carbon rich solid with porous structure, active oxygenated functional groups (carboxyl, hydroxyl, phenol and carbonyl) and aromatic and decomposable carbon of biochar, plays an important role in carbon sequestration, reducing greenhouse gas emissions, reducing nitrogen loss and environment management.

Keyword: Biochar, Composting, Greenhouse gas, Carbon sequestration, Nitrogen

Corresponding author, Email: k.khalkhal@tabrizu.ac.ir

بهبود عملکرد ذرت علوفه‌ای و ماده آلی خاک با خاک‌ورزی حفاظتی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم

غلامحسن رنجبر[۱*]، محمدحسن رحیمیان[۲]، سیدعلی طباطبائی[۳] و محمدرضا فلاطونی[۴]

[۱]استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

*نویسنده مسئول: ranjbar71@gmail.com

[۱]استادیار، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

[۲] دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

[۳]کارشناس سازمان جهاد کشاورزی استان یزد

چکیده

این آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۹ با کاشت رقم ذرت SC704 در پایلوت کشاورزی حفاظتی که قبلا به مدت دو فصل زراعی تحت تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی قرار داشت، اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل خاک ورزی مرسوم (CT)، کاشت بر روی پشته‌های دائمی (PRB) و بی‌خاک‌ورزی (NT) بود. در همه تیمارهای آزمایشی فاصله بین و روی ردیف به ترتیب۵۰ و ۲۰ سانتی‌متر بود. نتایج نشان داد که کاشت ذرت بر روی پشته‌های دائمی و روش بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش معنی‌داری عملکرد علوفه در مقایسه با روش خاک‌ورزی مرسوم شد. میزان عملکرد علوفه در تیمارهای پشته‌های دائمی، روش بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۷۱۰۲/۱، ۶۸۸۷/۵ و ۴۶۷۰/۸ گرم در متر مربع بود. میزان شاخص سطح برگ به میزان قابل توجهی در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود. بر اساس نتایج در زمان برداشت ذرت متوسط درصد ماده آلی خاک در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۴۹ بود. نتایج این تحقیق نشان داد که با حفظ بقایا در سطح خاک در مناطق خشک ضمن افزایش عملکرد، می‌توان درصد ماده آلی خاک را نیز افزایش داد.

واژگان کلیدی: بی‌خاک‌ورزی، پشته‌های دائمی، شاخص سطح برگ، مدیریت بقایا

مقدمه

خاکورزی مرسوم به دلایل مختلفی از جمله اتلاف انرژی، فرسایش، از بین رفتن ساختمان خاک، ایجاد لایه غیر قابل نفوذ به دلیل تردد بیش از حد ادوات کشاورزی، کاهش مواد آلی خاک و در نتیجه کاهش فعالیت های میکروارگانیسم های خاک همواره مورد انتقاد بوده است. در عوض در سیستم های مبتنی بر خاکورزی حفاظتی با تاکید بر بهم خوردگی کمتر خاک و باقی گذاشتن بقایای گیاهی در روی خاک و یا مخلوط با خاک، پایداری تولید، کاهش هزینه ها، سوخت و انرژی و در نهایت افزایش مواد آلی خاک را به دنبال خواهد داشت (Alverz and Steinbach, 2009).

نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که استفاده از خاکورزی حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک می‌تواند ماده آلی خاک و عملکرد را بهبود دهد. برای مثال Lafond *et al.* (1996) بیان داشتند در نواحی که خاک‌های سطحی مستعد

فرسایش‌های آبی و بادی و از دست رفتن خاک و عناصر غذایی هستند، شرایط بدون خاک‌ورزی یا خاک‌ورزی کاهش یافته با حضور بقایا، عملکردهای بالاتری در مقایسه با خاکورزی متداول دارند. اسدی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در یک مطالعه چهار ساله نتیجه گرفتند که تولید ذرت علوفه‌ای بعد از جو در اصفهان تحت مدیریت کم‌خاکورزی و بی‌خاک‌ورزی (نگهداری بقایا در سطح خاک) بدون تأثیر منفی بر عملکرد محصول امکانپذیر می‌باشد. Fahong *et al*. (2005) در چین نشان دادند که کاشت گندم بر روی پشته‌های دائمی بسته به رقم باعث افزایش حداقل ۱۴ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با کشت بر روی کرت‌های مسطح می‌گردد. همچنین Sayer *et al*. (2005) گزارش کردند که کاربرد پشته‌های دائمی به جای کشت بر روی کرت‌های مسطح می‌تواند تا ۲۲٪ در هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت گندم در سایت‌های تحقیقاتی سیمیت در مکزیک صرفه‌جویی داشته باشد.

با توجه به اینکه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند استان یزد، تولیدات کشاورزی علاوه بر فقر ماده آلی خاک با تنش های عمده دیگری مانند خشکی در تماس می‌باشند ضرورت داشت مطالعه‌ای به منظور تاثیر خاک‌ورزی حفاظتی بر میزان ماده آلی خاک و عملکرد گیاه در این مناطق انجام پذیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور تاثیر اجرای خاک‌ورزی حفاظتی بر روی عملکرد ذرت و میزان رطوبت و ماده آلی خاک، این آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۹ در پایلوت کشاورزی حفاظتی مرکز ملی تحقیقات شوری انجام شد. سابقه کاشت در سایت مورد نظر بدین صورت بود که در سال ۹۸-۱۳۹۷ تحت کشت گندم و در سال ۹۹-۱۳۹۸ تحت کشت کلزا قرار داشت. هم گندم و هم کلزا در قطعاتی مشخص و تحت تیمارهای خاک ورزی مرسوم (شاهد)، کاشت بر روی پشته های دائمی و بی‌خاک‌ورزی با دستگاه مستقیم‌کار SFOGGIA کشت و برداشت شده بودند. تیمار پشته‌های دائمی با استفاده از دستگاه رایزبد ساخت شرکت تراشکده به عرض ۸۰ سانتی متر ایجاد شده بود. تنها در تیمار خاک‌ورزی مرسوم عملیات مرسوم خاک‌ورزی (شامل دوبار گاوآهن برگرداندار، به همراه دیسک) انجام و در تیمارهای حفاظتی پس از برداشت محصول قبلی و بدون بهم‌زنی خاک، کاشت درون کلش ایستاده انجام شد.

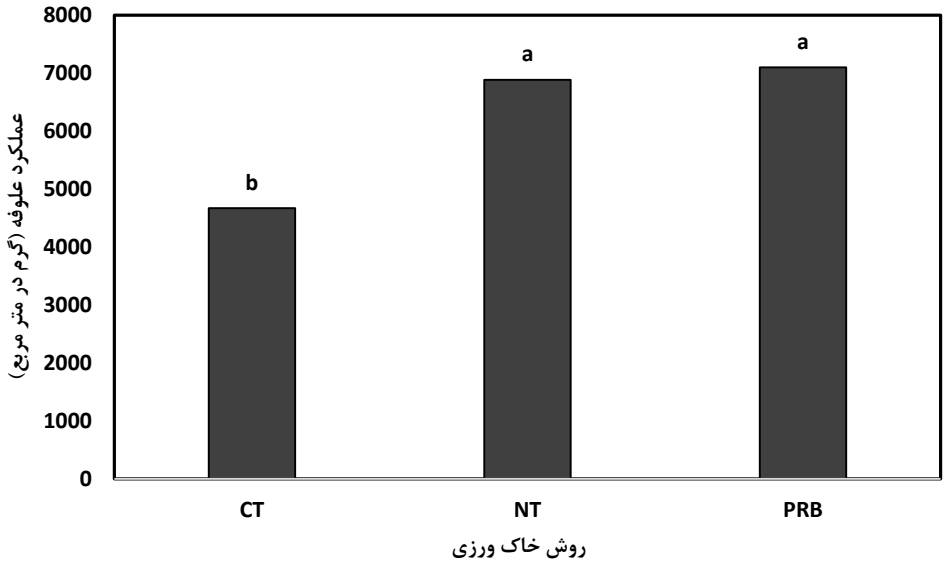
عملیات کاشت ذرت با استفاده از رقم SC704 پس از برداشت کلزا و در هفته اول تیر سال ۱۳۹۹ با توجه به تیمارهای مختلف انجام شد. فاصله بین ردیف و بین بوته‌ها در تمام تیمارهای آزمایشی به ترتیب ۵۰ و ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در طول فصل رشد کلیه عملیات زراعی برای هر تیمار بطور مشابه انجام شد. در پایان فصل رشد و در ۲۱ مهرماه مقدار ۳ متر مربع از هر تیمار برداشت و عملکرد علوفه اندازه‌گیری شد. برای اطلاع از وضعیت ماده آلی خاک، میزان ماده آلی خاک پس از برداشت ذرت در پایان مهرماه ۱۳۹۹ اندازه‌گیری و با میزان ماده آلی خاک قبل از کاشت گندم در مهرماه ۱۳۹۷ و پس از برداشت گندم در تیر ۱۳۹۸ مقایسه شد. داده‌های عملکرد علوفه با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه و میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن مقایسه شدند.

نتایج و بحث

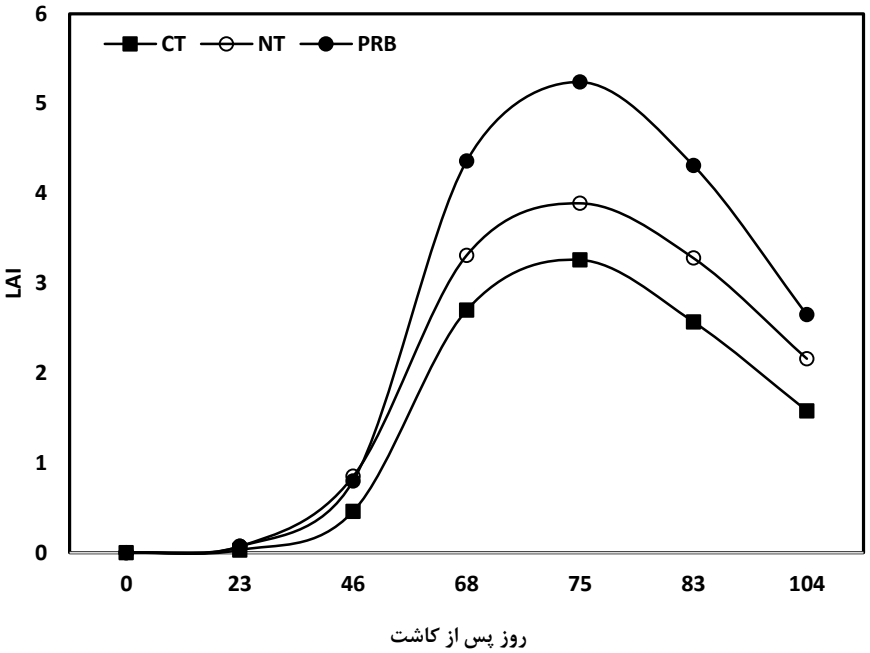
نتایج نشان داد که میزان عملکرد علوفه ذرت در روش‌های حفاظتی کشت بر روی پشته‌های دائمی و بی‌خاک‌ورزی به میزان معنی‌داری بیشتر از عملکرد علوفه در روش خاک‌ورزی مرسوم بود (شکل ۱). همانطور که در شکل ۲ نیز نشان داده شده است بطورکلی میزان شاخص سطح برگ به عنوان یکی از فاکتورهای مهم تعیین کننده عملکرد دانه در طول فصل رشد به میزان قابل توجهی در تیمارهای خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم می‌باشد. به نظر می‌رسد وجود بقایا در

سطح خاک در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی، باعث شده است که به ویژه در اوایل فصل رشد که سایه‌اندازه گیاه رشد کافی نداشته است، از تبخیر شدید رطوبت خاک ممانعت کرده و گیاه بتواند در یک دور آبیاری ثابت، بطور کارآمدتری از رطوبت موجود در خاک استفاده نماید.

Fischer *et al*. (2002) نشان دادند که در ابتـدای فصـل رشد که تعداد سنبله در واحد سطح تعیین مـی شـود، حفظ بقایا در حد بهینه از طریق فراهمی بهتر رطوبـت حاصل از بارندگی‌ها، می‌تواندااثر مثبتـی بـر عملکـرد گندم داشته باشد. Peng *et al*. (2019) در یک آزمایش دو ساله بر روی کرت‌های دائمی حفاظتی نشان دادند که استفاده از مالچ چه به صورت مدیریت بقایای گیاهی و چه به صورت کاربرد مالچ‌های پلاستیکی می‌تواند به حفظ رطوبت خاک و در نتیجه بهبود عملکرد گندم منجر گردد. ایشان نتیجه گرفتند که این راهکار می‌تواند به تولید پایدار گندم در مناطق نیمه خشک کمک نماید. Tao *et al*. (2015) نیز نشان دادند که خاک‌ورزی سطحی همراه با پوشش ۵۰ درصدی مالچ کلش باعث بهبود عملکرد دانه ذرت به میزان ۵-۷ درصد گردید. نتایج مشابهی توسط اسدی و همکاران، ۱۳۹۵ و اسدی و صادق نژاد (۱۳۹۹) به ترتیب بر روی ذرت علوفه‌ای و سویا گزارش شده است.



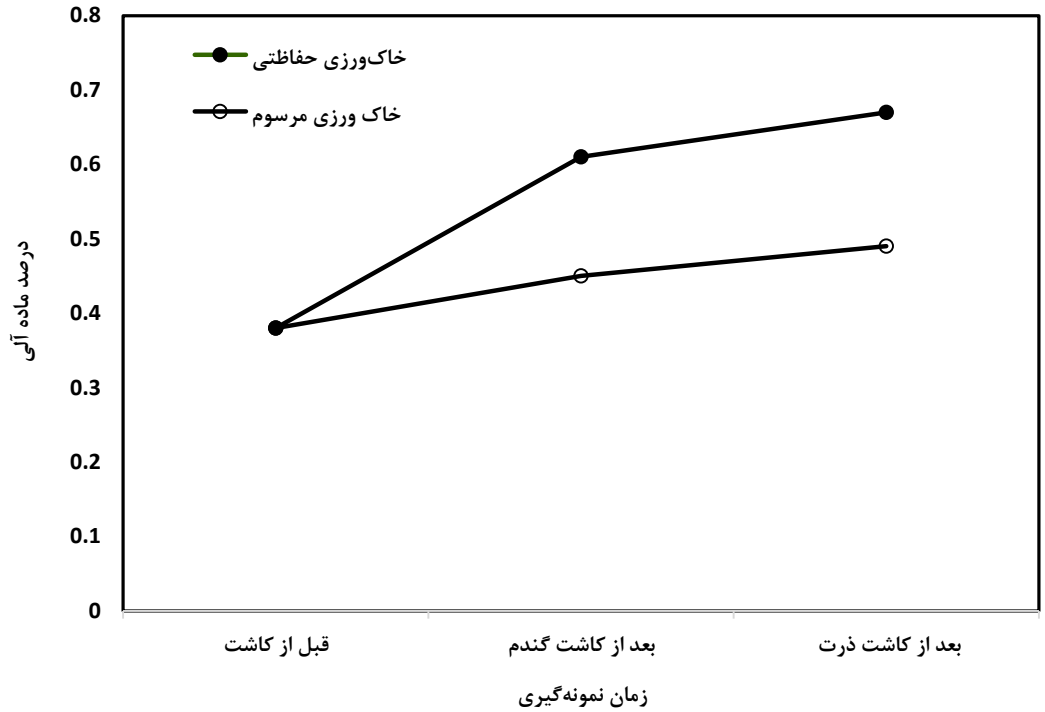
شکل ۱- مقایسه عملکرد علوفه ذرت در سه روش خاک‌ورزی مرسوم (CT)، بی‌خاک‌ورزی (NT) و پشته دائمی (PRB)



شکل ۲- مقایسه روند شاخص برگ ذرت در سه روش خاک‌ورزی مرسوم (CT)، بی‌خاک‌ورزی (NT) و پشته دائمی (PRB)

همچنین نتایج نشان داد که در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی با مدیریت بقایا و عدم خارج نمودن آن از مزرعه می‌توان میزان ماده آلی خاک را در مقایسه با روش خاک‌ورزی مرسوم بهبود داد (شکل ۳)، به نحوی که با کاربرد تیمار خاک‌ورزی حفاظتی درصد ماده آلی خاک از ۰/۳۸ در زمان قبل از کاشت گندم در مهرماه ۱۳۹۷ به ۰/۶۷ در پایان رشد ذرت در تابستان ۱۳۹۹ افزایش یافت. این در حالی بود که در این زمان درصد ماده آلی خاک در تیمار خاک‌ورزی مرسوم ۰/۴۹ بود.

افزایش درصد ماده آلی خاک با اجرای تیمارهای مختلف خاک‌ورزی در آزمایش‌های دیگران نیز گزارش شده است. امینی و همکاران (۱۳۹۳) در مرودشت استان فارس نشان دادند که نگهداری ۳۰ درصد بقایا در مزرعه ضمن حفظ رطوبت خاک می‌تواند به افزایش فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها و در نتیجه افزایش ماده آلی خاک منجر گردد. در یک آزمایش چهار ساله دیگر در همدان در تیمارهایی که بقایای ذرت به خاک برگردانده شده بود، بعد از ۱۸ ماه کربن آلی حدود ۲۵ درصد افزایش یافت (حیدری، ۱۳۸۳). آنچه مسلم است در سیستم‌های خاکورزی حفاظتی با تاکید بر باقی گذاشتن درصدی از بقایای گیاهی در سطح خاک و یا در مخلوط با آن ضمن بهبود ساختمان خاک، بهبود میزان مواد آلی و در نتیجه بهبود فعالیت های میکروارگانیسم های خاک، پایداری عملکرد نیز دور از دسترس نخواهد بود (Bahrani *et al.*, 2007).



شکل ۳- مقایسه درصد ماده آلی خاک در دو روش خاک‌ورزی حفاظتی و خاک‌ورزی مرسوم

نتیجه‌گیری

نتیجه این آزمایش نشان داد که در مناطق خشک و نیمه خشک مانند استان یزد، استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مدیریت بقایا در مزرعه می‌تواند اثر قابل توجهی بر بهبود عملکرد گیاهان زراعی به ویژه در کشت تابستانه داشته باشد. این موضوع از این نظر اهمیت دارد که در این مناطق به دلیل تبخیر زیاد از سطح خاک، نگهداری بقایا در سطح خاک می‌تواند به حفظ رطوبت خاک به ویژه در ابتدای فصل رشد که هنوز سایه‌انداز گیاه کامل نشده است، کمک نموده و عملکرد را افزایش دهد.

همچنین نتایج این آزمایش نشان داد که با کاربرد روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی حتی در کوتاه‌مدت می‌توان میزان ماده آلی خاک اراضی مناطق خشک و نیمه خشک را که فقر ماده آلی در آن‌ها مشهود است، بهبود داد. افزایش درصد ماده آلی خاک در این مناطق می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های بسیار مهم در حفظ و نگهداری از خاک در برابر فرسایش، افزایش ثبات خاکدانه‌ها و حفظ رطوبت خاک محسوب گردد.

فهرست منابع

اسدی، م.ا.، صادق‌نژاد ح.ر. (۱۳۹۹). بررسی بهره‌وری آب آبیاری و عملکرد سویا در سامانه‌های مختلف خاک‌ورزی و بقایای گیاهی. تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی. ۲۱: ۸۳-۹۶.

اسدی، م.ا.، فیض‌بخش، م.ت.، رزاقی، م.ح. (۱۳۹۵). بررسی مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت علوفه‌ای . نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۳ (۳): ۱۵۱-۱۷۰.

اسدی، ا.، یحیی‌آبادی، م. تاکی، ا. (۱۳۹۰). تأثیر خاکورزی مرسوم و حفاظتی بر عملکرد ذرت در تناوب جو-ذرت. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ۱۲ (۱): ۸۳-۹۶.

امینی، ع.، رجایی، م.، فارسی‌نژاد، ک. (۱۳۹۳). تاثیر روش های مختلف خاکورزی و مدیریت بقایای گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. جلد ۱۶: ۲۷-۳۷.

حیدری، ا. (۱۳۸۳). تاثیر مدیریت بقایای گیاهی و عمق شخم بر عملکرد گندم و ماده آلی خاک در تناوب ذرت دانه ای - گندم آبی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۹: ۸۱-۹۴.

Alvarez, R., and Steinbach, H.S. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil and Tillage Research*, 104, 1-15.

Bahrani, M.J., Raufat, M.H. and Ghadiri, H. (2007). Influence of wheat residue management on irrigated corn grain production in a reduced tillage system. *Soil and Tillage Research*, 94, 305-309.

Fahong, W., Xuqing, W., Bo, F., Jisheng, S., Shengdong, L., and Zhongming, M. (2005). Raised bed planting for wheat in China. In: Roth, C.H., R.A. Fischer and C.A. Meisner. Evaluation and performance of permanent raised bed cropping systems in Asia, Australia and Mexico. *ACIAR Proceedings* No. 121.

Fischer, R.A., F. Santiveri and I.R. Vidal. 2002. Crop rotation, tillage and crop residue management for wheat and maize in the sub-humid. *Field Crops Research*, 79: 107-122.

Lafond, G.P., Boyetchko, S.M., Brandt, S.A., Clayton, G.W., and Entz, M.H. (1996). Influence of changing tillage practices on crop production. *Canadian Journal of Plant Science*, 76, 641-649.

Peng, Z., Wang, L., Xie, J., Li, L., Coulter, J. A., Zhang, R., ... & Choudhary, S. (2019). Conservation Tillage Increases Water Use Efficiency of Spring Wheat by Optimizing Water Transfer in a Semi-Arid Environment. *Agronomy*, *9*(10), 583.

Sayre, K., Limon, A., and Govaerts, B. (2005). Experiences with permanent bed planting systems CIMMYT, Mexico. In: Roth, C.H., R.A. Fischer and Meisner وC.A. Evaluation and performance of permanent raised bed cropping systems in Asia, Australia and Mexico. *ACIAR Proceedings* No. 121.

Tao, Z.; Li, C.; Li, J.; Ding, Z.; Xu, J.; Sun, X.; Zhou, P.; Zhao, M. (2015). Tillage and straw mulching impacts on grain yield and water use efficiency of spring maize in Northern Huang–Huai–Hai Valley. *The Crop Journal*, 3, 445–450.

Improving forage maize yield and soil organic matter percentage with conservation tillage compared to conventional tillage

Gholamhassan Ranjbar[1*], Mohammadhassan Rahimian[1], Seyed Ali Tabatabaei[2] and Mohammadreza Falatoni[3]

1. Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran, *Corresponding author: ranjbar71@gmail.com

1. Assistant Professor, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran, *Corresponding author: ranjbar71@gmail.com

2. Associate Professor. Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran,

3. Extension Engineer, Organization of Agriculture Jahad Yazd

Abstract

This experiment was carried out during summer in 2020 by planting corn C.V. SC704 in a conservation agricultural pilot that was previously managed by conservation tillage treatments for two cropping seasons. Experimental treatments were conventional tillage (CT), planting on permanent raised bed (PRB) and no tillage (NT). In all experimental treatments, the distance between and on the row was 50 and 20 cm, respectively. Results showed that planting corn on PRB and NT methods significantly increased forage yield compared to CT method. Forage yield in PRB, NT and CT methods were 7102.1, 68887 and 4670.8 g m^{-2}, respectively. Leaf area index was significantly higher in conservational tillage treatments than conventional tillage. According to the results, in corn harvesting time, the average percentage of soil organic matter in conservation and conventional tillage treatments were 0.67 and 0.49, respectively. The results of this study showed that by maintaining residues on the soil surface in arid region yield could be increased as well as soil organic matter.

Keywords: Leaf Area Index, No tillage, Permanent Raised Bed, Residual Management

پیامد کاربرد بیوچارکاه گندم و کود مرغی بر معدنی شدن کربن و نیتروژن خاک

غزل محمدی نیا[1]، صفورا ناهیدان[2]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
mohammadinia72@gmail.com

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

آگاهی از سرعت معدنی‌شدن کربن و نیتروژن از منابع مختلف آلی یک عامل کلیدی برای تعیین نیاز کودی گیاه با کمترین آثار منفی زیست‌محیطی است. در سال‌های اخیر از بیوچار به عنوان یک بهساز به منظور کربن‌اندوزی و حفظ حاصلخیزی خاک استفاده شده است. هدف از پژوهش اخیر، بررسی تاثیر بیوچار کاه گندم و کود مرغی بر معدنی‌شدن کربن و نیتروژن می‌باشد. بدین منظور، مقدار ۰ و ۲ درصد کودمرغی به یک خاک کشاورزی اضافه شد. سپس به خاک-های دارا و بدون کود مرغی مقادیر ۰، ۲/۵ و ۵ درصد از بیوچار کاه گندم افزوده شد. نمونه های خاک به مدت ۵۶ روز در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و در دمای آزمایشگاه نگهداری شدند. نتایج نشان داد که بیوچار باعث افزایش معدنی‌شدن کربن در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی شد و در خاک شاهد تاثیر کاهشی ولی غیرمعنی‌دار داشت. بیوچار باعث کاهش معدنی شدن خالص نیتروژن خاک‌های شاهد و تیمار شده با کود مرغی شد اگرچه این تاثیر معنی‌دار نبود. با وجود این، این تاثیر در خاک شاهد مشهودتر بود. این نتایج نشان‌دهنده آن است که کاربرد کودهای آلی نیتروژن‌داری مانند کود مرغی می‌توانند اثر بیوچار بر کربن‌اندوزی و آلی شدن نیتروژن خاک را کاهش دهند.

واژه های کلیدی: بیوچار، کود مرغی ، معدنی شدن کربن ، نیتروژن

مقدمه

قسمت عمده کشور ایران دارای اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک است و عدم وجود پوشش گیاهی کافی سبب بازگشت مقدار کم بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کمبود مواد آلی در خاک می‌شود. نقش اصلی ماده آلی خاک در حفظ عملکرد خاک و بهره‌وری گیاهان در اکوسیستم‌های کشاورزی مدت‌هاست که شناخته شده است (Puget ،2001 and Drinkwater). یکی دیگر از روش‌هایی‌که از دیرباز به منظور بهبود حاصلخیزی خاک‌ها استفاده می‌شود، استفاده از انواع کودهای دامی می‌باشد. با وجود این، طول عمر این کودها در خاک معمولا کوتاه بوده، به سرعت تجزیه شده و می‌توانند منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای و هدرروی کربن و نیتروژن خاک گردد. بنابراین کنترل سرعت معدنی شدن کربن و نیتروژن از کودهای دامی به منظور افزایش کربن‌اندوزی و حفظ ذخایر غذایی خاک ضروری است و نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد. بیوچار به عنوان یک ماده متخلخل، غنی از کربن و ریزدانه است که از گرمادهی بقایای آلی در دماهای ۲۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک محیط بدون اکسیژن یا با میزان اکسیژن محدود بدست می‌آید (Lehman and Joseph ,2009). یکی از ویژگی‌های مهم بیوچار، پایداری آن پس از افزودن به خاک می‌باشدکه به نوع و دمای ساخت بیوچار و حتی ویژگی‌های خاک بستگی دارد (Lehman and Joseph ,2009). این ویژگی بیوچار سبب شده که از انتشار سریع گاز دی‌اکسید کربن به اتمسفر جلوگیری کرده و منجربه افزایش کربن‌اندوزی در خاک شود (Bamminger et al., 2014). بیوچار به علت ساختار متخلخل با سطح ویژه بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی و آنیونی مانع از هدرروی نیتروژن از خاک می‌شود اما از طرفی، افزودن بیوچار به خاک (بسته به نوع و مقدار کاربرد آن) ممکن است از طریق آلی شدن نیتروژن در خاک مقدار نیتروژن قابل دسترس برای گیاه را کاهش دهد (Nelson et al., 2011).

استفاده همزمان بیوچار با کودهای دامی به عنوان یک مدیریت موثر در جهت کاهش محدودیت های کـاربرد بیوچـار و کودهای دامی به تنهایی مورد توجه قرار گرفته است (Rogovska et al.,2011). با وجود این، دانستهها در ایـن زمینـه اندک بوده و نیاز به پژوهش های بیشتری است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی کاربرد بیوچار کاه گندم بر معدنی شدن کربن و نیتروژن در خاک های تیمار شده با کود مرغی می باشد.

مواد و روش ها

در این پژوهش از لایه ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری یک خاک کشاورزی نمونه‌برداری شد. برخی از ویژگی های خاک ماننـد تعیین بافت خاک به روش پیپت (Elonen,1971)، کربنات‌کلسیم معادل خاک به روش خنثی سازی با اسیدکلریدریک و تیتراسیون برگشتی (Sims,1996)،کربن آلی خاک به روش اکسایش تـر (Walkley and Black,1934)، ظرفیـت تبـادل کاتیونی خاک به روش استات آمونیوم (Rowell,1994) ، اسـیدیته خـاک در عصـاره ۱ بـه ۵ خـاک بـه آب و اسـیدیته کـودمرغی و بیوچارکـاه گنـدم درعصـاره۱ بـه۲۰ مـوادآلی بـه آب بـه کمـک دسـتگاه pH متـر انـدازه‌گیـری شـد (Thomas,1996). هدایت الکتریکی خاک در نسبت ۱ به ۵ خاک به آب و هـدایت الکتریکـی کـودمرغی و بیوچـار کـاه گندم در نسبت۱ به ۲۰ مواد آلی به آب با دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد (Rhoades,1996). اندازه‌گیری درصد کربن، نیتروژن، هیدروژن وگوگرد برای نمونه‌های کودمرغی‌وبیوچار کاه گندم توسط دسـتگاه آنـالیز عنصـری صـورت گرفـت. میزان نیتروژن معدنی در نمونه های خاک ،کود مرغی و بیوچارکاه گندم نیز به روش تقطیر بخارآب انـدازه گیـری شـد (kneeny and Nelson,1982). ویژگی های خاک و مواد آلی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی های خاک و مواد آلی

ویژگی ها	واحد	خاک	بیوچار کاه گندم	کود مرغی
بافت		لوم سیلت	-	-
کربنات کلسیم معادل	درصد	۱/۰۴	-	-
کربن آلی	درصد	۰/۸۷	-	-
ظرفیت تبادل کاتیونی	meq/100g	۲۳/۷۱	-	-
اسیدیته	-	۸/۲	۹/۹۱	۸/۶۱
هدایت الکتریکی	ds/m	۰/۱۰۶	۱/۳۱	۳/۴
کربن	درصد	-	۶۱/۵۲	۳۱/۹۶
هیدروژن	درصد	-	۳/۰۷	۵/۱۱
نیتروژن	درصد	-	۰/۴۱	۲/۹۹
گوگرد	درصد	-	-	۰/۴۷
نیتروژن معدنی	mg/kg	۵۵/۵	۳۵/۹	۲۹۹۸/۸

به منظور انجام آزمایش، مقدار ۰ و ۲ درصد کودمرغی به خاک اضافه شد. به نمونه‌های خاک دارای ۲ درصـد کـود مرغی و بدون کود (خاک شاهد) در سه تکرار، مقادیر۰، ۲/۵ و ۵ درصد از بیوچارکاه گندم (ساخته شده در دمـای ۴۵۰ درجه سانتی گراد) افزوده شد. واحدهای آزمایشی (۳۶ عدد) به منظور بررسی معدنی شدن کـربن بـه مـدت ۵۶ روز در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت زراعی و در دمای آزمایشگاه انکوباسیون و سپس مقدار انتشار دی اکسید کربن در زمان‌هـای ۵۶،۴۲،۳۵،۲۸،۲۱،۱۵،۱۰،۷،۴،۲،۱ روز اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیـری تـنفس میکروبـی در زمـان‌هـای مقـرر، مقـادیر تجمعی کربن معدنی در این زمان‌ها محاسبه گردید و سپس مقادیر پتانسیل معدنی شدن کربن (C_0) و ثابت سـینتیکی رده اول(K) به عنوان پارامترهای معادله سینتیکی معدنی‌شـدن کـربن$C_m=C_0\ (1-e^{-kt})$ بـا اسـتفاده از نـرم‌افـزار Curve

Expert 1.4 محاسبه شد. در پایان ۵۶ روز انکوباسیون، مقدار نیتروژن معدنی خاک به روش تقطیر با بخارآب اندازه گیری شد (kneeny and Nelson,1982). معدنی شدن خالص نیتروژن، از رابطه زیر محاسبه گردیدند.

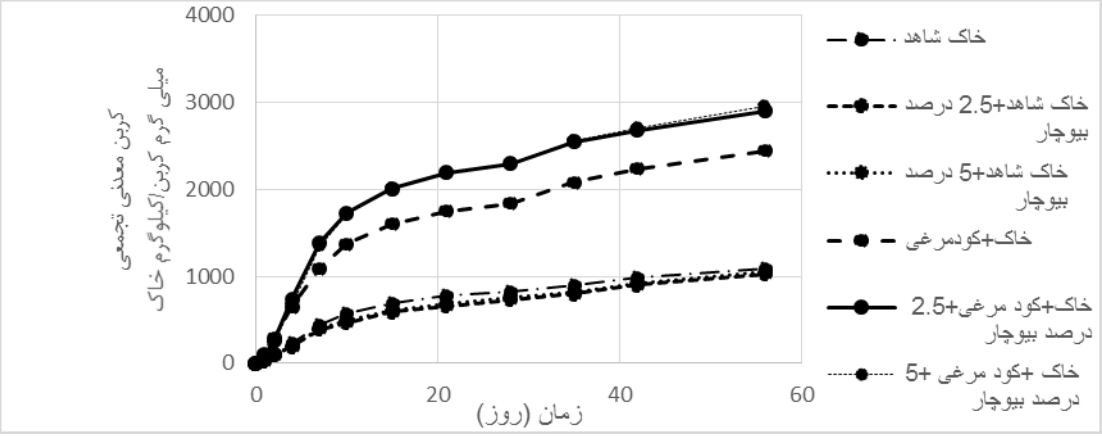
$N_{m/i} = (NH_4^+ + NO_3^-)_f - (NH_4^+ + NO_3^-)_i$

که در آن $N_{m/i}$ معدنی شدن یا آلی شدن خالص نیتروژن، $(NH_4^+ + NO_3^-)_f$ آمونیوم و نیترات در پایان دوره انکوباسیون، $(NH_4^+ + NO_3^-)_i$ آمونیوم و نیترات پیش از دوره انکوباسیون می‌باشد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SAS(Version 9.1) صورت گرفت.

نتایج و بحث

معدنی شدن کربن

روند زمانی تولید CO_2 در خاک شاهد و خاک تیمار شده با کود مرغی همراه با سه سطح مختلف بیوچار در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روند معدنی‌شدن کربن آلی با زمان از یک توزیع نمایی پیروی می‌نماید، به طوری که در هفته اول انکوباسیون، روند معدنی شدن کربن به دلیل وجود مواد آلی با تجزیه پذیری بیشتر سریع بوده و پس از کاهش مقدار این منبع و شروع مواد آلی مقاوتر به تجزیه، روند معدنی شدن کند می‌شود. برخلاف خاک شاهد در خاک های تیمار شده با کود مرغی، معدنی شدن کربن در طی ۵۶ روز انکوباسیون در اثر کاربرد بیوچار افزایش می یابد.



شکل۱-روند معدنی شدن کربن در خاک شاهد و خاک تیمار با کود مرغی

نتایج شاخص های سینتکی معدنی شدن کربن نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. مقایسه میانگین برهمکنش کود و بیوچار بر C_m نشان داد که بیشترین مقدار کربن تجمعی معدنی‌شده در طی ۵۶ روز انکوباسیون در خاک تیمار شده با کود مرغی همراه با بیوچار ۵ درصد برابر با ۲۹۵۳/۹ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک و کمترین آن در خاک همراه با بیوچار ۲/۵ درصد برابر با ۱۰۲۵/۴ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک بود (جدول۲). کاربرد بیوچار در تیمار شاهد، C_m را کاهش داد اگر چه از نظر آماری معنی‌دار نبود. با وجود این، بیوچار منجر به افزایش معنی داری در C_m خاک های تیمار شده با کود مرغی شد. مقایسه میانگین برهمکنش کود و بیوچار بر C_0 نیز نشان داد که بیشترین مقدار C_0 مربوط به خاک تیمار شده با کودمرغی به همراه ۵ درصد بیوچار برابر با ۲۸۰۶/۴ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک و کمترین مقدار آن در خاک شاهد به همراه بیوچار ۲/۵ درصد برابر با ۹۹۹/۱ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک بود (جدول ۲). همچنین کاربرد بیوچار تنها در تیمار کود مرغی باعث افزایش معنی‌داری در C_0 شد. مقایسه میانگین برهمکنش کود و بیوچار بر ثابت سرعت (K) نشان داد که بیشترین مقدار ثابت سرعت در خاک تیمار شده با کود مرغی به همراه ۲/۵ درصد بیوچار برابر با ۰/۰۸۶۸ day^{-1} و کمترین مقدار آن در خاک شاهد همراه با ۲/۵ درصد بیوچار برابر ۰/۰۵۵۸ day^{-1} بود (جدول۲). همچنین بیوچار منجر به کاهش ثابت سرعت در خاک شاهد و افزایش ثابت سرعت

در تیمار کود مرغی شد. مقایسه میانگین برهمکنش کود و بیوچار بر شاخص سرعت معدنی‌شدن کربن (KC_0) نشان داد که بیشترین مقدار KC_0 مربوط به خاک تیمار شده با کودمرغی به همراه بیوچار ۲/۵ درصد برابر با ۲۳۸/۱۲ میلی-گرم کربن در کیلوگرم خاک و کمترین مقدار آن در خاک شاهد تیمار شده با بیوچار ۲/۵ درصد برابر با۵۵/۶۷ میلی‌گرم کربن در کیلوگرم خاک بود (جدول۲). همچنین کاربرد بیوچار در خاک تیمار شده با کود مرغی باعث افزایش معنی-داری در KC_0 شد اما در خاک شاهد اگرچه کاربرد بیوچار، KC_0 را کاهش داد ولی این اثر معنی‌دار نبود. به‌طور کلی نتایج حاصل از شاخص‌های سینتکی نشان داد که معدنی‌شدن کربن در خاک‌های تیمار شده با کود مرغی تحت تاثیر کاربرد بیوچار افزایش می‌یابد و در خاک شاهد کاهش یافته اگرچه این اثر معنی‌دار نمی‌باشد. این نتایج گویای آن است که در حضور یک منبع آلی حاوی نیتروژن زیاد در خاک مثل کود مرغی تاثیر بیوچار بر معدنی‌شدن کربن خاک مثبت است یا این‌که می‌توان گفت هنگامی که مقدار ویژه‌ای ماده آلی نیتروژن‌دار وارد خاک می‌شود، ترکیبات کربنه مقاوم و پایداری مثل بیوچار به تجزیه میکروبی حساس‌تر شده و در نتیجه معدنی شدن کربن افزایش می یابد.

جدول۲- تاثیر بیوچار بر شاخص های سنتیکی معدنی شدن کربن و نیتروژن معدنی خاک های تیمار شده

کود	مقدار بیوچار ٪	Cm mg CO_2-C Kg^{-1}	C_0 mg CO_2-C Kg^{-1}	K day^{-1}	KC_0 mg CO_2-C Kg^{1-} d^{-1}	$N_{m/i}$ mg/kg soil
شاهد	۰	۱۰۸۶/۹c	۱۰۳۹/۴c	۰/۰۶۹۷c	۷۲/۴۳c	-۱۳/۸۴b
	۲/۵	۱۰۲۵/۴c	۹۹۹/۱c	۰/۰۵۵۸d	۵۵/۶۷c	-۲۳/۳۴b
	۵	۱۰۵۲c	۱۰۱۵/۶c	۰/۰۵۸۳d	۵۹/۱۹c	-۲۶/۲۶b
مرغی	۰	۲۴۴۰/۴b	۲۲۸۷/۰b	۰/۰۷۸۹b	۱۸۱/۰۴b	۱۴۸/۳۵a
	۲/۵	۲۸۹۷/۶a	۲۷۴۲/۷a	۰/۰۸۶۸a	۲۳۸/۱۲a	۱۲۴/۷۵a
	۵	۲۹۵۳/۹a	۲۸۰۶/۴a	۰/۰۷۹۲b	۲۲۲/۳۴a	۱۴۱/۹۱a

نتایج تجزیه واریانس منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
کود	۱	۱۳۱۵۰۰۰۰***	۱۱۴۳۰۰۰۰***	۰/۰۰۱۸۶۶***	۱۰۳۱۵۶***	۱۱۴۴۵۴***
بیوچار	۲	۹۸۱۵۲/۸*	۱۰۶۱۳۵**	۰/۰۰۰۴۶۵۹*	۶۴۱^{ns}	۴۱۴^{ns}
کود.بیوچار	۲	۱۴۲۶۷۵**	۱۳۵۸۳۳**	۰/۰۰۰۱۷۹۱***	۲۲۰۰**	۱۶۰^{ns}
خطا	۱۲	۱۵۵۵۷/۱	۱۳۶۲۳/۷	۰/۰۰۰۰۱۰۹۹	۲۰۰	۲۳۷

حروف متفاوت در هر ستون، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD ($P<0.05$) می‌باشد. *** معنی‌داری در سطح ۰/۰۰۱، ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱، * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ns عدم اختلاف معنی‌دار. Cm کربن معدنی شده تجمعی، C_0 = پتانسیل معدنی شدن کربن، K= ثابت سرعت، KC_0 = شاخص سرعت معدنی شدن کربن، $N_{m/i}$ = معدنی شدن خالص نیتروژن

معدنی شدن خالص نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تنها اثر کود در سطح ۰/۱ درصد بر معدنی شدن خالص نیتروژن معنی دار شد. مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین مقدار معدنی شدن خالص نیتروژن در خاک تیمار شده با کود مرغی همراه با بیوچار ۱ درصد برابر با ۱۴۸/۳۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار خاک شاهد همراه با ۵ درصد بیوچار برابر با ۲۶/۲۶- میلی گرم در کیلوگرم خاک بود. نتایج نشان می‌دهد که در خاک شاهد، آلی شدن نیتروژن اتفاق افتاده است و کاربرد کود مرغی باعث معدنی شدن نیتروژن در خاک شده است. سیستانی و همکاران

(۲۰۰۸) با مطالعه‌ی معدنی‌شدن مانده‌های مرغی، تحت شرایط انکوباسیون و مزرعه دریافتند که پس از افزودن مانده-های مرغی به خاک‌ها، میزان نیتروژن معدنی کل ناشی از مانده‌ها در همه تیمارها به ترتیب از ۲۳ به ۱۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در زمان‌های ۰ و ۹۳ روز افزایش می‌یابد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. نتایج ضرابی وجلالی (۲۰۱۳) نیز نشان می‌دهد که معدنی‌شدن نیتروژن وابسته به عواملی همچون نوع خاک و بهسازهای آلی می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که کاربرد بیوچار، نیتروژن معدنی خاک را کاهش داده اگرچه این کاهش معنی‌دار نیست. این تاثیر کاهشی در خاک شاهد مشهودتر است به طوری که آلی شدن نیتروژن در اثر کاربرد بیوچار بیشتر شده است.(2012)،.Tammeorg et al در مطالعه انکوباسیونی به بررسی تاثیر بیوچار تراشه چوب بر پویایی معدنی‌شدن نیتروژن از دو کود آلی استخوان گوشت گاو و کمپوست کود گاوی در خاک شن لومی به مدت ۱۳۳ روز تحت شرایط کنترل‌شده پرداختند. نتایج نشان داد که میزان معدنی‌شدن خالص نیتروژن در تیمار استخوان‌گوشت گاو بسیار بیشتر از کمپوست کود گاوی و سایر تیمارهای بدون کود بود. افزودن بیوچار، مقدار نیتروژن معدنی در تمامی تیمارها را کاهش داد که احتمالا به علت آلی شدن به وسیله میکروب‌ها می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که کاربرد کود مرغی منجر به کاهش اثر کربن اندوزی بیوچار در خاک می‌شود. همچنین شواهدی از تاثیر کاهشی بیوچار بر معدنی شدن نیتروژن وجود دارد که این تاثیر در اثر کاربرد کود مرغی کاهش می‌یابد. بنابراین کاربرد کود مرغی ممکن است باعث کاهش تاثیر بیوچار بر آلی شدن نیتروژن خاک شود

منابع

Bamminger, C., Marschner, B., and Jüschke, E. (2014). An incubation study on the stability and biological effects of pyrogenic and hydrothermal biochar in two soils. *European Journal of Soil Science*, *65*(1): 72-82.

Elonen, P. (1971) .Particle-size analysis of soil. Soumen maataloustieteellisen seuran julkasuja. Acta Agralia fennica 122: 112-123.

Keeney D.R., Nelson D.W. (1982) .Nitrogen-inorganic forms. in: PageA.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Madison, Wisconsin, USA,pp. 643–698.

Lehmann, J., and Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: an introduction. Biochar for environmental management*". Science and technology 1: 1-12.

Nelson, N.O., Agudelo, S.C., Yuan, W., and Gan, J. (2011) Nitrogen and phosphorus availability in biochar-amended soils. Soil Science 176(5): 218-226

Puget, P.,and Drinkwater, L.E.(2001).*Short-term dynamics of root-and shoot-derived carbon from a leguminous green manure. Soil Science Society of America Journal* 65(3): 771-779.

Rhoades, J.D. (1996) .*Salinity*: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods 5: 417-435.

Rogovska, N., Laird, D., Cruse, R., Fleming, P., Parkin, T., and Meek, D. (2011). Impact of biochar on manure carbon stabilization and greenhouse gas emissions. *Soil Science Society of America Journal* 75(3): 871-879.

Rowell, D.L. (1994) .*Soil science: methods and applications*. Harlow: Longman Group (p. 345).

Sims, J.T. (1996*)* .Lime requirement. In: Sparks, D.L (ed) "Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical properties (3rd ed.). ASA, SSSA, CSSA, Madison, WI. p. 491.

Sistani, K.R., Adeli, A., McGowen, S.L., Tewolde, H., and Brink, G.E. (2008).Laboratory and field evaluation of broiler litter nitrogen mineralization. *Bioresource Technology* 99(7): 2603-2611.

Tammeorg, P., Brandstaka, T., Simojoki, A., and Helenius, J. (2012). Nitrogen mineralisation dynamics of meat bone meal and cattle manure as affected by the application of softwood chip biochar in soil. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 103(1): 19-30.

Thomas, G.W. (1996) .Soil pH and soil acidity. In: Klute, A. (ed) "Methods of soil analysis". Part 3. Chemical methods. Madison, Wisconsin, USA. p.p. 475–490.

Walkley, A., and Black, I.A. (1934) .An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science* 37(1): 29-38.

Zarabi, M., and Jalali, M. (2013) .Nitrogen mineralization in two calcareous soils treated with raw organic amendments. *Clean Technologies and Environmental Policy* 15(2): 317-331.

The effect of wheat straw biochar and poltry manure application on carbon and nitrogen mineralization of soil

Ghazal Mohammadinia[1],Safoora Nahidan[2]

1- M.Sc, graduate of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran E-mail: mohammadinia72@gmail.com

2- Assistant Professors of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Abstract

Awareness of the rate of mineralization of carbon and nitrogen from various organic sources is a key factor in determining the need for plant fertilizer with the least negative enviromental effects. In recent years, biochar has been used as a soil conditioner to improve carbon sequestration and to maintain soil fertility. The aim of this present study was to investigate the effect of wheat straw biochar on carbon and nitrogen mineralization in soil treated with poultry manure. For this purpose, 0 and 2% of poltry manure were added to an agricultural soil. Then, wheat straw biochar (produced at 450 ° C) at the rate of 0, 2.5 and 5% was added to soils amended with and without poultry manure.The treated soils were incubated for 56 days at 70% FC under labratory temperature. The results showed that biochar increased carbon mineralization in soils treated with poultry manure and had a decreasing but non-significant effect in the control soil. Biochar decreased N mineralizarion in soil treated with and without poltry manure, though it was non-significant. Nevertheless, this effect was more pronounced in the control soil. These results indicate that application of organic nitrogen fertilizers such as poultry manure can reduce the effect of biochar on carbon sequestration and soil nitrogen immobilization.

Keywords: Biochar, Carbon mineralization, Nitrogen, Poultry manure

تأثیر کاربری‌های مختلف بر فرکشن‌های کربن آلی در منطقه اردبیل

میلاد کلبعلی نژاد [۱]، اسماعیل گلی کلانپا[۲]، حسین شهاب

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی، m.kalbalinezhad@student.uma.ac.ir

۲- دانشیار دانشگاه محقق اردبیلی، استادیار دانشگاه محقق اردبیلی

چکیده

بررسی تغییرات فرکشن کربن آلی می‌تواند به عنوان شاخصی در تعیین کیفیت خاک استفاده شود. به‌منظور بررسی تأثیر تغییر کاربری بر فرکشن‌های کربن آلی خاک در منطقه اردبیل، سه سایت با چهارکاربری (جنگل متراکم، جنگل تنک، مرتع، زراعی) در هر سایت انتخاب شد. نمونه برداری به صورت کاملاً تصادفی و از هرکاربری سه تکرار به صورت خاک سطحی از عمق (۳۰-۰ سانتی‌متر) انجام شد. ماده آلی ذره‌ای در فرکشن‌های شن درشت، شن ریز، ذرات سیلت و رس اندازه‌گیری گردید. پژوهش در قالب طرح کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که کربن آلی ذره‌ای در کاربری جنگل متراکم نسبت به سایر کاربری‌ها، به طور معنی داری بالاتر می‌باشد. کربن آلی خاک در فرکشن رس بیشتر از سیلت، شن ریز و شن درشت بدست آمد.

کلید واژه: کربن آلی، فرکشن، تغییر کاربری.

واژگان کلیدی:

مقدمه

کربن آلی خاک یکی از اجزاء مهم منابع طبیعی است، که بخاطر ویژگی‌های منحصر بفرد از جمله اندازه‌ی ریز، سطح ویژه بالا، ظرفیت تبادل کاتیونی وابسته به pH، بافت اسفنجی نقش بسیار مهمی در کیفیت خاک دارد. همچنین کربن آلی خاک نقش مهمی در بهبود حاصلخیزی و حفظ بهره‌وری خاک به دلیل اثرات آن بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد (او و همکاران، ۲۰۱۵). کربن آلی باعث استحکام ساختمان در خاک‌های معدنی شده و با وجود گروه‌های عاملی متعدد، منبع عظیمی برای جذب و غیرفعال کردن آلاینده‌های مختلف است. ذخیره کربن آلی خاک یکی از منابع طبیعی با ارزش خاک است، که فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را تعدیل نموده و موجب بهبود کیفیت آب با جذب آلاینده‌ها می‌شود (چارتر، ۲۰۰۲). کربن آلی کل در خاک (اجزاء زنده و غیر زنده) طیف وسیعی از ترکیبات با خصوصیات متفاوت فیزیکوشیمیایی را شامل می‌شود که سرعت تجزیه و تخریب آنها متفاوت است (لمن و کلبر، ۲۰۱۵). برای بیان ترکیبات کربن آلی خاک از دو کلمه مخازن (Pool) و گونه یا اجزاء (Fraction) استفاده می‌شود. اصطلاح مخزن عمدتا برای ترکیباتی از مواد آلی که از نظر تئوریکی از هم جدا شده‌اند، یا از نظر سنتیکی تعیین شده‌اند استفاده می‌شود. کربن آلی خاک بر اساس سرعت تجزیه و تخریب در سه مخزن بزرگ فعال یا ناپایدار (سرعت تجزیه بالا)، حد وسط یا مخازن با سرعت تجزیه و تخریب کند و غیر فعال یا پایدار یا بی‌اثر تقسیم‌بندی می‌شود. کلمه فرکشن برای توصیف ترکیبات قابل اندازه‌گیری کربن آلی در هر مخزن استفاده می‌شود. مخازن غیر زنده کربن آلی بر اساس اندازه ذرات به اجزاء (فرکشن‌های) مختلفی نظیر کربن آلی محلول (DOC)، کربن آلی ذره‌ای (POC) با اندازه کوچتر از ۵۳ میکرومتر، اجزاء پایدار با اندازه بزرگتر از ۵۳ میکرومتر (Humus) و اجزاء بی‌اثر (IOC) طبقه بندی می‌شود. معمولا برای ارزیابی وضعیت کربن آلی خاک، کربن آلی کل خاک به روش اکسیداسیون تر یا خشک اندازه‌گیری می‌شود. اما، بررسی منابع نشان می‌دهد که هر کدام از اجزاء کربن آلی در خاک کارکرد متفاوتی دارد. به عنوان مثال، جزء پایدار و هوموس خاک در فرآیندهای شیمیایی مثل

ظرفیت تبادل کاتیونی مهم بوده و جزء کربن آلی ذره‌ای در تامین انرژی میکروارگانیسم‌ها و در حدودی در خاکدانه‌سازی موثر است. جزء بی اثر تقریبا در خاکدانه‌سازی و خصوصیات شیمیایی و بیولوژیک نقشی ندارد. لذا، توزیع کربن بین این گونه‌ها در خواص خاک تاثیر متفاوتی داشته و کربن آلی کل شاخص مناسبی برای اندازه‌گیری وضعیت کربن آلی خاک نمی‌باشد. علاوه بر کارکرد متفاوت اجزاء کربن آلی در خاک، مدیریت و استفاده‌های مختلف از اراضی مانند جنگل، مرتع، کشاورزی و ایجاد باغات میوه می‌تواند ضمن تاثیر بر میزان هر کدام از اجزاء کربن آلی، پیامدهای گوناگونی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک داشته باشد (لال ، ۲۰۱۴ ؛ ژانگ و نی ، ۲۰۱۷). کربن آلی ذره‌ای در مراحل ابتدایی مورد تجزیه و تخریب میکروبی قرار داشته و هنوز با اجزاء معدنی خاک پیوند نخورده است. لذا، بخش فعال یا ناپایدار مواد آلی خاک بوده و به شدت تحت تاثیر مدیریت (کاربری اراضی، عملیات شخم و...) قرار می‌گیرد. لذا، برخی از محققین میزان کربن آلی ذره‌ای را به طور غیر مستقیم شاخصی از کیفیت خاک ارزیابی می‌کنند. تغییر کاربری اراضی با تخریب ساختمان خاک و افزایش دسترسی ریزجانداران به ترکیبات آلی می‌تواند منجر به تشدید سرعت تجزیه بقایای آلی شود (شکل آبادی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین، کاهش میزان کربن آلی ذخیره در خاک خطر فرسایش خاک را شدید نموده و تولید محصولات را کاهش می دهد. هدر روی کربن آلی از خاک‌های کشاورزی و مراتع به دلیل تخریب اراضی به صورت گاز، آبشویی و رواناب افزایش می‌یابد و در نتیجه ذخیره کربن آلی در خاک به شدت کاهش می‌یابد (نصرتی، ۲۰۱۱). تغییر کاربری اراضی دومین عامل اصلی انتشار کربن پس از مصرف سوخت است (واتسون و همکاران،۲۰۰۰). در سطح جهانی، تغییر کاربری اراضی مسئول تخلیه انتشار خالص ۱/۱ پتا گرم (10^{15} گرم) کربن در سال است (پاپلو و دان، ۲۰۱۳). با این حال، چشمگیرترین تاثیر از شیوه‌های کشاورزی زمانی اتفاق می‌افتد که خاک‌های زیر پوشش گیاهی بومی به زراعی تبدیل شوند (هاینس، ۲۰۰۵). تغییرات در کربن آلی خاک تحت تأثیر بسیاری شیوه‌های مدیریتی، مانند استفاده از کود، بازگشت کاه و خاکورزی است (یان و همکاران، ۲۰۱۳ ؛ زو و همکاران، ۲۰۱۵). ارزیابی ناشی از تغییرات کاربری اراضی در خصوصیات خاک برای پرداختن به مسئله کشاورزی، تحول اکوسیستم و بهره‌وری پایدار اراضی ضروری است. تغییر کاربری اراضی بخصوص به اراضی کشاورزی تأثیر منفی در کیفیت خاک و ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی و زیستی خاک دارد، که مهم‌ترین تأثیر آن بر کیفیت و کمیت کل ماده آلی (کل کربن آلی) خاک و توزیع اندازه ذرات خاک می‌باشد. کربن خاک برای کل مخزن کربن زیست کره نقش غالب در چرخه بیوژئوشیمی جهانی مواد مغذی اصلی مهم است، در الگوی تغییر سطح کاربری و تغییر کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفته است (واکر و دسانکر، ۲۰۰۴). تغییر کاربری اراضی به طور قابل توجهی بر کیفیت و مقدار ورودی بقایای محصول به خاک و غنی‌سازی آن و تغییرات در مخازن کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارد (بولین و سوکومار، ۲۰۰۰). فرض بر این است که در تغییرات کاربری و مدیریت اراضی پویاترین عامل کربن آلی خاک است (ویسکارا-راسل و همکاران، ۲۰۱۴). امروزه تقریباً بیشترین سطح از کل اراضی به مزارع تبدیل شده است. کربن آلی خاک به عنوان شاخص‌های زودرس و حساس به تغییرات کاربری اراضی پیشنهاد می‌شوند (قانی و همکاران، ۲۰۰۳). همانطوری که اشاره شد کربن آلی کل از اجزاء مختلفی تشکیل شده است که هر کدام کارکردهای مختلفی دارد. مقدار این اجزاء تابع کاربری و نوع مدیریت نیز می‌باشد. لذا، اطلاع از فرکشن‌های کربن آلی در مقایسه با اندازه‌گیری کربن آلی کل اطلاعاتی مفیدی ارائه می‌کند. این پژوهش با هدف، مقایسه توزیع فرکشن‌های کربن آلی در کاربری‌های مختلف انجام شد. ایوبی و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای اثر شیب و تغییر کاربری اراضی بر روی پایداری ساختمان،کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک را در سه کاربری شامل جنگل طبیعی،جنگل تخریب شده و اراضی کشاورزی در سه درجه شیب مختلف بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که جنگل تخریب شده و اراضی کشاورزی کمترین مقادیر کربن آلی و نیتروژن کل در کلاس شیب ۵۰-۳۰ درصد مشاهده می‌شود که گویای فرسایش خاک در این موقعیت بوده است. براساس نتایج

پژوهش‌های انجام شده توسط رئیسی (۲۰۰۷)، تغییر کاربری اراضی از مرتع به کشاورزی باعث بهبود کیفیت و یا تخریب خاک شود و اگر مرتع مورد مطالعه از نظر پوشش گیاهی فقیر باشد کشاورزی باعث بهبود کیفیت خاک می‌شود ولی اگر پوشش گیاهی آن غنی باشد این تغییر کاربری می تواند باعث تخریب خاک گردد. یوسفی فرد و همکاران (۲۰۰۷) با هدف مقایسه برخی از شاخص‌های کیفیت خاک در چهار کاربری زمین شامل مرتع با پوشش گیاهی تقریبا خوب، مرتع با پوشش گیاهی ضعیف،دیمزار و دیمزار رها شده انجام دادند. نتایج این تحقیقات نشان داد که مقدار ذخیره کربن آلی و فسفر قابل دسترس طی تغییر کاربری اراضی مرتعی کاهش یافته و بیشترین مقدار کاهش در دیمزار مشاهده شد. باس-دوش و همکاران بیان داشتند تغییر کاربری اراضی برای کشاورزی، مواد آلی پایدار اولیه در سطح خاک را ناپایدار کرده و شرایط را برای تخلیه خاک از کربن آلی را فراهم می‌کند. گیفورد و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی باعث کاهش ۵۹ درصدی کربن آلی خاک می‌شود. داوسون و همکاران (۲۰۰۷) بر اساس مطالعات انجام شده گزارش کردند که تبدیل اراضی زراعی به جنگل باعث افزایش ۵۰ درصدی ذخیره کربن آلی خاک می‌شود. وانگ و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که تاثیر کاربری اراضی بر کربن آلی خاک فقط در لایه سطحی خاک (۵۰-۰) سانتی‌متر معنی‌دار است. شوکلا و همکاران (۲۰۰۵) نشان دادن که میزان ذخیره کربن آلی در لایه سطحی خاک به ترتیب در خاک های فاقد فرسایس،رسوبات و خاک های فرسایش یافته کاهش می یابد که این تغییرات به دلیل تاثیر فرسایش بر کاهش کربن آلی می باشد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، سه سایت از جنگل‌های فندقلوی اطراف اردبیل در چهار کاربری جنگل متراکم، جنگل تنک شده، مرتع و کشاورزی را، انتخاب و نمونه خاک دست خورده، از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر تهیه شد. از هر کاربری، سه نمونه به عنوان تکرار (۱۲ نمونه برای هر سایت) تهیه گردید. بعد از نمونه‌برداری، نمونه ها به آزمایشگاه انتقال و پس از هوا خشک شدن نمونه‌ها، نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی متری عبور داده شد. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از جمله بافت خاک به روش هیدرومتر، واکنش خاک و هدایت الکتریکی در نسبت ۱:۲/۵ آب به خاک،کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید و کربن آلی کل به روش والکلی بلک اندازه‌گیری شد. برای بررسی توزیع کربن آلی در فرکشن‌های مختلف، جداسازی فیزیکی به روش اندازه ذرات با استفاده از سری الک انجام شد. بدین منظور مقداری نمونه خاک در ارلن ریخته توده خاک توسط هگزامتافسفات سدیم دیسپرس شد بعد از دیسپرس شدن، برای جداسازی ، نمونه را روی سری الک‌ها ریخته و ذرات بر اساس اندازه جدا گردید. نمونه روی الک تحت دمای ۵۵ درجه سانتی گراد خشک شد، تا به یک وزن ثابت برسد. سپس، میزان کربن آلی در اندازه‌های جدا شده اندازه‌گیری شد. این پژوهش در قالب آزمایش طرح کامل تصادفی در نرم افزار spss ۱۷ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین ها با روش دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر کاربری‌های مختلف بر فرکشن‌های کربن آلی در منطقه اردبیل در سه سایت مطالعاتی در جدول شماره ۱ آورده شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد، تغییر کاربری بر فرکشن‌های کربن آلی از جمله شن درشت، شن ریز، سیلت و رس در سطح پنج درصد در هر سه سایت معنی‌داری گردید.

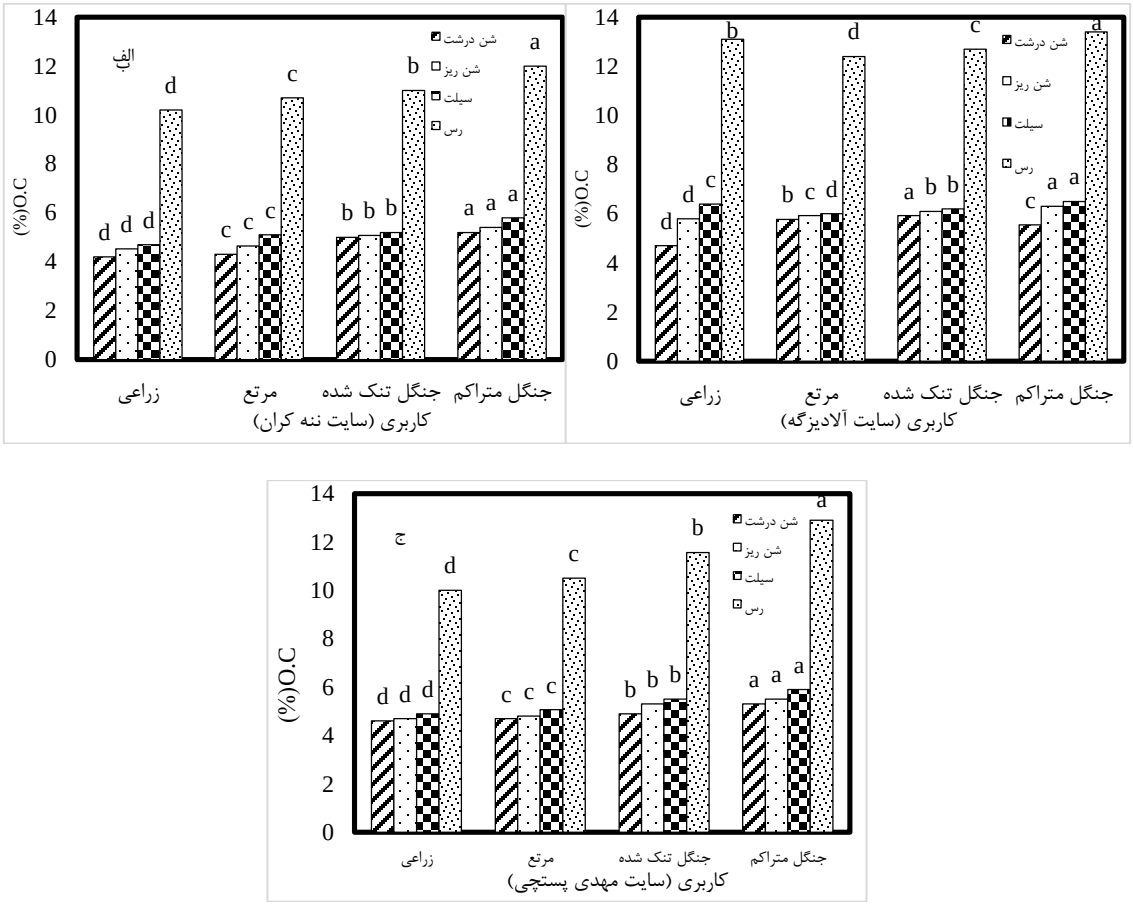
جدول شماره ۱- تجزیه واریانس اثر تغییر کاربری بر فرکشن‌های کربن آلی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات											
		سایت آلادیزگه				سایت ننه کران				سایت مهدی پستچی			
		شن درشت	شن ریز	سیلت	رس	شن درشت	شن ریز	سیلت	رس	شن درشت	شن ریز	سیلت	رس
تغییر کاربری	۳	۰/۷۵۳*	۰/۱۸۶*	۰/۱۷۱*	۰/۵۶۳*	۰/۶۸۴*	۰/۵۴۹*	۰/۶۷۳*	۱/۶۶*	۰/۳۱۴*	۰/۴۵۴*	۰/۶۲۹*	۲/۸۱*
خطا	۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸
ضریب تغییرات	-	۲/۲۷	۰/۵۷۶	۰/۵۷۲	۱/۷۲	۲/۰۶	۱/۶	۲/۰۳	۵/۰۴	۰/۹۶	۱/۳۷	۱/۹	۸/۵

*معنی داری در سطح احتمال ۵٪

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، که با تغییر کاربری در سایت آلادیزگه، فرکشن‌های کربن آلی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول-۱). نمودار مقایسه میانگین اثر تغییر کاربری بر فرکشن‌های کربن آلی در سایت آلادیزگه در شکل الف ارائه شده است. در پژوهش حاضر با تغییر کاربری در سایت آلادیزگه فرکشن کربن آلی به طور معنی‌داری با تغییر کاربری در هر ۴ فرکشن شن درشت، شن ریز، سیلت و رس کاهش یافت، به طوری که بیشترین و کمترین میزان کربن آلی بترتیب در کاربری جنگل متراکم و کاربری زراعی در هر ۴ جزء می‌باشد (شکل- الف). تغییر کاربری در سایت ننه کران بر فرکشن‌های کربن آلی تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت (جدول-۱). یافته‌های این پژوهش نشان داد که فرکشن‌های ذرات خاک با تغییر کاربری کاهش یافت (شکل-ب). بیشترین میزان کربن آلی در فرکشن رس و کمترین میزان آن در فرکشن شن درشت تعیین گردید. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فرکشن‌های کربن آلی در سایت مهدی پستچی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید (جدول-۱). نمودار مقایسه میانگین اثر تغییر کاربری بر فرکشن‌های کربن آلی در این سایت (شکل-ج) نشان داد، بیشترین میزان کربن آلی در کاربری جنگل متراکم در فرکشن رس می‌باشد، که با تغییر کاربری به جنگل تنک و مرتع و زراعی میزان آن کاهش یافته است. افزایش کربن آلی در کاربری‌های مرتع نسبت به کشاورزی، ناشی از ورود بقایای گیاهی با ریشه های سطحی به خاک سطحی در این کاربری‌ها نسبت به زراعی می‌باشد، که در کاربری زراعی بقایا در مزرعه برداشت می‌شود. آشاگری و همکاران (۲۰۰۷) اثر تغییر کاربری ارضی بر ماده آلی کل بررسی کردند. آنها گزارش کردند، زراعت باعث کاهش ماده آلی و نیتروژن در توده خاک و در خاکدانه‌ها شده بود ماده آلی موجود در فرکشن شن غالبا مواد آلی تازه یا نیمه تجزیه شده درشت می‌باشند. ماده آلی در فرکشن سیلت اغلب شامل ترکیبات حلقوی (آروماتیک) نسبتاً مقاوم به تجزیه میکروبی است. کربن موجود در مواد آلی جزء رس ترکیبات آروماتیک کمتری دارند و بیشتر از نوع آلکیل-C می‌باشد (لورنز و همکاران، ۲۰۰۸). جاگاداما و لل (۲۰۱۰) با توجه به نتایج پژوهش نشان می‌دهد که قسمت اعظم کربن خاک در جزء رس ذخیره می‌شود. توسعه کاربری اراضی، به ویژه تبدیل اراضی زراعی به علفزار یا جنگل، اغلب منجر به افزایش کربن آلی خاک می‌شود (شولپ و ولدکمپ، ۲۰۰۸). ژائو و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی اثر خاک ورزی بر فرکشن‌ها و ترکیبات کربن آلی خاک در شمال شرقی چین، بیان کردند سیستم‌های خاکورزی طولانی مدت به طور قابل توجهی بر فرکشن‌ها و ترکیب شیمیایی کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارد، و غلظت خاکدانه‌های بزرگتر کربن آلی خاک در مقایسه با ریزدانه‌ها بیشتر است. راکش و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر خاکورزی و کود N بر روی فرکشن‌های کربن آلی بررسی کردند. آنها گزارش کردند خاکورزی بیشترین تأثیر را در کربن آلی خاک و انواع مختلف آن داشت.

دنیل و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی فرکشن‌های کربن آلی خاک را با روش‌های مدیریت کشاورزی متفاوت بررسی کردند. نتایج مطالعه نشان داد که کربن آلی ذره‌ای با بیشترین حساسیت برای تشخیص تغییرات در کربن آلی خاک به دلیل تغییر در شیوه‌های مدیریت کشاورزی بود.



نمودار مقایسه میانگین اثر تغییر کاربری‌های مختلف بر فرکشن کربن آلی دراجزای مختلف: الف؛ سایت آلا دیزگه، ب؛ سایت ننه کران، ج؛ سایت مهدی پستچی. حروف کوچک نشان دهنده اختلاف معنی‌داری بین کاربری‌های مختلف.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان بیان نمود که فرکشن‌های کربن آلی با تغییر کاربری ار جنگل متراکم به جنگل تنک، مرتع و زراعی به طور معنی داری در هر سه سایت مطالعاتی کاهش یافته است. با توجه به کاهش کربن آلی و اثر مستقیم بر کیفیت و بهره‌وری خاک، نتیجه می‌گیریم، چرای بی رویه دام در مراتع این منطقه باعث تخریب این مراتع گردیده است. همچنین کشاورزی در کاربری‌های کشاورزی موجب کاهش کیفیت ویژگی‌های خاک در این کاربری شده است.

فهرست منابع

Ayoubi, S., Karchegani, P. M., Mosaddeghi, M. R., & Honarjoo, N. (2012). Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran. *Soil and Tillage Research*, *121*, 18-26.

Carter, M. R. (2002). Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agronomy journal*, *94*(1), 38-47.
Dawson, J. J., & Smith, P. (2007). Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. *Science of the total environment*, *382*(2-3), 165-190.
Ghani, A., Dexter, M., Sarathchandra, U., Perrott, K. W., & Singleon, P. (2000). Assessment of extractable hot-water carbon as an indicator of soil quality on soils under long-term pastoral, cropping, market gardening and native vegetation. In *Proceedings of Australian and New Zealand Second Joint Soils Conference. Lincoln, New Zealand* (pp. 119-120).
Guo, L. B., & Gifford, R. M. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*, *8*(4), 345-360.
Haynes, R. J. (2005). Labile organic matter fractions as centralcomponents of the quality of agricultural soils: anoverview. *Advances in agronomy*, *85*, 221-268.
Nosrati,kazem.The Effect of land use and Soil Erosion on Soil Organic Carbon and Nitrogen stock.Enviromental Erosion Research,3,129.
Poeplau, C., & Don, A. (2013). Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma*, *192*, 189-201.
Raiesi, F. (2007). The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. *Agriculture, ecosystems & environment*, *121*(4), 309-318.
Sheklabadi,Mohsen.,Mohmmadzade,Hamid.,Mahboubi,Aliakbar.(2012). The effect of land use change on soil organic carbon reserves On the shores of Zaribar Lake in Marivan. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences,68,55.
Shukla, M. K., & Lal, R. (2005). Erosional effects on soil organic carbon stock in an on-farm study on Alfisols in west central Ohio. *Soil and Tillage Research*, *81*(2), 173-181. use in grasslands in InnerMongolia (northern China). Biogeosciences 11, 5103–5113.
Wang, Z., Govers, G., Steegen, A., Clymans, W., Van den Putte, A., Langhans, C., ... & Van Oost, K. (2010). Catchment-scale carbon redistribution and delivery by water erosion in an intensively cultivated area. *Geomorphology*, *124*(1-2), 65-74.
Yousefi, M., Hajabbasi, M., & Shariatmadari, H. (2008). Cropping system effects on carbohydrate content and water-stable aggregates in a calcareous soil of Central Iran. *Soil and Tillage Research*, *101*(1-2), 57-61.
Zhang, J., Wang, X., & Wang, J. (2014). Impact of land use change on profile distributions of soil organic carbon fractions in the Yanqi Basin. *Catena*, *115*, 79-84.
Zhao, L., Wu, W., Xu, X., Xu, Y., 2014. Soil organic matter dynamics under different land

The effect of different uses on organic carbon frequencies in Ardabil region

Milad Kalbalinezhad
Dr. Esmaiel Goli Kalanpa, Dr. Hossein Shahab

Abstract

Examination of organic carbon fraction changes can be used as an indicator in determining soil quality. In order to investigate the effect of land use change on soil organic carbon fractions in Ardabil region, three sites with four uses (dense forest, sparse forest, rangeland, agricultural) were selected in each site. Sampling was done completely randomly and from each use, three replications were performed as surface soil from a depth (0-30 cm). Particle organic matter was measured in the fractions of coarse sand, fine sand, silt and clay particles. The research was analyzed in the form of a complete random design. The results showed that particulate organic carbon was significantly higher in dense forest land use than other land uses. Soil organic carbon was obtained in clay fraction more than silt, fine sand and coarse sand.

Keywords: Organic carbon, fraction, change of use.

تاثیر کربن آلی خاک بر روی برخی خصوصیات شیمیایی و فراهمی عناصر غذایی در باغ های بادام

رامین ایرانی پور [۱]

۱- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری ramin.iranipour@gmail.com

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی رابطه بین کربن آلی خاک با برخی ویژگی‌های شیمیایی و فراهمی عناصر غذایی خاک در باغ های بادام انجام گردید. برای این منظور از عمق صفر تا سی سانتی متری خاک باغ های بادام نمونه برداری گردید. نمونه های خاک برداشت شده به آزمایشگاه انتقال داده شد و مقدار کربن آلی خاک، نیتروژن کل خاک، هدایت الکتریکی خاک، درصد مواد خنثی شونده و همچنین غلظت فراهم عناصر فسفر و پتاسیم اندازه گیری شد. نتایج نشان داد کربن آلی خاک با فسفر فراهم (R^2 =۰/۷۰۲۹***)، نیتروژن کل (R^2 =۰/۶۸۴۳***)، غلظت فراهم پتاسیم (R^2 =۰/۵۸۲۲***) و همچنین با هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (R^2 = ۰/۴۰۹۱***) همبستگی مثبت نشان داد و در مورد عناصر فسفر و نیتروژن این همبستگی قوی، و در مورد پتاسیم فراهم و شاخص هدایت الکتریکی عصاره اشباع، همبستگی متوسط بود. در مورد شاخص کل مواد خنثی شونده (R^2 =۰/۳۴۹۰***) و پ‌هاش عصاره اشباع خاک (R^2 =۰/۵۸۲۶***) به ترتیب همبستگی ضعیف تا متوسط با روند منفی مشاهده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که کربن آلی خاک همبستگی زیاد و مثبت با فراهمی عناصر فسفر و نیتروژن موجود در خاک و همبستگی متوسط و مثبت با فراهمی پتاسیم در باغ های بادام منطقه مورد بررسی داشت و با افزایش اندوخته کربن آلی خاک، فسفر و پتاسیم فراهم و نیتروژن کل در خاک روند افزایشی داشت. در همین ارتباط همبستگی ضعیف تا متوسط با روند منفی، بین کربن آلی خاک با کل مواد خنثی شونده و پ هاش خاک در باغات منطقه مورد مطالعه مشاهده گردید.

واژگان کلیدی: باغ های بادام، فراهمی عناصر غذایی، کربن آلی.

مقدمه

شرایط آب و هوایی مناسب، وجود زمین های مستعد احداث باغ در برخی مناطق بویژه بخش حاشیه زاینده رود از پتانسیل‌های بالقوه برای تولید بادام در استان چهارمحال و بختیاری محسوب می‌شود. تولید ۸/۵ درصد بادام کشور یکی از توانمندی های اقتصادی این بخش در استان چهارمحال وبختیاری است، ازاین رو کشت بادام یکی از مهمترین محصولات باغی این استان محسوب می‌شود. تغذیه صحیح بادام و وجود تعادل بین عناصر غذایی، عامل مهمی در افزایش عملکرد و بهبود کیفی محصول بادام می‌باشد. با توجه به سبک بودن بافت خاک در باغات بادام منطقه و بالا بودن متوسط میزان بارندگی، آبشویی عناصر غذایی از منطقه در دسترس ریشه یکی از مشکلات باغات در این استان است. خروج عناصر غذایی مورد نیاز از منطقه در دسترس ریشه باعث ایجاد کمبودهایی در گیاه و به دنبال آن کاهش رشد و عملکرد گیاه می شود. از سوی دیگر بافت شنی یکی از نیازهای رشد مناسب برای پایه های درخت بادام است که در باغات منطقه پیامدهایی را در پی دارد، تخلیه عناصر غذایی از دسترس ریشه گیاه مهمترین پیامد است. بررسی های میدانی و نتایج برخی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد برای بهبود عملکرد باغات استان باید عناصر غذایی در حد نیاز، در وضعیت تعادل در اختیار گیاه قرار گیرد که در این زمینه نقش استفاده از مواد آلی به منظور تامین بخشی از عناصر غذایی و تامین فراهمی این عناصر غیر قابل انکار می باشد.

تغذیه صحیح و وجود تعادل بین عناصر غذایی، عامل مهمی در افزایش عملکرد و بهبود کیفی این محصول می‌باشد. با توجه به تغییرات جهانی آب و هوایی، موجودی کربن آلی در خاک ها، از اهمیت زیادی برخوردار است. ظرفیت خاک برای ذخیره مواد آلی وابستگی کاملی به شرایط آب و هوایی (بارندگی، دما و طول مدت فصل خشک) دارد، اما بزرگی آن به ویژگی های خاک (فیزیکی و شیمیایی) و نوع مدیریت اعمال شده بر آن (آماده سازی بستر، روش کاشت) نیز وابسته است

(Zinn و همکاران، ۲۰۰۷ ؛ Bationo و همکاران، ۲۰۰۷). مقدار کربن آلی خاک، همچنین تابعی از ورود بقایای گیاهی و تلفات آن از خاک است، با وجودی که رابطه بین تولید محصول و کربن آلی خاک در بسیاری از موارد مثبت گزارش شده است (Fan و همکاران، ۲۰۰۵). در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان فقر مواد آلی خاک از چالش های اساسی کشاورزی به شمار می آید. در ایران مقدار مواد آلی خاک ها در بخش قابل توجهی از آن بسیار کم بوده به طوری که در بیش از ۶۰ درصد اراضی کشاورزی کمتر از یک درصد و در بخش قابل توجهی از آنها کمتر از نیم درصد گزارش شده است (کلباسی، ۱۳۷۵). در صورتی که میزان کربن آلی خاک به میزان قابل توجهی کاهش یابد، به دلیل زوال خواص فیزیکی و اختلال در فرآیندهای چرخه عناصر غذایی خاک ظرفیت تولید محصولات کشاورزی در معرض خطر قرار خواهد گرفت. بافت خاک، ظرفیت کربن آلی خاک، شدت تخریب خاک، کاربری اراضی و مدیریت محصول از عوامل تاثیرگذار بر ذخائر کربن آلی خاک می باشند (الفتی و همکاران، ۱۳۷۸). از آنجاکه در ایران سطح وسیعی از خاک ها به فقرکربن آلی خاک مبتلاً می باشد، این مطالعه با هدف بررسی رابطه بین مقدار کربن آلی خاک با برخی خصوصیات شیمیایی و قابلیت جذب عناصر غذایی در اراضی تحت کشت باغات هلو انجام گردید. همچنین بررسی ها نشان داده است که استفاده از آهن ، منگنز، روی و مس عملکرد دانه ، عملکرد ماده خشک، میزان پروتئین دانه، وزن دانه، تعداد دانه در خوشه و غلظت و جذب آنها در دانه و در ماده خشک گیاهی را افزایش می دهد (خادمی و همکاران، ۱۳۷۸).

مواد و روش ها

در این پژوهش از بین باغ های بادام واقع در دو سو و حاشیه رودخانه زاینده رود، بطول تقریبی ۵۰ کیلومتر، تعداد ۶۵ باغ انتخاب گردیدند. در انتخاب باغات تراکم درختان در واحد سطح هر باغ مد نظر قرار گرفت و انتخاب باغات به گونه ای انجام شد که از نظر تراکم تفاوت زیادی نداشته باشند. در این خصوص تلاش گردید باغ‌هایی با مدیریت نزدیک به هم و تا حد امکان مشابه انتخاب شوند. نمونه برداری از خاک (در ابتدای فصل رشد و اوایل فروردین ماه) به صورت مرکب انجام گرفت. به منظور تهیه نمونه های خاک از باغات مورد بررسی، در هر باغ از پنج محل در عرصه باغ که به طور تصادفی با رعایت اصول و محدودیت های نمونه برداری انتخاب شد، نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری تهیه گردید و سپس نمونه های برداشت شده از نقاط مختلف باغ با اوزان تقریباً مساوی با یکدیگر مخلوط و سپس یک نمونه مرکب به منظور اندازه گیری میزان کربن آلی، نیتروژن کل، هدایت الکتریکی خاک، درصد مواد خنثی شونده و همچنین غلظت فراهم عناصر فسفر و پتاسیم تهیه گردید. تعیین غلظت عناصر با استفاده از روش های استاندارد و دستورالعمل موسسه تحقیقات خاک و آب کشور انجام گردید (علی احیایی، ۱۳۷۶). تعداد نمونه های خاک مورد آزمایش به تعداد باغ های نمونه برداری شده (۶۵ باغ) بود. بررسی همبستگی داده ها، تعیین معادلات همبستگی و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excell انجام گردید. از نتایج این تحقیق می توان به منظور مدیریت بهینه مواد آلی خاک، برنامه ریزی مدیریت تغذیه باغات بادام و نهاده های مصرفی نظیر کودهای شیمیائی استفاده نمود.

نتایج و بحث

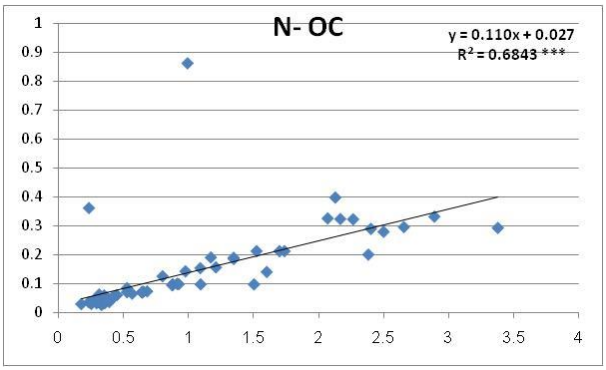
- بررسی نتایج آزمون خاک در باغات مورد مطالعه نشان داد که کربن آلی خاک باغات با میانگین ۰/۹۴ درصد، دارای مقدار بیشینه ۳/۳۷ درصد و کمینه ۰/۱۸ درصد (دامنه ۳/۲ درصد) و انحراف معیار ۰/۷۹ درصد بود. ضریب یکنواختی کربن آلی در باغات مورد مطالعه ۸۴/۷ درصد محاسبه گردید. نتایج همین بررسی ها نشان داد که نظر تقسیم بندی کیفی مقادیر کربن آلی خاک باغات مورد مطالعه در محدوده متوسط قرار دارد. بدین ترتیب می توان انتظار داشت که مصرف کود آلی در باغات منطقه، پاسخ مثبت و مناسب محصول را به همراه داشته در ضمن از کاهش ذخائر کربن آلی خاک ممانعت به عمل آورد.
- بررسی نتایج آزمون خاک در باغات مورد مطالعه نشان داد که نیتروژن کل باغات با میانگین ۰/۱۳ درصد، دارای مقدار بیشینه ۰/۸۶ درصد و کمینه ۰/۰۳ درصد (دامنه ۰/۸۳ درصد) و انحراف معیار ۰/۱۴ درصد بود. ضریب یکنواختی نیتروژن در باغات مورد مطالعه ۱۰۴/۹ درصد محاسبه گردید. رابطه بین کربن آلی خاک و نیتروژن کل

خاک (شکل ۱) نشان داد که با افزایش کربن آلی خاک نیتروژن کل خاک در باغات افزایش یافته است (R^2 =۰/۶۸۴۳). چنین به نظر می رسد که حفظ و ارتقاء ذخائر کربن آلی خاک می تواند نقش تعیین کننده ای در افزایش ذخائر نیتروژن مورد نیاز محصول در منطقه مورد مطالعه به همراه داشته باشد. نقش کربن آلی در افزایش جمعیت میکروبی خاک و تاثیرات مثبت آنها در تجزیه مواد آلی خاک موجود در خاک و آزاد شدن مقادیری نیتروژن قابل جذب، از دلائل احتمالی افزایش فراهمی نیتروژن در خاک باغات منطقه مورد مطالعه بوده است.

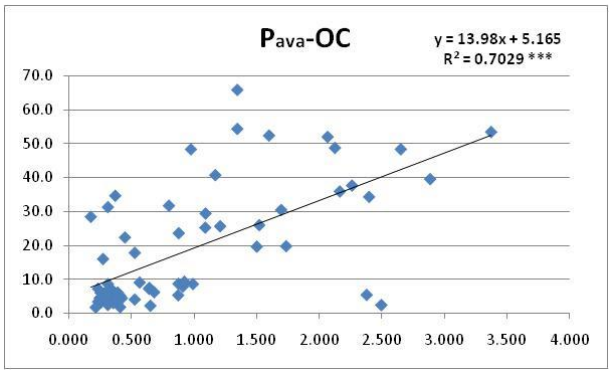
- بررسی نتایج آزمون خاک در باغات مورد مطالعه نشان داد که فسفر قابل جذب کل باغات با میانگین ۱۸/۳ میلی گرم بر کیلوگرم، دارای مقدار بیشینه ۶۵/۸ و کمینه ۱/۶ میلی گرم بر کیلوگرم (دامنه ۶۴/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) و انحراف معیار ۱۷/۴ میلی گرم بر کیلوگرم بود. ضریب یکنواختی فسفر قابل جذب در مزارع مورد مطالعه ۹۵/۲ درصد محاسبه گردید. رابطه بین کربن آلی خاک و فسفر قابل جذب خاک (شکل ۲) نشان می دهد که با افزایش کربن آلی خاک فسفر قابل جذب خاک در باغات افزایش یافته است (R^2 =۰/۷۰۲۹). بر اساس نتایج این بررسی افزایش ذخائر کربن آلی خاک تاثیرات مثبتی در افزایش ذخائر فسفر قابل جذب خاک در منطقه مورد مطالعه داشت و این رابطه از همبستگی قوی برخوردار بود. تجزیه موادآلی خاک در طی فصل رشد و آزاد شدن مقادیری فسفر قابل جذب، نقش اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد آلی در انحلال کانی های فسفر دار موجود در خاک و همچنین ممانعت فضایی ترکیبات آلی از انجام واکنش های شیمیایی منجر به تشکیل رسوبات فسفات کلسیم در محلول خاک، از دلائل احتمالی افزایش فراهمی فسفر در خاک باغات منطقه مورد مطالعه بوده است.
- بررسی نتایج آزمون خاک در باغات مورد مطالعه نشان داد که پتاسیم قابل جذب کل باغات با میانگین ۱۹۵/۶ میلی گرم بر کیلوگرم، دارای مقدار بیشینه ۸۴۱/۴ و کمینه ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم (دامنه۸۴۱/۴ میلی گرم بر کیلوگرم) و انحراف معیار ۱۴۱/۴ میلی گرم بر کیلوگرم بود. ضریب یکنواختی پتاسیم قابل جذب در باغات مورد مطالعه ۷۲/۳ درصد محاسبه گردید. رابطه بین کربن آلی خاک و پتاسیم قابل جذب خاک (شکل ۳) نشان داد که با افزایش کربن آلی خاک پتاسیم قابل جذب خاک در باغات افزایش یافته است (R^2 = ۰/۵۸۸۲). هرچند این رابطه از همبستگی متوسطی برخوردار بود ولی چنین به نظر می رسد که حفظ و ارتقاء ذخائر کربن آلی خاک می تواند تاثیرات مثبتی در افزایش پتاسیم قابل جذب خاک در منطقه مورد مطالعه به همراه داشته باشد. تجزیه موادآلی خاک در طی فصل رشد و آزاد شدن مقادیری پتاسیم قابل جذب، نقش اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد آلی در انحلال کانی های حاوی پتاسیم موجود در خاک و افزایش فعالیت ریز جانداران بویژه باکتری های حل کننده کانیهای پتاسیم دار از دلائل احتمالی افزایش فراهمی پتاسیم در خاک باغات منطقه مورد مطالعه بوده است.
- بررسی نتایج آزمون خاک در باغات مورد مطالعه نشان داد که هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک باغات با میانگین ۱/۰۴ دسی زیمنس بر متر، دارای مقدار بیشینه ۸/۸۵ و کمینه ۰/۴ دسی زیمنس بر متر بود (دامنه ۸/۴۵ دسی زیمنس بر متر) و انحراف معیار ۱/۱۳ بود. ضریب تغییرات هدایت الکتریکی خاک ۱۰۹/۲ درصد محاسبه گردید. رابطه بین کربن آلی خاک و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (شکل ۴) نشان داد که با افزایش کربن آلی خاک هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در باغات افزایش یافته است (r =۰/۲۳۴۵). هرچند این رابطه از همبستگی ضعیف تا متوسطی برخوردار بود، چنین به نظر می رسد که افزایش ذخائر کربن آلی خاک توانسته تاثیراتی در افزایش هدایت الکتریکی خاک باغات مورد مطالعه ایجاد نماید. تجزیه موادآلی خاک در طی فصل رشد و آزاد شدن مقادیری کاتیون ها و آنیون های حاصل از تجزیه مواد آلی در محلول خاک و همچنین نقش اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد آلی در انحلال کانی های موجود در خاک از دلائل احتمالی افزایش هدایت الکتریکی محلول خاک در باغات منطقه مورد مطالعه بوده است.
- بررسی نتایج آزمون خاک در باغات مورد مطالعه نشان داد که پ هاش عصاره اشباع خاک باغات با میانگین ۷/۶، دارای مقدار بیشینه ۸/۱ و کمینه ۶/۷ بود (دامنه ۱/۴) و انحراف معیار ۰/۲ بود. ضریب تغییرات هدایت الکتریکی خاک ۲/۶ درصد محاسبه گردید. رابطه بین کربن آلی خاک و پ هاش عصاره اشباع خاک (شکل ۵) نشان داد که با افزایش کربن آلی خاک، پ هاش عصاره اشباع خاک در باغات کاهش یافته است (R^2 =۰/۵۸۲۶). چنین به نظر

می‌رسد که افزایش دخائر کربن آلی خاک توانسته، در کاهش نسبی پ هاش عصاره اشباع خاک باغات مورد مطالعه موثر واقع گردد. هرچند این رابطه از همبستگی قوی برخوردار نبود، احتمالاً افزایش فعالیت ریز جانداران با افزایش ذخائر کربن آلی خاک، افزایش تجزیه مواد آلی خاک و آزاد شدن اسیدهای آلی ترشح شده ناشی ار فعالیت ریزجانداران و تجزیه مواد آلی خاک از دلائل احتمالی کاهش نسبی پ هاش در خاک منطقه مورد مطالعه بوده است.

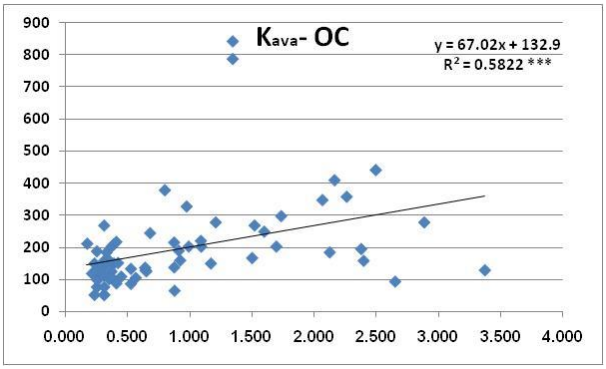
- بررسی نتایج آزمون خاک در باغات مورد مطالعه نشان داد که درصد مواد خنثی شونده خاک باغات با میانگین ۱۱/۳ درصد، دارای مقدار بیشینه ۳۷/۵ و کمینه ۰/۵ درصد بود (دامنه ۳۷ درصد) و انحراف معیار ۷/۶ درصد بود. ضریب تغییرات درصد مواد خنثی شونده خاک ۶۸/۳ درصد محاسبه گردید. رابطه بین کربن آلی خاک و درصد مواد خنثی شونده خاک (شکل ۶) نشان داد که با افزایش کربن آلی خاک، درصد مواد خنثی شونده خاک در باغات بطور نسبی کاهش یافته است (R^2 =۰/۳۴۹۰). چنین به نظر می رسد که افزایش دخائر کربن آلی خاک توانسته تاثیراتی در کاهش نسبی مواد خنثی شونده خاک باغات مورد مطالعه برجای گذارد. هرچند این رابطه، همانند تاثیرات مواد آلی بر کاهش پ هاش عصاره اشباع خاک از همبستگی قوی برخوردار نبود، ، احتمالاً افزایش فعالیت ریز جانداران با افزایش ذخائر کربن آلی خاک، افزایش تجزیه مواد آلی خاک و آزاد شدن اسیدهای آلی ترشح شده ناشی از فعالیت ریزجانداران و تجزیه مواد آلی خاک، از دلائل احتمالی کاهش نسبی مواد خنثی شونده خاک (آهک) در خاک منطقه مورد مطالعه بوده است.



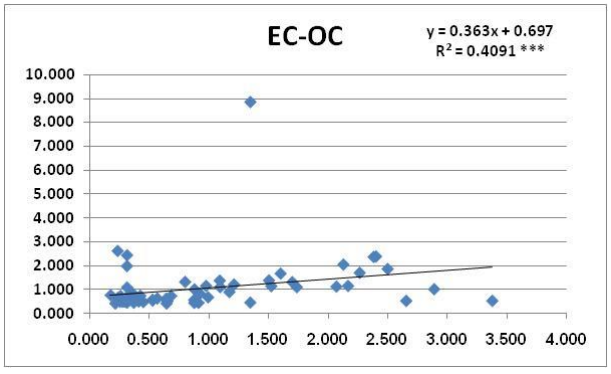
شکل ۱- رابطه بین کربن آلی و نیتروژن کل خاک در باغات



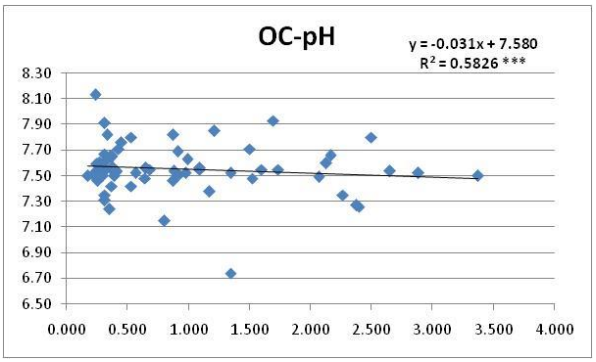
شکل ۲- رابطه بین کربن آلی و فسفر قابل جذب خاک در باغات



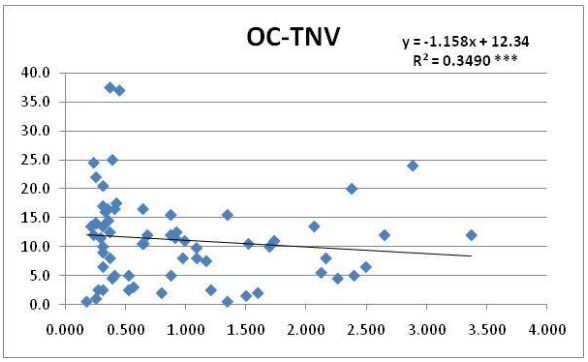
شکل ۳- رابطه بین کربن آلی و پتاسیم قابل جذب خاک در باغات



شکل ۴- رابطه بین کربن آلی و هدایت الکتریکی خاک در باغات



شکل ۵- رابطه بین کربن آلی و پ هاش خاک در باغات



شکل ۶- رابطه بین کربن آلی و درصد مواد خنثی شونده در باغات

نتیجه گیری

جمع بندی نتایج این بررسی نشان داد، کربن آلی خاک باعث افزایش، فسفر فراهم (R^2 =۰/۷۰۲۹: همبستگی قوی)، نیتروژن کل (R^2 =۰/۶۸۴۳***: همبستگی قوی)، پتاسیم فراهم (R^2 =۰/۵۸۲۲***: همبستگی متوسط) و هدایت الکتریکی عصاره اشباع (R^2 =۰/۴۰۹۱***: همبستگی متوسط) و باعث کاهش مقدار کل مواد خنثی شونده (R^2 = ۰/۳۴۹۰***: همبستگی ضعیف) و پ هاش عصاره اشباع خاک (R^2 =۰/۵۸۲۶*** : همبستگی ضعیف) در خاک باغ های منطقه گردید. افزایش ذخائر نیتروژن کل توده خاک، متناسب با افزایش ذخائر مواد آلی و همچنین تجزیه موادآلی خاک در طی فصل رشد و آزاد شدن مقادیری فسفر و پتاسیم فراهم در نتیجه نقش آفرینی اسیدهای آلی حاصل از تجزیه مواد آلی و فعالیت‌های ریز جانداران، در انحلال کانی های فسفر دار و پتاسیم دار موجود در خاک و همچنین ممانعت فضایی ترکیبات آلی از انجام واکنش‌های شیمیایی منجر به تشکیل رسوبات فسفات کلسیم و ترکیبات کم محلول در خاک، از دلائل احتمالی افزایش فراهمی نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم و کاهش کل مواد خنثی شونده و پ‌هاش، در خاک باغات منطقه مورد مطالعه بوده است.

منابع

۱- الفتی، م.، ملکوتی، م .ج .و م .ر .بلالی .۱۳۷۸ . تعیین حد بحرانی فسفر برای محصول گندم در ایران .مجله خاک و آب، جلد ۱۲، شماره ۶ . ۴۵-۳۹.

۲- خادمی، ز.، ملکوتی، م .ج .و م .لطف اللهی .۱۳۷۸ . مدیریت ازت در مزرعه گندم به منظور افزایش عملکرد و بهبود کیفیت .، محصول .مجله خاک و آب، جلد ۱۲ ، شماره ۶. ۶-۱.

۳- علی احیائی، م . ۱۳۷۶ .شرح روش های تجزیه شیمیایی خاک .موسسه تحقیقات خاک و آب، نشریه فنی شماره ۱۰۲۴

۴- کلباسی، م . ۱۳۷۵ .وضعیت مواد آلی در خاکهای ایران و نقش کود کمپوست .خلاصه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ۱۰شهریور، کرج - .ایران،

5. Bationo, A., J. Kihara, B. Vanlauwe, B, Waswa, and J. Kimetu. 2007. Soil organic carbon dynamics, functions and management in West African agro-ecosystems. Agricultural Systems, 94:13-25.

6. Fan, T., B.A. Stewartb, Y. Wang, J. Luo, and G. Zhou. 2005. Longterm fertilization effects on grain yield, water-use efficiency and soil fertility in the dryland of Loess Plateau in China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 106:313–329.

7. Zinn, Y.L., R. Lal, J.M. Bigham, and D.V.S. Resck. 2007. Edaphic controls on soil organic carbon retention in the Brazilian Cerrado: texture and mineralogy. Soil Science Society of America Journal, 71:1204-1214.

The effect of soil organic carbon on some chemical properties and nutrient availability in almond orchards

Ramin Iranipour

Assistant Prof, Agricultural and natural resources research and education center of Shahrekord, Iran

Ramin.iranipour@gmail.com

Abstract

The aim of this study was to investigate the relationship between soil organic carbon content and some chemical properties and soil nutrient supply in almond orchards. For this purpose, almond orchard soil was sampled from a depth of 0-30 cm. The collected soil samples were transferred to the laboratory and the amount of soil organic carbon, total soil nitrogen(TN), soil electrical conductivity(EC), total neutralizing volume(TNV) and the concentration of available phosphorus and potassium(P_{ava} and K_{ava}) were measured. The results showed that, soil organic carbon was supplied available phosphorus (R^2 = 0.7029 ***), total nitrogen (R^2 = 0.6843 ***), available potassium concentration (R^2 = 0.5822 ***) and also electrical conductivity in saturation paste of soil (R^2 = 0.4091 ***) and showed a positive correlation. This correlation was strong for available phosphorus and total nitrogen, and moderate correlation was observed for available potassium and electrical conductivity of saturated extract. Regarding the total neutralizing volume (R^2 = 0.534 ***) and the saturation of soil extract (R^2 = 0.5826 ***), a weak to moderate correlation with a negative trend was observed, respectively. The results of this study showed that, soil organic carbon had a high and positive correlation with the available phosphorus and total nitrogen in the soil and a moderate and positive correlation with the availability of potassium in almond orchards in the study area and provided with increasing soil organic carbon, available phosphorus and potassium reserves. And total nitrogen in the soil had an increasing trend. In this regard, a weak to moderate correlation with a negative trend was observed between soil organic carbon and total neutralizing volume and soil pH in the orchards of the study area.

Key words: Almond orchards, organic carbon, supply of nutrients.

تغییرات کربن آلی فعال و شاخص مدیریت کربن ناشی از کاربرد توأم کودهای شیمیایی و آلی در کشت گندم در کرت‌های ثابت

آرزو عسگری[۱]، بابک متشرع‌زاده[۲]، فرهاد مشیری[۳]، حسین صفاری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج.

۲- دانشیار پژوهش، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده

اندوخته کربن آلی خاک و تغییرات آن مستقیماً بر کیفیت و حاصلخیزی خاک تأثیر دارد و کربن آلی و اجزای آن می‌تواند به عنوان شاخص کیفیت خاک استفاده گردد.هدف از این مطالعه بررسی اثر مدیریت تلفیقی کودها بر تغییرات کربن آلی کل خاک و اجزای آن بود. این پژوهش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با نه تیمار کاربرد کود آلی و شیمیایی به تنهایی و یا به صورت توأمان در سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات خاک و آب در فصل زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸اجرا گردید. پس از دو سال اثر تیمارهای کودی بر تغییرات کربن آلی کل، کربن آلی فعال و شاخص مدیریت کربن در کشت گندم در کرت‌های ثابت بررسی شد. نتایج نشان داد که کاربرد کودهای شیمیایی و آلی تأثیر معنی‌داری بر کربن آلی کل خاک و شاخص مدیرین کربن نداشت. در حالیکه کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی بویژه مصرف سالانه کود کمپوست پسماند+ ۷۵ درصد کود نیتروژن توصیه شده کربن آلی فعال خاک را به میزان ۳۳/۳ درصد نسبت به تیمار شاهد در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری به طور معنی‌داری افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: شاخص مدیریت کربن، کربن ناپایدار، مدیریت تلفیقی کودها

مقدمه

ماده آلی خاک منبعی از عناصر غذایی است و فراوانی و چگونگی آن بر حاصلخیزی خاک اثر می‌گذارد و pH خاک را بافری می‌کند که عناصر غذایی را برای گیاه قابل دسترس می‌کند و جایگاه مهمی دارد. منابع کربن آلی خاک شامل دو شکل آلی و غیرآلی است که بزرگ‌ترین منبع درروی کره زمین می‌باشد و اندازه آن نزدیک ۸۰ درصد است(آموندسون،۲۰۰۱). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که ذخایر و اجزای مختلف کربن آلی خاک خیلی سریع‌تر از کربن کل به تغییرات واکنش نشان می‌دهند به همین دلیل اجزای مختلف کربن آلی خاک می‌توانند به‌عنوان شاخص-های اولیه و حساس به تغییرات ذخایر کربن خاک به کار روند. برای بررسی اثرات مدیریت اراضی و مدیریت زراعی بر میزان کربن آلی خاک توجه به سازوکارهای پایدار کننده و ناپایدارکننده کربن آلی خاک ضروری می‌باشد (ترمبور و کزیمسزیک، ۲۰۰۸).

کربن فعال منابع ناپایدار کربن خاک محسوب می‌شوند که به تغییرات اقلیمی و مدیریتی حساس بوده و می‌توانند شاخص‌های اولیه تغییرات در کربن آلی خاک باشند (گرگوریچ و همکاران، ۲۰۰۶). در پژوهشی پوراکایشتا و همکاران (۲۰۰۸) گزارش نمودند که نسبت تشکیل کربن آلی خاک با افزودن کود شیمیایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم) در تناوب زراعی ذرت-گندم- نخود فرنگی افزایش یافته است. در مطالعه دیگری عبداالهی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که نسبت کربن آلی خاک با افزودن کودهای آلی در خاک افزایش می‌یابد. شاخص مدیریت کربن در اصل تغییراتی را از کربن نشان می‌دهد که در هر سیستم وابسته به مدیریت آن سیستم می‌باشد. مدیریت شاخص کربن می‌تواند یک شاخص

مهم و مفید برای ارزیابی ظرفیت اضافه کردن کود دامی در طولانی مدت، باقی مانده گیاهی، کشاورزی حفاظتی برای بهبود کیفیت خاک باشد و در نتیجه باعث بهینه سازی روش‌هایی شود که مانع تخریب خاک می‌شوند (وانگ وهمکاران۲۰۱۵؛ گاش و همکاران،۲۰۱۶).

در پژوهش دیگری (زئو و همکاران، ۲۰۱۱؛ گاش و همکاران، ۲۰۱۲) گزارش کردند که تأثیر کوددهی بر شاخص مدیریت کربن قابل توجه است و در تیمارهایی که از کوددامی استفاده شده در مقایسه به تیمارهایی که از کود معدنی استفاده شده شاخص مدیریت کربن افزایش بیشتری داشته است. امروزه تحقیقات زیادی در ارتباط با محصولات کشاورزی و خاک‌های کشاورزی انجام شده است نشان داده است که استفاده از کودهای متنوع در کشاورزی می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر روی خاک از خود نشان دهد. بنابراین بررسی شاخص‌های کیفی و کمی خاک در عمق‌های مختلف خاک می‌تواند نتایج جالبی در ارتباط با خاک هدف در اختیار قرار دهد؛ بنابراین تعیین کربن کل و بخش‌هایی از آن که دارای حساسیت بیشتری هستند، جهت شناخت تأثیر مدیریت در مراحل اولیه، مفید خواهد بود. از این رو این تحقیق با هدف بررسی اثرات مدیریت تلفیقی کودها بر کربن آلی کل خاک و تغییرات آن انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از سال زراعی۱۳۹۶ در کرت‌های ثابت در ایستگاه تحقیقات کشاورزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب واقع در جاده مشکین‌دشت استان البرز با تناوب گندم- ذرت تعداد نه تیمار در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در کرت‌هایی به مساحت ۲۰۰ متر مربع اعمال شد. تیمارها شامل:

T_1: نکاشت؛ T_2:شاهد بدون مصرف کود؛ T_3:کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی؛ T_4:کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یک‌بار+ کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده؛ T_5: کاربرد ۲۰ تن کمپوست زباله شهری هر دو سال یک‌بار + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده؛ T_6: کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده؛ T_7:کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری+ کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده؛ T_8: کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن درکشت دوم)؛ T_9: کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست زباله شهری(۱۰ تن درکشت اول و ۱۰ تن درکشت دوم) بود.

در آبان ماه ۱۳۹۸ عملیات آماده‌سازی به روش معمول انجام شد و محصول گندم رقم بیات کشت شد.کودهای سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و بر اساس توصیه به صورت نواری همزمان با کشت مصرف شد. کود اوره به میزان ۳۵۰ کیلوگرم در سه قسط ۲ هفته پس از کشت، پنجه‌زنی و شروع ساقه روی استفاده شد. نمونه‌برداری خاک گندم در تیرماه بعد از برداشت محصول به‌صورت مرکب از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتیمتری انجام شد. نمونه‌های خاک، ابتدا هوا خشک شدند و سپس به‌منظور تجزیه‌ی شیمیایی از الک ۲ میلی‌متر و ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند.

کربن آلی خاک به روش والکی بلاک (۱۹۳۴) و کربن فعال با بهینه سازی روش (بلر و همکاران، ۱۹۹۵) در آزمایشگاه موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد. شاخص مدیریت کربن (CMI) نیز از رابطه (۱) به دست آمد:

$$CMI= CPI\times LI\times 100 \quad (۱)$$

که در این رابطه CPI شاخص ذخیره کربن و LI شاخص ناپایداری کربن است که هرکدام بر اساس روابط زیر محاسبه می‌شوند.

$$CPI= TOC_s/ TOC_r \quad (۲)$$

$$LI= LOC_s/LOC_r \quad (۳)$$

$$LOC= Labile\ C/Non\text{-}labile\ C \quad (۴)$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها بر مبنای مدل آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفیبا استفاده از نرم‌افزارSAS9.1 انجام گرفت و میانگین تیمارها با روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

کربن آلی کل

اثر تیمارها تنها بر میزان کربن آلی فعال معنی دار گردید (جدول ۱). تأثیر سطوح مختلف کودی موجب بالا رفتن مقدار کربن آلی کل شد ولی این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج نشان داد بیشترین کربن آلی کل خاک مربوط به تیمار کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کود کمپوست + ۷۵ درصد کود نیتروژن توصیه شده در دو عمق ۱۵ و ۳۰ به ترتیب با میانگین ۰/۹۵ درصد و ۰/۶۸ درصد بدست آمد و کمترین میانگین مربوط به تیمار بدون مصرف کود با میانگین ۰/۶۷ درصد در عمق ۱۵ سانتی‌متری و تیمار کود شیمیایی کامل با میانگین ۰/۵۶ درصد در عمق ۳۰ سانتی-متری بدست آمد. احتمالاً در این آزمایش تعادل بین ورود و خروج کربن آلی در خاک به گونه‌ای است که اختلافی با شرایط نکاشت بروز نکرده است. با کشت و کار خاک شخم زده شده و مقداری از کربن آلی خاک از این طریق از دست می‌رود. از طرف دیگر رشد گیاه و حتی افزودن کودهای آلی توان رقابت با خروج کربن آلی از طریق شخم را ندارند لذا کربن آلی خاک نسبت به شرایط نکاشت تغییر معنی‌داری نشان نمی‌دهد. با این حال اختلاف غیر معنی‌داری بین تیمارهایی با مصرف کود آلی نسبت به شرایط عدم مصرف کود (T_2) و یا مصرف کود شیمیایی (T_3) مشاهده می‌شود که به نظر می‌رسد با ادامه کار در کرت ثابت این اختلاف افزایش یافته و معنی‌دار خواهد شد و زمان سه ساله برای تغییر زیاد در کربن آلی خاک کافی نبوده است. ترکیب کودهای معدنی و آلی در یک بازه طولانی مدت نه تنها باعث افزایش کیفی دسترسی به مواد آلی در عمق‌های پایین‌تر خاک می‌شود بلکه باعث افزایش بیوماس ریشه و همچنین افزایش کارایی جذب مواد غذایی در گیاهان می‌شود (سوبادا و همکاران، ۲۰۲۰). در روش خاکورزی مرسوم، به هم خوردن خاک باعث افزایش تجزیه‌ی بقایای گیاهی شده و کربن و ازت موجود در مواد آلی زودتر معدنی شده و در نتیجه سریع‌تر از بین می‌رود (روستا و گلچین، ۱۳۸۴).

جدول۱. نتایج تجزیه واریانس آماری اثر نوع کود بر کربن آلی و کربن فعال خاک مزرعه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کربن آلی کل	کربن فعال	کربن آلی کل	کربن فعال
		۱۵-۰	۱۵-۰	۳۰-۱۵	۳۰-۱۵
بلوک	۲	۰/۰۰۱^{ns}	۶۷۵^{ns}	۰/۰۰۱^{ns}	۶۸۵/۴۵^{ns}
نوع کود	۸	۰/۰۱۹^{ns}	۱۳۶۶۸/۷۵*	۰/۰۰۸^{ns}	۷۵۳۵/۷۶*
خطا	۱۶	۰/۰۱۲	۴۲۱۸/۷۵	۰/۰۰۶	۲۶۵۶/۵۴
ضریب تغییرات (درصد)		۱۱/۳	۱۱/۳۹	۱۳/۴۳	۱۱/۵۴

*و ** معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ و ۱ درصد

ns اختلاف آماری غیر معنی‌دار

جدول۲. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر کربن آلی کل و کربن فعال خاک پس از کشت گندم

نوع کود	کربن آلی کل		کربن فعال	
	۱۵-۰	۳۰-۱۵	۱۵-۰	۳۰-۱۵
T_1	۰/۷۳^{a}	۰/۵۸^{a}	۴۳۵^{c}	۴۲۷/۵^{cab}
T_2	۰/۶۷^{a}	۰/۵۸^{a}	۴۹۵^{cb}	۴۳۵^{cab}
T_3	۰/۷۹^{a}	۰/۵۶^{a}	۶۰۰^{ab}	۴۲۷^{cab}
T_4	۰/۷۸^{a}	۰/۶۷^{a}	۵۸۵^{ab}	۴۹۵^{ab}
T_5	۰/۸۱^{a}	۰/۵۸^{a}	۵۵۵^{ab}	۴۲۰^{cb}

T_6	۰/۸۶^{a}	۰/۵۹^{a}	۵۸۵^{ab}	۴۳۵^{cab}
T_7	۰/۹۵^{a}	۰/۶۸^{a}	۶۶۰^{a}	۴۹۵^{ab}
T_8	۰/۸۷^{a}	۰/۶۸^{a}	۶۰۰^{ab}	۵۲۵^{a}
T_9	۰/۸۲^{a}	۰/۵۵^{a}	۶۱۵^{ab}	۴۰۰^{c}

میانگین‌های با حروف متفاوت اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد را نشان می‌دهد.

کربن فعال

کربن فعال خاک با رشد گیاه به ویژه با مصرف کودها افزایش می یابد (جدول ۲). پس از سه سال کشت گیاه (T_2) مقدار کربن آلی فعال خاک در عمق ۱۵ سانتی متری به میزان ۱۴ درصد بیش از شرایط عدم کشت گیاه (T_1) بود. اثر مثبت رشد گیاه بر کربن آلی فعال با مصرف کود بیشتر شد به گونه ای که مقدار کربن آلی فعال در تیمار مصرف کودهای شیمیایی (T_3) به طور معنی داری به میزان ۳۸ درصد بیشتر از شرایط نکاشت بود. مصرف کود آلی به تنهایی و یا به صورت توام با کود شیمیایی تاثیر قابل ملاحظه ای بر میزان کربن آلی فعال نسبت به مصرف کود شیمیایی به تنهایی نداشت. با این حال بیشترین مقدار کربن آلی فعال در تیمار مصرف کمپوست زباله شهری سالانه به همراه ۷۵ درصد کود اوره توصیه شده بود. در این تیمار بیشترین میزان کربن آلی کل نیز مشاهده شد. در عمق ۳۰-۱۵ سانتی متری خاک مقدار کربن آلی فعال کمتر از لایه سطحی خاک بود. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که کشت گیاه و نگهداشت بقایای محصول حتی به مقادیر اندک پس از برداشت می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کربن خاک داشته باشد. کربن فعال تحت تأثیر عناصر غذایی و ساختمان خاک قرار دارد و در اثر مدیریت زراعی مانند کوددهی با کود آلی افزایش پیدا می‌کند و با اثر مثبتی که بروی میکروارگانیسم‌ها دارند باعث افزایش کربن خاک می‌شود (یانگ و همکاران، ۲۰۱۲).

شاخص مدیریت کربن

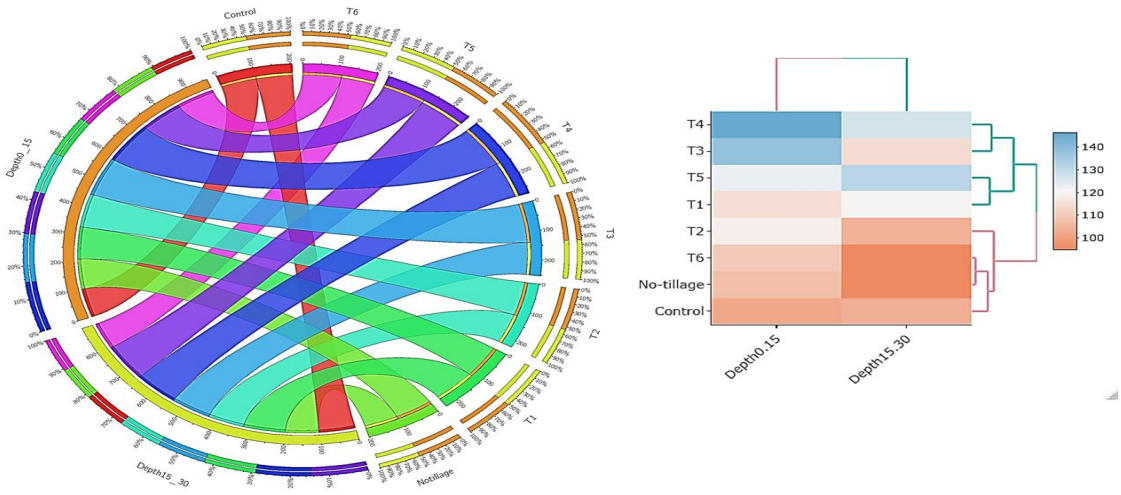
با در نظر گرفتن تیمار مصرف کود شیمیایی بر اساس توصیه (T_3) به عنوان خاک مرجع نتایج حاکی از آن است که بیشترین تأثیر بر شاخص مدیریت کربن در هردو عمق مربوط به تیمارهایی می‌باشد که از کود آلی استفاده شده است و کمترین تأثیر بر مقدار CMI مربوط به تیمار شاهد (بدون مصرف کود) در عمق ۱۵ سانتی‌متری و تیمار نکاشت در عمق ۳۰ سانتی‌متری می‌باشد (شکل ۱) و نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان دهنده این است که کاربرد سالانه کودهای آلی، تأثیر بیشتری بر شاخص مدیریت کربن آلی خاک نسبت به مصرف دو سالانه این کودها دارد. نتایج با گزارش گاش و همکاران (۲۰۱۹)؛ موهارانا و همکاران (۲۰۱۲) هم‌خوانی دارد. کاربرد کود هم در افزایش شاخص مدیریت کربن و بازیابی مقدار کربن خاک نقش مهمی دارد. افزودن کود موجب بهبود کیفیت خاک و افزایش پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش بیوماس گیاهی و ورود بیشتر بقایای گیاهی به خاک می‌شود، سپس منجر به افزایش فعالیت بیولوژیکی در خاک و تولید بیوماس میکروبی در خاک می‌شود (ویرا و همکاران، ۲۰۰۷).

جدول۳. نتایج تجزیه واریانس آماری اثر نوع کود بر شاخص مدیریت کربن

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		شاخص مدیریت کربن	شاخص مدیریت کربن
		۱۵-۰	۳۰-۱۵
بلوک	۲	۶۰۶/۲۱۵^{ns}	۲۱۳/۴۹۲^{ns}
نوع کود	۷	۷۱۰/۴۰^{ns}	۵۹۱/۹۷۳^{ns}
خطا	۱۴	۴۶۹/۰۲	۲۶۷/۰۰۸
ضریب تغییرات (درصد)		۱۸/۰۳	۱۴/۶۸

*و ** معنی‌دار در سطح احتمال آماری ۵ و ۱ درصد

ns اختلاف آماری غیر معنی‌دار



شکل۱. مقایسه میانگین اثر نوع کود بر شاخص مدیریت کربن مزرعه گندم، control: شاهد، **No tillage**: بدون مصرف کود، **T_1:** کاربرد ۲۰ تن کود گاوی هر دو سال یک‌بار+ کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، **T_2**: کاربرد۲۰ تن کمپوست پسماند هر دو سال یک‌بار + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، **T_3**: کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده، **T_4**:کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده، **T_5**: کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی (۱۰ تن در کشت اول و ۱۰ تن درکشت دوم)، **T_6**: کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند (۱۰ تن درکشت اول و ۱۰ تن درکشت دوم).

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با کاربرد کودهای آلی میزان کربن آلی خاک و اجزای آن افزایش یافت. باتوجه به نتایج حاصل از این آزمایش می‌توان بیان کرد که؛ کاربرد توام کودهای آلی و شیمیایی یکی از مهمترین فاکتورهای تأثیرگذار در افزایش سطح مواد آلی خاک و محتوای کربنی و سایر اجزاء کربنی خاک است. به طور کلی افزایش درازمدت استفاده از کودهای آلی در ترکیب با سایر کودهای شیمیایی و معدنی به صورت مؤثری می‌تواند سبب افزایش کیفی و کمی محتوای کربنی خاک شود. بر اساس نتایج حاصل شده، کاربرد سالانه ۲۰ تن در هکتار کود کمپوست پسماند+ کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده بیشترین تأثیر مثبت را بر افزایش شاخص مدیریت کربن آلی خاک داشت.

منابع

روستا، م، ج.، گلچین، ا. ۱۳۸۴. نظریه‌های تشکیل خاکدانه‌ها، مجله علمی-ترویجی حفاظت خاک و آب، جلد ۱، شماره ۳، صفحات ۹۲-۸۷.

Abdollahi, L., Schjønning, P., Elmholt, S., &Munkholm, L. J. (2014). The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability. *Soil and Tillage Research*, *136*, 28-37.

Amundson, R. (2001). The carbon budget in soils. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *29*(1), 535-562.

Blair, G. J., Lefroy, R. D., & Lisle, L. (1995). Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Australian journal of agricultural research*, *46*(7), 1459-1466.

Ghosh, B. N., Meena, V. S., Singh, R. J., Alam, N. M., Patra, S., Bhattacharyya, R., ... & Mishra, P. K. (2019). Effects of fertilization on soil aggregation, carbon distribution and carbon management index of maize-wheat rotation in the north-western Indian Himalayas. *Ecological Indicators*, *105*, 415-424.

Ghosh, S., Wilson, B., Ghoshal, S., Senapati, N., & Mandal, B. (2012). Organic amendments influence soil quality and carbon sequestration in the Indo-Gangetic plains of India. *Agriculture, ecosystems & environment*, *156*, 134-141.

Ghosh, B. N., Meena, V. S., Alam, N. M., Dogra, P., Bhattacharyya, R., Sharma, N. K., & Mishra, P. K. (2016). Impact of conservation practices on soil aggregation and the carbon management index after seven years of maize–wheat cropping system in the Indian Himalayas. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *216*, 247-257.

Gregorich, E. G., Beare, M. H., McKim, U. F., &Skjemstad, J. O. (2006). Chemical and biological characteristics of physically uncomplexed organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, *70*(3), 975-985.

Moharana, P. C., Sharma, B. M., Biswas, D. R., Dwivedi, B. S., & Singh, R. V. (2012). Long-term effect of nutrient management on soil fertility and soil organic carbon pools under a 6-year-old pearl millet–wheat cropping system in an Inceptisol of subtropical India. *Field Crops Research*, *136*, 32-41.

Trumbore, S. E., &Czimczik, C. I. (2008). Geology. An uncertain future for soil carbon. *Science (New York, NY)*, *321*(5895), 1455-1456.

Svoboda, P., Kurešová, G., Raimanová, I., Kunzová, E., & Haberle, J. (2020). The Effect of Different Fertilization Treatments on Wheat Root Depth and Length Density Distribution in a Long-Term Experiment. *Agronomy*, *10*(9), 1355.

Vieira, F. C. B., Bayer, C., Zanatta, J. A., Dieckow, J., Mielniczuk, J., & He, Z. L. (2007). Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. *Soil and Tillage Research*, *96*(1-2), 195-204.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, *37*(1), 29-38.

Wang, W., Lai, D. Y. F., Wang, C., Pan, T., & Zeng, C. (2015). Effects of rice straw incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field. *Soil and Tillage Research*, *152*, 8-16.

Xu, M., Lou, Y., Sun, X., Wang, W., Baniyamuddin, M., & Zhao, K. (2011). Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biology and Fertility of Soils*, *47*(7), 745-752

Yang, X., Ren, W., Sun, B., & Zhang, S. (2012). Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China. *Geoderma*, *177*, 49-56.

Changes in Labile carbon and carbon management index due to combined application of chemical and organic fertilizers in wheat cultivation in fixed plots

Arezoo Asgari[1], babakmoteshare zade[2], farhad moshiri[3], hossein safari[3]

Abstract

Soil organic carbon storage and its changes directly affect soil quality and fertility and organic carbon and its components can be used as an indicator of soil quality. The purpose of this study was to investigate the effect of integrated fertilizer management on changes in total soil organic carbon and components. It was. This research was carried out in the form of a randomized complete block design with nine treatments of organic and chemical fertilizer application alone or simultaneously in three replications in the research station of the Soil and Water Research Institute in the 2019-2020 crop season. After two years, the effect of fertilizer treatments on changes in total organic carbon, activated organic carbon and carbon management index in wheat cultivation in fixed plots was investigated. The results showed that the application of chemical and organic fertilizers did not have a significant effect on total soil organic carbon and carbon managements index. While the combined application of organic and chemical fertilizers, especially the annual consumption of waste compost fertilizer + 75% of the recommended nitrogen fertilizer, significantly increased the active organic carbon of the soil by 33.3% compared to the control treatment at a depth of 0-15 cm.

Keywords: Labile carbon, Carbon management index, combined management of fertilizers

مقایسه دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در پیش‌بینی ذخیره‌کربن آلی خاک در برخی اراضی شهرستان بهبهان

صاحب خورده بین *[۱]، سعید حجتی[۲]، احمد لندی[۳]، ایمان احمدیان فر[۴]

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، research.beh88@gmail.com

[۲] دانشیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

[۳] استاد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

[۴] استادیار گروه عمران دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان

چکیده

این مطالعه با هدف مقایسه دو روش شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک در برخی کاربری‌های شهرستان بهبهان انجام شد. بدین منظور نمونه برداری از خاک به روش مربع لاتین انجام و جهت بررسی میزان ذخیره کربن خاک، حفر پروفیل از عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ انجام و کربن آلی نمونه‌ها به روش والکی‌بلک و وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه همرا با پارافین مذاب تعیین و سپس ذخیره کربن آلی خاک محاسبه گردید. پارامترهای کمکی مورد استفاده شامل اجزاء سرزمین و داده‌های تصویر سنجنده OLI لندست ۸ می‌باشد. نتایج نشان داد که متغیرهای SAVI، NDVI، شاخص شوری، شاخص کربنات، شاخص گچ و شاخص رس بیشترین همبستگی را با مقادیر ذخیره کربن دارند.. همچنین در عمق ۳۰ -۰ سانتی‌متری مدل درخت تصمیم[۱](DT) با ضریب تبیین (R^2=۰/۸۷۹) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE =۳/۸۵۲) نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی نتایج بهتری در پیش بینی ذخیره کربن نشان داد ولی برای عمق ۶۰ -۳۰ سانتی‌متری مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطای به ترتیب R^2=۰/۵۰۸ و RMSE =۵/۵۵۸ نسبت به مدل درخت تصمیم عملکرد مناسبتری در پیش‌بینی ذخیره کربن داشته است.

واژه‌های کلیدی: ذخیره کربن، شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم

مقدمه

ذخیره کربن نقش مهمی در تعیین چرخه جهانی کربن و تنظیم اقلیم جهانی ایفا می‌کند و افزایش ذخیره کربن آلی خاک از طریق مدیریت اراضی، به عنوان یک اقدام موثر در کاهش تغییرات اقلیمی پیشنهاد شده است (Wang و همکاران ۲۰۱۹). ذخیره کربن‌آلی خاک در یک مکان با عوامل مختلف محیطی از قبیل اقلیم، پوشش گیاهی، پستی وبلندی، مواد مادری، بافت‌خاک و کاربری اراضی کنترل می‌شود (Jenny,1994). خاک به عنوان منبع ورودی یا خروجی کربن به اتمسفر است که به نوع کاربری اراضی وابسته است (Lal, 2004). نمونه‌برداری مستقیم از خاک و اندازه‌گیری آزمایشگاهی به منظور اندازه‌گیری و ارزیابی کربن آلی خاک علاوه بر پرهزینه و وقت‌گیر بوده دارای یکسری محدودیت‌هایی می‌باشند. از این رو روش‌های نیاز است که بتوان به سادگی سطح وسیعی از مناطق را مورد پایش قرار داده و روند تغییرات کربن آلی خاک را مورد بررسی قرار داد . یکی از این راه‌ها استفاده از نقشه‌برداری رقومی خاک براساس ارتباط بین خصوصیات خاک و متغییرهای محیطی می‌باشد در واقع نقشه‌برداری رقومی خاک یکی از ابزارهای کمی‌سازی رابطه بین مقادیر خصوصیات خاک و متغییرهای کمکی می‌باشد (Adhikari و همکاران ۲۰۱۴) .

مدل‌ها و تکنیک‌های آماری مختلفی از جمله رگرسیون درختی (Wang و همکاران ۲۰۱۷) و (Akpa و همکاران ۲۰۱۶)، رگرسیون کریجینگ (Yigini and Panagos 2016)، جنگل تصادفی[۲](RF) (Akpa و همکاران ۲۰۱۶) ، روش‌های زمین‌آماری(Mitran و همکاران ۲۰۱۸) و شبکه‌های عصبی مصنوعی(Aitkenhead and Coull 2016) برای مدل کردن مقادیر ذخیره کربن آلی خاک توسعه و به‌کار گرفته شده است.

۱-Decision Tree

۲- Random forest

* ایمیل نویسنده مسئول: research.beh88@gmail.com

Mnasny و همکاران (۲۰۱۶) نقشه رقومی ذخیره کربن آلی خاک را با استفاده از مدل رگرسیون درختی، جنگل تصادفی[۱] و شبکه عصبی مصنوعی در دو منطقه در اندونزی تهیه کردند و ضرایب تبیین به‌ترتیب ۰/۹۹- ،۰/۹۵ ،۰/۹۸ – ۰/۹۳ و ۰/۸۶-۰/۵۹ گزارش کردند. ساماراتنه و همکاران (۲۰۰۵) از مدل شبکه‌عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره برای مدل‌سازی مقدار کربن آلی خاک در شش نوع کاربری اراضی استفاده نمودند. آنها از پارامترهای محیطی ارتفاع، جهت شیب، میانگین سالانه درجه حرارت و میانگین سالانه بارندگی به عنوان پارامترهای ورودی شبکه برای مدل‌سازی مقدار کربن آلی خاک استفاده نموده و نشان دادند که تخمین‌های ارائه شده توسط شبکه عصبی مصنوعی از صحت بالاتری نسبت به رگرسیون خطی چند متغیره برای پیش‌بینی مقدار کربن آلی خاک برخوردار است. Grimm و همکاران (۲۰۰۸) نیز از روش درخت تصمیم برای پیش‌بینی کربن آلی خاک استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که برآوردهای مقدار کربن آلی خاک با استفاده از مدل درخت تصمیم از دقت بالایی در پیش‌بینی کربن آلی خاک برخوردار است و تغییرات کربن آلی خاک در بخش بالایی خاک (۰ تا ۱۰ سانتی‌متری) به‌وسیله شاخص توپوگرافی ترکیبی[۲] (CTI) و فاکتور LS از متغییرهای محیطی توپوگرافی و در لایه‌های عمقی‌تر خاک (۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متری) با کلاس‌های بافت خاک توجیه می‌شوند.

در این پژوهش ذخیره کربن خاک در کاربری موجود در منطقه با دو مدل شبکه‌های عصبی و درخت تصمیم بر اساس رابطه بین میزان ذخیره کربن با فاکتورهای محیطی مورد بررسی قرار گرفته و توانایی دو مدل در پیش‌بینی ذخیره کربن با همدیگر مقایسه می‌شود.

مواد وروش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی با مساحتی حدود ۳۱۷۸ هکتار در حد فاصل عرض جغرافیایی ″ ۴۰ ′۴۰ ۳۰ تا ″ ۵۶ ′۴۰ ۳۰ شمالی و طول جغرافیایی ″ ۵۲ ′۳۰ ۵۰ تا ″ ۵۰ ′۰۶ ۵۰ شرقی در شهرستان بهبهان واقع شده است میانگین بارندگی سالانه منطقه ۳۲۳ میلیمتر و متوسط درجه حرارت سالیانه۲۵درجه سانتیگراد و میانگین تبخیر سالیانه ۳۸۱۸ میلیمترمی‌باشد. منطقه دارای رژیم رطوبتی و حرارتی به ترتیب یوستیک و هایپرترمیک می‌باشند.

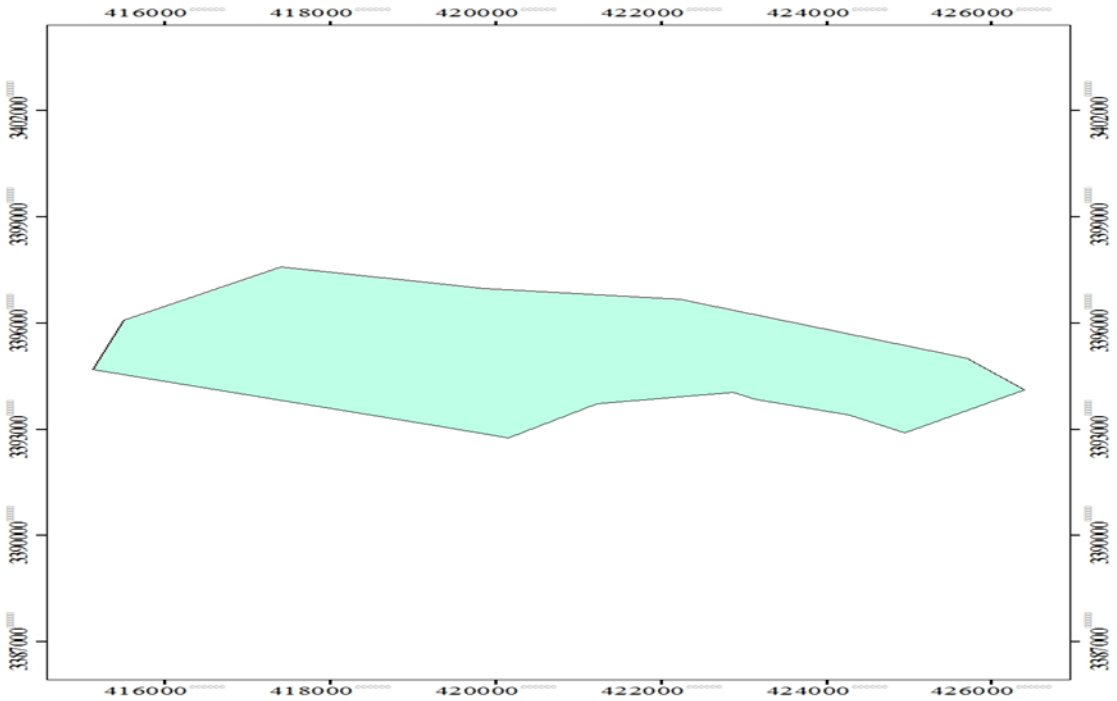
نمونه برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

در این پژوهش از روش نمونه‌برداری مربع لاتین (cLHS,) برای انتخاب محل‌های نمونه‌برداری خاک استفاده گردید(Minasny and Mcbratney, 2006). در این راستا از مدل رقومی ارتفاع(DEM) و داده‌های رقومی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به عنوان ورودی‌های مدل هایپرکیوب استفاده گردید .لایه مدل رقومی ارتفاعی به همراه باندهای ماهواره‌ای لندست ۸ پس از آماده‌سازی در نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۴ به نرم‌افزار SAGA GIS نسخه۲.۳.۲ منتقل و پارامترهای توپوگرافی به شیوه ارائه شده توسط Hengel و همکاران (۲۰۰۴) از مدل رقومی ارتفاع استخراج گردید. همچنین پارامترهایی از جمله شاخص رس، شاخص کربنات، شاخص پوشش گیاهی۳ (NDVI) و شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس زمین (SAVI) در هر پیکسل از منطقه مورد مطالعه در نرم افزار JMP نسخه ۱۳ استخراج گردید. پس از استخراج کلیه پارامترها و عوامل محیطی، یک فایل با پسوند txt از آنها ایجاد و با استفاده از نرم‌افزار cLHS, مختصات نقاط نمونه‌برداری بر اساس تعداد نقاط مورد نظر کاربر تعیین گردید. در این پژوهش با استفاده از مدل نمونه‌برداری هایپرکیوب، موقعیت مکانی ۱۱۰ نقطه مطالعاتی مشخص گردید. در نقاط مورد نظر، نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ صورت گرفت و پس از هوا خشک کردن ،کوبیدن و عبور دادن نمونه‌ها از الک ۲ میلی‌متری، کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون مرطوب در مجاورت دی کرومات پتاسیم اندازه‌گیری شد(Walkley and Black 1934). وزن مخصوص ظاهری نیز به روش کلوخه و غوطه‌وری در پارافین مذاب محاسبه و سپس ذخیره کرین آلی در واحد سطح از رابطه (۱) محاسبه گردید(Gomes و همکاران۲۰۱۹).

۲- combined topographic index
۳-Normalized Difference Vegetation Index

$$SC = 100 \times OC \times Bd \times D \quad (۱)$$

که در این رابطه SC بیانگر ذخیره کربن آلی ($Mg\ ha^{-1}$)، OC درصد کربن آلی و Bd جرم مخصوص ظاهری خاک (gcm^{-3}) و D عمق خاک (m) می‌باشد.



شکل(۱). موقعیت مکانی نقاط مشخص شده به روش هایپرکیوب

استخراج داده‌های کمکی توپوگرافی و سنجش از دور

بر اساس مدل اسکورپن در نقشه‌برداری رقومی خاک، علاوه بر داده‌های خاک به داده‌های کمکی هم نیاز می‌باشد. جهت تهیه نقشه مدل رقومی ارتفاع از نقشه موجود در سامانه نقشه‌برداری کشور با اندازه سلولی ۳۰ متر و برای تهیه داده‌های ماهواره‌ای از باندهای ماهواره لندست ۸ مربوط به ماه می سال ۲۰۱۷ استفاده گردید.

لایه مدل رقومی ارتفاعی در نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۴ تهیه و سپس لایه مذکور به فرمت Image تبدیل و به نرم‌افزار SAGA GIS ۲/۳/۲ منتقل و پارامترهای توپوگرافی از جمله شیب[۱]، جهت شیب[۲]، انحنای شیب[۳]، شیب حوزه[۴]، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا[۵]، شاخص همواری قله با درجه تفکیک بالا[۶] و شاخص خیسی[۷] از آن استخراج گردید. همچنین پارامترهای شاخص روشنایی(Brightness Index)، شاخص کربنات (Carbonate Index)، شاخص رس (Clay Index)، شاخص شوری (Salinity Index)، پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس زمین (SAVI) که نشان دهنده ترکیبات زمین شناسی مواد سطحی می‌باشند از ترکیب باند ها در نرم‌افزار JMP نسخه ۱۳ استخراج گردید (روابط ۲ تا ۷).

۱-Slope
۲-Aspect
۳-Curvature
٤-Catchment Slope
٥-Multi-Resolution Valley Bottom Flatness Index
٦- Multi-Resolution Ridge Flatness Index
۷-Wetness Index

$$\text{Brightness Index}=\sqrt{B_4{}^2+B_5{}^2} \quad (۲)$$

$$\text{Carbonate Index}=\frac{B_4}{B_3} \quad (۳)$$

$$\text{Clay Index}=\frac{B_6}{B_7} \quad (۴)$$

$$\text{Salinity Index}=\frac{B_4-B_5}{B_3+B_5} \quad (۵)$$

$$\text{NDVI}=\frac{B_5-B_4}{B_5+B_4} \quad (۶)$$

$$\text{SAVI}=(1+L)\ \frac{B_5-B_4}{B_5+B_{4+1}} \quad (۷)$$

بررسی مدل های مختلف جهت پیش بینی ذخیره کربن آلی خاک

مدل شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network)

شبکه‌های عصبی مصنوعی، ساختاری شبکه‌ای است متشکل از تعدادی واحد (نورون‌های عصبی) که در داخل شبکه به هم وصل می‌شوند. دراین تحقیق برای ساخت شبکه عصبی مصنوعی از پرسپترون چند لایه (MLP[۱]) با یک لایه مخفی با تابع فعالسازی سیگموئیدی در لایه مخفی و تابع فعالسازی خطی در لایه خروجی استفاده گردید. ساخت شبکه عصبی مصنوعی و انجام پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک در نرم‌افزار متلب صورت گرفت.

مدل درخت تصمیم(Decision Tree)

درخت تصمیم یکی از روش های داده کاوی و ابزارهای قوی و متداول برای دسته بندی و پیش‌بینی می‌باشد و قادر به پیش‌بینی متغییرهای کمی و متغییرهای طبقه‌بندی شده بر اساس مجموعه‌ای از متغییرهای پیش‌بینی کننده می‌باشد(نبی الهی و همکاران، ۱۳۹۳). در این تحقیق اجرای درخت تصمیم در نرم‌افزار JMP انجام گرفت و مقادیر پیش‌بینی شده برای تمامی پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه محاسبه گردید.

ارزیابی کارایی مدل‌ها در برآورد ذخیره کربن

برای ارزیابی کارایی مدل‌ها، ابتدا در نرم‌افزار متلب داده‌ها به دو دسته آموزش (۷۰ درصد داده‌های نمونه‌برداری شده) و آزمون (۳۰ درصد داده‌های نمونه‌برداری شده) به طور تصادفی تقسیم شدند و سپس مقادیر ذخیره کربن به روش شبکه عصبی در نرم افزار متلب و در روش درخت تصمیم در نرم افزار JMP برآورد شدند. آماره‌های ضریب تبیین (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، جهت بررسی مقایسه دقت دو مدل مختلف در پیش‌بینی ذخیره کربن استفاده گردید (روابط ۸ و ۹).

$$R^2=\frac{\sum_{i=1}^{n}(T_i-Y_i)}{\sum_{i=1}^{n}\bar{Y}-y_i)} \quad (۸)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(T_i-Y_i)^2}{n}} \quad (۹)$$

در روابط فوق T_i مقدار واقعی (هدف)، Y_I مقدار پیش‌بینی شده می‌باشد.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل آماری

۱- Multi Layer Perceptron

کشیدگی	چولگی	ماگزیمم ($Mgha^{-1}$)	منیمم ($Mgha^{-1}$)	میانگین ($Mgha^{-1}$)	انحراف استاندارد	واریانس	خطای استاندارد
۰/۱۸۵	۰/۱۵۲	۷۷/۸۳	۲۳/۰۹	۴۷/۰۱۸	۱۰/۶۱۷۶	۱۱۲/۷۳۵	۱/۰۱۲۳

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov- Smirnov بررسی گردید که نتایج این آزمون حاکی از نرمال بودن داده‌ها بود. همچنین همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون لون[۱] بررسی و مورد تایید قرار گرفت. به منظور مقایسه میزان ذخیره کربن خاک در کاربری‌های مختلف از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA[۲]) و جهت مقایسه میانگین ذخیره کربن از آزمون دانکن استفاده گردید آزمون‌های آماری در نرم افزار SPSS نسخه شماره ۲۴ انجام گرفت. برای بررسی ارتباط بین پارامترهای محیطی با ذخیره کربن، ضریب همبستگی بین آنها در نرم افزار متلب انجام گرفت که نتایج آن در جدول شماره (۲) و نتایج توصف آماری در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱). توصیف آماری داده‌های ذخیره کربن

جدول (۲). ضریب همبستگی بین پارامتر های محیطی با ذخیره کربن

فاکتورهای محیطی	ضریب همبستگی (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری)	ضریب همبستگی (عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متری)
EVI	۰/۶۵	۰/۵۳
SAVI	۰/۶۹	۰/۵۶
NDSI	-۰/۶۹	-۰/۵۶
Carbonate Index	-۰/۶۳	-۰/۵۲
Clay Index	۰/۵۲	۰/۳۵
NDVI	۰/۶۹	۰/۵۷
Gypsum Index	-۰/۷۱	-۰/۵۳
Aspect	۰/۲۱	-

EVI شاخص پوشش گیاهی بازسازی شده ، NDSI شاخص شوری خاک، SAVI، شاخص پوشش گیاهی با تنظیم انعکاس زمین و NDVI شاخص پوشش گیاهی نرمال شده می‌باشد

ارزیابی کارایی مدل‌ها در برآورد ذخیره کربن

آماره‌های ضریب تبیین(R-Square) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، جهت بررسی مقایسه دقت مدل‌های مختلف در پیش‌بینی ذخیره کربن استفاده گردید که نتایج مقایسه عملکرد دو روش مختلف در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳). آماره های مقایسه عملکرد روش‌های مختلف در پیش بینی ذخیره کربن

مدل	عمق(cm)	R-Square	MRSE
DT	۰-۳۰	۰/۸۷۹	۳/۸۵۲
DT	۳۰-۶۰	۰/۴۴۳	۶/۵۸۰
ANN	۰-۳۰	۰/۷۸۸	۴/۲۵۷
ANN	۳۰-۶۰	۰/۵۰۸	۵/۵۵۸

۱- Leven
۲-Analysis of Variance

R^2= ضریب تبیین، RMSE= مجذور میانگین مربعات خطا

نتیجه‌گیری

نتایج جدول ضریب همبستگی ذخیره کربن با فاکتورهای محیطی(جدول۲) نشان می‌دهد که همبستگی در عمق ۳۰-۰ در مقایسه با عمق ۶۰-۳۰ بیشتر بوده ولی در هر دو عمق مذکور شاخص‌های NDVI ، SAVI ، EVI و شاخص رس بیشترین همبستگی مثبت و شاخص‌های شوری خاک، کربنات و گچ بیشترین همبستگی منفی را با ذخیره کربن دارند. نتایج مقادیر ذخیره کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف نشان داد که متوسط ذخیره کربن آلی خاک در کاربری نخلستان بیشتر از بقیه کاربری‌ها بوده و پس از آن به ترتیب کاربری کشاورزی، کشت مخلوط و مرتع قرار دارند که دلیل بیشتر بودن مقدار ذخیره کربن در کاربری نخلستان را می‌توان به پوشش گیاهی بیشتر و درنتیجه وجود بقایای گیاهی بیشتر و عدم چرای آن توسط دام نسبت داد. جدول(۱) توصیف آماری داده‌های ذخیره کربن در منطقه نشان می‌دهد که ماکزیمم ذخیره کربن در کاربری کشت مخلوط با مقدار ذخیره کربن ۷۷/۸۳ ($Mgha^{-1}$) و حداقل آن ۲۳/۰۹ ($Mgha^{-1}$) است که مربوط به کشت مرتع می‌باشد ولی متوسط ذخیره کربن در کاربری نخلستان از بقیه کاربری‌ها بیشتر است. نتایج ارزیابی و مقایسه عملکرد و دقت مدل‌های مختلف پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک که در جدول شماره (۳) آورده شده است نشان می‌دهد در عمق ۳۰ -۰ سانتی‌متر مدل درخت تصمیم(DT) با ضریب تبیین(R^2=۰/۸۷۹) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE =۳/۸۵۲) نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطایی به ترتیب برابر R^2=۰/۷۸۸ و RMSE =۴/۲۵۷ کارایی و دقت بیشتری را در پیش‌بینی ذخیره کربن آلی خاک دارد. همچنین ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا جدول شماره (۳) همچنین نشان می‌دهد برای عمق ۶۰ -۳۰ سانتی‌متر مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطای به ترتیب R^2=۰/۵۰۸ و RMSE =۵/۵۵۸ نسبت به مدل درخت تصمیم با ضریب تبیین و مجذور میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر با R^2=۰/۴۴۳ و RMSE =۶/۵۸۰ کارایی بیشتری در پیش‌بینی ذخیره کربن داشته است

فهرست منابع

اسحاقی، م. شتایی جویباری، ش. ۱۳۹۵. تهیه نقشه احتمال خطر وقوع آتش سوزی با استفاده از الگوریتم های داده کاوی (مطالعه موردی: پارک ملی گلستان، شمال شرقی ایران). پژوهشهای علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۳ (۴)،۱۳۳-۱۵۴.

نبی الهی، ک، حیدری، ا، تقی زاده مهرجردی، ر. ۱۳۹۳. نقشه برداری رقومی بافت خاک با استفاده از رگرسیون درختی و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه بیجار کردستان. نشریه آب و خاک، ۵، ۱۰۲۵-۱۰۳۶.

مختاری،ز، فاطمی، الف ، نذیری،ع، ۱۳۹۱، پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی با استفاده از مدل شبکه های عصبی مصنوعی، مطالعه موردی دشت شبستر، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، ۸ (۴)، ۳۵۳-۳۴۵.

Adhikari, K., A. E. Hartemink, B. Minasny, R. B. Kheir, M. B. Greve and M. H. J. P. O. Greve (2014). "Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark." Plos One **9**(8): e105519.

Aitkenhead, M. J. and M. C. Coull (2016). "Mapping soil carbon stocks across Scotland using a neural network model." Geoderma **262**: 187-198.

Akpa, S. I. C., I. O. A. Odeh, T. F. A. Bishop, A. E. Hartemink and I. Y. Amapu (2016). "Total soil organic carbon and carbon sequestration potential in Nigeria." Geoderma **271**: 202-215.

Gomes, L. C., R. M. Faria, E. de Souza, G. V. Veloso, C. E. G. R. Schaefer and E. I. F. Filho (2019). "Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil." Geoderma **340**: 337-350.

Grimm, R., T. Behrens, M. Märker and H. J. G. Elsenbeer (2008). "Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island—Digital soil mapping using Random Forests analysis." Geoderma **146**(1-2): 102-113.

Mitran, T., U. Mishra, R. Lal, T. Ravisankar and K. Sreenivas (2018). "Spatial distribution of soil carbon stocks in a semi-arid region of India." Geoderma Regional **15**: e00192.

Somaratne, S., G. Seneviratne and U. J. S. S. S. o. A. J. Coomaraswamy (2005). "Prediction of soil organic carbon across different land-use patterns." Soil

science society of America journal **69**(5): 1580-1589.

Walkley, A. and I. A. J. S. s. Black (1934). "An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method." Soil Sci **37**(1): 29-38.

Wang, Y.-f., L. Liu and Z.-p. Shangguan (2017). "Carbon storage and carbon sequestration potential under the Grain for Green Program in Henan Province, China." Ecological Engineering **100**: 147-156.

Wang, Z. (2019). "Estimating of terrestrial carbon storage and its internal carbon exchange under equilibrium state." Ecological Modelling **401**: 94-110.

Yigini, Y. and P. Panagos (2016). "Assessment of soil organic carbon stocks under future climate and land cover changes in Europe." Science of The Total Environment **557-558**: 838-850.

Comparing Artificial Neural Network and Decision Tree Models in Forecasting of Organic Carbon Storage in Some Lands of Behbahan City

Khordehbin[*1], S., Hojati[2], S., Landi[3], A., Ahmadianfar, I. [4]

[1] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
[2] Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
[4] Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
[4] Assistant Prof., Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Iran

Abstract:

This study was conducted to compare the two methods of artificial neural network and decision tree in predicting soil organic carbon storage in selected land uses of Behbahan city. For this purpose, soil sampling was carried out using Latin Hypercube method. To study the amount of carbon stored in the soil, the profiles were excavated from 0 to 30 and 30 to 60-30 cm and the organic carbon of the samples was determined by Walkly-Black method and the bulk density using paraffin-coated clod. Then soil organic carbon storage was calculated. The auxiliary parameters used in this study were Territory Components and OLI Sensor image data from Landsat 8. The results showed that the variables SAVI, NDVI, NDSI salinity index, carbonate index, gypsum index and clay index have the highest correlation with carbon stock levels. The results also showed in the depth of 0-30 (cm) decision tree model (DT) with a coefficient of determination (R^2= 0.879) and root mean square error (RMSE=3.852) of the artificial neural network model has more efficiency in predicting carbon storage. But for depth of 60-30 cm, artificial neural network model (ANN) with a coefficient of determination (R^2= 0.508) and root mean square error (RMSE=5.588) of the decision tree model has more efficiency in predicting carbon storage.

Keywords: carbon store, artificial neural network, decision tree

* Corresponding author, Email: research.beh88@gmail.com

ترسیب کربن آلی خاک در اراضی کویری و کشاورزی مرکز ایران

جابر فلاح‌زاده[1*]، احمد کریمی[1]، مهدی نادری[1] و حسین شیرانی[2]

۱– گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، *j.fallahzade@gmail.com*

۲– گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران

چکیده

این پژوهش با هدف مقایسه ترسیب کربن آلی خاک در اراضی کویری و کشاورزی در منطقه ابرکوه (استان یزد) انجام شد. بدین منظور، سه کاربری اراضی کویری و اراضی تحت کشت گندم و پسته مورد آزمون قرار گرفت. در زمان نمونه‌برداری، وزن مخصوص ظاهری با استفاده از سیلندر استوانه‌ای تعیین گردید و نمونه‌های ترکیبی خاک از عمق ۰–۲۰ سانتی‌متری از ۱۰ مزرعه در حاشیه اراضی کویری برداشته شدند. نتایج نشان داد که زیر کشت‌بردن اراضی کویری باعث کاهش معنی‌دار شوری و وزن مخصوص ظاهری خاک گردید ولی مقادیر کربن آلی آنرا افزایش داد. مقادیر کربن آلی در اراضی کویری (۰/۸۵ گرم در کیلوگرم) به طور معنی‌داری نسبت به خاک‌های اراضی تحت کشت گندم (۳/۲۷ گرم در کیلوگرم) و پسته (۴/۲۵ گرم در کیلوگرم) کمتر بود. درحالی‌که کمترین میزان ترسیب کربن آلی خاک (۰/۲۵ کیلوگرم در مترمربع) در اراضی کویری دیده شد، میزان ترسیب کربن آلی خاک تحت کشت پسته (۱/۱۵ کیلوگرم در مترمربع) به صورت معنی‌داری بیشتر از خاک تحت کشت گندم (۰/۹۴ کیلوگرم در متر مربع) بود. از آنجایی که سطح وسیعی از مرکز ایران را اراضی کویری با ذخایر کربن آلی ناچیز تشکیل می‌دهد، عملیات کشت و کار پایدار می‌تواند به افزایش ترسیب کربن آلی خاک منجر شود.

واژگان کلیدی: ترسیب کربن خاک، اراضی کویری، پسته، گندم

مقدمه

ترسیب کربن آلی خاک به معنی انتقال دی‌اکسیدکربن اتمسفری توسط گیاهان و ذخیره‌سازی کربن به صورت کربن آلی در خاک می‌باشد (Post and Kwon 2000). افزایش نگرانی‌ها درباره تغییرات اقلیمی و گرم‌شدن کره زمین موجب توجه بیشتر به اهمیت خاک و نقش آن در ترسیب کربن اتمسفر شده است. کربن موجود در خاک بزرگترین ذخیره کربن در زیست کره زمینی بوده و ترسیب آن یک عنصر کلیدی در تعدیل آب و هوای جهانی است (Salehi *et al.* 2017). به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده از اراضی کشاورزی برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر شده است. تحقیقات نشان داده است که تغییر کاربری اراضی بر ذخایر کربن آلی خاک تأثیر گذار است (Zhang *et al.* 2017).

طی چند دهۀ اخیر، پژوهشگران داخلی توجه زیادی به موضوع ترسیب کربن خاک کرده‌اند که با درک اهمیت موضوع در چند سال گذشته، این روند با سرعت بیشتری رو به توسعه است. با توجه به اهمیت مبحث گازهای گل‌خانه‌ای و نقش خاک و پوشش گیاهی در کاهش غلظت آنها، هنوز مسائل مبهم زیادی در رابطه با توانایی گونه‌های گیاهی در نقاط بیابانی کشور وجود دارد که پاسخ‌گویی به این ابهامات در گرو انجام تحقیقات بیشتر می‌باشد. با توجه به قرار گرفتن بخش عظیمی از اراضی کشور ایران در محدوده مناطق کویری و همچنین اهمیت خاک سطحی در تنظیم و ترسیب گاز دی‌اکسیدکربن هوا، اطلاعات در رابطه پتانسیل خاک‌های کویری ایران جهت نگهداری و ترسیب کربن اتمسفر ناچیز می‌باشد. بنابراین در این تحقیق تغییرات در ترسیب کربن آلی خاک بر اثر زیر کشت بردن اراضی کویری شهرستان ابرکوه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در جنوب شرقی شهرستان ابرکوه واقع شده است. شهرستان ابرکوه با موقعیت جغرافیائی ۳۱ درجه و ۷ دقیقه شمالی و ۵۳ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی در ۱۴۰ کیلومتری جنوب غربی یزد قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵۰۰ متر است. بر اساس داده‌ها و آمار ایستگاه هواشناسی شهرستان ابرکوه، آب و هوای این شهرستان خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های نیمه‌سرد بوده و میانگین بارندگی و تبخیر سالیانه آن به ترتیب ۶۰ و ۲۸۰۰ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به قرارگرفتن این شهرستان در حاشیه بیابان، زیادبودن تبخیر و تعرق سالیانه و میزان بارندگی کم، خاک‌های این منطقه دارای نمک‌های زیادی بوده و به همین علت پوشش گیاهی این زمین‌ها بسیار ضعیف بوده و گاهاً شامل بوته‌های گز می‌باشد. در حدود ۴ دهه قبل به منظور کشاورزی زمین‌های شور و تبدیل آنها به زمین‌های کشاورزی، اراضی شور کرت‌بندی شده و به صورت غرقابی، ۲ الی ۳ مرتبه در آنها آبیاری سنگین انجام شده است. سپس این اراضی زیر کشت چغندرقند و در سال‌های بعد زیر کشت محصولات زراعی (گندم و جو) و یا باغی (پسته) رفته است.

در این تحقیق سه نوع کاربری شامل اراضی کویری، اراضی زراعی تحت کشت گندم و اراضی باغی تحت کشت پسته انتخاب شد. برای نمونه‌برداری، ۱۰ مزرعه (دارای اراضی زیر کشت گندم و اراضی باغی تحت کشت پسته) به عنوان واحد آزمایشی به گونه‌ای انتخاب شدند که در حاشیه اراضی کویری قرار داشته باشند. در هر مزرعه، نمونه‌برداری از ۱۰ نقطه اراضی زیر کشت گندم و ۱۰ نقطه اراضی باغی تحت کشت پسته انجام گرفت. نمونه‌های خاک از عمق ۲۰–۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شدند. بعد از نمونه‌برداری، در هر مزرعه، خاک ۱۰ نقطه با هم ترکیب و به عنوان یک نمونه مرکب در نظر گرفته شد. از اراضی کویری در کنار هر مزرعه، ۱۰ نمونه با فواصل مکانی ۵ متری برداشته شد و بعد از ترکیب آنها، نمونه مرکب بدست آمد. در مجموع، ۱۰ نمونه ترکیبی از اراضی زیر کشت گندم، ۱۰ نمونه ترکیبی از اراضی باغی تحت کشت پسته و ۱۰ نمونه ترکیبی از اراضی کویری جمع‌آوری گردید. در باغ‌های پسته، نمونه‌برداری از خاک در سایه‌انداز درخت صورت گرفت. زمان نمونه‌برداری پس از برداشت محصولات کشاورزی (اواخر مردادماه) بود. در زمان نمونه‌برداری، تعیین وزن مخصوص ظاهری با استفاده از سیلندر استوانه‌ای (حجم ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب) انجام شد.

نمونه‌های جمع‌آوری‌شده ابتدا هواخشک گردیده و جهت انجام آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. درصد کربن آلی کل خاک با اکسیداسیون تر تعیین شد. قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع تعیین گردید. همچنین در این پژوهش، بافت خاک به روش پیپت اندازه‌گیری شد (Baruah and Barthakur 1997).

برای محاسبه پتانسیل ترسیب کربن آلی خاک از رابطه ۱ استفاده شد:

$$Pool(gm^{-2}) = \rho b(Mgm^{-3}) \times OC(gkg^{-1}) \times d(m) \times 1000(kgMg^{-1}) \quad (1)$$

در این معادله، Pool ترسیب کربن آلی خاک، ρb وزن مخصوص ظاهری، OC کربن آلی و d عمق نمونه‌برداری می‌باشد.

مقایسه آماری خصوصیات خاک بوسیله تجزیه واریانس و آزمون توکی (در سطح آماری ۵ درصد) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با ۱۰ تکرار انجام شد. تیمارها شامل نوع کاربری در سه سطح (اراضی کویری، خاک‌های تحت کشت گندم و پسته) می‌باشد. محاسبه‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 صورت گرفت.

نتایج و بحث

خاک‌های مورد بررسی دارای بافت لوم رسی بوده و میزان آهک آنها بین ۴۰ الی ۴۳ درصد متغیر بود. pH خاک‌ها بین ۷/۲۱ الی ۷/۶۲ بود. خاک‌های منطقه در گروه کلسیک هاپلوسالیدز طبقه‌بندی می‌شوند. به‌طورکلی زیر کشت‌بردن اراضی کویری باعث

کاهش معنی‌دار شوری و وزن مخصوص ظاهری خاک شده (جدول ۱) و افزایش در کربن آلی و ترسیب آن در خاک را در پی داشته است که نتایج آن در زیر آورده شده است:

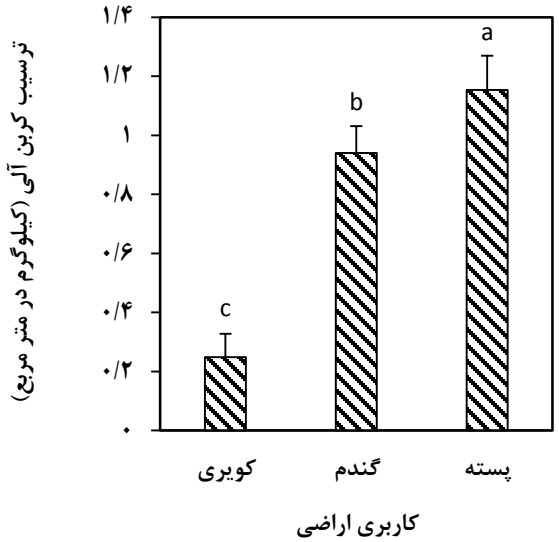
نتایج این تحقیق نشان داد وزن مخصوص ظاهری خاک در اراضی کشاورزی به صورت معنی‌داری کمتر از خاک اراضی کویری است (جدول ۱). احتمالا بخاطر افزایش مواد آلی خاک در اثر کشت و کار، وزن مخصوص ظاهری آن کاهش یافته است. Zhang (2017) *et al.* نیز کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک در اثر تبدیل اراضی کویری چین به اراضی کشاورزی را گزارش داده‌اند. تغییر کاربری اراضی کویری باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی خاک شد (جدول ۱). بیشترین مقدار کربن آلی خاک در خاک پسته و کمترین آن در خاک اراضی کویری مشاهده گردید. دلیل این افزایش معنی‌دارکربن آلی، آبیاری (که منجر به کاهش شوری خاک و تأمین آب جهت رشد گیاهان گردیده) و همچنین استفاده از کودهای شیمیایی که ورود مواد آلی و بقایای گیاهی به خاک را افزایش داده است، می‌باشد. Zhang *et al.* (2017) نیز افزایش کربن آلی خاک‌های کویری چین که به زیر کشت رفته‌اند را گزارش کرده‌اند. احتمالا به دلیل کاربرد کودهای آلی و همچنین بیشتر بودن بازگشت بقایای گیاهی به خاک در اراضی زیر کشت پسته، میزان کربن آلی خاک در این اراضی بیشتر از گندم بوده است. Raiesi (2007) گزارش کرد تغییر کاربری اراضی بر مقدار کربن آلی خاک تأثیر گذاشته و زیر کشت بردن اراضی دست نخورده در مناطق خشک و نیمه خشک منجر به افزایش مقدار کربن آلی خاک شده است. مرادی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند تغییر کاربری اراضی بایر و تبدیل آنها به اراضی تحت کشت نیشکر و زراعی (گندم، جو و ذرت) در استان خوزستان، منجر به افزایش شدید در میزان ماده آلی خاک شده است. جعفری و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش دادند که مقدار کربن آلی در اراضی کشاورزی حدودا ۳ برابر اراضی بکر (۳/۶ گرم در کیلوگرم) بوده است.

جدول۱– مقایسه میانگین اثر تغییر کاربری بر برخی از خصوصیات خاک

کاربری	شوری خاک (dS/m)	وزن مخصوص ظاهری (مگاگرم در مترمکعب)	کربن آلی (گرم درکیلوگرم)
اراضی کویری	۲۵/۷ a	۱/۴۹ a	۰/۸۵ c
اراضی زیر کشت گندم	۲/۹ b	۱/۴۴ ab	۳/۲۷ b
اراضی زیر کشت پسته	۲/۸ b	۱/۳۶ b	۴/۲۵ a

مقادیر در هر ستون با حروف مشابه، در سطح ۵ درصد آزمون توکی تفاوت معنی‌دار ندارند.

زیر کشت بردن اراضی کویری باعث افزایش معنی‌دار ($p<۰/۰۰۱$) ترسیب کربن آلی خاک شد (شکل ۱). ترسیب کربن آلی خاک در اراضی تحت کشت گندم ۳/۸ و در اراضی تحت کشت پسته ۴/۶ برابر بیشتر از خاک‌های اراضی کویری (۰/۲۵ کیلوگرم در مترمربع) بود. درحالی‌که اکثر تحقیقات نشان می‌دهد کشت و کار در اراضی دست نخورده (مرتع و جنگل) موجب کاهش معنی‌دار پتانسیل ترسیب کربن خاک می شود (Alidoust *et al.* 2018)، اما نتایج این تحقیق نشان داد که در مناطق خشک با زیر کشت رفتن اراضی کویری، با آبیاری مناسب و مدیریت مصرف کودهای شیمیایی بدلیل افزایش پوشش گیاهی، تراکم کربن آلی افزایش یافته و پتانسیل ترسیب کربن خاک بالا می‌رود. در مطالعه Shang *et al.* (2019)، میزان ترسیب کربن آلی خاک در زمین‌های زیر کشت در مقایسه با اراضی بیابانی طبیعی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. آنها علت این افزایش را روش‌های آبیاری می‌دانند که باعث افزایش رشد میکروارگانیسم‌ها و گیاهان شده است. نتایج یافته‌های Li *et al.* (2009) نیز نشان داد که ۱۰ سال کشاورزی در اراضی کویری باعث افزایش معنی‌دار ذخایر کربن آلی خاک در زمین‌های زیر کشت در مقایسه با اراضی بیابانی طبیعی شده است. اخیرا نتایج Wu *et al.* (2021) نیز نشان داد پس از کاربرد اصلاح کننده‌های آلی (بقایای گیاهی)، ترسیب کربن آلی خاک بهبود یافت است.



شکل ۱– مقایسه ترسیب کربن آلی خاک در اراضی کویری و کشاورزی

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که زیـر کشت بردن اراضی کویری که دارای شوری بالایی هستند، موجب بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خـاک شده است. در اراضی کویری، به علـت نامـساعدبـودن شـرایط خاک جهت تولید زیتوده، ذخایر کربن آلی خاک ناچیز بوده و کشت و کار پایدار در این اراضی باعث افزایش کربن آلی و ترسیب آن در خاک شده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه شهرکرد بخاطر حمایت مالی از این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌کنند.

فهرست منابع

جعفری، س.، گلچین، ا. طولابی‌فرد، ا. ۱۳۹۵. تاثیر تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات اجزاء فیزیکی ماده آلی، میزان رس قابل انتشار و پایداری خاکدانه‌ها در برخی از اراضی استان خوزستان. ۴۷ (۳). ۶۰۳-۵۹۳.

مرادی، ف.، قربانی، ز.، میساقی، پ.، خلیلی‌مقدم، ب. (۱۳۹۴). عوامل تأثیرگذار بر مقاومت فروروی در سه کاربری بایر، زراعی و نیشکر در برخی از خاکهای خوزستان. پژوهشهای خاک (علوم خاک و آب) ۲۹ (۲). ۱۷۴-۱۶۳.

Alidoust, E., Afyuni, M., Hajabbasi, M.A., Mosaddeghi, M.R. (2018). Soil carbon sequestration potential as affected by soil physical and climatic factors under different landuses in a semiarid region. Catena 171, 62–71.

Baruah T.C., Barthakur H.P. (1997). A Textbook of Soil Analysis. Vikas Publishing House Pvt. Ltd, New Delhi. 282 p.

Li, X.G., Li, Y.K., Li, F.M., Ma, Q., Zhang, P.L., Yin, P. (2009). Changes in soil organic carbon, nutrients and aggregation after conversion of native desert soil into irrigated arable land. *Soil and Tillage Research* 104, 263–269.

Post, W.M., Kwon, K.C. (2000). Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. *Global change biology* 6, 317– 327.

Raiesi, F. (2007). The conversion of overgrazed pastures to almond orchards and alfalfa cropping systems may favor microbial indicators of soil quality in Central Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 121, 309–318.

Salehi, A., Fallah, S., Sourki, A.A. (2017). Organic and inorganic fertilizer effect on soil CO2 flux, microbial biomass, and growth of Nigella sativa L. *International Agrophysics* 31 ,103–116.

Shang, Z.H., Cao, J.J., Degen, A.A., Zhang, D.W., Long, R.J. (2019). A four year study in a desert land area on the effect of irrigated, cultivated land and abandoned cropland on soil biological, chemical and physical properties. Catena 175, 1–8.

Su, Y.Z., Yang, R. Liu, W.J. Wang, X.F. (2010). Evolution of soil structure and fertility after conversion of native sandy desert soil to irrigated cropland in arid region China. *Soil Research* 175, 246–254.

Wu, L., Zhang, S., Ma, R., Chen, M., Wei, W., Ding, X., (2021). Carbon sequestration under different organic amendments in saline–alkaline Soils. *Catena* 196: 104882.

Soil organic carbon sequestration in desert and croplands of central Iran

Jaber Fallahzade[*1], Ahmad Karimi[1], Mehdi Naderi[1] and Hossein Shirani[2]

1–Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
2– Department of Soil Science, College of Agriculture, Vali–e–Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
**Corresponding authors: Jaber Fallahzade, Email: jaber84023@yahoo.com*

Abstract

The aim of this study was to compare the soil organic carbon sequestration in desert and agricultural lands in Abarkooh region (Yazd province). For this purpose, three land uses were assessed: natural desert and two cultivated lands (wheat and pistachio). At the time of soil sampling, the bulk density was performed with a steel cylinder. Then, the composite soil samples (0–20 cm depth) from ten farms on the adjacent of desert lands were taken for laboratory analyses. The results showed that soil electrical conductivity and bulk density decreased with cultivation, however, soil organic carbon content in the croplands was greater than that of desert. Soil soil organic carbon in the desert soils (0.85 g kg^{-1}) was significantly lower than those on wheat (3.27 g kg^{-1}) and pistachio (4.25 g kg^{-1}) soils. While the lowest of soil organic carbon sequestration (0.25 kg m^{-2}) was observed in desert lands, the soil organic carbon sequestration under pistachio cultivation (1.15 kg.m^{-2}) was significantly higher than soils under wheat cultivation (0.94 kg m^{-2}). Since a vast area of central Iran is desert lands with low organic carbon sinks, the sustainable cultivation operations could help increasing soil organic carbon sequestration.

Keywords: carbon sequestration, desert fields, pistachio, wheat

رابطه بین ماده آلی و میزان آهک در خاکهای فضای سبز شهری

مطالعه موردی منطقه شاهین شهر

حمید رضا متین فر[1]، شیما معصومی[2]

استاد گروه علوم خاک دانشگاه کشاورزی دانشگاه لرستان۱(matinfar44@gmail.com)

دانشجوی دوره دکتری تخصصی مدیریت منابع خاک دانشگاه لرستان۲(tanin_ssss@yahoo.com)

چکیده:

این مطالعه به‌منظور ارزیابی عوامل خاکی مؤثر بر میزان ذخیره کربن آلی خاک و توسعه مدلی برای تخمین توان ذخیره کربن با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در فضای سبز شهری شهر شاهین شهر انجام شد. پس از برداشت تعداد ۷۰ نمونه خاک از مکان‌های مختلف فضای سبز، اندازه‌گیری میزان هدایت الکتریکی خاک و ذخیره کربن آلی آن صورت پذیرفت. برای ارائه مدل از روش رگرسیون خطی استفاده شد. سپس با استفاده از معادله استخراج شده از مدل، و میزان هدایت الکتریکی اندازه گیری شده میزان ماده آلی براورد و با میزان اندازه گیری شده مقایسه و معادله آن ارائه شد. نتایج تحلیل میسر نشان داد میزان هدایت الکتریکی دارای دارای رابطه مناسبی با میزان کربن آلی خاک هستند.

کلمات کلیدی:مدلسازی، شوری خاک، فضای سبز شهری، ماده آلی خاک

مقدمه:

کربن خاک، شاخص مناسبی از کیفیت خاک است که به تغییرات عملیات مدیریتی حساس می باشد، لذا برآورد مکانی و تغییرات کربن آلی در اکوسیستم های مختلف حائز اهمیت است. خاک، منبع زمینی مهم و با ارزش در ذخیره کربن آلی است که با نگهداشت در حدود ۱۵۰۰ میلیارد تن کربن نقش قابل توجهی در فرآیند چرخه جهانی کربن اتمسفردارد .از طرفی دیگر کربن آلی خاک یکی از پارامترهای مهم تعیین کننده میزان حاصلخیزی خاک، قابلیت تولید و شاخص مهمی در نشاندادن کیفیت خاکهای مناطق خشک و نیمه خشک است که در آن مقادیر ورودی کربن ناچیز است. آگاهی و دانش در مورد توزیع منابع کربن و تغییرات آن برای تشخیص مکانیسمهای کنترلی چرخه جهانی کربن و پایداری میزان کربن فعلی در مدیریت ایناراضی ارزشمند می باشد . علاوه بر این داشتن چنین دانش و اطلاعاتی برای برنامهریزی سیاستهای مختلف تغییر اقلیمی نیز بسیار مهم و سرنوشت ساز است.کربن آلی خاک یکی از معیارهای کلیدی در ارزیابی کیفیت خاک است (ونگ و همکاران ۲۰۱۰)که تحت تأثیر شرایط اقلیمی، نوع بافت،

ویژگیهای شیمیایی و کانیشناسی خاک قرار میگیرد (زین و همکاران ۲۰۰۷). ماده آلی خاک شاخصی از پایداری خاک بوده و نقش مهمی در تولید پایدار ایفا میکند و از تنزل و انهدام خاک جلوگیری میکند (لمینی ۲۰۰۴). ویژگیهای شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی ماده آلی بسیاری از عملکردهای خاک و همچنین ذخیره کربن در خاک را تحت تأثیر قرار میدهد. بههمین دلیل مطالعه تغییرات آنها در موقعیت- های مختلف شیب زمین بسیار حائز اهمیت است (چاپمن و همکاران ۲۰۰۳). طی تحقیقی در مراتع نیمه خشک مدیترانه ای درکشور تونس به بررسی ارتباط ویژگیهای خاک با میزان کربن آلی خاک دو نوع خاک رسی و خاک شنی پرداخته شد. یافته های این مطالعه بیانگر آن است که میزان کربن آلی ذخیرهای خاک با پارامترهای فیزیکی و شیمیایی نظیر هدایت الکتریکی، وزن مخصوص ظاهری، میزان شن، سیلت، رس واسیدیته در ارتباط است و تفاوت در نوع خاک میتواند تفاوت میزان و نحوه این ویژگیها را توجیه کند. کربن خاک که شامل کربن آلی و کربن غیر آلی می‌باشد، به دلیل تأثیر مهم آن بر گرمایش جهانی مورد توجه زیادی قرار گرفته است. علی‌رغم اهمیت کربن موجود در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک در چرخه جهانی کربن، تحقیق در مورد ذخایر کربن در مقیاس خاکرخ در خاک‌های این مناطق به اندازه کافی انجام نشده است. اگر چه ماده آلی بخش کمی از وزن خاک را تشکیل می دهد ولی تاثیر زیادی بر ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد و از شاخص های مهم کیفیت و توان تولید خاک به شمار می رود. تعیین مقدار ماده آلی خاک در مطالعات حاصل خیزی خاک و آلودگی محیط خاک، ضروری است. روش اکسایش تر واکلی- بلک یکی از روش های متداول تعیین ماده آلی است. این روش علی رغم دقت و تبعیت از استانداردها، پرهزینه و با مصرف ترکیب کرومیوم دار انجام می شود از آنجا که اندازه گیری ماده الی در آزمایشگاه کار آسانی نیست، در صورتی که ارتباط بین ماده آلی و سایر پارامترهای مرتبط با آن مشخص شود می توان میزان ماده آلی را تخمین زد. متأسفانه فرآیند جمع آوری نمونه و آنالیز وقتگیر وهزینه بر است که در این راستا محققان در حال تحقیق ویافتن روشهای جایگزین ارزان برای تخمین میزان کربن نسبت به تعیین مستقیم آن برای نمونه خاک می باشند.هدف از این مطالعه، تعیین میزان ماده آلی و تخمین میزان کربن آلی و یافتن روابط علی معنی دار با پارامتر شوری با استفاده از روشهای مختلف تحلیل مسیر و رگرسیون در فضای بز شهر شاهین شهر می باشد.

مواد و روش ها:

فضای سبز شاهین شهر در سطح شهر پراکنده می باشد طول جغرافیایی محدوده مورد مطالعه از ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه و ۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه و عرض جغرافیایی آن از ۳۲ درجه . ۵۰ دقیقه و ۰ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۵۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه می‌باشد. این اراضی در ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متری از سطح دریا واقع بوده و تقریبا و بدون شیبو مسطح است. در محدوده پارک های شهر گیاهان غالب علاوه بر چمن و باغچه های گل فصل درختانی نظیر کاج، سرو، نارون، توت، بید وسنجد تلخه می باشد. اراضی شاهین شهر بر روی دشت آبرفتی واقع شده و شامل رسوبات کواترنری متعلق به دوران چهارم زمین شناسی اعم از رسوبات تازه ،تراس های جدید و تراس های قدیمی می شود. منشا خاک های این شهر از کوه های غرب آن مثل سلاح، کوه خان ،کوه محمود آباد، کوه سفید و کوه های واقع در

شمال شهر مثل کوه جعفر آباد و کوه گره می باشد .این کوه ها مربوط به دوران دوم زمین شناسی دوره کرتاسه پایینی و دوره ترياس بالايي شامل وسازنده نايبند می باشد .منبع آبی تامین کننده فضای سبز شاهین شهر پساب فاضلاب شهری است. در کاشت گونه های فضای سبز این شهر به سازگاری با اقلیم و شرایط اب و خاک و آلودگی وافر شهر توجه ویژه می گردد. سایر مولفه های زیبا شناسی در این شهر مربوط به حوزه خدمات شهری و واحد زیبا سازی است. مطابق آمار ایستگاه هوا شناسی منطقه، میانگین دمای سالیانه هوا در منطقه ۶/ ۱۵ درجه سانتی گراد است . رژیم حرارتی خاک های منطقه ترمیک می باشد (کلید طبقه بندی خاک۱۱، ۲۰۰۳). رژیم رطوبتی خاک باتوجه به رطوبت بخش کنترل رطوبتی در طول سال تعیین می شود . رژیم رطوبتی خاک اریدک است (کلید طبقه بندی خاک، ۲۰۱۰). میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۲/ ۱۰۷ میلی متر و ماه های پر باران سال آذر، دی ،بهمن، اسفند و فروردین بوده ،حداکثر دمای روزانه در ماه تیر ماه بوده و برابر ۵/ ۴۰ درجه سانتی گراد و حداقل دمای روزانه در دی ماه واقع و برابر ۱۱/۳ – درجه سانتی گراد می باشد . تبخیر و تعرق سالیانه ۱۷۵۹/۸۲میلی متر می باشد . اقلیم منطقه براساس طبقه بندی دومارتن خشک و از نظر آمبرژه خشک سرد می‌باشد.(کلید طبقه بندی۲۰۰۳). در این تحقیق تعداد ۷۰ نمونه خاک از عمق ۰-۵۰ سانتی متری سطح خاک برداشته شد و فاکتورهای نظیر درصد کربنات کلسیم، میزان ماده آلی، بافت خاک،میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی اندازه گیری شد. داده ها پس از تخمین آماری در برنامه R مدلسازی شد. از مدل بدست آمده میزان ماده آلی با استفاده از میزان هدایت الکتریکی اندازه گیری شده براورد شد و نمودار میزان ماده الی براورد شده و اندازه گیری شده رسم و معادله آن با ضریب تبیین محاسبه گردید.

نتایج و بحث:

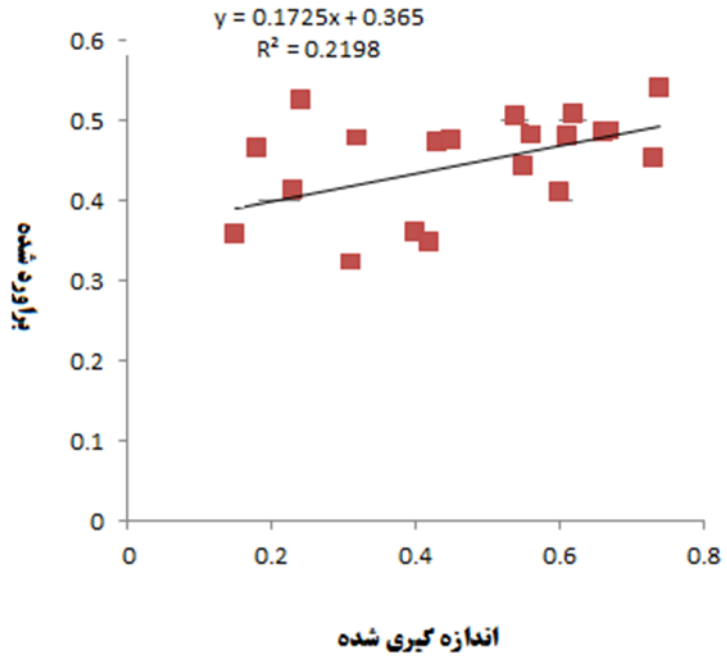
نتایج مدلسازی و اعتبار سنجی به روش رگرسیون خطی در جدول نشان داده شده است. در این جدول، ۷۰ درصد داده های برای استخراج (آموزش) مدل و سی درصد برای اعتبارسنجی (آزمون) مدل استفاده شده اند. نتایج نشان داد که بین ماده آلی و هدایت الکتریکی رابطه معنی داری است.

جدول ۱- خلاصه آنالیز داده های آماری

روش	متغیر وابسته	R^2	MSE	RMSE	مدل
رگرسیون خطی	هدایت الکتریکی	0.81	0.025	0.161	$OC=2.655+(-1.53*EC_{(ds/m)})$

[1]-Key to Soil Toxonomy

از رابطه به دست آمده مقادیر ماده آلی با استفاده از هدایت الکتریکی برآورد شد با مقدار واقعی مقایسه شد شکل ۱ بیانگر ماده آلی برآورد شده و اندازه گیری شده می باشد. همچنین شکل رابطه بین آن ها و میزان ضریب تبیین را نشان می‌دهد.



شکل ۱- رابطه بین میزان ماده آلی انازه گیری شده و میزان ماده آلی براورد شده

نتیجه گیری:

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد ارتباط معنی داری بین میزان ماده آلی خاک و هدایت الکتریکی وجود دارد. اندازه گیری میزان هدایت الکتریکی در آزمایشگاه نسبتا معمول و آسان می باشد، می توان با استفاده از میزان هدایت الکتریکی اندازه گیری شده به برآورد میزان ماده الی در خاکهای منطقه مورد مطالعه اقدام نمود. تعیین مقدار ماده آلی خاک در مطالعات حاصل خیزی خاک و آلودگی محیط خاک، ضروری است. روش اکسایش تر واکلی- بلک یکی از روش های متداول تعیین ماده آلی است. این روش علی رغم دقت و تبعیت از استانداردها، پرهزینه و با مصرف ترکیب کرومیوم دار انجام می شود از آنجا که اندازه گیری ماده الی در آزمایشگاه کار آسانی نیست، در صورتی که ارتباط بین ماده آلی و سایر پارامترهای مرتبط با آن مشخص شود می توان میزان ماده آلی را تخمین زد.

فهرست منابع:

Abou El-Magd, M.M., Zaki, M.F., and Abou-Hussein, S.D. 2008. Effect oforganic manure and different level of saline irrigation water on growth, greenyield and chemical content of Sweet Fennel. Aust. J. Bas. App. Sci. 2: 1.90-98.

Abril, A., Baleani, D., Casado-Murillo, N., and Noe, L. 2007. Effect of wheatcrop fertilization on nitrogen dynamics and balance in the Humid Pampas,

Argentina. Agric. Eco. Environ. 119: 171-176.Ahloowalia, B.S., Meluzynski, M., and Nichterlein, K. 2004. Global impact ofmutation-derived varieties. Euphytica. 135: 187–204.

Bar, Y., Apelbaum, A., Kafkafi, U., and Groren, R. 1997. Relationship betweenchloride and nitrate and its effect on growth and mineral composition of

avocado and citrus plants. J. Plant Nut. 20: 715-731.Cordovil, C.M., Cabral, F., and Coutinho, J. 2007. Potential mineralization ofnitrogen from wastes to ryegrass and wheat crops. Biores. Tech. 98: 3265-3268.

Feigin, A. 1985. Fertilization management of crops irrigaged with saline water.Plant. Soil. 89: 285-299.

Frankenberger, W.T., and Binghan, F.T. 1982. Influence of salinity on enzymeactivities. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 1173-1177.

Graham, Ph., and Vanca, C.P. 2000. Nitrogen fixation in perspective: anoverview of research and extension needs. Field Crops Res. 65: 93-106.

Koocheki, A., Nakhforosh, A.R., and Zarif Ketabi, H. 1997. Organic farming.McClung, C., and Frankenberger, W.T. 1987. Nitrogen mineralization rates in

saline versus salt-amended soils. Plant. Soil. 104: 13-21.Munns, R., Russain, S., Rivelli, A.R., James, R.A., Condon, A.G., Lindsay, M.

Talgre, L., Lauringson, E., Roostalu, H., and Astover, A. 2009. The effects ofgreen manures on yields and yield quality of spring wheat. Agron. Res. 7:1.125-132.

Thonnissen, C., Midmore, D.J., Ladha, J.K., Olk, D.C., and Schmidhalter, U.2000. Legume decomposition and nitrogen release when applied as greenmanure to tropical vegetable production system. Agron. J. 92: 253-260.

رابطه بین ماده آلی و چگالی ظاهری در خاکهای فضای سبز شهری

مطالعه موردی منطقه شاهین شهر

حمید رضا متین فر[۱]، شیما معصومی[۲]

استاد گروه علوم خاک دانشگاده کشاورزی دانشگاه لرستان۱(matinfar44@gmail.com)

دانشجوی دوره دکتری تخصصی مدیریت منابع خاک دانشگاه لرستان۲(tanin_ssss@yahoo.com)

چکیده:

این مطالعه به‌منظور ارزیابی عوامل خاکی مؤثر بر میزان ذخیره کربن آلی خاک و توسعه مدلی برای تخمین توان ذخیره کربن با استفاده از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در فضای سبز شهری شهر شاهین شهر انجام شد. پس از برداشت تعداد ۷۰ نمونه خاک از مکان‌های مختلف فضای سبز، اندازه‌گیری میزان چگالی ظاهری خاک و ذخیره کربن آلی آن صورت پذیرفت. برای ارائه مدل از روش رگرسیون خطی استفاده شد. سپس با استفاده از معادله استخراج شده از مدل، و میزان چگالی ظاهری اندازه گیری شده میزان ماده آلی براورد و با میزان اندازه گیری شده مقایسه و معادله آن ارائه شد. نتایج تحلیل میسر نشان داد میزان چگالی ظاهری دارای دارای رابطه مناسبی با میزان کربن آلی خاک هستند.

کلمات کلیدی:

مدلسازی، ماده آلی، فضای سبز شهری، چگالی ظاهری خاک

مقدمه:

افزودن ماده آلی به خاک یکی از روشهای پیشگیری از فشردگی خاک می باشد. افزودن مواد آلی مانند کودهای دامی، ممکن است اثرات منفی ناشی از تراکم خاک بر رشد گیاهان را کاهش دهد زیرا این مواد بر ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیرات مثبت دارند. بهطورکلی افزودن مواد آلی با مقدار نیتروژن زیاد مانند کودهای دامی به خاک، اثرات منفی تراکم بر فراهمی نیتروژن را کاهش میدهد. مصدقی و همکاران گزارش کردند خاکهایی که با ماده آلی زیاد دارند در برابر فشردگی مقاومت بیشتری از خود نشان میدهند و افزودن مواد آلی اصلاح کننده به خاک نیز

سبب افزایش مقاومت بیشتر خاک به فشردگی می شود . در مطالعات دیگری گزارش شده که افزودن مکرر کود دامی یا سایر مواد آلی و تجمع آنها در خاک طی سالیان متوالی می تواند تأثیرات مثبتی بر بهبود تراکم و ویژگیهای فیزیکی خاک داشته باشد. تحقیقات محدودی در ارتباط با رابطه بین ماده آلی خاک و ارتباط آن با میزان چگالی ظاهری انجام شده است. اما آنچه از جمع آوری اطلاعات پیداست آنکه در خاکهایی با مقدار ماده آلی مطلوب، فشردگی و به تبع آن میزان چگالی ظاهری کمتر خواهد بود. جرم مخصوص ظاهری خاک، بستگی به ساختار خاک و چگالی ذرات خاک (شن، رس، سیلت) دارد. بسیاری از سنگها دارای چگالی ظاهری ۲/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب به صورت ایدهآل میباشند. یک خاک با بافت متوسط، با حدود ۵۰ درصد منافذ، دارای حدود ۱/۳۳ گرم بر سانتیمتر مکعب جرم مخصوص ظاهری است. جرم مخصوص ظاهریمعمولاً با افزایش عمق خاک افزایش مییابد تا زمانی که سطح زیرین دارای کمبود مواد آلی، تراکم و مقاومت به نفوذ قابل مقایسهای با سطح خاک باشد، در این صورت فضای منافذ خاک کاهش یافته است (۱۹۹۶آرشاد و همکاران). جرم مخصوص ظاهری خاک یکی از مهمترین خواص فیزیکی خاک است که تحت تأثیر سیستم خاکورزی قرار دارد جرم مخصوص ظاهری با نوع محصول کشاورزی و مدیریت مزرعه تغییر میکند و متأثر از پوشش خاک، مواد آلی، ساختار و تخلخل خاک است. هرگونه عملیات برای بهبود ساختار خاک با کاهش جرم مخصوص ظاهری همراه خواهد بود، در حالی که در بعضی مواقع، ممکن است آنی و زودگذر باشند. هر سیستم خاکورزی که سبب پوشش خاک توسط بقایا گردد (خاکورزی حفاظتی) باعث افزایش مواد آلی خاک میگردد که این به نوبهی خود سبب کاهش جرم مخصوص (Arshad et al., 1996).می گردد خاک ظاهری جرم مخصوص ظاهری خاکهای شخم خورده،غالباً کمتر از آن شخم نخورده یا کم شخم خورده است همچنین گزارش شده که جرم مخصوص ظاهری خاک در سطح خاک شخم خورده کمتر از عمق خاک است(Altikat and Celik, 2010). البته در این رابطه نباید نوع و نحوه کاربرد وسایل بهکار رفته در خاکورزی را از نظر دور داشت. زیرا تردد ماشینها و ادوات سنگین موجب ایجاد یک لایه سخت در زیر قسمت شخم خورده میشود که با فشرده ساختن خاک، موجب افزایش جرم مخصوص ظاهری میگردد. نتیجه این عمل کاهش نفوذپذیری خاک، کم شدن توسعه ریشههای گیاهی و کاهش عملکرد محصول می باشد. اختلاف موجود در خواص فیزیکی خاک ناشی از روشهای خاکورزی،عموماً ناپایدار بوده و خلل و فرج ایجاد شده در اثر خاکورزی پس از بارندگی یا آبیاری از بین میرود.(کرول و همکاران ۲۰۱۳). در تحقیق انجام گرفته روی اثر خاکورزی بر خواص فیزیکی خاک به این نتیجه رسیدند که افزایش جرم مخصوص ظاهری و کاهش خلل و فرج در اثر استفاده مکرر عملیات خاکورزی در عمق زیاد حادث میشود و جرم مخصوص ظاهری با افزایش عمق خاک، افزایش مییابد. در تحقیقی دیگر روی اثر خاکورزی بر خواص فیزیکی خاک به این نتیجه رسیدند که در خاک شخم خورده، سطح خاک نرمتر از خاک زیرین می باشد(آسون بیتن و همکاران ۲۰۰۵) تخلخل، پایداری و ساختمان خاک، تحت تأثیر فشردگی خاک قرار می گیرد(مهاجر و آسودر ۲۰۱۱). خاکهای دارای فشردگی زیاد عموما داراری مقدار ماده الی کمی هستند از این رو فرضیه بررسی رابطه بین میزان ماده آلی خاک و میزان چگالی ظاهری می تواند تا حدودی قابل بررسی های بیشتر باشد.

مواد و روش ها:

فضای سبز شاهین شهر در سطح شهر پراکنده می باشد طول جغرافیایی محدوده مورد مطالعه از ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه و ۰ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه و عرض جغرافیایی آن از ۳۲ درجه . ۵۰ دقیقه و ۰ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۵۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه می‌باشد. این اراضی در ارتفاع حدود ۱۶۰۰ متری از سطح دریا واقع بوده و تقریبا و بدون شیبو مسطح است. در محدوده پارک های شهر گیاهان غالب علاوه بر چمن و باغچه های گل فصل درختانی نظیر کاج، سرو، نارون، توت، بید وسنجد تلخه می باشد. اراضی شاهین شهر بر روی دشت آبرفتی واقع شده و شامل رسوبات کواترنری متعلق به دوران چهارم زمین شناسی اعم از رسوبات تازه ،تراس های جدید و تراس های قدیمی می شود. منشا خاک های این شهر از کوه های غرب آن مثل سلاح، کوه خان ،کوه محمود آباد، کوه سفید و کوه های واقع در شمال شهر مثل کوه جعفر آباد و کوه گره می باشد .این کوه ها مربوط به دوران دوم زمین شناسی دوره کرتاسه پایینی و دوره تریاس بالایی شامل وسازنده نایبند می باشد .منبع آبی تامین کننده فضای سبز شاهین شهر پساب فاضلاب شهری است. در کاشت گونه های فضای سبز این شهر به سازگاری با اقلیم و شرایط اب و خاک و آلودگی وافر شهر توجه ویژه می گردد. سایر مولفه های زیبا شناسی در این شهر مربوط به حوزه خدمات شهری و واحد زیبا سازی است. مطابق آمار ایستگاه هوا شناسی منطقه، میانگین دمای سالیانه هوا در منطقه ۶/ ۱۵ درجه سانتی گراد است . رژیم حرارتی خاک های منطقه ترمیک می باشد (کلید طبقه بندی خاک۱۱، ۲۰۰۳). رژیم رطوبتی خاک باتوجه به رطوبت بخش کنترل رطوبتی در طول سال تعیین می شود . رژیم رطوبتی خاک اریدک است (کلید طبقه بندی خاک، ۲۰۱۰). میانگین بارندگی سالیانه منطقه ۲/ ۱۰۷ میلی متر و ماه های پر باران سال آذر، دی ،بهمن، اسفند و فروردین بوده ،حداکثر دمای روزانه در ماه تیر ماه بوده و برابر ۵/ ۴۰ درجه سانتی گراد و حداقل دمای روزانه در دی ماه واقع و برابر ۱۱/۳ – درجه سانتی گراد می باشد . تبخیر و تعرق سالیانه ۱۷۵۹/۸۲میلی متر می باشد . اقلیم منطقه براساس طبقه بندی دومارتن خشک و از نظر آمبرژه خشک سرد می‌باشد.(کلید طبقه بندی۲۰۰۳). در این تحقیق تعداد ۷۰ نمونه خاک از عمق ۰-۵۰ سانتی متری سطح خاک برداشته شد و فاکتورهای نظیر درصد کربنات کلسیم، میزان ماده آلی، بافت خاک،میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی اندازه گیری شد. داده ها پس از تخمین آماری در برنامه R مدلسازی شد. از مدل بدست آمده میزان ماده آلی با استفاده از میزان چگالی ظاهری اندازه گیری شده براورد شد و نمودار میزان ماده الی براورد شده و اندازه گیری شده رسم و معادله آن با ضریب تبیین محاسبه گردید.

[1]-Key to Soil Toxonomy

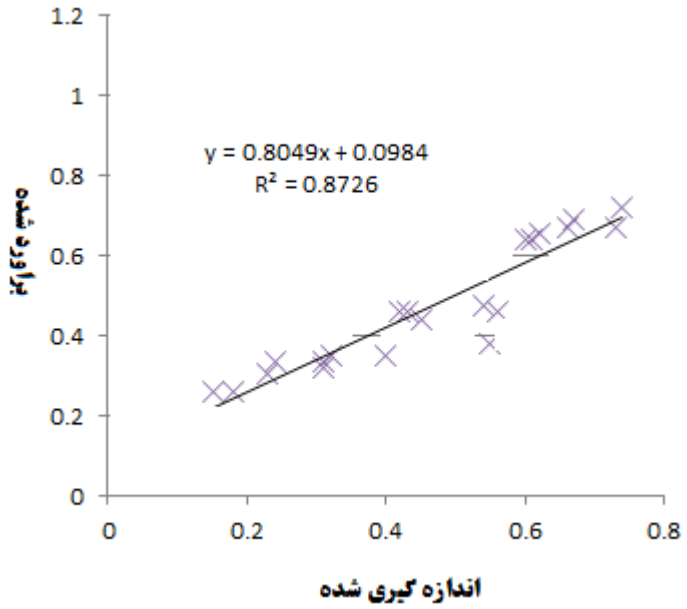
نتایج و بحث:

نتایج مدلسازی و اعتبار سنجی بـه روش رگرسـیون خطـی در جـدول نشان داده شـده اسـت. در این جدول، ۷۰ درصد داده هـای بـرای اسـتخراج (آمـوزش) مـدل و سی درصد بـرای اعتبارسـنجی (آزمـون) مـدل استفاده شده اند. نتایج نشان داد که بین ماده آلی و چگالی ظاهری رابطه معنی داری است.

جدول ۱- خلاصه آنالیز داده های آماری

مدل	RMSE	MSE	R^2	متغیر وابسته	روش
oc=2.655+(-1.536*چگالی ظاهری)	0.0711	0.005	0.837	چگالی ظاهری	رگرسیون خطی

از رابطه به دست آمده مقادیر ماده آلی با استفاده از چگالی ظاهری برآورد شد با مقدار واقعی مقایسه شد شکل ۱ بیانگر ماده آلی برآورد شده و اندازه گیری شده می باشد. همچنین شکل رابطه بین آن ها و میزان ضریب تبیین را نشان می‌دهد.



شکل ۱- رابطه بین میزان ماده آلی اندازه گیری شده و میزان ماده آلی براورد شده

نتیجه گیری:

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد ارتباط معنی داری بین میزان ماده آلی خاک و چگالی ظاهری وجود دارد. اندازه گیری میزان چگالی ظاهری در آزمایشگاه نسبتا معمول و آسان می باشد، می توان با استفاده از میزان چگالی ظاهری اندازه گیری شده به برآورد میزان ماده الی در خاکهای منطقه مورد مطالعه اقدام نمود

فهرست منابع:

Abbaspour, Y., A. Khalilian, R. Alimardani, A. Kyhani, and H. Sasati, 2006. Acomparison of energy requirement of uniformdepth and variable depth tillage asaffected by travel speed and soil moisture. Iranian Agricultural Science, 37(4),573-583.

Arshad, M. A., B. Lowery, and B. Grossman, 1996. Methods for Assessing SoilQuality. Soil Science Society of America.

Ahuja, L. R., F. Fiedler, G. H. Dunn, J. G. Benjamin, and A. Garrison, 1998. Changes inSoil Water Retention Curves Due to Tillage and Natural Reconsolidation. Soil

Science Society of America Journal, 62(5), 1228-1233.Alvarenga, R. C., B. Fernandes, and T. C. Silva, 1987. effect of different methods of

soil prepration and maize residue management on bulk density, total porosityand pore size distribution in arid latosal revise ceres. Agron Journal, 8(34), 569-577.

Boydas, M. G., and N. Turgut, 2007. Effect of Tillage Implements and OperatingSpeeds on Soil Physical Properties and Wheat Emergence. Turk J Agric For, 31,399-412.

Carter, L. M., and R. F. Colwick, 1971. Evaluation of tillage systems for cottonproduction systems. asae, 14, 11161121.

Cassel, D. K., C. W. Raczkowski, and H. P. Denton, 1995. Tillage Effects on CornProduction and Soil Physical Conditions. Soil Science Society of America,59(5), 1436-1443.

Celik, A., and S. Altikal, 2010. Effects of various strip width and tractor forwardsspeeds in strip tillage on soil physical properties and yield of silageorn, International Journal of Agricultural science. 169-179

Kral, A., J. Lipiel, M. Tursk, and J. Kus, 2013. Effect of organic and convertionalmanagement on physical properties of soil aggregates. International Journal ofAgro-Physics. 27, 15-21.

Lindstrom, M. J., and C. A. Onstad, 1984. Influence of tillage systems on soil physicalparameters and infiltration after planting. Journal of Soil and WaterConservation, 39(2), 149-152.

Mohajer- Mazandarani, F,. and M. A. Asoudar, 2012. Effect of different tillage systemsand pressure wheel on wheat yeild in Izeh city, Khuzestan priviance. Agricultureengineering Institute, 11(1), 1-18

Osunbitan, J. A., D. J.Oyedele and K. O.Adekalu, 2005. Tillage effects on bulk densityhydraulic conductivity and strength of a loam sand soil in southwestern Nigeria.Soil & Tillage Research, 82: 57-64.

Abstract:

This study was conducted to evaluate soil factors affecting soil organic carbon storage and to develop a model for estimating carbon storage capacity using physical and chemical properties of soil in urban green space of Shahinshahr. After harvesting 70 soil samples from different places of green space, the apparent density of soil and organic carbon storage were measured. Linear regression method was used to present the model. Then, using the equation extracted from the model, and the measured apparent density, the amount of organic matter was estimated and compared with the measured amount and its equation was presented. The results of possible analysis showed that the amount of bulk density has a good relationship with the amount of soil organic carbon.

key words:

Modeling, organic matter, urban landscape, soil density

تعیین عوامل موثر در پهنه‌بندی توزیع کربن آلی در اراضی سمیرم اصفهان

کورش شیرانی[۱]، مرتضی خداقلی[۲]، فرزاد پارسادوست[۳]، رستم خلیفه‌زاده[۴]

۱- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، آدرس ایمیل: K_Sh424@yahoo.com

۲- بخش تحقیقات مرتع موسسه جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، آدرس ایمیل: M_Khodagholi@yahoo.com

۳- بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، آدرس ایمیل: Farzadparsa@gmail.com

۴- بخش تحقیقات مرتع موسسه جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، آدررس ایمیل: R_Khalifehzadeh@yahoo.com

چکیده

آگاهی از وضعیت کربن آلی خاک مراتع به منظور کنترل فرسایش و مدیریت حفاظت خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. هدف این پژوهش الویت‌بندی عوامل موثر، مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان کربن آلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، داده‌های رقومی ارتفاعی دقیق سنجنده ALOS و بکارگیری تلفیقی روش تجزیه عاملی و رگرسیون چندمتغیره در حوزه آبخیز سمیرم واقع در جنوب استان اصفهان می‌باشد. بدین‌منظور پس از تعیین واحدهای همگن و برداشت منظم تصادفی و مرکب ۲۱۸ نمونه خاک از این واحدها، میزان کربن آلی، درصدهای شن، سیلت و رس در آزمایشگاه تعیین گردیدند. توسعه روش تلفیقی مذکور با استفاده از ۱۵ متغیر طیفی و غیرطیفی و دودسته داده آموزشی (۷۰درصد) و آزمایشی (۳۰ درصد) نمونه‌های خاک به ترتیب به منظور اجرا و اعتبارسنجی مدل انجام شد. سپس الویت‌بندی عوامل، تعیین مولفه‌های اصلی و نقشه پهنه‌بندی مکانی میزان کربن آلی خاک تهیه گردید. درنهایت با استفاده از معیارهای اندازه‌گیری خطا اقدام به اعتبارسنجی و ارزیابی دقت مدل در مرحله آموزشی و آزمایشی گردید. نتایج نشان داد پانزده متغیر مستقل در قالب شش مولفه اصلی به ترتیب بنام‌های پوشش گیاهی، اندازه ذرات خاک، بازتابش سطحی، شکل سطح زمین، ذخیره رطوبتی و ویژگی شیمیایی بیش‌ترین سهم را در ذخیره کربن آلی خاک دارد و با توجه به معیارهای خطا و ضرایب همبستگی، مرحله اجرای مدل نسبت به پیش‌بینی با خطای کمتر، کارآمدی بیش‌تر، تغییرات بالاتری از کربن آلی در خاک را برآورد می‌نماید. همچنین طبقات میزان درصد کربن آلی خاک ۰,۷۰-۰,۸۰ و ۱,۲۰-۲,۳۵ به‌ترتیب با مساحت ۲۴ و ۶ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین رخنمون سطح خاک‌های منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند.

واژگان کلیدی: تحلیل عاملی، کربن آلی، رگرسیون چندمتغیره، مدل‌سازی

مقدمه

امروزه با کشف کارکردهای مختلف کربن آلی در بوم سامانه‌های خشکی در اراضی مرتعی بجای کنترل فرسایش خاک، از مدیریت ماده آلی خاک به منظور برنامه‌های مدیریت حفاظت خاک استفاده می‌گردد. از آنجایی که وضعیت کیفی مراتع مستقیماً به حفظ کیفیت و کمیت خاک اراضی مرتعی و مرهون مدیریت ذخائر کربنی در خاک می‌باشد، لذا بدین منظور اندازه‌گیری، پایش، بررسی عوامل موثر، مدل‌سازی، پیش‌بینی توزیع مکانی و آگاهی از وضعیت کربن آلی خاک مراتع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Li et al., 2018). بررسی عوامل موثر با استفاده از روش‌های نوین مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان ذخائر کربن آلی خاک مراتع با کم‌ترین هزینه در سطح وسیع، با دقت مناسب، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. برای مدیریت، برآورد و مدل‌سازی میزان تغییرات مکانی کربن آلی در خاک از روش‌های بررسی توزیع مکانی بطور قابل اعتمادی استفاده شده است (Bogunovic et al., 2018). تهیه نقشه پهنه‌بندی و بررسی توزیع مکانی خصوصیات خاک بدلیل تغییرات مداوم

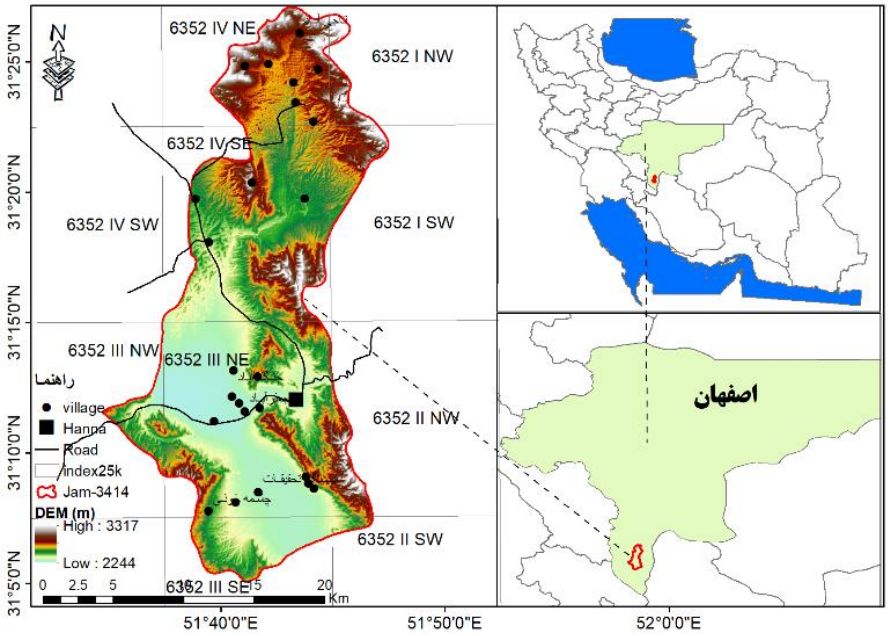
ویژگی‌های آن ناشی از تعامل حیات‌کره، هواکره، آب‌کره و سنگ‌کره مستلزم بررسی‌های زیاد و به هنگام‌سازی می‌باشد (Ma et al., 2017). از طرفی روش‌های سنتی تهیه نقشه ویژگی‌های خاک نیازمند برداشت میدانی گسترده، صرف هزینه زیاد برای تولید داده‌های مکانی مرتبط و در عین حال زمان‌بر با سطح محدود و دقت کم و عموماً کیفی می‌باشند. لذا بکارگیری اطلاعات مکان‌مند محیطی پایه دقیق و سهل‌الوصول در قالب عوامل موثر و متغیرهای ورودی به مدل‌های متعدد پیش‌بینی کربن آلی خاک می‌تواند خلاء اطلاعاتی در راستای تخمین و برآورد آن را مرتفع نماید (Vidana Gamage et al., 2018). متغیرهای محیطی مکان‌مند بطورگسترده‌ای در تهیه نقشه‌های رقومی مواد آلی خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بکارگیری متغیرهای محیطی موجب افزایش دقت و کاهش نمونه‌برداری به منظور تهیه نقشه توزیع مکانی کربن آلی از سه جنبه می‌گردد. اول متغیرهای محیطی مستخرج از نقشه‌های رقومی ارتفاع با هزینه کمی فراهم می‌گردند، دوم متغیرهای محیطی زمین کامل و از نظر مکانی دارای گستردگی هستند و ذاتاً مجموعه داده‌ها و اطلاعات ورودی پر محتوای مناسبی را در مناطق بدون نمونه‌برداری خاک برای بررسی این پدیده فراهم می‌نمایند. سوم و شاید مهم‌ترین جنبه، وجود همبستگی معنی‌دار بین متغیرهای محیطی با کربن آلی خاک می‌باشد (Pei et al., 2010). بکارگیری تکنیک سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات مکانی برای استخراج عوامل موثر و مدل‌سازی میزان کربن آلی در خاک عرصه‌های مرتعی می‌تواند دقت پیش‌بینی را افزایش دهد. مطالعات اولیه سنجش از دوری برای مدل‌سازی کربن آلی خاک نشان دادند که به طورکلی در اثر افزایش کربن آلی خاک، مقدار انعکاس طیف الکترومغناطیس در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه کاهش می‌یابد .با این وجود پژوهش‌های کمتری در زمینه مدل‌سازی کربن آلی خاک با استفاده از این داده‌ها انجام شده است (Croft et al., 2012, Dharumarajan et al., 2017; Gholizadeh et al., 2018, Ramcharan et al., 2018). اهمیت و همبستگی شاخص‌های توپوگرافی با میزان کربن آلی خاک توسط محققین بسیاری بررسی و تعیین شده است (ایوبی و علیزاده، ۱۳۸۵، پیله‌وری و همکاران، ۱۳۸۹، لکزیان و همکاران، ۱۳۹۲، ترکمانی و همکاران، ۱۳۹۸، فتح العلومی و همکاران، ۱۳۹۹، خلیلی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴، خلیفه زاده و همکاران، ۱۳۹۷، Mondal et al., 2017, Schillaci et al., 2017, Forkuor et al., 2017, Wang et al., 2018, Zeraatpisheh, et al., 2019, Pahlavan-Rad et al., 2018, Zhou et al., 2019, Wang et al., 2020). تاکنون روش‌های متعددی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی کربن آلی خاک با استفاده از داده‌های محدود زمینی بکار گرفته شده است. در ابتدا روش‌های زمین آمار از جمله روش‌هایی است که در این زمینه استفاده شده است. اما بدلیل توزیع ناهمگن ویژگی‌های خاک و لزوم داده‌های نمونه‌برداری زمینی بسیار زیاد، از کارآیی و دقت خوبی برخوردار نمی‌باشند. در سال‌های اخیر رویکرد محققین با توجه به دسترسی به داده‌های سنجش از دوری ماهواره‌ای و داده‌های رقومی ارتفاعی (DEM) با وضوح مکانی و قائم مناسب به سمت نقشه‌برداری رقومی ویژگی‌های خاک می‌باشد. برای کمی‌سازی همبستگی و ارتباط بین متغیرهای مستقل و ویژگی‌های خاک از روش‌های مختلف مانند مدل‌های زمین آمار، یادگیری ماشین بردار، ماشین بردار پشتیبان، درخت تصمیم، جنگل تصادفی، رگرسیون چندمتغیره خطی گام به گام و حداقل مربعات جزیی، رگرسیون وزنی جغرافیایی، درخت رگرسیونی، تحلیل عاملی، تحلیل مولفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌بندی، بوسینگ گرادیان تصادفی، کوبیست، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک استفاده شده است (پیله‌ور شهری و همکاران، ۱۳۸۹ ، بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲، کاوه و همکاران، ۱۳۹۳، لکزیان و همکاران، ۱۳۹۲، واحدی و همکاران، ۱۳۹۳، غلامعلی‌زاده آهنگر و همکاران، ۱۳۹۴، خلیلی مقدم و همکاران، ۱۳۹۴، خیامیم و خادمی، ۱۳۹۴، قربانی و داوری، ۱۳۹۴، خلیفه زاده و همکاران، ۱۳۹۷، ترکمانی و همکاران، ۱۳۹۸، متین فر و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۳۹۹، فتح العلومی و همکاران، ۱۳۹۹، Forkuor et al., 2017, Pahlavan-Rad et al., 2018, Wang et al., 2020, Zeraatpisheh, et al., 2018). لذا با توجه به مطالب اشاره شده هدف این پژوهش الویت‌بندی عوامل موثر و مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان کربن آلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، داده‌های رقومی ارتفاعی دقیق سنجنده ALOS و بکارگیری تلفیقی روش تجزیه عاملی و رگرسیون چندمتغیره می‌باشد.

از جنبه‌های نوی این پژوهش اولاً بکارگیری داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به منظور تولید عوامل موثر تاثیرگذار بر میزان توزیع کربن آلی، دوماً بکارگیری دامنه وسیعی از عوامل ژئومورفومتریک مستخرج از داده‌های ارتقاعی رقومی ALOS با دقت مناسب به منظور بکارگیری عوامل موثر (متغیرهای مستقل) و ثالثاً مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان کربن آلی بر اساس روش تلفیقی تجزیه عاملی و رگرسیون چند متغیره می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۴۲۰ کیلومتر مربع مابین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه و ۵۱ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵ دقیقه و ۳۱ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی منطبق با حوزه آبخیز حنا و کد جاماب ۴-۱-۳-۴ واقع می‌باشد (شکل ۱). از نظر زمین‌شناسی ساختاری در زون زاگرس مرتفع با رخنمون‌های سنگی عمدتاً شیل، مارن، آهک و رسوبات آبرفتی قرار دارد. بر اساس روش دومارتن بخش جنوبی حوضه در محدودهٔ حنا به سمت جنوب، دارای اقلیم نیمه‌خشک تا مرطوب و نیمه‌مرطوب است بخش‌های مرکزی به سمت شمال حوضه به سمت گرموک، اقلیم نیمه خشک تا معتدل حاکم بوده و در منتهی‌الیه شمالی حوضه مجددا اقلیم نیمه‌خشک تا مرطوب حاکم می‌شود. متوسط بارش ۵۱۲ میلی‌متر و درجه حرارت متوسط ۱۲ سانتی‌گراد در حوضه می‌باشد. خاک‌های کلسی زرپت و تایپیک زرپت عمده نوع خاک‌های حوضه را تشکیل می‌دهد. تیپ‌های گیاهی آرتمزیا، آستراگالوس، کوزینیا، دافنه و بروموس از جمله انواع پوشش گیاهی مرتعی است که در حوضه گسترش دارند. ارتفاع میانگین حوضه ۲۶۶۴ متر از سطح دریا و شیب‌های بین ۸ تا ۲۵ درصد بیش‌ترین گسترش را در حوضه به خود اختصاص می‌دهد.

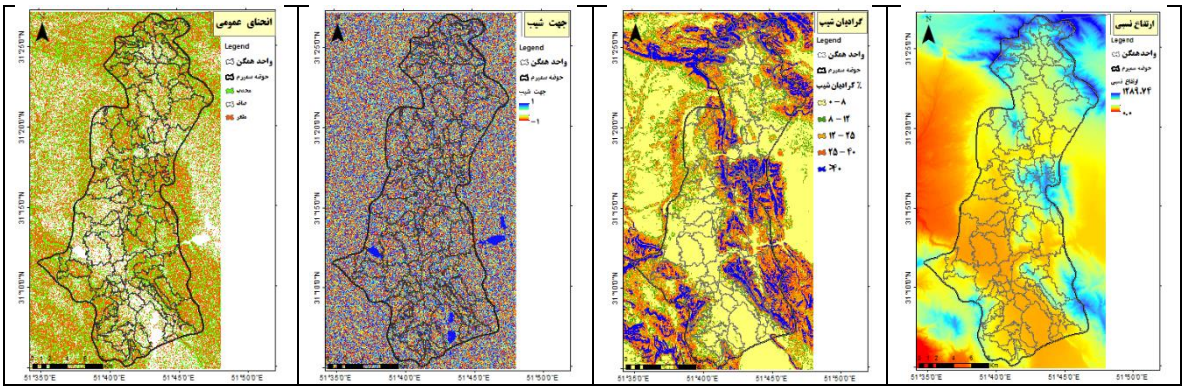


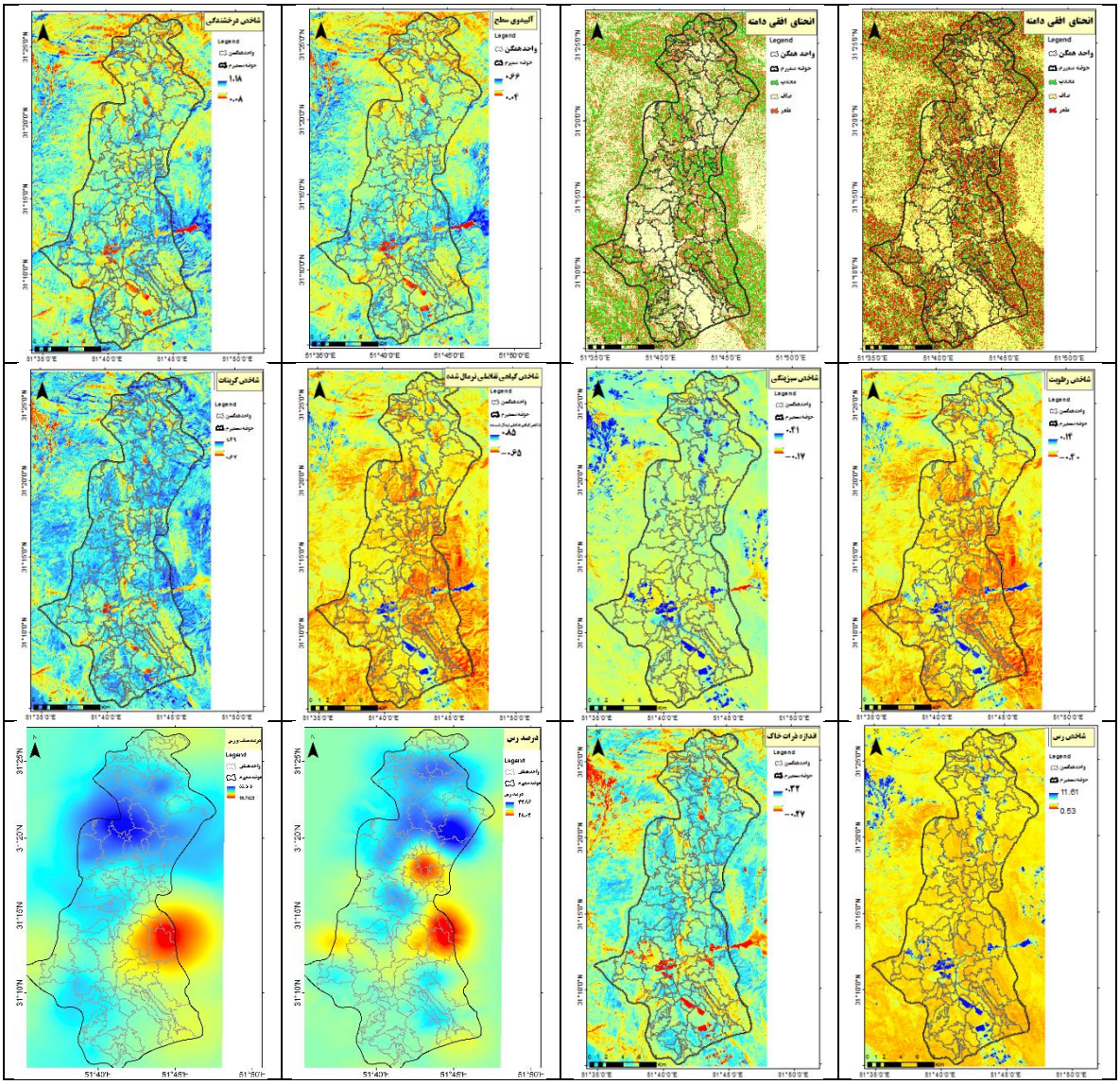
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

به‌منظور اجرای این پژوهش، ابتدا از هم‌پوشانی نقشه‌های پوشش گیاهی، گرادیان شیب، جهات جغرافیایی و طبقات ارتفاعی و ادغام آنها با لایه واحدهای اراضی و زمین‌شناسی، نقشه واحدهای اولیه شکل زمین ایجاد می‌شود. نقشه حاصل با نقشه

طبقه‌بندی شده تراکم پوشش گیاهی منطقه که با استفاده از شاخص‌های گیاهی تولید شده از تصاویر سنجنده لندست ۸ ایجاد می‌شود، ادغام شده و با انجام عملیات میدانی و بکارگیری روش فیزیونومی- فلوریستیک، مرزهای تعیین شده، اصلاح و تدقیق شده و نهایتاً نقشه واحدهای کاری همگن ایجاد می‌گردد. از هر واحد همگن با توجه به وسعت و تنوع ویژگی‌های ژئومورفومتری یک تا سه نمونه خاک از ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در مجموع ۲۱۸ نمونه به صورت کاملاً تصادفی برداشت و موقعت مکانی آن، بوسیله دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت می‌گردد. نمونه‌های برداشت شده به منظور تعیین درصد کربن آلی، رس، سیلت و شن به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل می‌شود. به منظور تعیین محتوای کربن آلی نمونه‌ها از روش تیتراسیون والکلی – بلاک استفاده می‌شود (Walkley & Black, 1934). زمان انجام عملیات نمونه‌برداری خاک و تاریخ اخذ داده‌های تصویر لندست ۸ هم‌زمان در نظر گرفته شد. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی و پیش‌بینی میزان کربن آلی از ۷ عامل موثر غیرطیفی مستخرج از داده رقومی ارتفاعی ALOS شامل درصد سیلت و رس، ارتفاع نسبی، گرادیان شیب، وجه شیب به روش فرانکلین و همکاران (۲۰۰۰)، انحناهای کلی، افقی و قائم دامنه و ۸ عامل موثر طیفی مستخرج از تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ به تاریخ ۲۰۱۹/۸/۲۵ برای شاخص‌های طیفی شامل آلبیدوی سطح، شاخص رس، شاخص کربنات، شاخص اندازهٔ ذرات، شاخص گیاهی تفاضلی بهنجار (NDVI)، و شاخص‌های سه‌گانه تبدیل تسلدکپ (روشنایی، سبزینگی و رطوبت) استفاده گردید (شکل ۲). لازم به ذکر است پردازش‌های اولیه برروی داده رقومی ارتفاع (DEM) به منظور رفع خطاها و پیش پردازش‌های لازم بر روی باندهای انعکاسی ۲ تا ۷ سنجنده OLI لندست ۸ به منظور رفع خطای اتمسفری مطابق با دستورالعمل سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS, 2016) انجام و بازتابش طیفی بالای اتمسفر هر یک از باندهای دو تا هفت سنجندهٔ OLI لندست ۸ محاسبه شد. الگوی کلی الویت‌بندی عوامل موثر روش تجزیه عاملی و برای مدل‌سازی و پیش‌بینی، الگوی رگرسیون چندمتغیره بین متغیرهای مولفه اصلی در نظر گرفته شد. متغیرهای مستقل (Covariates) مؤثر بر متغیر وابسته یا پاسخ (Training Data) شناسایی گردید و آن‌گاه با ایجاد رابطهٔ آماری بین متغیرهای مستقل با متغیر پاسخ (وابسته) در محل نقاط نمونه‌برداری، مدل پیش‌بینی (f) متغیر وابسته توسعه داده شد. پیوسته بودن متغیرهای مستقل (کمکی) این امکان را فراهم می‌سازد که با استفاده از مدل پیش‌بینی (f)، بتوانیم مقدار متغیر پاسخ را در سایر نقاط منطقه که نمونه‌برداری در آنها صورت نگرفته است، برآورد کرده و نقشهٔ پهنه‌بندی متغیر پاسخ را بدست آوریم. داده‌های نمونه‌برداری خاک (متغیر وابسته) به دو دسته ۷۰ و ۳۰ درصد به ترتیب به منظور مدل‌سازی و ارزیابی تقسیم شدند. از نرم‌افزارهای SAGA GIS®7.7.0 برای تهیه داده‌های مکانی شاخص‌های غیرطیفی، ENVI®5.3 برای پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و تولید ۸ شاخص طیفی، ArcGIS®10.8 برای مدیریت، پردازش داده‌های مکانی و توسعه مدل و SPSS®26.0 برای تحلیل‌های آماری در حین اجرای پژوهش استفاده گردید.





شکل ۲- متغیرهای مکانی مستقل یا عوامل موثر بر توزیع کربن آلی

نتایج و بحث

آمار توصیفی کربن آلی و عوامل موثر بر توزیع کربن آلی در خاک‌های حوزه سمیرم در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین درصد کربن آلی در خاک‌های حوزه سمیرم ۰,۷۹ و مقادیر حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۰,۳۲ و ۲,۳۰ درصد می باشد. این مقادیر کربن آلی با مطالعات پیله‌ور و همکاران (۱۳۸۹) در منطقه ضرغام آباد سمیرم، لکزیان و همکاران (۱۳۹۲) در بخشی از شهرستان مشهد، منصوری و همکاران (۱۳۹۳) در مراتع استان کرمانشاه تقریباً مشابه می‌باشد. اما نسبت به متوسط کربن آلی خاک‌های استان اصفهان (۰,۳) که توسط خیامم و خادمی (۱۳۹۴) گزارش شده است، بالاتر می‌باشد. درصد میانگین رس، سیلت، سیلت و رس مخلوط و ماسه به ترتیب ۳۶، ۳۷، ۷۳ و ۲۷ درصد است و عمده کلاس‌های بافتی سیلت و رس مخلوط می‌باشد. میانگین مقادیر درخشندگی، شاخص سبزینگی، شاخص رطوبت، آلبیدوی سطح، شاخص کربنات، شاخص

رس، شاخص اندازه ذرات و شاخص NDVI مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به ترتیب ۰,۶۸، ۰,۰۲-، ۰,۱۷-، ۰,۳۲، ۱,۲۰، ۱,۰۴، ۰,۱۵، ۰,۱۳ می‌باشد. مقادیر میانگین جهت شیب بر اساس فرانکلین و همکاران (۲۰۰۰)، درصد گرادیان شیب، ناهمواری نسبی، انحناهای افقی، قائم و کلی به ترتیب ۰,۰۴-، ۹,۴۵ درصد، ۳۸۹ متر، ۰,۰۵-، ۰,۱۶ و ۰,۲۲- می‌باشد.

جدول ۱- آماره توصیفی کربن آلی و عوامل موثر در خاکهای حوضه مورد مطالعه

نام متغیر	تعداد نمونه	دامنه تغییرات	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
کربن آلی	218	1.98	0.32	2.30	0.79	0.29	1.494	3.864
درصد رس	218	29.00	21.00	50.00	36.13	4.82	−0.297	0.243
درصد سیلت	218	41.00	16.00	57.00	36.61	6.65	0.356	0.371
درصد سیلت و رس	218	57.00	37.00	94.00	72.74	8.39	−0.783	1.182
درصد ماسه	218	57.00	6.00	63.00	27.26	8.39	0.783	1.182
درخشندگی	218	0.31	0.55	0.86	0.68	0.05	0.378	0.510
شاخص سبزینگی	218	0.04	−0.03	0.00	−0.02	0.01	0.524	0.827
شاخص رطوبت	218	0.12	−0.23	−0.11	−0.17	0.02	−0.306	−0.173
آلبیدوی سطح	218	0.14	0.26	0.40	0.32	0.03	0.324	0.205
شاخص کربنات	218	0.13	1.15	1.28	1.20	0.02	0.142	−0.126
شاخص رس	218	0.29	0.90	1.19	1.04	0.05	0.241	1.085
شاخص اندازه ذرات	218	0.08	0.12	0.20	0.15	0.01	−0.174	0.161
NDVI	218	0.07	0.11	0.18	0.13	0.01	0.956	2.735
جهت شیب	218	2.00	−1.00	1.00	−0.04	0.70	0.089	−1.508
ناهمواری نسبی	218	605.21	229.85	835.06	388.99	116.25	1.214	1.281
گرادیان شیب	218	98.25	0.00	98.25	9.45	9.15	4.619	39.992
انحنای افقی	218	5.67	−4.43	1.24	−0.05	0.43	−5.754	51.836
انحنای قائم	218	9.68	−0.47	9.21	0.16	0.72	9.748	117.385
انحنای کلی	218	14.97	−13.64	1.33	−0.22	1.09	−9.251	108.325

همانطور که در جدول ۲ آمده است بر اساس ضرائب همبستگی دو متغیره پیرسون بین کربن آلی خاک با هریک از عوامل اصلی به ترتیب عوامل ناهمواری نسبی، NDVI، شاخص سبزینگی، گرادیان شیب، شاخص رس، درصدهای سیلت و رس مختلط، درصد رس، شاخص رطوبت، جهت شیب، رابطه معنی‌دار و مثبت یا مستقیم و با عوامل شاخص کربنات، شاخص انحنای افقی، درخشندگی سطح، شاخص اندازه ذرات، شاخص انحنای کلی و آلبیدوی سطح رابطه منفی یا معکوس در سطح پنج درصد و بالاتر وجود دارد. همچنین درصد سیلت، شاخص انحنای قائم و درصد ماسه فاقد رابطه معنی دار با کربن آلی خاک در سطح پنج درصد و بالاتر می‌باشند.

جدول۲- نتایج آزمون و ضرائب همبستگی متغیرهای مستقل با کربن آلی خاک

نام متغیر	ضریب همبستگی پیرسون	سطح معنی‌داری	تعداد نمونه
ناهمواری نسبی	۰.378**	0.000	218
NDVI	۰.253**	0.000	218
درصد سیلت	0.231	0.051	218
شاخص سبزینگی	۰.224**	0.001	218
گرادیان شیب	۰.210*	0.020	218
شاخص رس	۰.157*	0.020	218

درصد سیلت و رس	0.132**	0.002	218
درصد رس	0.114**	0.001	218
شاخص رطوبت	0.072**	0.001	218
جهت شیب	0.045*	0.030	218
شاخص کربنات	−0.056*	0.٠10	218
شاخص انحنای افقی	−0.077**	0.002	218
درخشندگی سطح	−0.085*	0.020	218
شاخص اندازه ذرات	−0.088*	0.020	218
شاخص انحنای قائم	−0.091	0.093	218
شاخص انحنای کلی	−0.106*	0.030	218
آلبیدوی سطح	−0.123*	0.040	218
درصد ماسه	−0.132	0.051	218

** معنی داری در سطح ۰،۰۱ * معنی داری در سطح ۰،۰۵ و بقیه فاقد معنی داری

مولفه های اصلی حاصل از تحلیل عاملی

میزان KMO حاصل از انجام تحلیل عاملی برای ۱۸ عامل یا متغیر مستقل طیفی و غیر طیفی معادل ۰،۴۷۲ (کمتر از ۰،۶) بدست آمد. این مقدار که کمتر از معیار ۰،۶ می‌باشد بیانگر ان است که شرط کفایت استفاده از همه ۱۸ عامل موثر را ناکافی و یا به عبارت دیگر مجموعه عوامل موثر مورد نظر با همدیگر برای تحلیل عاملی مناسب نیستند. با در نظر گرفتن مقادیر ماتریس‌های همبستگی پیرسون (کم‌ترین مقدار) و میزان اشتراکات متغیرهای ۱۸ گانه با مقدار کربن آلی (کم‌ترین مقادیر) عوامل سیلت، ماسه، انحنای قائم و با کمترین وجه اشتراک به ترتیب با مقادیر بار عاملی ۰،۱۶۷، ۰،۲۴۵ و ۰،۴۵۶ شناسایی و از مجموع متغیرها حذف شدند. بنابراین تحلیل عاملی با تعداد ۱۵ عامل موثر (شکل ۲) شامل ۸ عامل طیفی و ۷ عامل غیرطیفی ژئومورفومتریکی مطابق جدول ۳ مجدداً اجرا گردید. نتایج آزمون بارتلت در سطح معنی‌داری ۰،۰۰۰ فرض صفر را رد می‌نماید و بیانگر ان است که میان متغیرها ارتباط معناداری وجود دارد. همچنین مقدار KMO معادل ۰،۶۶۱ حاصل گردید که بیانگر آن است که ۱۵ عامل موثر به عنوان متغیر مستقل برای تحلیل عاملی کافی و مناسب می‌باشند. با توجه به جدول ۳ مربوط به بارهای عاملی متغیرهای مستقل و دسته‌بندی ماهیت و ویژگی این بارهای عاملی، مولفه یا عامل اصلی اول تحت عنوان عوامل مربوط به پوشش گیاهی شامل متغیرهای شاخص سبزینگی و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی استاندارد شده (NDVI)، مولفه یا عامل اصلی دوم تحت عنوان مورفومتری و اندازه ذرات خاک شامل متغیرهای شاخص رس، درصدهای سیلت، رس و سیلت مختلط و ماسه، مولفه یا عامل اصلی سوم بازتابش سطحی زمین شامل متغیرهای آلبیدوی و درخشندگی سطح، مولفه یا عامل اصلی چهارم تحت عنوان شکل سطح زمین شامل ناهمواری نسبی، گرادیان شیب، انحناهای کلی و افقی، مولفه یا عامل پنجم تحت عنوان میزان رطوبت شامل متغیرهای شاخص رطوبت و جهت شیب دامنه و مولفه یا عامل اصلی ششم تحت عنوان ویژگی شیمیایی شامل متغیر کربنات یا آهک نامگذاری می‌گردد.

جدول ۳- بارهای عاملی یا بردارهای ویژه متغیرهای مستقل بعد از چرخش واریماکس

عوامل موثر	مولفه					
	1	2	3	4	5	6
کربن آلی	0.594	0.024	−0.045	0.262	0.121	0.080
آلبیدوی سطح	−0.272	−0.428	0.516	0.135	0.134	−0.425
درخشندگی سطح	−0.084	−0.537	0.539	0.042	0.141	−0.409
شاخص کربنات	−0.003	−0.055	0.086	−0.001	0.030	0.906
شاخص رس	0.106	0.847	0.174	0.051	0.182	−0.006
شاخص سبزینگی	0.649	0.367	0.386	−0.129	−0.140	−0.158
شاخص اندازه ذرات	−0.021	0.880	0.044	−0.146	−0.022	0.100
NDVI	0.729	−0.135	−0.176	−0.036	−0.013	−0.371

شاخص رطوبت	−0.089	−0.023	−0.229	−0.024	0.853	0.194
شاخص انحنای کلی	0.127	−0.069	0.032	0.711	−0.456	0.018
شاخص انحنای افقی	−0.052	0.156	0.027	0.849	−0.071	0.048
ناهمواری نسبی	0.173	0.028	−0.050	0.664	−0.087	0.354
جهت شیب	0.088	−0.161	0.038	0.212	0.320	0.176
درصد رس	−0.118	0.814	0.044	−0.013	0.089	0.072
درصد سیلت و رس	0.096	0.857	0.038	−0.036	0.093	0.111
گرادیان شیب	0.131	0.063	−0.138	0.798	0.204	−0.096

نتایج تحلیل عاملی به روش مولفه‌های اصلی با مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک نشان داد که درصد واریانس شش مولفه یا عامل اصلی به ترتیب ۲۰,۰۸، ۱۴,۲۳، ۱۲,۷۲، ۹,۲۸، ۷,۲۱ و ۶,۵۲ و با درصد واریانس تجمعی کلی پس از چرخش عامل‌ها به روش واریمکس بیش از ۷۰ درصد توسط این شش مولفه تبیین می‌گردند (جدول ۴).

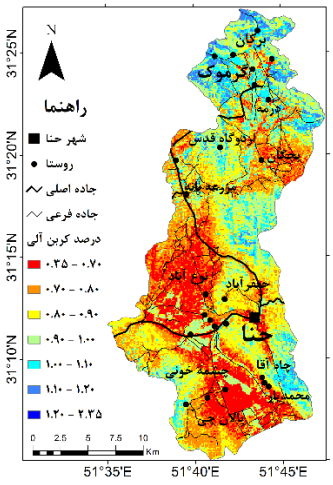
جدول ۴- مقادیر بردار ویژه ۱۵ عامل یا متغیر مستقل

مولفه‌های اصلی	مولفه‌های اصلی	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
1	3.213	20.080	20.080
2	2.277	14.229	34.309
3	2.035	12.721	47.029
4	1.484	9.278	56.307
5	1.153	7.206	63.514
6	1.043	6.520	70.034
7	0.966	6.039	76.073
8	0.811	5.067	81.140
9	0.630	3.936	85.076
10	0.549	3.429	88.505
11	0.487	3.043	91.549
12	0.352	2.198	93.746
13	0.333	2.079	95.825
14	0.258	1.614	97.440
15	0.226	1.413	98.853
16	0.184	1.147	100.000

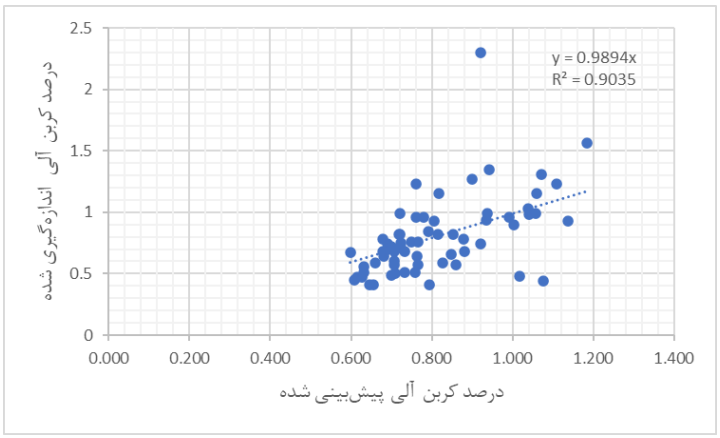
با استفاده از نتایج شش عامل یا مولفه اصلی شناسایی شده حاصل از تحلیل عاملی به عنوان متغیرهای مستقل و ۷۰ درصد تعداد داده‌های اندازه‌گیری نمونه‌های خاک تحت عنوان داده‌های آموزشی پس از اجرای مدل تحلیل رگرسیونی چندگانه به روش Enter رابطه ۱ حاصل گردید. ضریب تبیین (R) معادله رگرسیونی چندگانه ۰,۶۶ در سطح معنی‌داری ۰,۰۰۰ می‌باشد.

SOC=-0.13*FAC1+0.018*FAC2+0.009*FAC3+0.175*FAC4+0.025*FAC5+0.072*FAC6 +0.79 (۱)

شکل ۳ نتایج اعمال رابطه ۱ بر روی ۱۵ متغیر مستقل در قالب ۶ مولفه اصلی و ۷۰ درصد داده‌های آموزشی برای اجرای مدل، بصورت مدل مکانی پهنه‌بندی پیش‌بینی میزان کربن آلی حوزه آبخیز سمیرم را نشان می‌دهد.

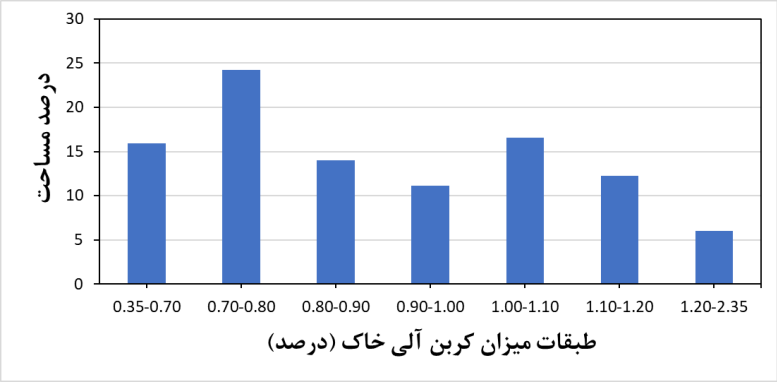


شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی میزان کربن آلی در حوزه سمیرم



شکل ۴- نمودار همبستگی مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده کربن آلی

نتایج اعتبارسنجی و ارزیابی دقت مدل پیش‌بینی میزان کربن آلی با استفاده از ۳۰ درصد (۶۵ نمونه خاک) مابقی نمونه‌ها تحت عنوان داده‌های آزمایشی یا اعتبارسنجی که برای مدل‌سازی استفاده نشدند، نشان داد که ریشه متوسط مربعات خطا (RMSE) معرف دقت میانگین پیش‌بینی و شدت خطای مورد انتظار، میانگین خطا (ME) بیانگر میزان اریبی و برآورد زیاد یاکم، کارائی مدل‌سازی (EF) و میانگین خطای اریبی (MBE) به ترتیب ۰,۲۷، ۰,۰۱۴، ۰,۳ و ۰,۰۱- و برای داده‌های آموزشی (۷۰ درصد) به ترتیب ۰,۲۳، ۰,۰۲، ۰,۳۲ و ۰,۰۲- می باشد. همچنین ضریب همبستگی (R^2) بین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده کربن آلی برابر ۰,۹۰ می‌باشد (شکل۴). مقدار ضریب همبستگی (R^2) برای داده‌های آزمایشی یا اعتبارسنجی (۳۰ درصد) و آموزشی یا اجرای مدل (۷۰ درصد) به ترتیب ۰,۳۰ و ۰,۳۲ می‌باشد. بنابراین باتوجه به مقدار ضریب همبستگی (R^2)، مدل رگرسیون چندمتغیره برای داده‌های آموزشی یا اجرای مدل، مقدار بیش‌تری از تغییرات کربن آلی در خاک را در سطح حوزه آبخیز سمیرم برآورد می‌نماید. با توجه به شکل ۵ طبقات میزان درصد کربن آلی خاک ۰,۷۰- ۰,۸۰ و ۱,۲۰-۲,۳۵ به ترتیب با مساحت ۲۴ و ۶ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین رخنمون سطح خاک‌های منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند.



شکل ۵- نمودار درصد مساحت طبقات کربن آلی خاک در حوزه سمیرم

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایشگاهی داده‌های نمونه‌برداری خاک میزان ذخایر کربن آلی با میانگین ۰/۷ و حداقل و حداکثر به ترتیب ۰/۳۲ و ۲/۳۴ بیانگر میزان نسبتاً کم این ذخیره در اراضی منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج این مقادیر اندازه‌گیری شده کربن آلی با مقادیر اندازه‌گیری شده پیله‌ور و همکاران (۱۳۸۹) در بخشی از منطقه مورد مطالعه بسیار مشابهت و با خیامم و خادمی (۱۳۹۴) در سطح استان اصفهان تا حدودی انطباق دارد. بکارگیری داده‌های کمکی طیفی و غیر طیفی مستخرج از داده‌های رقومی ارتفاعی (DEM) و ماهواره‌ای لندست ۸ با استفاده از تحلیل‌های آماری تجزیه عاملی و برازش مدل رگرسیونی مولفه‌های اصلی می‌تواند با دقت خوبی بدون نمونه‌برداری خاک که مستلزم صرف هزینه و وقت بسیار زیاد است، به سرعت و آسانی میزان کربن آلی خاک را در عرصه‌های وسیعی از منابع طبیعی برآورد و پیش‌بینی نماید. این پژوهش، نتایج مطلوب بکارگیری تلفیقی متغیرهای طیفی و غیر طیفی در توزیع و پیش‌بینی کربن آلی خاک توسط ترکمانی و همکاران (۱۳۹۸) و فتح‌العلومی و همکاران (۱۳۹۹) را تایید می‌کند. از آنجا که در این پژوهش واحدهای همگن مبنای نمونه‌برداری از اراضی منطقه مورد مطالعه بوده است و واحدهای همگن با در نظر گرفتن نوع پوشش و تیپ‌های گیاهی و همچنین مناطق اقلیمی مختلف تهیه گردیده‌اند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که به نوعی میزان بارش، دما و منبع اولیه تولید کربن آلی برای خاک‌های منطقه مورد مطالعه در تنوع میزان کربن آلی برای واحدهای همگن یکسان در نظر گرفته شده و تغییرات در ذات دیگر عوامل مورد استفاده مستتر می‌باشد. این پژوهش نشان داد ۱۵ عامل بکار گرفته شده با همبستگی معنی‌داری (در سطح معنی داری ۵ درصد و کم‌تر از آن) در قالب شش مولفه یا عامل اصلی مربوط به پوشش گیاهی شامل متغیرهای شاخص سبزینگی و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی استاندارد شده (NDVI)، مورفومتری و اندازه ذرات خاک شامل متغیرهای شاخص رس، درصدهای سیلت، رس و سیلت مختلط و ماسه، بازتابش سطحی زمین شامل متغیرهای آلبیدوی و درخشندگی سطح، شکل سطح زمین شامل ناهمواری نسبی، گرادیان شیب، انحناهای کلی و افقی، میزان رطوبت شامل متغیرهای شاخص رطوبت و جهت شیب دامنه و ویژگی شیمیایی شامل متغیر کربنات یا آهک و همچنین بکارگیری رگرسیون چندمتغیره می‌تواند با دقت ۹۰ درصد، تغییرات کربن آلی خاک را در حوضه مورد مطالعه تخمین بزند. این نتیجه با پژوهش پیله‌ورشهری و همکاران (۱۳۸۹) که در بخشی از اراضی مرتعی ضرغام آباد سمیرم و همچنین مطالعات لکزیان و همکاران (۱۳۹۲) که در بخشی از اراضی مشهد انجام گرفته است همخوانی بسیار زیادی دارد و نتایج آنها را تایید می‌نماید. همچنین بر اساس مقادیر بردار ویژه ۱۵ عامل یا متغیر مستقل با بیش از ۷۰ درصد واریانس تجمعی در قالب این شش مولفه اصلی، میزان کربن آلی در خاک‌های منطقه مورد مطالعه را پیش‌بینی می‌کند. نتایج تحلیل عاملی برای تعیین عوامل اصلی از بین ۱۵ متغیر در این پژوهش نتایج کاوه و همکاران (۱۳۹۳)، خیامم و خادمی (۱۳۹۴) و خلیفه‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) را تایید می‌نماید. نهایتاً در این پژوهش نتیجه گرفته شد بکارگیری تلفیقی تحلیل عاملی به منظور کاهش تعداد و شناسایی موثرترین عوامل و روش رگرسیون چندمتغیره برای پیش‌بینی یا برآورد میزان کربن آلی خاک نتایج مطلوبی به همراه داشت که از این نظر وجه تمایزی است با نتایج مطالعات پیله‌ور و همکاران (۱۳۸۹)، بهرامی و همکاران (۱۳۹۲)، غلامعلی‌زاده آهنگر و همکاران (۱۳۹۴)، خلیلی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۴)، عطائیان و همکاران (۱۳۹۷) و متین‌فر و همکاران (۱۳۹۷) که در ارزیابی و مقایسه صرفاً روش رگرسیون چند متغیره در مقایسه با روش‌های دیگر مانند شبکه عصبی از مطلوبیت ثانویه در پیش‌بینی میزان کربن آلی برخوردار بوده است. به عبارت دیگر بکارگیری روش تلفیقی تحلیل عاملی به روش مولفه‌های اصلی همراه با روش رگرسیون چندمتغیره نسبت به بکارگیری صرفاً روش رگرسیون چندمتغیره با متغیرهای مستقل، موجب افزایش دقت و مطلوبیت بیشتر مدل پیش‌بینی کربن آلی خاک خواهد شد که از این نظر نتایج کاوه و همکاران (۱۳۹۳) و خلیفه‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) را تائید می‌نماید. بر اساس مدل پهنه‌بندی توزیع مکانی کربن آلی خاک تهیه شده، میزان درصد کربن آلی خاک بین ۰,۷۰ تا ۰,۸۰ و ۱,۲۰ تا ۲,۳۵ به

ترتیب با مساحت ۲۴ و ۶ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین رخنمون سطح خاک‌های منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص می‌دهند. از آنجا که میزان ماده آلی بویژه کربن آلی در برآورد، کنترل فرسایش و حفاظت خاک اراضی مرتعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد، لذا بر اساس مدل پهنه‌بندی توزیع کربن آلی ایجادشده که حدود یک چهارم خاک‌های منطقه مورد مطالعه را با کمبود مقدار کربن آلی مشخص می‌نماید، می‌توان با روش‌های مدیریتی صحیح ماده آلی در این اراضی، فرسایش خاک را بطور قابل توجهی کنترل و مدیریت نمود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش بر اساس بخشی از یافته‌های پروژه تحقیقاتی با عنوان ((توزیع مکانی کربن آلی خاک سطحی در تیپ‌های گیاهی مراتع ییلاقی جنوب استان اصفهان)) با کد مصوب ۹۷۰۲۱۲-۰۱۹-۰۰۹-۰۰۹-۰ انجام گردیده است. لذا نویسندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی به خاطر حمایت‌های مالی و ستادی ابراز می‌نمایند.

فهرست منابع

ایوبی، ش.، علیزاده، م. ۱۳۸۵. برآورد خصوصیات افق سطحی خاک با مدل رومی پستی و بلندی زمین (مطالعه موردی بخشی از حوزه آبخیز مهر سبزوار استان خراسان). نشریه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲: ۹۶-۸۵.

بهرامی، ب.، دیانتی تیلکی، ق.ع.، خسروبیگی، س.، جانی زاده، س.، معتمدی، ج. ۱۳۹۲. ارزیابی کاربرد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی تطبیقی فازی و رگرسیون در پیش‌بینی کربن آلی ذره‌ای در مراتع خرابه‌سنجی، تحقیقات کاربردی خاک، ۱(۱): ۹۴-۱۰۶.

پیله‌ورشهری، ا.، ایوبی ش.، خادمی ح. ۱۳۸۹. مقایسه مدل شبکه عصبی و رگرسیون خطی چند متغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین (مطالعه موردی: منطقه ضرغام آباد سمیرم). نشریه آب و خاک، ۲۴(۶): ۱۱۵۱-۱۱۶۳.

ترکمانی، ف.، پیری صحراگرد، ح.، پهلوان راد، م.ر.، نهتانی، م. ۱۳۹۸. تعیین توزیع کربن آلی خاک و عوامل موثر بر آن با استفاده از مدل جنگل تصادفی در حوضه آبخیز راونگ میناب، مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) ۴۲(۴): ۸۹-۱۰۴.

خلیلی‌مقدم، ب.، افیونی، م.، جلالیان، ا.، عباس‌پور، ک.، دهقانی، ا.ا. ۱۳۹۴. کاربرد روش‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی به منظور تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک منطقه زاگرس مرکزی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۹(۷۱): ۲۱۷-۲۲۷.

خلیفه‌زاده، ر.، تمرتاش، ر.، طاطیان، م.ر.، سراجیان مارالان، م.ر. ۱۳۹۷. پیش‌بینی کربن آلی خاک سطحی با تلفیق تحلیل عاملی و رگرسیون چندگانه در مراتع نیمه‌استپی لزور، فیروزکوه، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۲۵(۳): ۶۹۹-۷۱۲.

خیامم، ف.، خادمی، ح. ۱۳۹۴. توزیع مکانی ماده آلی در خاکهای سطحی در سه اقلیم استان اصفهان، پژوهش های خاک (علوم خاک و آب)، الف۲۹(۱): ۳۷-۴۸.

عطائیان، پ.، احمدی مقدم، پ.، شپهر، ا. ۱۳۹۷. تخمین کربن آلی خاک با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندگانه بر اساس پردازش تصاویر رنگی، ماشین‌های کشاورزی، ۸(۱): ۱۳۷-۱۴۸.

غلامعلی‌زاده آهنگر، ا.، سارانی، ف.، هاشمی، م.، شعبانی، ا. ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های رگرسیون خطی، زمین آماری و شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی کربن آلی در اراضی خشک دشت سیستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۶): ۱۲۵۰-۱۲۶۰.

فتح‌العلومی، س.، واعظی، ع.ر.، علوی پناه، س. ک.، قربانی، ا. ۱۳۹۹. مدل‌سازی تغییرات کربن آلی خاک با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور در حوضه آبخیز بالیخلی‌چای اردبیل، تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۹): ۲۴۱۷-۲۴۲۹.

قربانی‌واقعی، ح.، داوری، م. ۱۳۹۴. تحلیل زمین آماری غلظت کربن آلی خاک در حوزه آبخیز الیگودرز استان لرستان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۹(۵): ۱۳۰۹-۱۳۱۹.

کاوه، ا.، مهدیان، م.ح.، پرویزی، ی.، سکوتی اسکوئی، ر.، مسیح‌آبادی، م.ح. ۱۳۹۳. نقش ویژگی‌های توپوگرافی، خاکی و اقلیمی بر ذخیره کربن آلی خاک دیم‌زارهای استان کرمانشاه، ۴: ۵۱-۶۵.

لکزیان، ا.، فاضلی سنگانی، م.، آستارایی، ع و فتوت، ا. ۱۳۹۲. تخمین و پهنه‌بندی میزان کربن آلی خاک با استفاده از آنالیز عوارض زمین (مطالعه موردی: بخشی از اراضی شهرستان مشهد). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۱): ۱۸۰-۱۹۲.

متین فر, ح.ر.، محمودزاده، ح.، فاریابی، آ. ۱۳۹۷. برآورد مقدار مادهٔ آلی خاک، با استفاده از داده‌های طیفی و مدل‌های آماری رگرسیون حداقل مربعات جزئی و رگرسیون مؤلفهٔ اصلی، سنجش از دور و GIS ایران، ۱۰(۲): ۱۵-۳۲.

متین‌فر، ح.ر.، مقصودی، ز.، موسوی، س.ر.، جلالی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی روش‌های یادگیری ماشین در نقشه‌برداری رقومی کربن آلی خاک‌های زراعی (بخشی از دشت خرم‌آباد)، علوم آب و خاک، ۲۴(۴): ۳۲۸-۳۴۲.

منصوری، ا.، کریمی، ع.ر.، امامی، ح.، پرویزی، ی. ۱۳۹۶. بررسی عوامل موثر بر کربن آلی خاک در یک برش اقلیمی در استان کرمانشاه، محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، ۷(۱): ۱۹۷-۲۱۰.

واحدی، ع. ا.، متاجی، ا.، حجتی، م. ۱۳۹۳. مدل‌سازی مخزن کربن آلی خاک در رابطه با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در جنگل گلندرود در شمال ایران. مجله پژوهشهای خاک. ۲۸(۱): ۵۳-۶۲

Bogunovic, I., Trevisani, S., Pereira, P., & Vukadinovic, V. (2018). Mapping soil organic matter in the Baranja region (Croatia): Geological and anthropic forcing parameters. Science of the Total Environment, 643, 335-345.

Croft, H., Kuhn, N., Anderson, K. 2012. On the use of remote sensing techniques for monitoring spatio-temporal soil organic carbon dynamics in agricultural systems. Catena, 94, 64-74.

Dharumarajan, S., Hegde, R., Singh, S. 2017. Spatial prediction of major soil properties using Random Forest techniques-A case study in semiarid tropics of South India. Geoderma Regional, 10, 154-162.

Forkuor, G., Hounkpatin O. K., Welp, G., & Thiel, M. 2017. High resolution mapping of soil properties using remote sensing variables in south-western Burkina Faso: a comparison of machine learning and multiple linear regression models. PloS one, 12(1), e0170478.

Franklin, J., Mc Cullough, P. and Gray, C. 2000. Terrain variables used for predictive mapping of vegetation communities in Southern California. In: J.P. Wilson and J.C. Gallant (eds.), Terrain Analysis, Principles and Applications. John Wiley & Sons. Inc. Pp: 331-353.

Gholizadeh, A., Žižala, D., Saberioon, M., Borůvka, L. 2018. Soil organic carbon and texture retrieving and mapping using proximal, airborne and Sentinel-2 spectral imaging. Remote Sensing of Environment, 218, 89-103.

Li, X., McCarty, G. W., Karlen, D. L., & Cambardella, C. A. 2018. Topographic metric predictions of soil redistribution and organic carbon in Iowa cropland fields. Catena, 160, 222–232. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.09.026

Ma, Y., Minasny, B., Wu, C. 2017. Mapping key soil properties to support agricultural production in Goodman, J., Owens, P., & Libohova, Z. 2012. Predicting soil organic carbon using mixed conceptual and geostatistical models. Digital soil assessments and beyond, 155-159.Eastern China. Geoderma Regional, 10, 144-153.

Mondal, A., Khare, D., Kundu, S., Mondal, S., Mukherjee, S. and Mukhopadhyay, A., 2017. Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by regression kriging using remote sensing data. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 20(1): 61-70.
Pahlavan-Rad, M. R., Dahmardeh, K. Brungard, C. 2018. Predicting soil organic carbon concentrations in a low relief landscape, eastern Iran. *Geoderma Regional* 15: e00195.
Pei, T., Qin, C.Z., Zhu, A.X., Yang, L., luo, M., Li, B., Zhou, C. 2010. Mapping soil organic matter using the topographic wetness index: A comparative study based on different flow-direction algorithms and kriging methods. Ecological indicators, 10: 610-619.
Ramcharan, A., Hengl, T., Nauman, T., Brungard, C., Waltman, S., Wills, S., Thompson, J. 2018. Soil property and class maps of the conterminous United States at 100-meter spatial resolution. Soil Science Society of America Journal, 82(1), 186- 201.
Schillaci, C., Acutis, M., Lombardo, L., Lipani, A., Fantappiè, M., Märker, M., Saia, S., 2017. Spatio-temporal topsoil organic carbon mapping of a semi-arid Mediterranean region: the role of land use, soil texture, topographic indices and the influence of remote sensing data to modeling. Science of the Total Environment, 601–602: 821–832.
Vidana Gamage, D.N., Biswas, A., Strachan, I.B., Adamchuk, V.I. 2018. Soil water measurement using actively heated fiber optics at field scale. Sensors, 18(4), 1116.
Walkley, A., Black, I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37, 29-38.
Wang, S., Xu, L., Zhuang, Q., He, N. 2020. Investigating the spatio-temporal variability of soil organic carbon stocks in different ecosystems of China. Science of the Total Environment, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143644
Wang, S., Zhuang, Q., Jia, S., Jin, X., Wang, Q. 2018. Spatial variations of soil organic carbon stocks in a coastal hilly area of China. Geoderma 314: 8–19.
Zeraatpisheha, M., Ayoubia, S., Jafaric, A., Tajika, S., Finke, P. 2019. Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. Geoderma, 338: 445-452.
Zhou, Y., Webster, R., Viscarra Rossel, R.A., Shi, Z., Chen, S. 2019. Baseline map of soil organic carbon in Tibet and its uncertainty in the 1980s. Geoderma, 334: 124-133.

Prioritation of the effective factors for organic carbon distribution zonation maping in Semirom, Isfahan province

Kourosh Shirani*[1], Morteza Khodagholi[2], Frazad Parsadoust[1], Rostam Khalifehzadeh[2]

1- Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

2- Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, AREEO, Tehran, Iran

Abstract

Awareness of organic carbon status of rangeland soil is important for erosion control and soil protection management. The aim of this study is to prioritize the effective factors, modelling and predicting organic carbon amount using Landsat 8 satellite imagery, accurate digital elevation model (DEM) related to ALOS sensor and the combined application of factor analysis and multivariate regression model in Semirom watershed located in the south of Isfahan province. For this purpose, after determining the homogeneous units and sampelling regular random and compound of 218 soil samples from these units, the amount of organic carbon, percentages of sand,

silt and clay were determined in the laboratory. The development of the combined method was performed using 15 spectral and non-spectral variables and two sets of training data (70%) and test data (30%) of soil samples in order to implement and validate the model, respectively. Then, effective factor prioritization, determination of main components and spatial soil organic carbon zonation map were prepared. Finally, using error measurement criteria, the model was validated and evaluated in the training and test stages. The results showed that fifteen independent variables in the form of six principal components namely vegetation, soil particle size, surface reflectance, soil surface shape, moisture storage and chemical properties have the largest contribution in soil organic carbon storage. According to error criteria and coefficients, correlation estimates the model implementation stage to be higher than the prediction with lower error, higher efficiency, higher changes of organic carbon in the soil. Also, the soil organic carbon content classes of 0.70-0.80 and 1.20-2.35 with an area of 24% and 6% have the highest and lowest area outcrops of soils in the study area, respectively.

Keywords: Factor analysis, modelling, multivariate regression, organic carbon

تهیه نقشه کربن آلی خاک با کاربرد اطلاعات سنجش از دور و توپوگرافی

الهام شهرآیینی[1] و علی اکبر نوروزی[2]

[1]دکتری فیزیک و حفاظت خاک، شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس Email:e.shahrayini@yahoo.com

[2]دانشیار سنجش از دور، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران

چکیده

کربن آلی(OC)خاک در عمده ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک نقش دارد. مدل‌سازی و تهیه نقشه ویژگی‌های خاک با دقت مناسب برای یک منطقه کشاورزی بزرگ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان کلیدی موثر در پایش محیط زیست و مدیریت کاهش تخریب اراضی می‌باشد. این مطالعه در خاک‌های استان ایلام با هدف تهیه نقشه OC با استفاده از تکنیک سنجش از دور(RS)[1] و اطلاعات زمین نما[2] برای درک بهتر تغییرات مکانی آن صورت گرفت و مدل‌سازی با رگرسیون جنگل تصادفی[3](RF) انجام شد. نتایج اعتبارسنجی R^2=۰/۷۱ و % ۰/۱۸ =RMSE را نشان داد. در مدل‌سازی OC در سطح خاک شاخص رگرسیون مؤلفه اصلی[4](PC1)، شاخص خاک برهنه(BSI)[5]، سطح پایه شبکه کانال[6] (CNBL) و شاخص همواری قله با درجه تفکیک بالا[7] (MrRTF) اهمیت بیشتری داشتند. نتایج نشان داد مدل‌سازی با استفاده از داده‌های سنجش از دور و زمین نما می‌تواند تغییرات مکانی OC را با دقت مناسب پیش‌بینی کند و به کشاورزان و تصمیم گیرندگان برای بهبود مدیریت آب و خاک کمک کند.

واژگان کلیدی: رگرسیون جنگل تصادفی، داده‌های زمین‌نما، سنجش از دور، کربن آلی خاک

مقدمه

کربن آلی(OC) خاک نقش مهمی در شکل‌گیری و حفظ ساختان خاک، چرخش مواد مغذی خاک و تنوع زیستی خاک تصفیه آلاینده‌ها و نیز انتقال و ذخیره آب و املاح در خاک دارد (Pan et al.(2015. برآورد دقیق توزیع مکانی کربن آلی خاک در کشاورزی بسیار مهم است و یکی از پایه های تصمیم‌گیری و سیاست گذاری است. بنابراین تحقیقات دقیق، پایش و مدل‌سازی در محیط زیست و کشاورزی نیازمند اطلاعات خاک ارزان قیمت و با کیفیت مناسب است (Juma et al.(2016. تصاویر ماهواره‌ای دارای قابلیت‌های متمایزی نظیر تولید اطلاعات در ابعاد چندگانه، مقیاس ها و طیف های مختلف، پوشش تکراری، چند طیفی بودن، دید وسیع و تنوع فرم اطلاعاتی می‌باشند به نحوی که هر چه از این قابلیت‌ها از جمله تعداد باندهای بیشتر در اختیار کاربران قرار بگیرد، بر کارایی و نقش آنها در مطالعات می‌افزاید. این روش این امکان را به کاربر می‌دهد تا با انتخاب هر نقطه از زمین، امکان برآورد ماده آلی خاک فراهم شود. بدین ترتیب هم تغییرات در توزیع مواد آلی در نظر گرفته می‌شود و هم تعداد نمونه مورد نیاز کاهش می‌یابد (Simbahan et al.(2006. ویژگی‌های فیزیکی خاک و تغییرپذیری مکانی چهار فاکتور ترکیبات معدنی، رطوبت خاک، مقدار مواد آلی و بافت خاک (سطحی) بر بازتاب خاک در تصاویر سنجش از دور اثرگذار است. شکل و اندازه خاکدانه‌ها نیز در بازتاب تصاویر موثر است، نرخ تجمع کربن آلی در خاک بر اساس نوع اقلیم، مقدار و نوع ارگانیسم‌های خاک، پوشش گیاهی، رطوبت خاک و زمان متفاوت است. کربن یکی از مهمترین ویژگی‌هایی است که با دقت بالایی توسط روش تصاویر ماهواره‌ای برآورد می‌شود زیرا این ویژگی غالباً در لایه سطحی خاک تجمع یافته است(Ben-Dor et al.(2009. Alavipanah و همکاران(۲۰۰۱) با بررسی روش‌های مختلف در

[1] Remote sensing Technique
[2] Terrain attributes
[3] Random Forest
[4] Principal component analysis
[5] Bare Soil Index
[6] Channel network base level
[7] Multi-resolution Ridge-top Flatness Index

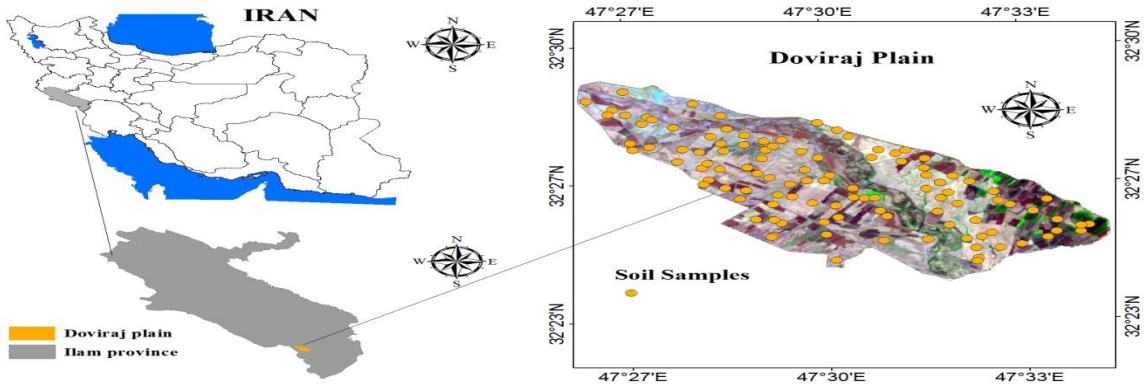
تعیین بهترین ترکیب باندی جهت استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره لندست روش‌هایی مانند ماتریس همبستگی، تعیین حد شاخص مطلوب[1] (OIF)، تحلیل مؤلفه‌های اصلی(PCA) و تجزیه و تحلیل نمودار دو بعدی داده‌ها، به این نتیجه رسیدند که انتخاب مناسبترین باندها نه تنها وابسته به شرایط اقلیمی و منطقه جغرافیایی است بلکه بستگی زیادی به شرایط خاک و همچنین داده های ماهواره‌ای و نوع استفاده از اراضی دارد. در مطالعه ای توسط Bhunia و همکاران (۲۰۱۷) به منظور توسعه نقشه SOC دیجیتالی با استفاده از تکنیک سنجش از دور و در نظر گرفتن معیارهای مختلفی مانند باندهای مختلف قرمز، آبی، سبز و مادون قرمز نزدیک(NIR)، شرایط پوشش گیاهی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی[2](NDVI) و شاخص BSI مدل‌های رگرسیونی چندگانه برای پیش بینی توزیع کربن آلی خاک استفاده شد و نتیجه آن مدلی با ضریب همبستگی R^2=0.71 می‌باشد. بر اساس مطالعات پیشین نقشه مدل ارتفاع رقومی و داده‌های سنجش از دور از جمله مهمترین داده‌های کمی هستند که جهت پیش‌بینی خصوصیات خاک می توانند مفید باشند (et Adhikari al.(2014. ویژگی‌های توپوگرافی از قبیل ارتفاع از سطح تراز دریا و جهت شیب دامنه، با ایجاد تغییراتی در الگوی بارش و دما، میکرو اقلیم را به‌وجود آورده و بر ویژگی‌های کربن آلی خاک تأثیر می‌گذارند Sariyildiz et al.(2005). بررسیEgli و همکاران (2009) در ارتفاعات شمال ایتالیا نشان داد که در شیب‌های شمالی، خاک از دمای پایینتر و رطوبت بیشتری برخوردار است. بنابراین در این مناطق در مقایسه با مناطق شمالی تولید ماده آلی بیشتر و تجزیه آن کندتر از مناطق جنوبی است. در موقعیت‌های فرسایشی در شیب‌ها، مقدار OC و مواد مغذی به طور معمول کمتر و ضخامت خاک در مقایسه با موقعیت های رسوبی کاهش می‌یابد Berhe et al.(2008). همچنین تحقیقات نشان داده است که خاکهای رسی مواد آلی بیشتری در مقایسه با خاکهای شنی دارند و معمولا رابطه بسیار نزدیکی بین میزان کربن آلی و مقدار رس و لای وجود دارد Oades(1993). برخی مطالعات نشان داده اند که روشRF قابل اعتماد است و نتایج بهتری را برای پیش بینی های مکانی و غیر مکانی نسبت به روش های دیگر ارائه می‌دهد Souza et al.(2016). نتایج بسیاری از تحقیقات نشان داد که مدل RF یک روش یادگیری ماشینی است و پتانسیل بالایی جهت تعیین مناسب روابط غیرخطی بین خاک و زمین نما دارد Zhang et al. (2017). مزایای اصلی RF شامل پیش‌بینی با بالا، قابل استفاده بودن آن هم برای مسائل دسته‌بندی و هم رگرسیون، توانایی در یادگیری روابط غیرخطی و توانایی زیاد در تعیین متغیرهای مهم در پیش‌بینی‌ها می‌باشد Rodriguez-Galiano et al.(2012). آگاهی از مقدار OC در مدیریت کشاورزی بسیار مهم است و مطالعات کمی در زمینه تهیه نقشه OC و توزیع مکانی آن با استفاده از عوامل توپوگرافی و داده‌های RS وجود دارد لذا اهداف این تحقیق مدل‌سازی و تهیه نقشه OC خاک و تعیین مهمترین متغیرها در داده های زمین نما و RS و ارزیابی عملکرد روش RF می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در دشت دویرج در طول جغرافیایی شرقی بین '47°, 25 تا '47°, 35 و عرض جغرافیایی شمالی بین '32°, 24 تا '32°, 28 ، در زون N ۳۸ سیستم مختصات UTM، در غرب کشور و جنوب شرق استان ایلام واقع شده است(شکل۱). رژیم رطوبتی و حرارتی این منطقه به ترتیب اریدیک و هایپرترمیک با میانگین بارندگی سالانه ۲۷۴/۸ میلیمتر، میانگین سالانه دما ۲۶/۴ درجه سانتی‌گراد و پتانسیل تبخیر سالانه۲۰۵۴ میلیمتر می‌باشد. وسعت منطقه برابر با ۴۰۰۰ هکتار است. با تلفیق واحد شکل زمین (ارتفاع، شیب و جهت)، پوشش، خاک، نقشه‌های زمین شناسی، فیزیوگرافی، کاربری اراضی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای واحدهای همگن ایجاد شد و مطابق آن ۱۱۸ نمونه از خاک سطحی برداشت شد.
پس از جمع آوری نمونه‌های خاک و هوا خشک کردن آن‌ها، خاک‌ها از الک۲ میلی‌متر عبور داده شدند و OC اندازه‌گیری شدند Walkley and Black (1934). تصویر ماهواره‌ای لندست۸ منطبق با زمان نمونه برداری صحرایی از پایگاه USGS

[1] Optimum Index Factor
[2]Normalized Difference Vegetationindex

سایت Earth Explore دانلود و مورد استفاده قرار گرفت. قدرت تفیکیک مکانی باندهای Coastal/Aerosol، مرئی، مادون قرمز نزدیک، میانی و Cirrus ۳۰ متر و در باند Panchromatic ۱۵ متر و در باندهای حرارتی ۱۰۰ متر می باشد. تصحیح اتمسفری[۱] اعمال شد و از تکنیک‌های مختلف بارزسازی تصاویر نظیر تکنیک ترکیب رنگی کاذب[۲]، نسبت گیری[۳]، ادغام[۴] و PCA (در باندهای تصویر لندست ۸) که به عنوان یک روش متراکم سازی جهت تفسیر بهتر داده‌های ماهواره‌ای به کار برده می‌شود استفاده شد. خصوصیات باندهای اصلی، ترکیبی و شاخص‌های گیاهی و شوری مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۱ مشاهده می‌شود. شاخص‌ها با اســـتفاده از نرم افزارArcGIS 10.3 و با به کارگیری روابط جدول۱ محاســـبه و



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و نمونه‌های برداشت شده

اســـتخراج شـــدند. مدل رقومی ارتفاع (DEM)[۵] با رزولیشن ۳۰ متر برای استخراج متغیرهای زمین نما استفاده شد و در نرم افزار سامانه جغرافیایی ساگا (SAGA)[۶] به صورت نقشه تهیه شدند. مقادیر شاخص‌های شوری و گیاهی، آنالیز مولفه‌های اصـــلی و باندهای تصویر لندست ۸ و پارامترهای زمین‌نما از نقشه آن‌ها استخراج شد و برای تجزیه و تحلیل به روشRF، مدل‌سازی و تهیه نقشه وارد نرم افزار R شدند.

نتایج و بحث

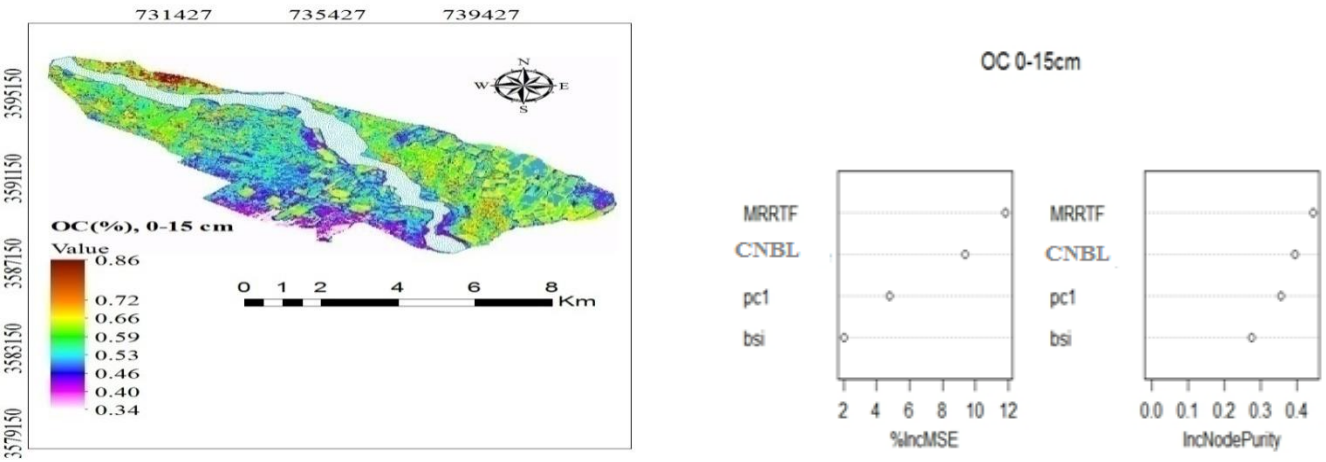
شکل۲ بهترین متغیرهای استفاده شده در مدل سازی و تهیه نقشه OC نشان می‌دهند. شاخص‌هایPC1 و BSI و پارامترهای MrRTF و CNBL موثرتر بودند همچنین نتایج نشان داد در صحت سنجی مدل مقدار R^2 =۰/۹۱ و RMSE=۰/۰۹% و در اعتبار سنجی مدل مقدار R^2 =۰/۷۱ و RMSE=۰/۱۸ % می‌باشد. در واقع PC با همبســـتگی باندها به عنوان یک روش متراکم سازی جهت تفسیر بهتر داده‌های ماهواره‌ای به کار برده می‌شود این آنالیز به داده ها اجازه می‌دهد که در باندهای کمتری متراکم شوند، در این پژوهش شاخصPC1 در مدل‌سازی OC مؤثر بود. پوشش گیاهی ارتباط مستقیم با کربن آلی خاک دارد و داده های سنجش از دور در باندهای مختلف می‌تواند اطلاعات مفیدی را درباره پوشش گیاهی یک منطقه ایجاد کند. از آنجا که در مناطق بایر و جاهایی که پوشش گیاهی وجود ندارد مقدار BSI زیاد هست لذا مقدار کربن آلی کاهش می‌یابد و رابطه عکس بین آن‌ها وجود دارد. در واقع PC با همبســـتگی باندها به عنوان یک روش متراکم سازی جهت تفسیر بهتر داده های ماهواره‌ای به کار برده می‌شود این آنالیز به داده ها اجازه می‌دهد که در باندهای کمتری متراکم شوند. پوشش گیاهی ارتباط مستقیم با کربن آلی خاک دارد و داده های سنجش از دور در

[1] Atmospheric Correction
[2] False Colour Composite
[3] Band Ratio
[4] Fusion
[13] Digital Elevaion Model
[6] System for Automated Geoscientific Analyses

جدول۱- خصوصیات باندهای ترکیبی، شاخص‌های گیاهی و شوری داده های ماهواره ای و زمین‌نما

متغیر	مخفف	فرمول
Principal component analysis	PC1, PC2,PC3	
Brightness Index	BI	$[(B4^2) + (B5^2)]^{0.5}$
Clay Index	CI	$B6/B8$
Carbonate Index	CaI	$B4/B3$
Bare soil index	BSI	$[(B6 + B4) - (B5 + B2)]/[(B6 + B4) + (B5 + B2)]$
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$(B5 - B4)/(B5 + B4)$
Enhanced Vegetation Index	EVI	$g * (B5 - B4)/(B5 + C1 * B4 - C2 * B2 + L)$
Ratio Vegetation Index	RVI	$B5/B4$
Generalized Difference Vegetation Index	GDVI	$(B5^2 - B4^2)/(B5^2 + B4^2)$
Canopy Response Salinity Index	CRSI	$\{[(B5 * B4) - (B3 * B2)]/[(B5 * B4) + (B3 * B2)]\}^{0.5}$
Soil-Adjusted Vegetation Index	SAVI	$[(B5 - B4) * (1 + L)]/(B5 + B4 + L)$
Vegetation Soil Salinity Index	VSSI	$2 * B3 - 5 * (B4 + B5)$
Salinity Index	SI	$(B4 * B2)^{0.5}$
Salinity Index I	S1	$B2/B4$
Salinity Index II	S2	$(B2 - B4)/(B2 + B4)$
Analytical hill shading	AH	
Aspect	AS	
Catchment area	CA	
Channel network base level	CNBL	
Closed depressions	CD	
Convergence index	CI	
Cross-sectional curvature	CSC	
Flow accumulation	FA	
LS factor	LSF	
Relative slope position	RSP	
Slope	S	
Topographic wetness index	TWI	
Valley depth	VD	
Vertical distance to channel network	VDCN	
Multi-resolution Ridge-top Flatness Index	MrRTF	
Multi-resolution Valley Bottom Flatness Index	MrVBF	

باندهای مختلف می‌تواند اطلاعات مفیدی را درباره پوشش گیاهی یک منطقه ایجاد کند. از آنجا که در مناطق بایر و جاهایی که پوشش گیاهی وجود ندارد مقدار BSI زیاد هست لذا مقدار کربن آلی کاهش می‌یابد و رابطه عکس بین آن‌ها وجود دارد. همچنین در تحقیقاتی که توسط Mondal و همکاران (۲۰۱۶) انجام شد نتایج نشان داد که مقادیر OC در خاک به طور قابل توجهی با شاخص با شاخص BSI ارتباط دارد و مناطق با BSI بالا دارای مقادیر کم OC می‌باشند. شاخص BSI از باندهای طیفی آبی، قرمز، مادون قرمز نزدیک و میانی تشکیل شده است. به منظور ارزیابی ترکیب مواد معدنی خاک طیف‌های باندی مادون قرمز میانی و قرمز استفاده می‌شود، در حالی که برای افزایش حضور پوشش گیاهی از باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک و آبی استفاده می‌شود(Thi Loi et al.2017). نتایج بررسی تست همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که قوی ترین رابطه بین مواد آلی خاک و انعکاس‌های ماهواره عموماً در دو محدوده طیفی اتفاق افتاده است.



شکل۲- نقشه کربن آلی خاک و اهمیت متغیرهای استفاده شده در مدل سازی این پارامترها

۱) محدوده طیفی مرئی، ناحیه ای در مرز بین محدوده سبز و قرمز و بیشتر در محدوده قرمز (Ladoni et al.(2010. ۲) محدوده طیفی مادون قرمز میانی (McCarty et al.(2002. Wang و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که NDVI و ارتفاع مهمترین متغیرها برای پیش بینی توزیع OC خاک در شمال شرقی چین بودند. این نتایج نشان می‌دهد که داده های سنجش از دور متغیرهای کمکی مهمی برای پیش بینی OC در مناطق با پستی و بلندی کم هستند Adhikari et al.(2014). از بین متغیرهای زمین نما که از DEM مشتق شده‌اند متغیرهای elevation, slope, aspect, curvatures, wetness index, relative height and slope positions, MRVBF, MRRTF, LS factor در پیش بینی و تهیه نقشه OC بیشتر استفاده شدند.

نتیجه‌گیری

کربن آلی خاک در عمده ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک نقش داردو از عوامل بسیار مؤثر در تولید محصولات زراعی، بهره وری خاک و کشاورزی پایدار است. نتایج این پژوهش نشان داد تلفیق تکنیک سنجش از دور و داده‌های زمین‌نما و استفاده از مدل RF توانایی برآورد تغییرات مکانی OC و تهیه نقشه با دقت مناسب را دارد ضمناً این روش سریع، آسان و نسبتاً ارزان می‌باشد که برای مدیریت کشاورزی و امنیت مواد غذایی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مهم می‌باشد. در پایان پیشنهاد می‌گردد رویکرد ارائه شده، برای انواع خاک‌ها در مناطق مختلف ایران و جهان که از نظر اقلیم، خاک و توپوگرافی متفاوتند توسعه داده شود.

فهرست منابع

- Adhikari, K., Minasny, B., Greve, B.G., Greve, M.H. (2014). Constructing a soil class map of Denmark based on the FAO legend using digital techniques. Geoderma. 214 -215: 101-113.
- Alavipanah, S K., Goossens, R. (2001). Relationship between the Landsat TM, MSS data and soil salinity. Journal of agricultural science and technology (JAST), 3: 101–111.
- Berhe, A.A., Harden, J.W., Torn, M.S., Harte, J. (2008). Linking soil organic matter dynamics and erosion-induced terrestrial carbon sequestration at different landform positions. J. Geophys. Res. Biogeosci. 113 (G4).
- Ben-Dor, E., Chabrillat, S., Demattê, J.A.M., Taylor, G.R., Hill, J., Whiting, M.L., Sommer, S. (2009). Using Imaging Spectroscopy to Study Soil Properties. Remote Sensing of Environment, 113, S38-S55.http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.019.
- Bhunia,G.S., Kumar Shit,P., Pourghasemi,H.Z. (2017). Soil organic carbon mapping using remote sensing techniques and multivariate regression model. Geocarto International, http://doi.org/10.1080/10106049.2017.1381179.
- Egli, M., G. Sartori, A. Mirabella, F. Favilli, D., Giaccai, Delbos, E. (2009). Effect of north and south exposure on organic matter in high Alpine soils. Geoderma 149: 124-136.

- Juma, R., Pőcze, T., Kunics, G., Sisák, I.(2016). Application of Digital Soil Mapping Techniques to Refine Soil Map of Baringo District, Rift Valley Province, Kenya.
- Ladoni, M., Alavaipanah, S.K., Bahrami, H.A., Noroozi. A.A. (2010). Remote sensing of soil organic carbon in semi-arid region of Iran. Arid Land Research and Management, 24: 271-281.
- McCarty, G.W., Reeves, J.B., Reeves, V.B., Follett, R.F., Kimble, J.M. (2002). Mid-infrared and nearinfrared diffuse reflectance spectroscopy for soil carbon measurements. Soil Science Society of America Journal, 66: 640-646.
- Mondal, A., Khare, D., Kundu, S., Mondal, S., Mukherjee, S., Mukhopadhyay, A. (2017). Spatial soil organic carbon (SOC) prediction by regression kriging using remote sensing data. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 20(1): 61-70.
- Oades, J. M. (1993). The role of biology on the formation, stabilization and degradation of soil structure. Geoderma 59: 377-400.
- Pan, G. et al. Soil Carbon Sequestration with Bioactivity: A New Emerging Frontier for Sustainable Soil Management. Advances in Earth Science 30, 940–951 (2015).
- Sariyildiz,T.,Anderson J.M., Kucuk, M. (2005).Effect of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey. Soil Biol. and Biochem. 37: 1695-1706
- Rodriguez-Galiano, V.F., Chica-Olmo, M., Abarca-Hernandez, F., Atkinson, P.M., Jeganathan, C. (2012) Random forest classification of mediterranean land cover using multi-seasonal imagery and multi-seasonal texture. Remote Sensing of Environment, 121, 93–107.
- Simbahan, G.C., Dobermann, A., Goovaerts, P., Ping, J.L., Haddix, M.L. (2006). Fine resolution mapping of soil organic carbon based on multivariate secondary data. Geoderma, 132: 471-489.
- Thi Loi, D., Yin Chou,T., Min Fang,Y. (2017). Integration of GIS and Remote Sensing for Evaluating Forest Canopy Density Index in Thai Nguyen Province, Vietnam. International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 8, No. 8. doi: 10.18178/ijesd.2017.8.8.1012.
- Walkley, A., Black, IA., (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid in soil analysis. Soil Sci Soc Am J 79:459–465.
- Zhang, H., Wu, P., Yin, A., Yang, X., Zhang, M., and Gao, C. (2017). Prediction of soil organic carbon in an intensively managed reclamation zone of eastern China: A comparison of multiple linear regressions and the random forest model. Science of the Total Environment, 592, 704-713.

Preparation of soil organic carbon map using remote sensing and topographic information

Elham Shahrayini[1] and Ali.Akbar Noroozi[2]

[1] Ph.D of Soil Physic And Conservation, Mahab Ghodss Consulting Engineer

[2] Associate Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Tehran, Iran

Abstract

Soil organic carbon plays a major role in the most physicochemical and biological properties of soil. Modeling and mapping of soil properties with proper accuracy using satellite images is effective key in environmental monitoring as well land degradation management and its mitigation.

This study was carried out in the soils of Ilam province with the aim of preparing OC map using remote sensing (RS) technique and terrain data for better understanding of its spatial variations and modeled by random forest regression (RF). Result of validation showed R^2=0.72 and RMSE=0.18%. In modeling of OC at soil surface, principal component regression index (PC1) ,Bare Soil Index (BSI), Channel Network Base Level (CNBL) and Multi-resolution Ridge-top Flatness Index (MrRTF) were more important.

Results showed that modeling using RS and terrain data can predict the spatial variations of OC with appropriate accuracy and help farmers and decision makers to improve soil and water management.

Keywords: Random forest regression, Terrain data, Remote sensing, Soil Organic Carbon

تخمین اندوخته‌های کربن آلی به کمک سنجش از دور در اکوسیستم شن‌های روان تثبیت شده خوزستان

بیژن خلیلی مقدم*[۱]، سهیلا جلیلی[۲]، محمد معظمی[۳]

*[۱] دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان khalilimoghadam@asnrukh.ac.ir

[۲] دانش آموخته گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، [۳] استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، اندازه گیری ذخیره کربن در اکوسیستم ماسه های روان تثبیت شده با استفاده از سنجش از دور می‌باشد. بدین منظور از اراضی تثبیت شده ماسه های روان از عمق ۳-۰ و۱۰-۳و ۴۰-۱۰ در دوره های زمانی ۵ تا ۵۰ ساله بعد از مالچ پاشی نفتی و کنترل بیولوژیکی نمونه برداری صورت گرفت. سپس، میزان کربن آلی، ذخیره کربن و مدیریت کربن این اراضی اندازه گیری شده اند. سپس میزان این پارامترها با استفاده از سنجنده سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برآورد گردید. نتایج این پژوهش نشان داده است که در اکوسیستم ماسه های روان تثبیت شده، بعد از این عملیات، به دلیل احیاء پوشش گیاهی، میزان کربن آلی و ذخیره کربن آلی خاک افزایش می یابد. نتایج حاصل از همبستگی پیرسون بین کربن سطحی خاک و باندهای (۱-۷) سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ نشان داد که همبستگی معنی‌داری در سطح ۱ درصد بین باند ۶ (۰/۴۵۳) و باند ۷ (۰/۴۳۵) با کربن آلی لایه رویین ماسه های روان تثبیت شده وجود دارد.

واژه های کلیدی: سنجش از دور، مالچ، مدیریت کربن آلی

مقدمه

میانگین ذخیره کربن آلی خاک در خاکهای مختلف محدوده ۶۱,۳ تا۱۹۸,۴ تن درهکتار متفاوت است. با افزایش عمق خاک از ذخیره کربن آلی خاک کاسته میشود اما ذخیره کربن آلی خاک درعمق ۲۰ سانتیمتری بالایی خاک حدود ۴۳ درصداز کل ذخیره کربن آلی خاک است و رابطه مثبت و معنی داری بین رطوبت خاک و ذخیره کربن آلی خاک وجود دارد (لیو و همکاران، ۲۰۱۲). خاک‌ها اصلی‌ترین منبع کربن در اکوسیستم‌های خشکی هستند، به‌گونه‌ای که برآوردها نشان می‌دهد ذخیره کربن کل موجود در آنها تا عمق یک متری برابر ۲۵۰۰ گیگا تن است، و کربن آلی حدود ۱۵۵۰ گیگا تن از این ذخیره کربنی را شامل می‌شود (لعل، ۲۰۰۳). خاک از مهم‌ترین اجزای اکوسیستم است و در مقایس جهانی سومین منبع ذخیره کربن است (جواد طالبوندی و همکاران، ۲۰۱۰)، به طوری که ۷۵ درصد ذخایر کربن در خشکی را دارد (حاج عباسی و همکاران، ۲۰۰۸). در مطالعات مختلف مشخص شده که خاک قادر است ۱۰ تا ۲۵ درصد از کربن اضافه شده را در خود ذخیره نماید.

کربن آلی خاک بزرگترین ذخیره‌گاه کربن در اکوسیستم خشکی است(پرنتیس[1] و همکاران،۲۰۰۳).سنجش از دور علم فناوری و به دست آوردن اطلاعات درباره یک شی منطقه یا پدیده، از پردازش و آنالیز داده های گرفته شده به وسیله یک دستگاه بدون تماس با شی منطقه یا پدیده مورد مطالعه می باشد.استفاده از داده‌های سنجش از دور ماهوارهای با توجه به خصوصیاتی از قبیل دید وسیع و یکپارچه، استفاده ازقسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی برای ثبت خصوصیات پدیده‌ها، پوشش‌های تکراری، سرعت انتقال وتنوع اشکال داده‌ها، امکان بکارگیری سخت افزارها ونرم افزارهای ویژه رایانه‌ای در سطح دنیا با استقبال زیادیروبرو شده است و به عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی،اکتشاف، نظارت، کنترل و مدیریت منابع آب و خاک، جنگل ومرتع، کشاورزی و محیط زیست به کار گرفته شده و به مرورزمان بر دامنه وسعت کاربری آن افزوده گردیده است. باپیشرفت فناوری سنجنده‌ها، امروزه سنجش از دور طیف بسیار وسیعی را پیدا کرده است (علوی پناه، ۱۳۸۵). نتایج مطالعات اینگلبی و کرو [2]در سال ۲۰۰۱ که از شبکه عصبی و رگرسیون چندگانه برای مدلسازی رابطه بین ماده آلی و بازتاب خاک استفاده کردند برمناسب‌تر بودن مدل‌های شبکه عصبی نسبت به مدل‌های رگرسیونی تاکید می‌نماید.طی پژوهشی سوماراتن [3]و همکاران(۲۰۰۵) نیز دقت شبکه عصبی را نسبت به مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره برای برآورد ماده آلی خاک از روی بازتاب بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل‌های شبکه عصبی دارای دقت به مراتب بالاتری نسبت به مدل‌های رگرسیونی چندگانه‌اند. همچنین ایوبی و همکاران در سال۲۰۱۲ و جارمر[4] و همکاران در سال۲۰۱۳ توانستند روابطی با همبستگی بالا بین میزان کربن آلی خاک ومقادیر انعکاس با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی بدست آوردند. شاخص‌های گیاهی معادلات ریاضی هستند که براساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف می‌شود(شوونجرت[5]، ۲۰۰۶). و ترکیبات مختلفی از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی برای تولید یک تصویراز وضعیت پوشش گیاهی است(کامبل[6]، ۱۹۹۶). در بررسی قابلیت شاخص‌های گیاهی اغلب شاخص‌های گیاهی از ترکیب جبری دوباند قرمز و مادون قرمز به وجودآمدند. مختاری و همکاران(۱۳۷۹) رابطه بین پوشش گیاهی و درصد خاک بدون پوشش گیاهی در یک حوضه آبخیز را با شاخص‌های پوشش گیاهی مانندRVI ,PVI, NDVI و سایر آنالیزهای سنجش از دور بررسی کردند. در این مطالعه شاخصNDVI به عنوان بهترین شاخص از لحاظ همبستگی یا پوشش گیاهی معرفی کردند.خاک بدون پوشش گیاهی منطقه نیز به علت اینکه تحت تأثیر عوامل مختلفی به خصوص جنس سازند و ماهیت مواد مادری و درصد تاج پوشش گیاهی قرار گرفته بود بازتاب‌های متفاوتی را نشان داد. بنابراین درصد خاک بدون پوشش گیاهی در منطقه همبستگی مناسبی را با شاخص‌های گیاهی مورد بررسی نشان نداد. یگانه و همکاران(۱۳۸۶) قابلیت شاخص‌های طیفی سنجنده مودیس را در برآورد تولید گیاهی منطقه سمیرم بررسی کردند.نتایج نشان دادشاخص‌هایی که درآنها باندهای SWIR به کار رفته همبستگی بالایی ۰/۸۵ با داده‌های زمینی دارد و شاخصRVI,SAVI,NDVI و دیگر شاخص‌های مشابه که از باند قرمز و مادون قرمز نزدیک ایجاد شده‌اند دارای همبستگی نسبتا متوسط ۰/۶ با داده‌های تولید مرتع دارد. از این تحقیق استنباط می‌شود که شاخصSWIR در فصل رویش برای برآورد تولید مناسب است.

شجاعی(۱۳۹۵) به مقایسه میزان کربن آلی خاک در مراتع تخریب شده دشت قهاوند، همدان با استفاده از شاخص‌های گیاهی پرداخت. نتایج نشان داد شاخص‌های ماهواره‌ای BI, RVI, NDVI, BI, NDBI, OSAVI, TSAVI, MSAVI همبستگی پیرسون به نسبت خوبی با میزان کربن الی به ترتیب R^2 ۰/۴۱، ۰/۳۸، ۰/۳۸، ۰/۴۱، ۰/۴۰، ۰/۳۹، ۰/۴۴-، ۰/۴۸ از خود نشان دادند. نتایج نشان دهنده امکان استفاده از شاخص‌های تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ جهت بررسی و مطالعه ذخایر کربن آلی خاک در دشت نهاوند است.

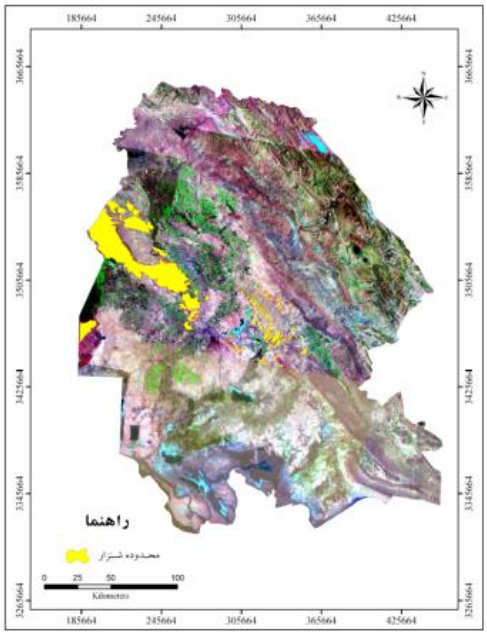
1.Prentice
4. Ingleby and Crowe
5.Somarathen
6.Garmer
3.Sdhowengerdt
4.Cambell

هوت ۲۰۰۴ با بازنگری مطالعات انجام شـــده در زمینه بررســـی رابطه خاک و الگوهای پوشـــش گیاهی در بخش جنوبی آمریکا با اسـتفاده از شاخص NDVI اشاره به نتایج مثبت در این زمینه کرده، هرچند که همبستگی قوی بینNDVI و ویژگی‌های خاک مانند درصـد اشـباع بازی،اسـیدیته، ظرفیت نگهداری آب در خاک و چگالی ظاهری بعد از گروه بندی خاکها توسـط عوامل اقلیمی گزارش نشده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده شن‌زارهای استان خوزستان از دو بخش شرقی و غربی در استان (شن‌زارهای شرق و غرب رودخانه کرخه) تشکیل شده است (شکل ۱).



شکل ۱-موقعیت شن‌های روان خوزستان(منطقه مورد مطالعه)

روش جمع‌آوری اطلاعات

در این پژوهش، با توجه به نوع مواد مادری، توپوگرافی، نوع و تراکم پوشش گیاهی، نوع مدیریت و قدمت تثبیت شن‌های روان، ۲۱ منطقه از مناطق تثبیت شده شن‌های روان استان خوزستان انتخاب گردید. در هر منطقه از سه عمق سطحی (کمتر از ۳ سانتی‌متری)، عمق ۳ تا ۱۰ سانتی‌متری و ۱۰ تا ۴۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت در ۶ دوره زمانی و نمونه‌ها جهت انجام مطالعات آزمایشگاهی به آزمایشگاه منتقل گردید. هم‌چنین برخی از پارامترها نیز به‌طور مستقیم در صحرا اندازه‌گیری شده اند. اندازه گیری کربن خاک به روش اکسایش تر(Walkey & Black, 1934) انجام گردید.

محاسبه ذخیره کربن

برحسب کیلوگرم برهکتاربراساس رابطه زیر محاسبه گردید:

$$SOC = OC (\%) \times Bd \times E \times 10000$$

SOC: اکربن آلی برحسب کیلوگرم برهکتار

OC: درصد کربن آلی

Bd: وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتیمتر مکعب

E: عمق نمونه برداری برحسب سانتی متراست.

روش استخراج اطلاعات طیفی

پس از بازدید از منطقه و نمونه برداری از خاک سایت‌های مورد مطالعه و اندازه گیری میزان کربن آلی خاک، به منظور بررسی ارتباط معنی‌دار بین میزان کربن و داده‌های ماهواره‌ای، مختصات نقاط نمونه‌برداری مستخرج ازGPS از طریق یک فایل اکسل به محیط نرم‌افزار Arc GIS منتقل گردید. پس از آن شاخص‌ها و باندهای تصویر نیز که از قبل تصحیح و آماده شده بودند به محیط نرم‌افزار منتقل گردیدند. سپس با استفاده از مختصات نقاط نمونه‌برداری، پیکسل‌های متناظر هر نقطه نمونه‌برداری از تصاویر و شاخص‌ها استخراج گردید و برای استفاده در محاسبات آماری ذخیره شدند. لازم به ذکر است که در این پژوهش از مقادیر شاخص های گیاهی و لگاریتم آن ها و ارزش های عددی باندها و لگاریتم آن ها و ترکیب باندها و شاخص ها برای برآورد ذخیره کربن آلی سطحی استفاده شد.

بحث و نتایج

استخراج ارزش‌های طیفی

در تصاویر رقومی سنجش از دور هر پیکسل دارای ارزش عددی است، که بازگو کننده رفتار طیفی پدیده متناظر آن در سطح زمین است. در واقع ارزش‌های عددی پیکسل‌ها از نسبت بازتاب طیفی پدیده‌های متناظر آنها در سطح زمین است. با تجزیه و تحلیل ارزش عددی پیکسل‌ها میتوان پدیده‌های متناظر آنها را شناسایی و مورد ارزیابی قرار داد. در این مطالعه پس از نمونه‌برداری از خاک و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، مقادیر کربن هر یک از نمونه خاک‌ها استخراج گردید و در یک فایل اکسل ذخیره گشت. همچنین پس از محاسبه شاخص‌های طیفی، مقادیر هر شاخص و همچنین مقدار بازتاب طیفی باندها ، متناظر با نقطه برداشت زمینی آن در نرم افزارArc Map 10.3 استخراج گردیده و داده‌ها همگی در یک فایل اکسل ذخیره گردیدند. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از

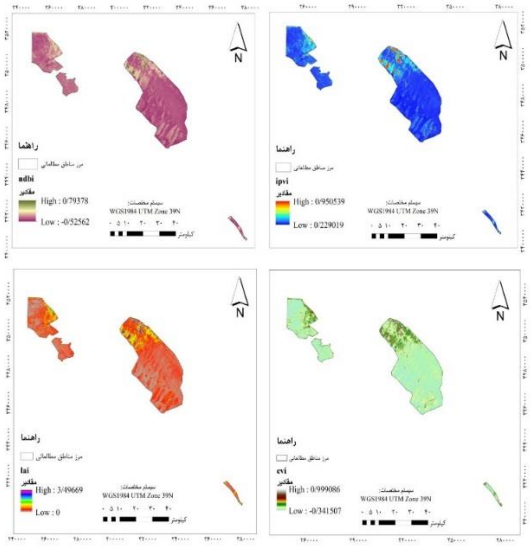
آزمون کولموگروف اسمیرنوف در نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه رابطه رگرسیونی بین مقادیر کربن آلی اندازه گیری شده با مقادیر هر یک از باندها و شاخص ها و یا ترکیبی از آنها برقرار گردید. همچنین به منظور دستیابی به بهترین رابطه رگرسیونی، محاسبات فوق روی لگاریتم داده ها نیز انجام شد.

شاخص‌های طیفی محاسبه شده

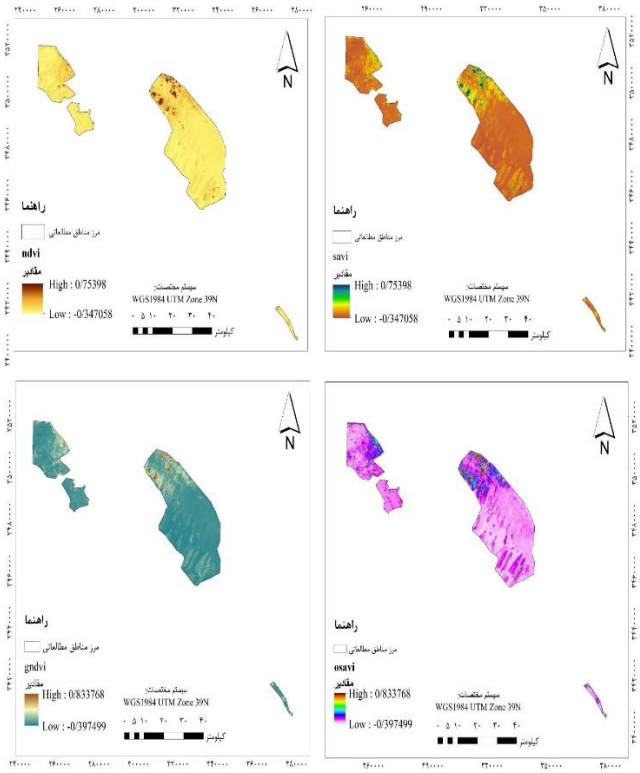
در نرم افزار ArcGIS 10.3 با اعمال رابطه ارائه شده برای هر شاخص روی تصاویر، نقشه شاخص‌های طیفی محاسبه شد که در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. همچنین جدول ۱خصوصیات آماری شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱-خصوصیات آماری شاخص‌های طیفی

نام شاخص	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
شاخص IPVI	۰/۲۲	۰/۹۵	۰/۶۰۸	۰/۰۴۸
شاخصEVI	-۰/۳۴	۰/۹۹	۰/۱۶۱	۰/۰۷۲
شاخصSAVI	-۰/۳۴	۰/۷۵	۰/۱۵۳	۰/۰۶۳
شاخصLAI	۰	۳/۴۹	۰/۴۴۹	۰/۲۶۰
شاخصOSAVI	-۰/۳۹	۰/۸۳	۰/۱۹	۰/۰۸۴
شاخصNDVI	-۰/۳۴	۰/۷۵	۰/۲۲۵	۰/۱۰۰
شاخصNDBI	-۰/۵۲	۰/۷۹	۰/۰۶۵	۰/۰۶۲
شاخصGNDVI	-۰/۳۹	۰/۸۳	۰/۳۱	۰/۰۸۹



شکل ۳- نقشه شاخص‌های طیفی محاسبه شده



شکل ۴- نقشه شاخص‌های طیفی محاسبه شده

ضریب همبستگی پیرسون

ضریب همبستگی ابزاری آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه‌ی یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر است. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می دهد. محدوده این ضریب بین ۱ تا ۱- است و در صورت عدم رابطه بین دو متغیر، برابر صفر است.

ماتریس همبستگی شاخص‌های طیفی و کربن سطحی خاک

با توجه به ماتریس همبستگی بین کربن سطحی و شاخص‌های طیفی که در جدول۲ارائه شده است، مشخص شد که هیچگونه همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای مستقل (شاخص‌های طیفی) و متغیر وابسته (کربن آلی خاک سطحی) وجود ندارد.

جدول ۲-ماتریس همبستگی بین کربن سطحی و شاخص‌های طیفی

	کربن	IPVI	EVI	SAVI	LAI	OSAVI	NDVI	GNDVI	NDBI
کربن	۱								
IPVI	-۰/۲۴۵	۱							
EVI	-۰/۲۳۴	۰/۹۷۴**	۱						
SAVI	-۰/۲۰۷	۰/۹۸۲**	۰/۹۹۶**	۱					
LAI	-۰/۲۴۸	۰/۸۱۷**	۰/۸۴۷**	۰/۸۴۶**	۱				
OSAVI	-۰/۲۴۳	۰/۹۸۵**	۰/۹۷۰**	۰/۹۸۱**	۰/۸۲۳**	۱			

NDVI	-۰/۲۵۰	۰/۹۸۷**	۰/۹۵۷**	۰/۹۷۰**	۰/۸۱۶**	۰/۹۹۷**	۱	
GNDVI	-۰/۰۲۵	۰/۴۵۳*	۰/۴۷۰*	۰/۴۵۴*	۰/۳۵۱	۰/۳۱۷	۰/۳۱۱	۱
NDBI	۰/۲۳۷	-۰/۹۰۷**	-۰/۹۳۹**	-۰/۹۳۱**	-۰/۷۸۸**	-۰/۸۷۵**	-۰/۸۶۰**	-۰/۶۲۶**

*همبستگی در سطح ۵ درصد، ** همبستگی در سطح ۱ درصد

ماتریس همبستگی لگاریتم شاخص‌های طیفی و لگاریتم کربن سطحی خاک

با توجه به ماتریس همبستگی بین کربن سطحی و لگاریتم شاخص‌های طیفی که در ۳ارائه شده است، مشخص شد که هیچگونه همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای مستقل (لگاریتم شاخص‌های طیفی) و متغیر وابسته (لگاریتم کربن آلی خاک سطحی) وجود ندارد.

جدول ۳-ماتریس همبستگی بین لگاریتم کربن سطحی و لگاریتم شاخص‌های طیفی

	لگاریتم کربن	لگاریتم IPVI	لگاریتم EVI	لگاریتم SAVI	لگاریتم LAI	لگاریتم OSAVI	لگاریتم NDVI	لگاریتم GNDVI
لگاریتم کربن	۱							
لگاریتمIPVI	-۰/۲۵۶	۱						
لگاریتمEVI	-۰/۲۳۶	۰/۹۶۶**	۱					
لگاریتمSAVI	-۰/۲۱۱	۰/۹۶۹**	۰/۹۹۷**	۱				
لگاریتمLAI	-۰/۲۷۸	۰/۶۴۹**	۰/۷۵۰**	۰/۷۵۲**	۱			
لگاریتم OSAVI	-۰/۲۳۴	۰/۹۷۹**	۰/۹۸۵**	۰/۹۹۰**	۰/۷۳۷**	۱		
لگاریتم NDVI	۰/۲۵۱	۰/۹۸۵**	۰/۹۷۶**	۰/۹۸۰**	۰/۷۳۰**	۰/۹۹۶**	۱	
لگاریتم GNDVI	۰/۰۶۵	-۰/۰۳۷	-۰/۰۰۵	-۰/۰۲۱	-۰/۰۷۲	-۰/۱۱۷	-۰/۱۲۴	۱

** همبستگی در سطح ۱ درصد

۲۱-۴ماتریس همبستگی باندها و کربن سطحی خاک

با توجه به جدول ۴ مشخص شد که همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای مستقل شامل باند ۶ برابر با ۰/۴۵۳ و باند ۷ برابر با ۰/۴۳۵ و متغیر وابسته (کربن آلی خاک سطحی) وجود دارد که این همبستگی در سطح ۱ درصد معنی دار است.

جدول ۴-ماتریس همبستگی بین کربن سطحی و ارزش رقومی باندهای طیفی

	کربن	باند۱	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۷
کربن	۱							
باند۱	۰/۱۰۴	۱						
باند۲	۰/۱۹۹	۰/۱۳۲	۱					
باند۳	۰/۳۰۹	۰/۲۱۲	۰/۵۰۳*	۱				
باند۴	۰/۳۰۶	۰/۱۵۳	۰/۳۹۱	۰/۹۷۶**	۱			
باند۵	۰/۰۱۹	-۰/۴۰۱	۰/۲۹۲	۰/۰۳۸	-۰/۱۰۴	۱		

باند۶	۰/۴۵۳*	۰/۱۰۹	۰/۴۶۳*	۰/۸۹۷**	۰/۹۰۵**	۰/۰۲۸	۱	
باند۷	۰/۴۳۵*	۰/۰۶۷	۰/۳۸۴	۰/۸۶۹**	۰/۹۱۳**	-۰/۱۰۴	۰/۹۸۴**	۱

*همبستگی در سطح ۵ درصد، ** همبستگی در سطح ۱ درصد

۴-۲۲ ماتریس همبستگی لگاریتم باندها و لگاریتم کربن سطحی خاک

با توجه به جدول همبستگی پیرسون مشخص شد که همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای مستقل شامل لگاریتم باند ۶ برابر با ۰/۴۴۴ و لگاریتم باند ۷ برابر با ۰/۴۲۷ و متغیر وابسته (کربن آلی خاک سطحی) وجود دارد که این همبستگی در سطح ۱ درصد معنی دار است.

جدول ۵-ماتریس همبستگی بین لگاریتم کربن سطحی و لگاریتم ارزش‌های رقومی باندهای طیفی

	لگاریتم کربن	لگاریتم باند۱	لگاریتم باند۲	لگاریتم باند۳	لگاریتم باند۴	لگاریتم باند۵	لگاریتم باند۶	لگاریتم باند۷
کربن	**۱**							
لگاریتم باند۱	۰/۲۰۵	۱						
لگاریتم باند۲	۰/۵۵	۰/۴۱۸*	۱					
لگاریتم باند۳	۰/۲۹۰	۰/۹۴**	۰/۲۱۹	۱				
لگاریتم باند۴	۰/۲۹۱	۰/۸۹۷**	۰/۱۰۵	۰/۹۸**	۱			
لگاریتم باند۵	۰/۰۶۲	۰/۰۷۳	۰/۴۰۶	۰/۰۳۹	-۰/۰۹۵	۱		
لگاریتم باند۶	۰/۴۴۴*	۰/۸۱۵**	۰/۲۱۶	۰/۸۹۹**	۰/۹۰۳**	۰/۰۳۷	۱	
لگاریتم باند۷	۰/۴۲۷*	۰/۷۹۰**	۰/۱۲۷	۰/۸۷۸**	۰/۹۱۷**	-۰/۰۹۷	۰/۹۸۳**	۱

*همبستگی در سطح ۵ درصد، ** همبستگی در سطح ۱ درصد

برقراری روابط رگرسیونی بین کربن سطحی خاک و ارزش‌های طیفی

رگرسیون خطی چند متغیره به روش‌های همزمان، گام به گام، پس رونده و پیش رونده انجام شد. در این راستا متغیرهای مستقل شامل (شاخص‌های طیفی، لگاریتم شاخص‌های طیفی، باندهای طیفی، لگاریتم باندهای طیفی، ترکیب شاخص‌ها و باندهای طیفی و ترکیب لگاریتم شاخص‌ها و لگاریتم باندهای طیفی) به منظور پیش‌بینی متغیر وابسته (کربن سطحی خاک) به کار برده شدند. براساس نتایج، فقط مدل رگرسیون چند متغیره پس رونده، در دو حالت معنی دار شد. ۱- زمانی که لگاریتم باندهای ۴ و ۶ به عنوان متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی متغیر وابسته (کربن سطحی خاک) استفاده شد و ۲- زمانی که فقط لگاریتم باند ۶ بعنوان متغیر مستقل بکار گرفته شد. در سایر حالت ها مدل رگرسیون معنا داری حاصل نشد. نتایج حاصل از مدل های رگرسیون معنی دار مذکور در جدول ۶ارائه شده است. در این جدول مقدار R شدت همبستگی بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته را نشان می‌دهد. مقدار R2 نیز نشان می دهد که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته می تواند توسط متغیرهای مستقل تبیین شود.

جدول ۶-خصوصیات مدل‌های رگرسیونی بهینه چند متغیره برازش داده شده

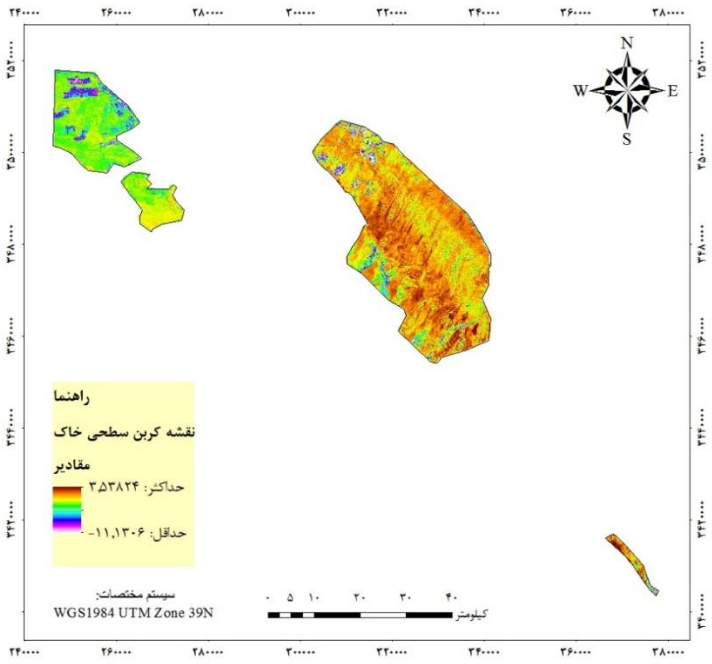
	مدل	R	R^2	F	Sig
لگاریتم باند۴و۶	پس رونده	۰/۵۱۰	۰/۲۶۰	۳/۵۱۱	۰/۰۴۹
لگاریتم باند۶	پس رونده	۰/۴۵	۰/۱۹۸	۵/۱۹۹	۰/۰۳۳

با توجه به اینکه در مدل رگرسیونی با دو متغیر (لگاریتم باند ۴ و لگاریتم باند ۶)، نتایج بالاتری برای پارامترهای مدلسازی به دست آمد، معادله رگرسیونی زیر جهت برآورد کربن آلی سطحی خاک با استفاده از متغیرهای مستقل ارائه می شود.

SOC=۱/۵۵۶ +۵/۲۵۸ Logband6-۱/۹۹۶Logband4

برآورد کربن سطحی خاک با داده های سنجش از دور

در این مرحله در محیط نرم افزار ARC GIS با استفاده از ابزار raster calculator معادله رگرسیون بدست آمده بر لگاریتم باندهای ۴ و ۶ اعمال شد و نقشه کربن آلی سطحی خاک برای منطقه مطالعاتی حاصل شد که در شکل ۵ارائه شده است.



شکل ۵- نقشه کربن سطحی خاک

مقادیر ضریب همبستگی (R) ۰/۵۱ و ضریب تعیین (R^2) ۰/۲۶ برای نقشه بدست آمده نشان دهنده این است که تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه نتوانسته‌اند مقدار کربن آلی خاک سطحی را با دقت بالایی برآورد کنند. این یافته با نتایج برخی محققین همخوانی دارد. اینگلبی و همکاران (۱۹۹۹) به بررسی ارتباط بین انعکاس طیفی و ماده آلی خاک در ۵ منطقه از اراضی ساسکاچوان کانادا پرداخته و به هیچ گونه مدل مناسبی که ارتباط بین این دو گزینه را نشان دهد دست نیافتند و گزارش کردند که احتمالا متغیرهای دیگری علاوه بر کربن در انعکاس‌های طیفی در محدوده مورد مطالعه دخیل بوده‌اند. دموته و همکاران (۲۰۰۳) تاثیر ماده آلی را بر انعکاس طیفی در خاک‌های مختلف حاره‌ای مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که بین ماده آلی سطحی خاک و انعکاس طیفی آن رابطه معکوسی وجود دارد. مختاری و همکاران (۱۳۷۹) همبستگی مناسبی را بین درصد خاک لخت با شاخص‌های گیاهی مورد آزمون به دست نیاورد که علت آن را تحت تأثیر قرار گرفتن خاک بدون پوشش به عوامل مختلفی به خصوص جنس سازند، ماهیت مواد مادری و درصد تاج پوشش گیاهی بیان کردند. قائمی و همکاران (۱۳۹۰) با مطالعه کربن آلی خاک منطقه نیشابور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با هدف دستیابی به مدلی مناسب و بررسی رابطه آن با خصوصیات خاک از طریق تجزیه و تحلیل رقومی ارزش‌های طیفی تصویر نشان دادند که انعکاس حاصل از کربن آلی خاک به دلیل مقدار کمتر از دو درصد ناچیز بوده و بنابراین مدل

حاصل از داده‌های زمینی برای تخمین قابل قبولی از آن مورد سنجش قرار گرفت. در تحقیقی دیگر عطائیان و همکاران (۱۳۹۶) ارتباط بین انعکاس‌های طیفی خاک با استفاده از داده‌های ماهواره لندست در دشت گیان نهاوند را بررسی و گزارش کردند که شاخص‌های پوشش گیاهی RAI، DVI و NDVI با مقدار کربن آلی سطحی خاک همبستگی خطی معنی داری درسطح احتمال ۵٪ دارند. این محققین با برازش انواع رگرسیون‌های چند متغیره بدون حذف داده‌های پرت گزارش کردند که مدل رگرسیونی به روش همزمان شامل لگاریتم تمام باندها (به عنوان متغیر مستقل) با ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین (R2) به ترتیب ۰/۵۶۸ و ۰/۲ و مدل رگرسیون به روش پیش رونده شامل لگاریتم شاخص DVI (به عنوان متغیر مستقل) با ضریب همبستگی (R) و ضریب تعیین (R2) به ترتیب برابر با ۰/۳۳۶ و ۰/۰۹۴در سطح اطمینان ۵٪ معنادار شده است. این محققین بیان نمودند که داده‌های طیفی ماهواره‌ای قابلیت برآورد کربن آلی سطحی خاک را در شرایط منطقه تا حدودی دارا نمی‌باشد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

در مورد اطلاعات طیفی خاک نظریات متفاوتی وجود دارد. فرایزر و چین (۱۹۸۹) نسبت مادون قرمز به باند قرمز را به عنوان ترکیبی مناسب در تعیین مقدار مواد آلی با روش داده‌های طیفی معرفی کرده‌اند. کلارک (۱۹۹۰) بیان نمود که تحت شرایط آزمایشگاهی، اطلاعات طیفی محدوده‌های مرئی، قرمز و مادون قرمز توانایی تشخیص خصوصیات خاک، پوشش گیاهی، سنگ وسنگریزه و مواد معدنی را دارا هستند (کلارک، ۱۹۹۰). از طرف دیگر بن-دور و بنین (۱۹۹۴) اذعان داشته‌اند به علت اینکه خاک سیستم پیچیده‌ای است، خصوصیات خاک را از طریق انعکاس طیفی حتی تحت شرایط آزمایشگاهی به آسانی و به طور مستقیم قابل برآورد و اندازه‌گیری نیستند. ری و همکاران (۲۰۰۴) گزارش نمودند که در صورتی که میزان ماده آلی در خاک از ۲ درصد بیش‌تر باشد، می‌تواند به عنوان یک فاکتور غالب در تعیین رفتار طیفی خاک موثر باشد. در غیر صورت، الگوهای انعکاسی به شدت تحت تأثیر سایر خصوصیات خاک خواهند بود. دلیل این نتایج ضد و نقیض را می‌توان به عوامل زیادی از جمله شرایط منطقه مورد مطالعه از نظر میزان مواد آلی و توزیع مکانی آن، وضعیت پوشش گیاهی مواد معدنی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین به مواد و روش‌های بکار گرفته شده نسبت داد.

در این پژوهش، امکان بررسی تغییرات مکانی و برآورد تخمین کربن سطحی خاک با استفاده از داده‌های لندست ۸ با دقت قابل قبول فراهم نشد. در منطقه مطالعاتی مقادیر کربن سطحی خاک کم بوده و نمی‌تواند به عنوان فاکتوری غالب بر رفتار طیفی خاک در نظر گرفته شود. در این حالت به دلیل تعامل خصوصیات خاک با سایر پدیده‌ها، انعکاس طیفی خاک تحت تأثیر سایر پدیده‌ها بوده و نمی‌تواند تنها به کربن سطحی خاک نسبت داده شود. خصوصیات تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (توان تفکیک مکانی ۳۰ متری، توان تفکیک طیفی) نیز می‌تواند بر نتایج حاصل از تخمین کربن سطحی خاک تأثیر بگذارد. این مسائل مطالعه خصوصیات خاک و برآورد کربن سطحی خاک در منطقه مطالعاتی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ را محدود می‌کند.

نتیجه گیری

در پژوهش‌های آینده به منظور افزایش دقت پیش‌بینی کربن سطحی خاک از تصاویر سنجنده‌های مختلف و در دسترس مانند Sentinel۲، IRS-AWIFSو تصاویر ابر طیفی هایپریون استفاده شود تا بتوان بهترین سنجنده را برای مطالعات کربن سطحی خاک معرفی نمود.به منظور اندازه‌گیری بازتاب طیفی خاک سطحی از روش طیف سنجی مرئی-مادون قرمز نزدیک استفاده شود.

منابع

۱-علوی پناه، س. ک.، رفیعی امام، ع.، حسینی، س. ز.، و جعفر بیگلو، م. ۱۳۸۵. بررسی تغییر پذیری طیفی پدیدههای مختلف پوشش گیاهی و آب با استفاده از سنجش از دور .مجله پژوهش های جغرافیایی،(۵۵)، ۹۷-۸۱.

۲- مختاری، احمد، فیض نیا، سادات، احمدی، حسن، خواجه الدین، سید جمال الدین، رهنما، فیض اله. کاربرد سنجش از دور در تهیه لایه های اطلاعاتی کاربری اراضی و پوشش سطح زمین در مدل فرسایش خاکMPSIAC . بهار۱۳۷۹، دوره ۱۳، شماره ۱، ص ۸۲-۸۷.

3. Liu D, Castle NG, Diesel J. Does use of advanced information technology in commercial minimum data set systems improve quality of nursing home care? Am J Med Qual. 201۲;25(2):116-27.

4. Karami, E., Ghorbani Dashtaki, S., Khalilimoghadam, B. 2018. Effects of land management on soil erodibility-A case study in part of Zayandeh-Rood watershed. Journal of Agricultural Engineering, 40: 105-119.

5. Khalil Moghadam, B., Afyuni, M., Jalalian, A., Abbaspour, K., & Dehghani, A. 2011. Estimation of soil shear strength using transfer and soil spatial prediction functions. Journal of Water and Soil, 187-195.

6. Khalilimoghadam, B., Bagheri Bodaghabadi, M. 2020. Factors influencing the relative recovery rate of dunes fixed under different sand-fixing measures in southwest Iran, Catena: 194: 104706.

7. Lal, R. 2003. Soil erosion and the global carbon budget. Environment International 29(4):437–450

8. Haj Abasi M. 2008, sustainable use on soil and water in tropical area. Mashhad press, 103 p

9. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.

Estimation of Organic Carbon Storage by Remote Sensing in the Stabilized Sand Dune Ecosystem in Khuzestan Province

Khalilimoghadam Bijan[1], Jalili Sohila [2], Moazemi Mohammad[3]

1. Associate Professor of Soil Science Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
2. Graduated Student of Soil Science Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
3. Assistant Professor of Nature Engineering Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

Abstract

The purpose of this study is to measure carbon storage in stabilized sand dune ecosystems using remote sensing. For this purpose, stablized dunes were sampled from depths of 3-0, 10-3 and 10-40 in periods of 5 to 50 years after oil mulching and biological control. Organic carbon parameters, carbon storage and carbon management of these lands have been measured. Then, the amount of these parameters was estimated using the Landsat 8 satellite OLI sensor. The results of this study show that in the stabilized sand ecosystem, due to vegetation restoration, the amount of organic carbon and soil organic carbon storage increased. The results of Pearson correlation between surface carbon of sands and bands (1-7) of Landsat 8 satellite OLI sensor showed that there was a significant correlation at the 1% level between band 6 (0.453) and band 7 (0.435) with surface organic carbon.

Keywords: Remote Sensing, Mulch, Organic Carbon Management

اعتبارسنجی مدل RothC با بررسی پویایی بلندمدت ذخیره کربن آلی در اراضی زراعی

[۱]صبا باقریفام، *محمد امیر دلاور[۲]، پیمان کشاورز[۳] و پرویز کرمی[۴]

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زنجان amir-delavar@znu.ac.ir

[۱] دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه زنجان. [۳] دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، [۴] استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کردستان

چکیده:

مدل RothC از معتبرترین و پرکاربردترین مدل‌های مطالعات کربن است که امکان پیش‌بینی روند تغییرات ذخایر کربن آلی خاک را تحت شرایط کنونی و یا تغییر شرایط (با تغییر برخی عوامل اثرگذار بر میزان کربن آلی خاک) میسر می‌سازد. از میان این عوامل، مدیریت اراضی به‌عنوان مهم‌ترین عامل انسانی قابل کنترل شناخته می‌شود. بنابراین داشتن ابزاری که بتواند نتایج حاصل از تغییرات مدیریتی را، سالها قبل از وقوع آن مشخص سازد؛ بسیار راهگشا است. لذا در این تحقیق با استفاده از داده‌های بلندمدت سالانه (۲۵-۱۰ سال)، به راستی آزمایی مدل RothC در ۷ منطقه از اراضی کشاورزی شهرستان جوین در خراسان رضوی، پرداخته شد. با مقایسه بین مقادیر کربن آلی خاک اندازه‌گیری شده در مناطق مطالعاتی و مقادیر شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل، ضریب تبیین (R^2) بین ۰/۷۰ تا ۰/۹۸، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بین ۱/۱۲ تا ۲/۷۳، تفاوت میانگین (MD) بین ۱/۶۸- تا ۰/۴۷، میانگین مطلق خطا (MAE) بین ۰/۹۲ تا ۲/۵۶ و کارایی مدل (EF) بین ۰/۵۰ تا ۰/۹۴ به‌دست آمد؛ که این نتایج بیانگر اعتبار و قابلیت مدل برای به‌کارگیری در بوم‌نظام‌های زراعی نیمه‌خشک و سرد خراسان رضوی است.

واژگان کلیدی: اعتبارسنجی مدل روتامستد، کربن آلی خاک

مقدمه:

پیش‌بینی روند تغییرات ذخایر کربن آلی خاک، گامی بلند در جهت دستیابی به مدیریت پایدار خاک، امنیت غذایی و تعدیل تغییرات اقلیمی است. که این مسئله به دلیل سهم بالقوه کربن آلی خاک در جلوگیری از انتشار کربن دی اکسید و گرمایش زیست کره از یک سوی و از سوی دیگر نقش کلیدی آن در حفظ کیفیت، سلامت و حاصلخیزی خاک است. مدل‌سازی ابزاری است که به کمک آن می‌توان تغییرات کربن آلی خاک را سالها قبل از وقوع آن شناسایی و برای پیشبرد یا مهار آن عملیات مدیریتی مناسب را اتخاذ نمود. انتظار می‌رود مدل‌ها برای انواع کاربری‌ها در خاک‌های مختلف و در شرایط اقلیمی متفاوت، با شیوه‌های مختلف مدیریتی (به‌عنوان مثال در اراضی زراعی با استفاده از روش‌های مختلف خاک‌ورزی، تناوب محصول و افزودن کود) برآوردهای قابل اطمینانی از میزان ذخایر کربن آلی خاک ارائه دهند (منزونی و پورپوراتو، ۲۰۰۹). البته بسته به نوع کاربری اراضی، مؤلفه‌های ورودی مدل‌ها و نیز اهداف مطالعه، بیش از ۲۲۰ مدل برای بررسی کربن آلی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این بین مدل‌های CENTURY، RothC، DNDC، EPIC، DDSAT، DAYSENT، DAISY، LPJ، INCA، CASA، CANDY،ECOSYS، Verbene، Struc-C، SOMM، Socrates، ITE و SOILN به‌ترتیب بیشترین استناد (۱۰ مدل اول، حداقل ۵۰ استناد) را در مطالعات پژوهشگران مختلف به خود اختصاص داده‌اند (کمبل و پازتین، ۲۰۱۵). علاوه بر این، مدل‌های RothC و CENTURY برای شبیه سازی دینامیک ماده آلی خاک در اراضی کشاورزی بیشترین استفاده را دارند (ویاد و همکاران، ۲۰۱۰). مدل RothC ابتدا به کمک نتایج حاصل از پایش بلندمدت قدیمی‌ترین کرت ثابت جهان، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی روتامستد انگلستان (که از سال ۱۸۳۴ بر روی گندم شروع شده و همچنان ادامه دارد)؛ برای بررسی گردش کربن آلی خاک در اراضی زراعی طراحی شد. ولی پس از آن، برای استفاده در مراتع و جنگل‌ها نیز توسعه یافت و تاکنون در بسیاری از نقاط جهان در

مقیاس منطقه ای و ملی مورد راستی آزمایی و بازنگری قرار گرفته است. لی و همکاران (۲۰۱۶) از مدل RothC برای ارزیابی پویایی بلندمدت ذخیره و ترسیب کربن آلی در زمین های زیر کشت گندم و ذرت در شمال چین استفاده کردند؛ نتایج بیانگر آن بود که چنانچه مدل بر اساس ورودی‌های حاصل از اندازهگیری‌های میدانی اجرا شود (و نه بر اساس محاسبات تخمینی)، برآوردهای مدل بسیار مبتنی بر واقعیت خواهند بود. پژوهشگران متعددی با بررسی ضریب های درونی مدل و کالیبراسیون آن در مناطق مورد مطالعه شان به ارتقا و گسترش کاربری این مدل افزوده اند. شیراتو و یوکوزاوا (۲۰۰۶) با بررسی ضریب تجزیه پوشش گیاهی مدل برای ۱۵ گونه پوشش گیاهی متفاوت از اراضی زراعی، چمنزارها و جنگل‌های ژاپن به کالیبراسیون مدل پرداختند. شیراتو و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه دیگری در اراضی کشاورزی نواحی گرمسیری ژاپن که ۲۸ سال زیر کشت بودند به کالیبراسیون ذخایر کربن آلی برآوردی مدل پرداختند. بارانسیکوا و همکاران (۲۰۱۰) در مناطق وسیعی از اسلواکی که ۳۵ سال کاربری زراعی داشتن؛ همچنین هربست و همکاران (۲۰۱۸) در ۵۴ منطقه از آلمان و ۵ منطقه از انگلستان که بیش از ۵۰ سال کاربری زراعی داشتند مدل را مورد بازنگری و اعتبارسنجی قرار دادند.

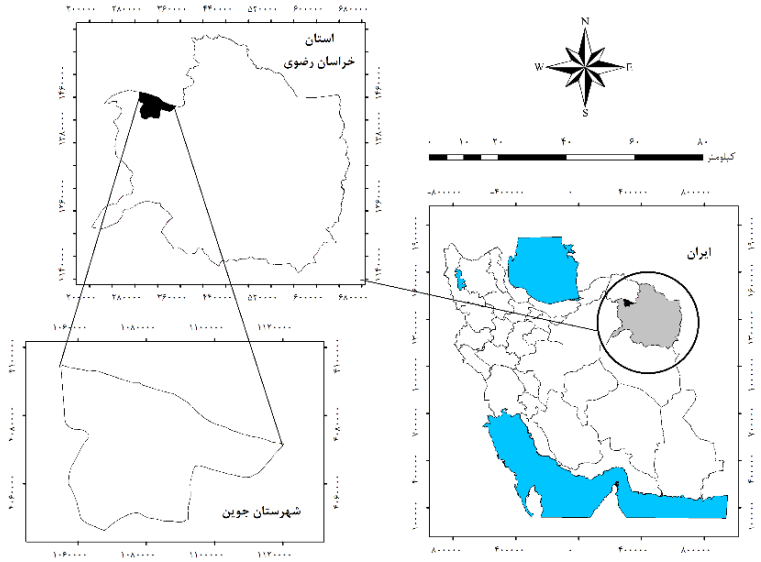
در ایران مطالعات اندکی بر روی مدل روتامستد (RothC) صورت گرفته که آن هم بیشتر در مراتع (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۲؛ آزاد و همکاران، ۱۳۹۸) و جنگل‌های ایران (سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۷) بوده است. اما مستنداتی در زمینه اعتبارسنجی مدل در اراضی کشاورزی ایران مشاهده نشد. همچنین غالبا برای اعتبارسنجی مدل از مقایسات ماهانه استفاده شده است؛ که به‌دلیل کند و تدریجی بودن تغییرات خاک، در مدت زمان کم اصولا تغییر چندانی در ویژگی‌های مورد بررسی خاک مشاهده نمی‌شود و این مسئله می‌تواند منجر به برآوردی بهتر از واقعیت در رابطه با اعتبار مدل شود. طبق سند چشم‌انداز ۱۴۰۴، وزارت جهاد کشاورزی موظف به اندیشیدن تمهیدات لازم در راستای افزایش میزان ماده آلی خاک‌های کشاورزی تا یک درصد شده است؛ اما سؤال اساسی این است که ذخیره فعلی کربن آلی و ظرفیت خاک‌های ایران برای افزایش مقدار این شاخص کلیدی کیفیت خاک چقدر است (باقری‌فام و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعه پیش رو با اندیشه اقدامی در این راستا، به بررسی و اعتبار سنجی مدل RothC در اراضی کشاورزی اقلیم نیمه‌خشک و سرد استان خراسان رضوی پرداخته است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان جوین در فاصله ۷۵ کیلومتری سبزوار در شمال غربی استان خراسان رضوی، با مساحتی حدود ۱۶۵۶۰۵ کیلومتر مربع، در محدودهٔ تقریبی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۱۱۰۰ متر می‌باشد. بر اساس آمار بلند مدت ایستگاه هواشناسی منطقه مطالعاتی، میانگین دمای سالانه ۱۶/۵۳ سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۲۱۰/۲۴ میلی‌متر و میانگین تبخیر سالانه ۱۰۵۷/۱ میلی‌متر است. شهرستان جوین به‌علت واقع شدن بین ارتفاعات آلاداغ در شمال و کوه‌های جغتای در جنوب از نظر آب و هوا از دیگر شهرستانهای اطراف تا حدودی متمایز گردیده است و اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن نیمه‌خشک سرد می‌باشد. الگوی کشت در هر منطقه براساس شرایط آب و هوایی، نوع خاک و میزان آب قابل دسترس متفاوت می‌باشد. اما عمده زراعت منطقه کشت آبی با منبع تامین آب از چاه می‌باشد. گیاهان زراعی غالب نیز شامل گندم، جو، ذرت، چغندرقند، یونجه، هندوانه، خربزه، پنبه و کلزا است که در تناوب‌های رایج منطقه کشت می‌شوند. متوسط میزان مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی نیز ۲۵۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم،۱۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل، کود گاوی ۲۰ تن در هکتار و کود مرغی ۵ تن در هکتار (در بعضی سال‌ها) است. بافت غالب خاک در عمق ۳۰ سانتی متری لومی شنی بوده و جهت انجام عملیات

خاک‌ورزی از شخم، دیسک و لولر زدن استفاده می‌شود. با عنایت به اینکه، موارد ذکر شده هریک به طریقی از مولفه‌های ورودی مدل RothC محسوب می‌شوند؛ جهت راه‌اندازی و اجرای مدل در اراضی زراعی می‌بایست از آن‌ها مطلع بود.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی (شهرستان جوین در استان خراسان رضوی)

برای ورودی‌های مدل در بخش اطلاعات خاک نیز مطالعات ملی و منطقه ای انجام شده در منطقه جوین با همکاری مرکز تحقیقات خاک و آب استان خراسان رضوی گردآوری شد که شامل طرح محوری چغندرقند (۱۳۷۳)، طرح محوری گندم (۱۳۷۴)، توصیه کودی (۱۳۷۵)، طرح شناسایی و انتخاب هدفمند مکانهای مطالعاتی در خاک‌های تحت کشت گندم (۱۳۸۳)، پایش سراسری اراضی کشاورزی مرحله اول (۱۳۸۹) و پایش سراسری اراضی کشاورزی مرحله دوم (۱۳۹۹) که هم‌راستا با این مطالعه و جهت اعتبارسنجی مدل صورت پذیرفت؛ می‌باشد. در نهایت ۱۰۸ نمونه که معیارهای ورود به مطالعه را داشته و حاوی اطلاعات کامل مورد نیاز بودند، برای انجام مطالعه تعیین شدند و در ۷ منطقه مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱).

ساختار مدل RothC به‌گونه‌ای است که در آن کربن آلی خاک به ۵ جزء تقسیم می‌شود. چهار جزء فعال و مقدار کمی جزء غیرفعال. چهار جزء فعال عبارتند از: مواد گیاهی تجزیه‌پذیر (DPM[1])، مواد گیاهی مقاوم به تجزیه (RPM[2])، زیست توده میکروبی (BIO[3]) و مواد آلی هوموسی‌شده (HUM[4]). جزء غیرفعال هم که سن رادیوکربنی آن بیش از ۵۰۰۰۰ سال است؛ از نظر بیولوژیکی فعال نبوده و به‌عنوان ماده آلی بی‌اثر (IOM[5]) شناخته می‌شود (دیل و همکاران، ۲۰۲۱).

برای راه‌اندازی مدل، پس از اندازه‌گیری میزان کربن آلی خاک (SOC)، ذخیره کربن آلی اولیه خاک (TOC) از معادله (۱) محاسبه می‌شود. سپس مقدار IOM با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود (کولمن و جنکینسن، ۲۰۱۴).

معادله ۱: $$TOC\ (t\ ha^{-1}) = \%SOC\ (g\ 100^{-1} g^{-1}) \times BD\ (g\ cm^{-3}) \times D\ (cm)$$

معادله ۲: $$IOM = 0.049\ TOC^{\ 1.139}$$

1- Decomposable Plant Material
2- Resistant Plant Material
3- Microbial Biomass
4- Humified Organic Matter
5- Inert Organic Matter

جدول ۱- اطلاعات ورودی مدل RothC در منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی	مولفه های ورودی	نوع داده ها
اطلاعات ایستگاه هواشناسی منطقه مطالعاتی از سازمان هواشناسی کشور تهیه و آمار بلندمدت (۲۰۲۰-۱۹۵۵) و آمار سال‌های مورد نیاز محاسبه شد (مجموع تبخیر ماهانه ماه‌های ناموجود نیز از روش تورنت‌وایت محاسبه شد.)	میانگین ماهانه دما (سانتی‌گراد) میانگین ماهانه بارش (میلی‌متر) میانگین ماهانه تبخیر (میلی‌متر)	اطلاعات هواشناسی
بر اساس اطلاعات میدانی جمع آوری شده، عمده تناوب های منطقه: ذرت/ گندم/ هندوانه/ خربزه و چغندر قند/ هندوانه/ گندم و یونجه/ هندوانه/ گندم می‌باشد که به‌طور متوسط در مناطق مطالعاتی عملکرد گندم ۵، چغندرقند ۵۵، یونجه ۲۰، هندوانه ۳۰ و خربزه ۲۵ تن در هکتار می‌باشد. از این اطلاعات برای محاسبه کربن ورودی بقایا استفاده شد. فاکتور کیفیت بقایا برای اراضی کشاورزی ۱/۴۴ در نظر گرفته می‌شود (کولمن و جنکینسن، ۲۰۱۴)	تناوب و عملکرد اراضی وضعیت پوشش و آیش زمین میزان کربن ورودی از طریق بقایای گیاهی (تن در هکتار) میزان کربن ورودی از کودهای مصرفی (تن در هکتار) فاکتور کیفیت بقایا (نسبت DPM/RPM)	اطلاعات مدیریت اراضی
عمق نمونه‌برداری برای تمام نمونه‌ها ۳۰ سانتی‌متر بود. توزیع اندازه ذرات خاک از روش هیدرومتر، کربن آلی خاک به‌روش اکسیداسیون‌تر و جرم مخصوص ظاهری به‌روش سیلندر (برت، ۲۰۰۴) اندازه‌گیری شدند. مقادیر TOC و IOM هم به‌ترتیب با استفاده از معادله (۱) و (۲) محاسبه شدند.	عمق نمونه‌برداری (D) (سانتی‌متر) مقدار رس خاک (گرم بر صد گرم) جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) ذخیره کربن آلی کل اولیه خاک (TOC) و ماده آلی پایدار (IOM) (تن در هکتار)	اطلاعات خاک

نتایج و بحث

اعتبارسنجی مدل

جهت اعتبارسنجی مدل، مقادیر ذخیره کربن آلی خاک اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل، مقایسه می‌شوند. شاخص‌های آماری مورد استفاده در مقایسات شامل ضریب تبیین (R^2[1])، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE[2])، میانگین مطلق خطا (MAE[3])، تفاوت میانگین (MD[4]) و شاخص کارایی مدل (EF[5]) می‌باشند (اسمیت و اسمیت، ۲۰۰۷).

ضریب تبیین (R^2): مقداری از سهم واریانس کل داده‌های مشاهده شده است که به‌وسیله داده‌های شبیه سازی شده توضیح داده می‌شود و ضریب تبیین بالاتر از ۶۰ درصد، بیانگر اعتبار مدل برای استفاده است. چنانچه Oi بیانگر مقادیر مشاهده شده، Si مقادیر شبیه سازی شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده شده، $\hat{S}$ میانگین مقادیر شبیه سازی شده و n تعداد مشاهدات باشد، ضریب تبیین از معادله (۳) به‌دست می‌آید.

معادله ۳:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(Si-\bar{O})(Oi-\bar{O})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(Si-\hat{S})^2 \quad \sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})^2}$$

ضریب تبیین در مناطق مورد بررسی بین ۰/۶۹۸ تا ۰/۹۷۷ بود که نشان دهنده رابطه خطی معنی دار بین این دو مقدار و برازش مناسب مدل است. فلاحی و همکاران (۱۳۹۲) ضریب تبیین مدل در اراضی مرتعی خراسان جنوبی را ۰/۹۸ و سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷) در مناطقی از جنگل‌های هیرکانی مازندران بین ۰/۶۳۶ تا ۰/۹۰۹ به‌دست آوردند.

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE): چنانچه کمتر از ۱۰ باشد مدل پیش‌بینی قابل قبولی داشته است (معادله ۴).

1-Coefficient of determination
2-Root Mean Square Error
3-Mean Absolute Error
4-Mean Difference
5-Model Efficiency

معادله ۴:
$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \quad \sum_{i=1}^{n}(Si - Oi)^2\right]^{\frac{1}{2}}$$

RMSE برای مناطق مورد بررسی بین ۱/۱۱۷ تا ۲/۷۳۲ محاسبه شد که موید اعتبار قابل قبول مدل است. آزاد و همکاران (۱۳۹۸) در اراضی مرتعی باجگاه استان فارس مقدار این شاخص را ۴/۲۹ و سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷) در اراضی جنگلی مورد مطالعه شان بین ۱/۷۹ تا ۴/۲۲ محاسبه کردند.

میانگین مطلق خطا (MAE): تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد (معادله ۵).

معادله ۵:
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|Oi-Si|}{n}$$

مقدار شاخص MAE در اراضی زراعی مورد مطالعه بین ۰/۹۲۴ تا ۲/۵۶۳ محاسبه شد. سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷) مقادیر بین ۱/۶۲ تا ۲/۹۲ را گزارش کردند.

تفاوت میانگین (MD): هرقدر این شاخص به صفر نزدیک باشد خطای کم بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش بینی شده را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر مثبت نشان‌دهنده کم برآوردی مدل و مقادیر منفی نشانگر بیش برآوردی مدل می‌باشند.

معادله ۶:
$$MD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi-Si)}{n}$$

MD در این مطالعه بین ۱/۶۷۸- تا ۰/۴۶۹ به‌دست آمد. فارینا و همکاران (۲۰۱۳) در اراضی زراعی ایتالیا مقدار MD را بین ۱/۱۳ تا ۴/۱۷ محاسبه کردند. آزاد و همکاران (۱۳۹۸) در اراضی مرتعی مقدار این شاخص را ۰/۹۲ گزارش کردند.

شاخص کارایی مدل (EF): هرچه این شاخص به یک نزدیکتر باشد، بیانگر عملکرد بهتر مدل است (معادله ۷).

معادله ۷:
$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})^2 \quad -\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})^2}$$

EF در اراضی مورد مطالعه بین ۰/۵۰۸ تا ۰/۹۴۳ محاسبه شد. فارینا و همکاران (۲۰۱۳) مقدار این شاخص را بین ۰/۱ تا ۰/۷۱ گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه بیانگر قابلیت به‌کارگیری مدل RothC در اراضی زراعی اقلیم نیمه‌خشک و سرد خراسان رضوی با ضریب اطمینان بالا است. به‌طوریکه در هر ۷ منطقه مورد مطالعه مقادیر اندازه‌گیری شده کربن آلی خاک با مقادیر شبیه سازی شده توسط مدل همخوانی قابل قبولی داشتند که نتایج شاخص‌های آماری نیز موید این موضوع می‌باشد.

تشکر و قدردانی:

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق با همکاری بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شده است که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع:

آزاد، ب و افضلی، ف. (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی دو مدل کربن خاک با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در مراتع نیمه‌خشک باجگاه، استان فارس. تحقیقات آب و خاک. ۵۰: (۴). ۸۳۵-۸۲۰.

باقری‌فام، ص. دلاور، م. کشاورز، پ. کریمی، ع. (۱۳۹۹). مروری بر روش‌های اندازه‌گیری کربن خاک: ملاحظات تجربی، مزایا و معایب. مدیریت خاک و تولید پایدار. ۱۰: (۴). ۳۰-۱.

فلاحی، ج. رضوانی مقدم، پ. نصیری محلاتی، م. بهدانی، م. (۱۳۹۲). تعیین اعتبار مدل RothC جهت برآورد توان ترسیب کربن خاک بوم‌نظام بازسازی شده، دو سناریوی اقلیمی متفاوت. نشریه آب و خاک. ۲۷ (۳). ۶۶۸-۶۵۶.

Barancikova, G., Halas, J., Guttekova, M., Makovnikova, J., Navakova, M., Skalsky R., Tarasovicova, Z. (2010). Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on agricultural soils of Slovakia. Soil and Water Research. 5(1): 1–9.

Burt, R. (Ed.). (2004). Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 4.0, USDA-NRCS, Lincoln, Nebraska. 700 pp.

Campbell, E. and Paustian, K. (2015). Current developments in soil organic matter modeling and the expansion of model applications: a review. *Environmental research letters* 10: 123004.1-36.

Coleman K., and Jenkinson D.S. (2014). RothC-26.3: A model for the turnover of carbon in soil, Model description and windows users guide. Rothamsted Research Harpenden Herts. 47 pp.

Diele, F., Marangi, C., Martiradonna, A. (2021). Non-Standard discrete RothC models for soil carbon dynamics. Axioms.10: (56). 1-26.

Farina, R., Coleman, K., Whitmore, A. (2013). Modification of the RothC model for simulations of soil organic C dynamics in dryland regions. Geoderma. 200-201: 18-30.

Herbst, M., Welp, G., Macdonald, A. J., Jate, M., Hädicke, A., Scherer, H., Gaiser, T., Herrmann, F., Amelung, W., Vanderborght, J. (2018). Correspondence of measured soil carbon fractions and RothC pools for equilibrium and non-equilibrium states. Geoderma. 314: 37-46.

Li, S., Li, J., Li, Ch., Huang, S., Li, X., Li, S., Ma, Y. (2016). Testing the RothC and DNDC models against long-term dynamics of soil organic carbon stock observed at cropping field soils in North China. *Soil and Tillage Research*. 163: 290-297.

Manzoni, S. and Porporato, A. (2009). Soil carbon and nitrogen mineralization: theory and models across scales. *Soil Biology and Biochemistry*. 41:1355–1379.

Shirato Y., and Yokozawa M. (2006). Acid hydrolysis to partition plant material into decomposable and resistant fractions for use in the Rotamsted carbon model. Soil biology and biochemistry. 38:812-816.

Shirato. Y., Paisancharoen. K., Sangtong. P., Nakviro, C. (2013). Deviations between observed and RothC simulated ^{14}C values despite improved IOM initialization. European journal of soil science.64: 576-585.

Smith, J. and Smith, P. (2007). Environmental Modelling. An Introduction. Oxford University .179 pp.

Soleimani, A., Hosseini, M., Bavani, A., jafari, M., Francaviglia, R. (2017). Simulating soil organic carbon stock as affected by land cover change and climate change, Hyrcanian forests (northern Iran). Science of the Total Environment. 599-600: 1646-1657.

Viaud, V., Angers, D.A., Walter, C. (2010). Towards landscape-scale modeling of soil organic matter dynamics in agroecosystems. *Soil Science Society America*. 74: 1–14.

RothC model validation by testing long-term dynamics of soil organic carbon stock in arable lands

S. Bagherifam[1], [*]M. A. Delavar[2], P. Keshavarz[3] and P, Karami[4]

[1] and [2], respectively, PhD student and Associate Prof., Dept. of Soil Science, University of Zanjan, [3] Associate Prof., Soil and Water Research Institute, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research Center, [4] Assistant Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources Engineering, University of Kurdistan

Abstract

The RothC model is one of the most reliable carbon models that widely used in studies. The model makes it possible to predict the trend of changes in soil organic carbon stocks under current conditions or changes in conditions (by changing some factors affecting the amount of SOC). Land management is recognized as the most important controllable human factor among the factors affecting SOC changes. So it's very helpful to have a tool that can predict the consequences of managerial change, years before it occurs. Therefore, using long-term annual data (10-25 years), the RothC model was tested in 7 regions of Joveyn agricultural lands in Khorasan Razavi. Comparing the measured values of soil organic carbon and the simulated values by the model, the coefficient of determination (R^2) between 0.70 to 0.98, root mean square error (RMSE) between 1.12 and 2.73, mean difference (MD) between -1.68 to 0.47, mean absolute error (MAE) between 0.92 to 2.56 and model efficiency (EF) between 0.50 and 0.94 were observed. These results indicate the validity and usability of the model for semi-arid and cold agricultural ecosystems of Khorasan Razavi.

Keywords: Rotamsted model validation, soil organic carbon

اهمیت اطلاعات تشریح خاک‌رخ در تعیین روابط بین ویژگی‌های مختلف خاک، مطالعه موردی: برآورد کربن آلی خاک

محسن باقری بداغ‌آبادی[۱]، زهره مصلح قهفرخی[۲]، فاطمه ابراهیمی میمند[۲]

۱- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران m.baghery@areeo.ac.ir

۲- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

انواع مدل‌سازی‌ها و بویژه توابع انتقالی خاک به دلیل اینکه با استفاده از داده‌های زودیافت می‌توانند داده‌هایی که نیاز به صرف هزینه یا زمان بیشتر دارند را برآورد نمایند، از جایگاه مهمی در علوم خاک برخوردار هستند. در بسیاری از این توابع، داده‌های زودیافت شامل داده‌های آزمایشگاهیِ ویژگی‌هایی از خاک هستند که با صرف هزینه یا زمان کمتری نسبت به ویژگی‌های مد نظر به دست آمده‌اند. در این راستا، متأسفانه به داده‌های ارزشمندی که با کمترین هزینه و زمان در عملیات تشریح خاک‌رخ به دست می‌آیند توجه چندانی نشده است. در این پژوهش کربن آلی خاک با استفاده از برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و داده‌های تشریح خاک‌رخ برآورد گردید. نتایج نشان دادند براساس داده‌های آزمایشگاهی، کربن آلی خاک با دو ویژگی درصد سیلت و قابلیت هدایت الکتریکی خاک با ضریب تبیین حدود ۴۳ درصد (R^2 = ۰/۴۳) رابطه معنی‌دار دارد؛ اما دو ویژگی رنگ و عمق خاک با ضریب تبیین حدود ۶۳ درصد (R^2 = ۰/۶۳) و ۸۵ درصد (R^2 = ۰/۸۵) به ترتیب براساس مدل خطی و غیرخطی، توانستند برآورد قابل قبولی از مقدار کربن آلی خاک به دست بدهند. این سطح دقت به خوبی ارزش و اهمیت داده‌های مربوط به تشریح خاک‌رخ را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی، توابع انتقالی خاک، ریخت‌شناسی خاک.

مقدمه

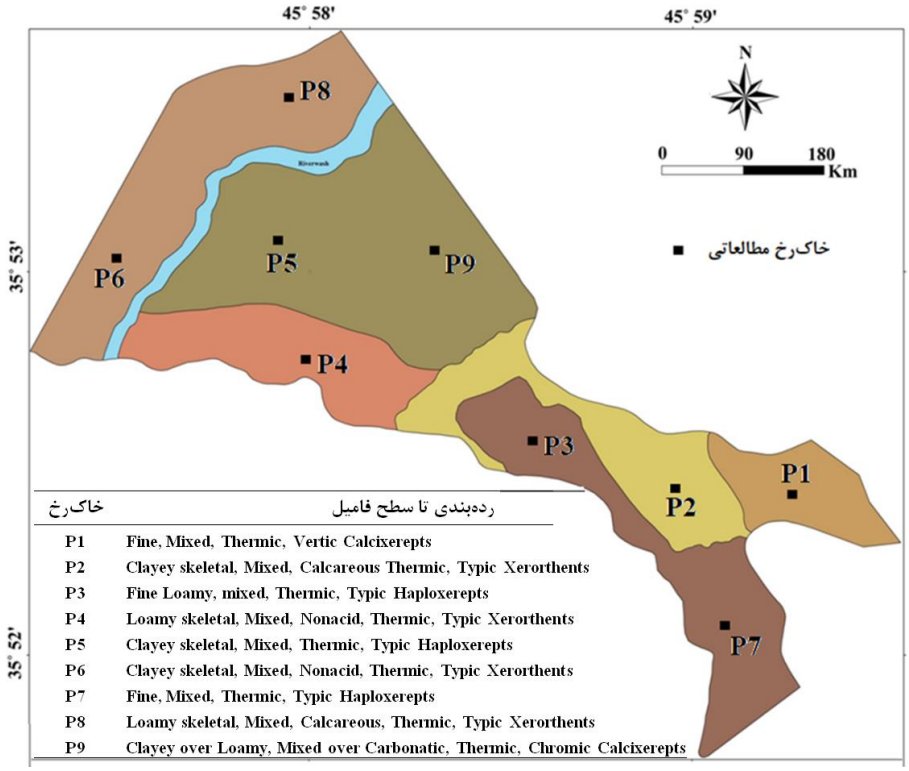
کربن آلی خاک یکی از مهمترین ویژگی‌های خاک است که به شدت بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و ریخت‌شناختی خاک تأثیر می‌گذارد و در عین حال از آنها متأثر می‌شود؛ بنابراین برآورد مقدار کربن آلی خاک در بسیاری از پژوهش‌ها که به نوعی با خاک مرتبط می‌شوند از جمله حاصلخیزی، آلودگی، فرسایش، تغییر اقلیم و غیره مهم و ضروری است. اندازه‌گیری ماده یا کربن آلی خاک با روش‌های معمول آزمایشگاهی پر هزینه و زمان‌بر است؛ از این رو، ارایه روش‌هایی که بتوانند با هزینه کم و دقت قابل قبول، برآوردی از کربن آلی خاک داشته باشند یک اقدام بسیار ارزشمند می‌باشد. در این راستا پژوهش‌های بسیاری به برآوردی کربن یا ماده آلی خاک با بکارگیری رویکردهای گوناگون پرداخته‌اند. هرچند این روش‌ها با گذشت زمان به روزتر و دقیقتر شده‌اند اما پایه و اساس کار در همه آنها یکسان بوده است؛ بدین صورت که رابطه مقدار کربن آلی خاک (متغیر وابسته) را با دیگر ویژگی‌های خاک (متغیرهای مستقل)، در قالب توابع انتقالی خاک مورد بررسی قرار داده‌اند. برای نمونه به تعدادی از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود. قائمی و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند استفاده از سنجش از دور در مناطقی که مقدار کربن آلی کم است نتایج قابل قبولی به دست نمی‌دهد اما تابع انتقالی به دست آمده براساس درصد رس و اسیدیته خاک دارای ضریب تبیین برابر ۰/۷۵ به دست آمد که دقت قابل قبولی می‌باشد. دادگر و همکاران (۱۳۹۳) رابطه کربن آلی خاک با ویژگی‌های رس، ازت، شن، سیلت، اسیدیته خاک، وزن مخصوص ظاهری و درصد سنگریزه را با مدل رگرسیون غیرخطی چند متغیره تعیین نمودند. هرچند مدل پایانی دقت بسیار خوبی را نشان داد (R^2 = ۰/۹۵) اما برخلاف آنچه از توابع انتقالی انتظار می‌رود، در اینجا اندازه‌گیری متغیرهای مستقل (بویژه ازت) از خود متغیر وابسته (کربن آلی) پرهزینه‌تر و وقت‌گیرتر می‌باشد. در پژوهش‌های بسیاری با استفاده از روش‌های سنجش از دور و طیف سنجی به برآورد کربن آلی پرداخته شده که نشان دهنده کارآمد بودن این روش می‌باشد (فهمیده و همکاران، ۱۳۹۸؛ متین فر و همکاران، ۱۳۹۷؛ Nawar *et al.*, 2019؛ Shangshi *et al.*, 2019). آنچه در این میان کمتر مد نظر قرار

گرفته است داده‌هایی می‌باشند که به طور مرسوم با کمترین هزینه و زمان در تشریح خاک‌رخ برداشت می‌شوند. برای نمونه از آنجا که ویژگی‌های طیفی بجز سرشت مواد به رنگ آنها هم مرتبط می‌شود، با توجه به رابطه ویژگی‌های طیفی و کربن آلی، می‌توان انتظار داشت متغیری مانند رنگ خاک هم بتواند به برآورد ماده آلی خاک کمک کند. بنابراین هدف از پژوهش کنونی برآورد رابطه یا تابع انتقالی خاک برای کربن آلی بر اساس برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زودیافت و داده‌های تشریح خاک‌رخ است که به طور معمول در همه مطالعات خاک‌شناسی موجود می‌باشند.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه، منطقه عباس‌آباد با وسعت ۳۳۳ هکتار در شهرستان بانه استان کردستان می‌باشد. نقشه خاک این منطقه با روش ژئوپدولوژی در سطح مقیاس نیمه تفصیلی دقیق، با حفر و تشریح نه خاک‌رخ تهیه گردید. از همه افق‌ها و لایه‌های خاک نمونه‌برداری گردید و آزمایش‌های لازم روی تعداد ۳۴ نمونه خاک با روش‌های استاندارد انجام گرفت. شکل یک موقعیت این منطقه و مکان خاک‌رخ‌های مربوطه به همراه رده‌بندی آنها را نشان می‌دهد. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در این منطقه به ترتیب زریک و ترمیک می‌باشند.

در این پژوهش نتایج فیزیکی و شیمیایی آزمایشگاهی مرسوم به همراه اطلاعات مربوط به کارت تشریح خاک‌رخ وارد نرم افزار اس پی اس اس (SPSS, V 24) و اکسل (Excel, 2013) شدند و بر اساس روش رگرسیون چند متغیره تابع انتقالی خاک برای کربن آلی در دو حالت به دست آمد که عبارت هستند از ۱- براساس داده‌های آزمایشگاهی و ۲- بر اساس داده‌های تشریح خاک‌رخ و داده‌های آزمایشگاهی.



خاک‌رخ	رده‌بندی تا سطح فامیل
P1	Fine, Mixed, Thermic, Vertic Calcixerepts
P2	Clayey skeletal, Mixed, Calcareous Thermic, Typic Xerorthents
P3	Fine Loamy, mixed, Thermic, Typic Haploxerepts
P4	Loamy skeletal, Mixed, Nonacid, Thermic, Typic Xerorthents
P5	Clayey skeletal, Mixed, Thermic, Typic Haploxerepts
P6	Clayey skeletal, Mixed, Nonacid, Thermic, Typic Xerorthents
P7	Fine, Mixed, Thermic, Typic Haploxerepts
P8	Loamy skeletal, Mixed, Calcareous, Thermic, Typic Xerorthents
P9	Clayey over Loamy, Mixed over Carbonatic, Thermic, Chromic Calcixerepts

شکل ۱- منطقه مطالعاتی، خاک‌رخ‌های مطالعاتی و رده‌بندی آنها

نتایج و بحث

در شکل ۱ رده‌بندی خاک‌های منطقه مطالعاتی تا سطح فامیل نشان داده شده است. خاک‌های این منطقه در سه گروه بزرگ شامل Calcixerepts، Haploxerepts و Xerorthents قرار دارند. کلسی‌زرپت‌ها در دو زیرگروه ورتیک وکرومیک و دو گروه بزرگ دیگر تنها دارای یک زیرگروه تیپیک هستند. جدول ۱ برخی اطلاعات آماری نمونه‌های خاک را نشان می‌دهد. همانطور که در

جدول ۱ می‌توان دید بیشتر ویژگی‌های مورد بررسی در نمونه‌های خاک دارای دامنه متنوع و گسترده‌ای هستند. برای نمونه شن، سیلت و رس به ترتیب از ۲ تا ۷۴، ۸ تا ۵۷ و ۱۴ تا ۶۲ درصد متغیر می‌باشند. این موضوع بویژه برای مدل‌سازی و تعیین توابع انتقالی خاک اهمیت دارد. چرا که اگر متغیرها دارای دامنه تغییرات کوچکی باشند نمی‌توان روابط قابل اعتمادی را به دست آورد.

جدول ۱ – ویژگی‌های آماری نمونه‌های خاک‌ها

ویژگی خاک	واحد	تعداد نمونه	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد	چولگی		افراشتگی	
							مقدار	خطا	مقدار	خطا
ضخامت افق	cm	۳۴	۲۲/۰۰	۱۲۲/۰۰	۴۸/۸۲	۲۶/۳۹	۱/۴۲	۰/۴۰	۱/۵۶	۰/۷۹
شن	%	۳۲	۲/۰۰	۷۴/۰۰	۳۷/۸۱	۱۷/۸۷	-۰/۰۱	۰/۴۱	-۰/۷۴	۰/۸۱
سیلت	%	۳۲	۸/۰۰	۵۷/۰۰	۲۶/۱۳	۸/۹۹	۱/۰۵	۰/۴۱	۳/۵۳	۰/۸۱
رس	%	۳۲	۱۴/۰۰	۶۲/۰۰	۳۶/۰۶	۱۲/۳۸	۰/۳۶	۰/۴۱	-۰/۶۶	۰/۸۱
جرم مخصوص	$gr\ cm^{-3}$	۱۸	۱/۴۲	۱/۸۰	۱/۶۱	۰/۱۲	-۰/۱۸	۰/۵۴	-۱/۲۹	۱/۰۴
اسیدینه	-	۳۲	۶/۸۷	۷/۶۸	۷/۴۰	۰/۲۴	-۰/۷۳	۰/۴۱	-۰/۷۰	۰/۸۱
قابلیت هدایت الکتریکی	$dS\ m^{-1}$	۳۲	۰/۱۷	۰/۶۵	۰/۴۲	۰/۱۰	-۰/۱۳	۰/۴۱	۱/۰۷	۰/۸۱
کربنات کلسیم معادل	%	۳۲	۰/۰۰	۶۹/۸۰	۸/۱۳	۱۶/۶۰	۲/۸۵	۰/۴۱	۷/۸۷	۰/۸۱
هیو	-	۳۴	۲/۵۰	۱۰/۰۰	۶/۷۶	۱/۶۹	-۰/۱۹	۰/۴۰	۰/۱۶	۰/۷۹
ولیو	-	۳۴	۴/۰۰	۶/۰۰	۴/۴۱	۰/۶۱	۱/۲۱	۰/۴۰	۰/۵۶	۰/۷۹
کروما	-	۳۴	۲/۰۰	۶/۰۰	۴/۴۴	۱/۱۹	-۰/۱۴	۰/۴۰	-۰/۶۷	۰/۷۹
کربن آلی	%	۳۴	۰/۰۷	۱/۸۲	۰/۵۷	۰/۵۲	۱/۰۵	۰/۴۱	۰/۰۹	۰/۹۱

جدول ۲ مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. بر اساس این نتایج، تنها مقدار سیلت با درصد کربن آلی دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۰۳ درصد می‌باشد. از طرفی سیلت با قابلیت هدایت الکتریکی و درصد شن دارای همبستگی معنی‌دار می‌باشد. بنابراین می‌توان انتظار داشت تابع انتقالی مربوط به کربن آلی خاک با متغیرهای سیلت، قابلیت هدایت الکتریکی و شن رابطه نشان دهد.

جدول ۲ – همبستگی پیرسون بین برخی ویژگی‌های نمونه‌های خاک‌ها

		شن	سیلت	رس	جرم مخصوص	اسیدیته	قابلیت هدایت الکتریکی	کربنات کلسیم معادل	کربن آلی
شن	r	۱	-۰/۷۶۸**	-۰/۸۸۵**	-۰/۰۰۵	-۰/۱۰۱	-۰/۴۳۱*	۰/۰۸۶	-۰/۳۴۲
	سطح معنی‌داری		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۸۵	۰/۵۸۳	۰/۰۱۴	۰/۶۴۰	۰/۰۵۵
سیلت	r	-۰/۷۶۸**	۱	۰/۳۸۲*	-۰/۰۵۲	۰/۱۳۳	۰/۴۸۸**	۰/۰۸۶	۰/۵۰۹**
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰		۰/۰۳۱	۰/۸۳۷	۰/۴۷۰	۰/۰۰۵	۰/۶۴۱	۰/۰۰۳
رس	r	-۰/۸۸۵**	۰/۳۸۲*	۱	۰/۰۵۱	۰/۰۴۹	۰/۲۶۷	-۰/۱۸۶	۰/۱۲۴
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰	۰/۰۳۱		۰/۸۴۰	۰/۷۸۹	۰/۱۴۰	۰/۳۰۸	۰/۴۹۹
جرم مخصوص	r	-۰/۰۰۵	-۰/۰۵۲	۰/۰۵۱	۱	۰/۱۹۸	۰/۲۶۶	۰/۱۰۷	-۰/۲۴۸
	سطح معنی‌داری	۰/۹۸۵	۰/۸۳۷	۰/۸۴۰		۰/۴۳۱	۰/۲۸۷	۰/۶۷۳	۰/۳۲۱
اسیدیته	r	-۰/۱۰۱	۰/۱۳۳	۰/۰۴۹	۰/۱۹۸	۱	۰/۲۰۲	۰/۴۶۲**	-۰/۱۴۶
	سطح معنی‌داری	۰/۵۸۳	۰/۴۷۰	۰/۷۸۹	۰/۴۳۱		۰/۲۶۷	۰/۰۰۸	۰/۴۲۶
قابلیت	r	-۰/۴۳۱*	۰/۴۸۸**	۰/۲۶۷	۰/۲۶۶	۰/۲۰۲	۱	۰/۲۳۶	-۰/۱۱۱
	سطح معنی‌داری	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۰/۱۴۰	۰/۲۸۷	۰/۲۶۷		۰/۱۹۳	۰/۵۴۷

هدایت الکتریکی									
کربنات کلسیم معادل	r	۰/۰۸۶	۰/۰۸۶	-۰/۱۸۶	۰/۱۰۷	۰/۴۶۲**	۰/۲۳۶	۱	-۰/۲۷۷
	سطح معنی‌داری	۰/۶۴۰	۰/۶۴۱	۰/۳۰۸	۰/۶۷۳	۰/۰۰۸	۰/۱۹۳		۰/۱۲۵
کربن آلی	r	-۰/۳۴۲	۰/۵۰۹**	۰/۱۲۴	-۰/۲۴۸	-۰/۱۴۶	-۰/۱۱۱	-۰/۲۷۷	۱
	سطح معنی‌داری	۰/۰۵۵	۰/۰۰۳	۰/۴۹۹	۰/۳۲۱	۰/۴۲۶	۰/۵۴۷	۰/۱۲۵	

تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی نشان داد که دو ویژگی درصد سیلت و قابلیت هدایت الکتریکی خاک با مقدار کربن آلی دارای رابطه معنی‌دار هستند. نتایج تجزیه واریانس مربوط به رگرسیون خطی چند متغیره در جدول ۳ ارایه شده است که بیانگر معنی‌دار بودن رابطه رگرسیونی است. بر این اساس تابع انتقالی خاک با فرمول (۱) به دست آمد که دارای ضریب تبیین R^2 = ۰/۴۳ می‌باشد.

$$\%OC = 0.043\ Slit - 2.408\ EC + 0.474 \quad (R^2 = 0.43) \qquad (۱)$$

در پژوهش قائمی و همکاران (۱۳۹۰) مقدار کربن آلی براساس درصد رس و اسیدیته و با ضریب تبیین برابر ۰/۷۵ به دست آمد. عباسیان و همکاران (۱۳۹۱) نیز مقدار کربن آلی را براساس جرم مخصوص ظاهری و رطوبت ظرفیت زراعی و با ضریب تبیین ۰/۸۳ به دست آوردند. این موضوع نشان می‌دهد تا حد زیادی اعتبار توابع انتقالی به دست آمده، به صورت منطقه‌ای می‌باشند.

جدول ۳ – تجزیه واریانس رگرسیون خطی چند متغیره بین کربن آلی با سیلت و شوری

	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
رگرسیون	۳/۵۸۵	۲	۱/۷۹۲	۱۰/۸۹۹	۰/۰۰۰
باقیمانده	۴/۷۶۹	۲۹	۰/۱۶۴		
کل	۸/۳۵۳	۳۱			

مراحل بالا با در نظر گرفتن داده‌های تشریح خاک‌رخ شامل عمق افق ژنتیکی و رنگ خاک نیز انجام شد. تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره نشان داد که در حضور این دو ویژگی، یعنی عمق افق ژنتیکی و رنگ خاک، داده‌های آزمایشگاهی اثر معنی‌داری در برآورد کربن آلی خاک ندارند. نتایج تجزیه واریانس مربوط به رگرسیون خطی چند متغیره در جدول ۴ ارایه شده است که بیانگر معنی‌دار بودن رابطه رگرسیونی است. بر این اساس تابع انتقالی خاک با فرمول (۲) به دست آمد که دارای ضریب تبیین R^2 = ۰/۶۳ می‌باشد.

$$\%OC = 0.016\ V - 0.052\ C + 0.007\ D + 1.247 \quad (R^2 = 0.63) \qquad (۲)$$

که در آن V، C و D به ترتیب ولیو، کروما و عمق میانی افق ژنتیکی (cm) می‌باشند.

جدول ۳ – تجزیه واریانس رگرسیون خطی چند متغیره بین کربن آلی با ولیو، کروما و عمق افق ژنتیکی

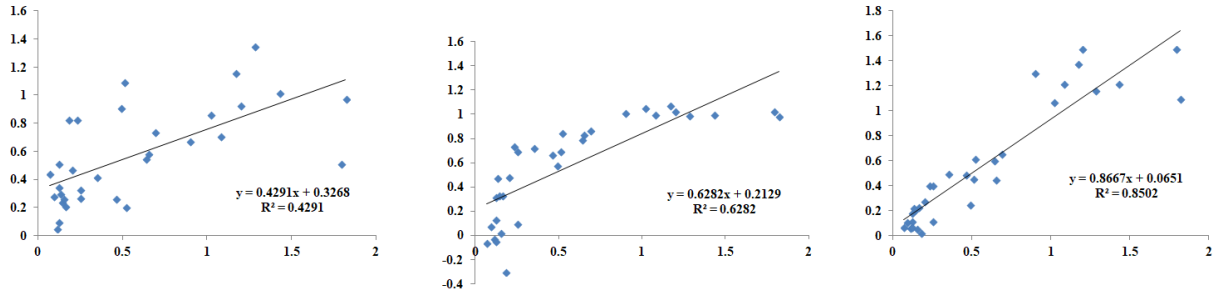
	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
رگرسیون	۵/۲۴۷	۳	۱/۷۴۹	۱۵/۷۶۹	۰/۰۰۰
باقیمانده	۳/۱۰۶	۲۸	۰/۱۱۱		
کل	۸/۳۵۳	۳۱			

با توجه به اهمیت داده‌های تشریح خاک‌رخ، از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی نیز به منظور بررسی امکان برآوردهای بهتر، استفاده گردید. نتایج نشان دادند رویکرد رگرسیون غیرخطی به طور قابل توجهی ضریب تبیین را از ۰/۶۳ به ۰/۸۵ افزایش داد. تابع انتقالی غیرخطی به صورت فرمول ۳ به دست آمد:

$$\%OC = 0.48\ V^{0.21} - 0.90\ C^{0.005} + 6.44\ D^{-0.52} - 0.63 \quad (R^2 = 0.85) \qquad (۲)$$

که در آن V، C و D به ترتیب ولیو، کروما و عمق میانی افق ژنتیکی (cm) می‌باشند. دادگر و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان دادند با استفاده از رگرسیون غیرخطی، برآوردها دقیقتر از رگرسیون خطی می‌باشند.

به منظور بررسی نتایج حاصل از سه تابع انتقالی به دست آمده، رابطه بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر پیش بینی شده کربن آلی در شکل ۲ در قالب نمودارهای پراکندگی ۱:۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل، برتری نسبی تابع انتقالی غیرخطی بر توابع انتقالی خطی به طور آشکار، روشن است. در بین دو مدل خطی نیز برتری برآوردهای به دست آمده از داده‌های تشریح خاک‌رخ بر داده‌های آزمایشگاهی بارز است.



شکل ۲- ارتباط بین کربن آلی اندازه‌گیری شده (محور x) با کربن آلی برآورد شده (محور y) در نمودار ۱:۱ برای مدل غیرخطی (راست)، مدل خطی با داده‌های تشریح خاک‌رخ (میان) و مدل خطی با داده‌های آزمایشگاهی (چپ)

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد داده‌هایی که در عملیات میدانی و بویژه عملیات تشریح خاک‌رخ به دست می‌آیند تا چه اندازه می‌توانند به صورت کاربردی مورد استفاده قرار گیرند و در کاهش زمان و هزینه‌ها سودمند باشند. اندازه‌گیری کربن آلی خاک به دلیل اهمیت فراوانی که در بسیاری از مسایل محیط زیستی و منابع طبیعی دارد، همواره جزء جدانشدنی بسیاری از پژوهش‌ها می‌باشد. در این پژوهش نشان داده شد چگونه با بکارگیری داده‌های تشریح خاک‌رخ با کمترین هزینه و زمان، می‌توان با رویکرد توابع انتقالی خاک، برآورد قابل قبولی از مقدار کربن آلی خاک داشت. با توجه به اینکه بسیاری از توابع انتقالی خاک دارای اعتبار منطقه‌ای هستند، پیشنهاد می‌شود در اقلیم‌های مختلف پژوهش‌های مشابهی انجام گردد تا بتوان به طور ملی برای چنین ویژگی‌هایی توابع انتقالی مربوطه را به دست آورد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش منتج از پروژه "مطالعات نیمه تفصیلی خاک‌شناسی در سه شهرستان بانه، سقز و دیواندره" می‌باشد که بدین وسیله از سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان و موسسه تحقیقات خاک و آب که در انجام این پروژه نهایت همکاری را داشته‌اند کمال سپاسگزاری به عمل می‌آید.

فهرست منابع

دادگر, مریم, محمودی, شهلا, مهدیان, محمدحسین, مسیح آبادی, محمد حسین, سکوتی اسکویی, رضا. (۱۳۹۳). مطالعه و برآورد کربن آلی خاک با استفاده از توابع انتقالی در مراتع دماوند .تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۲۱ (۳): ۴۰۹-۴۱۵.

عباسیان، آسیه و دلاور، محمد امیر و گلچین، احمد و بهشتی آل آقا، علی،۱۳۹۱،مقایسه دقت توابع انتقالی رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی در برآورد کربن آلی خاک‌های هیستوسول شهرکرد، همایش ملی خاک، کشاورزی پایدار،ملایر،

فهمیده, سهیلا, داوری, مسعود, مصدقی, محمد رضا, شریفی, زاهد. (۱۳۹۸). ارزیابی کارایی طیف‌سنجی انعکاسی برای تخمین مقدار کربن آلی خاک در حوزه آبخیز دریاچه زریبار، استان کردستان .مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۶ (۶): ۵۹-۷۸.

قائمی, مرجان, آستارایی, علیرضا, ثنایی نژاد, سید حسین. (۱۳۹۰). ارزیابی تغییرات مکانی و تخمین کربن آلی خاک در مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از توابع انتقالی و امکان سنجی آن با داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: منطقه نیشابور. پژوهشهای زراعی ایران ۹ (۲): ۲۹۴-۳۰۰.

متین فر, حمیدرضا, محمودزاده, حمید, فاریابی, آذر. (۱۳۹۷). برآورد مقدار مادۀ آلی خاک، با استفاده از داده‌های طیفی و مدل‌های آماری رگرسیون حداقل مربعات جزئی و رگرسیون مؤلفۀ اصلی .سنجش از دور و GIS ایران ۱۰ (۲) ۱۵-۳۲.

Nawar, S., and Mouazen, A.M. 2019. On-line vis-NIR spectroscopy prediction of soil organic carbon using machine learning. Soil and Tillage Research, 190: 120-127.

Shangshi, L., Haihua, Sh., Songchao, C., Xia, Z., Asim, B., Xiaolin, J., Zhou, Sh., and Jingyun, F. 2019. Estimating forest soil organic carbon content using vis-NIR spectroscopy: Implications for large-scale soil carbon spectroscopic assessment. Geoderma, 348: 37-44.

The Importance of Soil Profile Information in Determining Relationships Between Different Soil Properties, Case Study: Estimation of Soil Organic Carbon

Mohsen Bagheri-Bodaghabadi[1], Zohreh Mosleh Ghahfarokhi[2], Fatemeh Ebrahimi Meymand[2]

1- Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
m.baghery@areeo.ac.ir
2- Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

Abstract

Modeling, and especially pedotransfer functions, have an important place in soil science because they can estimate some certain soil properties from the other ones. In a lot of these functions, primary or raw data includes laboratory data which are usually easily or routinely measured at a low cost or time. In this regard, unfortunately, not much attention has been paid to the valuable data that are obtained with the least cost and time in the soil profile description. In this study, soil organic carbon was estimated using some physical and chemical properties and soil profile description data. The results showed that based on laboratory data, soil organic carbon has a significant relationship with silt and soil salinity properties with a coefficient of determination about 43% (R^2 = 0.43); While, the two soil profile description data of soil color and genetic horizon with coefficients of determination about 63% (R^2 = 0.63) and 85% (R^2 = 0.85) based on linear and nonlinear models, respectively, were able to obtain acceptable estimates of soil organic carbon. This level of accuracy clearly shows the value and importance of data related to the soil profile description data.

Keywords: Modeling, Pedotransfer functions, Soil morphology.

ویژگی های بیوچار حاصل از بقایای گندم و ذرت تحت تأثیر دماهای مختلف گرماکافت

فریبا رسولی*[1]، حمیدرضا اولیایی[2]، مهدی نجفی قیری[3] و حمیدرضا بوستانی[3]

[1]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج

[2]دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه یاسوج،

[3] دانشیاران گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی داراب، دانشگاه شیراز

چکیده

تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیوچار برای استفاده بهینه از آنها در کشاورزی پایدار دارای اهمیت می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های بیوچارهای تهیه شده از بقایای ذرت و گندم در دماهای مختلف گرماکافت (۲۵۰ ، ۴۵۰ و ۶۵۰ درجه سانتیگراد) بود. نتایج نشان داد که با افزایش دمای گرماکافت، عملکرد بیوچار، هیدروژن و اکسیژن کل و نسبت‌های H/C و O/C کاهش یافته اما مقادیر EC، pH و کربن کل افزایش یافتند. همچنین مقادیر گروه‌های عاملی سطحی O-H در بیوچارهای تولید شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد کاهش یافته و یا حذف شدند، در نتیجه اسیدیته سطحی بیوچار کاهش یافته و ویژگی‌های آروماتیکی آن افزایش یافت. این امر نشان‌دهنده کاهش اسیدیته سطح و در نتیجه پایداری بالاتر بیوچارهای تولید شده در دماهای بالاتر است. بیوچار تولیدشده از ذرت در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد بیشترین پایداری را داشت. در مجموع به نظر می‌رسد که بیوچارهای تولید شده در دمای بالاتر به دلیل پایداری بالاتر، دارای پتانسیل بیشتر برای ترسیب کربن هستند ، در حالی که بیوچارهای تولید شده در دمای پایین‌تر که دارای گروه های عاملی بیشتری هستند، احتمالاً برای اصلاح درجای محیط‌های آلوده به فلزات سنگین مناسب‌تر هستند.

واژگان کلیدی: بیوچار ذرت، بیوچار گندم، ترسیب کربن، گروه عاملی

مقدمه

بیوچار یک ترکیبی غنی از کربن است که به طور کلی در شرایط اکسیژن محدود تولید می‌شود و به دلیل پتانسیل طبیعی در جهت کاهش تغییرات جهانی اقلیم، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Zhao *et al*. 2015). بیوچار دارای مزیت زیست-محیطی قابل توجهی به عنوان ماده ترسیب‌کننده کربن می‌باشد. عملکرد و نوع کاربرد بیوچارها اغلب با مشخصات ساختاری و فیزیکوشیمیایی آنها مرتبط است (Van Zwieten *et al*. 2009). دمای گرماکافت و نوع مواد اولیه، مهمترین عواملی هستند که خصوصیات بیوچار از جمله سطح ویژه، ساختار منافذ، گروههای عاملی سطح و ترکیب ساختاری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. (Guizani *et al*. 2017).

مطالعات قبلی نشان داد که دمای بالاتر موجب افزایش مقدار کربن (C) می‌شود، در حالی که مقدار نیتروژن (N)، هیدروژن (H) و اکسیژن (O) کاهش می‌یابد (Liang *et al*. 2016). در مطالعه دیگری، مقدار خاکستر و کربن تثبیت شده در بیوچارها با افزایش دمای گرماکافت افزایش یافت، در حالی که مقدار مواد فرار کاهش یافت (Tag *et al*., 2016). همچنین، گزارش شده است که افزایش دمای گرماکافت بر نسبت H/C و O/C، میزان تخلخل، گروههای عاملی سطحی و ظرفیت تبادل کاتیونی تأثیر می‌گذارد (Sun *et al*. 2014).

ذرت (*Zea mays L.*) و گندم (*Triticum aestivum L.*) عمده محصولات استراتژیک کشت شده در مزارع کشاورزی ایران هستند. امروزه پس از برداشت این گیاهان، بیش از ۵۰٪ از بقایای گندم و ذرت در اثر هزینه بالای جمع‌آوری، حمل و نقل و قیمت پایین پرداخت شده به کارگران مزرعه، سوزانده می‌شوند. اگرچه آتش‌زدن بقایای زراعی در اکثر مناطق ایران غیرقانونی است، اما بسیاری از کشاورزان اقدام به آتش زدن بقایای محصولات خود کردند که تولید مقدار قابل توجهی گازهای گلخانه‌ای به همراه دارد.

هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بیوچارهای تولیدی از بقایای گندم و ذرت از جمله گروه‌های عاملی سطحی، و خصوصیات شیمیایی، تولید شده در دماهای مختلف گرماکافت بود. چنین اطلاعاتی برای استفاده مناسب و پایدار از این پسماندهای کشاورزی قبل از استفاده در کاربری‌های مختلف کشاورزی بسیار ضروری است.

مواد و روش‌ها

برای تهیه بیوچار نیاز به شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن محدود است. بنابراین برای ایجاد این شرایط بشرهای ۲۵۰ میلی‌لیتری پر از بقایای و کلش گندم و ذرت، با فویل آلومینیومی پوشانده شدند، تا اکسیژن‌رسانی به آن محدود شود. نمونه‌ها در دماهای ۲۵۰، ۴۵۰ و ۶۵۰ درجه سلسیوس و در زمان ۴ ساعت در کوره با آهنگ افزایش دمای حدود ۵ درجه سلسیوس در دقیقه حرارت داده شدند سپس نمونه‌ها آسیاب و به صورت پودری تهیه شد (Melo *et al*. 2013). در نهایت ۶ نوع بیوچار بر اساس دو منبع مواد اولیه و سه مقدار درجه حرارت گرماکافت به دست آمد.

پ‌هاش و قابلیت هدایت الکتریکی بیوچارها در نسبت ۱:۵ آب مقطر: بیوچار اندازه‌گیری شد (Singh *et al.*, 2010). ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) از طریق جانشینی کاتیون‌ها با استات آمونیوم اندازه‌گیری شد (Sumner and Miller, 1996). میزان C، N و H در بیوچارها توسط CHN analyzer (Thermo Finnigan Flash EA 1112 Series) تعیین شد. جهت آنالیز آماری داده‌ها از نرم افزار MSTATC و جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد معنی‌داری و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Microsoft Office Excel 2016 استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصات شیمیایی بیوچارها

عملکرد: میانگین عملکرد بیوچار برای بقایای ذرت و گندم به ترتیب ۳۷ و ۴۲ درصد بود که این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. دما تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیوچار داشت و با افزایش دمای پیرولیز کاهش یافت (جدول ۱). نتیجه Katyal et al., 2003 گرفتند که در دمای پیرولیز پایین، تجزیه حرارتی اولیه رخ می‌دهد و بقایای گیاهی فقط تا حدی پیرولیز می‌شوند، اما با افزایش دمای پیرولیز و تجزیه مواد شیمیایی، مواد تولیدکننده گاز به مواد آلی و گازهای با وزن مولکولی کم شکسته می‌شوند. از طرف دیگر، Novak *et al*. (2009) اظهار داشتند که این کاهش ممکن است به دلیل تجزیه لیگنین و سلولز در مواد اولیه باشد. نتایج مرتبط با کاهش عملکرد بیوچار با افزایش درجه حرارت با یافته‌های محققان دیگر مطابقت دارد (Kim et al. 2012).

pH: مقادیر pH بیوچارهای بقایای ذرت و گندم به دست آمده در دمای مختلف پیرولیزدر جدول ۱ نشان داده شده است. pH بیوچارها به ترتیب برای بیوچارهای بقایای ذرت و گندم در دامنه ۹/۴۹ تا ۱۰/۶۲ و ۹/۲۵ تا ۱۰/۷۶ بود. با افزایش دمای پیرولیز از ۲۵۰ به ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد، مقادیر pH دو بیوچار به طور قابل توجهی افزایش یافته است. قلیایی بودن زیاد بیوچار ناشی از ترکیب اجزای اصلی خاکستر از جمله K، Na، Ca، Mg، HCO_3^- و CO_3^{-2} است (Song and Guo, 2012). این داده ها مشابه مقادیر گزارش شده برای بیوچارهای تولید شده از بقایای بادام زمینی و سویا، باقیمانده چغندرقند و باگاس نیشکر است (Yao *et al*. 2011). بیوچارهای تولید شده در دمای ۴۵۰ و ۶۵۰ درجه سانتیگراد پ‌هاش بیشتر از ۱۰ را نشان می‌دهند که ممکن است مرتبط به جداسازی نمک‌های قلیایی از اجزای آلی بقایا باشند (Shinogi and Kanri, 2003). از طرف دیگر، تخریب گروههای عاملی اسیدی به دلیل حذف O در دمای بالاتر ممکن است موجب قلیایی‌تر شدن سطوح بیوچار شود (Li *et al*. 2002).

محتوای خاکستر: تأثیر درجه حرارت پیرولیز بر میزان خاکستر بیوچارها معنی‌دار بود ($p <$ ۰/۰۵). افزایش درجه حرارت پیرولیز از ۲۵۰ به ۶۵۰ درجه سانتیگراد باعث افزایش قابل توجه محتوای خاکستر بیوچارهای تولید شده شد (جدول ۱). این افزایش برای بیوچاربقایای گندم (۵۱٪) بیشتر از بیوچار بقایای ذرت (۲۲٪) بود. محتوای خاکستر بیوچارها از ۵,۳۰ تا ۸,۰ درصد در بیوچارهای

مختلف بسته به نوع مواد اولیه و دمای پیرولیزمتفاوت بود. بیشترین میزان خاکستر در بیوکره بقایای گندم تولید شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد (۸٪ وزنی در برابر وزنی) مشاهده شد و کمترین مقدار مربوط به بیوچار بقایای گندم تولید شده در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد (۳,۳٪ وزنی در برابر وزنی) بود. یافته های مربوط به pH بیوچارها این نتیجه را تأیید کرد. محتوای خاکستر با افزایش دما افزایش می یابد که به دلیل غلظت مواد معدنی و باقی مانده احتراق مواد آلی است (Cao and Harris, 2010).

هدایت الکتریکی: با افزایش دمای پیرولیزاز ۲۵۰ به ۶۵۰ درجه سانتیگراد، مقادیر هدایت الکتریکی (EC) برای بیوچارها به طور قابل توجهی افزایش یافت ($p < 0.05$). بیشترین افزایش مربوط به بیوچار بقایای ذرت حدود ۲,۳ برابر بود (جدول ۱). این نتایج مرتبط با اثر دمای پیرولیز بر روی مقادیر EC با یافته‌های Cantrell et al., 2012 همخوانی دارد. سطح افزایش هدایت الکتریکی با دمای پیرولیز ممکن است به دلیل از دست دادن مواد فرار در دمای بالا باشد، که ممکن است غلظت نسبی نمک‌ها را در بخش خاکستر افزایش دهد. مقادیر EC بیوچارهای تولید شده از بقایای ذرت و گندم در دماهای مختلف پیرولیز، به ترتیب ۱/۶ تا ۳/۷ و ۴/۹ تا ۷/۰ dSm^{-1} بود. بیوچار تولید شده از بقایای گندم مقادیر EC بالاتری نسبت به بیوچار بقایای گندم داشتند.

کربن، هیدروژن و اکسیژن کل: محتوای کل کربن بیوچارهای تولید شده در دماهای مختلف پیرولیز در دامنه ۵۳/۲ تا ۶۷/۸ درصد (جدول ۱) بوده است. بر اساس منابع کمیسیون بیوچار اروپا (EBC 2012)، برای اینکه ماده‌ای به عنوان بیوچار دسته بندی شود، باید حداقل ۵۰ درصد کربن داشته باشد. بنابراین، ترکیبات تولیدی از بقایای گندم و ذرت در سه درجه حرارت به عنوان بیوچار دسته‌بندی می‌شوند. به طور کلی، محتوای کربن بیوچارهای بقایای ذرت در سه دما بیشتر از بیوچارهای بقایای گندم بود. برای هر کدام از بیوچارهای تولید شده، با افزایش دما از ۲۵۰ به ۶۵۰ درجه سانتیگراد، محتوای کربن بیوچارها به طور قابل توجهی افزایش یافت ($p <$ ۰/۰۵). این افزایش در مورد بیوچار بقایای ذرت (۱۴,۹٪) در مقایسه با بیوچار بقایای گندم (۷,۷٪) بیشتر بود. این در حالی بود که محتوای H و O به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد ($p <$ ۰/۰۵) که مربوط به افزایش محتوای کربن با افزایش دمای پیرولیز است. بیشترین کاهش در محتوای H و O مربوط به بیوچار بقایای ذرت بود (به ترتیب ۷۱ و ۴۰/۷ درصد). این یافته نشان می-دهد که با افزایش دمای پیرولیز میزان کربنیزاسیون تسریع می‌شود (Chen *et al*. 2012; Chun *et al*. 2004). این امر همچنین نشان دهنده کاهش واکنش سطح و در نتیجه پایداری بالاتر بیوچارهای تولید شده در دمای پیرولیز بالاتر است (Conz *et al*. 2017) . کاهش محتوای H و O در سطح بالاتر دما در این آزمایش احتمالاً به دلیل شکست پیوندهای ضعیف در ساختار بیوچار بود (Demirbas, 2004). در تایید نتایج این پژوهش، Kim *et al*., 2012 همچنین افزایش محتوای کربن و کاهش محتوای O و H در بیوچارهای تولید شده را به دلیل افزایش دمای پیرولیز گزارش دادند.

نسبت‌های مولی H/C و O/C: نسبت‌های بالای H/C (۰/۸۳) و O/C (۰/۴۳) بیوچار بقایای گندم تولید شده در ۲۵۰ درجه سانتیگراد که می‌تواند به مواد آلی باقیمانده مانند کربوهیدرات نسبت داده شود (Chun *et al*. 2004). زیست‌توده‌های چوبی در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد کاملاً پیرولیز نشده و به احتمال زیاد برخی از کربوهیدرات‌ها پس از تجزیه در اثر پیرولیز باقی مانده‌اند (Kim *et al*. 2012)

نسبت مولی H/C به نوعی بیانگر درجه آروماتیکی و نسبت مولی O/C بیانگر درجه قطبیت بیوچارها می‌باشند (Krull *et al*. 2009). این نسبت‌ها برای بیوچار بقایای ذرت بطور قابل توجهی پایین تر از بیوچار بقایای گندم در سه درجه حرارت پیرولیز بود (جدول ۱). این امر نشان می دهد که درجه کربنیزاسیون و آروماتیکی بودن بیوچار بقایای ذرت در طول تولید بیوچار بیشتر از بیوچار بقایای گندم است. این نسبت ها با افزایش دمای پیرولیزدر هر دو بیوچار به طور معنی داری ($p <$ ۰/۰۵) کاهش یافت. کمترین مقدار این نسبت مربوط به بیوچار بقایای ذرت (دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد) با شاخص آروماتیکی بالابود. در حالی که بیشترین مقدار مربوط به بیوچار بقایای گندم بود (دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد) با شاخص آروماتیکی کم بود. این نتایج با مطالعه Chun *et al*. (2004) مطابقت دارد که کاهش اسیدیته و افزایش شاخص آروماتیکی را در بیوچار تولید شده از بقایای گندم تولید شده در دمای

۷۰۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد، گزارش کرد. نسبت‌های مولی H/C (۰/۸۳) و O/C (۰/۴۸) بیوچار بقایای گندم (دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد) می‌تواند به مواد آلی باقیمانده مانند کربوهیدرات ها نسبت داده شود (Chun *et al.* 2004). زیست‌توده چوبی در دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد کاملاً پیرولیز نشده و به احتمال زیاد برخی از کربوهیدرات ها پس از فرایند پیرولیز باقی مانده‌اند (Kim *et al.* 2012). با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که بیوچار کاه ذرت تولید شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد بیشترین پایداری را در بین بیوچارهای تولید شده داشته است.

جدول ۱. برخی مشخصات شیمیایی بیوچارهای تولید شده در دماهای مختلف گرماکافت

ویژگی بیوچار	نوع بیوچار	دما (درجه سانتیگراد)		
		۲۵۰	٤٥٠	٦٥٠
عملکرد (٪)	ذرت	45*a	36 b	30 c
	گندم	49 a	36 b	33 c
pH (1:5)	ذرت	9.49 b	10.48 a	10.62 a
	گندم	9.25 b	10.38 a	10.76 a
EC (1:5) (dS m^{-1})	ذرت	1.6 c	2.6 b	3.7 a
	گندم	4.9 c	6.4 b	7.0 a
کربن کل (٪)	ذرت	59.02 b	59.08 b	67.82 a
	گندم	53.52 b	54.35 b	57.67 a
هیدروژن کل (٪)	ذرت	4.00 a	2.48 b	1.16 c
	گندم	3.69 a	2.80 b	2.17 c
مقدار خاکستر (٪)	ذرت	6.00 b	6.60 b	7.30 a
	گندم	5.30 b	7.30 a	8.00 a
اکسیژن کل (٪)	ذرت	27.00 a	25.90 b	15.99 c
	گندم	34.75 a	30.55 b	25.21 c
نسبت مولی H:C	ذرت	0.81 a	0.50 b	0.20 c
	گندم	0.83 a	0.62 b	0.45 c
نسبت مولی O:C	ذرت	0.34 a	0.32 a	0.17 b
	گندم	0.48 a	0.42 a	0.33 b

*میانگین‌های با حروف مشابه دارای تفاوت آماری معنی‌دار با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد نمی‌باشند.

نتیجه‌گیری

به طور کلی، دمای پیرولیز به طور قابل توجهی تحت تأثیر خصوصیات شیمیایی، محتوای عناصر غذایی و گروههای عاملی سطح بیوچارهای تولید شده از بقایای ذرت و گندم قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای پیرولیز میزان عملکرد، مقادیر H، N و O در بیوچارها کاهش یافته، در حالی که میزان خاکستر، پهاش و کربن، با افزایش دما از ۲۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد افزایش

یافت. گروههای عاملی حاوی O-H از سطوح بیوچارهای تولید شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد کاهش یافته و حذف شده و در نتیجه اسیدیته سطح کاهش یافته و از نظر شاخص اروماتیکی افزایش یافته‌اند. این امر نشان دهنده کاهش واکنش سطح و در نتیجه پایداری بالاتر بیوچارهای تولید شده در دماهای بالاتر است. بیوچار کاه ذرت تولید شده در دمای ۶۵۰ درجه سانتیگراد بیشترین پایداری را داشت، در حالی که بیوچار کاه گندم تولید شده در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد دارای کمترین مقادیر در این شاخص‌ها بوده است. در نهایت، به نظر می‌رسد که بیوچارهای تولید شده در دمای بالاتر به دلیل شاخص آروماتیکی و پایداری زیادتر، توانایی کاهش بیشتر CO_2 به عنوان گاز گلخانه‌ای را داشته باشند، در حالی که بیوچارهای تولید شده در دمای پایین حاوی گروه‌های عاملی بیشتر بوده و برای جذب آلاینده‌ها و فلزات سنگین در محلولی آبی موجود در خاک به صورت درجا مناسب تر هستند.

فهرست منابع

Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M. and Ro, K. S. (2012). Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresour. Technol*. 107: 419–428.

Cao X. and Harris, W. (2010). Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresour. Technol*. 101: 5222–5228.

Chen Y. Q., Yang H. P., Wang X. H., Zhang S. H. and Chen H. P. (2012). Biomass-based pyrolytic polygeneration system on cotton stalk pyrolysis: influence of temperature. *Bioresour. Technol*. 107: 11–418.

Chun Y., Sheng G. Y., Chiou C. T. and Xing B. S. (2004). Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars. Environ. *Sci. Technol*. 38(17): 4649-4655.

Conz R. F., Abbruzzini T. F., de Andrade C. A., Milori D. M. B. P. and Cerri C. E. P. (2017). Effect of pyrolysis temperature and feedstock type on agricultural properties and stability of biochars. Agri. Sci. 8: 914-933.

Demirbas A. (2004). Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 72(2): 243–248.

Guizani C., Jeguirim M., Valin S., Limousy L. and Salvador S. (2017). Biomass chars: The effects of pyrolysis conditions on their morphology, structure, chemical properties and reactivity. *Energies*. 7(10): 796.

Katyal S., Thambimuthu K. and Valix M. (20030. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. *Renew Energy*. 28(5): 713-725.

Kim K.H. Kim J.Y., Cho T.S. and Choi J.W. (2012). Influence of pyrolysis temperature on physicochemical properties of biochar obtained from the fast pyrolysis of pitch pine (Pinus rigida). *Bioresour. Technol*. 118: 158-162.

Krull E.S., Baldock J.A., Skjemstad J.O. and Smernik R.J. (2009). Characteristics of biochar: Organo-chemical properties. In: Lehmann J. and Joseph S. (eds.) Biochar for environmental management, science and technology. Earthscan UK.

Liang C. F., Gasco G., Fu S. L., Mendez A. and Paz-Ferreiro J. (2016). Biochar from pruning residues as a soil amendment: Effects of pyrolysis temperature and particle size. *Soil Till. Res*. 164: 3–10.

Melo C. A., Coscionc A. R., Aberu C. A., Puga A. P. and Camargo O. A. (2013). Influence of pyrolysis temperature on cadmium and zinc sorption capacity of sugar cane straw derived biochar. *Biores*. 8(4): 4992-5004.

Novak J. M., Lima I., Baoshan X., Gaskin J. W., Steiner C., Das K. C., Watts D. W., Busscher W. J. and Schomberg H. 2009b. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Ann. Environ. Sci. **3:** 195–206.

Shinogi Y. and Kanri Y. (2003). Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolytic products. *Bioresour Technol*. 90(3): 241-247.

Singh, B.P., B.J. Hatton, B. Singh, A. Cowie, A. Kathuria. (2010). Influence of biochars on nitrous oxide and nitrogen leaching from two contrasting soils. *Journal of Environmental Quality*, 39(4):1224-35.

Song W. and Guo M. (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. J. Anal. App. Pyrolysis, **94:** 138-145.

Sumner, M.E. and Miller, W.P. (1996) Cation Exchange Capacity. In: Sparks, D.L., Ed., Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods, Soil Science Society of America, Madison, 1201-1230.

Sun Y. N., Gao B., Yao Y., Fang J. N., Zhang M., Zhou Y. M., Chen H. and Yang L. Y. (2014). Effects of feedstock type, production method, and pyrolysis temperature on biochar and hydrochar properties. *Chem. Eng. J*. 240: 574–578.

Tag A. T., Duman G., Ucar S. and Yanik J. (2016). Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar. *J. Anal Appl. Pyrolysis*, 120: 200–206.

Van Zwieten L., Singh B., Joseph S., Kimber S., Cowie A. and Chan K. Y. (2009). Biochar and emissions of non-CO_2 greenhouse gases from soil. In: Lehmann J, Joseph S (eds.) Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan London UK, pp 227–249.

Zhao R., Coles N. and Wu J. (2015). Carbon mineralization following additions of fresh and aged biochar to an infertile soil. *Catena*, 125: 183–189.

Characteristics of biochars derived from wheat and corn residues as influenced by different pyrolysis temperatures

Fariba Rasouli[1], Hamidreza Owliaie[*2], Mahdi Najafi Ghiri[3] and

Hamidreza Boostani[3]

[1]Former MSc. Student, Yasouj University. [2]Assoc. Prof. of Soil Sci. Yasouj University.
[3]Assoc. Prof. of Soil Sci. College of Agriculture of Darab, Shiraz University

Abstract

Determination of physicochemical characteristics of biochars is important for the optimum use of these wastes in sustainable agriculture. The aim of this work was to study the characteristics of biochars derived from corn and wheat straw at different pyrolysis temperatures (250, 450 and 650 °C). Results showed that by increasing the pyrolysis temperature, biochar yield, total H, total O, H/C and O/C ratios of biochars were decreased; but the EC, pH, and total C were increased. The O-H containing functional groups from the surfaces of biochars produced at 650 °C were decreased or removed, resulting in the decreases in surface acidity and the increase in aromaticity. This reflects the decrease in surface reactivity and thus higher stability of biochars generated at higher temperatures. The corn biochar produced at 650 °C had the greatest stability and nutritional status. Finally, it seems that the biochars produced at higher temperatures have potential to C sequestration due to the high stability, while the low-temperature biochars having more functional groups may be more suitable for in-situ remediation of metal-contaminated media.

Keywords: C sequestration, Corn straw biochar, Functional groups, Wheat straw biochar

ویژگیهای ساختاری و مورفولوژیکی بیوچار لجن فاضلاب در دماهای مختلف

فروغ خائفی[1]، علیرضاحسین پور[2] و حمیدرضا متقیان[3]

۱-دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد؛ khaefif@yahoo.com

۲-استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir

۳-دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد؛ motaghian.h@yahoo.com

چکیده

گرماکافت به عنوان یک فن‌آوری اقتصادی و سازگار با محیط زیست برای تسهیل بازیافت و کاهش خطر زیست محیطی لجن فاضلاب حائز اهمیت است. طی این فرایند ماده‌ای با ویژگی‌های خاص تولید می‌شود و دمای گرماکافت نقش کلیدی دارد. هدف از این مطالعه بررسی ویژگی‌ها و تغییرات ساختار، سطح ویژه و منافذ بیوچار بر اثر دمای گرماکافت بود. نتایج نشان داد سطح ویژه بیوچار در مقایسه با لجن تحت تاثیر دمای گرماکافت به طور متوسط ۵/۵ برابر شد. با مقایسه حجم کل و میانگین قطر منافذ بیوچارها، تخلخل بیشتر نسبت به لجن فاضلاب در آنها مشاهده شد. عمده منافذ موجود در بیوچارها از نوع مزو بود. ساختار مورفولوژیکی لجن فاضلاب صاف و نامنظم و در مقابل بیوچارها دارای سطحی متخلخل و ناهموارتر بودند. حضور ساختارهای آرماتیکی در دماهای بالا بویژه دمای ۶۰۰ به شکل لانه زنبوری به وضوح قابل تشخیص بود.بنابراین تبدیل لجن فاضلاب به بیوچار باعث افزایش سطح، تخلخل بیشتر و تثبیت کربن به شکل ترکیبات آرماتیکی شد.

کلمات کلیدی: بیوچار ، سطح ویژه، ساختار مورفولوژیکی، منافذ

مقدمه

لجن فاضلاب محصول اصلی تصفیه فاضلاب است و به عنوان یک ماده ناهمگن شامل ترکیبات مختلفی از قبیل مواد آلی، ریزجانداران، مواد معدنی و رطوبت است. برخی از اجزای آن مانند مواد آلی غیرسمی و دارای عناصر غذایی قابل بازیافت است (Huang et al. 2016). فن‌آوری متداول تصفیه لجن فاضلاب در سراسر جهان شامل سوزاندن، دفن زباله و کاربرد در زمین است. که هر کدام از این روش‌ها اثر نامطلوبی بر آب، خاک و هوا داشته و در نهایت سلامت انسان را به خطر می اندازد. بنابراین نیاز مبرم به فن آوری های جایگزین برای مدیریت لجن فاضلاب وجود دارد. گرماکافت یک رویکرد امیدوار کننده در مدیریت لجن فاضلاب است، گرماکافت حجم لجن را به حداقل می رساند. عوامل بیماری زا و انگلی را ا بین برده و مواد آلی را به انرژی ریستی تغیر میدهد(Jin et al. 2017).

بیوچار پسماند کربنی جامد حاصل از گرماکافت زیست توده در شرایط حداقل اکسیژن است.خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار به ماده اولیه، و شرایط گرماکافت وابسته است. دمای گرماکافت یک عامل مهم در تولید بیوچار است و تا حد زیاد بر سطح ویژه و تخلخل بیوچار تاثیرگذار است. این امر به احتمال زیاد به دلیل تجزیه مواد آلی و تشکیل منافذ ریز است. یک همبستگی مثبت بین حجم منافذ ریز بیوچار و مساحت آن وجود دارد (Tomczyk et al. 2020) از طرفی با افزایش دما ممکن است لایه‌های گرافن بسیار نامنظم توسعه یافته و باعث تشکیل منافذ ریز بیشتر در ساختار بیوچار شود (Tao et al. 2015). با افزایش دما از ۴۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد ممکن است خروج مولکول‌های آب به دلیل واکنش حذف هیدروکسیل از سطح منافذ رخ داده و باعث کاهش سایز منافذ شود (اتکینسون و همکاران ۲۰۱۰). ایجاد فضاهای خالی در

---

[1]-نویسنده مسئول، آدرس: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی، گروه علوم خاک

داخل بیوچار، به دلیل خروج انواع ترکیبات آلی طی فرایند گرماکافت و ترک خوردگی سطح بیوچار، باعث افزایش سطح قابل دسترسی خارجی می‌شوند و احتمالاً بیوچار تهیه‌شده در دماهای بالاتر سطح‌ویژه بیشتری دارند (Tomczyk et al. 2020).

توزیع اندازه منافذ در بیوچار به صورت میکروپورها، مزوپورها و ماکروپورها هستند که فاکتورهای مهم در نحوه عملکرد بیوچار در خاک هستند. منافذ موجود در بیوچار را به منافذ نانو (<۰/۹ nm)، منافذ میکرو (<۲nm)، منافذ مزو (۵۰-۲ nm) و منافذ بزرگ (<۵۰nm) دسته بندی شده‌اند هر چه توزیع منافذ به سمت منافذ میکرو باشد سطح کل بیوچار بزرگتر است که این امر با افزایش دما و مدت زمان افزایش می‌یابد. در مقابل منافذ میکرو که سطح وسیع‌تری از بیوچار را اشغال می‌کنند منافذ ماکرو حجم بیشتری را به خود اختصاص می‌دهند (Lhmann and Joseph, 2009). بیوچار تولید شده از بستر حیوانات و مواد زائد جامد مساحت کمتری در اثر افزایش دما نسبت به بقایای گیاهی و زیست توده چوب دارند. البته در دماهای بالاتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس کاهش مساحت برای بیوچار گزارش شده که ممکن است به دلیل تغییر شکل، انسداد، ترک خوردگی و یا انسداد منافذ ریز بیوچار باشد (Ahmad et al. 2014). در برخی شرایط در دماهای بالا منافذ میکرو عریض‌تر می‌شوند زیرا دیواره منافذ از بین رفته و باعث بزرگتر شدن منافذ می‌شوند (Lhmann and Joseph, 2009).

لجن فاضلاب اصولاً یک ماده غیرمتخلخل است و در طی فرایند گرماکافت به یک ماده متخلخل و دارای منافذ میکرو و ماکرو تبدیل می‌شود. سطح ویژه بیوچار لجن ۶ تا ۴۰ برابر لجن فاضلاب است. مشخص‌کردن یک رابطه مستقیم بین سطح ویژه لجن فاضلاب اولیه و سطح ویژه بیوچار تولید شده دشوار است. سطح ویژه با افزایش درجه حرارت تا ۶۰۰ درجه سلسیوس افزایش یافته و سپس در دماهای بالاتر کاهش می‌یابد (Zielinska et al.2015). هدف در این مطالعه بررسی اثر دمای تولید بیوچار لجن فاضلاب بر تغییرات مورفولوژی، سطح ویژه و خصوصیات منافذ آن است.

مواد و روشها

لجن فاضلاب شهری (تصفیه‌خانه فاضلاب شهرکرد) در هوا خشک کوبیده و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده شد. سپس در درون استوانه‌ای(با درپوش) به مدت ۲ ساعت با سرعت افزایش دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه، در دماهای ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد (سه تکرار) در شرایط حداقل اکسیژن در کوره نگهداری شدند (Yang et al. 2016). ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی لجن فاضلاب و نمونه‌های بیوچاردر دماهای مختلف شامل پ-اچ و قابلیت هدایت الکتریکی (Song et al. 2014)، کلسیم کربنات معادل (Loeppert and Suarez, 1996)، گنجایش تبادل کاتیونی (Sumner and Miller, 1996)، سطح ویژه و آنالیز منافذ با استفاده از ایزوترم جذب N_2، معادله BET (Jinet al. 2016) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ، مقادیر عناصر C، N، H، O و S با دستگاه آنالیزگر (element analysis instrument Cotech 4010,Italy) تعیین شدند.

نتایج و بحث

ویژگی‌های عمومی لجن فاضلاب و بیوچارهای آن در جدول ۱ آورده شده است. به طور کلی درصد عملکرد بیوچار با افزایش دمای تولید بیوچار کاهش یافت و این کاهش به دلیل تجزیه مواد آلی موجود در لجن در اثر دما می‌باشد (Jin et al. 2016). بیوچارهای تولید شده دارای pH قلیایی و با افزایش دمای گرماکافت، pH افزایش یافت(Chen et al.2014). EC لجن ۶/۲۵ دسی زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد (جدول۱) در حالی که EC بیوچار آن با کاهش قابل توجه همراه بود که نشان دهنده کاهش نمک‌های محلول در بیوچار نسبت به لجن می‌باشد(Yuan et al.2015). درصد کربنات کلسیم معادل در بیوچارها در مقایسه با لجن افزایش یافت که ممکن است به دلیل افزایش بخش معدنی در اثر گرماکافت باشد و این روند افزایش تا دمای ۶۰۰ قابل مشاهده است. با تبدیل لجن به بیوچار درصد ماده آلی کاهش یافت که نشان دهنده تخریب بخش آلی موجود در بیوچار با افزایش دما بود. ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچارها در دماهای مختلف (بجز دمای ۳۰۰) از لجن فاضلاب بیشتر بود

و با افزایش دمای تولید بیوچار؛ ظرفیت تبادل کاتیونی روند افزایش داشت که می‌تواند به دلیل آزاد شدن کاتیونهای فلزات قلیایی و قلیایی خاکی در خاکستر بیوچارها و خالی ماندن مکان‌های تبادلی باشد می‌شود (Chen et al.2014).

جدول ۱: برخی خصوصیات عمومی لجن فاضلاب و بیوچارها

دمای گرماکافت (^{0}C)	عملکرد %	pH	$CaCO_3$ %	OM %	EC $dS.m^{-1}$	CEC $cmol_+.kg^{-1}$
لجن فاضلاب	–	۶/۵	۲۱	۵/۷۹	۶/۲۵	۳۲/۳۳
۳۰۰	۷۶/۰	۷/۳	۲۳	۵/۳۷	۱/۸۳	۲۱/۶
۴۰۰	۶۵/۵	۸/۶	۲۸	۴/۲۴	۱/۹۸	۳۳/۳
۵۰۰	۶۳/۵	۱۰/۵	۲۹	۲/۳۵	۱/۶۲	۳۰/۹
۶۰۰	۵۶/۷۵	۱۰/۳	۳۴	۲/۰۹	۱/۶۳	۳۵/۳
۷۰۰	۵۳/۰	۱۱/۹	۳۰	۱/۸۸	۱/۳۴	۳۷/۲

تجزیه عناصر لجن فاضلاب و نمونه‌های بیوچار در جدول (۲) آورده شده است. با تبدیل لجن به بیوچار و افزایش دمای گرماگافت درصد کربن، اکسیژن و نیتروژن کاهش یافت که نشان دهنده تبخیر این مواد در طی فرایند گرماکافت است (Agrafioti et al. 2013). O/C به عنوان یکی از خصوصیات ترکیبات آلی آروماتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسبت کوچکتر به معنی ساختار آرماتیکی قویتر می باشد. نسبت O/C در لجن فاضلاب ۰/۵۴۲ بود و با تبدیل آن به بیوچار این نسبت کاهش یافت (جدول ۲). در نمونه های بیوچار با افزایش دما این نسبت کاهش یافت که می‌تواند دلیلی بر ساختار آرماتیکی بیشتر در دماهای بالا باشد(Yuan et al.2015). نسبت H/C نیز نشان دهنده درجه آروماتیکی شدن بیوچار در طی فرایند گرماکافت است. با افزایش دما، این نسبت از ۰/۱۳۱ در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به ۰/۱۰۳ در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. نسبت O/C و H/C در بیوچارهای دمای بالاتر کمتر از بیوچارهای تهیه در دمای پایین‌تر است که نشان دهنده خاصیت آروماتیکی، آبگریزی و کاهش قطبیت بیوچار با افزایش دما می‌باشد(Fryda and Visser ,2015).

جدول ۲: آنالیز برخی از عناصر لجن فاضلاب و بیوچارهای تهیه شده از آن در دماهای مختلف

دمای بیوچار(^{0}C)	C	O	N %	H	S	H/C	O/C
لجن فاضلاب	۳۲/۱۷	۲۳/۲۹	۵/۸۸	۵/۵۱	۰/۲۹	۰/۱۵۶	۰/۵۴۲
۳۰۰	۲۸/۳۲	۱۸/۳۲	۴/۰۳۶	۱/۳۷	۱/۳۳	۰/۱۳۱	۰/۴۸۵
۴۰۰	۲۲/۰۲	۱۳/۷۱	۲/۸۷	۱/۹۶	۱/۳۰	۰/۱۱۱	۰/۴۶۶
۵۰۰	۲۱/۵۰	۱۳/۰۴	۲/۸۵	۱/۰۷	۰/۶۴	۰/۱۱۳	۰/۴۵۴
۶۰۰	۲۱/۹۲	۱۲/۰۸	۲/۸۱	۰/۹۷	۱/۰۸	۰/۱۰۹	۰/۴۱۳
۷۰۰	۲۰/۹۵	۱۰/۹۸	۲/۳۲	۰/۸۹	۱/۴۱	۰/۱۰۳	۰/۳۵۸

سطح ویژه و ساختار منافذ

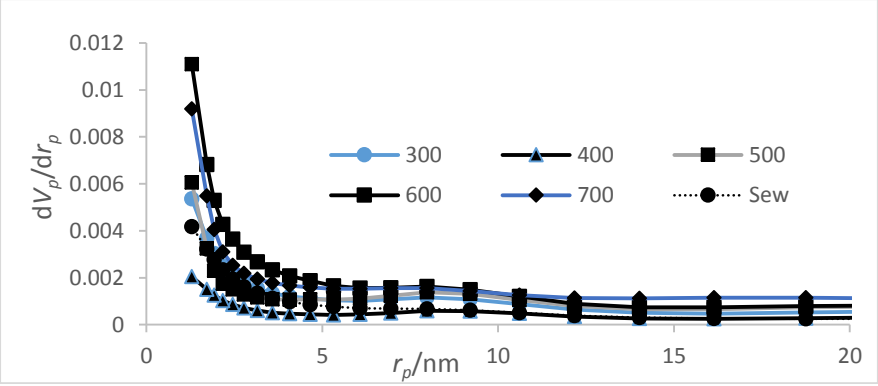
با تبدیل لجن فاضلاب به بیوچار به طور کلی سطح افزایش یافت(جدول۳) کمترین سطح مربوط به بیوچار ۳۰۰ و بیشترین مربوط به دمای ۶۰۰ بود. سطح بیوچار ۳۰۰ نسبت به لجن فاضلاب کاهش یافته و ۰/۷۲ سطح لجن بود. سطح بیوچار در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ به ترتیب ۲/۶۵، ۳/۶۵ ، ۸/۳۸ و ۵/۵۷ برابر لجن فاضلاب برآورد شدند. مقادیر نواحی سطحی کم BET ($<۱۰۰ m^2.g^{-1}$) نشان دهنده تولید کربن غیر فعال در اثر گرماکافت مستقیم لجن فاضلاب می باشد (Mendezet al. 2013). این افزیش سطح ممکن است به دلیل تغییر در ساختار شیمیایی ماده اولیه و ایجاد ساختارهای آروماتیکی باشد..

نواحی سطحی BET به ویژگی‌های ماده خام و دمای گرماکافت، سرعت حرارت دادن و زمان واکنش در ارتباط است (Agrafiotia et al. 2013). از طرفی کاهش نواحی سطحی در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به ۶۰۰ درجه سانتی-گراد،ممکن است به دلیل نفوذ خاکستر یا بلوکه شدن میکروپورها در بیوچار باشد. سطح ویژه با افزایش درجه حرارت تا ۶۰۰ درجه سلسیوس افزایش یافته و سپس در دماهای بالاتر کاهش می‌یابد (Zielinska et al.2015).

جدول۳: خصوصیات سطح لجن و بیوچارها(BET)

دمای بیوچار(^{0}C)	سطح BET $m^2.g^{-1}$	حجم کل منافذ $cm^3.g^{-1}$	میانگین قطر منافذ nm
لجن فاضلاب	۴/۴۷۸	۰/۰۲۲	۱۹/۹۸۸
۳۰۰	۳/۲۳۲	۰/۰۲۶	۳۲/۲۲۲
۴۰۰	۱۱/۸۹۳	۰/۰۴۸	۱۶/۳۱۶
۵۰۰	۱۶/۳۸۳	۰/۰۵۹	۱۴/۴۳
۶۰۰	۳۷/۵۷۴	۰/۰۷۹	۸/۴۳۴
۷۰۰	۲۴/۹۸۰	۰/۰۸۶	۱۳/۹۱۷

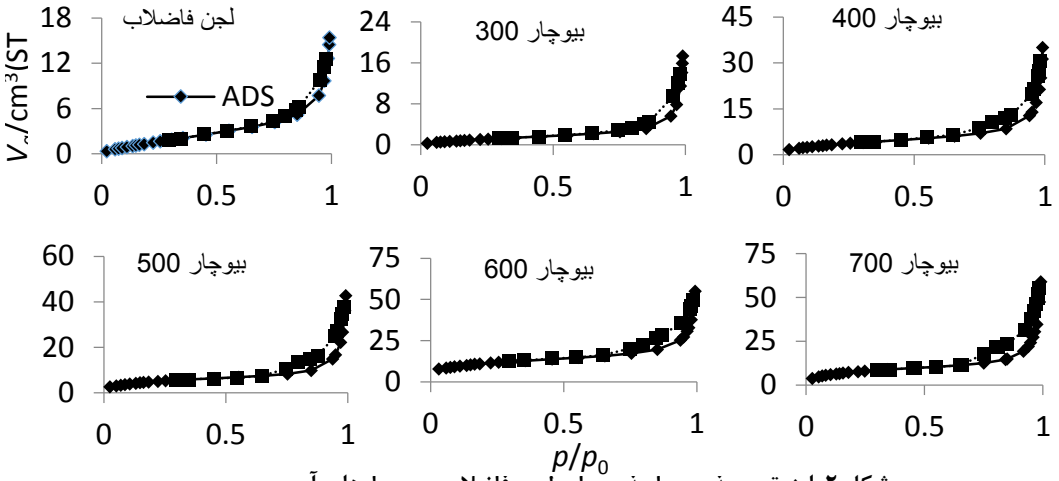
اندازه قطر منافذ بیوچارها (به جز دمای ۳۰۰) نسبت به لجن فاضلاب کمتر بود. با افزایش دما، میانگین قطر منافذ کاهش یافت و این کاهش در دمای ۶۰۰ سانتی‌گراد بیشتر بود. کاهش قطر منافذ در اثر افزایش دمای گرماکافت ممکن است به دلیل چسبیدن ذرات بیشتر به سطح خارجی و منافذ بیوچار بوده که باعث انسداد منافذ می‌شود (Huang et al. 2017). با توجه به حجم کل منافذ می‌توان نتیجه گرفت که با تبدیل لجن به بیوچار و افزایش دما در بیوچارها تخلخل در آنها افزایش می‌یابد (chen et al. 2014). توزیع اندازه منافذ (شکل۱) نشان داد این ویژگی در بیوچارها تقریبا یکنواخت است. اندازه منافذ بیوچار به نوع ماده اولیه و دمای گرماکافت وابسته است(Harday et al. 2014). در برخی شرایط در دماهای بالا منافذ میکرو عریض‌تر می‌شوند زیرا دیواره منافذ از بین رفته و باعث بزرگتر شدن منافذ می‌شوند (Lhmann and Joseph, 2009).



شکل ۱: توزیع اندازه منافذ در لجن فاضلاب و بیوچارها

ایزوترم جذب و واجذب لجن فاضلاب و بیوچارهای آن (شکل۲) منعکس کننده ساختار منافذ است. ایزوترم‌ها در شکل ۲ نشان داد با افزایش دمای گرماکافت مقدار جذب N_2 افزایش یافته و بیشترین مقدار در بیوچارهای ۶۰۰ و ۷۰۰ بود و مطابق با دسته بندی ایوپاک، از نوع ایزوترم IV و نوع H3 بود که نشان دهنده جذب فیزیکی است. فرضیه رفتاری این ایزوترم نشان دهنده : منافذ بیوچار از نوع مزو (۵۰- ۲ ناومتر) ۲-رخ دادن تراکم مویینگی ۳ -گردن باریک و بدنه پهن که منعکس کننده پدیده (ink bottle) بود. منافذ در بیوچارها به سه دسته میکرو (۲nm>)، مزو (۵۰nm- ۲) و ماکرو (۵۰ nm<) دسته بندی شده است. حلقه های نوع H_3 از نوع شکاف مانند بوده و از ویژگی‌های خاص جاذب‌های کربن است. منافذ مزو و ماکرو ممکن

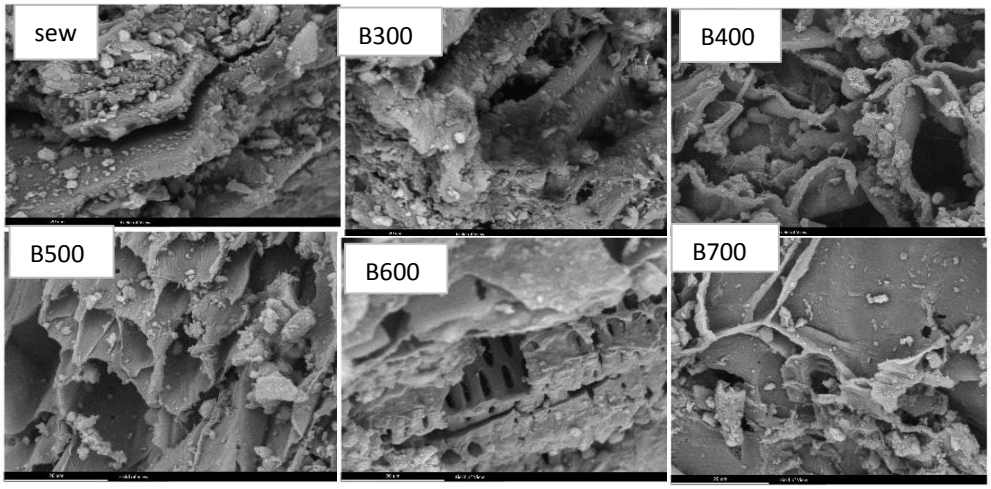
است جریان آب و هوا در خاک را بهبود دهند و منافذ میکرو بیشتر نگهدارنده عناصر غذایی و بهبود دهنده حاصلخیزی خاک هستند. منشا مزوپورها ممکن است در محتوای زیاد مواد معدنی در لجن فاضلاب که عمدتا از سیلیس، آلومینا و اکسیدهای آهن تشکیل شده است، باشد (Chen et al.2014).



شکل ۲: ایزوترم جذب و واجذب برای لجن فاضلاب و بیوچارهای آن

خصوصیات مرفولوژیکی

میکروسکوپ الکترونی روبشی (Scanning Electron Microscopy) یک روش مفید برای مطالعه مورفولوژی ذرات جامد است. تصاویر SEM در بزرگنمایی ۲۰ میکرومتر گرفته شده است(شکل۳). ساختار لجن فاضلاب در مقایسه با بیوچارها مسطح بود. تغییر ساختار در مقایسه لجن فاضلاب و بیوچار ۳۰۰ به وضوح مشخص است.



شکل ۴: ساختار در لجن فاضلاب و بیوچار آن با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و بزرگنمایی ۲۰ Um

بیوچار دمای ۳۰۰ و ۴۰۰ ساختاری شبیه دسته‌های نانولوله با پراکندگی ذرات مختلف اجزای غیر آلی حاوی غلظت بالایی از فلزات به نمایش می‌گذارد. ساختار لجن فاضلاب در مقایسه با بیوچارها مسطح بود و تغییر ساختار در مقایسه لجن فاضلاب و بیوچار ۳۰۰ به وضوح مشخص است. مورفولوژی سطح بیوچار و ساختار متخلخل آن به تدریج با افزایش دمای گرماکافت دچار تغییر شد. بیوچار دمای ۳۰۰ و ۴۰۰ ساختاری شبیه دسته‌های نانولوله با پراکندگی ذرات مختلف اجزای غیر

آلی حاوی غلظت بالایی از فلزات به نمایش می‌گذراد. چنین نتایجی جین و همکاران ۲۰۱۶ نیز گزارش شده است. با افزایش دما، تخلخل و ناهمواری بر سطح بیوچارها بیشتر شده به طوری که در دمای ۶۰۰ ساختار لانه زنبوری به وضوح قابل مشاهده بودکه نشان دهنده ترکیبات آرماتیکی پیچیده بر سطح بیوچار است و اجزای معدنی به طور نامنظم به هر دو سطح خارجی و منافذ داخلی بیوچار چسبیده بودند (Jin et al. 2016 , Huang et al. 2017). همانطور که در شکل۴ نشان داده شده است، بیوچار ۶۰۰ متخلخل‌تر است و هنگامی که دما به ۷۰۰ درجه افزایش یافت، سطح بیوچار ناهمواری کمتری داشت. این با داده های BET از سطح بیوچار تایید می شود. زیرا بیشترین سطح مربوط به بیوچار ۶۰۰ بود. پیتلو و همکاران (۲۰۱۵)، با مشاهده تغییرات مشابه بیان کردند فعل و انفعالات بین اجزای لجن فاضلاب در فرایند گرماکافت باعث افزایش ناهمگنی در بیوچار می شود. وقتی پیوندهای شیمیایی شکسته می شوند و کمپلکسها ذوب می شوند ، منافذ بیشتری در ساختار مواد ایجاد می شود(karimi et al. 2019). در مجموع ویژگی‌های مورفولوژیکی مختلفی در سطح بیوچارها وجود داشت که شامل ۱-ساختار متخلخل، ۲- ذره های با شکل نامنظم، ۳-ساختار متراکم صاف، که برای همه بیوچارها مشابه بود فقط تناسب هر ویژگی تغییر کرد. لو و همکاران، ۲۰۱۳ با مشاهده SEM بیوچارلجن فاضلاب گزارش کردند بیوچارلجن فاضلاب حاوی طیف گسترده ای از مواد معدنی و آلی است و ترکیبات پیچیده آرماتیکی بر سطح بیوچار ایجاد می‌شود که ممکن است به تغییر بار سطح و گروه‌های عملکردی در سطح بیوچارها شود.

نتیجه گیری

با تبدیل لجن فاضلاب به بیوچار، ماده‌ای جدید با ویژگی‌های منحصر به فرد تولید می‌شود. بیوچارها تحت تاثیر دمای گرماکافت، دارای ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی متفاوتی بودند. از جمله سطح بیوچار که در اثر افزایش دما تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. این افزایش را می‌توان به تشکیل منافذ بیشتر با اندازه قطر کمتر نسبت داد. منافذ در بیوچارها از نوع مزو بودند که در تهویه و نگهداری آب در خاک موثر هستند. تصاویر SEM نیز تایید کننده ساختار متخلخل و همچنین تشکیل ترکیبات آروماتیک در بیوچارها بود. بویژه در بیوچار ۶۰۰ که به وضوح ساختار لانه زنبوری بهم پیوسته که نشان دهنده ساختار ترکیبات آروماتیک پیچده است قابل رویت بود.

مراجع

Ahmad M. Rajapaksha A.U. Lim J.E. Zhang M. Mohan N.B.,D. Vithanage M. Lee S.S. and Ok Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. Chemosphere 99:19–33.

Agrafiotia E. Bourasa G. Kalderisb D. and Diamadopoulosa E. 2013. Biochar production by sewage sludge pyrolysis. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 101: 72–78.

Chen T. Zhang Y. Wang H. Lu W. Zhou Z. and Zhang Y. 2014. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. Bioresource Technology 164:47-54

Fryda L. and Visser R. 2015. Biochar for soil improvement: Evaluation of biochar from gasification and slow pyrolysis. Agriculture 5:1076–1115.

Huang H. and Yuan Z. 2016. The migration and transformation behaviors of heavy metals during the hydrothermal treatment of sewage sludge: A Review. Bioresource Technology 200:991-998.

Jin J. wang M. Cao Y. Wu. S Liang P. Li Y. Zhang J. Zang J. Hung Wong M.H Shan S. and Christie P. 2017 Cumulative effects of bamboo sawdust addition on pyrolysis of sewage sludge: Biochar properties and environmental risk from metals. Bioresource Technology 228: 218-22

Karimi F, Rahimi G, Kolahchi Z, Khademi A, Nezhad J (2019) Using Industrial Sewage Sludge-Derived Biochar to Immobilize Selected Heavy Metals in a Contaminated Calcareous Soil. Waste Biomass Valorization. 11: 2825–2836.

Lehmann J. and Joseph S. 2009. Biochar for Environmental Management. science and technology. First published by Earthscan in the UK and USA. 416p.

Loeppert R.H. and Suarez D.L. (1996). Carbonate and gypsum. In: Sparks D.L. (ed.) Methods of Soil Analysis. S.S.S.A. Madison. pp. 437-474.

Mendez A. Terradillos M. and Gasco G. 2013. Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 102:124-130

Oliveira F.R., Patel A.K., Jaisi D.P., Adhikari S., Lu H. and Khanal S.K. (2017). Environmental application of biochar: Current status and perspectives. Bioresour. Technol. 246:110-122.

Tao X. Sadasivam B.Y. and Reddy K. RChengwen Wang; and Kurt Spokas. .(2015). Review of the Effects of Biochar Amendment on Soil Properties and Carbon Sequestration. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste13:1-14.

Pituello C., Francioso O., Simonetti G., Pisi A., Torreggiani A., Berti A.and Morari F.2015. Characterization of chemical–physical, structural and morphological properties of biochars from biowastes produced at different temperatures. J Soils Sediments 15:792–804

Tomczyk A. Sokołowska Z.and Boguta P. 2020. Biochar phys[icochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. Rev Environ Sci Biotechnol 19:191–215

Song X.D. Xue X.Y. Chen D.Z. He P.J. and Dai X.H. 2014. Application of biochar from sewage sludge to plant cultivation: Influence of pyrolysis temperature and biochar-to-soil ratio on yield and heavy metal accumulation. Chemosphere 109: 213–220

Yang X. Liu J. Kim M. Huang H. Lu K. Guo X. He L. Lin X. Che L. Ye Z. and Wang H. 2016. Environ effect of biochar on the extractability of heavymetals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. Environmental Science and Pollution Research 23:974-984.

Yuan X. Leng L. Huang H. Chen X. Wang H. Xiao Z. Zhai Y. Chen H. and Zeng G. 2015. Speciation and environmental risk assessment of heavy metal in bio-oil from liquefaction/pyrolysis of sewage sludge. Chemosphere 120:645–652.

Zielinska A, Oleszczuk P, Charmas B, Skubiszewska-Zieba J, Pasieczna-Patkowska Z (2015) Effect of sewage sludge properties on the biochar characteristic. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 112: 201–213.

Structural and morphological characteristics biochar sewage sludge at different temperatures.

Forough Khaefi1, Alireza Hosseinpur2 and Hamidreza Motaghian3

1-PhD Student, Soil sci. Dep Shahrekord Univ. Shahrekord, Iran. khaefif@yahoo.com

2-Prof., Soil Sci. Dep. Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran, hosseinpur-a@agr.sku.ac.ir

3-Associate Prof., Soil Sci. Dep. Shahrekord Univ. Shahrekord, Iran. motaghian.h@yahoo.com

Abstract

As an economical and environmentally friendly technology, pyrolysis is important to facilitate recycling and reduce the environmental risk of sewage sludge. During this process, materials with special properties are produced and pyrolysis temperature plays a key role. This study aimed to investigate the characteristics and changes in structure, specific surface area, and biochar pores due to pyrolysis temperature. The results showed that the specific surface area of biochar increased 5.5 times on average compared to the sludge under the influence of heat transfer temperature. By comparing the total volume and average pore diameter of biochars, more porosity was observed in them than in sewage sludge. The original pores in the biochar were meso. The morphological structure of the sewage sludge was smooth and irregular, and in contrast to the biochars, they had a more porous and uneven surface. The presence of aromatic structures at high temperatures, especially at 600 ° in the form of honeycombs, was detectable. Therefore, the conversion of sewage sludge to biochar increased the surface area, increased porosity, and stabilized carbon in the form of aromatic compounds.

تأثیر توپوگرافی و کاربری اراضی بر روی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در ارسباران

*** محسن لطفی نصیرآباد[۱]، سید یوسف عرفانی‌فرد[۲]، علی کشاورزی[۳]**

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۲] دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۳] استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

تغییر کاربری اراضی و توپوگرافی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک[۲] (SOC) می‌باشند. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر کاربری اراضی و عوامل اولیه توپوگرافی بر روی تغییرات مکانی SOC در منطقه حفاظت شده ارسباران می‌باشد. به این منظور سه کاربری اراضی (جنگل، مرتع و زمین زراعی)، چهار طبقه شیب بر اساس درجه (۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰)، چهار طبقه جهت شیب (شمال، جنوب، شرق و غرب) و طبقات ارتفاعی در چهار گروه (۱۰۰۰-۲۶۷، ۱۵۰۰-۱۰۰۰، ۲۰۰۰-۱۵۰۰ و ۲۸۸۰-۲۰۰۰ متری) انتخاب شدند. با توجه به نوع کاربری اراضی و با در نظر گرفتن طبقات درجه و جهت شیب و ارتفاع، نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر به روش تصادفی طبقه‌بندی شده برداشت شدند. نتایج آماری حاصل از این تحقیق موید این مطلب است که SOC با کاربری اراضی و ارتفاع ارتباط معنی‌داری دارد ولی با درجه و جهت شیب ارتباط معنی‌داری نشان نداد، با این حال تمامی موارد فوق، بسته به منطقه مورد مطالعه تأثیر زیادی بر روی تغییر پذیری مکانی SOC دارند.

واژگان کلیدی: ارسباران، تغییرات کاربری اراضی، توپوگرافی، کربن آلی خاک

مقدمه

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در توسعه پایدار است که اثرات بسیار زیانباری بر محیط‌زیست و حیات انسان بر روی کره زمین دارد (IPCC,2007). مخازن SOC نه تنها نقش مهمی را در چرخه جهانی کربن و کاهش اثر تغییر پارامترهای اقلیمی ایفا می‌کنند، بلکه نقش بسیار مهمی را در رابطه با میزان تولید پوشش‌گیاهی و پویایی جنگل‌ها و مراتع بر عهده دارد. بنابراین ترسیب کربن[۳] خاک اهمیت زیادی در کاهش آثار منفی تغییرات اقلیمی دارد (Paul et al., 2020). امروزه تغییر جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی به یکی از نگرانی‌های قابل توجه در سطح دنیا در زمینه تخریب محیط‌زیست و تغییر اقلیم جهانی

* مسئول مکاتبه: Mohsen.lotfi73@ut.ac.ir

[2] Soil organic carbon
[3] Carbon sequestration

تبدیل شده است. به عنوان مثال ساینپو و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی روابط SOC در یکی از حوضه‌های آبخیز کنیا نشان دادند که تغییر کاربری اراضی اثر معنی‌داری بر روی ذخایر SOC دارد (Sainepo et al., 2018).

توپوگرافی از اصلی‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر توزیع مکانی و تغییرات SOC می‌باشد. در مقیاس مکانی کوچک پارامترهای توپوگرافی و کاربری اراضی جزو عوامل غالب مؤثر بر خصوصیات خاک می‌باشند. عوامل اولیه توپوگرافی را می‌توان از طریق مدل رقومی ارتفاع[1](DEM) تهیه نمود. با توجه به نتایج پژوهش‌های انجام شده به منظور بررسی ذخایر SOC، این نتایج نشان دهنده توپوگرافی به عنوان دومین عامل کنترل کننده میزان SOC پس از تنوع اقلیم می‌باشد (Patton et al., 2019). ارتفاع، درصد و جهت شیب از جمله ویژگی‌های مهم توپوگرافی هستند و به دلیل وجود ارتباط نزدیک بین این ویژگی‌ها، برای بررسی میزان SOC در شرایط مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بنا به آنچه گفته شد، بررسی اثر توپوگرافی و تغییرات کاربری / پوشش اراضی بر تغییر پذیری مکانی SOC می‌تواند ما را در طراحی و اجرای بهینه برنامه‌های مـدیریت خاک در منطقه حفاظت شده ارسباران یاری دهد. همچنین با توجه به ارتباط بین عوامل توپوگرافی و SOC در کاربری/پوشش اراضی مختلف در منطقه حفاظت شده ارسباران و تغییرات کاربری شدیدی که در این منطقه بـه علت جاذبه‌های توریستی، افزایش جمعیت و گسترش اراضی کشاورزی در دهه‌های اخیر رخ داده است، ضرورت انجام پژوهش حاضر در منطقه منطقه حفاظت شده ارسباران احساس می‌شود.

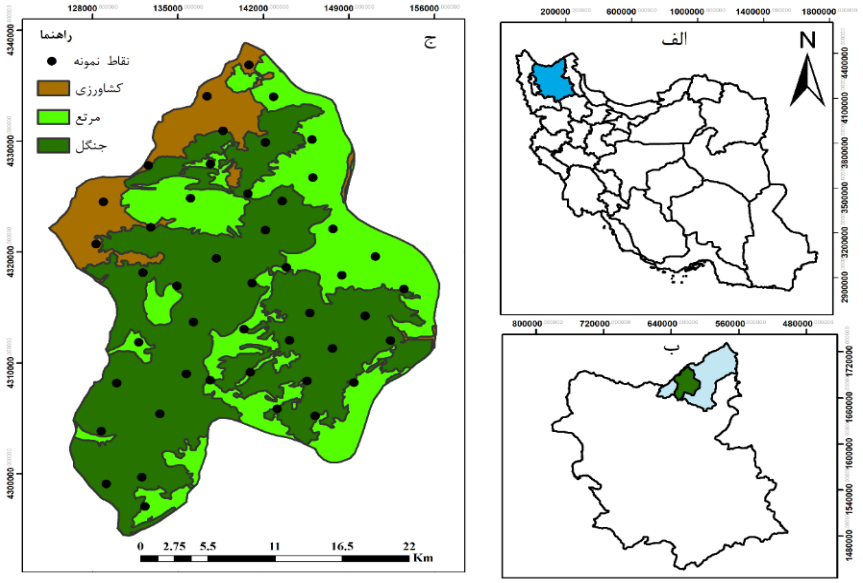
مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران در شمال غرب کشور و شمال آذربایجان شرقی قرار دارد. منطقه حفاظت‌شده ارسباران در محدوده بین ′۴۰ °۳۸ تا ′۰۹ °۳۹ عرض شمالی و ′۴۲ °۴۶ تا ′۰۳ °۴۷ طول شرقی قرارگرفته است (شکل ۱). نمونه‌برداری از خاک‌های منطقه مطالعاتی در تیر ماه سال ۱۳۹۸ صورت گرفت. درمجموع تعداد ۴۴ نمونه خاک به روش تصادفی طبقه‌بندی شده و با استفاده از یک GPS دقیق جمع‌آوری شد (شکل۱). بدین منظور ابتدا با استفاده از نقشه DEM با تفکیک پذیری مکانی ۳۰ متر، نقشه شیب در چهار طبقه بر اساس درجه (۰-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۴۵ و ۴۵-۶۰)، جهت شیب در چهار طبقه (شمال، جنوب، شرق و غرب) و ارتفاع نیز در چهار طبقه (۱۰۰۰-۲۶۷، ۱۵۰۰-۱۰۰۰، ۲۰۰۰-۱۵۰۰ و ۲۸۸۰-۲۰۰۰) تهیه شد. سپس با در نظر گرفتن نقشه‌های شیب، جهت شیب و کاربری اراضی (شامل جنگل، مرتع و کشاورزی)، توزیع مکانی نمونه‌های خاک به نحوی انجام شد تا از همه طبقات نمونه گرفته شود. با مراجعه به عرصه و انجام پیمایش صحرایی، موقعیت مکانی کلیهٔ نقاط نمونه‌برداری تعیین شد. در محل هر نقطه با استفاده از بیلچه یک نمونه از خاک سطحی صفرتا ۱۵ سانتیمتر

[1] Digital elevation model (DEM)

به وزن ۵۰۰ گرم تهیه و پس از نصب برچسب مربوطه، به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل گردید. مقدار SOC آنها نیز به روش تیتراسیون واکلی- بلک اندازه‌گیری شد (Walkley, A.J. and Black, 1934).



شکل ۱- ذخیره‌گاه زیست‌کره ارسباران (ج) در استان آذربایجان شرقی (ب) در شمال شرق ایران (الف). دایره‌های تیره‌رنگ روی نقشه ذخیره‌گاه زیست‌کره موقعیت مکانی نمونه‌های خاک برداشت‌شده در این پژوهش را نشان می‌دهند.

نتایج و بحث

با توجه در جدول ۱ که نشان دهنده تغییر پذیری زیاد SOC است و یکی از دلایل این تغییرپذیری، تاثیر زیاد توپوگرافی بر جابجایی و انتقال آب در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما است که به دنبال این فرآیند ویژگی‌های خاک و حساسیت آن به فرسایش در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما متفاوت می‌شود. تغییر پذیری زیاد SOC در مطالعات دیگری نیز اثبات شده است. به عنوان مثال حمامعلی و همکاران (۲۰۲۰) به مطالعه تاثیر کاربری ارضی در ذخیره SOC در سریلانکا پرداختند. نتایج نشان داد که ضریب تغییرات SOC خاک ۳۶ درصد است و نسبت به بقیه پارامترهای خاک بیشترین تغییرپذیری را دارد (Hemamali et al., 2020).

جدول ۱- توصیف آماری SOC در منطقه مورد مطالعه

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
کربن آلی خاک (٪)	۲/۸۱	۰/۶۱	۶/۷۷	۱/۵۲	۵۳/۹۵	۰/۹۳	۰/۶۲

طبق نتایج جدول ۲ که نشان می‌دهد بین SOC و کاربری اراضی ارتباط معنی‌داری وجود دارد، مقدار SOC در جنگل (۳/۴۲ ٪) بیشترین مقدار و بعد از آن نیز به ترتیب در مرتع و زمین‌های کشاورزی بیشتر بود. همچنین مقدار SOC در جنگل به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار SOC در زمین کشاورزی است ولی اختلاف معنی‌داری با SOC در مرتع نشان نداد. دلیل بیشتر بودن مقدار و ذخیره SOC در خاک‌های با کاربری جنگلی را می‌توان به پوشش‌گیاهی دایم، فعالیت میکروبی بیشتر، بقایای گیاهی بیشتر، وجود مواد هومیکی، عدم زیر و رو شدن خاک، ریشه‌دهی بیشتر گیاهان و درختان و حفاظت فیزیکی بیشتر و دایمی‌تر نسبت داد (Mokhtari et al., 2013). شخم زدن سبب به هم خوردن خاک سطحی و در نتیجه تسریع تجزیه زیستی مواد آلی، شدت یافتن فرسایش خاک و به دنبال آن هدر رفت مواد آلی همراه با رواناب می‌شود. اختلاف تنوع ذخیره SOC در کاربری‌های مختلف توسط بسیاری از محققین مطالعه شده است. آمانئوال و همکاران (۲۰۱۸) بر روی SOC ذخیره‌شده در چهار نوع کاربری متفاوت جنگل طبیعی، جنگل دست کاشت، مراتع و زمین‌های کشاورزی در حوزه آبخیز رود نیل در اتیوپی به مطالعه پرداختند، نتایج نشان داد که میانگین SOC ذخیرشده در جنگل (۴/۵۸٪) نسبت به مراتع (۲/۷۷٪) و زمین‌های کشت‌شده (۲/۳۳٪) بیشتر است (Amanuel et al., 2018). نتایج مطالعه حاضر با نتایج این مطالعه مطابقت می‌کند.

جدول ۲- برخی شاخص‌های آماری داده‌های کربن آلی خاک (٪) و مقایسه میانگین آنها در کاربری‌های مختلف

شاخص‌های آماری	کل منطقه مورد مطالعه	جنگل	مرتع	کشاورزی
میانگین	۱/۵۲ ±۲/۸۱	۱/۵۳ ± ۳/۴۲ ^{a}	۱/۳۸ ± ۲/۵۳ ^{ab}	۱/۰۸ ± ۱/۶۵ ^{b}
انحراف معیار	۱/۵۲	۱/۵۳	۱/۳۸	۱/۰۸
ضریب تغییرات	۵۳/۹۵	۴۴/۹۴	۵۴/۸۴	۶۵/۴۱
تعداد نمونه	۴۴	۲۱	۱۶	۷

(میانگین± انحراف معیار)، اعداد با حروف مشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ($p > ۰/۰۵$) نمی‌باشند

با توجه در نتایج به دست آمده از جدول ۳ که نشان دهنده ارتباط معنی دار بین SOC و ارتفاع است، بیشترین مقدار SOC در ارتفاع ۱۰۰۰-۱۵۰۰ متر و کمترین مقدار SOC در ارتفاع ۲۶۷-۱۰۰۰ متر است. دلیل آن را می‌توان نرخ پایین تجزیه SOC تحت درجه حرارت پایین‌تر و بیشتر بودن نزولات جوی در ارتفاعات بالاتر بیان نمود. همچنین در ارتفاع ۲۶۷-۱۰۰۰ بیشتر کاربری زمین‌های کشاورزی و بایر است و در ارتفاع ۱۰۰۰-۱۵۰۰ کاربری از نوع جنگل بوده که SOC بالاتری را دارا هست. فلاحتکار و همکاران (۱۳۹۲) محتوای SOC را در دو ارتفاع کمتر ۱۵۰۰ متر و بیشتر از ۱۵۰۰ بررسی کردند و گزارش دادند که با افزایش ارتفاع SOC نیز افزایش یافته است (فلاحتکار و همکاران، ۱۳۹۲)که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد.

جدول ۳- برخی شاخص‌های آماری داده‌های کربن آلی خاک (٪) و مقایسه میانگین آنها در ارتفاع‌های مختلف

شاخص‌های آماری	ارتفاع از سطح دریا برحسب متر				
	۲۸۸۰-۲۶۷	۱۰۰۰-۲۶۷	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۲۸۸۰-۲۰۰۰
میانگین	۱/۵۲± ۲/۸۱	۰/۸۲ ± ۱/۷۰ [b]	۱/۵۹ ± ۳/۴۵ [a]	۱/۶۶ ± ۳/۳۸ [a]	۰/۹۸ ± ۲/۶۳ [c]
انحراف معیار	۱/۵۲	۰/۸۲	۱/۵۹	۱/۶۶	۰/۹۸
ضریب تغییرات	۵۳/۹۵	۴۸/۴۰	۴۵/۹۶	۴۹/۰۸	۳۷/۵۰
تعداد نمونه	۴۴	۱۳	۱۵	۱۱	۵

(میانگین± انحراف معیار)، اعداد با حروف مشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ($p > ۰/۰۵$) نمی‌باشند

نتایج جدول ۴ نشان دهنده بیشترین میانگین مقدار SOC در محدوده ۳۰-۴۵ درجه و کمترین میانگین مقدار SOC در محدوده ۰-۱۵ است. همچنین جدول ۴ نشان می‌دهد که ارتباط معنی‌داری بین SOC و درجه شیب وجود ندارد. دلیل کمتر بودن SOC در شیب صفر تا ۱۵ این است که اغلب کاربری در این محدوده شیب اراضی کشاورزی بوده است. و در محدوده ۳۰-۴۵ اغلب کاربری از نوع جنگل است. سو و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی رابطه بین SOC و موقعیت شیب در جنوب تایوان بیان کردند که با افزایش ارتفاع، مقدار SOC افزایش می‌یابد. همچنین نشان دادند که مقدار SOC در موقعیت قله شیب بیش‌تر و بعد از آن در پا و پشت شیب بیش‌تر می‌باشد (Su et al., 2004).

جدول ۴- برخی شاخص‌های آماری داده‌های کربن آلی خاک (٪) و مقایسه میانگین آنها در شیب‌های مختلف

شاخص‌های آماری	۰-۶۰ درجه	۰-۱۵درجه	۱۵-۳۰ درجه	۳۰-۴۵درجه	۴۵-۶۰درجه
میانگین	۱/۵۲ ±۲/۸۱	۱/۱۸ ±۲/۲۵[a]	۱/۶۸±۲/۹۰[a]	۱/۵۹ ±۲/۹۵[a]	۱/۱۲ ±۲/۷۱[a]
انحراف معیار	۱/۵۲	۱/۱۸	۱/۶۸	۱/۵۹	۱/۱۲
ضریب تغییرات	۵۳/۹۵	۵۲/۳۷	۵۷/۹۴	۵۳/۹۵	۴۱/۵۱
تعداد نمونه	۴۴	۱۲	۱۳	۱۱	۸

(میانگین± انحراف معیار)، اعداد با حروف مشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ($p > ۰/۰۵$) نمی‌باشند

جدول ۵ نشان دهنده عدم ارتباط معنی‌دار SOC با جهت شیب است. با توجه به جدول ۵ بیشترین میانگین مقدار SOC در جهت‌های روبه شمال (۳/۰۳ ٪) و کمترین در جهت‌های رو به جنوب (۲/۶۲ ٪) است. شیب‌های شمالی به دلیل دمای کمتر و قابلیت حفظ رطوبت، ماده آلی بیشتری نسبت به شیب‌های جنوبی دارند (Hanna et al., 1982). بررسی‌های اگلی و همکاران (۲۰۰۶) در ارتفاعات شمال ایتالیا نشان داد که در شیب‌های شمالی، خاک دمای پایین‌تر و رطوبت بیشتری داشته بنابراین تولید ماده آلی بیشتر و تجزیه آن کندتر از شیب‌های جنوبی صورت می‌گیرد؛ در نتیجه مقدار SOC در شیب‌های شمالی بیشتر می‌باشد (Egli et al., 2006).

جدول ۵- برخی شاخص‌های آماری داده‌های کربن آلی خاک (٪) و مقایسه میانگین آنها در جهت شیب‌های مختلف

شاخص‌های آماری	۳۶۰-۰	شمال	جنوب	شرق	غرب
میانگین	۱/۵۲±۲/۸۱	۱/۱۳±۳/۰۳[a]	۱/۴۳±۲/۶۲[a]	۱/۸۳±۲/۸۴[a]	۱/۷۲±۲/۸۶[a]
انحراف معیار	۱/۵۲	۱/۱۳	۱/۴۳	۱/۸۳	۱/۷۲
ضریب تغییرات	۵۳/۹۵	۳۷/۵۴	۵۴/۷۴	۶۴/۶۴	۶۰/۲۹
تعداد نمونه	۴۴	۱۱	۱۳	۱۰	۱۰

(میانگین± انحراف معیار)، اعداد با حروف مشترک در هر ردیف دارای اختلاف معنی‌دار ($p > ۰/۰۵$) نمی‌باشند

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج پژوهش حاضر و مقایسه آن با نتایج پژوهش‌های گذشته در مورد توزیع و تغییرات مکانی SOC، عواملی مانند کاربری اراضی متنوع و توپوگرافی باعث توزیع ناهمگن SOC در منطقه مورد مطالعه شده‌اند. همچنین به‌عنوان یک نتیجه کاربردی بایستی عنوان کرد اگرچه انسان به طور طبیعی و مستقیم قادر به تغییر برخی ویژگی‌های خاک مؤثر بر ذخیره کربن نیست، اما نقش غیرمستقیم انسان بر این ویژگی‌ها از طریق تغییر در سایر مشخصه‌های قابل کنترل محیطی و همچنین جلوگیری از برخی پیامدهای سوء مدیریتی معطوف خواهد بود. با وجود اینکه منطقه مورد مطالعه جز مناطق حفاظت شده است ولی در برخی مکان‌ها تغییر کاربری جنگل به کشاورزی توسط انسان نیز باعث توزیع ناهمگن SOC می‌شود.

منابع

فلاحتکار، س. حسینی، م. ایوبی، ش. سلمان ماهینی، ع. (۱۳۹۲). تأثیر پارامترهای اولیه توپوگرافی و عامل پوشش / کاربری اراضی بر تراکم کربن آلی خاک در بخشی از اراضی شمال ایران. نشریه آب و خاک ۲۷(۶)۹۷۲-۹۶۳.

Amanuel, W., Yimer, F., & Karltun, E. (2018). Soil organic carbon variation in relation to land use changes: the case of Birr watershed, upper Blue Nile River Basin, Ethiopia. Journal of Ecology and Environment, 42(1), 16–25.

Egli, M., Mirabella, A., Sartori, G., Zanelli, R., & Bischof, S. (2006). Effect of north and south exposure on weathering rates and clay mineral formation in Alpine soils. Catena, 67(3), 155–174.

Hanna, A. Y., Harlan, P. W., & Lewis, D. T. (1982). Soil Available Water as Influenced by Landscape Position and Aspect. Agronomy Journal, 74(6), 999–1004.

Hemamali, D. D. A. E., Vitharana, U. W. A., Balasooriya, B. L. W. K., Attanayake, C. P., & Dandeniya, W. S. (2020). Impact of Agricultural Land Use on Soil Organic Carbon Sequestration at Sub-catchment Scale. Tropical Agricultural Research, 31(1), 13–20.

IPCC. (2007). Contribution of Working Group I, to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In Intergovernmental Panel on Climate Change.

Mokhtari, P., Ayoubi, S., & Mosaddegi, M. (2013). Effect of slope and land use change on the stability and organic carbon content of aggregates. Iranian Journal of Soil and Water Research (in Persian)), 44(2), 193–202.

Patton, N. R., Lohse, K. A., Seyfried, M. S., Godsey, S. E., & Parsons, S. B. (2019). Topographic controls of soil organic carbon on soil-mantled landscapes. Scientific Reports, 9(1), 1–15.

Paul, S. S., Coops, N. C., Johnson, M. S., Krzic, M., Chandna, A., & Smukler, S. M. (2020). Mapping soil organic carbon and clay using remote sensing to predict soil workability for enhanced climate change adaptation. Geoderma, 363, 114177.

Sainepo, B. M., Gachene, C. K., & Karuma, A. (2018). Assessment of soil organic carbon fractions and carbon management index under different land use types in Olesharo Catchment, Narok County, Kenya. Carbon Balance and Management, 13(1), 4–13

Su, Y. Z., Zhao, H. L., Zhang, T. H., & Zhao, X. Y. (2004). Soil properties following cultivation and non-grazing of a semi-arid sandy grassland in northern China. Soil and Tillage Research, 75(1), 27–36.

Walkley, A.J. and Black, I. . (1934). An examination of the Degtjareffmethod for determining soil organic matter and aproposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37, 29–38.

Effect of topography and land use on spatial distribution of soil organic carbon in Arasbaran

[1]Mohsen Lotfi nasirabad, [2]Seyed Yousef Erfanifard, [3]Ali Keshavarzi

[1]M.Sc. Student, Dept. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
[2]Associate Prof., Dept. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran
[3]Assistant Prof., Dept. of Soil Sciences and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

Land-use change and topography are the most critical factors affecting the spatial variability of soil organic carbon (SOC). This study aimed to investigate land use and primary topographic factors on spatial distribution of SOC in Arasbaran restricted area. For this purpose, three land uses (forest, pasture and arable land) slope gradient in four classes based on the degree (0-15, 15-30, 30-45 and 45-60), slope aspect in four classes (north, south, East and West) and elevation in four classes (267-1000, 1000-1500, 1500-2000 and 2000-2880 m) were selected. Depending on the land use types and considering the gradient and aspect of slopes and height, soil samples were collected from 0 to 15 cm depth based on stratified random sampling method.. The statistical results of this study showed that SOC has a significant relationship with land use and altitude and has no significant relationship with the degree and direction of the slope; however, all above classes have a notable impact on SOC distribution in the study region.

Keywords: Arasbaran, land use changes, topography, soil organic carbon

مدیریت کربن آلی خاک در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک با استفاده از نقشه‌برداری رقومی

لیلا لطف الهی[۱]، محمدامیر دلاور[۲]، آسیم بیسواز[۳]، محمد جمشیدی[۴]، روح‌اله تقی‌زاده مهرجردی[۵]

۱-دانشجوی دکتری دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان.

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان .amir-delavar@znu.ac.ir

۳- استادیار دانشکده علوم محیطی، دانشگاه گوئلف، گوئلف، کانادا.

۴-استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

۵- گروه علوم زمین، علوم خاک و ژئومورفولوژی، دانشگاه توبینگن، توبینگن، آلمان و دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان.

چکیده

نقشه‌های خاک یک پیش‌نیاز اساسی برای برنامه‌ریزی استفاده از منابع زمین در دشت چهاردوولی در غرب ایران است. در این مطالعه، کربن آلی خاک در اعماق ۰-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰، ۹۰-۱۲۰ و ۱۲۰-۱۵۰ اندازه‌گیری شد. در مجموع ۲۰۰ نمونه خاک از ۳۰ پروفیل موجود جمع آوری شد. روابط بین کربن آلی و متغیرهای محیطی با استفاده از مدل‌های جنگل تصادفی (RF)، درخت تصمیم (DT) و رگرسیون خطی چندگانه (MLR) مدل‌سازی شد. مقدار میانگین کربن آلی با عمق خاک از ۱/۴ (۰-۵ سانتی‌متر) به ۰/۲ (۹۰-۱۲۰ سانتی‌متر) کاهش یافت. متغیرهای مهم مورد استفاده تا عمق ۳۰ سانتیمتری شامل Channel Network Base Level و شاخص‌های پوشش گیاهی هستند هر چه از سطح خاک به عمق خاک پیش می‌رویم از اهمیت متغیرهای شاخص پوشش گیاهی کاسته و بر اهمیت پارامترهای زمینی افزوده می‌شود. نتایج کلی نشان می‌دهد دقت پیش‌بینی مدل‌ها به‌ترتیب مدل جنگل تصادفی، درخت تصمیم و سپس مدل MLR است. گرچه در مقیاس‌های کوچک مقدار کربن آلی متاثر از کاربری اراضی می‌باشد اما در این مطالعه مهمتر از کاربری اراضی مسأله مدیریت می‌باشد. مدیریت مهمترین فاکتور کنترل‌کننده مقدار کربن آلی در این مطالعه می‌باشد.

واژگان کلیدی: جنگل تصادفی، کربن آلی، نقشه جهانی خاک، منطقه خشک و نیمه خشک.

مقدمه

نقش مدیریت در بهره‌برداری از منابع و حفظ و نگهداری آنها حیاتی است و بدون آن دستیابی به کشاورز پایدار به‌عنوان یکی از اجزاء مهم تشکیل دهنده آن امکان‌پذیر نمی‌باشد (Ma et al., 2017). این امر در کشورهای درحال توسعه از اهمیت بیشتری برخوردار است، زیرا این کشورها بیشتر از کشورهای توسعه یافته برای حفظ تولید مواد غذایی به خاک وابسته هستند از اینرو شیوه‌های مدیریت زمین و کشاورزی باید دستخوش تحولات اساسی شوند چرا که بهبود این شیوه‌ها می‌تواند باعث بهبود کیفیت خاک شود (Lal., 2014). یک منبع مهم اطلاعات خاک نقشه‌های خاک هستند. نقشه‌های خاک یک پیش‌نیاز اساسی برای استفاده برنامه‌ریزی شده از منابع زمین است (Garg et al., 2020). کارگروه های نقشه‌برداری رقومی خاک، اتحادیه بین‌المللی علوم خاک و گروه کاری نقشه جهانی خاک پیوند محکمی با هم دارند. هدف این گروه ارائه پیشرفت‌های علمی در زمینه نقشه‌برداری رقومی خاک در تمام مقیاس‌ها و برای همه مناطق می‌باشد (Arrouays et al., 2014). نقشه‌برداری رقومی خاک اطلاعات اساسی در مورد ویژگی‌های چشم انداز ارائه می‌دهد و برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح در طیف وسیعی از موضوعات جهانی مانند تولید مواد غذایی و ریشه کن کردن گرسنگی، تغییرات آب و هوایی و تخریب محیط زیست ضروری است (Campbell et al., 2019). این نقشه‌ها برای دانشمندان و مدیران اراضی و برای طیف گسترده‌ای از اهداف مهم هستند (Khaledian and Miller., 2020). این در حالی است که برای بسیاری از مناطق ایران از جمله استان کردستان این نوع اطلاعات در دسترس نیست. یکی از دشتهای مهم استان کردستان دشت چهاردولی است. مساله فرسایش خاک و کاهش مواد آلی و مسائل بسیار دیگر ناشی از مدیریت نادرست

بخش کشاورزی این دشت را به یکی از سه دشت ممنوعه استان تبدیل کرده است. این مسائل آینده این دشت را با مخاطرات جدی روبرو خواهد کرد. در مقیاس محلی، مدیریت کربن آلی خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار است زیرا بر خصوصیات فیزیکی ، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تأثیر می گذارد. در مقیاس جهانی، مدیریت مناسب کربن خاک به دلیل نقش آن در کاهش گازهای گلخانه‌ای، امنیت خاک و تخریب زمین بسیار مهم است. با توجه به ظرفیت عظیم خاک برای نگهداری کربن، حتی تغییرات نسبتاً کمی در مقدار آن می‌تواند تغییرات چشمگیری در تعادل جهانی کربن داشته باشد. تخمین زده شده که تنها یک درصد افزایش محتوای کربن در پدوسفر می‌تواند ppm ۸ محتوای کربن را در جو تنظیم کند. از این‌رو، با روش‌های مدیریت پایدار زمین می‌توان تعادل دوباره بین ذخیره‌سازی کربن در اتمسفر و زمین با کاهش تلفات و افزایش تجمع در پدوسفر محقق نمود (Keskin et al., 2019).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه قسمتی از دشت چهاردولی در جنوب‌شرقی استان کردستان را دربرمی‌گیرد. منطقه با طول جغرافیایی 47°89′E تا 48°06′E و عرض جغرافیایی 34°97′N تا 35°10′N مساحتی حدود 104 Km^2 را داراست. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به‌ترتیب زریک و مزیک می‌باشد. بر اساس تقسیم‌بندی ماهلر (۱۹۷۰) واحدهای فیزیوگرافی منطقه شامل اراضی پست، دشتهای دامنه‌ای، فلات و تپه است و کاربری‌های اصلی منطقه شامل زراعت و مرتع می‌باشد. منطقه زیر کشت محصولات زراعی مانند گندم، جو، سیب زمینی، نخود و صیفی‌جات قرار دارد. نقاط مورد مطالعه با روش نمونه‌برداری مکعب لاتین مشروط و بسته cLHS در نرم‌افزار آر بدست آمد (Minasny and McBratney., 2006). در مجموع ۲۰۰ نمونه خاک از ۳۰ پروفیل قابل دسترس جمع‌آوری شد و کربن آلی (Nelson et al., 1996) اندازه‌گیری شد. در این مطالعه از دو گروه از متغیرهای محیطی استفاده شد: ۱- متغیرهای مشتق شده از DEM و ۲- متغیرهای حاصل از تصاویر ماهواره‌ای. ۱۰ شاخص پوشش گیاهی و ۲۴ شاخص مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع در محیط نرم افزار ساگا (Version: 5.0.0) استخراج شد. ۶ شاخص مرتبط با خاک در محیط ArcGIS 10.5 استخراج شد. کاربری‌های اراضی استخراج شده شامل ۹ کاربری می‌باشد. در مرحله چهارم آنالیز همبستگی و کاهش متغیر انجام شد. در مرحله پنجم انتخاب متغیر انجام شد. در این مطالعه اهمیت متغیر با استفاده از حذف ویژگی بازگشتی (RFE) بر اساس الگوریتم جنگل تصادفی بررسی شد (Development Core Team, R., 2016). در مرحله ششم با استفاده از متغیرهای انتخاب شده فرایند مدل‌سازی انجام شد. ما از متغیرهای انتخاب شده در روش بالا به‌عنوان چهارچوبی برای تمام روشهای مدلسازی استفاده کردیم. برای مدلسازی رابطه بین خصوصیات خاک و متغیرهای محیطی از مدل‌های فراگیری ماشین شامل جنگل تصادفی، رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای، و درخت تصمیم که در پیش‌بینی خصوصیات خاک دارای دقت بالاتری هستند، استفاده شد. در مرحله هفتم برای ارزیابی کیفیت مدل‌های پیش‌بینی، داده‌ها به یک مجموعه آموزشی و یک مجموعه اعتبارسنجی تقسیم شده است. ۸۰ درصد نمونه‌ها بصورت تصادفی به‌عنوان یک مجموعه آموزشی و بقیه به‌عنوان یک مجموعه اعتبارسنجی انتخاب شدند. ارزیابی عملکرد مدل یکی از مولفه‌های مهم هر آزمایش است و در مقایسه مدل‌های مختلف نقشی اساسی دارد. میانگین خطای ریشه مربعات (RMSE) یک معیار دقیق برای مقایسه عملکرد مدل و در نتیجه تغییرات آن است. RMSE از طریق معادله زیر میزان خطای بین دو مجموعه داده را اندازه‌گیری می‌کند. مدلی که دارای مقدار ریشه میانگین مربعات خطا کوچکتری باشد، از دقت بیشتری در برآورد ویژگی خاک برخوردار است. RMSE به این صورت تعریف می‌شود: که در آن obs خاصیت خاک مشاهده شده باشد، pred ویژگی پیش‌بینی‌شده خاک از یک مدل داده شده است و n تعداد مشاهدات است (Rumao., 2019).

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{obs_i} - \mathrm{pred_i})^2} \qquad (۱)$$

بایاس، خطای میانگین پیش‌بینی نامیده می‌شود و به صورت زیر تعریف می‌شود

$$\mathrm{Bias} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{obs_i} - \mathrm{pred_i}) \qquad (۲)$$

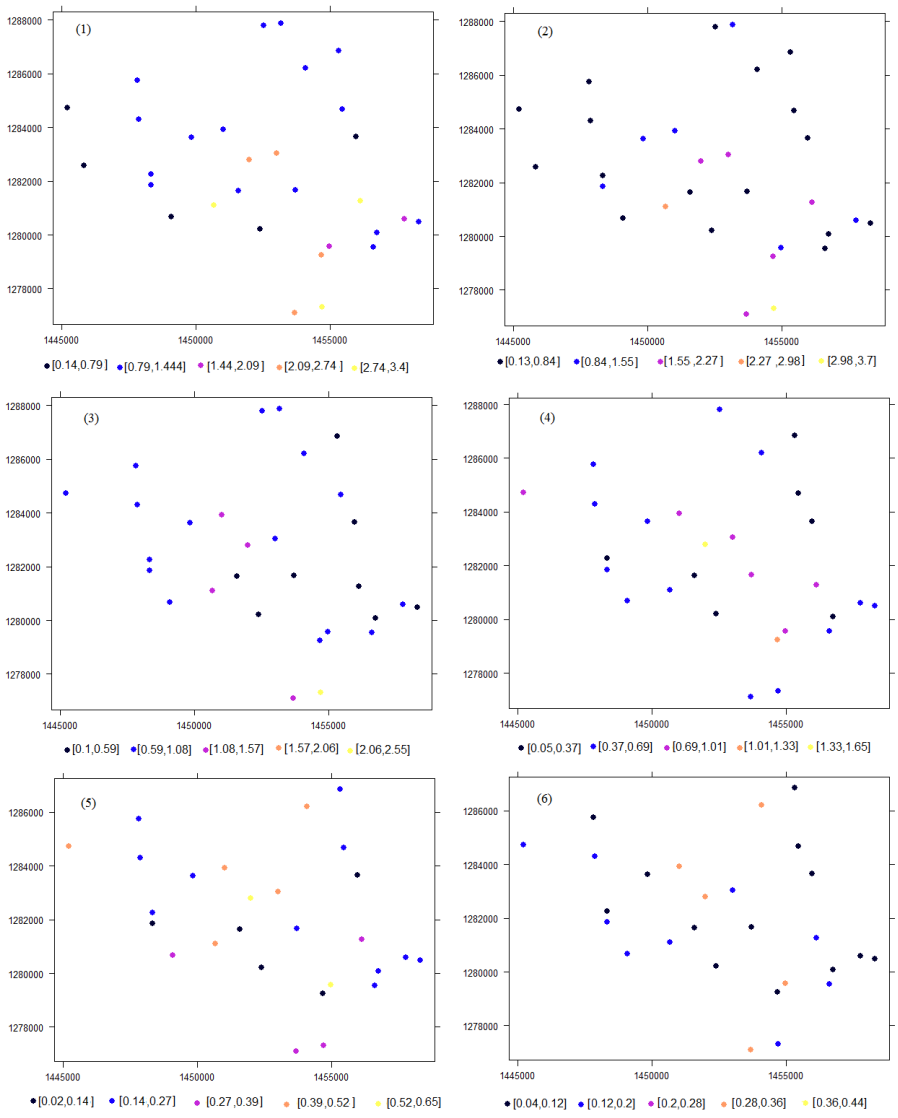
R^2 به عنوان مربع ضریب همبستگی نمونه (پیرسون) دقت رابطه بین مشاهدات و پیش بینی های مربوطه را اندازه گیری می کند. ضریب همبستگی پیرسون r هنگامی که روی مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده اعمال می شود به صورت زیر تعریف می شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(obs_i - \overline{obs}) - (pred_i - \overline{pred})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(obs_i - \overline{obs})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(pred_i - \overline{pred})^2}} \quad (۳)$$

شاخص R^2، RMSE برای هر ویژگی برای مقادیر پیش بینی شده و مقادیر اندازه گیری شده با استفاده از روش تأیید اعتبار متقابل بدست آمد. ضریب تعیین (R^2) بین ۰ و ۱ متغیر است و نزدیک بودن مقادیر پیش بینی شده به خط رگرسیون نصب شده بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده یا نسبت واریانس توضیح داده شده توسط پیش بینی کننده‌های مستقل را نشان می‌دهد. RMSE خطای میانگین مربع است. Concordance معیار اندازه گیری قابلیت اطمینان است که براساس همبستگی و مکاتبه‌ای که در آن خط همبستگی از مبدا عبور می‌کند و دارای شیب ۱،۰ است، استوار است (Rumao., 2019).

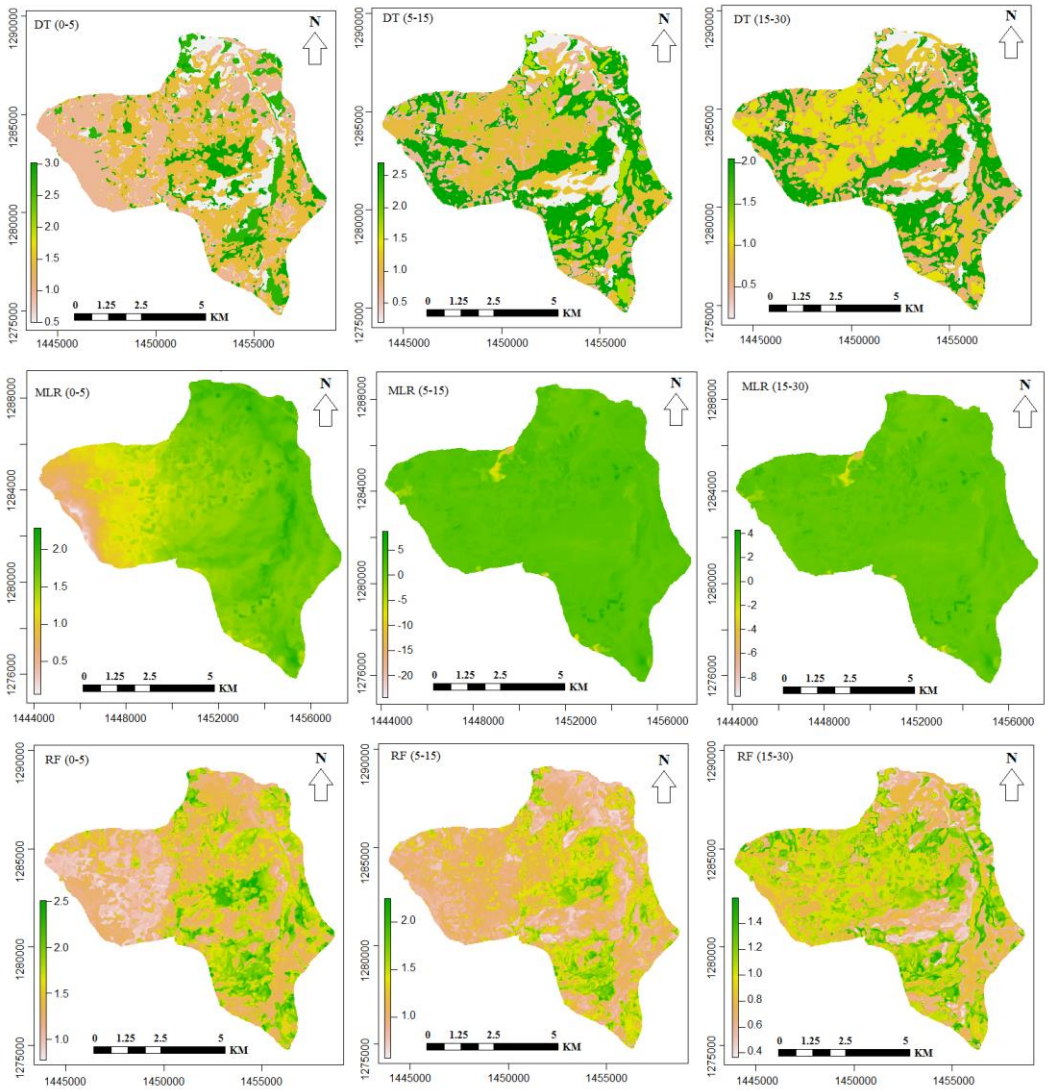
نتایج و بحث

نتایج کربن آلی حاکی از این است که با افزایش عمق از میانگین مقدار کربن آلی خاک کاسته می‌شود. بیشترین مقدار میانگین کربن آلی در عمق ۵-۰ سانتیمتری و کمترین مقدار از عمق ۹۰ سانتیمتری به پایین است.



شکل۱- موقعیت پروفیل‌های حفرشده در منطقه مورد مطالعه و نمایش توزیع کربن آلی در عمق‌های مختلف در منطقه. به ترتیب شامل (۱): عمق ۵-۰، (۲): عمق ۱۵-۵، (۳): عمق ۳۰-۱۵، (۴): عمق ۶۰-۳۰، (۵): عمق ۹۰-۶۰، (۶): عمق ۱۲۰-۹۰ سانتیمتر.

موقعیت پروفیل‌های حفرشده در منطقه مورد مطالعه و نمایش توزیع کربن آلی در عمق‌های مختلف در منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است. از میان مجموعه متغیرهای موجود ۴ متغیر ویژگی زمین و ۸ متغیر سنجش از دور مهمترین متغیرهای مورد استفاده در مطالعه کربن آلی بودند. متغیرهای مهم مورد استفاده تا عمق ۳۰ سانتیمتری شامل Channel Network Base Level و شاخص‌های پوشش گیاهی هستند هر چه از سطح خاک به عمق خاک پیش می‌رویم از اهمیت متغیرهای شاخص پوشش گیاهی کاسته و بر اهمیت پارامترهای زمینی افزوده می‌شود. ارتباط بسیار نزدیکی بین پوشش گیاهی با کربن آلی خاک‌های سطحی وجود دارد (Emadi et al., 2020). بر اساس نتایج مهمترین متغیری که بیشترین سهم را در توزیع مکانی کربن آلی داشت متغیر Channel Network Base Level با سهم ۱۵/۴ درصد است. در مرتبه دوم اهمیت شاخص‌های پوشش گیاهی Difference Vegetation Index (DVI), Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index (TSAVI), Ratio Vegetation Index (RVI) به‌همراه Salinity Ratio Index قرار دارند. این متغیرها در پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلی خاک منطقه ۱۱/۵ درصد سهم دارند.



شکل ۲- نقشه مدل‌سازی پیش‌بینی کربن آلی در سه عمق ۵-۰، ۱۵-۵، ۳۰-۱۵ (از چپ به راست) با سه مدل درخت تصمیم، رگرسیون خطی چندگانه و جنگل تصادفی (از بالا به پایین).

شاخص‌های پوشش گیاهی حاصل شده از تصاویر سنجش از دور متغیر قدرتمندی برای پیش‌بینی کربن آلی خاک هست. پوشش گیاهی می‌تواند کربن آلی خاک را با مکانیسم‌های مختلف مانند افزودن مواد آلی، محافظت از فرسایش خاک و حفظ رطوبت خاک غنی کند. متغیرهای Slope و NDVI با سهم ۷/۷ درصد در مرتبه سوم اهمیت قرار دارند. بر اساس نتایج مقدار کربن آلی لایه سطحی (۰-۵) در قسمت‌های مختلف دشت متفاوت است. کمترین مقدار کربن آلی در مراتع دچار فرسایش شدید خاک سطحی، اراضی ماندابی و مناطق تحت کشت قرار دارند. بیشترین مقدار کربن آلی در بخشی از مراتعی است که نه تحت تاثیر سیلاب جریان رودخانه‌ای است و نه دچار فرسایش شدید سطحی شده است. نتایج اعتبارسنجی کربن آلی نشان داد که بهترین پیش‌بینی برای مدل جنگل تصادفی بود (شکل ۲). در مدل جنگل تصادفی مقدار R^2 بین ۰/۷۲-۰/۹۳ است. مقدار RMSE بین ۰/۱-۰/۶۹ بود. در مدل درخت تصمیم نیز مقدار R^2 بین ۰/۷۲-۰/۹۴ بود. مقدار RMSE برای لایه‌های مختلف بین ۰/۰۳-۰/۶۴ بود. در مدل MLR نیز R^2 به‌طور متوسط ۰/۶۳ درصد بود. مقدار RMSE بین ۰/۰۴-۰/۷۸ بود. نتایج کلی بررسی کربن آلی نشان می‌دهد دقت پیش‌بینی مدل‌ها به‌ترتیب جنگل، درخت و سپس MLR است (شکل ۲). تقی‌زاده‌مهرجردی و همکاران گزارش دادند از میان شش مدل مورد استفاده، مدل RF بعد از مدل deep learning neural networks (DNN) بهترین دقت در مدل‌سازی کربن آلی را داشت (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2020). در تحقیقی دیگر از مدل جنگل‌تصادفی برای مدل‌سازی کربن آلی خاک استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که نقشه پیش‌بینی شده با واقعیت‌های موجود سازگار است در برنامه‌ریزی جامع برای بهبود کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه می‌توان از این نقشه‌ها استفاده نمود (Pahlavan-Rad et al., 2018).

نتیجه‌گیری

در مقیاس بزرگ مهمترین عامل در تراکم کربن آلی خاک اقلیم و به‌طور عمده بارندگی و دما می‌باشد. در مقیاس‌های کوچکتر کاربری اراضی و مدیریت مهمتر است. اگر چه کربن آلی خاک با عوامل اقلیمی مانند بارندگی، دما و تابش خورشید می‌تواند کنترل شود. اما به روشهای مدیریتی خاک از جمله تناوب کشت، فرسایش، خاکورزی، زهکشی و غیره بسیار سریعتر پاسخ می‌دهد. گرچه در مقیاس‌های کوچک مقدار کربن آلی متاثر از کاربری اراضی می‌باشد اما در این مطالعه مهمتر از کاربری اراضی مسأله مدیریت می‌باشد. مدیریت مهمترین فاکتور کنترل کننده مقدار کربن آلی در این مطالعه می‌باشد. چرا که به دلیل مدیریت ضعیف مقدار کربن آلی در نقاط دچار فرسایش شدید و مناطق زیر کشت مانند هم است.

فهرست منابع

Arrouays, D., Grundy, M.G., Hartemink, A.E., Hempel, J.W., Heuvelink, G.B., Hong, S.Y., Lagacherie, P., Lelyk, G., McBratney, A.B., McKenzie, N.J. and dL Mendonca-Santos, M. 2014. GlobalSoilMap: toward a fine-resolution global grid of soil properties. In Advances in agronomy. 125 (93-134). Academic Press.

Campbell, P. M. D. M., Francelino, M. R., Fernandes Filho, E. I., Rocha, P. D. A., Azevedo, B. C. D. 2019. Digital mapping of soil attributes using machine learning. Revista Ciência Agronômica, 50(4), 519-528.

Development Core Team, R. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna Austria.

Emadi, M., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Cherati, A., Danesh, M., Mosavi, A., Scholten, T. 2020. Predicting and mapping of soil organic carbon using machine learning algorithms in Northern Iran. Remote Sensing, 12(14), 2234.

Fernández-Romero, M. L., Lozano-García, B., Parras-Alcántara, L. 2014. Topography and land use change effects on the soil organic carbon stock of forest soils in Mediterranean natural areas. Agriculture, Ecosystems Environment, 195, 1-9.

Garg, P. K., Garg, R. D., Shukla, G., Srivastava, H. S. 2020. Digital Soil Mapping: Implementation and Assessment. In Digital Mapping of Soil Landscape Parameters (pp. 65-92). Springer, Singapore.

Keskin, H., Grunwald, S., Harris, W. G. 2019. Digital mapping of soil carbon fractions with machine learning. Geoderma, 339, 40-58.

Khaledian, Y., Miller, B. A. 2020. Selecting appropriate machine learning methods for digital soil mapping. Applied Mathematical Modelling, 81, 401-418.

Lal, R. 2014. Climate strategic soil management. Challenges, 5(1), 43-74.

Ma, Y., Minasny, B., Wu, C. 2017. Mapping key soil properties to support agricultural production in Eastern China. Geoderma Regional, 10, 144-153.
Mahler, P. J. (Ed.). 1970. Manual of land classification for irrigation. Ministry of Agriculture.
Mclean E.O. 1982. Soil PH and Lime Requirement. In miller, R. H., and Keeney, D. R. methods of soil Analysis. Part 2. Chemical and microbial properties. Soil Science Society of America. Madison. WI.
Minasny, B., and A.B. McBratney. 2006. A conditioned Latin hypercube method for samplingin the presence of ancillary information. Comput. Geosci. 32:1378–1388.
Olaya, V., Conrad, O. 2009. Geomorphometry in SAGA. Developments in soil science, 33, 293-308.
Pahlavan-Rad, M. R., Dahmardeh, K., Brungard, C. 2018. Predicting soil organic carbon concentrations in a low relief landscape, eastern Iran. Geoderma Regional, 15, e00195.
Planchon, O., Darboux, F. 2002. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. Catena, 46 (2-3), 159-176.
Rumao, S. 2019. Exploration of Variable Importance and Variable selection techniques in presence of correlated variables.
Taghizadeh-Mehrjardi, R., Schmidt, K., Amirian-Chakan, A., Rentschler, T., Zeraatpisheh, M., Sarmadian, F., Valavi, R., Davatgar, N., Behrens, T. and Scholten, T. 2020b. Improving the Spatial Prediction of Soil Organic Carbon Content in Two Contrasting Climatic Regions by Stacking Machine Learning Models and Rescanning Covariate Space. Remote Sensing, 12(7), 1095.
Wang, B., Waters, C., Orgill, S., Cowie, A., Clark, A., Li Liu, D., Simpson, M., McGowen, I. and Sides, T. 2018a. Estimating soil organic carbon stocks using different modelling techniques in the semi-arid rangelands of eastern Australia. Ecological indicators, 88, 425-438.

Soil organic carbon management in an arid and semi-arid region using digital mapping

Leila Lotfollahi[1], Mohammad Amir Delavar[2], Asim Biswas[3], Mohammad Jamshidi[4], RuhollahTaghizadeh-Mehrjardi[5]

1-Ph.D Student, Department of soil science, University of Zanjan,
2- Associate Professor, Department of soil science, University of Zanjan. amir-delavar@znu.ac.ir
3- School of Environmental Sciences, University of Guelph, 50 Stone Road East, Guelph, ON N1G 2W1, Canada
4- Assistant Professor, Instructor Soil and Water Research Institute (SWRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ministry of Agriculture.
5- Department of Geosciences, Soil Science and Geomorphology, University of Tübingen, Tübingen, Germany
Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

Abstract

Soil maps are a need for land use planning in western Iran's Chahardovoli plain. Soil organic carbon was measured at depths of 0-5, 5-15, 15-30, 30-60, 60-90, 90-120, and 120-150 cm in this study. A total of 200 soil samples were collected from 30 existing profiles. Random forest (RF), decision tree (DT), and multiple linear regression (MLR) models were used to modeling of relationships between organic carbon and environmental factors. With increasing soil depth, the average amount of organic carbon decreased from 1.4 (5-5 cm) to 0.2 (120-190 cm). Channel Network Base Level and vegetation index are important factors used up to a depth of 30 cm. The importance of vegetation index decreases as we move from the soil surface to the soil depth, while the importance of terrestrial characteristics increases. Overall, the models' prediction accuracy is random forest model, decision tree, and finally MLR model, respectively. Although the amount of organic carbon is affected by land use on a small scale, in this study the issue of management is more important than land use. Management is the most important factor controlling the amount of organic carbon in this study.

Keywords: *Arid and semi-arid region, Global soil map, Organic carbon, Random forest.*

اثر مصرف کربن فعال بر زیست پالایی تحریک شده هیدروکربن‌های نفتی خاک آلوده به لجن نفتی

رقیه کریم‌پور[۱]، سهیلا ابراهیمی[۲*]، الهام ملک‌زاده[۳]
۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲*- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان sohebrahimi@gmail.com
۳- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده:
آلودگی خاک به لجن نفتی از معضلات مهم محیط زیستی است. یکی از راه‌های حذف هیدروکربن‌های موجود در خاک آلوده به لجن نفتی، پالایش زیستی تحریک‌شده است. این پژوهش در خاک آلوده به نسبت ۳۰ درصد وزنی لجن نفتی و در مقیاس آزمایشگاهی به مدت ۶۰ روز به روش تحریک زیستی با استفاده از کود NPK به عنوان ماده مغذی و اصلاحگر کربن فعال (اوزان ۱۰۰ و ۱۵۰ گرم و اندازه‌های ۰/۳، ۱/۵ و ۴ میلی‌متر) انجام شد. آزمایش شامل ۷ تیمار؛ شاهد، وزن ۱۵۰ گرم و اندازه ۰/۳ میلی‌متر، وزن ۱۵۰ گرم و اندازه ۱/۵ میلی‌متر، وزن ۱۵۰ گرم و اندازه ۴ میلی‌متر، وزن ۱۰۰ گرم و اندازه ۰/۳ میلی‌متر، وزن ۱۰۰ گرم و اندازه ۱/۵ میلی‌متر، و وزن ۱۰۰ گرم و اندازه ۴ میلی‌متر از کربن فعال بود. نتایج نشان داد که کاربرد کربن فعال اثر معنی‌داری بر کاهش مقدار TPH خاک آلوده به لجن نفتی داشت. با افزایش وزن و کاهش اندازه کربن فعال، غلظت TPH کاهش بیشتری داشت. بیشترین غلظت TPH در تیمار شاهد و کمترین در تیمار وزن گرم۱۵۰ و اندازه ۰/۳ میلی‌متر بود که در دوره های، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ روز به ترتیب کاهش ۳۴/۱، ۳۵/۶، ۳۸/۷، ۴۱/۶، ۴۴/۳ و ۴۷/۱ درصدی نسبت به شاهد داشت.

کلمات کلیدی: تحریک زیستی، زیست پالایی، کربن فعال، لجن نفت، مواد مغذی

مقدمه:
خاک منبع عظیم و سرمایه گرانقدری است که بسیاری از مسائل حیاتی و نیازهای ضروری انسان و دیگر موجودات زنده به آن وابسته است. افزایش جمعیت و صنعتی شدن کشورها حجم زیادی از آلاینده‌ها از جمله هیدروکربن‌ها و حلال‌های شیمیایی که اثرات منفی زیست‌محیطی متنوعی به دنبال دارد را به محیط وارد نموده است. از جمله آلاینده‌های خاک، آلاینده‌های نفتی می‌باشند که می‌توان به نفت، گازوئیل، لجن‌های نفتی، حلال‌های کلردار، بنزن، تولوئن، اتیل بنزن و زایلن، پلی هیدرو آروماتیک حلقوی و غیره اشاره نمود. در میان این‌ها، نفت از معمول‌ترین آلاینده‌هاست که در خاک تهدیدی جدی و گسترده برای هوا، آب‌های زیرزمینی، کیفیت خاک و میکروفلور و میکروفون است. همچنین در ایران بخاطر تولید سالانه مقادیر زیادی نفت خام یک کشور بزرگ تولید کننده نفت در جهان است و از طریق فرآیند استخراج ، حمل و تصفیه در معرض آلودگی این اجزای هیدروکربن قرار گرفته است(۶,۷,۱۵) لجن نفتی یک اصطلاح کلی است برای توصیف رسوبات باقی‌مانده‌ای که در کف تانک‌ها و مخازن ذخیره‌سازی انباشته شده‌اند. لجن نفتی موجود در کف مخازن ترکیب چسبنده‌ای است که در حدود هفت تا ده درصد ظرفیت ذخیره‌سازی مخازن را کاهش می‌دهد (۸,۲). بیشتر لجن‌های نفتی بدون هیچگونه پالایشی در فضای مجاور محل تولید انباشته می‌شود و مشکلات جدی زیست محیطی ایجاد می‌کنند. هیدروکربن‌های موجود در لجن به آرامی به داخل خاک نفوذ می‌کنند و خطر آلودگی را برای خاک‌های زیرین و آب‌های زیرزمینی ایجاد می‌کنند. از طرف دیگر، هیدروکربن‌های سبک موجود در لجن بخار می‌شوند و لایه‌ای از غبار حاوی نفت را به سمت بالا رها می‌کنند تا هوا را آلوده کنند. این آلودگی‌های خاک برای آب، هوا، محیط‌زیست و جمعیت انسانی خطرات جدی به همراه دارد (۲۲). اثرات مخرب این نوع آلودگی علاوه بر گیاهان و جانوران، معمولاً باعث کاهش جمعیت باکتری‌ها در محیط می‌شود و در نهایت منجر به از

بین رفتن تنوع گونه‌ها می‌شود (۱۴). همچنین این آلودگی‌ها بر موجودات طبیعی موجود در خاک و از بین بردن زنجیره غذایی تأثیر دارند (۱۲). تحریک زیستی و افزودن مواد مغذی فعالیت میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد تا بتوانند هیدروکربن‌های نفتی را با سرعت بیشتری تخریب کنند (۱۱,۵). افزودن مواد مغذی مختلف به خاک آلوده نفتی و مقایسه میزان تجزیه شدن آن‌ها در مدت زمان ۱۶ هفته نشان داد که با افزودن کود به تنهایی، ۵۳ درصد از ترکیبات نفتی از بین می‌رود (۳). همچنین افزودن کمپوست و کربن فعال باعث افزایش جمعیت و تنوع میکروارگانیسم‌ها می‌گردد که در نهایت باعث افزایش سرعت حذف ترکیبات نفتی می‌گردد (۲۰). بررسی اثر کربن فعال بر حذف ترکیبات نفتی در طی ۱۵ هفته از خاک آلوده نشان داد که حدود ۲۷ درصد از آلودگی نفتی از بین رفتند (۱). این پژوهش به منظور ارزیابی اثر اندازه و اوازن مختلف کاربرد اصلاحگر کربن فعال در کاهش یا حذف آلاینده‌های هیدروکربنی تحت شرایط تحریک فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌های بومی تجزیه‌کننده با افزودن NPK با نسبت (۱۰:۱:۱) و تأمین رطوبت ثابت در شرایط پایلوت در خاک آلوده به لجن نفتی انجام شد.

مواد و روش‌ها:

خاک غیرآلوده از منطقه شصت کلاه گرگان از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. لجن نفتی مورد نیاز از شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی شهر گرگان تهیه شد که غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) این لجن (۶۴۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم لجن خشک) بود. لجن نفتی، پس از هوا خشک شدن و عبور از الک دو میلی‌متری، در پلاستیک تیره نگهداری شد. خاک و لجن نفتی با نسبت وزنی ۷۰ به ۳۰ مخلوط شدند. گلدان‌ها به مدت ۳۰ روز در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت زراعی در گلخانه انکوبه شدند. برای اختلاط بهتر خاک و لجن، خاک گلدان‌ها در هفته دو بار زیر و رو شدند (۴). سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، لجن و خاک آلوده به لجن (پس از دوره انکوباسیون) اندازه‌گیری شد (جدول ۱). آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل شاهد (C)، کربن فعال ۱۰۰ گرم و اندازه ۰/۳ میلی‌متر(W100S0.3) ، وزن ۱۰۰ گرم و اندازه ۱/۵ میلی‌متر (W100S1.5)، وزن ۱۰۰ گرم و اندازه ۴ میلی‌متر (W100S4)، وزن ۱۵۰ گرم و اندازه ۰/۳ میلی‌متر (W150S0.3)، وزن ۱۵۰ گرم و اندازه ۱/۵ میلی‌متر (W150S1.5)، و وزن ۱۵۰ گرم و اندازه ۴ میلی‌متر (W100S4) بود. به خاک همه تیمارها NPK به عنوان ماده مغذی با حفظ نسبت وزنی ۱۰۰:۱۰:۱:۱ از C:N:P:K اضافه شد (۱۳). در نهایت از خاک آلوده بعد دوره انکوباسیون در فواصل زمانی ده روز، محتوای کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) اندازه‌گیری شدند.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، لجن و خاک آلوده به لجن

پارامتر	علامت	واحد	خاک غیرآلوده	لجن نفتی	خاک آلوده	روش آزمایش
هدایت الکتریکی	EC	دسی‌زیمنس بر متر	۳/۷۰	۹/۱۶	۹/۳۹	نسبت ۱: ۲/۵
اسیدیته	pH	نسبت۱:۲,۵	۰/۶۹	۶/۴۲	۶/۵۱	نسبت ۱: ۲/۵
کربن آلی	OC	درصد	۱/۰۸	۳۹	۵۳/۰۴	والکلی بلک
پتاسیم	K	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۱۴۰/۵۳	۹۰/۳۴	۱۰۰/۳۸	استات آمونیوم
نیتروژن کل	TN	درصد	۴۴/۰	۰/۷۷	۰/۸۴	کجلدال
فسفر	P	میلی‌گرم بر کیلوگرم	۳۳/۱۷	۲۷/۱۶	۳۹/۵۷	اولسن
آهک	$CaCO_3$	درصد	۱۴/۷۵	۱	۱۴/۵	تیتراسیون
رطوبت مزرعه	FC	درصد	۳۳/۶۱	-	۳۳/۶۱	-
بافت	Tex	-	سیلتی لومی	-	-	هیدرومتری
رس	Clay	درصد	۲۰/۵	-	-	-
سیلت	Silt	درصد	۴۶	-	-	-

شن	Sand	درصد	۳۳/۵	-	-	-

اندازه‌گیری کل هیدروکربن‌های نفتی خاک[۱] (TPH):

اندازه‌گیری غلظت هیدروکربن نفتی به روش استاندارد آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA 4113/1[۲]) انجام گرفت. در این پژوهش، غلظت کل آلاینده هیدروکربنی گلدان‌ها در فواصل ۱۰ روزه (TPH) به روش وزنی سنجیده شدند. بدین صورت که ۲ گرم خاک آلوده با ۱۰ میلی‌لیتر ان هگزان مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی شیکر با 150rpm تکان داده شد، سپس مخلوط به دست آمده سانتریفیوژ (۳۰۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه) شد. محلول رویی درون ظرف شیشه‌ی ریخته و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق رها گردید. پس از این مدت وزن آنچه در ظرف باقی مانده بود به عنوان TPH بر حسب میلی‌گرم برکیلوگرم خاک (رابطه ۱) گزارش شد (۱۶)

$$TPH\left(\frac{mg}{kg\ dry\ sludge}\right) = \frac{\text{اختلاف وزن لوله آزمایشگاهی}(mg)}{\text{وزن نمونه خشک}(gr)} \times 1000 \qquad (1)$$

روش تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها:

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح ۵ درصد انجام شد. رسم نمودارها با نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اندازه و مقدار کربن فعال بر غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی (TPH) در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین، اثر اصلی زمان و اثر متقابل تیمار × زمان نیز بر غلظت TPH در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان دهنده اثر وزن و اندازه کربن فعال بر TPH می‌باشد که با افزایش وزن و کاهش اندازه کربن فعال، غلظت TPH کاهش بیشتری داشت. بیشترین و کمترین غلظت TPH در بین همه تیمارها به ترتیب مربوط به تیمارهای W150S0.3و شاهد (به‌ترتیب ۵۱۹۰۰۰ و ۳۲۳۹۵۲ میلی‌گرم/کیلوگرم خاک) بود (شکل ۱).

تیمار شاهد در طی دوره ۶۰ روزه آزمایش کاهش ۴/۷ درصدی نسبت به غلظت TPH اولیه بعد از اتمام دوره انکوباسیون (۵۴۴۵۰۰ میلی‌گرم/ کیلوگرم) نشان داد، این کاهش در تیمارهای W100S4، W100S1.5، W100S0.3، W150S4، W150S1.5 وW150S0.3 به ترتیب برابر با ۲۴/۸، ۲۶/۵، ۳۵/۶، ۳۵/۹۸، ۳۸/۸ و ۴۰/۵ درصد بود (شکل ۱). کربن فعال به دلیل خصوصیات جذبی قوی ناشی از سطح ویژه زیاد به علت داشتن ساختار ریز متخلخل و نیز درجه بالایی از واکنش‌پذیری سطح علاوه بر حفاظت میکروارگانیسم‌های تجزه‌کننده در برابر شوک‌های ناشی از غلظت‌های بالای TPH با بهبود شرایط تهویه‌ای تجزیه زیستی آلاینده‌ها را افزایش داده است (۲۱,۲۲). کربن فعال به عنوان ماده جاذب در خاک عمل کرده و آلاینده‌ها به آن جذب می‌شود. در حقیقت عوارض جانبی ناشی از آلاینده‌های آلی فرار و غیر فرار را حتی در غلظت‌های بالا از بین ببرد(۱۷).

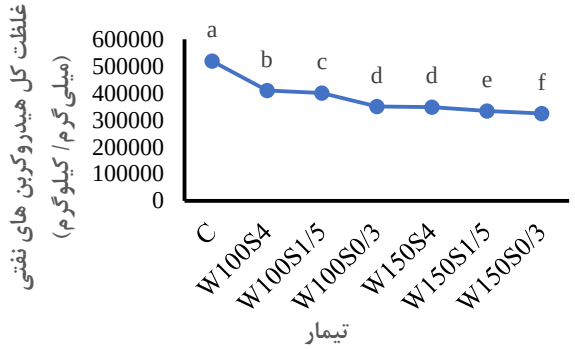
۱- Total Petroleum Hydrocarbon

۲- The U.S Environmental Protection Agency 413/1

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای وزن و اندازه کربن فعال طی زمان بر غلظت TPH خاک آلوده

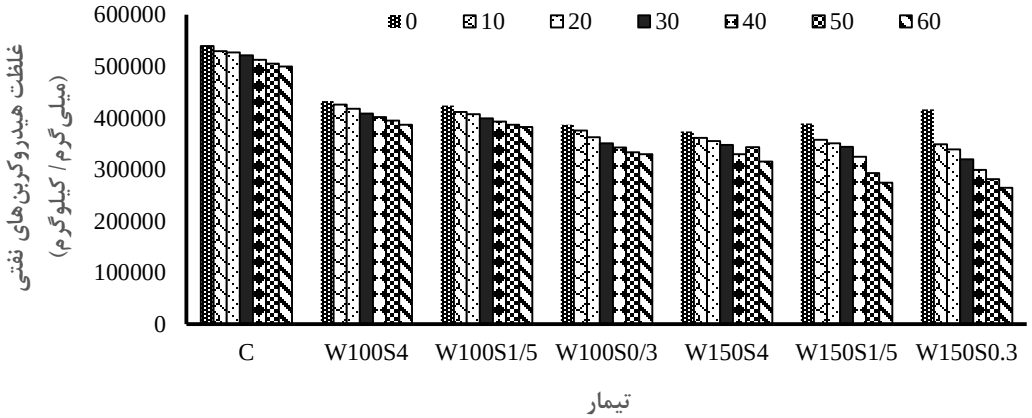
منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
		کربن فعال
تیمار	۶	۹۶۸۷۰۶۱۸۴۸۱**
خطا۱	۱۴	۲۶۸۲۲۵۳۴۰۱/۴
زمان	۶	۱۳۱۶۸۵۳۹۱۱۶**
تیمار× زمان	۳۶	۷۰۹۷۴۴۸۰۳/۵**
خطا۲	۸۴	۴۲۲۹۱۰۹۹/۷۷
کل	۱۴۶	-----
ضریب تغییرات(٪)	---	۱،۶۹

ns غیرمعنی‌دار، *،**، به ترتیب معنی‌داری در سطح ۵ و ۱ درصد



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کربن فعال بر غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی.

تیمارهای W100S0.3 و W150S4 از نظر آماری اختلاف معنی‌دار نداشتند، یعنی می‌توان با مصرف کربن فعال کمتر با سایز کوچکتر به نتیجه مشابه رسید. ولی تیمار W150S1.5 نسبت به W100S1.5 کاهش ۱۶/۷ درصدی و تیمار W150S0.3 نسبت به W100S0.3 نیز کاهش ۲۰/۸۸ درصدی در غلظت TPH داشت. پس می‌توان گفت، با افزایش مقدار مصرف کربن فعال، هرچه اندازه ذرات کوچکتر باشد غلظت TPH کاهش بیشتری می‌یابد (شکل ۱). اثر کربن فعال و زمان بر غلظت TPH نشان داد، با سپری شدن دوره‌های ده روزه نسبت به شروع آزمایش، غلظت TPH در تمام تیمارها کاهش پیدا کرده است. در تمام دوره‌های ده روزه، بیشترین غلظت TPH در تیمار شاهد و کمترین غلظت آن در تیمار W150S0.3 بوده است. به طوری که در دوره‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ روزه از شروع آزمایش، تیمار W150S0.3 نسبت به تیمار شاهد به ترتیب کاهش ۳۴/۱، ۳۵/۶، ۳۸/۷، ۴۱/۶، ۴۴/۳ و ۴۷/۱ درصدی داشته است (شکل ۲). این مشاهدات می‌تواند ناشی از این واقعیت باشد که با افزودن کود NPK و هوادهی در فواصل زمانی مرتب، و نیز به دلیل سطح ویژه بالا و ساختار متخلخل کربن‌فعال، این ماده به عنوان یک جاذب در خاک عمل کرده و اجازه می‌دهد که آلودگی جذب آن شود، بنابراین ضمن حفاظت میکروارگانیسم‌ها از اثرات سمی هیدروکربن‌های نفتی سبب ایجاد شرایط مطلوب برای تحریک رشد میکروارگانیسم‌های بومی تجزیه‌کننده شده و با مصرف TPH به عنوان منبع کربن و انرژی باعث کاهش غلظت این آلاینده‌ها می‌شوند (۹، ۱۰، ۱۸).



شکل۲- مقایسه میانگین اثر تیمارهای وزن و اندازه کربن فعال بر غلظت کل هیدروکربن‌های نفتی طی ۶۰ روز

نتیجه‌گیری:

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش مقدار مصرف کربن فعال با اندازه کوچکتر، تأثیر بیشتری در کاهش غلظت TPH در خاک آلوده به همراه داشته است. تیمارهای کربن فعال با وزن ۱۵۰ گرم با اندازه‌های ۰/۳ و ۱/۵ میلی‌متر مؤثرترین تیمارها در حذف TPH طی دوره ۶۰ روز آزمایش بودند و در صورت مصرف کربن فعال به وزن ۱۰۰ گرم، اندازه ۰/۳ میلی‌متر مؤثرتر خواهد بود. مصرف کربن فعال با اندازه کوچکتر، به دلیل افزایش سطح ویژه برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌های بومی تجزیه‌کننده نفت و افزایش تخلخل در واحد سطح کربن با تأمین اکسیژن و رطوبت موردنیاز برای میکروارگانیسم‌ها شرایط بهینه‌ای برای تجزیه هیدروکربن‌های نفتی فرآهم کرده است. بنابراین زیست پالایی تحریک‌شده می‌تواند به عنوان روشی مؤثر برای اصلاح زیستی خاک‌های آلوده به نفت در شرایط طبیعی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع:

۱. یوسفی، ک. محبی، ع. پیچتل، ج. نیک پی، م ا. (۱۳۹۷). اثرکربن فعال و کمپوست گیاهی بر حذف ترکیبات نفتی از خاک آلوده به روش زیست‌پالایی. شانزدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران. ۱-۵

2. Baek, K. H., Yoon, B. D., Kim, B. H., Cho, D. H., Lee, I. S., Oh, H. M., & Kim, H. S. (2007). Monitoring of microbial diversity and activity during bioremediation of crude oil-contaminated soil with different treatments. Journal of Microbiology and Biotechnology, 17(1), 67-73.
3. Brown, D. M., Okoro, S., van Gils, J., van Spanning, R., Bonte, M., Hutchings, T., & Smith, J. W. (2017). Comparison of landfarming amendments to improve bioremediation of petroleum hydrocarbons in Niger Delta soils. Science of the Total Environment, 596, 284-292.
4. Chorom, M., Sharifi, H. S., & Motamedi, H. (2010). Bioremediation of a crude oil-polluted soil by application of fertilizers.
5. Coulon, F., Pelletier, E., Gouhant, L., & Delille, D. (2005). "Effects of nutrient and temperature on degradation of petroleum hydrocarbons in contaminated sub-Antarctic soil." Chemosphere, Vol. 58, No. 10, pp. 1439-1448, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.10.007.
6. Ebrahimi, S., Shayegan, J., Malakouti, M., & Akbari, A. (2011). Environmental evaluation and assessment of some important factors of oil contamination in soil around sarkhoun gas refinery of Bandar Abbas. Journal of Environmental studies, 37(57), 9-26.
7. Fallah, M., Shabanpor, M., Zakerinia, M., & Ebrahimi, S. 2015. Risk assessment of gas oil and kerosene contamination on some properties of silty clay soil. Environmental monitoring and assessment. 187: 7. 1-13.
8. Gallego, J. L. R., García-Martínez, M. J., Llamas, J. F., Belloch, C., Peláez, A. I., & Sánchez, J. (2007). Biodegradation of oil tank bottom sludge using microbial consortia. Biodegradation, 18(3), 269-281.
9. Ghosh, U., Luthy, R. G., Cornelissen, G., Werner, D., & Menzie, C. A. (2011). In-situ sorbent amendments: a new direction in contaminated sediment management.
10. Lemus, J., Martin-Martinez, M., Palomar, J., Gomez-Sainero, L., Gilarranz, M. A., & Rodriguez, J. J. (2012). Removal of chlorinated organic volatile compounds by gas phase adsorption with activated carbon. Chemical Engineering Journal, 211, 246-254.
11. Makadia, T.H., Adetutu, E.M., Simons, K.L., Jardine, Da., Sheppard, P.J. & Ball, A.S. (2011) Re-Used of Remediated Soils for Bioremediation of Waste Oil Sludge. Journal of Environmental Management, 92, 866-871.
12. Moreno, J. L., Bastida, F., Ros, M., Hernández, T., & García, C. (2009). Soil organic carbon buffers heavy metal contamination on semiarid soils: Effects of different metal threshold levels on soil microbial activity. European journal of soil biology, 45(3), 220-228.
13. Obbard, J. P., Ng, K. L., & Xu, R. (2004). Bioremediation of petroleum contaminated beach sediments: use of crude palm oil and fatty acids to enhance indigenous biodegradation. Water, air, and soil pollution, 157(1), 149-161.
14. Sampson, T., Ogugbue, C. J., & Okpokwasili, G. C. (2016). Production and Application of Agar-based Slow-release Fertilizers, in the Bioremediation of Petroleum Hydrocarbon-impacted Soil. Biotechnology Journal International, 1-13.

15. Sanscartier D.2009 . Field, laboratory and life-cycle studies on the bioremediation of Hydrocarboncontaminated soils in cold and remote locations: Holistic approaches to the management of these soils in Northern Canada. NR57743, Royal Military College of Canada.
16. Tangahu, B. V. (2017). Bioremediation of Oil Contaminated Soil by Biostimulation Method Using NPK Fertilizer. Open Access Library Journal, 4(11), 1.
17. Tazangi, M. H., Ebrahimi, S., Nasrabadi, R. G., & Naeeni, S. A. M. (2020). Kinetic Monitoring of Bioremediators for Biodegradation of Gasoil-Polluted Soil. Water, Air, & Soil Pollution, 231(8), 1-13.
18. Vasilyeva, G. K., Strijakova, E. R., & Shea, P. J. (2006). Use of activated carbon for soil bioremediation. In Soil and water pollution monitoring, protection and remediation (pp. 309-322). Springer, Dordrecht.
19. Vasudevan, N., & Rajaram, P. (2001). Bioremediation of oil sludge-contaminated soil. Environment International, 26(5-6), 409-411.
20. Wang, S. Y., Kuo, Y. C., Hong, A., Chang, Y. M., & Kao, C. M. (2016). Bioremediation of diesel and lubricant oil-contaminated soils using enhanced landfarming system. Chemosphere, 164, 558-567.
21. Yeung, P. Y., Johnson, R. L., & Xu, J. G. (1997). Biodegradation of petroleum hydrocarbons in soil as affected by heating and forced aeration (Vol. 26, No. 6, pp. 1511-1516). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
22. Yue, Z., & Economy, J. (2005). Nanoparticle and nanoporous carbon adsorbents for removal of trace organic contaminants from water. Journal of Nanoparticle Research, 7(4), 477-487.

Effect of activated carbon consumption on stimulated bioremediation of petroleum hydrocarbons of oily sludge- contaminated soil

Roghayeh Karimpoor[1], Soheila Ebrahimi[*2], Elham Malekzadeh[3]
M.Sc. Student of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Assistant Professor of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources; sohebrahimi@gmail.com
Assistant Professor of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

Soil pollution by oil sludge is one of the major environmental problems. An approach to removal of petroleum hydrocarbons from oily sludge-contaminated soil is biostimulation. A laboratory study was conducted in contaminated soil by 30% (w/w) of oil-sludge for 60 days using biostimulation method with NPK fertilizer as nutrient and activated carbon modifier (weights of 100 and 150 g; and sizes of 0.3, 1.5 and 4 mm). The experiment included of 7 treatments as, control; weight of 150 g and size of 0.3mm; weight of 150 g and size of 1.5 mm; weight of 150 g and size of 4 mm; weight of 100 g and size of 0.3 mm; weight of 100 g and size of 1.5 mm and weight of 100 g and size of 4 mm of activated carbon. The results showed that the using of activated carbon had a significant effect on reducing the TPH concentration in oily sludge-contaminated soil. With increasing the weight and decreasing the size of activated carbon, TPH concentration further decreased. The highest and lowest concentrations of TPH were in the control and W150S0.3 treatment (150 g weight and 0.3 mm size of active carbon) respectively, which in the periods of 10, 20, 30, 40, 50 and 60 days decreased by 34.1%, 35.6%, 38.7%, 41.6%, 44.3% and 47.1% compared to the control.

Keywords: Biostimulation, Bioremediation, Activated carbon, Oil-sludge, Nutrients

بررسی توزیع مکانی برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک های منطقه غرب استان اصفهان (کربن آلی)

علیرضا محمودیان[۱]، هادی قربانی[۲]، محمود صلحی[۳]، شاهین شاهسونی[۴]

۱- کارشناسی ارشد مدیریت و حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
alirezamahmoudian22@gmail.com
۲- دانشیار علوم خاک، آلودگی های خاک و محیط زیست دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود
Ghorbani1969@yahoo.com
۳- استادیار حاصلخیزی و تغذیه، مرکز تحقیقات خاک و آب اصفهان
MSolhi2015@gmail.com
۴- استادیار حاصلخیزی و تغذیه گیاه
shahsavani2001@yahoo.com

چکیده

پژوهش حاضر به منظور شناخت پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک برای برنامه‌ریزی، بهره‌برداری و مدیریت بهینه اراضی در دشت فریدن اصفهان به مساحت تقریبی ۴۰۰ کیلومترمربع انجام شده است. بر اساس نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی و با کمک نرم افزار GIS منطقه با فواصل ۲۰۰۰×۲۰۰۰ متر شبکه‌بندی، ۱۰۰ نقطه مطالعاتی شناسایی و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری نمونه برداری و موقعیت مکانی نقاط با استفاده از (GPS) تعیین شد. آزمون نرمالیته برای متغیر کربن آلی با استفاده از نرم‌افزار SPSS25 بررسی و عملیات نرمال سازی با تبدیل به لگاریتم انجام شد. کریجینگ ساده به عنوان بهترین روش درون‌یابی و وزن‌دهی معکوس فاصله برای تخمین داده در نقاط فاقد اطلاعات با استفاده از روش ارزیابی متقاطع و آماره‌های MAE، MBE، MSE و RMSE انتخاب و نقشه پراکنش مکانی ترسیم و مدل واریوگرامی برای کربن آلی مدل درجه دوم منطقی با کمترین Nugget و خطا انتخاب شد. پارامترهای آنالیز آماری کلاسیک شامل میانگین، میانه، انحراف معیار، کمینه، بیشینه و ضریب تغییرات در این پژوهش نیز محاسبه شد. مقدار مواد آلی خاک با توجه به حد بحرانی اعلام شده توسط مرکز تحقیقات خاک و آب به شماره (۸۴/۳۶۰) که بین ۱/۵ الی ۲ بوده در این منطقه خاک با وضعیت کمبود مواد الی روبروست و در جهت رفع آن باید با افزودن مواد الی این کمبود را جبران نمود.

واژگان کلیدی: پراکنش مکانی، تغییرپذیری، درون‌یابی، کریجینگ ساده، مدل واریوگرامی

مقدمه

کاربرد صحیح و علمی کودهای شیمیایی برای حصول شرایط بهینه در بهره وری از منابع آب و خاک، منوط به شناخت کامل حاصلخیزی خاک و تعیین نیاز گیاه به عناصر کودی در شرایط مختلف اقلیمی به منظور برداشت حداکثر محصول است (نصرت پور و همکاران، ۱۳۸۹). سطح اراضی قابل کشت روی زمین محدود بوده و شرایط اکولوژیکی هم، اجازه کاشت هر نوع محصولی را در همه جا نمی‌دهد (لطفی آرپاچائی و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از مهم‌ترین اهداف کشاورزی پیشرفته، مصرف صحیح کودهای شیمیایی است (مکرم و بردیده، ۱۳۹۱). خصوصیات خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر دارای تغییرات مکانی هستند. این تغییرات

ممکن است به شکل ذاتی (تفاوت در مواد مادری) و یا غیرذاتی (تفاوت در مدیریت منابع خاکی) روی دهد (محمدزمانی و همکاران۱۳۸۶). عناصر ریزمغذی از مهمترین ویژگی‌های خاک در رابطه با تولید حداکثر محصول در اراضی کشاورزی به شمار می‌روند (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۷). روش رایج برای بررسی خصوصیات خاک، آزمون خاک و توصیه‌های کودی است. برای مدیریت بهینه تغذیه گیاه و نیز اعمال توصیه‌های کودی، دانستن میزان عناصر ریزمغذی در اراضی زراعی ضروری است (روت ولنارتز، ۲۰۰۸). اما اندازه‌گیری این ویژگی‌ها در آزمایشگاه و آن هم برای یک سطح وسیع بسیار هزینه‌بر است. به این منظور تهیه نقشه‌های مربوط به این خصوصیات، گامی مهم در راستای نیل به کشاورزی دقیق می‌باشد (یاماگیشی و همکاران، ۲۰۰۳). روش‌های مختلفی برای تهیه نقشه و پیش‌بینی توزیع مکانی خصوصیات خاک وجود دارد که بر اساس تحقیقات پیشین، روش‌های زمین‌آماری به دلیل در نظر گرفتن موقعیت و آرایش داده‌ها و همچنین همبستگی مکانی آن‌ها، عملکرد بهتری دارند.

مواد و روش‌ها

۱- آزمایش‌های شیمیایی نمونه های خاک

- اندازه‌گیری کربن آلی با روش واکلی بلاک انجام شد. (با هرسری خاک یک نمونه بلانک تهیه شد).

۲- پارامترهای آماری، جدول و اشکال

(۱) میانگین

میانگین به معنای مقدار متوسط اعداد می‌باشد. شاخصی از نحوه پراکندگی اعضای یک مجموعه به‌دست می‌دهد.

$$\text{Average} = \frac{X1 + X2 + \cdots + Xn}{n}$$

که در آن X_1 *متغیر اول*، X_2 *متغیر دوم تا* X_n *متغیر* n*ام و* n *تعداد کل می‌باشد.*

(۲) انحراف معیار

یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طورمیانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{n}}$$

که در آن x متغیر، μ میانگین و n تعداد می‌باشد.

(۳) ضریب تغییرات

ضریب تغییرات، میزان پراکندگی به ازای یک واحد از میانگین را بیان می‌کند

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu}$$

که در آن σ انحراف معیار، μ میانگین و C_v ضریب تغییرات می‌باشد.

(۴) میانگین مطلق خطا

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|Y_i - X_i|}{n}$$

که در آن Y_iمقدار تخمین زده شده نرم‌افزار، X_i مقدار حقیقی و n تعداد کل نمونه می‌باشد.

(۵) میانگین اریبی خطا

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{Y_i - X_i}{X_i}$$

که در آن Y_iمقدار تخمین زده شده نرم‌افزار، X_i مقدار حقیقی و n تعداد کل نمونه می‌باشد.

(۶) مربع میانگین خطا

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - X_i)^2$$

که در آن Y_i مقدار تخمین زده شده نرم‌افزار، X_i مقدار حقیقی و n تعداد کل نمونه می‌باشد.

(۷) ریشه میانگین مربعات خطا

که در آن Y_i مقدار تخمین زده شده نرم‌افزار، X_i مقدار حقیقی و n تعداد کل نمونه می‌باشد. $RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Y_i - X_i)^2}{n}}$

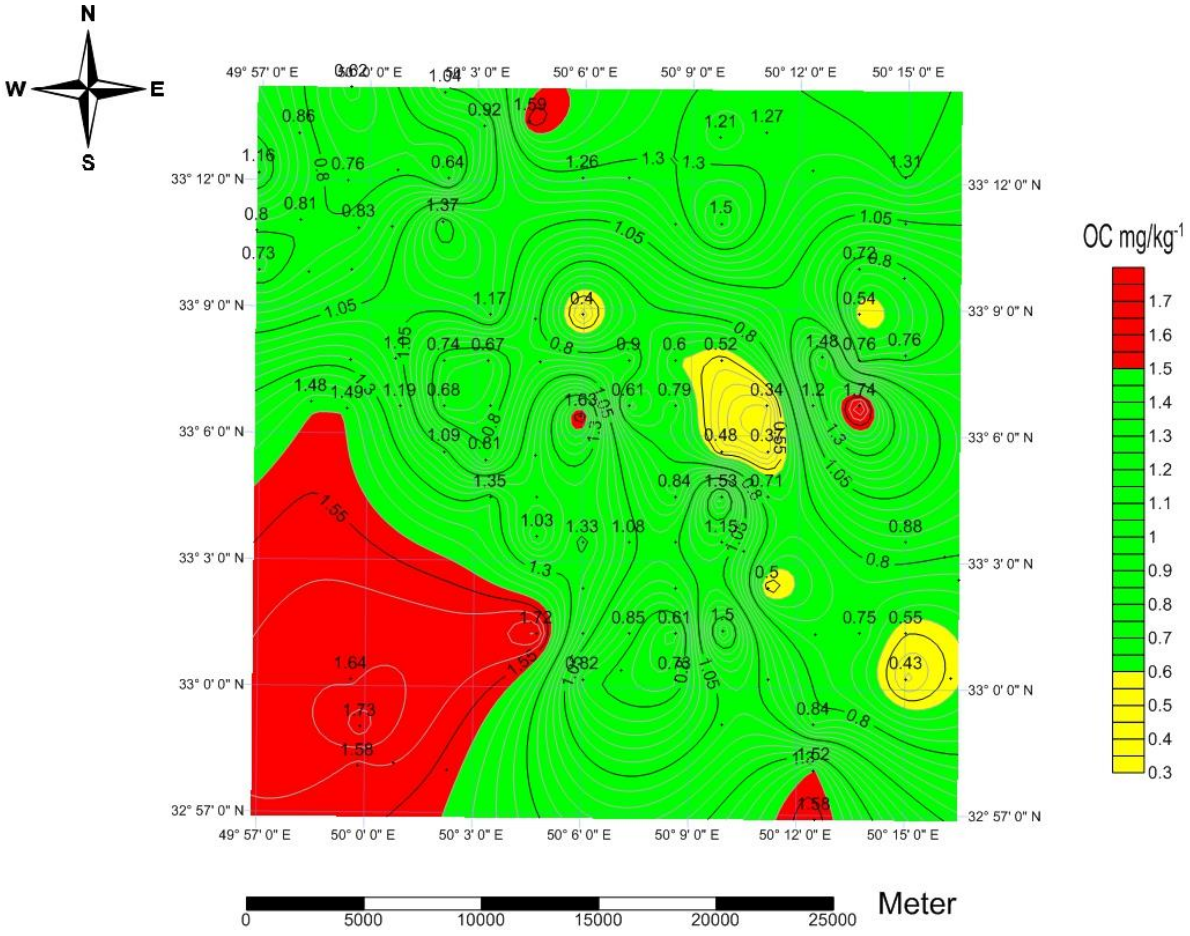
نتایج

وضعیت کربن آلی

جدول۱- نتیجه نهایی پارامترهای خطا کربن آلی

Simple Kriging OC		IDW OC	
MAE	۰/۱۵۱	MAE	۰/۱۵۰
MBE	۰/۱۱۳	MBE	۰/۱۲٤
MSE	۰/۱٤٥	MSE	۰/۱٥۲
RMSE	۰/۳۸۰	RMSE	۰/۳۹۰

نتیجه نهایی هر پارامتر خطا در جدول ۱ به ما نشان می‌دهد که روش کریجینگ ساده بخاطر خطای کمتر نسبت به روش IDW برتری دارد. بنابراین روش کریجینگ ساده را به عنوان بهترین روش برای کربن الی انتخاب و نقشه پهنه بندی آن در شکل ۱ ترسیم شده است. مدل واریوگرامی این پارامتر درجه دوم منطقی با کمترین خطا انتخاب شد.



شکل ۱- نقشه پهنه بندی کربن آلی با روش کریجینگ ساده

مقدار مواد آلی خاک همانطور که در شکل ۴-۳ مشاهده می‌شود با توجه به حد بحرانی اعلام شده توسط مرکز تحقیقات خاک و آب که بین ۱/۵ الی ۲ بوده در این منطقه خاک با وضعیت کمبود مواد الی روبروست و در جهت رفع آن باید با افزودن مواد الی این کمبود را جبران نمود.

جدول ۲- نتایج نهایی پارامترهای آماری کلاسیک برای کربن آلی

OCپارامترهای کلاسیک IDW		OC پارامترهای کلاسیک کریجینگ ساده	
- ۰/۰۰۷۸۶۹۷	میانگین	۰/۰۰۲۹۰۴	میانگین
۰/۰۶۷۰۲۲۸۹	میانه	۰/۰۷۴۹۱۱	میانه
- ۰/۹۶۷۰۲۹۸	حداقل	- ۰/۸۶۰۶۳۸	حداقل
۰/۸۴۶۷۱۱۴۴	حداکثر	۰/۷۹۵۵۳۴	حداکثر
۰/۳۹۷۲۲۳۱۵	انحراف معیار	۰/۳۸۷۳۲۵	انحراف معیار
- ۵۰/۴۷۵۲۳۶	ضریب تغییرات	۱۳۳/۳۸۴۹	ضریب تغییرات

نتایج جدول ۲ نشان داد که روش کریجینگ ساده روش برتری بود بنابراین انحراف معیار این روش را بررسی کردیم. هرقدر انحراف معیار به صفر نزدیک‌تر باشد داده‌ها نزدیک به میانگین‌اند در نتیجه پراکندگی اندکی دارند، انحراف معیار این روش ۰/۳۸ است و نزدیکتر از انحراف ۰/۳۹ روش وزن‌دهی معکوس فاصله به میانگین خودش است.

مقایسه پارامترهای آماری کل

جدول ۵- پارامترهای آماری کلاسیک کل

IDW		کریجینگ	
-۰/۰۷۸	میانگین۷پارامتر	۰/۰۴۰	میانگین۷پارامتر
-۰/۱۵۳	میانه۷پارامتر	-۰/۰۲۶	میانه۷پارامتر
-۱۷/۰۳۹۹	کمینه ۷ پارامتر	-۱۲/۱۰۹	کمینه ۷ پارامتر
۱۵/۵۴۹	بیشینه ۷ پارامتر	۱۳/۹۶۰	بیشینه ۷ پارامتر
۳/۱۳۸	انحراف معیار۷پارامتر	۲/۶۸۲	انحراف معیار۷پارامتر
-۳۹/۹۳۱	ضریب تغییرات۷پارامتر	۶۶/۶۰۹	ضریب تغییرات۷پارامتر

با توجه به جدول ۵ انحراف معیار روش کریجینگ ساده در کل، کمتر از انحراف معیار کل روش IDW بوده و به صفر نزدیکتر است؛ بنابراین میزان پراکندگی کل داده‌ها در روش کریجینگ ساده کمتر از روش IDW می‌باشد.

نتیجه‌گیری

روش کریجینگ ساده به عنوان روش برتر پژوهش انجام شده و با میزان خطای کمتر شناخته شد. نقشه ی این روش برای کربن آلی ترسیم شد. میزان ماده آلی در بعضی قسمت ها با کمبود روبروست که با افزودن مواد آلی به خاک می‌توانیم این کمبودها را جبران نماییم.

فهرست منابع

۱. لطفی آرپاچائی و همکاران (۱۳۹۲). ارزیابی حاصلخیزی خاک دشت اردبیل برای گندم و سیب زمینی براساس برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷ (۱): ۴۵-۵۳.

۲. محمدزمانی س و همکاران (۱۳۸۶). بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخنکلاته، استان گلستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۴۰ . صفحه‌های ۷۹ تا ۹۲.

۳. مکرم، م. و بردیده، م. (۱۳۹۱). ارزیابی حاصلخیزی خاک به منظور کشت گندم با استفاده از سامانه فازی و مقایسه آن با روش بولین و آزمون خاک در محیط GIS. زراعت (پژوهش و سازندگی)، ۲۵ (۳ (پیاپی ۹۶)): ۱۱۱-۱۲۳.

۴. ملکوتی م ج و همکاران (۱۳۸۷) . روشهای جامع تشخیص و توصیه بهینه کودی برای کشاورزی پایدار. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. ۷۵۰ صفحه.

۵. موسسه تحقیقات خاک و آب اصفهان (۱۳۸۴)، گزارش حد بحرانی عناصر ریز مغذی به شماره گزارش ۸۴/۳۶۰.

۶. نصرت پور، س. و همکاران (۱۳۸۹). بررسی توزیع مکانی برخی عناصر غذایی و عوامل موثر بر حاصلخیزی خاک در اراضی شهرستان مراغه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. پژوهشهای آبخیزداری. دوره سوم. شماره ۲. صفحه ۱۰-۱.

7. Ruth B and Lennartz B (2008). Spatial variability of soil properties and rice yield along two catenas in southeast China. Pedosphere 18(4):409–420.

8. Yamagishi J et al (2003). Stability of spatial variability of wheat and maize biomass in a small field managed under two contrasting tillage systems over 3 years. Field Crop Res 81:95-108.

A study of spatial distribution of some chemical properties of soils in the west of Isfahan province (Organic Carbon)

By: **Alireza Mahmoodian**

Supervisor:

Dr Hadi Ghorbani
Dr Mahmood Solhi

Advisor:
Dr Shahin Shahsavani

Abstract
The present study was conducted to identify the spatial distribution of soil properties for planning, exploitation and optimal land management in the Faridan plain of Isfahan with an approximate area of 400 square kilometers. Based on 1: 50,000 topographic maps and with the help of GIS software in the area with 2000 2000 2000 m grid distances, 100 study points were identified and sampling from a depth of 0 to 30 cm and the location of the points were determined using GPS. Normality test for organic carbon variable was investigated using SPSS25 software and normalization operation was performed by logarithm conversion. Simple kriging is selected as the best method for interpolation and inverse weighting of distance for estimating data at points without information using cross-assessment method and MAE, MBE, MSE and RMSE statistics and spatial distribution map and variogram model for Organic carbon quadratic logic model with minimal nugget and error was selected. The parameters of classical statistical analysis including mean, mean, standard deviation, minimum, maximum and coefficient of variation were also calculated in this study. The amount of soil organic matter according to the critical limit announced by the Soil and Water Research Center (84/360) which is between 1.5 to 2 in this area, the soil is in a state of organic matter deficiency and in order to eliminate it should be added Organic materials made up for this shortcoming..

Keywords: dispersal area, variative, interpolating, Ordinary kriging, vario model, reversed weigh of distance.

اثر کاربرد کودهای آلی و سیستم‌های کشت بر عملکرد ذخیره کربن (مطالعه موردی دشت تبریز)

احمد بایبوردی[۱]، ساغر چاخرلو[۲*]

*[۲] محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، saghar.chakherloo@yahoo.com
[۱] استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی

چکیده

تغییر اقلیم کره زمین، ناشی از اثرگلخانه‌ای گازهای کربنی جو زمین بوده و مهم‌ترین تهدید توسعه پایدار و امنیت غذایی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. در این تحقیق تأثیر محصولات زراعی و کود دامی و کاه وکلش از طریق اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، بر میزان کربن ذخیره شده در خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. در مجموع ۳۰۸ نمونه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. بافت خاک، پی اچ، هدایت الکتریکی، کربن آلی، جرم مخصوص ظاهری و ذخیره کربن برآورد شدند. نتایج نشان داد که در بین ویژگی‌های بررسی شده خاک‌ها در سه سال متوالی، در اثر اضافه کردن کوددامی و کاه کلش باقی‌مانده از محصول قبلی به زمین‌های زراعی، رابطه ذخیره کربن خاک با تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده به غیر از شن خاک معنی‌دار است. ذخیره کربن خاک در سال سوم زراعی (پیاز) از ۴/۸۴ به ۵/۶۸ کیلوگرم بر مترمربع افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی : کربن خاک، دشت تبریز، محصولات زراعی، کود آلی

مقدمه

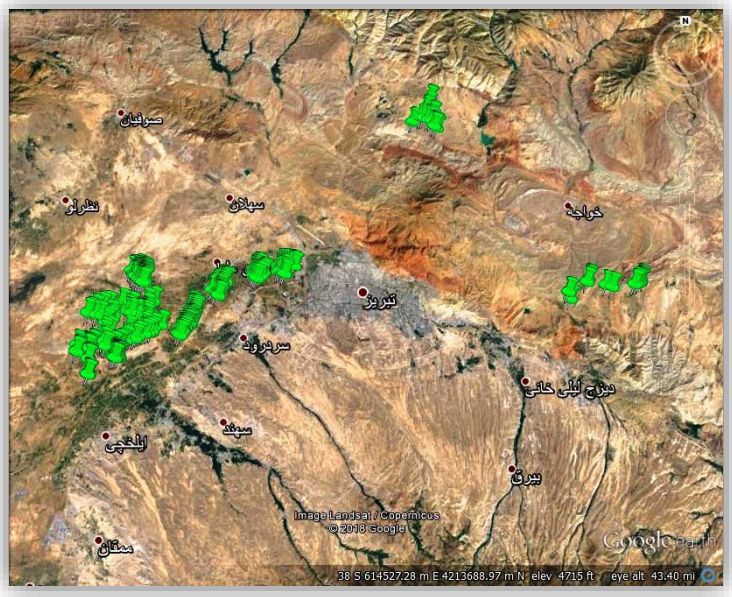
همراه با توسعه سریع صنعت، افزایش گازهای گلخانه‌ای، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن (CO_2) باعث افزایش شدید دی‌اکسیدکربن اتمسفر تا ۲۰ برابر شده است و این باعث شده تا دمای سطح زمین تا دو درجه سلسیوس افزایش یابد (Simmon, 2010). شیوه‌های مدیریت اراضی، شرایطی را برای تعدیل افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن فراهم می‌آورند که طی آن کربن اضافی از طریق ذخیره شدن در زیست‌توده گیاهی و مواد آلی خاک ترسیب می‌گردد، این فرآیند را اصطلاحاً ترسیب کربن خاکی[۱] گویند. در این راستا، کشاورزی حفاظتی راهکاری برای مدیریت محصول و ذخیره کربن ببوده که می‌تواند کربن آلی خاک را از طریق افزایش ورودی کربن از بهره‌وری زیست‌توده بالاتر و کاهش تلفات کربن (از طریق پوشش خاک و کاهش خاکورزی خاک) افزایش دهند و منجر به انتقال خالص کربن از جو به خاک شده که منتج به به کاهش تغییرات آب و هوا می‌شود(Griscom *et al*. 2012). خاک‌ها بزرگ‌ترین مخزن چرخه کربن در خشکی می‌باشند و مقدار کربن آلی در خاک، سه برابر بیش از کربن در بافت تمام گیاهان و دو برابر بیش از کربن اتمسفر است (Habtegebrial *et al.*, 2007). نتایج مطالعات در هند نشان دادکه کربن آلی خاک با پوشش گیاهی همبستگی مثبت داشت (Girard *et al.*, 2010). داده‌های کربن آلی خاک مربوط به سال‌های۱۳۸۲و۱۳۹۶در اراضی تحت کشت در افق سطحی خاک نشان از افزایش۱۰/۶۰و ۱۹/۲۳ درصد به ترتیب در باغات انار و پسته و در ارتباط با زعفران و جو نیز ۳/۵ تا ۴ برابر افزایش نشان داده است (Feizi et al., 2020). ماده آلی خاک منبع بالقوه و عظیمی از ذخایر کربن آلی را تشکیل می‌دهد. بطوریکه ۹۵۰×۱۰^{۱۳} کیلوگرم کربن آلی با منشأ گیاهی جانوری و زیست‌توده میکروبی تنها در ضخامت یک متری از سطح خاک متمرکز است (Lal *et al.*, 2015). نگه‌داری کاه و کلش در زمین وکاهش خاک‌ورزی خاک باعث افزایش سطح ماده آلی خاک، حفظ رطوبت، نگهداری توده میکروبی و در نتیجه بهبود باروری و کیفیت خاک می‌شود (Abdalla *et al.*, 2014). انجام اقدامات مدیریتی برای ذخیره کربن، نه تنها تغییرات اساسی در مدیریت اراضی می‌طلبد، بلکه با افزایش ماده آلی، اثرات مستقیم و چشم‌گیری بر ویژگی‌های خاک کیفیت کشاورزی، محیط زیست و تنوع زیستی بر جای می‌گذارد که نتیجه آن افزایش حاصلخیزی و بهره‌وری مناسب اراضی برای ایجاد یک استراتژی

[1] Soil Carbon Sequestration

مناسب در راستای برقراری امنیت غذایی و کاهش اثرات منفی گرمایش جهانی است. باتوجه به مطالب گفته شده و روشن شدن اهمیت و ضرورت موضوع، این تحقیق با هدف بررسی اثرات افزودن کود آلی (کود دامی + کاه و کلش) بر میزان ترسیب کربن در اراضی زراعی دشت تبریز انجام گرفته است.

مواد و روش ها

دشت تبریز، با مساحت سه هزار هکتاری در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. این دشت از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۸ دقیقه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و۱۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه از نوع خشک سرد می‌باشد. در شکل ۱ منطقه و نقاط نمونه‌برداری شده نشان داده شده است.



شکل ۱- دشت تبریز و مناطق نمونه‌برداری

این تحقیق به مدت سه سال انجام گرفت. در سال اول زراعی، که در مجموع شامل ۲۰ تا ۳۰ مزرعه می‌باشد، گندم رقم پیشگام به صورت آبی کشت شد. در سال دوم زمین‌های زراعی به حالت آیش رها شدند. در سال سوم زراعی، مزارع تحت شخم قرار داده شد و در زمین‌ها بذور پیاز قرمز رقم آذرشهر با قوه نامیه ۹۸ درصد کشت گردیده و آبیاری شدند. سپس در مزارع، کود آلی (کود دامی (۵۰ تن)+کاه کلش (پنج تن)) به مصرف رسید. در پایان فصل کشت هر دو محصول با کمک *GPS* و تعیین مختصات تمامی نقاط، به فاصله ۲×۲ کیلومتر، ازعمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری، نمونه‌ها جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از طی مراحل خشک شدن، کوبیدن و الک شدن، جرم مخصوص ظاهری خاک به روش استوانه، قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه EC سنج ، pH خاک به روش اسپارکس و بارتلز (Sparks & Bartels, 1996)، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک (Page & Keeney, 1992) اندازه‌گیری شدند، هم‌چنین فسفر قابل جذب از روش اولسون (Moreno *et al*., 2007)، پتاسیم محلول با عصاره‌گیری با استات آمونیوم نرمال و قرائت با دستگاه فلیم فتومتری (Soil Survey Staff, 1984) و بافت خاک نیز به روش هیدومتر و چهارزمانه (Gee & Or, 2002) تعیین شد. در پایان برای محاسبه میزان ترسیب کربن خاک بر حسب کیلوگرم در هر مترمربع از رابطه زیر استفاده شد (Lemma *et al*., 2006).

$$E \times Bd \times C = 10000 \times CS \ (kg\ m^{-2}) \qquad (۱)$$

که در این رابطه CS میزان وزن کربن ترسیب شده بر حسب کیلوگرم در سطح یک مترمربع ($kg\ m^{-2}$)، C درصد کربن اندازه گیری شده، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌مترمکعب و E عمق نمونه‌برداری خاک بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ استفاده شد. برای ایجاد رابطه بین ترسیب کربن خاک و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی از رگرسیون گام به گام استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های اندازه گیری شده خاک در سال اول زارعی (کشت گندم)

رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	اسیدیته -	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	پتاسیم (میلی گرم برکیلوگرم)	فسفر (میلی گرم برکیلوگرم)	نیتروژن (میلی گرم برکیلوگرم)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	کربن آلی (درصد)	گندم (۳۰-۰)
۳۱/۶	۳۹/۹	۳۳/۲	۷/۵	۷/۲	۵۱۰/۵	۲۴/۱	۰/۱۰	۱/۶۰	۱	میانگین
۹/۷	۷/۵	۱۲/۶	۰/۴	۳/۹	۱۰۰/۲	۱۳/۶	۰/۰۴	۰/۰۲۷	۰/۴۷	انحراف معیار
۹۵/۹	۵۷	۱۵۹/۷	۰/۲۳	۱۵/۳	۱۰۰/۴	۱۸۶/۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۲۳	واریانس

جدول ۲- آمار توصیفی ویژگی‌های اندازه گیری شده خاک در سال سوم زارعی (کشت پیاز)

رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	اسیدیته -	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	پتاسیم (میلی گرم برکیلوگرم)	فسفر (میلی گرم برکیلوگرم)	نیتروژن (میلی گرم برکیلوگرم)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	کربن آلی (درصد)	پیاز (۳۰-۰)
۳۱/۶	۳۹/۹	۳۳/۲	۷/۴	۷/۲	۵۱۴/۷	۲۵/۴	۰/۱۲	۱/۶	۱/۲	میانگین
۹/۷	۷/۵	۱۲/۶	۰/۲۶	۳/۹	۹/۹	۱۲/۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۶۲	انحراف معیار
۵۹/۹	۵۷	۱۵۹/۷	۰/۰۷	۱۵/۴	۹/۹	۱۵۸/۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۸	واریانس

ذخیره کربن خاک

میانگین کربن ترسیب شده در عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متری در محصول گندم و پیاز به ترتیب ۴/۸۴ و ۵/۶۸ کیلوگرم بر مترمربع برآورد گردیده است. (جدول ۳).

جدول ۳- ذخیره کربن آلی برای کشت گندم و پیاز

پیاز	گندم	ذخیره کربن آلی خاک (٪)
۵/۶۸	۴/۸۴	میانگین
۲/۳۸	۲/۰۸	انحراف معیار
۵/۶۷	۴/۳۴	واریانس

همبستگی خصوصیات محصولات مورد بررسی با ذخیره کربن خاک

همبستگی ترسیب کربن با هر یک از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.

جدول۴- همبستگی آمار توصیفی ویژگی‌های اندازه گیری شده سال اول زراعی

	رس	سیلت	شن	اسیدیته	هدایت الکتریکی	منیزیم	فسفر	جرم مخصوص ظاهری	کربن آلی	۳۰-۰
کربن آلی									۱	
جرم مخصوص ظاهری								۱	۰/۴۵**	
فسفر							۱	-۰/۱۷۷**	۰/۴۵۰**	
پتاسیم							۰/۲۱۱**	-۰/۱۶۵**	۰/۰۹۱	
هدایت الکتریکی						۰/۰۴۹	۰/۱۱۳*	- ۰/۰۰۱	۰/۱۶۶**	
اسیدیته					- ۰/۰۶۳	۰/۱۹۹**	- ۰/۱۰	۰/۰۲۸	-۰/۱۷**	
شن				- ۰/۰۱	۰/۱۶۰**	۰/۱۰۳	- ۰/۰۶	۰/۰۴۴	۰/۰۲۳	
سیلت			۰/۱۰۶	- ۰/۰۵	۰/۰۱۵	-۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	- ۰/۰۰۸	۰/۱۶۳**	
رس	۱	- ۰/۰۹	- ۰/۰۵	- ۰/۰۷	۰/۱۷۲**	- ۰/۰۷۴	۰/۱۴۲*	۰/۰۶۶	۰/۲۶**	

**نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱ است.

*نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ است.

جدول۵- همبستگی آمار توصیفی ویژگی‌های اندازه گیری شده سال سوم زراعی

	رس	سیلت	شن	اسیدیته	هدایت الکتریکی	منیزیم	فسفر	جرم مخصوص ظاهری	کربن آلی	۳۰-۰
کربن آلی									۱	
جرم مخصوص ظاهری								۱	۰/۴۷**	
فسفر							۱	-۰/۱۷۴**	۰/۳۵۶**	
پتاسیم							۰/۲۳۵**	-۰/۱۶۸**	۰/۰۶۱	
هدایت الکتریکی						۰/۰۵۱	۰/۱۰۴	-۰/۰۰۱*	۰/۱۳۱*	
اسیدیته					۰/۰۱۲	۰/۱۶۸**	-۰/۰۶۵	-۰/۰۰۳	-۰/۱۱۳*	
شن				-۰/۰۰۶	۰/۱۵۶**	۰/۱۰۳	-۰/۰۶۴	۰/۰۴۴	۰/۰۱۸	
سیلت			۰/۰۱۳	-۰/۱۰۵	۰/۰۱۳	-۰/۰۸۳	۰/۰۶۵	-۰/۰۰۸	۰/۱۹۳**	
رس	۱	-۰/۰۹۹	-۰/۰۵۳	-۰/۰۵۷	۰/۱۶۴**	-۰/۰۷۴	۰/۱۲۳*	۰/۰۶۵	۰/۲۹**	

**نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱ است.

*نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ است.

نتایج نشان می‌دهد بیش‌ترین رابطه معنی‌دار کربن با کربن آلی می‌باشد و کم‌ترین میزان همبستگی معنی‌دار بین کربن و پی اچ می‌باشد

با توجه به جدول‌های ۱ و ۲ در تمامی مکان‌های مورد بررسی، با افزایش میانگین وزن مخصوص ظاهری خاک، مقدار کربن آلی بیش‌تری ترسیب شده است. در مطالعه حاضر ماده آلی خاک با افزایش ورودی کربن به خاک افزایش یافته است. این نشان داد که تغییرات در ماده آلی خاک ارتباط مستقیمی با میزان ورودی کربن از باقیمانده‌های محصول و کود آلی دارد. نتایج مشابهی در یک آزمایش میدانی ۲۰ ساله توسط کیوا و همکاران (Qiao *et al*., 2015) گزارش شده است. ماده آلی خاک علاوه بر تأثیرگذاری بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک، نقش اساسی در تأمین مواد مغذی و حفظ رطوبت خاک دارد (Cardoso *et al*., 2015). کربن آلی خاک نقش مهمی در استخراج مواد مغذی خاک و در دسترس بودن آن‌ها دارد (Li *et al*., 2017). در سال سوم مقدار زیادی ماده آلی نیز از طریق کود دامی به خاک اضافه شد. ورود مقدار زیاد کود دامی به خاک باعث ایجاد محیط مطلوب برای فعالیّت میکروارگانیسم‌های خاک شده که در اثر آن کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. اختلاط پسماند نه تنها باعث افزایش ورودی کربن به

خاک می‌شود، بلکه باعث افزایش تجمع خاک و پایداری کل می‌شود که از مواد آلی در برابر تجزیه محافظت می‌کند و باعث کاهش نابودی خاک می‌شود (Zhang *et al*., 2014). فعالیت‌های انسانی تا حد زیادی بر تجمع کربن آلی خاک در مزارع تأثیر می‌گذارد (Zhang *et al*., 2017). مطالعات قبلی نشان داده‌اند که عوامل محدود کننده اصلی افزایش کربن آلی خاک به خاک‌ورزی، شیوه‌های کوددهی و سیستم کشت مرتبط است (Mathieu *et al*., 2015).

نتیجه گیری کلی

با توجه به نقش کاه و کلش محصول گندم، کود دامی، شخم زمین و رعایت تناوب زراعی به عنوان عوامل اصلی ورودی کربن به خاک و قابل مدیریت بودن آنها می‌توان با مدیریت اصولی و اقدامات جدی در جهت افزایش ذخیره کربن و حفظ بلند مدت آن قدم برداشت.

References

Abdalla M., Hastings A., Helmy M., Prescher A., Osborne B., Lanigan G., Forristal D., Killi D., Maratha P., Williams M., Rueangritsarakul K., Smith P., Nolan P., and Jones M.B. 2014. Assessing the combined use of reduced tillage and cover crops for mitigating greenhouse gas emissions from arable ecosystem. *Geoderma*, 223-225: 9-20.

Cardoso J.A.F., Lima A.M.N., Cunha T.J.F., Rodrigues M.S., Hernani L.C., Amaral A.J.D., and Oliveira Neto M.B.D. 2015. Organic matter fractions in a quartzipsamment under cultivation of irrigated mango in the lower São Francisco Valley Region, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 39: 1068-1078.

Feizi H., Maleki S., and Puzeshi R. 2020. Effect of Vegetation on Soil Organic Carbon Storage and Carbon Dioxide Stabilization in Long-Term Land Use, Bajestan Region. *Applied Soil Research*, 8 (4): 181-196.

Girard M.C., Walter C., Remy J.C., Berthlin J., and Jean-louis morer. 2010. Soil and Environment Book, 2nd edition, Dunod Paris.

Habtegebrial K., Singh B.R., and Haile M. 2007. Impact of tillage and nitrogen fertilization on yield, nitrogen use efficiency of tef (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter) and soil properties. *Soil and Tillage Research*, 94: 55-63.

Lal R., Negassa W., and Lorenz K. 2015. Carbon sequestration in soil. Current Opinion in Environmental Sustainability, 15: 79-86.

Lemma B., Kleja D.B., Nilsson I., and Olsson M .2006. Soil carbon sequestration under different exotic tree species in the southwestern highlands of Ethiopia. *Geoderma*, 136: 886-898.

Li Z., Liu, C., Dong, Y., Chang, X., Nie, X., Liu, L., Xiao, H., Lu, Y., and Zeng, G. 2017. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the loess hilly-gully region of China. *Soil and Tillage Research*, 166: 1-9.

Moreno G., Obrador J.J., and Garcia A.2007.Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 119: 270-280.

Page ALV and Keeney MRH. 1992. Method of Soil Analysis. American Society of Agronomy, Madison WI. USA.

Qiao Y., Miao S., Li N., Xu Y., Han X., and Zhang B. 2015. Crop species affect soil organic carbon turnover in soil profile and among aggregate sizes in a Mollisol as estimated from natural 13C abundance. *Plant and Soil*, 392: 163-174.

Soil Survey Staff. 1984. Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey. *In Soil Survey Investigations Rep. No. 1*. USDA-SCS Agricultural Handbook. 436 pp.

Sparks D and Bartels J.1996. Methods of soil analysis: Part3. Chemical methods. In Soil Science Society of America Book Series. Madison, Wisconsin. USA. Pp 1390.

Zhang Q., Yang L., Xu Z., Zhang Y., Luo H., Wang J., and Zhang W. 2014. Effects of cotton field management practices on soil CO_2 emission and C balance in an arid region of Northwest China. *Journal of Arid Land*, 6: 468-477.

Effect of Organic Fertilizers and Cropping Systems on Carbon Sequestration Performance (Case study of Tabriz plain)

Ahmad Bybordi[1], Saghar Chakherlou[2*]

2* Reasearcher, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center Khosrowshahr Iran Agricultural Research and Training Organization. *E-mail: saghar.chakherloo@yahoo.com

1 Assistant Professor, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center Khosrowshahr Iran Agricultural Research and Training Organization.

Abstract

Global climate change is due to the greenhouse gases of the Earth's atmosphere and is the most important threat to sustainable development and food security, especially in arid and semi-arid regions. In this study, the effect of crops and livestock manure and straw by measuring the physical and chemical properties of soil on the amount of carbon stored in the soil was evaluated. A total of 308 samples were taken from a depth of 0 to 30 cm. Soil texture, pH, electrical conductivity, organic carbon, bulk density and carbon storage were estimated. Stepwise regression method was used to present the model. The results showed that among the studied soil properties in three consecutive years, due to the addition of fertilizer and straw left over from the previous crop to the fields, the relationship of soil carbon storage with all measured properties except Soil sand is significant. Soil carbon storage in the third crop year (onion) increased from 4.84 to 5.68 kg / m2.

Key words: Soil carbon, Tabriz plain, Crops, organic fertilizer

روابط رگرسیونی بین خصوصیات خاک و ذخیره کربن آلی

احمد بایبوردی[1]، ساغر چاخرلو[2*]

*۲ محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، saghar.chakherloo@yahoo.com

۱ استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی

چکیده

با بررسی چرخه کربن در کره زمین ثابت شده است که خاک مهم‌ترین مخزن کربن در جهان می‌باشد. تحقیق حاضر با هدف برآورد مقادیر وزنی ذخیره کربن و ارتباط آن با سایر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از طریق روابط رگرسیونی، در هشت سری از خاک‌های دشت تبریز که نماینده خاک‌های این دشت هستند، انجام گرفت. نمونه‌های خاک مکان‌دار از عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر تهیه شدند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، بافت، اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب و پتاسیم محلول در آزمایشگاه تعیین شد. برای ارائه مدل از روش رگرسیون گام به گام استفاده گردید. نتایج نشان داد، براساس مدل‌های به دست آمده فسفر و رس بیشترین تأثیر را در مقدار ذخیره کربن داشته‌اند. نتایج مؤید این فرض بوده که وارد نشدن سایر ویژگی‌های محیطی نظیر مدیریت اراضی، عوامل توپوگرافیکی، اقلیمی و فرسایش در مدل مورد مطالعه، سبب عدم تبیین مقداری از کربن آلی گشته که در صورت وارد شدن آن ویژگی‌ها در رگرسیون احتمالاً باعث افزایش میزان ضریب تبیین (R^2) مدل خواهد شد. لذا پیشنهاد می‌گردد تحقیقات دیگری برای منظورکردن متغیرهای محیطی زیاد در این نوع مطالعات صورت پذیرد تا زمینه ارزیابی دقیق اثرات تغییرات عمده در منطقه فراهم شود.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، روابط رگرسیونی، محصول زراعی

مقدمه

کربن آلی خاک یکی از پارامترهای مهم تعیین کننده میزان حاصلخیزی خاک، قابلیت تولید و شاخص مهمی در نشان دادن کیفیت خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است که در آن مقادیر ورودی کربن ناچیز است (Zhang et al., 2016). افزایش ذخیره کربن آلی خاک یک راهبرد برنده برای افزایش عملکرد محصول و کاهش تغییرات آب و هوایی است. زمین های کشاورزی دارای پتانسیل جدا سازی و ذخیره کربن در خاک هستند، بنابراین می‌توانند نقش بسزایی در کاهش گاز گلخانه ای جو زمین داشته باشند (Pham et al., 2018). در دهه‌های اخیر رشد علم و فناوری رایانه‌ای و نرم افزاری سبب به کارگیری مدلهای پیشرفته به منظور اجرای راهکارهای مدیریتی دقیقتر شده است. مدل، شکل ساده شد ای از واقعیت است که بعد از ایجاد آن می توان بدون اندازه‌گیری و آزمایش، رفتار یک پدیده را پیش بینی کرد. در این راستا رگسیون خطی روش مدلسازی مورد توجه در سالهای اخیر هستند که به ترتیب به دنبال پی بردن به ساختار مکانی داده ها و تعمیم دانش نهفته در ورای دادهها به ساختار مدل هستند (میثاقی و محمدی، ۱۳۸۵). کربن آلی خاک به دلیل نقش مهمی که بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک میگذارد، در تعیین کیفیت خاک و ارزیابی آن فاکتور مهمی به شمار میرود (Mueller and Pierce., 2003). توزیع مکانی کربن آلی خاک تابعی از عوامل فیزیکی و کاربری یا مدیریت میباشد . بدیهی است داشتن تکنیکهای مناسب ارزیابی مکانی ماده آلی خاک و نیز تخریب یا ترسیب آن ضروری است .دستیابی به تغییرات مکانی کربن آلی در کاربریهای مختلف کمک مؤثری در تفسیر و شبیه سازی رفتار اکوسیستمهای خاکی در مواجهه با تغییرات اقلیمی و زیست محیطی خواهد نمود(Wynn et al., 2006) . استفاده از تعداد پارامترهای کم و زودیافت در مدلسازی به شرط آنکه تخمین خوبی از متغییر وابسته داشته باشند می تواند از نظر هزینه و زمان حائز اهمیت باشد و دسترسی به جواب با حداقل اطلاعات درشرایط ناکافی بودن داده های در دسترس اولویت دارد (Kumar et al., 2008). لذا هدف ازانجام این پژوهش برآورد میزان ذخیره کربن در شرایط تناوب زراعی گندم-پیاز و تعیین پارامترهای خاکی اثرگذار بر میزان ذخیره کربن در سری های خاک مختلف است.

مواد و روش‌ها

دشت تبریز با مساحت سه هزار هکتاری دراستان آذربایجان شرقی بزرگترین دشت موجود در این استان بعد از دشت‌های مرند و جلفا می‌باشد. در مزارع کشت گندم انجام گرفت و سال بعد پیاز کاشته شد. در پایان فصل کشت هر دو محصول، با کمک GPS و تعیین مختصات تمامی نقاط، در ابعاد ۲*۲ کیلومتر به طور تصادفی و تا عمق ۱ متری از مزارع (در ۳ عمق مختلف شامل عمق‌های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری) ، نمونه‌ها جمع آوری شده و به آزمایشگاه منتقل شدند.

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک

نمونه های خاک در هوای آزاد خشک شد و بعد از خرد کردن کلوخه‌ها، جدا کردن ریشه‌ها و سنگ ریزه‌ها، خاک از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس آزمایش‌های زیر انجام گرفت. جرم مخصوص ظاهری خاک به روش روش استوانه اندازه‌گیری، قابلیت هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه ECسنج ، pH خاک، درصد کربن آلی، فسفر قابل جذب و پتاسیم محلول با عصاره گیری با استات آمونیوم نرمال و بافت خاک تعیین شد. پس از اندازه‌گیری درصد کربن آلی به تفکیک هر لایه، مقدار ذخیره کربن آلی با مقیاس گرم در متر مربع از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Zahedi, 1998).

(۱)

$$SC\ (grm^{-2}) = 10000 \times C\ (\%) \times Bd\ (grcm^{-3}) \times e\ (cm)$$

که در این رابطه SC میزان وزن کربن ذخیره شده در سطح یک متر مربع، C درصد کربن آلی در عمق مشخصی از خاک، Bd جرم مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و e ضخامت خاک بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

تعیین مهم ترین عامل تأثیرگذار بر میزان ترسیب کربن نیز با استفاده از رگرسیون گام به گام

در این روش ابتدا متغیرهای مؤثر بر ترسیب کربن شناسایی شده و سپس یک یا چند رابطه رگرسیون خطی بین این متغیرهای مهم و ذخیره کربن برقرار می‌شود. رگرسیون خطی چند مرحله‌ای (SMLR[1]) برای انتخاب خصوصیات خاک، که بیشترین اطلاعات را در مورد ذخیره کربن خاک دارند، به کار می‌رود. در SMLRخواص خاک اندازه‌گیری شده از آنالیز آزمایشگاهی نمونه های خاک را بعنوان متغیر مستقل و مقادیر مربوط به کربن ذخیره شده در خاک به عنوان متغیر وابسته استفاده شده است.

نتایج و بحث

در جدول ۱ همبستگی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک‌های مورد مطالعه با ذخیره کربن آلی خاک آورده شده است. برای بررسی ویژگی‌های خاکی که در مقدار ذخیره کربن خاک تأثیر دارند، از ضریب همبستگی پیرسیون استفاده شد.

[1] Stage Multiple Linear Regression

جدول۱- ضرایب همبستگی پیرسون بین مقدار ذخیره کربن خاک و ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک در سری‌های مختلف منطقهٔ تحقیق

خصوصیات مناطق	عمق خاک (سانتی‌متر)	فسفر (میلی‌گرم برکیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم برکیلوگرم)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس برمتر)	اسیدیته -	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتیمترمکعب)	گچ (درصد)	کربن آلی (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
قراملک	۰-۳۰	۰/۴۴**	۰/۰۳	-۰/۲*	-۰/۰۶	۰/۵۹**	-۰/۰۶	۰/۹۹ **	-۰/۰۲	-۰/۰۸	۰/۰۸*
	۳۰-۶۰	۰/۳۶	۰/۰۱	-۰/۰۳	-۰/۲	۰/۶۲	-۰/۲	-۰/۹۵ **	-۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۶*
	۶۰-۹۰	۰/۳*	۰/۰۵	-۰/۰۱	-۰/۲۶	۰/۷۵**	-۰/۴	-۰/۹ **	-۰/۱	۰/۲*	۰/۰۱*
کجووار	۰-۳۰	۰/۳۴	۰/۰۰	-۰/۱	-۰/۰۹	۰/۴۷**	-۰/۰۹*	۰/۹۷ **	-۰/۰۲	-۰/۰۸	۰/۰۵ *
	۳۰-۶۰	۰/۳	۰/۰۸	-۰/۰۳	-۰/۲	۰/۵۲**	-۰/۱	-۰/۹۵ **	-۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۴*
	۶۰-۹۰	۰/۲۲*	۰/۳۰	-۰/۰۱**	-۰/۳۱	۰/۶**	-۰/۵	-۰/۸۸ **	-۰/۱	۰/۲۳	۰/۰۱*
مایان	۰-۳۰	۰/۵**	۰/۰۵	-۰/۲	-۰/۰۵	۰/۵**	-۰/۱	۰/۹۵ **	-۰/۰۷	-۰/۱	۰/۰۵*
	۳۰-۶۰	۰/۴۲	۰/۰۲	-۰/۰۷	-۰/۱۵	۰/۶۸**	-۰/۲	-۰/۹ **	-۰/۰۹	۰/۱۵	۰/۰۲*
	۶۰-۹۰	۰/۲*	۰/۰۸	-۰/۰۱	-۰/۲۴	۰/۷۶**	-۰/۴۲	-۰/۸۵ **	-۰/۱۵	۰/۲*	۰/۰۱
نوجه ده	۰-۳۰	۰/۶**	۰/۰۴	-۰/۳*	-۰/۰۸	۰/۵۱**	-۰/۱	۰/۹۹ **	-۰/۰۵	-۰/۱۷	۰/۶۶**
	۳۰-۶۰	۰/۵۸	۰/۰۶	-۰/۱	-۰/۲	۰/۵۵**	-۰/۱۶	-۰/۹۴ **	-۰/۱	۰/۲	۰/۵۰**
	۶۰-۹۰	۰/۳*	۰/۰۲	-۰/۰۵	-۰/۲۵	۰/۵۷**	-۰/۳۱	-۰/۸۸ **	-۰/۱۲	۰/۲۳*	۰/۴۸**
ساتللو	۰-۳۰	۰/۵۴**	۰/۰۴	-۰/۲	-۰/۰۶	۰/۴۵**	-۰/۲	۰/۹۶ **	-۰/۰۸	-۰/۲	۰/۶۸**
	۳۰-۶۰	۰/۵	۰/۳۰	-۰/۱	-۰/۱۵	۰/۵۸**	-۰/۲۴	-۰/۹۲ **	-۰/۱	۰/۲۴*	۰/۷۰**
	۶۰-۹۰	۰/۴۵*	۰/۰۵	-۰/۰۷	-۰/۲	۰/۶**	-۰/۳	-۰/۹ **	-۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۵۵**
سفیدان	۰-۳۰	۰/۴۴**	۰/۰۵	-۰/۲	-۰/۰۸	۰/۴۷**	-۰/۱*	۰/۹۷ **	-۰/۰۳	-۰/۰۶	۰/۰۹*
	۳۰-۶۰	۰/۴	۰/۰۳	-۰/۰۸	-۰/۱	۰/۵۶**	-۰/۲	-۰/۹۵ **	-۰/۱	۰/۱۵	۰/۰۵
	۶۰-۹۰	۰/۳*	۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۱۵	۰/۶۵**	-۰/۲۶	-۰/۹ **	-۰/۱۲	۰/۲*	۰/۰۱
استیار	۰-۳۰	۰/۳۸**	۰/۰۷	-۰/۱۵	-۰/۰۴	۰/۴۸**	-۰/۰۹	۰/۹۹ **	-۰/۰۵	-۰/۰۵	۰/۰۶*
	۳۰-۶۰	۰/۳	۰/۰۳	-۰/۰۶	-۰/۰۹	۰/۵**	-۰/۱	-۰/۹۷ **	-۰/۷	۰/۱	۰/۰۴
	۶۰-۹۰	۰/۲۷*	۰/۰۶	-۰/۰۱**	-۰/۱	۰/۶۵**	-۰/۲۵	-۰/۹۵ **	-۰/۱۱	۰/۱۷*	۰/۰۲
اسکندر	۰-۳۰	۰/۴۲**	۰/۰۷	-۰/۱	-۰/۰۵	۰/۴۸**	-۰/۰۹*	۰/۹۹ **	-۰/۰۶	-۰/۰۹	۰/۷۰**
	۳۰-۶۰	۰/۳۳	۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۱	۰/۵۴**	-۰/۲	-۰/۹۴ **	-۰/۹	۰/۱۵*	۰/۶۶**
	۶۰-۹۰	۰/۲۵*	۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۲	۰/۶۸**	-۰/۴۵	-۰/۹ **	-۰/۱	۰/۲۲*	۰/۴۵**

** نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱ است.

* نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۵ است.

نتایج نشان می‌دهد بیشترین رابطه همبستگی معنی‌دار ذخیره کربن آلی خاک با فسفر، جرم مخصوص ظاهری و رس می‌باشد و کمترین همبستگی معنی‌دار بین ذخیره کربن آلی خاک بین هدایت الکتریکی، اسیدیته و شن می‌باشد.
مقدار فسفر قابل جذب در دو عمق ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری بررسی شده اختلاف آماری معنی‌دار و زیادی ندارند. اما مقدار فسفر قابل جذب در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری اختلاف معنیداری دارد و از عمق‌های دیگر بیشتر است. افزایش مقدار فسفر خاک را به علت تجمع بیشتر لاشبرگ و افزایش پوشش گیاهی در سطح خاک می‌دانند (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۰۷). به نظر میرسد در مطالعهٔ حاضر نیز عوامل یادشده دلیل اصلی افزایش فسفر در منطقه باشند. بالابودن میزان ذرات ریز خاک نظیر رس و سیلت که در اکثر خاکهای تکاملیافته اتفاق میافتد در حفظ و تثبیت کربن آلی نقش و اهمیت دارد. خاکهای با بافت ریز، نسبت به خاکهای درشتدانه، پتانسیل بیشتری در ترسیب کربن و ذخیره آن به صورت بلند مدت دارند. تایج بسیاری از پژوهشها نیز نشاندهنده ارتباط قطعی و معنیدار مقدار و کربن ذخیرهای خاک میباشد (جنیدی و همکاران، ۲۰۱۳). برابر نتایج، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک در سری‌های بررسی شده، اختلافات معنی‌دار کمتری را نسبت به هم نشان میدهند. با توجه به اینکه بخشی از تغییرات اسیدیتهٔ خاک به سنگ مادری و بخشی دیگر از آن همراه با هدایت الکتریکی به مقدار بارندگی بستگی دارد و با توجه به اینکه مناطق بررسی شده دارای مواد مادری یکسانند و در منطقهٔ آب وهوایی یکسان قرار دارند، میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی آنها کمتر تغییر یافته است که با نتایج تحقیقی دیگر همسویی دارد (کمپبل و همکاران، ۲۰۰۷).به نظر میرسد میزان هدایت الکتریکی اثر منفی بر روی میزان تولید گیاهی و ورودی لاشبرگ به خاک میگردد که در نهایت سبب کمبود کاهش ماده آلی خاک میشود. املاح محلول موجود در خاک به دلیل ایجاد محدودیت در استقرار و رشد و توسعه پوشش گیاهی شوری نقش بسیار تعیینکنندهای بر روی درصد پوشش گیاهی دارد چنانچه مطالعات گستردهای این موضوع را تأیید مینمایند (Yibing, 2008 و zare et al., 2010).

با توجه به نتایج معادلات رگرسیون گام به گام بهترین مدل‌های تخمین مقدار کربن ذخیره شده به شرح جدول ۴ است.

جدول۲- روابط رگرسیونی استخراج شده از آزمون رگرسیون گام به گام

مناطق	عمق خاک	مدل	ضریب تبیین	سطح معنی داری
قراملک	۰-۳۰	SC=-۸۷/۱۰ OC + ۶۵/۹۳Bd+۱۵/۳۸	۰/۷۷	۰/۰۰
	۳۰-۶۰	SC= -۱۸/ ۷۷ OC + ۵۴/۲۲clay+۱۷/۰۵	۰/۷۲	۰/۰۰۵
	۶۰-۹۰	SC= -۳۰/۴۴ OC+ ۶۶/۱۲Bd-۹۰/۲۷	۰/۵۷	۰/۰۰۱
کجووار	۰-۳۰	SC= -۸۸/۴۲ OC- ۱/۰۱P+۲۰/۴۵	۰/۶۶	۰/۰۰
	۳۰-۶۰	SC= -۲۸/ ۳۰OC + ۵۶/۱۴clay-۱۰۶/۲۶	۰/۵۴	۰/۰۰۸
	۶۰-۹۰	SC= -۴۳/۶۴ OC + ۱/۵Bd+۳۴/۷۹	۰/۷۳	۰/۰۲
مایان	۰-۳۰	SC= -۹۰/۶۵ OC- ۱۱۰/۲P+۱۸۰/۵۳	۰/۸۰	۰/۰۰
	۳۰-۶۰	SC= -۲۳/۴۸۶۴ OC+ ۰/۵۹Bd+۲۳/۷۶	۰/۶۴	۰/۰۰
	۶۰-۹۰	SC= -۲۹/۶۱ OC+ ۱/۷Bd+۳۰/۲۱	۰/۶۸	۰/۰۰
نوجه ده	۰-۳۰	SC= -۲۸/۶۴ OC+ ۱/۳۴Bd+۳۷/۱۵	۰/۵۵	۰/۰۰۱
	۳۰-۶۰	SC= -۳۰/۱۴ OC+ ۶۰/۱۴Bd-۹۰/۱	۰/۶۲	۰/۰۰۲
	۶۰-۹۰	SC= -۷۲/۱۵ OC+ ۱۱۱/۳Bd+۱۴۱/۴۵	۰/۷۰	۰/۰۰
ساتللو	۰-۳۰	SC= -۸۸/۱۴ OC- ۶۰/۳۷P+۱۷/۳۳	۰/۸۰	۰/۰۰۶
	۳۰-۶۰	SC= -۹۲/۲۳ OC+ ۱/ ۸۴ clay + ۵۵/۱۶	۰/۵۹	۰/۰۰۹
	۶۰-۹۰	SC= -۲۲/۸۴ OC+ ۰/۸۵Bd+۲۵/۱۵	۰/۷۷	۰/۰۰
سفیدان	۰-۳۰	SC= -۳۴/۱۶ OC+ ۷۴/۲۵P+۱۰۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۰۰۴
	۳۰-۶۰	SC= -۲۲/ ۶۸ OC+ ۰/۷۷Bd+۳۱/۴۱	۰/۵۵	۰/۰۰
	۶۰-۹۰	SC= -۹۵/ ۱۱ OC+ ۱/۹۴Bd+۸۲/۲	۰/۶۳	۰/۰۰
استیار	۰-۳۰	SC= -۲۵/۵۰ OC+ ۵۰/۵۷ P-۸۵/۹۱	۰/۵۸	۰/۰۰۳
	۳۰-۶۰	SC= -۳۵/۳۴ OC+ ۴۵/۱clay+۶۷/۲۲	۰/۶۹	۰/۰۹
	۶۰-۹۰	SC= -۲۷/۵ OC+ ۷۱/۱۱Bd-۹۷/۶۵	۰/۷۹	۰/۰۰
اسکندر	۰-۳۰	SC= -۸۰/۶۴ OC+۱۰۷/۲۵Bd+۱۷۲/۹۳	۰/۶۷	۰/۰۰
	۳۰-۶۰	SC= -۲۵/۵۵ OC+۱/۵۷Bd+۶۳/۱۴	۰/۷۵	۰/۰۰
	۶۰-۹۰	SC= -۹۲/۷۰ OC+ ۰/۵۸Bd+۱۷/۶۶	۰/۷۴	۰/۰۰

بهترین مدل برای هر کاربری در هر عمق، مدل خطی با ضریب تبین به دست آمده است (Simo et al., 2019).

نتیجه‌گیری

با توجه به اثرگذاری فاکتورهای متعدد کنترل‌کننده عوامل میزان کربن، نظیر فاکتور اقلیمی، بیولوژیکی و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک انتظار میرفت در این مطالعه با واردکردن خصوصیات خاک به تنهایی قادر به تبیین بخشی از تغییرات کربن خاک باشیم. نتایج تحقیق حاضر نیز مؤید این فرض بوده که وارد نشدن سایر ویژگی‌های محیطی نظیر مدیریت اراضی، عوامل توپوگرافیکی، اقلیمی و فرسایش در مدل مورد مطالعه، سبب عدم تبیین مقداری از کربن آلی گشته که در صورت وارد شدن آن ویژگی‌ها در رگرسیون احتمالاً باعث افزایش میزان ضریب تبیین (R^2) مدل خواهد شد.

لذا پیشنهاد می‌گردد تحقیقات دیگری برای منظورکردن متغیرهای محیطی زیاد در این نوع مطالعات صورت پذیرد تا زمینه ارزیابی دقیق اثرات تغییرات عمده در منطقه فراهم شود. به نظر می‌رسد که این پارامترها در مدیریت مزارع بیشتر بایستی مورد توجه برنامه-ریزان قرار گیرد و اقدامات مهم در جهت حفظ و افزایش این پارامتر صورت پذیرد.

فهرست منابع

میثاقی ف .و محمدی ک .۱۳۸۵ . پهنه بندی اطلاعات بارندگی با استفاده از روش های آمار کلاسیک و زمین آمار و مقایسه با شبکه عصبی .مصنوعی . مجله علمی کشاورزی .سال ۲۳ ، شماره ۴، ص ۱۳.

Hosseinzadeh, G. Jalilvand, H. and Tamartash, R. 2007. Vegetation covers changes and chemical soil properties in pastures with different grazing intensities. Iranian journal of range &desert research. Vol. 14(4). 12 pp.

Joneidi, H. H. Azarnivand., M.A. Zare Chahooki., M. Jafari & S. Nikoo, 2013. Study of the effects of some ecological factors and management practices on carbon sdorage in Artemisia sieberi species in rangelands using PCA analyze. Journal of natural environment, 65(4): 451-464.

Kumar M., Bandyopadhyay A., Raghuwanshi N.S. and Singh R. 2008. Comparative study of Conventional and Artificial Neural Network-based ET0 Estimation Models, Journal Irrigation Science, 26(6): 531-545

Mueller T.G., and Pierce F.J. 2003. Soil Carbon Maps: Enhancing Spatial Estimates with Simple Terrain Attributes at Multiple Scales. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:258–267.

Pham, T.G., Nguyen, H.T., and Kappas, M. 2018. Assessment of soil quality indicators under different agricultural land uses and topographic aspects in Central Vietnam. Int. Soil Water Conserv. Res. 6, 280–288.

Wynn J.G., Bird M.I., Vallen L., Grand-Clement E., Carter J. and Berry S.L. 2006. Continental-scale measurement of the soil organic carbon pool with climatic, edaphic, and biotic controls, Global Biogeochemical Cycles, 20(1): 1-12.

Yibing, Q., 2008. Impact of habitat heterogeneity on plant community pattern in Gurbantunggut Desert. Geographical science, 14(4): 447-455pp.

Zahedi, G.H. 1998. Relation between Vegetation and Characteristics in a Mixed Hard Wood Stand. AcademicPress, Ghent University (Behgium), 319 p.

Zare Chahouki, M.A., L. Khalasi Ahvazi & H. Azarnivand, 2010. Environmental factors affecting distribution of vegetation communities in Iranian Rangelands. Vegetos, 23 (2): 1-15.

Zhang, D.B., Yao, P.W., and Zhao, N. 2016. Contribution of green manure legumes to nitrogen dynamics in traditional winter wheat cropping system in the Loess Plateau of China. *Eur. J.* Agron. 72, 47–55.

Regression relationship between soil properties and organic carbon storage

Ahmad Bybordi[1], Saghar Chakherlou[2*]

2* Reasearcher, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center Khosrowshahr Iran Agricultural Research and Training Organization. *E-mail: saghar.chakherloo@yahoo.com

1 Assistant Professor, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Training Center Khosrowshahr Iran Agricultural Research and Training Organization.

Abstract

The study of the carbon cycle on Earth has proven that soil is the most important carbon reservoir in the world. The aim of this study was to estimate the weight values of carbon storage and its relationship with other physical and chemical properties of soil through regression relationships in eight series of soils of Tabriz plain that represent the soils of this

plain. Spatial soil samples were prepared from 0-30, 30-60 and 60-90 cm depths. Physical and chemical properties of soil including organic carbon, bulk density, texture, acidity, electrical conductivity, absorbable phosphorus and soluble potassium were determined in the laboratory. Stepwise regression method was used to present the model. The results showed that based on the obtained models, phosphorus and clay had the greatest effect on the amount of carbon storage. The results confirm the hypothesis that the absence of other environmental features such as land management, topographic, climatic factors and erosion in the study model, led to the lack of explanation of the amount of organic carbon, which if those features are included in the regression may increase The coefficient of explanation (R2) will be modeled. Therefore, it is suggested that other researches be done to include many environmental variables in this type of studies in order to provide an accurate assessment of the effects of major changes in the region.

Keywords: Physical and chemical properties of soil, Regression relationships, Crop

بررسی تاثیر مصرف توام کودهای آلی و شیمیایی بر شاخص مدیریت کربن آلی خاک در کشت کلزا در داراب فارس

حسن حقیقت نیا[1*]، حسین صفاری [2]

[1] استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، داراب، فارس، ایران hasan.haghighatnia@yahoo.com

[2] استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

چکیده

امروزه از شاخص مدیریت کربن آلی خاک به طور گسترده‌ای به عنوان شاخصی از تغییرات شدت کربن آلی خاک در پاسخ به تغییر مدیریت خاک استفاده می شود. در تحقیق حاضر تغییرات کربن آلی کل و فعال در مدیریت‌های متفاوت کاربرد کودهای آلی و شیمیایی پس از کشت کلزا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این آزمایش ۹ تیمار شامل یک تیمار نکاشت و یک تیمار شاهد بدون مصرف کود شیمیایی و آلی و هفت تیمار مصرف کود شیمیایی و آلی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که تاثیر تیمارها بر صفات مورد بررسی تنها در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک تغییر معنی‌داری را در سطح یک درصد ایجاد نموده و در عمق ۳۰-۱۶ سانتی‌متری خاک معنی دار نبوده است. برترین تیمارها تیمارهایی بودند که علاوه بر کود شیمیایی میزان ۲۰ تن کود آلی را نیز دریافت کردند. این تیمارها با شاهد نکاشت و شاهد عدم مصرف کود اختلاف معنی داری را نشان دادند. بنابراین چنین نتیجه گیری گردید که مصرف کودهای آلی علاوه بر تغییر کربن آلی کل خاک می‌تواند بر کربن فعال خاک تاثیر گذار بوده و بدین طریق شاخص مدیریت کربن آلی خاک را بهبود بخشد.

واژگان کلیدی: شاخص مدیریت کربن، کلزا، کود آلی، کود شیمیایی

مقدمه

مواد آلی خاک به دلیل نقش آن در پایداری ساختمان خاک، نفوذ پذیری آب، ظرفیت نگهداری آب خاک، فعالیت‌های میکروبی، ذخیره و آزاد سازی عناصر غذایی، به عنوان شاخصی از کیفیت خاک به حساب می آید. هرچند تغییرات مواد آلی بر اساس کربن آلی کل خاک سنجیده می‌شود، لیکن مواد آلی کل خاک به تغییرات مدیریت خاک به کندی پاسخ می‌دهد (Mirsky *et al.*, 2008). تحقیقات مختلف نشان داده است که دو خاک با میزان کربن آلی (کل) مشابه ممکن است دارای مقادیر مختلف کربن فعال باشند. امروزه شاخص مدیریت کربن به طور گسترده به عنوان شاخصی از تغییرات شدت کربن آلی خاک در پاسخ به تغییر مدیریت خاک استفاده می‌شود (Yang *et al.*, 2012). البته طبق نتایج Blair *et al.* (1995) مقادیر شاخص مدیریت کربن به تنهایی مفهومی ندارد، اما تفاوت در مقدار آن، انعکاسی از تغییرات مدیریت در سیستم‌های مورد مطالعه می-باشد.

محققین مختلف از جمله Liu *et al.* (2014) و Mirsky *et al.*, (2008) اظهار داشته‌اند که اندازه‌گیری کربن فعال خاک با استفاده از ماده اکسید کننده پرمنگنات پتاسیم با نرمالیته‌های مختلف همبستگی بیشتری با کربن آلی خاک دارد. Benbi *et al.* (2015) اظهار داشتند که، بررسی شاخص مدیریت کربن و کربن ناپایدار خاک به هدف شناسایی بهترین سیستم کشت از نظر

* ایمیل نویسنده مسئول: hasanhaghighatnia@yahoo.com

ترسیب کربن در شش کاربری مختلف شامل کشت نشده، جنگل- زراعت ، تک کشتی گندم ، تناوب های گندم-برنج، گندم-ذرت و نیشکر-اگرواکوسیستم مورد بررسی قرار گرفت. در بین اراضی انتخاب شده، زمین های کشت نشده نسبت به اراضی دیگر بیش‌ترین مقدار و زمین‌های تحت کشت گندم-برنج کم‌ترین مقدار کربن آلی و کربن ناپایدار را داشتند. اراضی دارای تناوب گندم-برنج از نظر شاخص مدیریت کربن نیز در پایین‌ترین حد بودند. این مطالعات نشان داد سیستم جنگل-زراعت بهترین سیستم از دیدگاه ترسیب کربن می باشد. Xu *et al.* (2011) اظهار داشتند مقدار کربن ناپایدار در زمین‌هایی که کودهای آلی در آنها استفاده شده بود نسبت به اراضی که فقط کودهای معدنی دریافت کرده بودند به مراتب بیشتر بود.

ترکیبات ناپایدار مواد آلی در مدت زمان کوتاهی در خاک مورد تجزیه بیولوژیکی قرار می گیرند ولی اهمیت زیادی در تغذیه گیاه دارند، از طرفی این ترکیبات در شاخص مدیریت کربن آلی در خاک نیز نقش تعیین کننده‌ای دارند. با توجه به اینکه هم حفظ کربن آلی خاک در بلند مدت و نیز اثرات تغذیه‌ای آن در کوتاه مدت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا در این تحقیق به اثرات مدیریت مصرف کودهای آلی و شیمیایی بر شاخص مدیریت کربن آلی خاک پس از کشت کلزا در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۶ سانتی‌متری خاک پرداخته شده است. لازم به ذکر است این آزمایش برای دو دوره تناوبی با کشت های مختلف طراحی گردیده است که نتایج نهایی آن در آینده در مقالات دیگری منتشر خواهند شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی تاثیر تیمارهای مختلف کودی اعم از شیمیایی، آلی و ترکیبی، این تحقیق در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶در ایستگاه تحقیقات کشاورزی بختاجرد داراب به طول جغرافیایی ۲۸درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و عرض جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۹۰ متر از سطح دریا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۹ تیمار و ۳ تکرار، درمجموع ۲۷ کرت ۵×۲۰ متر مربع درشرایط مزرعه به اجراء در آمد. قبل از آزمایش نمونه خاک مرکب برداشت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با روش-های مرسوم در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس اندازه‌گیری گردید (جدول ۱). تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: T_1) نکاشت T_2) شاهد بدون مصرف کود، T_3) کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی بر اساس آزمون خاک، T_4) کاربرد ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده +کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، T_5) کاربرد ۲۰ تن کمپوست پسماند + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، T_6) کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده، T_7) کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده، T_8) کاربرد ۱۰ تن کود گاوی، T_9) کاربرد ۱۰ تن کمپوست پسماند.

پس از برداشت محصول از هر کرت از دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی متری سطح خاک، نمونه مرکب تهیه شد و پس از آماده-سازی نمونه‌ها، مقدار کربن آلی کل خاک با روش سوزاندن مرطوب (Walkley and Black, 1934) و کربن آلی فعال با روشی که توضیح داده خواهد شد اندازه‌گیری شدند. بدین صورت‌که ۲ گرم از خاک عبور داده شده از الک ۰/۵ میلی‌متری را توزین کرده و در داخل لوله سانتریفوژ ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر از محلول ۱۰ میلی مولار پرمنگنات پتاسیم به آن افزوده و به مدت ۲ ساعت با سرعت۱۵۰ دور در دقیقه شیکر گردید. پس از گذشت این زمان به مدت ۱۰ دقیقه و با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شد. از محلول رویی ۲ میلی‌لیتر برداشته در بالن ۱۰۰ به حجم رسانیده شد و سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۶۵ نانومتر با استانداردهای تهیه شده، کالیبره و غلظت پرمنگنات باقیمانده اندازه‌گیری گردید.

با استفاده از شاخص‌های کربن آلی فعال (ناپایدار) و کربن آلی کل خاک، شاخص مدیریت کربن آلی خاک از رابطه زیر محاسبه شد.

$$CMI=LI\times CPI \qquad (۱)$$

در این رابطه CPI ، شاخص کربن کل خاک و LI شاخص کربن ناپایدار خاک است ، که هر یک از روابط زیر بدست می آید.

CPI= نسبت کربن کل در نمونه خاک به نمونه مرجع (شاهد کود نخورده)

LI= نسبت کربن ناپایدار در نمونه خاک به نمونه مرجع (شاهد کود نخورده)

در نهایت نتایج در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم افزار SAS مورد تجزیه واریانس و مقایسه میانگین-ها با آزمون دانکن صورت گرفت و تحلیل‌های آماری انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به برخی از ویژگی‌های خاک در جدول (۱) ارائه گردیده است. خاک مورد بررسی دارای آهک زیاد با کربن آلی کم (کمتر از ۱درصد)، شوری پایین، اسیدیته قلیایی، فسفر و پتاسیم متوسط و عناصر کم مصرف نسبتاً پایین بود.

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی‌خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	Ec (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	T.N.V.	O.C	P	K	Mn	Fe	Zn
			درصد		میلی گرم در کیلوگرم				
۰-۳۰	۰/۷۳	۸/۲	۳۸/۰	۰/۶۷	۱۱/۵	۲۳۱	۸/۵	۵/۱	۰/۶۷

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر کربن کل، کـربن فعال و شاخص کربن خاک پس از کشت کلزا مربوط به عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و بر این صفات اندازه گیری شده در عمق ۳۰-۱۶ سانتی‌متری خاک معنی دار نگردید (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف کودی نشان داد که بین تیمارهای مختلف اختلافات معنی‌داری وجود دارد. به‌طوری‌که بیش‌ترین کربن آلی کل به تیمار T_6 اختصاص داشت که علاوه بر مصرف ۷۵ درصد نیتروژن توصیه شده بصورت کود شیمیایی اوره، میزان ۲۰ تن کود گاوی دریافت کرده بود. البته این تیمار با برخی دیگر تیمارها شامل T7،T5 ، T8و T9 اختلاف آماری معنی‌داری نداشت و همگی در یک کلاس آماری قرار گرفتند. تیمارهای اخیر نیز همگی ماده آلی دریافت کرده بودند. کم‌ترین مقدار کربن آلی کل به تیمار نکاشت که هیچ کودی را نیز دریافت نکرده بود اختصاص داشت. بیش‌ترین مقادیر کربن آلی فعال و شاخص کربن آلی خاک به تیمارهای T_7 و T_6 اختصاص داشت. دو تیمار اخیر نیز علاوه بر کود شیمیایی ازته به‌ترتیب میزان ۲۰ تن در هکتار کود گاوی و کمپوست دریافت کرده بودند. در هر دو صفت مذکور نیز کم‌ترین مقدار به تیمار نکاشت و تیمار شاهد (بدون مصرف کود) اختصاص داشت. همانگونه که ملاحظه می‌گردد مصرف کودهای آلی بویژه در تیمارهایی که به میزان ۲۰ تن در هکتار مصرف گردیده توانسته است تا حدی سبب تغییر کربن آلی کل و

جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای کودی بر کربن کل، کربن فعال و شاخص کربن خاک پس از کشت کلزا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کربن آلی	کربن فعال ۱۵-۰	شاخص کربن	کربن آلی	کربن فعال ۳۰-۱۶	شاخص کربن
تکرار	۲	۰/۰۱۳	۱۶۵/۸	۱۱۵۶/۴	۰/۰۰۷	۱۶۳۶/۱	۹۰۲۷/۱۱۶
تیمارهای کودی	۸	۰/۰۱۳ **	۶۵۵۱/۳ **	۲۰۱۶/۳ **	۰/۰۰۲ ns	۶۱۶/۷ ns	۲۵۵/۰۳۹ ns
خطا	۱۶	۰/۰۰۲	۳۳۶/۶	۱۴۹/۶	۰/۰۰۴	۴۰۳۲/۸	۲۵۷/۰۳۹
ضریب تغییرات		۶/۰۴	۵/۳۲	۹/۶۶	۹/۴۸	۷/۹۷	۱۵/۸۶

** معنی دار در سطح احتمال ۱٪ ns غیر معنی دار

فعال گردیده و بدین طریق شاخص کربن آلی خاک را نیز تغییر دهد که نتیجه این تحقیق با نتایج برخی دیگر محققین نیز همخوانی دارد (Blair *et al.*, 1995).

جدول ۳- مقایسه میانگین تیمارهای کودی بر کربن آلی، کربن فعال و شاخص کربن خاک پس از کشت کلزا

تیمارها	کربن آلی (%)	کربن فعال (mg/kg)	شاخص کربن (%)	کربن آلی (%)	کربن فعال (mg/kg)	شاخص کربن (%)
عمق	۰-۱۵ سانتیمتر			۱۶-۳۰ سانتیمتر		
T_1	۰/۶۷۰ $^{d-}$	۲۶۶/۷ ^{e}	۸۴/۵^{e}	۰/۵۹۷ ^{a}	۲۳۰/۰ ^{a}	۸۶/۶ ^{a}
T_2	۰/۷۱۰ ^{cd}	۳۰۰/۰ ^{d}	۱۰۰/۰ ^{ef}	۰/۶۲۷ ^{a}	۲۶۶/۷ ^{a}	۱۰۰/۰ ^{a}
T_3	۰/۷۰۷ ^{cd}	۳۳۵/۳ ^{bc}	۱۱۲/۱^{de}	۰/۶۰۰ ^{a}	۲۳۵/۰ ^{a}	۸۷/۳ ^{a}
T_4	۰/۷۴۰ ^{bcd}	۳۶۶/۷ ^{b}	۱۲۹/۴ ^{bcd}	۰/۶۳۳ ^{a}	۲۶۵/۰ ^{a}	۱۰۹/۰ ^{a}
T_5	۰/۸۳۰ ^{a}	۳۵۶/۷ ^{b}	۱۴۰/۴ ^{ab}	۰/۶۷۰ ^{a}	۲۵۵/۰ ^{a}	۱۰۹/۷ ^{a}
T_6	۰/۸۵۰ ^{a}	۴۰۰/۰ ^{a}	۱۶۱/۱ ^{a}	۰/۶۵۷ ^{a}	۲۶۸/۰ ^{a}	۱۱۰/۵ ^{a}
T_7	۰/۸۲۷ ^{a}	۴۱۰/۰ ^{a}	۱۵۹/۵ ^{a}	۰/۶۴۰ ^{a}	۲۶۰/۳ ^{a}	۱۰۸/۱ ^{a}
T_8	۰/۸۱۰ ^{ab}	۳۵۶/۷ ^{b}	۱۳۶/۵ ^{bc}	۰/۶۴۰ ^{a}	۲۵۰/۰ ^{a}	۱۰۰/۵ ^{a}
T_9	۰/۷۸۷ ^{abc}	۳۱۰/۰ ^{cd}	۱۱۵/۸ ^{cde}	۰/۶۳۷ ^{a}	۲۴۰/۰ ^{a}	۹۸/۵ ^{a}

- در هر ستون اعدادی که دارای حروف مشترک هستند از اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد ندارند.

T_1) نکاشت T_2) شاهد بدون مصرف کود، T_3) کاربرد کودهای شیمیایی نیتروژنی، فسفری و پتاسیمی بر اساس آزمون خاک، T_4) کاربرد ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده +کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، T_5) کاربرد ۲۰ تن کمپوست پسماند + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده + کاربرد ۵۰ درصد مقدار فسفر و پتاسیم توصیه شده، T_6) کاربرد سالانه ۲۰ تن کود گاوی + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده، T_7) کاربرد سالانه ۲۰ تن کمپوست پسماند + کاربرد ۷۵ درصد مقدار نیتروژن توصیه شده، T_8) کاربرد ۱۰ تن کود گاوی، T_9) کاربرد ۱۰ تن کمپوست پسماند.

نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین استنباط نمود که مصرف کود، به‌ویژه کودهای آلی، سبب بهبود کربن آلی کل و فعال گشته و نسبت به تیمار شاهد بدون مصرف کود و نیز تیمار نکاشت تفاوت معنی‌داری را در بخش سطحی خاک (۱۵-۰ سانتی‌متری) ایجاد نموده و بدین سبب شاخص مدیریت کربن را نیز بهبود بخشیده است. بنابراین مدیریت زراعی بخصوص مدیریت تغذیه می‌تواند تاثیر بسزایی در شاخص مدیریت کربن آلی خاک ایفاء نماید. این تاثیرات با گذشت زمان و تناوب صحیح زراعی بیشتر نیز خواهد شد.

فهرست منابع

Benbi D.K., Brar K., Toor A.S., and Singh P. (2015). Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. *Geoderma*, 237–238: 149–158.

Blair G.J., Rod D., Lefroy B., and Lisle L. (1995). Soil Carbon Fractions Based on their Degree of Oxidation, and the development of a Carbon Management Index for agricultural systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46:1459-66.

Liu, M.Y., Chang, Q.R., Qi, Y.B., Liu, J., Chen, T., (2014). Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China. *Catena*, 115: 19–28.

Mirsky S. B., Lanyon L.E., and Needelman B.A., (2008). Evaluating Soil Management Using Particulate and Chemically Labile Soil Organic Matter Fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 72(1):180-185.

Walkley A., and Black I.A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1):29-38.

Xu M., Lou Y., Sun X., Wang W., Baniyamuddin M., and Zhao K. (2011). Soil organic carbon active fractions as early indicators for total carbon change under straw incorporation. *Biology and Fertility of Soils*, 47:745–752.
Yang X., Ren W., Sun B., and Zhang S. (2012). Effects of contrasting soil management regimes on total and labile soil organic carbon fractions in a loess soil in China. *Geoderma*, 177:49–56

Investigation of the effect of chemical and organic fertilizers application on soil carbon management index under canola cultivation in Darab fars province

Haghighatnia*[1], H., Saffari[2], H.

[1] Assistant Prof. of Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Darab, Fars, Iran.
[2] Assistant Prof. of Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran.

Abstract

Nowadays, the soil organic carbon management index is widely used as an index of the changes of soil organic carbon in response to change of soil management. In this study, total and active organic carbon changes in different managements of chemical and organic fertilizers have been investigated after canola cultivation. In this experiment, nine treatments including a no planting treatment and a control treatment without the use of organic and chemical fertilizer and seven treatments of chemical and organic fertilizers were carried out based on complete random blocks design with three replications. The results showed that the effect of treatments on the traits only at a depth of 0 - 15 cm had produced significant changes at one percent level and were not significant at a depth of 16 - 30 cm. The best treatments were they that in addition chemical fertilizer, received 20 tons of organic fertilizers. These treatments showed significant differences with no planting and control (no fertilizer) treatments. Therefore , it is concluded that organic fertilizers consumption in addition to changing the total organic carbon of soil, can affect the active carbon of the soil and thereby improve the soil organic carbon management index .

Keywords: canola, carbon management index, chemical fertilizer, organic fertilizer.

* Corresponding author, Email: hasanhaghighatnia@yahoo.com

ارزیابی کیفیت خاک با استفاده از چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) و توزیع مکانی آن در اراضی کشاورزی استان البرز

رسول میرخانی[1*]، علی‌رضا واعظی[2] و حامد رضایی[3]

*۱-عضو هیأت علمی، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران. Email: rasoul_mirkhani@yahoo.com

۲- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۳- عضو هیأت علمی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران

چکیده

آگاهی از توزیع مکانی کیفیت خاک از مهم‌ترین موضوعات در شناسایی و مدیریت پایدار خاک در هر منطقه است. شاخص‌های کیفیت خاک اغلب منطقه‌ای هستند و برای تعیین کیفیت خاک همه مناطق نمی‌توان به طور ثابت از یک مجموعه از شاخص‌ها استفاده نمود. در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) ۱۴۵ مزرعه (۱۶۵۰ متر × ۱۶۵۰ متر) در مناطق نظرآباد و ساوجبلاغ استان البرز اندازه‌گیری شد. کمترین متغیرها (MDS) با استفاده از روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) انتخاب شدند سپس شاخص SMAF و تغییرات مکانی آن با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) تعیین شد. عملکرد گندم در ۴۰ مزرعه‌ی کشت گندم آبی به روش کیل‌گیری تعیین شد. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بین عملکرد گندم و مقادیر شاخص SMAF همبستگی معنی‌دار ($p<۰/۰۱$) وجود داشت($R^2=۰/۶۹$). همچنین روش وزن‌دهی عکس فاصله با NRMSE=۰/۳۰، $R^2=۰/۷۶$ و MBE=۰/۴۹، از دقت مناسبی برای میان‌یابی شاخص SMAF برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: توزیع مکانی، چارچوب ارزیابی مدیریت خاک، گندم

مقدمه

استفاده از شاخص‌های کیفیت خاک، متداول‌ترین روش برای ارزیابی کمی سلامت و وضعیت خاک است. در طول دهه‌های گذشته شاخص‌های بسیاری برای ارزیابی کیفیت خاک در دنیا توسعه پیدا کرده است. برخی از شاخص‌های کیفیت خاک با استفاده از یک و یا تعداد محدودی از خصوصیات خاک استخراج می‌شوند. شاخص کیفیت خاک، منعکس‌کننده تأثیر مجموعه‌ای از ویژگی‌های انتخاب‌شده و برهم‌کنش آن‌ها بر کیفیت خاک بوده است. انتخاب ویژگی‌ها، وزن‌دهی و مدل‌های ترکیب‌کننده آن‌ها توسط پژوهش‌گران مختلف و بر اساس برخی مبانی نظری ارائه شده است (Friedman *et al.* 2001). ازجمله این مدل‌ها می‌توان به چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) اشاره کرد که توسط Andrews *et al.* (2004) ارائه گردید. رویکرد عمومی این برنامه مستلزم تعریف اهداف مدیریت، به‌دست آوردن داده‌های ویژگی‌های خاک و انتخاب، تفسیر و امتیازدهی شناسه‌ها برای محاسبه شاخص کیفیت خاک می‌باشد. در این روش سه مرحله انتخاب شناسه، تفسیر شناسه و تلفیق شناسه‌ها وجود دارد. تحقیقات کمی در خصوص ارزیابی شاخص SMAF انجام گرفته است برای مثال Adeyolanu and Ogunkunle (2016) در پژوهشی در منطقه Oluyole در ایالت Oyo در جنوب غربی نیجریه در دو کشت کاکائو و ذرت، کیفیت خاک را با استفاده از روش چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) ارزیابی کردند و نشان دادند که شاخص کیفیت خاک در کشت کاکائو ۸۵ تا ۸۷ درصد و در کشت ذرت ۶۰ تا ۷۷ درصد بود. Cherubin *et al.* (2016) و طی پژوهشی برای تعیین تأثیر کشت چغندرقند بر کیفیت خاک در منطقه مرکزی و جنوبی برزیل، چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) را تعیین کردند و نشان دادند که روش SMAF یک ابزار کارآمد برای ارزیابی اثرات تغییر کاربری زمین بر روی کیفیت خاک‌های گرمسیری برزیل بود. Seker *et al.* (2017) نیز در پژوهشی در دو خاک تحت کشت گندم و

چغندرقند در مناطق کشاورزی آبی دشت چمرا در آناتولی مرکزی ترکیه چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) انجام دادند و نشان دادند که کیفیت خاک در کشتزارهای گندم ۶۱/۴۶ و در کشتزارهای چغندر قند ۵۱/۲ بود که به ترتیب دارای کیفیت متوسط و پایین بودند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش منطقه نظرآباد و ساوجبلاغ به ۱۴۵ شبکه مربعی به ابعاد ۱۶۵۰ متر × ۱۶۵۰ متر تقسیم شد و از سطح خاک (۳۰-۰ سانتی‌متری) نمونه‌برداری صورت گرفت. ویژگی‌های فیزیکی شامل اندازه‌گیری شن، سیلت، رس به روش هیدرومتری، پایداری ساختمان خاک به روش الک تر، چگالی ظاهری به روش سیلندر، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی دائم به وسیله صفحات فشاری، آب قابل استفاده از طریق رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت نقطه پژمردگی دائم، (آریا و میرخانی، ۱۳۸۵) و ویژگی‌های شیمیایی شامل شوری عصاره اشباع به وسیله EC سنج، واکنش گل اشباع به وسیله pH سنج، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک (Walkley and Black, 1934)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن (Olsen *et al*. 1954)، سدیم محلول خاک به وسیله دستگاه فلیم فتومتر و مقدار کلسیم و منیزیم محلول با استفاده از عصاره اشباع خاک توسط روش کمپلکسومتری و از طریق تیتراسیون با EDTA در حضور معرف‌های اریوکروم بلاک‌تی و موروکساید، اندازه‌گیری و نسبت سدیم قابل جذب (SAR) محاسبه شد (Page *et al*. 1982). به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب و این ویژگی‌ها با استفاده از یکسری منحنی‌های امتیازدهی غیرخطی به یکسری امتیازهای بدون واحد تبدیل شدند.

برای محاسبه امتیاز جرم مخصوص ظاهری از رابطه ۱ استفاده شد (Andrews *et al*. 2004):

$$Y=0.994-b\times\exp(-cD_b^d) \quad (۱)$$

که در رابطه فوق، y بیانگر امتیاز عامل جرم مخصوص ظاهری، D_b بیانگر جرم مخصوص ظاهری اندازه‌گیری شده برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، مقادیر b، c و d وابسته به کلاس بافت و مینرالوژی هستند

برای محاسبه امتیاز مربوط به اسیدیته خاک از رابطه ۲ استفاده شد (Andrews *et al*. 2004):

$$y = \exp\left(\frac{-(\mathrm{pH}-b)^2}{2\times c^2}\right) \quad (۲)$$

که در آن، y بیانگر امتیاز عامل اسیدیته خاک، pH بیانگر مقدار اسیدیته خاک اندازه‌گیری شده، b بیانگر حد بهینه اسیدیته خاک برای محصول موردنظر و c وابسته به نوع پوشش گیاهی می‌باشد.

برای محاسبه امتیاز مربوط به کربن آلی خاک از رابطه ۳ استفاده شد (Andrews *et al*. 2004):

$$y = \frac{1}{1+50.1\times\exp\left(-c\times TOC\right)} \quad (۳)$$

که در آن، y بیانگر عامل کربن آلی، TOC کربن آلی اندازه‌گیری شده و c نشان‌دهنده کلاس ماده آلی، بافت خاک و اقلیم می‌باشد.

برای محاسبه امتیاز مربوط به SAR، با توجه به مقدار هدایت الکتریکی خاک از روابط ۴، ۵ و ۶ استفاده می‌گردد (Andrews *et al*. 2004):

if $EC < 0.2$ $\quad y = \frac{1}{4.06+0.793\times SAR^{3.05}}$ (۴)

if $0.2 \le EC < 0.55$ $\quad y = 0.8+0.13\times SAR-0.07\times SAR^2+0.026\times SAR^3 - 0.00536\times SAR^4+0.000547\times SAR^5-0.0000211\times SAR^6$ (۵)

$$\text{if } EC \geq 0.55 \qquad y = 1 - 0.0702 \times SAR + 0.012 \times SAR^{2} - 0.00028 \times SAR^{3} - 0.000024 \times SAR^{4} \qquad (۶)$$

که در رابطه فوق y بیانگر امتیاز مربوط به SAR برحسب میلی مول بر لیتر می‌باشد.

امتیاز مربوط به فسفر قابل‌دسترس خاک از طریق روابط ۷، ۹ و ۱۱ محاسبه می‌گردد (Andrews *et al*. 2004)

$$\text{if } P \times f_m \leq P_{max} \qquad y = 0.00000925 \times b + \frac{(P \times f_m)^{3.06}}{b + (P \times f_m)^{3.06}} \qquad (۷)$$

$$b = b_1 + (b_1 \times b_2 \times b_3) \qquad (۸)$$

$$\text{if } P \times f_m > P_e \qquad y = 1 - 4.5 \times \exp\left(-c \times (P \times f_m)^{-2}\right) \qquad (۹)$$

$$c = (c_1 + (c_1 \times c_2)) \times c_3) \qquad (۱۰)$$

$$\text{if } P_{max} < P < P_e \qquad y = 1 \qquad (۱۱)$$

در روابط فوق y امتیاز فسفر قابل استفاده، P: فسفر قابل‌استفاده اندازه‌گیری‌شده، P_e: حد موردنیاز به‌منظور حفاظت محیط‌زیست، P_{max} برابر $P_{opt} + 6$، P_{opt}: مقدار فسفر بهینه گیاه، f_m: تابعی از روش اندازه‌گیری و عامل هوازدگی خاک، c1 وابسته به مقدار فسفر بهینه گیاه، مقادیر b_2 و c_2 در کلاس‌های مختلف ماده آلی با توجه به زیر رده خاک، b_3 و c_3 با توجه به بافت خاک و مقادیر c_1 نیز با توجه به کلاس شیب به دست می‌آیند.

در مرحله تلفیق امتیاز شناسه‌ها، امتیاز تمامی شناسه‌ها به‌عنوان یک امتیاز واحد تحت عنوان شاخص کیفیت خاک (SQI) در قالب معادله ۱۷ ادغام شد. (Andrews *et al*. 2004):

$$SQI = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} y_i}{n} \right) \times 10 \qquad (۱۷)$$

که در آن y بیانگر امتیاز ویژگی انتخاب شده و n بیانگر تعداد ویژگی‌های انتخاب‌شده می‌باشد.

نتایج و بحث

با توجه به این که نتایج مقادیر KMO (۰/۷۲) و آزمون بارتلت ($p<۰/۰۱$)، داده‌ها برای تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و انتخاب حداقل ویژگی‌ها مناسب بودند. جدول ۱ مقادیر ارزش ویژه (EV)، درصد تجمعی واریانس و ضریب بارگذاری ویژگی‌های انتخاب شده را در مؤلفه‌های انتخاب شده نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، پنج مؤلفه دارای مقدار ارزش ویژه (EV) بزرگ‌تر از یک می‌باشند و استفاده از مؤلفه‌های اصلی با ارزش ویژه بیشتر از یک می‌تواند ۷۲/۱۷ درصد از تغییرات ویژگی‌های خاک را بیان کند. برای انتخاب کمترین ویژگی‌ها، در مرحله اول، در مؤلفه اول کربن آلی، در مؤلفه دوم فسفر قابل استفاده، در مؤلفه سوم، جرم مخصوص ظاهری، در مؤلفه چهارم نسبت جذب سدیم و در مؤلفه پنجم اسیدیته خاک با بالاترین ضریب بارگذاری در هر مؤلفه به عنوان کمترین ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک انتخاب شدند.

جدول ۱- مقادیر ارزش ویژه، درصد تجمعی واریانس و ضریب بارگذاری ویژگی‌های انتخاب شده در مؤلفه‌ها

مؤلفه‌ها (Components)	۱	۲	۳	۴	۵
ارزش ویژه (Eigenvalue)	۴/۶۸	۲/۹۵	۲/۱۰	۱/۴۵	۱/۰۹
درصد تجمعی واریانس (Cumulative percent)	۲۷/۵۴	۴۴/۹۱	۵۷/۲۵	۶۵/۷۸	۷۲/۱۷
کربن آلی	۰/۷۵				
فسفر قابل استفاده		۰/۶۷			
اسیدیته					۰/۵۳
نسبت جذب سدیم				۰/۸۰	

جرم مخصوص ظاهری	-۰/۶۰

جدول ۲ آماره‌های حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۲- آماره‌های حداقل ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه (n=۱۴۵)

ویژگی	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	چولگی	کشیدگی
اسیدیته (-)	۷/۲۲	۸/۴۷	۷/۹۳	۷/۹۷	-۰/۶۷	۰/۹۴
نسبت جذب سدیم	۰/۳۳	۱۷/۰۰	۲/۷۹	۲/۰۱	۲/۶۲	۹/۷۴
کربن آلی (٪)	۰/۲۷	۲/۰۱	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۷۱	۰/۸۴
فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	۳/۰۰	۱۳۸/۰۰	۳۱/۴۵	۱۶/۰۰	۱/۶۲	۱/۶۷
جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)	۱/۰۷	۱/۷۴	۱/۴۵	۱/۴۵	-۰/۰۲	-۰/۰۷

جدول ۳ وضعیت کیفیت خاک و عملکرد گندم در زمین‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، منطقه مورد مطالعه دارای طیف وسیعی (۸/۰۷- ۴/۰۶) از محدوده کیفیت خاک می‌باشد همچنین با توجه به مقادیر میانگین (۶/۱۹) و میانه (۶/۲۱) شاخص‌های کیفیت، بیش از ۵۰ درصد نقاط مورد مطالعه در کلاس خیلی خوب (کلاس V) قرار دارند. با توجه به مقادیر چولگی (۰/۶۲-) و کشیدگی (۰/۱۹-)، مقادیر شاخص چارچوب ارزیابی کیفیت خاک (SMAF) دارای توزیع نرمال بودند. با توجه به میانگین عملکرد گندم در سال زراعی ۹۷-۹۶ (۴۳۵۰ کیلوگرم در هکتار)، منطقه مورد مطالعه دارای میانگین عملکرد بالاتری (۵۴۶۲ کیلوگرم در هکتار) نسبت به میانگین کشور (۲۶ درصد) داشت. علی‌رغم اینکه منطقه مورد مطالعه در منطقه نیمه خشک قرار دارد، این نتایج نشان دهنده کیفیت خوب خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۳- وضعیت کیفیت خاک در زمین‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه

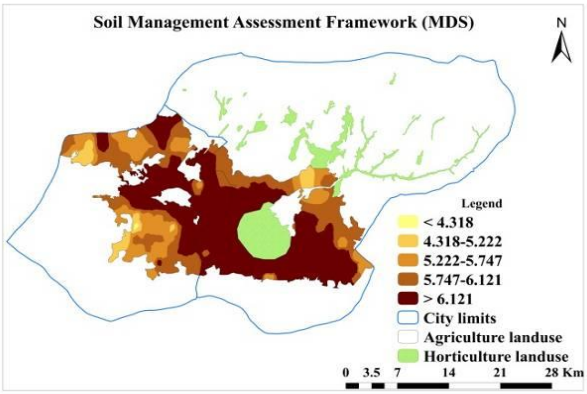
	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF)	۴/۰۶	۸/۰۷	۶/۱۹	۶/۲۱	۰/۸۸۱	-۰/۶۲	-۰/۱۹
عملکرد گندم	۲۷۵۰	۹۰۰۰	۵۴۶۲	۵۳۷۵	۱۴۱۸/۳۴	-۰/۰۹	۰/۲۱

جدول ۴ آماره‌های ارزیابی دقت دقت روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) در برآورد شاخص SMAF را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، شاخص SMAF دارای MBE (۰/۱۴)، R^2 (۰/۹۱)، NRMSE (۰/۱۰) می‌باشند لذا روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) در میان‌یابی مقادیر شاخص SMAF از دقت مناسبی برخوردار بود.

جدول ۴- آماره‌های ارزیابی دقت روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) در برآورد شاخص SMAF

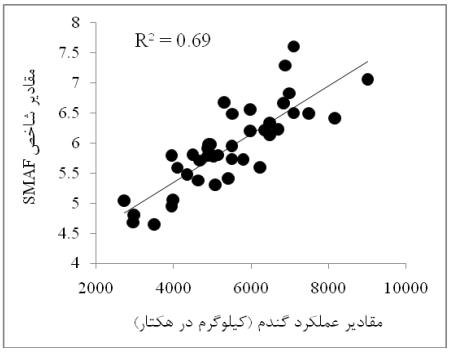
شاخص	MPE	MBE	R^2	NRMSE
چارچوب ارزیابی مدیریت خاک(SMAF)	۲/۸۷	۰/۴۹	۰/۷۶	۰/۳۰

شکل ۱ نقشه شاخص‌های SMAF به روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به نقشه شاخص SMAF، قسمت مرکز و جنوب منطقه مورد مطالعه دارای کیفیت خیلی خوب و در قسمت غرب منطقه نیز روند کاهشی کیفیت خاک کاملاً مشهود است. Rahmanipour *et al.* (2014) در پژوهشی با استفاده از شاخص کیفیت تجمعی نقشه کیفیت منطقه قزوین را بررسی کردند و نشان دادند که کیفیت خاک خاک منطقه قزوین در غرب نظرآباد از غرب به شرق روند کاهشی داشت که با روند کاهشی شرق به غرب منطقه نظرآباد در این پژوهش مطابق بوده و نشان می‌دهد که منطقه بین نظرآباد و قزوین به دلیل بافت شنی و لومی شنی، دارای کیفیت پایینی است. واعظی و همکاران (۱۳۹۹) نیز با بررسی شاخص کیفیت تجمعی و نمورو در منطقه نظرآباد نشان دادند که کیفیت خاک از غرب به شرق منطقه روند کاهشی داشت.



شکل ۱- نقشه حاصل از میان‌یابی به روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) برای توزیع مکانی شاخص چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) در کشتزارهای آبی منطقه مورد مطالعه

نمودار ۲ همبستگی بین مقادیر شاخص SMAF و عملکرد گندم آبی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، بین عملکرد گندم و مقادیر شاخص کیفیت SMAF همبستگی معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) وجود دارد ($R^2=۰/۶۹$). Paul *et al.* (2020) با بررسی کیفیت خاک حوزه آبخیز Bansloi در شرق هند، همبستگی بین عملکرد گندم و ذرت با شاخص کیفیت تجمعی وزنی را به ترتیب ($R^2=۰/۲۱$ و $R^2=۰/۰۹$) و با تجمعی ساده را به ترتیب $R^2=۰/۲۰$ و $R^2=۰/۰۸$ بیان کردند.



شکل ۲- همبستگی بین مقادیر عملکرد گندم آبی و شاخص SMAF در کشتزارهای آبی منطقه مورد مطالعه (n=۴۰)

نتیجه‌گیری

با توجه نتایج، روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) در میان‌یابی مقادیر شاخص SMAF از دقت مناسبی برخوردار بود و قسمت مرکز و جنوب منطقه مورد مطالعه دارای کیفیت خیلی خوب و در قسمت غرب منطقه نیز روند کاهشی کیفیت خاک کاملاً مشهود است. همچنین، بین عملکرد گندم و مقادیر شاخص کیفیت همبستگی معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) وجود دارد. میرخانی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که در منطقه نظرآباد همبستگی معنی‌داری ($p<۰/۰۱$) بین عملکرد گندم و شاخص تجمعی ($r=۰/۷۰$) و نمورو ($r=۰/۷۱$) با استفاده از حداقل ویژگی‌ها وجود داشت.

فهرست منابع

۱. آریا، پ. میرخانی، ر. (۱۳۸۵). روشهای تجزیه خصوصیات فیزیکی خاک، نشریه فنی شماره ۴۷۹. مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

۲. میرخانی, ر. واعظی, ع. ر. رضایی, حامد. (۱۳۹۹). بررسی شاخص‌های کیفیت خاک در کشتزارهای گندم آبی در منطقه نظرآباد در غرب استان البرز. آب و خاک, ۳۴ (۵). ۱۱۲۵-۱۱۳۹.

۳. واعظی, ع. ر., میرخانی, ر., رضایی, ح. و اسماعیل نژاد, ل. (۱۳۹۹). بررسی تغییرپذیری مکانی شاخص‌های کیفیت خاک در کشتزارهای منطقه نظرآباد در غرب استان البرز .تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱(۷). ۱۷۶۸-۱۷۵۵.

4. Adeyolanu, O. D., Ogunkunle, A. O. (2016). Soil Quality Assessment for Sustainable Land Use and Management. *International Journal of Plant and Soil Science*, 13(6), 1-11.

5. Andrews, S. S., Karlen, D. L., Cambardella, C. A. (2004). The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. *Soil Science Society of America Journal*, 68, 1945–1962.

6. Cherubin, M. R., Karlen, D. L., Franco, A. L. C., Cerri, C. E. P., Tormena, C. A., Cerri, C. C. (2016). A Soil Management Assessment Framework (SMAF) Evaluation of Brazilian Sugarcane Expansion on Soil Quality. *Soil Science Society of America Journal*, 80, 215–22.

7. Friedman, D., Hubbs, M., Tugel, A., Seybold, C., Sucik, M. (2001). Guidelines for soil quality assessment in conservation planning. *B. Joubert. NRCS SQI (Eds). Washintong DC* (2001).

8. Olsen, S. R., Cole, C. V., Watanabe, F. S., Dean, L. A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Dept. of Agric. Circ. 939pp.

9. Page, A. L., Miller, R. H., Keeney, D. R. (1982). Methods of Soil Analysis, part 2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy, Inc. *Soil Science Society of America*, 1159p.

10. Paul, G. C., Saha, S., Ghosh, K. G. (2020). Assessing the soil quality of Bansloi river basin, eastern India using soil-quality indices (SQIs) and Random Forest machine learning technique. *Ecological Indicators*, 118, 106804.

11. Rahmanipour, F., Marzaioli, R., Bahrami, H. A., Fereidouni, Z., Bandarabadi, S. R. (2014). Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran. *Ecological Indicators*, 40, 19-26.

12. Seker, C., Ozaytekin, H. H., Negis, H., Gumus, I., Dedeoglu, M., Atmaca, E., Karaca, U. (2017). Assessment of soil quality index for wheat and sugar beet cropping systems on an entisol in Central Anatolia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(4), 135.

13. Walkley, A., Black, I. A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37, 29-37.

Soil Quality Evaluation Using the Soil Management Assessment Framework (SMAF) and its spatial distribution in agricultural lands of Alborz Province

Rasoul Mirkhani [1*], Alireza Vaezi[2], Hamed Rezaei[3]

*1- member of scientific board, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Alborz, Iran. Email: rasoul_mirkhani@yahoo.com

2- Full Professor of Department of Soil Science, Zanjan University, Zanjan, Iran

3- member of scientific board, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Alborz, Iran.

Abstract

Awareness of the spatial distribution of soil quality is one of the most important subjects in recognition and sustainable soil management in each region. The soil quality indexes are usually local and it is impossible to use a constant set of indexes for multiple regions. In this study, physical and chemical properties of topsoil (0-30 cm) were measured in 145 fields (1650 m × 1650 m) in Savojbolagh and Nazarabad regions in Alborz province. the minimum data set (MDS) were selected using the principal component analysis (PCA). Then, The Soil Management Assessment Framework (SAMF) and its spatial distribution were determined by IDW method. the wheat yield was determined in 40 selected fields which were under irrigated wheat cultivation. The results showed that there is a significant correlation ($p<0.01$) between the wheat yield and SMAF ($R^2=0.69$). Also, the Inverse Distance Weighting method (IDW) has a proper accuracy for interpolation of evaluated SMAF index with NRMSE= 0.30, R^2= 0.76, MBE= 0.49

Keywords: **:** Spatial Distribution, Soil Management Assessment Framework and Wheat

بررسی میکروفلور خاک پس از تغییر کاربری اراضی با استفاده از شاخص‌های کیفیت خاک

زهرا کرمی[1،*] و زاهد شریفی[2]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- عضو هیئت علمی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

Email: karami1924@yahoo.com

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر تغییر کاربری مرتع به زمین کشاورزی به مدت ۴۰ سال در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سارال واقع در استان کردستان انجام شد. نمونه‌برداری از خاک به صورت تصادفی از عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری صورت پذیرفت. فراوانی میکروفلور خاک (باکتری، ازتوباکتر، قارچ و اکتینومیست) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تغییر کاربری از مرتع بکر به زمین کشاورزی در رابطه با فراوانی ازتوباکتر، باکتری‌ها و اکتینومیست‌ها روند افزایشی داشتند اما فراوانی قارچها در کاربری زراعی در مقایسه با مرتع روند کاهشی داشت. با این حال میزان این تغییرات فقط برای جمعیت قارچی از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$). کیفیت خاک مرتع و زمین کشاورزی با استفاده از دو مدل شاخص تجمعی (SQIa) و شاخص نمورو (SQIn) که هر یک توسط توابع خطی و غیر خطی نمره‌دهی شدند محاسبه شد. ضریب تبیین (R^2) در دو مدل SQIa و SQIn به ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۶۱ به‌دست آمد. بنابراین SQIn شاخص کارآمدتری برای ارزیابی اثرات تغییر کاربری در منطقه مورد پژوهش می‌باشد.

واژگان کلیدی: ارزیابی کیفیت خاک، توابع نمره‌دهی، شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمورو، میکروفلور خاک

مقدمه

ریزجانداران یکی از مهم‌ترین اجزای زنده خاک هستند که نقش کلیدی را در ایجاد یک خاک سالم و حاصلخیز (Ahlstrom *et al.*, 2008)، چرخه عناصر غذایی و جریان انرژی دارند و بسیار حساس به تغییرات محیطی هستند (Hart *et al.*, 2005). ریزجانداران توانایی ویژه‌ای در سنجش کیفیت و سلامت خاک دارند، و سریعاً به تغییرات محیطی واکنش نشان می‌دهند به‌طوری که شمارش ریزجاندارن خاک همیشه به‌عنوان یک نشان از پیآمدهای پدید آمده از کاربرد روش‌های گوناگون مدیریتی و محیطی گزارش شده است، و از عوامل اصلی در بازچرخ بیوژئوشیمیایی عناصر مختلف در اکوسیستم‌های خاکی می‌باشند (Nannipieri *et al.*, 2003). تغییر کاربری اراضی، به‌ویژه تبدیل جنگل به مرتع یا زمین کشاورزی، یا مرتع به کشاورزی و بالعکس در بسیاری از اکوسیستم‌ها یکی از عوامل مؤثر در تغییر تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی می‌باشد (Sala *et al.*, 2000). در همین راستا Tian *et al.* (2017) در پژوهشی به منظور بررسی تأثیر نوع کاربری زمین بر جوامع میکروبی در منطقه نیمه‌خشک فلات لس در چین، نشان دادند که تغییر کاربری اراضی، ترکیب جوامع میکروبی را کنترل می‌کند. اثر تغییر کاربری اراضی بر روی بر کیفیت به خوبی شناخته شده است (Raiesi and Beheshti, 2014; Moghimian *et al.*,

2017)، و گزارش‌های گوناگونی در رابطه پاسخ‌دهی گروه‌های کارکردی ریزجانداران خاک در کاربری‌های متفاوت در دست است. به عنوان نمونه Mendes *et al.* (2015) طی پژوهشی اثرات کاربری اراضی بر جوامع باکتریایی در مزارع کشاورزی، مرتع، جنگل و مناطقی که جنگل زدایی شده بودند را در ۳ زمان اکتبر ۲۰۰۹، آوریل ۲۰۱۰ و نوامبر ۲۰۱۰ در اراضی جنوب شرق آمازون را مورد ارزیابی قرار دادند. در نمونه‌برداری اول مزارع و مراتع فراوانی باکتریایی بیشتری نسبت به جنگل نشان دادند. در حالی که در نمونه‌برداری‌های بعدی مراتع فراوانی باکتریایی کمتری نسبت به جنگل و کشاورزی نشان دادند.

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تغییرات کیفیت خاک بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی، الگوهای آب و هوایی، تنوع زیستی، تولیدات زراعی، امنیت انرژی و آب و در نهایت رفاه انسان‌ها تأثیر گذار است (Lal, 2009). پژوهشگران نشان داده‌اند که مدل ارزیابی کیفیت خاک، با ساختاری روشن، به دلیل سادگی و انعطاف‌پذیری کمی می‌تواند برای مطالعه اکوسیستم‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Raiesi, 2017). در سال‌های اخیر، از مدل‌های مختلف کمی مانند شاخص کیفیت خاک تجمعی [1](SQIa) و نمورو [2](SQIn) استفاده شده است (Zeraatpisheh *et al.*, 2020). با توجه به اینکه ویژگی‌های مورد بررسی دارای واحدهای گوناگونی می‌باشند، به‌منظور اینکه بتوان آن‌ها را در قالب یک شاخص کلی درآورد باید به مقادیر بدون واحد تبدیل شوند که با استفاده از توابع نمره‌دهی استاندارد خطی (SL)[3] و غیرخطی (NLS)[4] انجام می‌گیرد (Askari and Holden, 2015). پژوهش‌های زیادی بر روی شاخص‌های کیفیت خاک انجام شده است تا کارآمدترین شاخص مشخص شود؛ برای مثال Nehrani *et al.* (2020) اراضی کشاورزی تحت آبیاری و دیم در شمال غرب ایران را بررسی کردند. این پژوهندگان چنین گزارش کردند که بهترین شاخص، شاخص کیفیت خاک تجمعی و با روش نمره‌دهی خطی می‌باشد. استان کردستان در غرب ایران یکی از مناطقی است که مراتع آن به طور قابل توجهی مورد تعرض اراضی کشاورزی قرار گرفته است، این پژوهش با هدف بررسی اثرات تغییر کاربری زمین از مرتع بکر به زراعت دیم (گندم) به مدت ۴۰ سال بر میکروفلور خاک با استفاده از دو مدل شاخص تجمعی (SQIa) و شاخص کیفیت نمورو (SQIn) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سارال واقع در فاصله ۵۵ کیلومتری جاده ارتباطی سنندج – دیواندره در استان کردستان انجام شد. این ایستگاه از نظر آب و هوایی دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل بوده و جزء مناطق استپی سرد محسوب می‌شود. خاک‌های این منطقه دارای رژیم رطوبتی زریک و رژیم حرارتی مزیک می‌باشد. نمونه‌های خاک از هر دو کاربری مرتع و زراعی که بخشی از این مرتع است و ۴۰ سال پیش به کشاورزی دیم تبدیل شده است، برداشته شد. در هر کاربری ۴ نمونه مرکب (هر نمونه مرکب متشکل از ۵ زیر نمونه) برداشته شد. نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شدند. فراوانی قارچ‌ها، باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و ازتوباکتر با استفاده از مایه‌زنی رقت‌های مناسب خاک به ترتیب بر روی محیط‌های PDA[5]، NA[6]، رز بنگال (RBSCNA[7]) و LG به دست آمد (Alef and Nannipieri, 1995).

برای محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک، مقادیر ویژگی مورد نظر بین صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و یک (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) توسط توابع استاندارد نمره‌دهی شدند. در این مرحله ویژگی‌های مربوط به داده‌ها در

[1] Additive soil quality index
[2] Nemoro soil quality index
[3] Linear scoring
[4] Non-linear scoring
[5] Potato dextrose agar
[6] Nutrient agar
[7] Rose bengal starch casein nitrate agar

دو گروه جداگانه با نام‌های زیر قرار داده شدند: الف) بیشتر بهتر است [1] و ب) کمتر بهتر [2] است. تابع بیشتر بهتر است برای ویژگی‌هایی که مقادیر بالاتر آنها بر کیفیت خاک تأثیر مثبت دارد و کمتر بهتر است برای ویژگی‌هایی که مقادیر پایین آنها تأثیر مثبتی بر کیفیت خاک دارد استفاده شدند (Andrews *et al.*, 2002). در پژوهش حاضر از توابع نمره‌دهی خطی برای بیشتر بهتر (معادله ۱) و کمتر بهتر است (معادله ۲) استفاده شدند:

$$LS = \frac{X}{X_{max}} \quad (1)$$

$$LS = \frac{X_{min}}{X} \quad (2)$$

در این معادلات LS تابع خطی، X مقدار ویژگی مورد نظر، X_{max} و X_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار بدست آمده ویژگی مورد نظر در دو کاربری می‌باشد (Raiesi, 2017). برای نمره‌دهی به روش غیر خطی نیز از معادله ۳ استفاده شد:

$$NLS = \frac{1}{\left(1+\left(\frac{x}{x_0}\right)^b\right)} \quad (3)$$

در این معادله NLS تابع غیرخطی، X مقدار ویژگی مورد نظر، X_0 مقدار میانگین ویژگی مورد نظر در دو کاربری و b شیب معادله می‌باشد (برای تابع بیشتر بهتر است ۲/۵ – و برای تابع کمتر بهتر است ۲/۵ +) (Bastida *et al.*, 2006). میکروفلور خاک با توجه به نقشی که در حاصلخیزی و سلامت خاک دارند توسط توابع خطی و غیر خطی بیشتر بهتر است بین صفر تا یک نمره گرفتند. در نهایت برآورد کیفیت خاک در هر کاربری با استفاده از معادله شاخص کیفیت تجمعی (معادله ۴، Andrews *et al.*, 2002) و شاخص کیفیت نمورو (معادله ۵، Qi *et al.*, 2009) محاسبه شدند.

$$SQIa = \frac{\sum_{i-=1}^{n} Si}{n} \quad (4)$$

در این معادله، Si نمره تعلق گرفته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است.

$$SQIn = \sqrt{\frac{Pave^2 + Pmin^2}{2}} \times \frac{n-1}{n} \quad (5)$$

در این معادله، Pave میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر کاربری، Pmin حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر کاربری و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر است. هرکدام از این شاخص‌ها برای هر کاربری با

[1] More is better
[2] Less is better

استفاده از توابع نمره‌دهی خطی و غیرخطی تعیین شدند. در نتیجه برای هر کاربری چهار شاخص کلی کیفیت خاک شامل LS-SQIa، NLS-SQIa، LS-SQIn و NLS-SQIn بدست آمد. تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده و آنالیز آماری توسط نرم‌افزارهای SAS9، Excel 2016 و SPSS16 انجام شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون t مستقل در سطح معنی‌داری ۵ درصد تجزیه و تحلیل گردید.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین میزان فراوانی میکروفلور خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. فراوانی باکتری‌ها، ازتوباکتر و اکتینومیست‌ها در اثر تغییر کاربری و کشت و کار روند افزایشی داشتند اما فراوانی قارچ‌ها در کاربری زراعی در مقایسه با مرتع روند کاهشی داشت با این حال میزان این تغییرات فقط برای جمعیت قارچی از نظر آماری معنی‌دار بود ($P < ۰/۰۵$). در تأیید این نتایج علی‌اصغرزاد (۱۳۸۹) گزارش کرد که به دنبال شخم معمولی فعالیت میکروبی افزایش می‌یابد که این افزایش در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها، بهبود تهویه و در معرض قرار گرفتن سطح مواد قابل تجزیه می‌باشد. در پژوهشی که Jalali *et al.* (2016) پیرامون اثر تغییر کاربری بر ترکیب جمعیت باکتریایی خاک در کاربری‌های باغ میوه، مرتع و زراعی انجام دادند، بیان داشتند که فعالیت‌های زراعی نه تنها موجب کاهش غنای گونه‌های باکتری نشده است، بلکه در مقایسه با مرتع و باغ نیز افزایش یافته است. همچنین در پژوهش دیگری جمعیت باکتری در کاربری‌های جنگل متراکم، جنگل تخریب‌شده و زراعت دیم، افزایش معنی‌داری را در کاربری زراعی نسبت به دو کاربری دیگر نشان داد (مهماندوست و همکاران ۱۳۹۷). برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کشاورزی با خاک‌ورزی رایج می‌تواند اکوسیستمی را به‌وجود آورد که در آن باکتری‌ها غالب‌تر هستند. به طور کلی pH بالا برای باکتری‌ها مطلوب‌تر از قارچ‌ها است، پس بر ساختار جوامع میکروبی تأثیر می‌گذارد (Rousk *et al.*, 2010). در تفسیر یافته‌های به‌دست آمده از فراوانی قارچ‌ها ، می‌توان اظهار داشت که با توجه به pH پایین‌تر خاک (رمضان‌پور و رسولی، ۱۳۹۴) در کاربری مرتع، شرایط برای رشد و گسترش بیشتر قارچ‌ها فراهم می‌باشد. از طرفی، چنین گزارش شده است که قارچ‌ها به طور ویژه‌ای در برابر تخریب خاک آسیب‌پذیرتر هستند. در واقع خاک‌ورزی و کشت و کار منجر به تخریب هیف‌های قارچ و در نتیجه کاهش جمعیت آن‌ها می‌شود (Frey *et al.*, 1999). رحیمی (۱۳۹۶) طی پژوهشی گزارش کرد که کشت و کار میزان فراوانی ازتوباکترها را افزایش داده است. قربانی نصرآبادی (۱۳۹۲) در پژوهشی، فراوانی اکتینومیست‌ها را در اکوسیستم‌های خاکی مختلف که شامل اراضی جنگلی، مرتعی، کشاورزی دیم و آبی بود ارزیابی و چنین گزارش کرد که بیشترین تعداد اکتینومیست‌ها مربوط به اراضی زراعی آبی و کمترین آن‌ها در اراضی مرتعی به‌دست آمد. به طور کلی عواملی مانند نوع محصول کشت شده در زمین‌های زراعی، شرایط محیطی و نمونه‌برداری سبب می‌شود که مقایسه نتایج میان پژوهش‌های مختلف دشوار شود. از سویی، پویا و پیچیده بودن خود جامعه میکروبی خاک به این دشواری‌ها افزوده است (رحیمی، ۱۳۹۶).

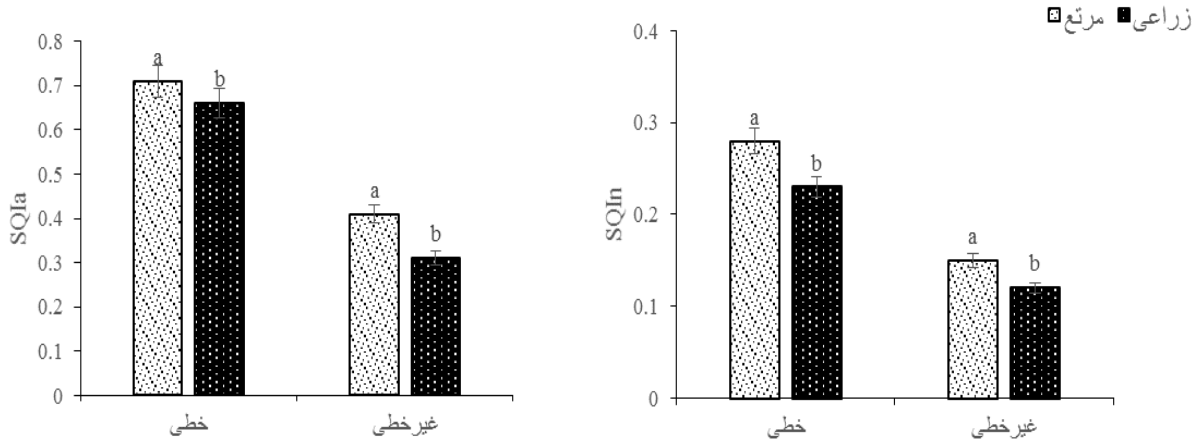
جدول ۱- میانگین (± خطای استاندارد) فراوانی میکروفلور در خاک بکر (مرتع) و زراعی[1]

کاربری	میکروفلور			
	باکتری (CFU g^{-1} dry soil) × 10^4	ازتوباکتر (CFU g^{-1} dry soil) × 10^4	قارچ (CFU g^{-1} dry soil) × 10^4	اکتینومیست (CFU g^{-1} dry soil) × 10^4
مرتع	۷۶/۷۵±۷/۹۵ a	۲۳/۵±۳/۳ a	۸/۰±۰/۹۰ a	۱۵/۰±۴/۴ a
زراعی	۸۴/۲۵±۹/۲۰ a	۲۵/۷۵±۱/۳ a	۳/۰±۰/۴۰ b	۱۸/۵±۳/۳۴ a

۱. براساس آزمون t در هر ستون اعداد با حروف یکسان در پایه آماری ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

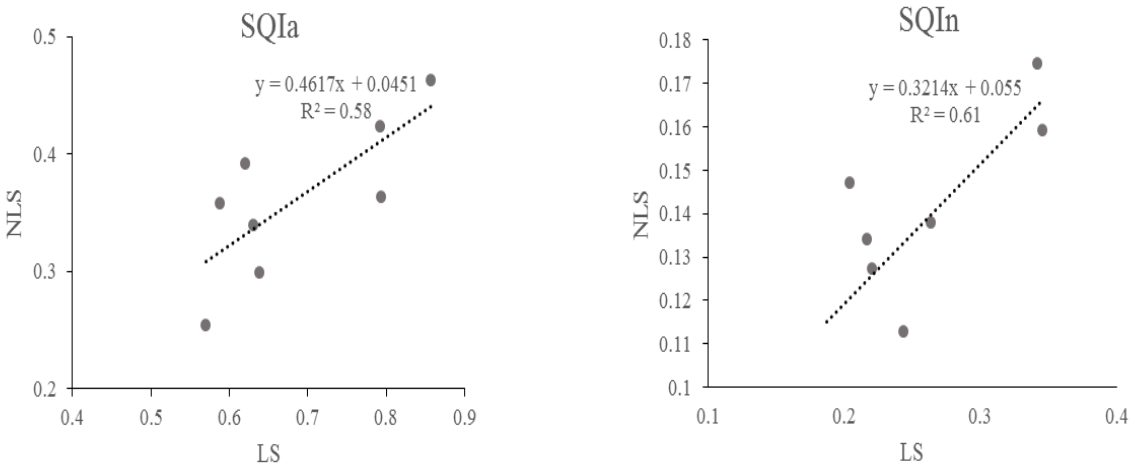
مقادیر میانگین شاخص کیفیت خاک نشان داد که تمامی شاخص‌های بررسی شده در کاربری مرتع بیشتر از زمین زراعی می‌باشد (شکل۱). همان گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است نتایج رگرسیون خطی شاخص‌های کیفیت خاک (SQIa و SQIn) ضریب تبیین شاخص کیفیت نمورو و شاخص کیفیت تجمعی را به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۵۸ به دست داد. بنابراین SQIn شاخص کارآمدتری برای ارزیابی اثرات تغییر کاربری در منطقه مورد پژوهش می‌باشد.

به منظور مقایسه روش‌های نمره‌دهی خطی و غیر خطی (شکل ۲) و با توجه به همبستگی نسبتاً خوبی که این دو روش با یکدیگر نشان دادند، می‌توان نتیجه گرفت به کارگیری روش نمره‌دهی خطی همانند روش غیر خطی در ارزیابی کیفیت خاک کارآمد می‌باشد. افزون بر آن محاسبات روش نمره‌دهی خطی نسبت به روش روش نمره‌دهی غیرخطی ساده‌تر است (Andrews *et al.*, 2002). در واقع می‌توان گفت مدل‌های کیفیت خاک (LS-SQIa، NLS-SQIa، LS-SQIn و NLS-SQIn) برای ارزیابی کمی کیفیت اراضی از کارایی بالایی برخوردار هستند و ترکیب روش‌های مختلف در گزینش ویژگی‌های مؤثر با شاخص‌های کیفیت خاک نیز تأثیر چندانی در نتایج ارزیابی کیفیت خاک نداشت (بهمنی و همکاران، ۱۳۹۸). Zeraatpisheh *et al.* (2020) شاخص‌های کیفیت خاک را در شمال ایران را با دو روش نمره‌دهی خطی و غیر خطی بررسی و گزارش کردند که



شکل ۱- میزان (میانگین±خطای استاندارد) شاخص‌های کیفیت خاک در دو کاربری مرتع و زراعی (بر اساس آزمون t، ستون‌هایی که دارای حروف یکسان هستند، در پایه آماری ۵٪ اختلاف معنی‌داری با هم ندارند).

حداکثر و حداقل کیفیت خاک به‌ترتیب در جنگل طبیعی و دیم‌زار می‌باشد، این پژوهشگران بهترین شاخص را SQIn و با روش نمره‌دهی خطی معرفی کردند، که در هماهنگی با نتایج این پژوهش می‌باشد.



شکل ۲- رابطه خطی شاخص‌های کیفیت خاک تجمعی و نمورو با استفاده از توابع نمره‌دهی خطی (LS) و غیرخطی (NLS).

نتیجه‌گیری

این پژوهش شاخص‌های کیفیت و فراوانی میکروفلور خاک را به منظور مطالعه اثرات تغییر کاربری اراضی از مرتع بکر به گندم دیم در استان کردستان، مورد ارزیابی قرار داد. این کار توسط جوامع میکروبی باکتری، ازتوباکتر، قارچ و اکتینومیست با استفاده از دو شاخص SQIa و SQIn و توابع نمره‌دهی خطی و غیر خطی انجام شد. نتایج نشان داد که SQIn (R^2 = ۰/۶۱) بهترین شاخص برای ارزیابی اثرات تغییر کاربری در منطقه مورد پژوهش می‌باشد. نتایج بدست آمده از جوامع میکروبی نشان داد که تغییر کاربری از مرتع بکر به زمین کشاورزی موجب افزایش جمعیت باکتری‌ها، ازتوباکتر و اکتینومیست‌ها می‌شود. اما فراوانی قارچ‌ها در کاربری زراعی در مقایسه با مرتع روند کاهشی نشان داد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از جناب آقای دکتر محمدحسین سدری ریاست محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، و جناب آقای مهندس فرهنگ خالدیان مسئوول محترم ایستگاه تحقیقاتی سارال به سبب تسهیل امور مربوط به این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

فهرست منابع

۱. علی‌اصغرزاد، ن. ۱۳۸۹. میکروبیولوژی و بیوشیمی خاک. (Paul, E.A. and Clark, F.E. 1931. Soil Microbiology and Biochemistry.) چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، ۴۲۵ صفحه.

۲. بهمنی، م.، محمدی، ج.، اسفندیارپور، ع. و متقیان، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی و پهنهبندی شاخصهای کیفیت تجمعی و نمرو خاک و ارتباط آنها با عملکرد گلمحمدی (مطالعه موردی: شهرستان بردسیر، استان کرمان). نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ۹، شماره ۳، صفحات ۲۳-۱.

۳. رحیمی، ش. ۱۳۹۶. بررسی جنگل‌زدایی ناشی از کاربری‌های کشاورزی و آتش سوزی بر برخی از ویژگی‌های بیولوژیک خاک در منطقه مریوان. کارشناسی ارشد مدیریت حاصلخیزی و زیست فناوری خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۴. رمضانپور، ح. و رسولی، ن. ۱۳۹۴. بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی و مواد مادری بر برخی ویژگی‌های خاک. نشریه پژوهش‌های خاک، جلد ۲۹، شماره ۲، صفحات ۲۳۱-۲۲۲.

۵. قربانی نصرآبادی، ر.، علیخانی، ح.، حامدی، ج.، یخچالی، ب. و گرینر، ر. ۱۳۹۲. ارزیابی فراوانی اکتینومیست‌ها و جداسازی اکتینومیست‌های تجزیه کننده فیتات در اکوسیستم‌های خاکی مختلف. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۰، شماره ۲، صفحات ۶۴-۴۵.

۶. مهماندوست، ف.، اولیایی، ح.، ادهمی، ا. و نقی‌ها، ن. ۱۳۹۷. اثر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک منطقه سهروک، شهرستان یاسوج. نشریه آ ب و خاک، جلد ۳۲، شماره ۳، صفحات ۵۹۹-۵۸۷.

1. Ahlstrom, J., Baldes, J., Bird, J., Brummer, T., Singh Gill, P., Glenn, M., Harrison, N., Herstand, M., Hess, K., Hudlow, C., Jensen, M., Jordan, K., Lange, R., McCaughey, M., Park, N., Schroeder, M., Smith, H. and Senecal, S. 2008. Forest Fire. Examining the effects of recent fire on soil nutrients and microbes, and above and below ground vegetation. Montana State University, LRES Capstone Course. 69p.
2. Alef, K. and Nannipieri, P. 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry (No. 631.46 M592ma). Academic Press.
3. Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Mitchell, J. P. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, ecosystems & environment*, *90*(1), 25-45.
4. Askari, M. S., & Holden, N. M. (2015). Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. *Soil and Tillage Research*, *150*, 57-67.
5. Bastida, F., Moreno, J. L., Hernandez, T., & García, C. (2006). Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(12), 3463-3473.
6. Frey, S. D., Elliott, E. T., & Paustian, K. (1999). Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology and Biochemistry*, *31*(4), 573-585.
7. Hart, S. C., DeLuca, T. H., Newman, G. S., MacKenzie, M. D., & Boyle, S. I. (2005). Post-fire vegetative dynamics as drivers of microbial community structure and function in forest soils. *Forest Ecology and Management*, *220*(1-3), 166-184.
8. Jalali, G., Lakzian, A., Astaraei, A., Haddad-Mashadrizeh, A., Azadvar, M., & Esfandiarpour, E. (2016). The impact of land use on bacterial community composition and physicochemical properties of soil. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, *13*(4), 2167-2176.
9. Lal, R. (2009). Ten tenets of sustainable soil management. Journal of soil and water conservation, 64(1), 20A-21A.

10. Mendes, L.W., de Lima Brossi, M.J., Kuramae, E.E. and Tsai, S.M. 2015. Land-use system shapes soil bacterial communities in Southeastern Amazon region. Applied Soil Ecology, 95: 151–160.
11. Moghimian, N., Hosseini, S.M., Kooch, Y. and Darki, B.Z. 2017. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. Catena, 157: 407–414.
12. Nannipieri, P. (1994). The potential use of soil enzymes as indicators of productivity, sustainability and pollution. *Soil biota: management in sustainable farming systems.*, 238-244.
13. Nehrani, S. H., Askari, M. S., Saadat, S., Delavar, M. A., Taheri, M., & Holden, N. M. (2020). Quantification of soil quality under semi-arid agriculture in the northwest of Iran. *Ecological Indicators*, *108*, 105770.
14. Qi, Y., Darilek, J.L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W. and Gu, Z., 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma, 149(3-4), pp.325-334.
15. Raiesi, F. (2017). A minimum data set and soil quality index to quantify the effect of land use conversion on soil quality and degradation in native rangelands of upland arid and semiarid regions. Ecological Indicators, 75, 307-320.
16. Raiesi, F. and Beheshti, A. 2014. Soil C turnover, microbial biomass and respiration, and enzymatic activities following rangeland conversion to wheat–alfalfa cropping in a semi-arid climate. Environmental Earth Sciences, 72(12): 5073–5088.
17. Rousk, J., Bååth, E., Brookes, P. C., Lauber, C. L., Lozupone, C., Caporaso, J. G., ... & Fierer, N. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME journal*, *4*(10), 1340-1351.
18. Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R. and Huber Sanwald, E. 2000. global biodiversity scenarios for the year 2100. Soil Science, 287: 1770-1774.
19. Tian, Q., Taniguchi, T., Shi, W.Y., Li, G., Yamanaka, N. and Du, S. 2017. Land-use types and soil chemical properties influence soil microbial communities in the semiarid Loess Plateau region in China. Scientific Reports, 7: 45289.
20. Zeraatpisheh, M., Bakhshandeh, E., Hosseini, M., & Alavi, S. M. (2020). Assessing the effects of deforestation and intensive agriculture on the soil quality through digital soil mapping. *Geoderma*, *363*, 114139.

Investigation of soil microflora after land use change using soil quality indexes

Zahra Karami[1,*] and Zahed Sharifi[2]
[1,2]Department of Soil Science, College of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of land use change of rangeland to cropland for 40 years in Saral Agricultural Research Station located in Kurdistan province. Soil sampling was done randomly from a depth of 0-25 cm. The abundance of soil microflora (bacteria, Azotobacter, fungi and actinomycet) was measured. The results showed that land use change from intact rangelan to cropland had an increasing trend in relation to the abundance of bacteria, Azotobacter and actinomycetes. But, the abundance of fungi in cropland had a decreasing trend compared to rangeland. However, the rate of these changes was only statistically significant for the fungal population ($P < 0.05$). Rangeland and cropland quality were calculated using two models of additive soil quality index (SQIa) and nemoro soil quality index (SQIn), each of which was scored by linear and nonlinear functions. R^2 values in SQIa and SQIn models were 0.58 and 0.61, respectively. Therefore, SQIn is a more efficient indicator for evaluating the effects of land use change in the study area.

Keywords: Additive quality index, Nemoro quality index, Soil quality assessment, Scoring functions, Soil microflora

بررسی تغییرات مکانی شاخص کیفیت خاک اراضی شالیزاری استان گیلان

لیلا رضائی*[1]، ناصر دوات گر[2]، علی اکبر موسوی[3]، علی رضا سپاس خواه[4]

۱- دانش آموخته دکتری، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شیراز ؛ کارشناس ارشد آزمایشگاه موسسه تحقیقات برنج کشور l.rezaee77@gmail.com

۲- دانشیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج n_davatgar@yahoo.com

۳- دانشیار، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شیراز aamousavi@gmail.com

۴- استاد، بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز sepas@shirazu.ac.ir

چکیده:

کیفیت خاک موضوع مهمی در علوم خاک، اکولوژی، زراعت و علوم محیطی است که به دلیل اهمیت آن در پایداری اکوسیستم و مدیریت خاک، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک غالباً به عنوان شاخص‌های مهم در ارزیابی کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شوند. شاخص کیفیت خاک مناسب ترین معیار برای ارزیابی کمی کیفیت خاک است. این تحقیق با هدف ارزیابی کیفیت خاک اراضی شالیزاری استان گیلان انجام شد. خواص فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی در افق‌های خاک سطحی گلخراب در ۱۲۰ موقعیت از اراضی شالیزاری دو شهرستان شفت و فومن اندازه گیری شدند. از ۱۳ ویژگی خاک برای تعیین شاخص کیفیت خاک استفاده شد. با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی، هفت ویژگی به عنوان مجموعه حداقل داده انتخاب و از روش نمره‌دهی غیر خطی برای محاسبه شاخص کیفیت خاک استفاده شد. چهار مولفه اصلی در مجموع توانستند ۷۰٪ تغییرات شاخص کیفیت خاک را توجیه کنند. نتایج نشان داد که روش مذکور، عوامل عمده محدود کننده خاک برای کشت برنج را به وضوح تعیین می‌کند و نقشه کیفیت خاک ایجاد شده با استفاده از GIS می‌تواند برای مدیریت خاک مفید باشد. اکثر مناطق مورد مطالعه از کیفیت خوبی برخوردار بودند. قسمتهایی از ناحیه مطالعه شده که کیفیت پایینی داشتند، برای بهبود کیفیت خاک نیاز به اقدامات مدیریت بهتری دارند. **کلمات کلیدی:** برنج، تغییرات مکانی، مجموعه حداقل داده، کیفیت خاک

مقدمه:

خاک مانند آب و هوا جزئی از محیط زیست است. استفاده منطقی از این منبع حیاتی برای توسعه پایدار و همچنین تغذیه مناسب جمعیت در حال رشد جهان ضروری است. عواملی مانند کشت مستمر، جنگل‌زدایی، چرای بیش از حد و ... به‌صورت نامطلوبی بر منابع طبیعی اثر گذاشته و سبب کاهش کیفیت فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع خاکی در ایران و دیگر نقاط جهان شده است. کیفیت خاک توانایی یک خاک برای عمل، در یک محدوده اکوسیستم طبیعی مدیریت شده، برای تولید پایدار، حفظ و بهبود کیفیت آب و هوا و تامین سازگاری و سلامت بشر است. هنگامی که کیفیت خاک‌ها به حدی کاهش پیدا کند که نتوانند فعالیت‌ها و وظایف خود را در اکوسیستم به‌خوبی انجام دهند بازیابی آنها بسیار کند، پرهزینه و نامطمئن می‌شود (Arshad et al., 2002). به‌منظور کمی نمودن و ارزیابی تغییرات کیفیت خاک شالیزاری، لازم است اثر ترکیب عملیات مدیریتی مختلف و برهم‌کنش آنها با ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی خاک بررسی شود (Amirinejad et al., 2011).

کیفیت خاک در واقع عاملی است که در اثر ویژگی‌های ذاتی خاک و چگونگی مدیریت حاکم بر آن تغییر می‌کند و با تعیین شاخص‌های کیفیت خاک ارزیابی می‌شود (Karlen et al., 1994 ; Doran & Parkin, 1994). خاک‌ها از لحاظ مکانی بسیار متغیر هستند و دلیل آن اثرات ترکیبی فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که با شدت‌های مختلف و در مقیاس‌های مختلف عمل می‌نمایند (Goovaerts, 1998). تغییرات مکانی ویژگی‌ها و کیفیت خاک تحت اثر عوامل ذاتی تشکیل‌دهنده خاک (مانند مواد مادری) و عوامل بیرونی (مانند عوامل مدیریت حاصلخیزی و آبیاری) می‌باشند. بخشی دیگر از این تغییرپذیری می‌تواند به وسیله خاک‌ورزی یا دیگر عملیات مدیریتی به وجود آید. برخی از محققان راهبردهایی را

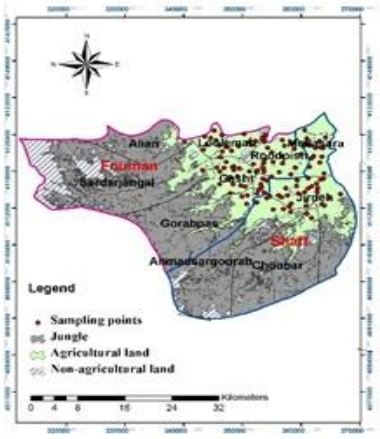
برای پایش کیفیت خاک شرح دادند که شامل تعیین هدف برای کشاورزی پایدار و انتخاب مجموعه حداقلی از ویژگی‌های خاک برای هر منطقه اکولوژیکی معین بود. آنان پس از تعیین حدود بالا و پایین برای هر ویژگی، تمام ویژگی‌ها را با استفاده از روش پیشنهادی وایمور (۱۹۹۳) بین صفر و یک نمره‌دهی و نرمال‌سازی نمودند و سپس نمره‌های ویژگی‌های خاک را با یکدیگر جمع کرده تا یک شاخص کلی از کیفیت خاک ارائه شود (Arshad & Martin, 2002; Mohanty et al., 2007). در مدل‌های محاسبه کیفیت خاک، مجموعه‌ای از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک در قالب یک مدل ریاضی با هم ترکیب و به صورت یک کمیت عددی ارائه می‌شود که این عدد به عنوان شاخص کلی کیفیت خاک منعکس‌کننده مجموعه‌ای از ویژگی‌های موردنظر می‌باشد (Qi et al., 2009).

پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک و تعیین شاخص‌های کیفیت خاک لازم است از طریق پهنه‌بندی، محدوده‌های همگون مدیریتی برای مصرف بهینه نهاده‌ها مشخص شود. زمین‌آمار یکی از روش‌هایی است که امروزه برای بررسی وضعیت ویژگی‌ها و شاخص‌های کیفیت خاک و بازنمایی (پهنه‌بندی) آنها به کار می‌رود. این علم مجموعه‌ای از ابزارها را برای تعیین ساختار مکانی ویژگی‌های خاک از طریق دامنه تأثیر آن، آستانه و واریانس قطعه‌ای و پیش‌بینی مقدار ویژگی‌های خاک در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از روش کریجینگ و نیز ارزیابی عدم قطعیت همراه با این پیش‌بینی‌ها، فراهم می‌آورد (López-Granados et al., 2002; Huang & Jin, 2002; Jin & Jiang, 2002).

برنج یکی از اصلی‌ترین گیاهان در ترکیب غذایی ساکنان قاره‌های آسیا و آفریقا است. حدود ۷۵ درصد از کل برنج تولید شده در قاره آسیا از اراضی پست شالیزاری به دست می‌آید. این مقدار تولید نزدیک به ۵۰ درصد آب آبیاری اختصاص داده شده برای کشاورزی را مصرف می‌کند (Guerra et al., 1998). در استان گیلان نیز برنج مهم‌ترین زراعت استان و خاک و آب مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید می‌باشند. علیرغم اهمیت کشت برنج در منطقه مورد مطالعه، کیفیت خاک این اراضی تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف ارزیابی وضعیت کیفیت خاک اراضی شالیزاری و شناسایی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی موثر بر آن (ایجاد MDS) و بررسی عوامل محدود کننده تولید برنج در این اراضی و بررسی ساختار مکانی آنها بود.

مواد و روش‌ها

ناحیه مورد مطالعه شامل اراضی شالیزاری شهرستان شفت به وسعت ۱۴۰۰۰ هکتار و فومن به وسعت ۱۳۸۷۰ هکتار می‌باشد که در نیمه جنوبی دشت فومنات قرار دارند. موقعیت اراضی شالیزاری مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. توزیع جغرافیایی ۱۲۰ نمونه خاک

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

نمونه‌های خاک دست‌خورده پس از خشک شدن در هوا و عبور از الک دو میلی‌متری برای تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی آماده شدند. در نمونه‌های مربوط به لایه گلخراب، نیتروژن به روش کجلدال، فسفر قابل جذب به روش اولسن، پتاسیم قابل

استفاده به روش استات آمونیوم، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور و کربن‌آلی به روش والکی‌بلاک اندازه‌گیری شدند (Page et al., 1982) تا وضعیت خاک از نظر محدودیت احتمالی عناصر غذایی مشخص شود. بافت خاک با استفاده از هیدرومتر (Gee & Or, 2002)، رطوبت اشباع خاک (θs) به روش وزنی (Gardner, 1986)، چگالی ظاهری در نمونه‌های دست نخورده خاک به روش سیلندر (Blake & Hartge, 1986)، جرم مخصوص حقیقی با استفاده از پیکنومتر (Klute, 1986) رطوبت حجمی خاک در مکش‌های ۳۳۰، ۸۰۰، ۱۳۰۰ و ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (Dane & Hopmans, 2002) تعیین شد. هدایت هیدرولیکی اشباع (K_s) نیز به روش بار افتان (Booltink & Buma, 2002) اندازه گیری شد. با استفاده از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، رطوبت قابل دسترس (Available Water (AW)) و ضریب انبساط خطی (COLE) (Bronswijk & Evers-Vermeer, 1990) از روابط زیر محاسبه خواهند شد:

$$AW = \theta_s - \theta_{1500kPa} \quad (۱)$$

$$Coefficient\ of\ linear\ extensibility = (\frac{\rho_b dry}{\rho_b wet})^{1/3} - 1 \quad (۲)$$

انتخاب ویژگی‌ها با استفاده از تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Component Analysis, PCA)

تجزیه به مولفه‌های اصلی برای ایجاد حداقل مجموعه داده‌ها (Minimum data set, MDS) و اجتناب از داده‌های اضافی استفاده می‌شود (Andrews et al., 2002). PCA برپایه تعدادی ابزارهای آماری مانند همبستگی چندگانه و آنالیز خوشه‌ای است که می‌تواند از هر اریب و داده نامربوط با انتخاب حداقل داده و معادله‌های ریاضی جلوگیری کند (Doran & Jones, 1996; Andrews et al., 2002). به عبارت دیگر، روش PCA به عنوان ابزار تقلیل داده برای انتخاب مناسبترین ویژگی (ها) به منظور ارایه و تخمین SQI انتخاب می‌شود (Navas et al., 2011). برای ارزیابی مناسب بودن داده ها برای PCA از آزمون‌های (Kaiser-Meyer-Olkin, KMO; Bartlett's (BTS) استفاده شد.

نمره‌دهی ویژگی‌های انتخاب شده

پس از انتخاب MDS، ویژگی‌ها با استفاده از نمره‌دهی غیر خطی (Masto et al., 2007, 2008)، در دامنه صفر و یک (۰ و ۱) نمره‌دهی شدند. سپس با استفاده از روش افزایشی وزن‌دار برای ادغام و تبدیل آنها به شاخص استفاده شد. برای بدست آوردن وزن هر مولفه اصلی (PC)، درصد واریانس هر PC را به مجموع واریانس همه PCها تقسیم کرده تا مقدار وزن هر مولفه اصلی بدست آید. بنابراین SQI افزایشی وزن‌دار با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود (Masto, 2007; Mukherjee & Lal, 2014; Tesfahunegn, 2014):

$$SQI = \sum_{i=1}^{n} W_i N_i \quad (۳)$$

که در آن؛ W_i فاکتور وزنی PCA که برابر نسبت واریانس هر عامل به مجموع واریانس تجمعی و N_i مقدار نمره داده شده به هر ویژگی است.

نتایج و بحث

خاکهای منطقه مورد مطالعه به شش کلاس مختلف بافتی (Clay, Silty clay, Silty clay loam, Clay loam, Silt loam and Loam) تعلق داشتند. از نظر توزیع آماری، نتایج نشان داد که بر پایه آزمون Kolmogorov-Smirnov متغیرهای مورد مطالعه به جز OC، AP، AK و Ks دارای توزیع نرمال بودند.

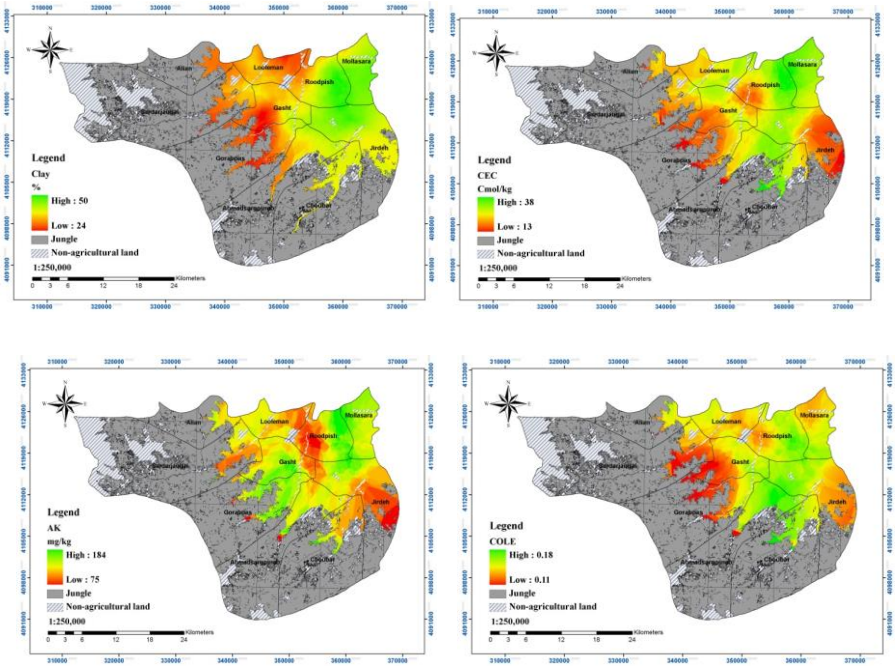
آزمون KMO و بارتلت (BTS) با ضریب ۰/۶۷۶ و معنی دار بودن آزمون کرویت بارتلت در سطح ٪۹۹ ($P < 0.0001$) نشان داد که انجام تجزیه به مولفه های اصلی سودمند است (جدول ۱).

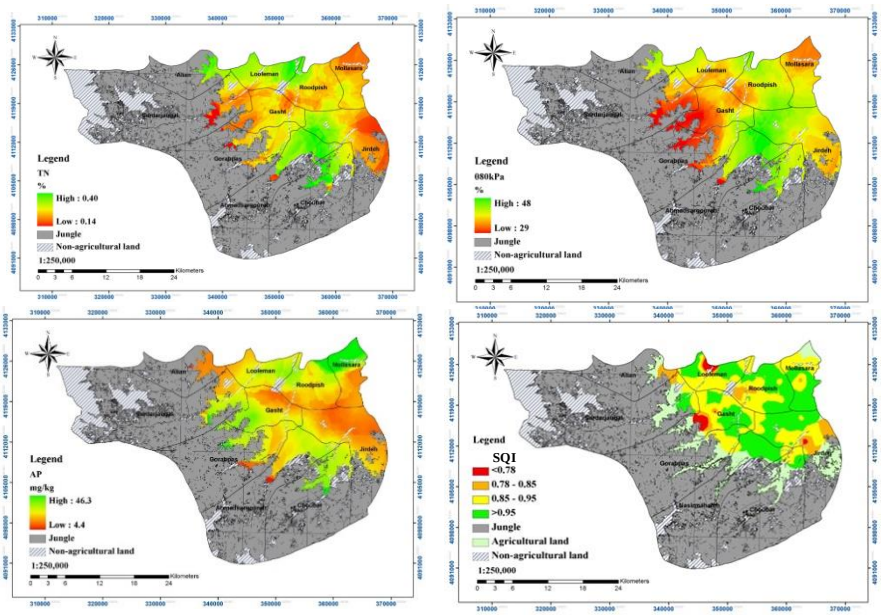
جدول ۱. آزمون KMO و بارتلت برای متغیرهای مطالعه شده

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.676
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	1400
	df	105
	Sig.	.000

نتایج به دست آمده از تجزیه به مولفه های اصلی نشان داد چهار مولفه اصلی با مقادیر ویژه بزرگتر از ۱ بود. با در نظر گرفتن ارزش ویژه بالاتر از یک، از بین ۱۳ مولفه اصلی که به تعداد متغیرهای مورد بررسی شده در این مطالعه بودند، چهار مولفه اصلی انتخاب شد. متغیرهای مورد مطالعه و ماتریس همبستگی آنها نشان داد که ۷۰/۶۲ درصد از واریانس کل، توسط چهار مولفه اصلی توجیه می‌شوند. در مولفه اول که۳۲ درصد از کل تغییرات را تبیین نمود دارای ضرایب بار عاملی مثبت زیاد برای متغیرهای CEC، AK، θs، clay و COLE بود. بین این پنج متغیر COLE دارای بالاترین بار عاملی و همبستگی قوی معنی دار با مقدار رطوبت اشباع خاک داشت (r=0.77). با توجه به تاثیر CEC، رس، رطوبت اشباع و شاخص COLE (که معیاری از انقباض و انبساط خاک است) بر جذب و رهاسازی پتاسیم قابل استفاده خاک، این مولفه عامل موثر بر پتاسیم خاک نامگذاری شد.

مولفه دوم که حدود ۱۹ درصد از کل تغییرات را تبیین نمود دارای ضریب بالای مثبت و بیشترین بار عاملی برای TN و OC بود. همبستگی بسیار قوی (r=0.93) بین این دو متغیر وجود داشت. با توجه به نقش مستقیم و موثر ماده آلی در قابلیت استفاده نیتروژن، این مولفه به عنوان عامل موثر در فراهمی نیتروژن نامگذاری شد. مولفه سوم ۱۱ درصد از کل تغییرات را تبیین نمود و دارای ضریب مثبت بالا و بارعاملی زیاد برای رطوبت حجمی خاک در مکش های ۸۰ و ۱۳۰ کیلوپاسکال بود. بین این دو متغیر همبستگی قوی وجود داشت (r=0.94). از این رو مولفه سوم را می‌توان به عنوان عامل رطوبت بحرانی خاک موثر در کاهش عملکرد نام برد. مولفه چهارم با تبیین حدود ۹ درصد کل تغییرات، دارای ضریب زیاد منفی برای فسفر قابل استفاده بود و ازین رو به عنوان عامل فسفر قابل استفاده خاک در نظر گرفته شد. به دلیل همبستگی زیاد و معنی دار ($r>0.60, p<0.05$) بین برخی متغیرها در هر PC، متغیر با بالاترین بار عاملی در مولفه باقی ماند و دیگر متغیرها حذف شدند. بنابراین، رطوبت اشباع از مولفه اول، کربن آلی از مولفه دوم و رطوبت حجمی خاک در مکش ۱۳۰ کیلوپاسگال از مولفه سوم به دلیل همبستگی قوی و معنی دار به ترتیب با COLE، نیتروژن و رطوبت حجمی خاک در مکش ۸۰ کیلوپاسگال حذف شدند. بر پایه تجزیه به مولفه‌های اصلی، ویژگی‌های نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، رس، گنجایش تبادل کاتیونی، ضریب انبساط خطی و مقدار رطوبت خاک در مکش ۸۰ کیلوپاسکال به عنوان MDS انتخاب شدند. در این مجموعه، ویژگی‌های مرتبط با حاصلخیزی، فیزیکی و مهندسی قرار داشتند. تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که که از هفت ویژگی خاک انتخاب شده در MDS می توان برای ایجاد SQI و در نتیجه بهبود شرایط خاک در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد. محققان مختلفی شاخص کیفیت خاک را با استفاده از روش PCA محاسبه کردند (Edrisi et al., 2019; Geng et al., 2018; Rangel-Peraza et al., 2017; Juhos et al., 2016; Stefanoski et al., 2016).





شکل ۲. توزیع مکانی ویژگی‌های انتخاب شده در MDS و شاخص کیفیت خاک

بر پایه نتایج بدست آمده، برخی از اراضی شالیزاری مورد مطالعه دارای شاخص کیفیت خاک بیشتر از ۰/۹۵ بودند. بخشی از اراضی شالیزاری غرب و شمال غربی از شاخص کیفیت خاک کمتری نسبت به دیگر اراضی برخوردار بودند (شکل ۲). اراضی این ناحیه از رس، کربن آلی، گنجایش تبادل کاتیونی، COLE، نیتروژن کل و پتاسیم قابل استفاده کمتری نسبت به دیگر اراضی برخوردار بودند (شکل ۲). رس و کربن آلی بر ظرفیت نگهداری آب در خاک مؤثر هستند. از سوی دیگر این ویژگی‌ها در نگهداری کاتیون‌های قابل تبادل و عرضه آن به گیاه برنج موثر هستند. همچنین کربن آلی کم خاک توانایی عرضه نیتروژن بومی برای گیاه برنج را نیز محدود می‌کند (Dobermann and Oberthur, 1997). غلظت پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های این ناحیه کمتر از حد بحرانی بود. باهاسکار و سرکار (۲۰۱۳) با ارزیابی توانایی و کیفیت بخشی از اراضی شالیزاری آسام هند نشان دادند که عناصر روی، فسفر و پتاسیم قابل استفاده مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد برنج هستند. لیو و همکاران (۲۰۱۵) با ارزیابی کیفیت خاک در اراضی شالیزاری، با بهره‌وری متفاوت نشان دادند که کمبود فسفر قابل استفاده و نیتروژن کل مهم‌ترین عامل محدود کننده رشد گیاه برنج هستند.

نتیجه گیری

کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک از جنبه های مهم تجزیه وتحلیل خاک می باشد. اراضی شالیزاری مطالعه شده دارای کیفیت خاک متوسط تا خوب بودند. مجموعه‌ای از متغیرهای فیزیکی (رس و رطوبت در مکش ۸۰ کیلوپاسکال)، حاصلخیزی (CEC, TN, AP and AK) و مهندسی (COLE) بر کیفیت خاک‌ها موثر بودند. این متغیرها، مجموعه‌ای از عوامل ذاتی ایستای (Static interensic factor) و عوامل بیرونی (Extrinsic factors) را شامل می‌شوند. در نواحی با مقدار رس و COLE کم، قابلیت نگهداری آب و در نتیجه رطوبت حد آستانه کاهش عملکرد نیز کم بود. کاهش کمیت رس و گنجایش تبادل کاتیونی بر قابلیت تبادل پتاسیم اثر منفی دارد؛ از سوی دیگر کشت پیوسته برنج بدون مصرف کودهای حاوی پتاسیم و فسفر سبب شده که غلظت پتاسیم و فسفر قابل استفاده در این ناحیه کاهش یابد. از این رو در اراضی شالیزاری مورد مطالعه برای تولید پایدار اقتصادی، مدیریت مناسب آبیاری و مصرف بهینه کودهای شیمیایی حاوی پتاسیم و فسفر ضروری است. این نتایج نشان داد که ارزیابی کیفیت خاک می‌تواند برای مدیریت بهینه مصرف کودها و جلوگیری از آلایندگی آبهای زیرزمینی، جلوگیری از تحمیل هزینه بیشتر به کشاورز از نظر مصرف نهاده‌ها مهم باشد.

References

Amirinejad, A., Kamble, K., Aggarwal, P., Chakraborty, D., Pradhan, S., Bala Mittal, R. (2011). Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. *Geoderma*, 160, 292-303.

Andrews, S.S., Karlen, D.L., Mitchell, J.P. (2002a). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agric. Ecosyst. Environ*. 90, 25-45.

Arshad, M. A., Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, *Ecosystems & Environment*, 88(2), 153-160.

Bhaskar, B. P., D. Sarkar. (2013). Capability and quality assessment of rice grajing hydric soils in Majul river Island, Assam, India. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*. 107(1), 13-32.

Blake, G. R., Hartge, K. H. (1986). Bulk density. In Klute, A. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 1. 2nd Ed. Agron. Monogr. No. 9, (pp. 363-375). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Booltink, H. W. G., Buma, J. (2002). Steady flow soil column method. In Dane, J. H., & Clake, G. C. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods. No. 5, (pp. 812- 814). SSSA Book Series, Madison, Wisconsin, USA.

Bronswijk, J.J.B., Evers-Vermeer, J.J. (1990). Shrinkage of Dutch clay soil aggregates. *Neth. J. Agric. Sci.* 38, 175-194.

Dane. J. M., J. W. Hopmans. (2002). Pressure plate extractor. In Dane, J. M., & Topp, G. C. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 4. Physical Method (pp. 688- 690). Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America.

Dobermann, A., Oberthur, T. (1997). Fuzzy mapping of soil fertility- a case study on irrigated rice land in the Phillipines. *Geoderma*, 77, 317-339.

Doran, J.W. Jones, A.J. (1996). Methods for assessing soil quality. vol. 49. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America.

Doran, J.W. Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality, in Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, J. W. Doran, D. G. Coleman, D. F. Bezddick, and B. A. Stewart, Eds., pp. 3–22, Soil Science Society of America, Madison, Wis, USA, 1994.

Edrisi, A., Tripathi, V., Abhilash, P. CH. (2019). Performance Analysis and Soil Quality Indexing for Dalbergia sissoo Roxb. Grown in Marginal and Degraded Land of Eastern Uttar Pradesh, India. 8 (63): 1-19.

Gardner, W.H. (1986). Water content. In Klute, A. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 1. 2nd Ed. Agron. Monogr. No. 9, (pp. 493-541). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.

Gee, G. W., OR, D.(2002). Particle- Size analysis. In Dane, J. H., & Clake, G. C. (Eds.), Methods of soil analysis. Part 4. Physical Methods, No. 5, (pp. 255- 294). Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America.

Geng, Sh., Shi, P., Zong, N., Zhu, W. (2018). Using Soil Survey Database to Assess Soil Quality in the Heterogeneous Taihang Mountains, North China. *Sustainability*, 10: 1-18.

Goovaerts, P. (1998). Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. *Biology and Fertility of soils*, 27(4), 315-334.

Guerra, L. C., Bhuiyan, S. I., Tuong, T. P., Barker, R. (1998). Producing more rice with less water from irrigated systems. International Rice Research Institute, 5(29), 1-19.

Huang, S. W., Jin, J. Y. (2002). Advance in study on spatial variability of soil chemical properties. *Soils and Fertilizers*, 1, 8-14.

Jin, J., Jiang, C. (2002). Spatial variability of soil nutrients and site-specific nutrient management in the PR China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2), 165-172.

Juhos, K., Szabó, S., Ladányi, M. (2016). Explore the influence of soil quality on crop yield using statistically-derived pedological indicators. *Ecol. Indic*. 63, 366-373.

Karlen, D.L., Stott, D. E. (1994). A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality, in Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, J. W. Doran, D. C. Coleman, D. F. Bezdicek, and B. A. Stewart, Eds., pp. 53–72, Soil Science Society of America, Madison,Wis, USA.

Klute A. (1986). Methods of Soil Analaysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Madison, WI, USA.

Liu, Z., Zhou, W., Li, S., He, P., Liang, G., Lv, J., Jin, H. (2015). Assessing soil quality of gleyed paddy soils with different productivities in subtropical China. *Catena*, 133, 293-302.

López-Granados, F., Jurado-Expósito, M., Atenciano, S., García-Ferrer, A., Sánchez de la Orden, M., García-Torres, L. (2002). Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*, 246(1), 97-105.

Masto, R. E., Chhonkar, P. K., Singh, D., Patra, A. K. (2007). Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol. Agriculture, *Ecosystems & Environment*, 118(1), 130-142.
Masto, R.E., Chhonkar, P.K., Singh, D., Patra, A.K. (2008). Alternative soil quality indices for evaluating the effect of intensive cropping, fertilisation and manuring for 31 years in the semi-arid soils of India. *Environ. Monit. Assess*. 136, 419-435.
Mohanty, M., Painuli, D. K., Misra, A. K., Ghosh, P. K. (2007). Soil quality effects of tillage and residue under rice–wheat cropping on a Vertisol in India. *Soil and Tillage Research*, 92(1), 243-250.
Mukherjee, A., Lal, R. (2014). Comparison of soil quality index using three methods. *PloS One*, 9(8), 1-15.
Navas, M., Benito, M., Rodríguez, I., Masaguer, A. (2011). Effect of five forage legume covers on soil quality at the Eastern plains of Venezuela. *Applied Soil Ecology*, 49, 242-249.
Page, A. L., Miller, R. H. Keeney, D. R. (1982). Methods of Soil Analaysis. Part 2, Chemical and Microbiological Properties. Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
Qi, Y., Darilek, J. L., Huang, B., Zhao, Y., Sun, W., & Gu, Z. (2009). Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. *Geoderma*, 149(3), 325-334.
Rangel-Peraza, J.G., Padilla-Gasca, E., López-Corrales, R., Medina, J.R., Bustos-Terrones, Y., Amabilis-Sosa, L.E., Rodríguez-Mata, A.E., Osuna-Enciso, T. (2017). Robust soil quality index for tropical soils influenced by agricultural activities. *J. Agric. Chem. Environ*. 6, 199-221.
Tesfahunegn, G. B. (2014). Soil quality assessment strategies for evaluating soil degradation in Northern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, 1-14.
Wymore, A. W. (1993). Model-based systems engineering: an introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design. Boca Raton, USA: CRC Press, Taylor & Francis Inc.

The evaluating spatial variabilty of soil quality index of Guilan province paddy land

Abstract

Soil quality (SQ) is an important issue in soil science, ecology, agronomy, and environmental sciences that has been received increased attention due to its importance in the sustainability of ecosystem and soil management. Physical, chemical, and biological soil properties are often considered as important indicators in soil quality evaluation and are sensitive to changes in soil functions. Soil quality index (SQI) is considered to be the most appropriate for quantitative assessment of soil quality. The objective of this research was to assess soil quality evaluation approach in paddy fields for rice cultivation. Thirteen soil˙s variables was used as soil quality indicators derived from 120 soil samples used to calculate the SQI of paddy soils. Principal component analysis (PCA) was used for selecting minimum data set and non-linear scoring function used to compute the SQI. Four principal components explained almost 70% of the variability in the overall SQI. Results indicated that mention method determined the major soil limiting factors for rice cultivation clearly, and soil quality maps established using GIS could be helpful for decision makers. Majority of the study area had high quality. The area that had low quality need better management practices for improving the soil quality.

تغییرپذیری برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف

سمیه دهقانی[1*]، مهدی نادری خوراسگانی[2]، جهانگرد محمدی[3]، احمد کریمی[4]

[1] دانشجوی دکتری خاکشناسی- فیزیک و حفاظت خاک، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

[2] دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

[3] استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

[4]استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

چکیده:

تغییر کاربری اراضی از عوامل مهم تخریب خاک بوده و منجر به کاهش کیفیت و قدرت باروری خاک‌ها می‌گردد. این پژوهش با هدف بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی مرتعی بر ویژگی‌های خاک در حوزه آبخیز باغان در جنوب شرقی استان بوشهر در منطقه‌ای با وسعت حدود ۹۲۹ کیلومتر مربع اجرا شد. ۶۳ نمونه از خاک سطحی مراتع، ۳۳ نمونه از اراضی زراعی و ۲۴ نمونه از باغات از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر با استفاده از روش ابر مکعب لاتین برداشته شد. نتایج تغییر کاربری به جز پتاسیم (K)، نیکل (Ni) و سرب (Pb) بر سایر ویژگی‌های شیمیایی (OM، pH، N، P، Mn، Zn، Cu، Cd) تاثیر معنی-داری در سطح یک درصد ($P<.01$) را نشان داد. نتایج این پژوهش نشان داد که کاربری زراعی نسبت به مرتع موجب کاهش معنی‌دار میزان قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، میزان ماده آلی و افزایش معنی‌دارpH شده است؛ درحالی‌که تغییر کاربری باغ نسبت به مرتع (بکر) افزایش میانگین EC، OM، N، P، Mn، Zn، Cu و Fe و کاهش pH و CCE را در منطقه مورد مطالعه نشان داد. نتایج این تحقیق می‌تواند جهت پیش‌بینی پیامدهای حاصل از تغییر کاربری در منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه مفید باشد. توصیه می‌شود جهت حفظ توازن عناصر غذایی در باغات، مصرف کودها با دقت بیشتری انجام شده تا با کاربرد مناسب کودهای آلی و شیمیایی کمبودهای عناصر غذایی جبران گردد.

کلمات کلیدی: ویژگی های شیمیایی، تغییرکاربری، حوضه آبخیز باغان و عناصر کم مصرف

مقدمه

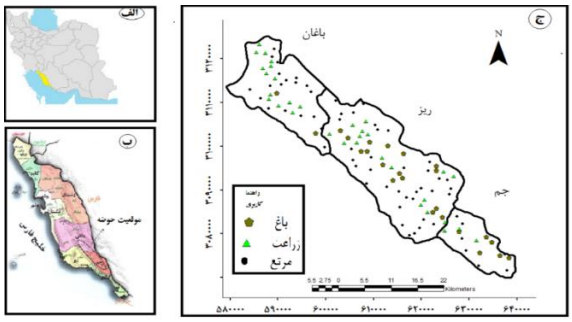
تخریب زمین و خاک از بین رفتن لایه‌های خاک از طریق آب و باد است؛ اخیراً تخریب تأثیرات بسیار مهمی مانند از بین رفتن حاصلخیزی خاک و تنوع زیستی از طریق فرسایش و تاثیرات منفی بر تولید محصولات کشاورزی می‌گذارد (ایوبی و همکاران، ۲۰۱۸؛ بابور و همکاران، ۲۰۲۱و ماکسی میلیان و همکاران، ۲۰۱۹). ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و مغناطیسی خاک در اثر تبدیل منابع طبیعی به زمین‌های کشاورزی در تشخیص تغییرات اولیه در کیفیت خاک بسیار مهم می‌باشد (آکین و همکاران، ۲۰۲۰). مهماندوست و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثرات تغییر کاربری‌ها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و زیستی خاک در منطقه سروک شهرستان یاسوج، از سه کاربری جنگل متراکم، جنگل تخریب شده و زراعت دیم پرداختند. نتایج نشان داد به دنبال تغییر کاربری اراضی جنگلی، مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی (۴۰ درصد)، ماده آلی(۷۴ درصد)، نیتروژن کل (۷۵ درصد)، پتاسیم قابل دسترس (۴۹ درصد)، در کاربری زراعی کاهش یافتند. همچنین در پی تخریب جنگل و تغییر کاربری، ماده آلی خاک و شاخص‌های مرتبط با آن به خصوص ویژگی‌های زیستی به میزان بیشتری تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. بررسی‌های تقی‌پور و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد عملیات کشت و کار دراز مدت آفتابگردان، تغییرات قابل توجهی را در ویژگی‌های شیمیایی سری خاک‌های مورد مطالعه ایجاد کرده است که این تغییرات عمدتا جنبه‌های منفی در ویژگی‌های کیفی مانند افزایش EC و pH خاک و کاهش شکل‌های پتاسیم و ماده آلی شده است. نتایج بوستانی و همکاران (۲۰۱۹) تغییر کاربری اراضی جنگل و مرتع به باغات گل محمدی نشان دادکه مقدار ماده

*somayehdehghany@yahoo.com

آلی، پ . هاش و ظرفیت تبادل کاتیونی در خاک‌های باغ به طور معنی‌داری کمتر از خاک جنگل و مرتع بود .غلظت نیتروژن در خاک باغ به طور معنی‌داری کمتر از کاربری‌های دیگر بود، اما غلظت فسفر در آن به‌طور معنیداری بیشتر از خاک جنگل و مرتع بود .قابلیت استفاده منگنز، روی و مس در خاک باغ بیشتر از خاک جنگل و مرتع بود. پتاسیم تبادلی در خاک جنگل و پتاسیم غیرتبادلی در خاک باغ به طور معنی‌داری بیشتر از سایر کاربری‌ها بود. ویلی و همکاران (۲۰۱۹) بر روی اثر تغییر کاربری‌های دست خورده و نیمه دست خورده و تحت کشت خاک‌های کنیا به این نتیجه رسیدند که در طی پنج دهه، استفاده از زمین‌های کشاورزی منجر به کاهش کل کربن (۷۲ درصد) آلی، آهن (۲۲ درصد) و نیتروژن کل (۱۵ درصد) می‌شود. این مطالعه نتیجه می‌گیرد که در واقع تبدیل زمین از پوشش گیاهی طبیعی با کاهش کیفیت خاک همراه است. از آنجایی که شاخص‌های کیفیت خاک و مقادیر آن‌ها و حفظ و نگهداری حاصلخیزی و محصول‌دهی خاک با توجه به شرایط منطقه‌ای متفاوت می‌باشند درک مکانیزم تغییرکاربری‌های مختلف روی کیفیت خاک می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب برای تصمیم‌گیری در مدیریت کاربری اراضی در مناطق مشابه باشد. لذا در این مطالعه کوشش شد تا با بررسی تغییرات برخی از ویژگی‌های مهم کیفیت خاک تحت تاثیر کاربری‌های مختلف، گام مؤثری در راه جلوگیری از تخریب هرچه بیشتر منابع طبیعی برداشته شود. از اینرو مطالعه حاضر با هدف تاثیر کاربری‌های مختلف بر برخی ویژگی‌های شیمیایی انجام شد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز باغان در جنوب شرقی استان بوشهر و در ۹۰ کیلومتری شرق شهرستان خورموج واقع شده است. این حوضه با وسعت ۹۲۹ کیلومتر مربع دارای مختصات ۵۸۰۰۰۰ تا ۶۴۰۰۰۰ متر طول شرقی و ۳۱۲۵۰۰۰ تا ۳۰۷۰۰۰۰ متر عرض شمالی می‌باشد (شکل ۱). این منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی دارای سنگ‌های مقاوم آهکی و دولومیت سازندهای آسماری-جهرم، سروک، فهلیان و کنگلومرای بختیاری می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و مکان‌های نمونه‌برداری در کاربری‌های مختلف حوضه آبخیز باغان، استان بوشهر و کشور

نمونه‌برداری و تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک

کاربری اراضی در حوضه آبخیز باغان شامل مرتع، زراعت دیم (غلات) و باغ (مرکبات و نخل) بودند. ۶۳ نمونه از خاک سطحی مراتع، ۳۳ نمونه از اراضی زراعی و ۲۴ نمونه از باغات به صورت مرکب به طوری که یک نمونه از مرکز و چهار نمونه به فاصله ۳۰ متر از مرکز در چهار جهت اصلی جغرافیایی از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر با یک بیلچه از جنس پلی اتیلن برداشته شد. به منظور انجام آزمایش‌های شیمیایی، نمونه‌های خاک هم وزن پنج نقطه، مخلوط شدند که در مجموع ۱۲۰ نمونه مرکب آماده‌سازی و مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفتند. نمونه‌ها در سایه خشک شدند و پس از کوبیدن از الک ۲ میلیمتر عبور داده شدند. عناصر محلول خاک شامل آهن (Fe)، روی (Zn)، مس (Cu)، منگنز (Mn)، سرب (Pb)، نیکل (Ni)، کادمیوم (Cd) با استفاده از روش دی‌تی‌پی‌ا (DTPA) که شامل ۰/۰۰۵ مولار DTPA همراه با کلرید کلسیم ۰/۰۱ مولار و تری اتانول آمین ۰/۱ مولار با pH حدود ۷/۳ به حجم یک لیتر خواهیم رساند و سپس به خاک اضافه کرده و

مدت ۲ ساعت و ۱۲۰ دور در دقیقه شیک و پس از عصاره‌گیری با دستگاه جذب اتمی قرائت خواهد شد (لیندسی و نورول، ۱۹۷۸). درصد کربنات کلسیم معادل (نلسون، ۱۹۸۲)، اسیدیته خاک گل اشباع(مکلان، ۱۹۸۸)، قابلیت هدایت الکتریکی (پیج، ۱۹۸۲)، کربن آلی خاک (والکلی و بلک، ۱۹۳۴)، میزان فسفر (اولسن و همکاران، ۱۹۵۴)، نیتروژن (میلر و کنی، ۱۹۹۲) نیز اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تغییر کاربری به جز پتاسیم (K)، نیکل (Ni) و سرب (Pb) بر سایر ویژگی‌های شیمیایی (OM، pH، N، P، Mn، Zn، Cu، Cd) تاثیر معنی‌داری در سطح یک درصد را نشان داد (جدول ۱). نتایج این پژوهش نشان داد که میزان قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در کاربری زراعت نسبت به مرتع اختلاف معنی-داری را نشان داد. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که وجود لاشبرگ و تجزیه آن در خاک‌های مرتعی و رهاسازی عناصر بی جنبش شده در این بقایا می‌تواند سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک در این کاربری شود، در حالی که در کاربری زراعی کاهش نگهداشت مواد آلی به دلیل خروج پس ماندهای گیاهی از مزرعه و کاهش کاتیون‌ها و آنیون-های خاک در اثر شستشوی توسط فرسایش خاک و جذب عناصر توسط گیاهان زراعی می‌تواند از دلایل کم بودن هدایت الکتریکی خاک در این کاربری باشد. سایر محققین نیز کاهش مقدار EC را در زراعت نسبت به مرتع گزارش کردند (رییسی، ۲۰۱۷). مطابق جدول ۱، کاربری باغ بیشترین میانگین EC (۲/۸) را نشان داد. این احتمال وجود دارد که تغییر کاربری و انجام عملیات کشت و کار و کوددهی دلیل افزایش رسانایی الکتریکی اراضی باغی نسبت به اراضی مرتع و زراعی باشد. همچنین با توجه به اینکه نمونه‌های سطحی برداشته شده است و منطقه مورد مطالعه در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد احتمالا مویینگی نیز تاثیر مثبتی بر افزایش EC خاک داشته باشد. کمترین میانگین ماده آلی در مرتع و زراعت (۱ و ۰/۸) و بیشترین میانگین آن در کاربری باغ (۱/۹) اختلاف معنی‌داری را بین کاربری‌ها نشان داد (جدول ۱). کاهش مقدار ماده آلی در خاک مرتعی می‌تواند ناشی از برداشت گیاهان توسط دام‌ها و در نتیجه کاهش میزان لاشبرگ اضافه شونده به خاک و در اراضی زراعی به دلیل تسریع تجزیه مواد آلی متعاقب انجام عملیات شخم و نیز تشدید فرسایش باشد . حذف پوشش گیاهی و افزایش نسبت تنفس میکروبی به تولید گیاهی از عوامل کاهش ذخایر کربن آلی خاک در مرتع ضعیف و کشت دیم می‌باشد (خالدیان و همکاران، ۲۰۱۲). افزایش کوددهی و لاشبرگ‌ها در کاربری باغ، افزایش میزان ماده آلی را در بر دارد. کاهش OMدر اثر زراعت، بیشتر در ارتباط با تخریب خاکدانه‌های درشت می‌باشد که توزیع اندازه‌ای حفرات، جرم مخصوص ظاهری، خاکدانه‌سازی و پایداری آن‌ها از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک هستند که می‌توانند به شدت در اثر عملیات کشاورزی و تغییر کاربری تحت تأثیر قرار گیرند (والن و چنج، ۲۰۰۲). بین OM و خاکدانه‌ها بخصوص خاکدانه‌های درشت رابطه متقابلی وجود دارد. خاکدانه‌ها با حفاظت فیزیکی از ماده آلی، مانع در معرض قرار گرفتن آن برای تجزیه و معدنی شدن کربن می‌شوند و از طرفی ماده آلی از عوامل مهم در ایجاد و پایداری خاکدانه‌های درشت است (اینارد و همکاران، ۲۰۰۴). در رابطه با pH، مقایسه میانگین‌ها در کاربری زراعت نسبت به مرتع افزایش pH (۷/۸)و در کاربری باغ کاهش pH (۷/۳) را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این تحقیق یکی از دلایل بالا بودن pH در دیم‌زار تحت کشت و کار در مقایسه با مرتع بکر، کاهش ماده آلی در کاربری زراعت و افزون بر آن، تاثیر کشت و زرع بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها و کربن آلی می-تواند سبب افزایش pH شود. برخی محققین اسیدیته بالای خاک‌های تحت کشت و زرع نسبت به خاک بکر را گزارش کردند (تریودی و همکاران، ۲۰۱۶، لیزاگا و همکاران، ۲۰۱۹، کرمی و شریف، ۲۰۲۰). پژوهش‌ها دلیل افزایش pH را تجزیه مواد آلی توسط ریزجاندران خاک و رهاسازی اسیدهای آلی (محمد دوست و همکاران، ۲۰۱۸) و برخی آن را به دلیل زیر و رو شدن خاک و بالا آمدن مواد آهکی از لایه زیرسطحی به سطح خاک می‌دانند (عجمی و همکاران، ۲۰۱۰). احتمالا افزایش OM در کاربری باغ و مصرف کودهای مختلف توسط زارعین، همچنین آبشویی کربنات‌ها به اعماق خاک در کاربری باغ،

pHرا به مقدار بیشتری نسبت به مرتع و زراعت کاهش داده است. کربنات کلسیم($CaCO_3$)، کربنات معدنی در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک است. پژوهش‌های زیادی مبنی بر تغییرکاربری اراضی باعث ایجاد تفاوت معنی‌دار در مقدار کربنات کلسیم معادل در کاربری‌های مختلف شده است. میانگین‌ها بیانگر آن است که میزان کربنات کلسیم (CCE) در کاربری زراعت نسبت به مرتع ۴/۳ درصد افزایش یافته است اما این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نیست (جدول۱). در هماهنگی با یافته‌های این پژوهش برخی محققین افزایش کربنات کلسیم در کاربری زراعی را نسبت به مراتع گزارش کردند (کرمی و شریفی،۲۰۲۰؛ لیزاکا و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج این پژوهش نشان‌دهنده کاهش ۹/۳ درصدی کربنات کلسیم در کاربری باغ نسبت به مرتع می‌باشد (جدول ۱). مطابق جدول ۱ مقدار عناصر پرمصرف نیتروژن و فسفر تحت تأثیر نوع کاربری قرار گرفت در حالیکه پتاسیم اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. در این پژوهش N در کاربری زراعت نسبت به مرتع اختلاف معنی‌داری نداشت احتمالا به‌دلیل مقادیر ماده آلی نزدیک به هم در دو کاربری تغییرات قابل محسوسی در درصد نیتروژن در کاربری زراعی نسبت به مرتعی مشاهده نشده است. در حالیکه در کاربری باغ افزایش ۶۰ درصدی N را نسبت به مرتع نشان داد. معمولاً درصد نیتروژن در خاک‌ها از مقدار ماده آلی تبعیت می‌کند (هاوینگ، ۱۹۹۹). به هرحال در اراضی کشاورزی و مرتعی مورد مطالعه، به دلیل ورودی کم مواد آلی به خاک و سرعت بیشتر تجزیه مواد آلی و معدنی شدن و آبشویی نیتروژن معدنی، کاهش نیتروژن دور از انتظار نمی‌باشد.از طرفی اختلاط خاک سطحی با خاک زیری نیز می‌تواند سبب کاهش مقدار نیتروژن در خاک سطحی (بوستانی، ۲۰۱۹) اراضی کشاورزی و مرتعی نسبت به باغی گردد. احتمالا به دلیل بالا بودن مقدار ماده آلی، پوشش گیاهی و میکرو ارگانیسم‌های تثبیت کننده نیتروژن در باغات، نیتروژن نسبت به مرتع و زراعت افزایش معنی‌داری را نشان داده است. مقدار فسفر قابل استفاده در خاک‌های باغ بیشتر از کاربری‌های مرتع و زراعت بود. با توجه به مصرف طولانی مدت کودهای فسفره (سوپرفسفات)، فسفر در خاک‌های باغ تجمع پیدا می‌کند. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه خود بیان کردند که تغییر کاربری از مرتع به کشاورزی در منطقه تفتان، سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی (در زراعت دیم) و افزایش قابلیت استفاده نیتروژن و فسفر و کاهش مقدار پتاسیم گردید. همانگونه که نتایج مقایسه میانگین نشان می‌دهد تاثیر کاربری‌ها بر پتاسیم قابل استفاده اختلاف معنی‌داری را نشان نداد (جدول ۱). پتاسیم محلول به عنوان شکلی از پتاسیم که به سهولت قابل استفاده گیاه بوده و همچنین پتانسیل آبشویی بالایی دارد، مطرح می‌باشد (هالوینگ، ۱۹۹۹). این شکل نوسانات زیادی دارد و تا بیشتر از ۲۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌رسد مقدار پتاسیم قابل استفاده در اغلب خاک‌های ایران به اندازه کافی بوده و عوامل متعددی بر مقدار آن تأثیر دارند که می‌توان به مقدار رس، نوع کانی‌ها، مقدار ماده آلی، وضعیت فیزیوگرافی و درجه تکامل خاک اشاره کرد (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۱). مقایسه میانگین عناصر تحت کاربری‌های گوناگون نشان داد که کشت و کار طولانی مدت (باغات) منجر به افزایش معنی‌دار Cd، Mn، Zn، Cu و Fe نسبت به مرتع شده‌اند. افزایش غلظت این عناصر می‌تواند به علت افزایش دسترسی این عناصر در تیمارهای کودی آلی باشد، زیرا با توجه به افزایش OM و N فعالیت‌های میکروبی در خاک بهبود یافته و میزان عناصر میکرو در خاک افزایش زیادی داشته است. کربن آلی یکی از ویژگی‌های تعیین‌کننده میزان حاصلخیزی خاک است (شیدایی کرکج و همکاران، ۲۰۱۷). به طور کلی افزایش کربن آلی در این کاربری می‌تواند باعث افزایش محتوی عناصر شده باشد. زیرا این ماده به عنوان منبع عناصر غذایی است و نقش مهمی در آزاد سازی و قابلیت جذب عناصر دارد. مطابق نتایج کاهش مختصری در منگنز و آهن در کاربری زراعت نسبت به مرتع مشاهده می‌شود. اما این اختلاف معنی‌دار نیست. که دلایل این امر را می‌توان به برهم خوردن شرایط مطلوب خاک در اثر خاکورزی نامناسب، کاهش نفوذ پذیری خاک، افزایش رواناب و به دنبال آن افزایش فرسایش ورقه‌ای و کاهش ضخامت خاک و همچنین استفاده نکردن از کودهای میکرو و ماکرو نسبت داد. عوامل متعددی می‌توانند بر قابلیت استفاده عناصر کم مصرف در خاک‌های آهکی جنوب ایران اثر بگذارند که می‌توان به ویژگی‌های خاک مانند پ هاش، ماده آلی، مقدار رس، کربنات کلسیم، تکامل خاک و وضعیت رطوبتی خاک اشاره کرد (نجفی قیری و همکاران، ۲۰۱۳). رامکنز و سالومونز (۱۹۹۸) مقادیر بیشتر عناصر فلزی

خاک‌های کشاورزی هلند نسبت به خاک‌های جنگلی را ناشی از افزوده شدن کودهای دامی و شیمیایی به خاک‌های کشاورزی دانستند.

جدول ۱ مقایسه میانگین برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کاربری‌های مختلف با استفاده از آزمون دانکن.

متغیر	کاربری			تجزیه واریانس		
	مرتع	زراعت	باغ	میانگین مربعات	خطا	ضریب تغییرات
EC	۱/۸ ^{b}	۱/۵ ^{c}	۲/۸ ^{a}	۱۲/۳**	۰/۵۹	۳۹/۷
OM	۱ ^{b}	۰/۸ ^{c}	۱/۹ ^{a}	۹**	۰/۱	۲۸/۲
pH	۷/۵ ^{b}	۷/۷ ^{a}	۷/۴ ^{c}	۰/۸**	۰/۰۷	۳/۶
CCE	۶۹/۷ ^{a}	۷۲/۷ ^{a}	۶۳/۲ ^{b}	۶۲۲ **	۱۴۷	۱۷/۹
N	۰/۱۵ ^{b}	۰/۱۷ ^{b}	۰/۲۴ ^{a}	۰/۰۷**	۰/۰۲	۱۷/۴
P	۱۲/۵ ^{c}	۱۷/۱ ^{ab}	۲۰/۷ ^{a}	۶۴۰**	۱۳۲	۷۵
K	۲۴۱/۶ ^{a}	۲۴۶/۱ ^{a}	۲۵۲/۶ ^{a}	۱۰۵۳/۵ ^{ns}	۹۵۱۱/۸	۳۹/۸
Pb	۰/۵۲ ^{a}	۰/۵۱ ^{a}	۰/۵۳ ^{a}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۱	۲۰/۷
Zn	۰/۵۹ ^{b}	۰/۵ ^{b}	۰/۸۳ ^{a}	۰/۵۸**	۰/۰۷	۴۰/۱
Ni	۰/۲۵ ^{a}	۰/۲۷ ^{a}	۰/۳ ^{a}	۰/۰۱ ^{ns}	۰/۰۱	۳۴/۱
Mn	۱/۴۹ ^{b}	۱/۲۹ ^{b}	۲/۲۵ ^{a}	۶/۹ **	۰/۳	۳۴/۶
Cu	۰/۲۳ ^{b}	۰/۲۳ ^{b}	۰/۲۸ ^{a}	۰/۰۳**	۰	۲۵/۰۹
Cd	۰/۰۱ ^{b}	۰/۰۲ ^{b}	۰/۰۷ ^{a}	/۰۲**	۰	۴۵/۴
Fe	۰/۴۶ ^{b}	۰/۴۵ ^{b}	۰/۷ ^{a}	۰/۵۵**	۰/۰۱	۲۱/۶

EC، OM، pH، CCE، N، P، K، Pb، Zn، Ni، Mn، Cu، Cd و Fe: به ترتیب برابر است با قابلیت هدایت الکتریکی، ماده آلی، اسیدیته، کربنات کلسیم معادل، نیتروژن کل، فسفرمحلول، پتاسیم محلول، عناصر محلول خاک شامل سرب، روی، نیکل، منگنز، مس، کادمیوم و آهن.

نتایج کلی: این پژوهش با هدف ارزیابی برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کاربری‌های مختلف انجام شده است که این مطالعه پیامدهای مهم مدیریتی دارد. بسیاری از مناطق کشور ما دربرگیرنده بخش بزرگی از اراضی تحت کشت دیم هستند و دارای کاربری‌های متفاوتی هستند. تأثیرپذیری ویژگی‌های مرتبط با مدیریت آب خاک و کیفیت آن از کاربری که در این پژوهش به‌روشنی مشاهده شد، بیانگر این نکته است که برای مدیریت صحیح این خاک‌ها نیاز است تا تأثیر کاربری نیز در نظر گرفته شود. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد عملیات کشاورزی چنانچه در چهارچوب مدیرتی صحیح قرار نگیرد می‌تواند پیامدهایی زیان بار بر کیفیت خاک‌ها داشته باشد. علیرغم اثر مثبت کاربری باغ بر برخی شاخص‌های شیمیایی کیفیت خاک نباید خسارات محیط زیستی آن به خاک و مراتع را نادیده گرفت یا توجیه کرد.

Refrence

Ajami, M. 2007. Soil quality attributes micropedology and clay mineralogy as affected by land use change and geomorphic position on some loess-derived soils in eastern Golestan Province, Agh-Su wastershed. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 191 p. (In Persian).

Akinde, B. P., Olakayode, A. O., Oyedele, D. J., & Tijani, F. O. (2020). Selected physical and chemical properties of soil under different agricultural land-use types in Ile-Ife, Nigeria. *Heliyon*, *6*(9), e05090.

Ayoubi, s., Mokhtari, J., Mosaddeghi, M.R., Zeraatpisheh, M., 2018. Erodibility of calcareous soils as influences by land use and intrinsic soil properties in a semi arid regions of central Iran. Environ. Monit. Assess. 190(4), 192.

Babur, E., Uslu, Ö. S., Battaglia, M. L., Diatta, A., Fahad, S., Datta, R., ... & Danish, S. (2021). Studying soil erosion by evaluating changes in physico-chemical properties of soils under different land-use types. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.

Boostani, H., Null, N., & Mahmoodi, A. (2019). Effect of Land Use Change on Potassium Chemical Fractions and Availability of Some Soil Nutrients in Darab Region, Fars Province. Applied Soil Research, 7(3), 180-

191.Willy, D. K., Muyanga, M., Mbuvi, J., & Jayne, T. (2019). The effect of land use change on soil fertility parameters in densely populated areas of Kenya. *Geoderma*, *343*, 254-262.
Ebrahimi M., Kashani S., and Rouhimoghaddam E. 2016. Effect of land use change from rangeland to agricultural land on soil fertility in Taftan region. *Water and Soil Science*, 26(1): 31-44. (In Persian).
Eynard A., Schumacher T.E., Lindstrom M.J. and Malo D.D. 2004. Aggregate sizes and stability in cultivated South Dakota prairie Ustolls and Usterts. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:1360-1365.
Havlin J., Beaton J., Tisdale S., and Nelson W. 1999. Soil Fertility and Fertilizers. Pretince Hall, New Jersey, 515p.
Karami, Z., & Sharifi, Z. (2020). Assessment Effect of Land Use Change from Rangeland to Rainfed Wheat on Soil Physical and Chemical Properties Using Soil Quality Index.
Lizaga I., Quijano L., Gaspar L., Ramos M.C. and Navas A. 2019. Linking land use changes to variation in soil properties in a Mediterranean mountain agroecosystem. *Catena*, 172: 516-527.
Maximillian, J., Brusseau, M.L., Glenn, E.P., Matthias, A.D., 2019. Chapter 25 - Pollution and Environmental Perturbations in the Global System, Editor(s): Mark L. Brusseau, Ian L. Pepper, Charles P. Gerba, Environmental.
Mehmandoost, F., Owliaie, H. R., Adhami, E., & Naghiha, R. (2018). Effect of land use change on some physicochemical and biological properties of the soils of Servak plain, Yasouj region. *Journal of Water and Soil*, *32*(3).
Mehmandoost, F., Owliaie, H. R., Adhami, E., & Naghiha, R. (2018). Effect of land use change on some physicochemical and biological properties of the soils of Servak plain, Yasouj region. *Journal of Water and Soil*, *32*(3).
Najafi-Ghiri M., Ghasemi-Fasaei R., and Farrokhnejad E. 2013. Factors affecting micronutrient availability in calcareous soils of Southern Iran. *Arid Land Research and Management*, 27(3): 203-215.
Najafi-Ghiri, M., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S.S., Koohkan, H., 2011. Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid Land Research and Management*, 25(4), 313-327.
Römkens P.F., and Salomons W. 1998. Cd, Cu and Zn solubility in arable and forest soils: consequences of land use changes for metal mobility and risk assessment. *Soil Science*, 163(11): 859-871.
Sheydai Karkaj, S., A. Sepehri, H. Barani & J. Motamedi, 2017. Correlation of organic carbon storage with some soil characteristics in East Azarbaijan rangelands. Rangeland, 11(2): 125-138. (In Persian).
Taghipour, A., Rezapour, S., Dovlati, B., & Hamzenejad, R. (2015). Effects of land use changes on some soil chemical properties in Khoy, West Azerbaijan Province.
Trivedi P., Delgado-Baquerizo M., Anderson I.C. and Singh B.K. 2016. Response of soil properties and microbial communities to agriculture: Implications for primary productivity and soil health indicators. *Frontiers in Plant Science*, 7, 990.
Whalen J.K. and Chang C. 2002. Macroaggregate characteristics in cultivated soils after 25 annual manure applications. Soil Sci. Soc. Am. J., 66: 1637-1647.

Variability of Some Soil Chemical Properties in Different Land Uses

Dehghani[*1], S., Naderi Khorasgani[2], M., Mohammadi, J.[3] Karimi, A. [4]

[1] Ph.D. Student, Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Shahrekord, Iran
[2] Associate Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran
[3] Professor., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran
[4] Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture University of Shahrekord, Iran

ABSTRACT

Land-use change has been one of the main important factors in soil degradation and leads to reducing the soil quality and fertility. This study was conducted with the aim of, the effects of rangeland land-use change on soil characteristics in the Baghan watershed of the southeast of Bushehr province with an area of about 929 square kilometers. A number of 63, 33, and 24 samples were taken from a depth of 0 to 20 cm using the Latin cube sampling method from rangelands, croplands, and orchards respectively. The results of land-use change except for potassium (K), nickel (Ni), and lead (Pb) on other chemical properties (OM, pH, N, P, Mn, Zn, Cu, Cd) have a significant effect at the level of one percent ($P < .01$). The results of this study showed that croplands compared to rangeland have significantly reduced the amount of electrical conductivity (EC), organic matter and significantly increased the pH. While, the change of orchards compared to the rangeland showed an increase in the average of EC, OM, N, P, Mn, Zn, Cu, and Fe and a decrease in pH and CCE in the study area. Finaly, this results can be useful for predicting the consequences of land-use change in the current site and

[*] Corresponding author, Email: Somayehdehghany@Yahoo.Com

other similar areas. Also, it is recommended that to maintain the balance of nutrients in orchards, the fertilizers should be used more carefully to compensate for nutrient deficiencies with the proper use of organic and chemical fertilizers.
Keywords: Chemical properties, land use change, Baghan watershed, Trace elements.

مقایسه برخی ویژگی‌های خاک در دو کاربری مرتع و کشاورزی در شهرستان شاندیز

فریبا سمائی[۱] ، حجت امامی[۲] ، امیر لکزیان[۳]

۱-دانشجوی دکتری علوم خاک دانشگاه فردوسی (samaeifariba@yahoo.com)

۲-استاد علوم خاک دانشگاه فردوسی (hemami@um.ac.ir)

۳- استاد علوم خاک دانشگاه فردوسی (alakzian@yahoo.com)

چکیده

ارزیابی تأثیر نوع کاربری اراضی بر خصوصیات خاک یکی از عوامل تأمین کنندهٔ امنیت غذایی، ارتقاء سلامت انسان و تسریع کنندهٔ دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار بوده و بر کیفیت آب، هوا و محیط زیست تأثیرگذارمی‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی نقش کاربری اراضی بر برخی شاخص‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیائی خاک در بخشی از شهرستان شاندیز صورت گرفت. بدین منظور ۳۰ نمونه خاک از لایهٔ سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متری) از دو کاربری مرتع و کشاورزی تهیه و تعدادی از خصوصیات خاک (کربن آلی(OC)، جمعیت باکتری(CPB)، شاخص پایداری ساختمان (SI)، هدایت الکتریکی (EC) و پ‌هاش خاک (pH)) در قالب طرح آماری بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد مقادیر OC ، CPB و SI در کاریری زراعی نسبت به کاربری مرتع به صورت معنی‌داری کمتر و مقدار EC در کاریری زراعی به صورت معنی‌دار بیشتر بود ($p< 0.01$). بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت کاهش کربن آلی، جمعیت میکروبی و پایداری ساختمان خاک در کاربری زراعی باعث کاهش کیفیت و تخریب فزایندهٔ خاک می-گردد.

واژگان کلیدی: کاریری اراضی،کربن آلی، شاخص پایداری ساختمان خاک، جمعیت باکتری

مقدمه

بررسی تأثیر نوع کاربری اراضی بر نحوهٔ عملکرد خاک در اکوسیستم‌های کشاورزی از طریق مطالعه و ارزیابی تغییرات پارامترها و شاخص های کیفیت خاک امکان پذیر می‌باشد. شناسایی مدیریت‌های پایدار جهت پیشگیری از تخریب فزایندهٔ خاک یک گام ضروری در کشاورزی پایدار می‌باشد که این امر از طریق مطالعاتی که به منظور ایجاد ارتباط بین تولید بالا و پایداری منابع اراضی صورت می‌گیرند امکان پذیر است. ارزیابی تأثیر نوع کاربری اراضی بر کیفیت خاک از فرآیندهای لازم برای دست‌یابی به مدیریت پایدار خاک در اکوسیستم‌های کشاورزی است (Mamedov *et al.*2017) . ماده آلی تابعی از کاربری و مدیریت اراضی است و تأثیر مستقیم بر خصوصیات فیزیکی، مکانیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک دارد (2008) .Zhang *et al*. یکی از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی و فعال خاک پایداری ساختمان خاک است. پایداری ساختمان خاک یک شاخص کلیدی در ارزیابی کیفیت و سلامت خاک جهت استفادهٔ پایدار از منابع اراضی محسوب می‌شود. کربن آلی خاک یک شاخص جهانی در ارزیابی کیفیت خاک‌ها می‌باشد این پارامتر نقش مهم و کلیدی در فعالیت بیولوژیکی، افزایش

پایداری خاکدانه، بهبود تخلخل، کاهش جرم مخصوص ظاهری و حاصلخیزی خاک ایفا می‌کند (2011) Franzluebbers *et al*. نوع کاربری اراضی، تأثیر زیادی در تغییر زمانی و مکانی ویژگی‌های خاک دارد و جمعیت میکروبی خاک به شدت به این تغییرات پاسخ می‌دهد (2013) Zhao *et al*. از مهمترین شاخص‌های کیفیت و سلامت خاک، ویژگی‌های زیستی خاک نظیر فعالیت‌های میکروبی و جمعیت میکروبی هستند که تأثیر بسیار مهمی در چرخهٔ عناصر غذایی دارند (2013) Armenise *et al*. واکنش یا pH خاک به اندازه غلظت کربن و نیتروژن موجود در خاک مهم می‌باشد زیرا بر روی حلالیت کربن آلی تأثیر دارد (200) Anderson *et al*. .

بر اساس اطلاعات موجود، بررسی هم زمان تغییرات ویژگی‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیائی کیفیت خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک تحت تأثیر کاربری اراضی در استان خراسان رضوی کمتر صورت گرفته است. لذا هدف از این تحقیق بررسی تأثیر کاربری اراضی بر برخی شاخص‌های فیزیکی، بیولوژیکی وشیمیائی کیفیت خاک در شرایط آزمایشگاهی بود.

مواد و روش ها

در این پژوهش۳۰ نمونه خاک سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متری) از منطقه‌ای در شهرستان شاندیز در فاصله ۴۰ کیلومتری غرب مشهد روستای ابراهیم آباد که در حد فاصل طول جغرافیایی "۰۱ ' ۲۷ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی " ۰۱ '۲۴ °۳۶ شمالی قرار دارد با دو کاربری کشاورزی و مرتع جمع‌آوری و پس از تهیه و آماده سازی نمونه‌های خاک، ویژگی‌های فیزیکی، زیستی و شیمیائی خاک در سه تکرار اندازه‌گیری گردید. مقدار کربن آلی با روش هضم تر (1934) walkley and Black.، جمعیت باکتری به روش شمارش پرگنه با استفاده از محیط کشت نوترینت آگار (1990) Anderson and Domsch.، واکنش خاک به وسیله دستگاه pHمتر، هدایت الکتریکی توسط ECمتر و بافت خاک به روش هیدرومتری (1986) Gee and Bauder., تعیین گردید. شاخص پایداری ساختمان خاک با استفاده از مقادیر کربن آلی و بافت خاک (سیلت و رس) از معادله ۱ محاسبه گردید (1992) Pieri.,.

(معادله ۱)

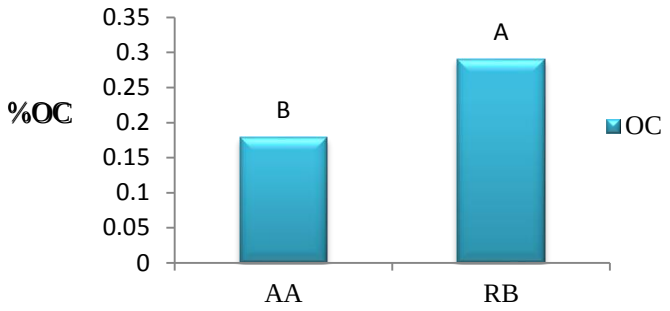
$$SI = \frac{1.724OC}{(Silt + Clay)} \times 100$$

در این معادله OC مقدار کربن آلی و (Silt + Clay) بیانگر مجموع سیلت و رس می‌باشد.

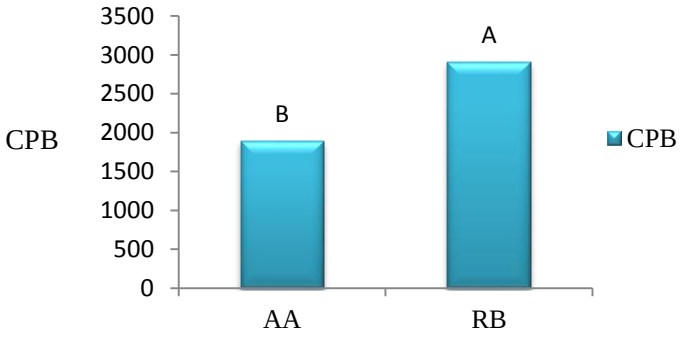
نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین تأثیر نوع کاربری اراضی نشان داد که در کاربری مرتع کربن آلی، جمعیت باکتری وشاخص پایداری ساختمان خاک به صورت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($p< 0.01$) به ترتیب ۶۲/۵، ۵۳/۸ و ۴۸ درصد نسبت به کاربری کشاورزی بیشتر بود (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). در خاک مرتع، به دلیل عدم کشت و زرع و نیز وجود بقایای گیاهی، بین تجزیهٔ ماده آلی خاک و تجمع بقایای گیاهی توازن وجود دارد اما در اراضی کشاورزی این توازن وجود ندارد. همچنین عملیات خاکورزی باعث مخلوط شدن لایه‌های زیرین خاک با درصد کربن آلی کمتر با خاک سطحی حاوی کربن آلی بیشتر می‌شود و در نتیجه موجب کاهش کربن آلی خاک می‌گردد (2008) Tejada and Gonzalez,. در اثر شخم تهویهٔ خاک‌های

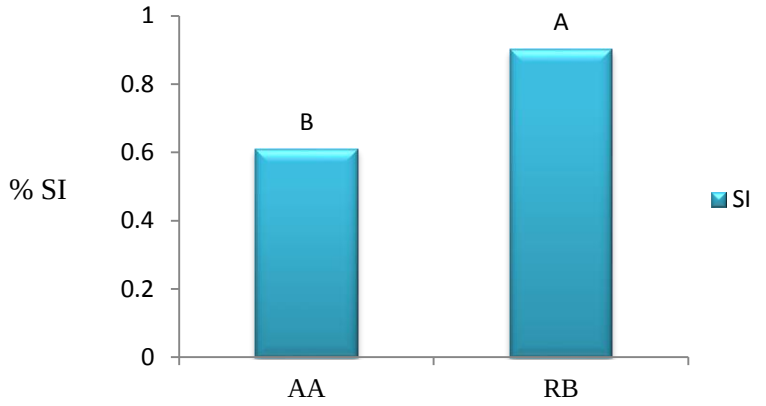
کشاورزی نسبت به مرتع بیشتر می‌باشد که این امر باعث تسریع فرآیند اکسیداسیون کربن آلی و افزایش مقدار کربن خروجی به صورت دی اکسید کربن می‌شود. مطالعه Zach *et al*. (2006) نشان داد در خاک‌های مناطق نیمه خشک بعد از ۳-۵ سال کشاورزی میزان کربن ۵۶ تا ۳۵ درصد کاهش یافت. کاهش کربن آلی خاک یکی از مهمترین عوامل کاهش جمعیت باکتری در کاربری کشاورزی می‌باشد، که این یافته‌ها با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. کربن آلی بیشتر در خاک‌های مرتع از جمعیت میکروبی حمایت نموده و محدودیت آن‌ها را برای تکثیر و توسعه کاهش می‌دهد. توزیع اندازه منافذ به عنوان محلی برای سکونت میکروارگانیسم‌های خاک بر کیفیت بیولوژیک خاک و چرخه‌های بیوشیمیایی مؤثر است. عملیات خاکورزی ازجمله تردد ماشین‌های کشاورزی باعث تراکم خاک می‌گردد. تراکم خاک با تغییر توزیع اندازهٔ منافذ خاک سبب کاهش تخلخل کل و ساختمانی شده در نتیجه جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌ها، نفوذپذیری، حرکت آب و دسترسی به عناصر غذایی کاهش می‌یابد Bronick and Lal.(2005) . مطالعهٔ Davet, (2004) نیز نشان داد جمعیت باکتریایی در خاک مرتع نسبت به خاک کشاورزی بیشتر می‌باشد. کاهش کربن آلی خاک در کاربری کشاورزی به دلایل فوق الذکر باعث کاهش شاخص پایداری ساختمان خاک در این اراضی شده است.



شکل ۱- تأثیر کاربری اراضی بر کربن آلی (OC) در مرتع (RB) و کشاورزی (AA)

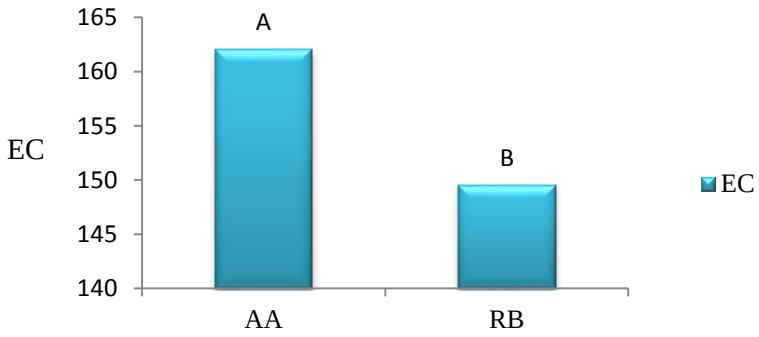


شکل ۲- تأثیر کاربری اراضی بر جمعیت قابل کشت باکتری (CPB) در مرتع (RB) و کشاورزی (AA)

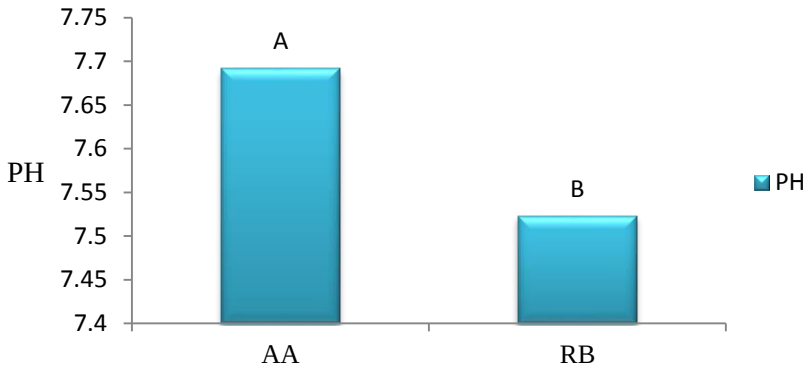


شکل ۳- تأثیر کاربری اراضی بر شاخص پایداری ساختمان (SI) در مرتع (RB) و کشاورزی (AA)

نتایج مقایسهٔ میانگین تأثیر نوع کاربری اراضی نشان داد که در کاربری کشاورزی هدایت الکتریکی خاک به صورت معنی-داری در سطح احتمال یک درصد ($p< 0.01$) به میزان ۸/۴ درصد نسبت به کاربری مرتع بیشتر بود و پ‌ها یا واکنش خاک ۲/۲ درصد در کاربری کشاورزی نسبت به کاربری مرتع بیشتر بود (شکل‌های ۴ و ۵). مطالعهٔ مرودی و همکاران نشان داد واکنش (pH) در خاک‌های کشاورزی با انجام خاکورزی مرسوم بیشتر از خاک‌های با خاکورزی کم بود. تغییرات پ-هاش و هدایت الکتریکی خاک تحت تأثیر فاکتورهای مدیریتی (عمق و تعداد دفعات شخم، آبیاری، پوشش بقایای گیاهی و مقدار و نوع مصرف کودهای شیمیائی) و فاکتورهای ذاتی (نوع مواد مادری، اقلیم،بافت خاک و توپوگرافی) قرار می‌گیرند McGrath and Zhang.(2003). همچنین بقایای گیاهی باعث کاهش تجمع نمک ناشی از تبخیر در سطح خاک شده در نتیجه EC خاک کاهش می‌یابد Shahbazi, *et al*. (2013).



شکل ۴- تأثیر کاربری اراضی بر هدایت الکتریکی خاک (EC) در مرتع (RB) و کشاورزی (AA)



شکل ۵- تأثیر کاربری اراضی بر اسیدیته خاک (pH) در مرتع (RB) و کشاورزی (AA)

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در میزان کربن آلی، جمعیت باکتری، شاخص پایداری ساختمان و هدایت الکتریکی خاک در دو کاربری کشاورزی و مرتع است. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده، شاخص‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیائی منطقه مورد مطالعه متأثر ار کاربری بوده و بین ویژگی‌های فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیائی خاک ارتباط وجود دارد به طوریکه در کاربری مرتع که دارای شرایط مساعدتری از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیائی می‌باشد ویژگی‌های بیولوژیکی نیز در این کاربری نسبت به کاربری کشاورزی بهتر می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل از پژوهش مورد بحث می‌توان نتیجه گرفت در کاربری کشاورزی به دلیل کاهش کربن آلی، جمعیت میکروبی و پایداری ساختمان، کیفیت خاک کاهش یافته و تخریب خاک افزایش می‌یابد.

فهرست منابع

رمرودی، م.، مجنون حسینی، ن. و مظاهری، د.، (۱۳۸۶) تأثیر خاکورزی و کود گیاهان پوششی، سیستمهای نیتروژن بر خصوصیات خاک و عملکرد سورگوم علوفه ای. مجموعه مقالات دهمین کنگره علوم خاک ایران، ۴-۶ کرج.

Anderson TH and Domsch KH. (1990) Application of eco-physiological quotient (qCO2 and Dq) on microbial biomassesfrom soils of different cropping histories, Soil Biol. Biochem. 22: 251–255.

Anderson, S., Nilsson, I. and Saetre, P.(2000) Leaching of dissolved organic carbon (DOC) and dissolved organic nitrogen (DON) in mor humus as affected by temperature and pH. Soil Biology and Biochemistry. 32: 1–10.

Armenise, E., Redmile-Gordon, M.A., Stellacci, A.M., Ciccarese, A., and Rubino, P.(2013) Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil and Tillage Research. 130: 91-98.

Bronick, G. J. and Lal, R., (2005) Manuring and rotation effect on soil organiccarbon concentration for different aggregate size fractions on two soils northeastern Ohio, USA. Soil and Tillage Research, 81:239-252

Celik, I., (2005) Land-use Effects on Organic Matter and Physical Properties of Soil in a Southern Mediterranean Highland of Turkey, Soil Tillage Research, 83, pp. 270-277

Davet, P. (2004) Microbial Ecology of the Soil and Plant Growth. Science Publishers, New Hampshire, Inc. 392.

Franzluebbers, A.J., Causarano, H.J., and Norfleet, M.L(2011) Soil conditioning index and soil organic carbon in the Midwest and southeastern United States. J. Soil Water Cons. 66: 3. 178-182.

Gee, GW., and Bauder. JM. (1986) Partical-size analysis. In Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.
Geissen, V., R. Sánchez-Hernández, C. Kampichler, R.Ramos-Reyes, A. Sepulveda-Lozada, S. Ochoa-Goana, B.H. de Jong, E. Huerta-Lwanga and S. Hernández-Daumas, (2009) Effects of land Use Change on some Properties of Tropical Soils-An Example from Southeast Mexico, Geoderma, 151, pp. 87-97.
Högberg, M. N., Högberg, P. and Myrold, D. D.(2007) Is microbial community composition in boreal forest soils determined by pH, C/N ratio, the trees, or all three? Oecologia. 150: 590–601.
Mamedov, A.I., Huang, C.H., Aliev, F.A. and Levy, G.J. (2017) Aggregate stability and water retention near saturation characteristics as affected by soil texture, aggregate size and polyacrylamide application. Land Degrad. Dev. 28(2): 543–552. doi:10. 1002/ldr.2509.
McGrath, D. and Zhang. C. (2003) Spatial distribution of soil organic carbon concentrations in grassland of Ireland. Applied Geochemistry. 18: 1629-1639.
Pieri, C.J.M.G. (1992) Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
Shahbazi, F., Aliasgharzad, N., Ebrahimzad, S.A., and Najafi, N.(2013) Geostatistical analysis for predicting soil biological maps under different scenarios of land use. Europ. J. Soil Biol. 55: 20-27.
Tejada, M. and J.L. Gonzalez,(2008) Influence of Two Organic Amendments on the Soil Physical Properties, Soil Losses, Sediments and Runoff Water Quality, Geoderma, 145, pp. 325-334.
Walkley, A., and Black, I.A.(1934) An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method.journal of Soil Science, 37:29-37.
Zach A., Tiessen H., and Noellemeyer E.(2006) Carbon turnover and 13C natural abundance under landuse change in the semiarid La Pampa, Argentina. Soil Science Society American Journal 70: 1541-1546.
Zhang, Z., C. Wei, D. Xie, M. Gao and X. Zeng.(2008) Effects of land use patterns on soil aggregate stability in Sichuan Basin, China. Particuology 6: 157–166.
Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., & Gao, P. (2013) Soil erosion, conservation, and Ecoenvironment changes in the Loess Plateau of China. Land Degradation and Development, 24, 499-510.

Comparison of some soil properties in pasture and agriculture land uses in Shandiz city

Fariba Samaei [1], Hojat Emami [2], Amir Lakzian [3]
1- PhD student in Soil Science, Ferdowsi University (samaeifariba@yahoo.com)
2- Professor of Soil Science, Ferdowsi University (hemami@ um.ac.ir)
3- Professor of Soil Science, Ferdowsi University (alakzian@yahoo.com)

Abstract

Assessing the impact of land use on soil properties is one of the factors contributing to food security and public health and hence achievement of sustainable agricultural goals and can affect the quality of air, water and environment. The aim of this study was to investigate the role of land use on some physical, biological and chemical characteristics of soil in a part of Shandiz city. For this purpose 30 soil samples were collected from the surface layer (0-20 cm) from two pasture and agricultural land uses and some soil properties (organic carbon (OC), bacterial population (CPB), structural stability Index (SI), electrical conductivity, (EC) and soil (pH) were studied as a randomized complete block design with three replications. The results of analysis of variance showed that the values of OC, CPB and SI in agricultural land use were significantly lower than rangeland and the value of EC in agricultural land use was significantly higher ($p < 0.01$) than pastures. Based on the results, it can be concluded that the reduction of organic carbon, microbial population and structural stability index in agricultural land use reduces the soil quality and increases degradation of soil.

Keywords: Land use, Organic carbon, Structural stability index, Bacterial population

معرفی چارچوب ارزیابی مدیریت خاک

ایوب آویژگان*[1]، حسین اسدی[2]

۱. دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. **a.avizhgan@ut.ac.ir**

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

خاک یکی از منابع اصلی تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود، لذا حفظ کیفیت آن در حد مطلوب برای کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست ضروری است. در این راستا، چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) می‌تواند به مدیریت و بهبود کیفیت خاک کمک نماید. چارچوب ارزیابی مدیریت خاک از داده‌های نشانگرهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای ارزیابی اثرات مدیریت بر کارکرد خاک از طریق یک فرآیند سه مرحله‌ای (۱) انتخاب نشانگر، (۲) تفسیر نشانگر و (۳) تجمیع و تبدیل به نمایه کیفیت خاک استفاده می‌کند. توسعه منحنی نمره‌دهی یک نشانگر جدید یک فرآیند چند مرحله‌ای است که شامل: تعریف یک نشانگر، تعیین ماهیت رابطه بین نشانگر و یک کارکرد خاک، برنامه یک الگوریتم و جملات منطقی که این ارتباط را توصیف می‌کند، و ارزیابی نتیجه منحنی نمره‌دهی است. این راهنما به کاربران چارچوب ارزیابی مدیریت خاک کمک خواهد کرد که چگونه منحنی‌های نمره‌دهی شماری از نشانگرها موجود توسعه یافته‌اند. در این بررسی، برخی از مفاهیم و اصطلاحات اساسی علم کیفیت خاک با تاکید بر کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست معرفی می‌شود. اما هدف اصلی، معرفی چارچوب ارزیابی مدیریت خاک به عنوان یک راهنما برای کمک به دستیابی توسعه پایدار در ایران است.

واژه‌های کلیدی: کشاورزی پایدار، کیفیت خاک، منحنی‌های نمره‌دهی، نشانگرهای کیفیت خاک

مقدمه

با افزایش جمعیت جهان، نیاز به غذا و تولیدات کشاورزی به سرعت در حال افزایش است به طوری که سازمان خوار و بار جهانی (فائو) پیش‌بینی کرده است که با افزایش روزافزون جمعیت در سال ۲۰۵۰، سالانه ۲۰۰ میلیون تن غذا و تولیدات کشاورزی موردنیاز می‌باشد (Sekhon, 2014). خاک‌ها کارکردهای ضروری اکوسیستم مربوط به رشد گیاه، کیفیت آب و هوا و بازیافت بقایای گیاهی و حیوانی را انجام می‌دهند. همچنین حفظ و بهبود کیفیت خاک از نظر حفظ امنیت محیط‌زیست و تولیدات کشاورزی برای نسل‌های آینده نیز حائز اهمیت می‌باشد (Reynolds et al., 2002). معیارها و روش‌های ارزیابی کیفیت خاک به دلیل تأثیر مهمی که بر روی نتایج کیفیت خاک دارند، از مهم‌ترین نگرش-ها در زمینه ارزیابی کیفیت خاک محسوب می‌شوند (Dexter, 2004). از این رو دانشمندان برای تامین غذای نسل‌های آینده و رسیدن به کشاورزی پایدار، روش‌های مختلفی را برای ارزیابی کیفیت خاک[1] به کار می‌برند که از آن جمله می‌توان به چارچوب ارزیابی مدیریت خاک[2](SMAF) اشاره نمود. SMAF یکی از پیشرفته‌ترین طرح‌های تحلیلی است که به طور گسترده برای ارزیابی پاسخ کیفیت خاک به مدیریت خاک در سراسر جهان استفاده شده است که شامل مدیریت خاکورزی و بقایای محصول می‌باشد (Cherubin et al., 2021).در این بررسی، برخی از مفاهیم و واژه‌های اساسی علم کیفیت خاک با تاکید بر کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست معرفی می‌شود. هدف اصلی این نوشتار، معرفی چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) به عنوان یک راهنما برای کمک به دستیابی توسعه پایدار در ایران است.

تعریف کیفیت خاک

[1] Soil quality

[2] Soil management assessment framework

ابزارهای ارزیابی و تعاریف مفهومی کیفیت خاک هنوز در حال تکامل هستند. تعریف کیفیت خاک براساس دیدگاه‌ها و سوابق افراد، تغییر می‌کند، اما ساده‌ترین و خلاصه‌ترین تعریف آن عبارت است از "توانایی خاک برای ایفای نقش/کارکردهای خود" می‌باشد (Karlen et al., 1997). کیفیت خاک دو جنبه دارد: ۱) کیفیت ذاتی خاک[۱] که توانایی طبیعی خاک در انجام وظایف خود (تولید زیستی، بهبود کیفیت آب و هوا و تأمین سلامت گیاه، انسان و حیوان) می‌باشد و به عوامل خاکسازی و فاکتورهای مؤثر بر آن بستگی داشته و تحت تأثیر مدیریت خاک قرار نمی‌گیرد و ۲) کیفیت پویای خاک[۲] که بسته به نوع مدیریت خاک متغیر است (Karlen et al., 2008).

نشانگرهای کیفیت خاک

کیفیت خاک با استفاده از نشانگرهایی[۳] که بر یک یا چند کارکرد خاک اثر همزمان دارند، برآورد می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی قابل اندازه‌گیری خاک که می‌توانند روی کارکرد خاک تاثیرگذار باشند و به تغییرات محیطی حساس هستند، معمولا به عنوان نشانگرهای کیفیت خاک انتخاب می‌شوند (Takoutsing et al., 2016).

روش‌های ارزیابی کیفیت خاک

معیارها و روش‌های ارزیابی کیفیت خاک به دلیل تاثیر مهمی که بر نتایج تعیین کیفیت خاک دارند، از مهم‌ترین نگرش‌ها در زمینه ارزیابی کیفیت خاک محسوب می‌شوند. از میان روش‌های مختلف ارزیابی کیفیت خاک می‌توان به روش‌های اغلب کیفی تا کاملا کمی شامل کارت‌های نمره‌دهی، کیت‌های مزرعه‌ای (Bone et al., 2014)، روش‌های کریجینگ چندمتغیره، تغییرات پویای مدل‌های کیفیت خاک (Karlen et al., 2008) و نمایه‌های کیفیت خاک[۴](SQI) اشاره نمود (Dobermann and Oberthür, 1997). چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) که روشی کمی برای سنجش کیفیت خاک است، دارای جامعیت بیش‌تری نسبت به سایر روش‌ها بوده و قابلیت بومی‌سازی و توسعه و تکمیل برای شرایط مختلف و خاص را دارد (Andrews et al., 2004).

چارچوب ارزیابی مدیریت خاک

چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (SMAF) یک روش کمی برای ارزیابی اثرات کاربری اراضی و عملیات مدیریتی بر کیفیت خاک است که بر دیدگاه کیفیت خاک تاکید دارد و شامل شناسایی پاسخ خاک به تصمیمات مدیریتی جاری یا اخیر است (Karlen et al., 2014). SMAF از یک فرآیند سه مرحله‌ای برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌کند که شامل ۱) انتخاب نشانگر (نشانه) (فیزیکی، شیمیایی و زیستی)، ۲) تفسیر نشانگر (منحنی‌های نمره‌دهی) و ۳) تجمیع و تبدیل نمرات به یک نمایه کلی کیفیت خاک است (Andrews et al., 2004).

در حال حاضر، SMAF برای ۱۳ نشانگر، منحنی‌های نمره‌دهی یا الگوریتم‌های تفسیر دارد که شامل: جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه‌های درشت، ظرفیت آب قابل دسترس، درصد منافذ پر از آب، pH، قابلیت هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، پتاسیم، فسفر قابل استخراج، کربن آلی خاک، کربن بیومس میکروبی، پتانسیل معدنی شدن نیتروژن و فعالیت بتا-گلوساید است. بیش‌تر این منحنی‌ها با استفاده از مجموعه داده‌های آمریکای شمالی (ایالات متحده آمریکا، کانادا و مکزیک) توسعه و ارزیابی شده‌اند. درصد منافذ پر از آب (شامل داده‌هایی از چین) و بتا-گلوساید (شامل داده‌هایی از برزیل، آرژانتین و ایتالیا) با در نظر گرفتن عوامل کنترل کننده خاص مکانی (اقلیم و/یا خصوصیات ذاتی خاک) که روی نمره هر نشانگر اثر می‌گذارد، ارزیابی شدند (Andrews et al., 2004; Wienhold et al., 2009).

الف- توسعه منحنی نمره‌دهی

توسعه منحنی نمره‌دهی یک نشانگر جدید بر مبنای SMAF شامل مراحل زیر است (Wienhold et al., 2009):

---

[۱] Inherent soil quality

[۲] Dynamic soil quality

[۳] Indicators

[۴] Soil quality index

۱) تعریف یک نشانگر کیفیت خاک. اولین مرحله در توسعه منحنی نمره‌دهی، تعریف یک نشانگر کیفیت خاک است که منحنی نمره‌دهی آن توسعه نیافته است. این نشانگر باید به گونه‌ای باشد که به شیوه‌های مدیریت خاک پاسخ دهد و بر یک کارکرد خاک مربوط به یک یا چند هدف مدیریتی تاثیرگذار باشد.

۲) تعریف مجموعه داده‌های در دسترس. داده‌ها برای توسعه یک منحنی نمره‌دهی می‌تواند داده‌های اصلی جمع‌آوری شده به طور خاص برای تعیین ارتباط یک نشانگر خاک و یک کارکرد خاک یا مجموعه داده‌های موجود از مطالعات قبلی باشد. مجموعه داده‌ها شامل مقادیر یک نشانگر خاک و یک اندازه از کارکرد خاک برای گستره وسیعی از شرایط محیطی است.

۳) تعریف و تعیین رابطه ریاضی بین نشانگر کیفیت خاک و کارکرد خاک. رابطه ریاضی با تعیین شکل کلی منحنی بین نشانگر خاک و کارکرد آن به‌دست می‌آید که خود تابع شرایط محیطی است. توابع نمره‌دهی نشانگرهای کیفیت خاک به سه دسته: بیش‌تر، بهتر (کربن آلی خاک)؛ کمتر، بهتر (جرم مخصوص ظاهری) و تابع سطح بهینه (pH خاک) گروه‌بندی می‌شوند.

۴) تعریف عوامل موثر بر ارتباط بین نشانگر کیفیت خاک و کارکرد خاک. در حالی که معمولا فرض می‌شود که شکل کلی رابطه بین یک نشانگر کیفیت خاک و کارکرد خاک در سراسر سیستم ثابت است، در محدوده سیستم‌ها، دامنه هر یک از نشانگرها متفاوت خواهد بود. تغییرات از یک سیستم به سیستم دیگر ناشی از تفاوت در عوامل خاص مانند اقلیم و ویژگی‌های ذاتی خاک است. در جدول‌های ۱ تا ۳ گروه‌بندی شماری از ویژگی‌های خاک که بر ارتباط بین نشانگر خاک و کارکرد آن تاثیرگذارند، ارائه شده است.

جدول ۱- گروه‌بندی اکسید آهن فریک برای تعیین منحنی نمره‌دهی برخی نشانگرهای کیفیت خاک بر مبنای چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (Andrews et al., 2004)

کلاس	اکسید آهن فریک (Fe_2O_3)
۱	آلتی‌سول‌ها
۲	دیگر تحت‌رده‌ها

جدول ۲- گروه‌بندی شیب برای تعیین منحنی نمره‌دهی برخی نشانگرهای کیفیت خاک بر مبنای چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (Andrews et al., 2004)

کلاس	۱	۲	۳	۴	۵
شیب (٪)	۰ - ۲	۲ - ۵	۵ - ۹	۹ – ۱۵	> ۱۵

جدول ۳- گروه‌بندی بافت خاک برای تعیین منحنی ماده آلی خاک (Andrews et al., 2004)

کلاس	بافت خاک
۱	شنی، شنی لومی، لومی شنی با کمتر از ۸ درصد رس
۲	لومی شنی، لوم رسی شنی، لومی
۳	لومی سیلتی، سیلتی
۴	رسی شنی، لومی رسی، لوم رسی سیلتی، رسی سیلتی، رسی
۵	رسی با بیش از ۴۰ درصد رس

۵) برنامه منحنی. یک الگوریتم که رابطه بین نشانگر خاک و کارکرد خاک را توصیف می‌کند به یک صفحه گسترده در اکسل وارد می‌شود. علاوه بر این، یک جدول تغییرات پارامتر برای عواملی که باعث ایجاد تغییرات در نقاط انحنا یا محدوده‌های مورد انتظار می‌شوند، برای این نشانگر ایجاد می‌شود.

۶) ارزیابی منحنی. الگوریتم‌های منحنی نمره‌دهی برای ایجاد نمرات با استفاده از داده‌هایی که برای تخمین مقادیر پارامترهای الگوریتم به کار نرفته‌اند، اعتبارسنجی می‌شوند. در جدول ۵ به عنوان نمونه، الگوریتم‌ها و جمله‌های منطقی استفاده شده برای نمره‌دهی برخی از نشانگرهای کیفیت خاک بر مبنای چارچوب ارزیابی مدیریت خاک آمده است (لازم به ذکر است فایل اکسل این برنامه از طریق سایت http://soilquality.org/tools/smaf_intro.html و یا ایمیل به نویسنده مسئول این مقاله قابل دریافت است).

جدول ۴- الگوریتم‌ها و جمله‌های منطقی استفاده شده برای تفسیر برخی نشانگرهای کیفیت خاک بر مبنای چارچوب ارزیابی مدیریت خاک (Andrews et al., 2004)

نشانگر	الگوریتم نمره‌دهی	پارامترهای ثابت	فاکتورهای خاص مکانی
ظرفیت آب قابل دسترس (AWC)	اگر ناحیه خشک باشد آنگاه: $y = (a \times b + c \times AWC^d)/(b + AWC^d)$ در غیر این صورت: $y = a + b \times \cos(c \times AWC + d)$	a = 0.0114 c = 1.088 d = 2.182 a = 0.477 b = 0.527 c = 6.878	b = f(texture, iOM) d = f(texture)
واکنش شیمیایی خاک (pH)	$y = a \times \exp[-(pH - b)^2/(2 \times c^2)]$	a = 1	b, c =f(crop)
قابلیت هدایت الکتریکی (EC)	اگر $EC \leq 0.3$ آنگاه: $y = EC \times 3.33$ اگر $0.3 < EC < T$ آنگاه: $y = 1$ و اگر $EC \geq T$ آنگاه: $y = a + b \times EC$	a = 1- bT	T = f(method, crop, texture) b = f(T)
درصد کل کربن آلی خاک (TOC)	$y = a /[1 + b \times \exp(- c \times TOC)]$	a =1 b = 50.1	c = f(iOM, texture, climate)

iOM: کلاس ماده آلی ذاتی خاک، texture: کلاس بافت خاک، Fe_2O_3: کلاس سزکوئی‌اکسیدها، method: روش اندازه‌گیری قابلیت هدایت الکتریکی، Crop: نوع محصول، T: حد آستانه شوری قابل تحمل گیاه y: نمره نشانگر و climate: کلاس اقلیم

ب- نمایه‌های کیفیت خاک

بعد از نمره‌دهی هر نشانگر بر مبنای SMAF، به دلیل اینکه تفسیر تعداد زیادی از نشانگرها و نتیجه‌گیری از آن‌ها بسیار مشکل است، توصیه شده که مجموعه نشانگرها در یک نمایه تلفیق شوند. برای این منظور نمایه‌های کیفیت خاک متفاوتی وجود دارد. نمایه کیفیت تجمعی[۱](IQI) (معادله ۱) و نمایه کیفیت نمرو[۲](NQI) (معادله ۲) از جمله آن‌ها هستند (Guo et al., 2017).

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} W_i N_i \quad (۱)$$

در این معادله، W_i وزن تعلق یافته به هر نشانگر، N_i مقدار نمره مربوط به هر نشانگر و n تعداد نشانگرهای خاک می‌باشد.

$$NQI = \sqrt{\frac{P_{ave}^2 + P_{min}^2}{2}} \times \frac{n-1}{n} \quad (۲)$$

[۱] Integrated quality index

[۲] Nemero quality index

در این معادله، P_{ave} میانگین نمره تعلق یافته به نشانگرهای انتخاب شده در هر نمونه خاک، P_{min} حداقل نمره موجود در بین نشانگرهای انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های موردنظر است.

نتیجه‌گیری

چارچوب ارزیابی مدیریت خاک به طور وسیعی در ایالات متحده آمریکا برای ارزیابی موقعیت‌های گوناگون و عوامل اثرگذار که بر سیستم‌های کشاورزی و طبیعی در مقیاس‌های مختلف از یک مزرعه آزمایشی تا یک منطقه استفاده شده است (Andrews et al., 2004; Karlen et al., 2014). به علاوه، SMAF در کشورهای دیگری شامل آفریقای جنوبی (Gura and Mnkeni, 2019)، اتیوپی (Gelaw et al., 2015)، نپال (Kalu et al., 2015)، برزیل (Lisboa et al., 2019)، چین (Li et al., 2018) و ترکیه (Çelik et al., 2021) آزمون شده است. اما این روش تاکنون به صورت جامع در ایران آزمون نشده است، هرچند محققان زیادی (گرجی و همکاران، ۱۳۹۵؛ آذرنشان و همکاران، ۱۳۹۷و Rahmanipour et al., 2014) تلاش کرده‌اند با استفاده از توابع نمره‌دهی خطی برای نمره‌دهی نشانگرها، کیفیت خاک و اثر مدیریت‌های مختلف را بر آن ارزیابی نمایند.

چارچوب ارزیابی مدیریت خاک می‌تواند یک ابزار مهم و کاربر پسند برای کمک به کشاورزان، مشاوران، محققان و مقامات دولتی باشد تا تصمیمات فوری و استراتژیک برای بهبود کیفیت خاک و حفظ سلامت آن و پایداری کشاورزی فراهم شود. بدون شک با بهره‌گیری از مزیت‌های روش SMAF به عنوان یک روش نوظهور در زمینه ارزیابی کیفیت خاک، می‌توان به نتایج مطلوبی از جمله تضمین امنیت غذایی، کشاورزی پایدار و حفظ محیط‌زیست دست یافت.

منابع

آذرنشان، س، خرمالی، ف. سرمدیان، ف. کیانی، ف و افتخاری، ک. (۱۳۹۷). ارزیابی کیفیت خاک در بخشی از اراضی منطقه خشک و نیمه‌خشک دشت قزوین، ایران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۲، شماره ۲، ص ۳۵۹-۳۷۴.

گرجی، م، کاکه، ج و علی‌محمدی، ع. (۱۳۹۵). ارزیابی کمی کیفیت خاک در کاربری‌های مختلف در بخشی از اراضی جنوب شرق قزوین. تحقیقات آب و خاک ایران، جلد۴۷، شماره ۴: ص ۷۸۴-۷۷۵.

Andrews, S. S., Karlen, D. L., & Cambardella, C. A. (2004). The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal, 68(6), 1945-1962.

Bone, J., Barraclough, D., Eggleton, P., Head, M., Jones, D. T., & Voulvoulis, N. (2014). Prioritising soil quality assessment through the screening of sites: the use of publicly collected data. Land Degradation & Development, 25(3), 251-266.

Çelik, İ., Günal, H., Acir, N., Barut, Z. B., & Budak, M. (2021). Soil quality assessment to compare tillage systems in Cukurova Plain, Turkey. Soil and Tillage Research, 208, 104892.

Cherubin, M. R., Bordonal, R. O., Castioni, G. A., Guimarães, E. M., Lisboa, I. P., Moraes, L. A., ... & Carvalho, J. L. (2021). Soil health response to sugarcane straw removal in Brazil. Industrial Crops and Products, 163, 113315.

Dexter. (2004). Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. Geoderma, 120(3-4), 201-214.

Dobermann, A., & Oberthür, T. (1997). Fuzzy mapping of soil fertility—a case study on irrigated riceland in the Philippines. Geoderma, 77(2-4), 317-339.

Guo, L., Sun, Z., Ouyang, Z., Han, D., & Li, F. (2017). A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. Catena, 152, 135-143.

Gura, I., & Mnkeni, P. N. S. (2019). Crop rotation and residue management effects under no till on the soil quality of a Haplic Cambisol in Alice, Eastern Cape, South Africa. *Geoderma*, *337*, 927-934.

Kalu, S., Koirala, M., Khadka, U. R., & Anup, K. C. (2015). Soil quality assessment for different land use in the Panchase area of western Nepal. International Journal of Environmental Protection, 5(1), 38-43.

Karlen, D. L., Stott, D. E., Cambardella, C. A., Kremer, R. J., King, K. W., & McCarty, G. W. (2014). Surface soil quality in five midwestern cropland Conservation Effects Assessment Project watersheds. Journal of soil and water conservation, 69(5), 393-401.

Karlen, D.L., S.S. Andrews, B.J. Wienhold, and T.M. Zobeck. 2008. Soil quality assessment: past, present and future. Publications from USDA-ARS / UNL Faculty. 1203.
Karlen, Mausbach, Doran, Cline, Harris, & Schuman. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Science Society of America Journal, 61(1), 4-10.
Li, X., Li, H., Yang, L., & Ren, Y. (2018). Assessment of soil quality of croplands in the Corn Belt of Northeast China. Sustainability, 10(1), 248.
Lisboa, I. P., Cherubin, M. R., Satiro, L. S., Siqueira-Neto, M., Lima, R. P., Gmach, M. R., ... & Cerri, C. E. (2019). Applying Soil Management Assessment Framework (SMAF) on short-term sugarcane straw removal in Brazil. Industrial Crops and Products, 129, 175-184.
Rahmanipour, F., R. Marzaioli., H.A. Bahrami., Z. Fereidouni., and S.R. Bandarabadi. 2014. "Assessment of soil quality indices in agricultural lands of Qazvin Province, Iran." Ecological indicators 40: 19-26.
Reynolds, Bowman, Drury, Tan, & Lu. (2002). Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. Geoderma, 110(1-2), 131-146.
Sekhon, B. S. (2014). Nanotechnology in agri-food production: an overview. Nanotechnology, science and applications, 7, 31.
Takoutsing, B., Weber, J., Aynekulu, E., Martín, J. A. R., Shepherd, K., Sila, A., ... & Diby, L. (2016). Assessment of soil health indicators for sustainable production of maize in smallholder farming systems in the highlands of Cameroon. Geoderma, 276, 64-73.
Wienhold, B. J., Karlen, D. L., Andrews, S. S., & Stott, D. E. (2009). Protocol for Soil Management Assessment Framework (SMAF) soil indicator scoring curve development. Renew. Agric. Food Syst, 24, 260-266.

Introduction of the Soil Management Assessment Framework

AYOUB AVIZHGAN[*1], HOSSEIN ASADI[2]

1. Department of Soil Sciences and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
2. Department of Soil Sciences and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Abstract

Soil is one of the main sources of agricultural production, therefore, keeping soil quality in a desired level is important for sustainable production and environmental protection. In this regard, the soil management assessment framework (SMAF) can help to evaluate and improve soil quality. The SMAF uses soil physical, chemical and biological indicators data to assess management effects on soil functions using a three-step process including; (1) indicator selection, (2) indicator interpretation and (3) integration into an index. Scoring curve development is a multi-step process of identifying an indicator, determining the nature of the relationship of the indicator to a soil function, programming an algorithm and/or logic statements describing that relationship and validating the resulting scoring curve. This protocol will assist users of the SMAF in understanding how the existing scoring curves were developed. In this review, some of the concepts and terminology of soil quality science is introduced with an emphasis on sustainable agriculture and environmental protection. But the main objective of this article is to introduce the soil management assessment framework as a guide to help achieving sustainable development in Iran.

Keywords: Sustainable agriculture, soil quality, soil indicators, scoring curves.

ارزیابی تشکیل اندوده سطحی و تاثیر آن بر برخی از نشانگرهای کیفیت خاک

ایوب آویژگان *[۱]، حسین اسدی[۲]، محمدحسین محمدی[۲]، منوچهر گرجی اناری[۳]

۱.دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
a.avizhgan@ut.ac.ir

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

چکیده

اندوده سطحی پدیده‌ای ویژه در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه‌خشک با پیامدهای شدید کشاورزی و محیطی است که باعث کاهش تخلخل لایه سطحی و نفوذپذیری، و افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود. این پژوهش با هدف ارزیابی تشکیل اندوده سطحی و اثر آن بر نشانگرهای کیفیت خاک متاثر از آن انجام شد. در این تحقیق، ۴۰ نمونه خاک به صورت مرکب و از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر در کاربری‌های مختلف از اقلیم‌های متفاوت کشور برداشت شد. نتایج نشان داد که به جزء چهار نمونه خاک جنگلی با متوسط کربن آلی حدود ۵/۵ درصد و شاخص اندوده سطحی حدود یک، تمام نمونه خاک‌های مورد مطالعه دارای شاخص اندوده سطحی بیش‌تر از یک و مستعد تشکیل اندوده سطحی بودند. به طور متوسط، در اثر تشکیل اندوده سطحی، ضریب آبگذری و ضریب هواگذری هر دو حدود ۵۸ درصد کاهش یافتند و از لحاظ کیفیت خاک، نمره این دو نشانگر متاثر از اندوده سطحی نیز به ترتیب به طور متوسط حدود ۵۷ و ۶۶ درصد کاهش پیدا کرد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در ارزیابی کیفیت خاک مناطق خشک و نیمه‌خشک، ضروری است تشکیل اندوده سطحی مدنظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: شبیه‌ساز باران، ضریب آبگذری، ضریب هواگذری

مقدمه

اندوده سطحی[۱] یکی از ویژگی‌های بارز اراضی زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود که باعث مشکلات زیادی در امر کشاورزی می‌شود. توسعه اندوده در سطح خاک به ویژگی‌های خاک بستگی دارد، که عمدتا در خاک‌های با مقدار سیلت بالا و مواد آلی کم، معمول است (Zambon et al., 2020). اندوده سطحی در اراضی کشاورزی باعث ایجاد یک لایه متراکم‌تر (معمولا با ضخامت کم‌تر از پنج میلی‌متر) در سطح خاک پس از وقوع بارندگی شدید می‌شود که دلیل آن مسدود شدن منافذ توسط فرایندهای فیزیکی (اثر قطرات باران) یا فرایندهای شیمیایی (پراکنش رس) است (Cherobim et al., 2019). هدایت هیدرولیکی در سطح خاک و ظرفیت نفوذ، دو عامل تعیین کننده‌ی میزان رواناب ناشی از بارندگی هستند که به شدت تحت تاثیر اندوده سطحی قرار دارند (Cherobim et al., 2019). کیفیت خاک عبارت از "توانایی خاک برای ایفای نقش/ کارکردهای خود" است (Karlen et al., 1997). به دلیل این که کیفیت خاک به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست، با استفاده از نشانگرهایی[۲] که همزمان بر یک یا چند کارکرد تاثیرگذار هستند، برآورد می‌شود. نشانگرهای کیفیت خاک ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری خاک هستند که ظرفیت خاک برای تولید محصول یا کارکرد زیست‌محیطی را تحت تاثیر قرار می‌دهند و به تغییر کاربری اراضی، مدیریت یا عملیات حفاظتی حساس می‌باشند (Brejda et al., 2000). ویژگی‌های سطح خاک از مهم‌ترین عوامل کنترل کننده ورود آب و هوا به درون خاک هستند. بنابراین، هدف از این پژوهش، ارزیابی تشکیل اندوده سطحی و اثر آن بر مهم‌ترین نشانگرهای متاثر از بارندگی است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش تعداد ۴۰ نمونه خاک از مناطق اقلیمی متفاوت و درکاربری‌های مختلف به گونه‌ای انتخاب شد که دارای توزیع متفاوت رس و ماده آلی و در نتیجه پایداری خاکدانه گوناگون باشند. نمونه‌برداری از هر منطقه به صورت مرکب و از عمق ۱۰-۰

---

۱ Surface sealing

۲ Indicators

سانتی‌متر انجام گرفت. پس از انتقال به آزمایشگاه، بخشی از نمونه خاک‌های هوا خشک شده جهت اندازه‌گیری پارامترهای معمول از الک دو میلی‌متری و بخشی از آنها جهت آزمایش شبیه‌ساز باران از الک چهار میلی‌متری، عبور داده شد. سپس برخی از ویژگی‌های خاک مانند توزیع اندازه ذرات اولیه خاک (Gee & Or, 2002)، قابلیت هدایت الکتریکی (Rhoades, 1996) و pH (Thomas, 1996) در عصاره اشباع، درصد کربن آلی خاک (Walkley & Black, 1934) تعیین شد.

آزمایش شبیه سازی باران، اندوده سطحی و ضریب هواگذری خاک

به منظور قرار دادن نمونه‌های خاک در معرض بارندگی و محاسبه شاخص اندوده سطحی[۱] از سیلندرهای فلزی با ارتفاع و قطر پنج سانتی‌متر استفاده شد. شاخص اندوده سطحی با استفاده از معادله ۱ و با اندازه‌گیری ضریب آبگذری خاک به روش بار ثابت (Klute & Dirksen, 1986) در دو حالت، برآورد شد:

$$SI = \frac{K_{sb}}{K_{sa}} \quad (۱)$$

که در آن؛ Ksb: ضریب آبگذری قبل از اعمال بارندگی (قبل از تشکیل اندوده سطحی) و Ksa: ضریب آبگذری بعد از اعمال بارندگی (بعد از تشکیل اندوده سطحی) است (Roth et al., 1992).

برای شبیه‌سازی باران از یک صفحه با نازل‌های قطره‌ساز به طول ۸۰cm، عرض ۶۰cm و ارتفاع ۲۷۰cm استفاده شد. برای آزمایش اندوده سطحی، شدت بارندگی حدود ۷۰ میلی‌متر در ساعت تنظیم شد، سیلندرهای فلزی حاوی خاک به مدت ۱۵ دقیقه تحت بارندگی قرار گرفت. ابتدا به منظور کنترل جریان ترجیحی، جدار داخلی سیلندرهای فلزی با یک لایه نازک گریس پوشانده شد. سپس خاک عبور داده شده از الک چهار میلی‌متری به دلیل امکان بررسی دقیق میزان تخریب خاکدانه‌ها (Assouline & Ben-Hur, 2006) بدون فشردگی داخل سیلندرها ریخته شد. نمونه‌های آماده شده به مدت ۴۸ ساعت با محلول کلسیم‌کلراید ۰/۰۱ مولار به آرامی از زیر اشباع شد. به منظور جلوگیری از تبخیر، سطح خاک در طول شب با استفاده از نایلون پوشیده شد. پس از اطمینان از اشباع شدن کامل نمونه‌های خاک، ضریب آبگذری به روش بار ثابت (Klute and Dirksen, 1986) اندازه‌گیری شد. سپس اجازه داده شد تا آب ثقلی نمونه‌ها خارج شود. آزمایش شبیه‌ساز باران پس از قطع زه‌آب، انجام شد. بعد از اعمال بارندگی، دوباره ضریب آبگذری به روش بار ثابت اندازه‌گیری شد. این آزمایش با سه تکرار انجام شد.

ضریب هواگذری خاک در نمونه‌های دارای و فاقد اندوده سطحی درون سیلندرهای فلزی، در مکش ۸۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. به این منظور، سیلندرهای فلزی دارای و فاقد اندوده سطحی در جعبه‌شنی در مکش ۸۰ سانتی‌متر برای رسیدن به تعادل به مدت سه روز قرار گرفتند سپس ضریب هواگذری با روش (Mohammadi & Vanclooster, 2019) و با سه تکرار اندازه‌گیری شد.

استانداردسازی و نمره‌دهی نشانگرهای ضریب آبگذری و ضریب هواگذری

برای نمره‌دهی و استانداردسازی داده‌های اندازه‌گیری شده دو نشانگر ضریب آبگذری و ضریب هواگذری به عنوان مهم‌ترین نشانگرهای کیفیت خاک متاثر از اندوده سطحی از تابع نمره‌دهی استاندارد[۲] استفاده شد (Askari & Holden, 2015). براساس این روش، نشانگرهای ضریب آبگذری و ضریب هواگذری هر دو جز دسته؛ بیش‌تر- بهتر قرار می‌گیرند. تابع نمره‌دهی نشانگرهای مختلف کیفیت خاک به روش غیرخطی به صورت معادله ۲ می‌باشد:

$$S_{NL} = \frac{a}{1+\left(\frac{x}{x_0}\right)^b} \quad (۲)$$

در این معادله، S_{NL} نمره غیرخطی نشانگر موردنظر می‌باشد که بین صفر تا یک متغیر است، x: مقدار متغیر اندازه‌گیری شده، a: حداکثر نمره متغیر اندازه‌گیری شده که برابر یک است، x_0: میانگین متغیر اندازه‌گیری شده و b: شیب معادله که برای نشانگرهای هرچه بیش‌تر-بهتر برابر ۲/۵- و برای نشانگرهای هرچه کم‌تر-بهتر برابر ۲/۵ می‌باشد (Sinha et al., 2009; Zhang et al., 2011).

---

[۱] Sealing index (SI)

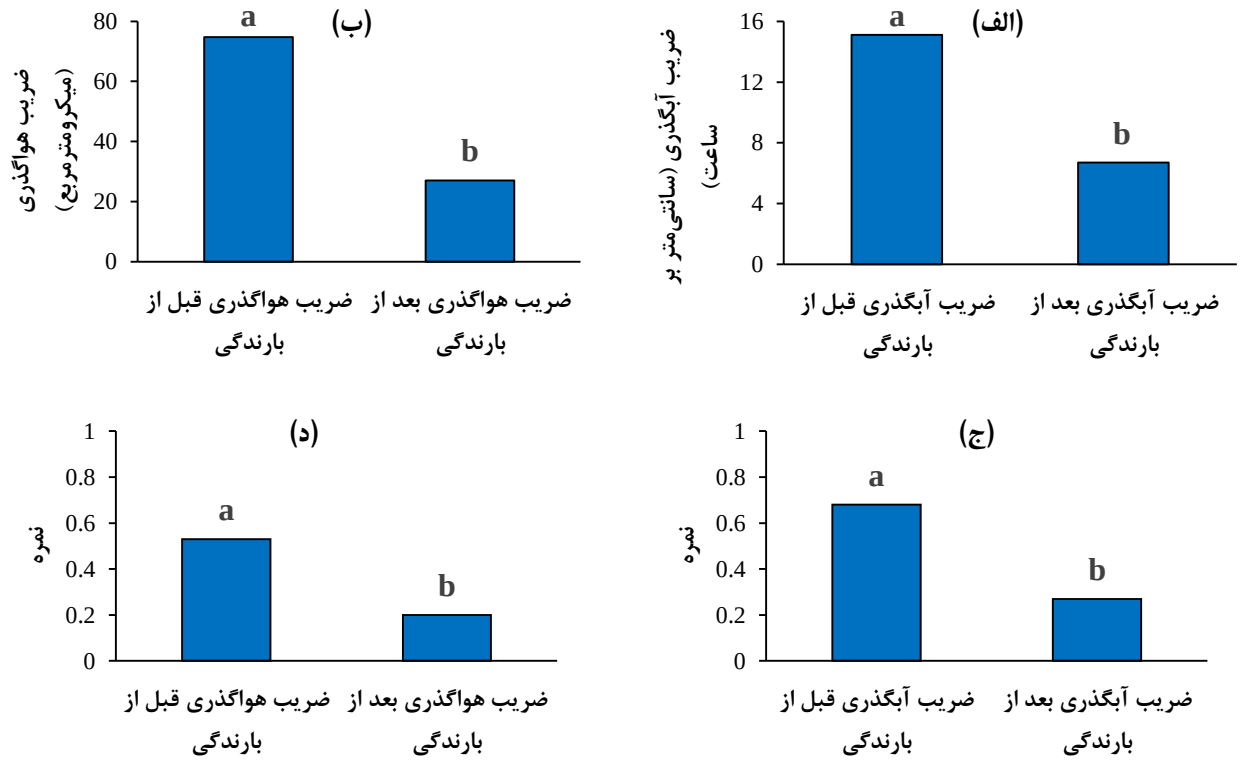
[۲] Standard scoring functions

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مقایسه شاخص اندوده سطحی با میزان کاهش ضریب آبگذری و ضریب هواگذری در اثر تشکیل اندوده سطحی بعد از اعمال بارندگی در جدول ۱ آمده است. نمونه خاک های جنگلی با درصد کربن آلی ۲/۹۳، ۶/۶۳ و ۷/۴۱ با شاخص اندوده سطحی کمتر از یک، دارای کم ترین میزان کاهش (تقریبا بدون تغییر) ضریب آبگذری و ضریب هواگذری بعد از اعمال بارندگی هستند که بیانگر عدم تشکیل اندوده سطحی در این نمونه‌ها است. در مقابل، نمونه خاک های با درصد کربن آلی ۰/۴۳، ۰/۵۸، ۰/۷۳، ۰/۹۲، ۱/۵۶، ۱/۶۰، ۱/۸۰ و ۲/۲۹ با شاخص اندوده سطحی بیش‌تر از ۵ که حساس‌ترین خاک‌ها به تشکیل اندوده سطحی بودند، دارای بیش‌ترین میزان کاهش ضریب آبگذری و ضریب هواگذری هستند. در این خاک‌ها، بعد از تشکیل اندوده سطحی ضریب آبگذری و ضریب هواگذری به طور متوسط به ترتیب حدود ۸۴ و ۷۲ درصد کاهش پیدا کرد و در مجموع ضریب آبگذری و ضریب هواگذری هر دو ۵۸ درصد کاهش یافتند (حالت الف و ب شکل ۱). از لحاظ کیفیت خاک، کیفیت این دو نشانگر به عنوان مهم‌ترین نشانگرهای متاثر از اندوده سطحی نیز به ترتیب به طور متوسط حدود ۵۷ و ۶۶ درصد کاهش یافتند (حالت ج و د شکل ۱).

جدول ۱- تاثیر اندوده سطحی بر ضریب آبگذری و ضریب هواگذری

درصد کربن آلی	شاخص اندوده سطحی	درصد کاهش ضریب آبگذری	درصد کاهش ضریب هواگذری	درصد کربن آلی	شاخص اندوده سطحی	درصد کاهش ضریب آبگذری	درصد کاهش ضریب هواگذری
۰/۱۹	۴/۲۲	۷۶/۳	۷۷/۱	۰/۸۷	۲/۶۹	۶۲/۹	۸۹/۴
۰/۲۴	۲/۹۵	۶۶/۱	۷۵/۹	۰/۹۲	۶/۲۶	۸۴	۷۹/۹
۰/۲۴	۴/۳۵	۷۷	۸۳/۳	۰/۹۲	۴/۸۵	۷۹/۴	۷۶/۹
۰/۳۴	۱/۶۶	۳۹/۸	۲۰/۸	۰/۹۷	۲/۷۳	۶۳/۵	۸۷/۹
۰/۴۳	۳/۱۱	۶۷/۹	۵/۴	۱/۰۲	۱/۹۶	۴۹	۷۸/۹
۰/۴۳	۵/۴۱	۸۱/۵	۴۲/۴	۱/۴۱	۲/۰۸	۵۲/۱	۶۳/۶
۰/۴۳	۲/۴۵	۵۹/۲	۸۱/۴	۱/۴۶	۲/۴۹	۵۹/۹	۶۰/۳
۰/۵۳	۳/۲۶	۶۹/۴	۸۰	۱/۵۱	۴/۹۹	۸۰	۹۲/۹
۰/۵۳	۳/۰۱	۶۶/۸	۵۷	۱/۵۶	۵/۱۳	۸۰/۵	۸۸/۳
۰/۵۳	۲/۱۹	۵۴/۴	۸۲/۶	۱/۵۶	۳/۳۷	۷۰/۴	۵۶/۱
۰/۵۸	۳/۱۶	۶۸/۴	۶۹	۱/۶۰	۵/۹۴	۸۳/۲	۶۵/۸
۰/۵۸	۲/۷۲	۶۳/۳	۵۴/۳	۱/۸۰	۷/۱۰	۸۵/۹	۷۰/۱
۰/۵۸	۷/۱۶	۸۶	۹۱/۷	۲/۰۹	۱/۱۳	۱۱/۸	۳۱/۴
۰/۶۳	۱/۸۲	۴۵/۲	۴۲/۵	۲/۰۹	۲/۲۷	۵۵/۹	۸۳/۶
۰/۶۸	۱/۰۳	۳/۲	۱۳/۵	۲/۲۹	۷/۵۳	۸۶/۷	۸۷/۲
۰/۷۳	۶/۵۳	۸۴/۷	۴۷/۸	۲/۴۸	۳/۵۳	۷۱/۷	۲۷
۰/۷۳	۱/۴۸	۳۲/۶	۵۷	۲/۹۳	۰/۹۲	۲/۷	۲/۸
۰/۷۳	۲/۰۳	۵۰/۸	۷۲/۸	۴/۹۰	۱/۲۵	۲۰/۳	۲۱/۷
۰/۸۲	۳/۹۴	۷۴/۶	۸۷/۵	۶/۶۳	۰/۷۳	۰/۴	۰/۲
۰/۸۷	۴/۵۷	۷۸/۱	۱۶/۷	۷/۴۱	۰/۸۵	۳/۱	۰



شکل ۱- اثر اندوده سطحی بر الف) مقدار نشانگر ضریب آبگذری، ب) مقدار نشانگر ضریب هواگذری، ج) نمره نشانگر ضریب آبگذری و د) نمره نشانگر ضریب هواگذری هواگذری (میانگین‌هایی که با حروف متفاوت نشان داده شده‌اند براساس آزمون t در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌دار هستند)

نتیجه‌گیری

برای ارزیابی کیفیت خاک باید ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک به عنوان نشانگرهای کیفیت خاک، به درستی اندازه‌گیری و نمره‌دهی شوند. نتایج مطالعه خاک‌های مناطق اقلیمی متفاوت و در کاربری‌های مختلف نشان داد که شاخص اندوده سطحی به عنوان یکی از نشانگرهای متاثر از بارندگی و در نتیجه نشانگرهای متاثر از آن از جمله ضریب آبگذری و ضریب هواگذری در خاک‌ها و کاربری‌های مختلف، متغیر است که این میزان تغییر شاخص اندوده سطحی در خاک‌های جنگلی حداقل است و ضریب آبگذری و ضریب هواگذری نسبت به قبل از تشکیل اندوده سطحی به طور معنی‌داری کاهش پیدا کردند، همچنین نمره این دو نشانگر به ترتیب به طور متوسط حدود ۵۷ و ۶۶ درصد کاهش یافتند. نتایج نشان داد که عدم در نظر گرفتن نشانگرهای ضریب آبگذری و ضریب هواگذری متاثر از تشکیل اندوده سطحی منجر به بیش برآوردی و نمره‌دهی نادرست در هر دو نشانگر خواهد شد، بنابراین هرچه احتمال تشکیل اندوده سطحی بیش‌تر باشد، خطای نمره‌دهی نشانگرهای متاثر از آن نیز بیش‌تر خواهد بود. بنابراین می‌توان گفت که نشانگرهای کیفیت خاک فقط توسط فعالیت‌های انسان تحت تاثیر قرار نمی‌گیرند، بلکه توسط فرآیندهایی که در اثر بارندگی تشکیل می‌شوند از جمله اندوده سطحی و در نتیجه نشانگرهای متاثر از این فرآیند از جمله ضریب آبگذری و ضریب هواگذری نیز تحت تاثیر قرار خواهند گرفت. بنابراین اندازه‌گیری و نمره‌دهی اندوده سطحی به عنوان یکی از مهم‌ترین نشانگرهای متاثر از بارندگی برای ارزیابی کیفیت خاک ضروری است.

منابع

Askari, M. S., & Holden, N. M. (2015). Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems. Soil and Tillage Research, 150, 57-67.

Assouline, S., & Ben-Hur, M. (2006). Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. Catena, 66(3), 211-220.

Brejda, J. J., Moorman, T. B., Karlen, D. L., & Dao, T. H. (2000). Identification of regional soil quality factors and indicators I. Central and Southern High Plains. Soil Science Society of America Journal, 64(6), 2115-2124.

Cherobim, V. F., Favaretto, N., Rumbelsperger, A. M. B., & Huang, C.-H. (2019). Soil surface sealing by liquid dairy manure as analysed by X-ray computed tomography. Agricultural water management, 213, 742-748.

Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle- size analysis. Methods of soil analysis: Part 4 physical methods, 5, 255-293.

Karlen, D., Mausbach, M., Doran, J., Cline, R., Harris, R., & Schuman, G. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Science Society of America Journal, 61(1), 4-10.

Mohammadi, M. H., & Vanclooster, M. (2019). A simple device for field and laboratory measurements of soil air permeability. Soil Science Society of America Journal, 83(1), 58-63.

Rhoades, J. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods, 5, 417-435.

Sinha, S., Masto, R., Ram, L., Selvi, V., Srivastava, N., Tripathi, R., & George, J. (2009). Rhizosphere soil microbial index of tree species in a coal mining ecosystem. Soil Biology and Biochemistry, 41(9), 1824-1832.

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. Methods of Soil Analysis: Part 3 Chemical Methods, 5, 475-490.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37(1), 29-38.

Zambon, N., Johannsen, L. L., Strauss, P., Dostal, T., Zumr, D., Cochrane, T. A., & Klik, A. (2020). Splash erosion affected by initial soil moisture and surface conditions under simulated rainfall. *Catena*, *196*, 104827.

Zhang, C., Xue, S., Liu, G.-B., & Song, Z.-L. (2011). A comparison of soil qualities of different revegetation types in the Loess Plateau, China. Plant and Soil, 347(1-2), 163-178.

Assessment of Surface Sealing Formation and Its Effect on some Soil Quality Indicators

AYOUB AVIZHGAN[*1], HOSSEIN ASADI[1], MOHAMMAD HOSSEIN MOHAMMADI[1], MANOCHEHR GORJI ANARI[1]

1. Department of Soil Sciences and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran,
Karaj, Iran.

Abstract

Surface sealing is a special phenomenon in most arid and semi-arid regions with severe agricultural and environmental consequences that reduces the porosity of soil surface and infiltration, and increases runoff and soil erosion. The aim of this study was to evaluate formation of surface sealing and its and its effect on the indicators of soil quality affected by it. In this study, 40 soil samples (0-10 cm) were collected from different land uses from different climates of Iran. The results showed that except four forest soil samples with mean organic carbon of 5.5% and SI>1, all soil samples were prone to seal formation. Also, due to seal formation, both K_s and K_a were reduced in average by 58%, and in terms of soil quality, the scores of these two indicators were reduced by 57% and 66%, respectively. The results of this research show that the formation of soil surface sealing would be consider when evaluating soil quality of arid and semiarid regions.

Keywords: Rainfall Simulation, Saturated Hydraulic Conductivity, Air Permeability Coefficient

مقایسه کارایی دو روش ارزیابی بصری ساختمان خاک در برخی اراضی کشاورزی استان زنجان

زهرا خاصی[۱]، محمد صادق عسکری*[۲]، ستاره امانی فر[۲]، کامران مروج[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
*-نویسنده مسئول: محمد صادق عسکری askari@znu.ac.ir

چکیده

روش‌های ارزیابی بصری خاک قابلیت خوبی برای ارزیابی تاثیر روش‌های مدیریتی بر کیفیت خاک نشان داده‌اند. علی‌رغم مطالعاتی که در سراسر دنیا با استفاده از روش‌های بصری کیفیت خاک انجام شده است، پژوهش‌های کمی جهت ارزیابی حساسیت این روش‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک وجود دارد. هدف این پژوهش مقایسه کارایی دو روش ارزیابی بصری ساختمان خاک جهت بررسی کیفیت فیزیکی خاک و توان تولید محصولات زراعی در دو کاربری دیم و آبی است. برای انجام این پژوهش، ۳۰ مزرعه در دو کاربری دیم و آبی انتخاب شد و دو روش Visual Evaluation of Soil Structure و Double Spade در اراضی کشاورزی انتخاب شده اجرا شد. نتایج این دو روش در کاربری دیم و آبی و همینطور بین سه سطح تولید محصول خوب، متوسط و ضعیف مقایسه شد. این پژوهش نشان داد هر دو روش می توانند ابزارهای کاربردی و ساده‌ای را برای ارزیابی سریع تاثیر عملیات مدیریتی بر کیفیت خاک به منظور جلوگیری از کاهش محصول در اراضی کشاورزی استان زنجان و مناطقی با شرایط و خاک‌های مشابه فراهم کنند.

واژگان کلیدی: ارزیابی بصری، کاربری کشاورزی، کیفیت خاک

مقدمه

ارزیابی تاثیر عملیات مدیریتی بر کیفیت فیزیکی خاک در زیست‌بوم‌های کشاورزی نیاز به رویکردهای مناسب جهت درک بهتر ارتباط بین ویژگی‌های مشخصه خاک، فرآیندهای خاک، خدمات اکوسیستم و تخریب خاک دارد (Shepherd, 2009). در این ارتباط توسعه روش‌های علمی، دقیق و سریع ارزیابی فیزیکی خاک و برآورد میزان تخریب اراضی زراعی در مناطق نیمه خشک جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است(Sanchez *et al.*, 2005). توصیف و کمی سازی دقیق شرایط خاک یکی از مؤلفه‌های اصلی ارزیابی کارائی چنین روش‌های محسوب می شود (Mueller *et al.*, 2012). ساختمان و کیفیت فیزیکی خاک یکی از ابعاد مهم کیفیت کلی خاک بشمار می رود (Askari *et al.*, 2015). طی دو دهه گذشته، روش‌های بصری ارزیابی ساختمان خاک، توجه بسیاری در مناطق مختلف جهان به خود جلب کرده است به ویژه جهت بررسی تاثیر روش‌های مدیریتی از جمله تاثیر عملیات متداول کشاورزی، خاکورزی حفاظتی و ملاحظات زیست‌محیطی در زیست‌بوم‌های کشاورزی(Ball *et al.*, 2017). نظارت بر تغییرات فیزیکی و ساختمان خاک با استفاده از روش‌های ارزیابی بصری می تواند به دانشمندان، مشاوران و کشاورزان در تصمیم گیری مناسب‌تر در ارتباط با مدیریت پایدار خاک کمک کند. ارزیابی بصری کیفیت خاک (VSA) یک چارچوب کاربردی برای بررسی شرایط خاک و ارزیابی تاثیر روش‌های مدیریتی در برخی مناطق دنیا فراهم کرده است. روش‌های بصری در برگیرنده برخی از مهمترین شناسه‌های کیفیت خاک از قبیل ساختمان خاک، عمق توسعه ریشه ها، ذخیره رطوبت و شیب اراضی و یا شناسه‌های مرتبط با تهدیدات آلودگی، خشکسالی و سیلاب بوده و می‌تواند با اطلاعات اقلیمی ترکیب شده تا یک روش رتبه بندی دقیق برای بررسی چند منظوره کیفیت خاک فراهم کنند (Mueller *et al.*, 2012).

چالش‌هایی مرتبط با خاک در استان زنجان در ارتباط با مسائل زیست‌محیطی و سلامت انسان، تخریب و فرسایش خاک و عدم حفظ توانایی تولید خاک، بر لزوم تهیه و توسعه یک روش دقیق و سریع جهت ارزیابی چندمنظوره کیفیت خاک برای بررسی تاثیر روش‌های مدیریتی موجود تأکید می‌کند. بنابراین تحقیق حاضر به منظور یافتن پاسخ برای این نیازها و مسائل تعریف شده و هدف از اجرای آن، ارزیابی دو روش بصری کیفیت خاک، (Visual Evaluation of Soil Structure (VESS و Double Spade (DS) در اراضی کشاورزی استان زنجان به عنوان یک ابزار سریع و دقیق برای مدیریت پایدار خاک و توسعه کشاورزی پایدار در این استان است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان زنجان انجام شد. این استان در ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی خط استوا، با مساحتی نزدیک به ۲۲۱۶۴ کیلومترمربع قرار گرفته است. این تحقیق در دو کاربری دیم و آبی اجرا شد و انتخاب مناطق نمونه برداری به گونه‌ای انجام شد که حتی‌الامکان قطعه‌ای ۳-۱ هکتاری با مدیریت واحد بوده و تغییرات شدید همانند تغییر کاربری و تسطیح اراضی در طول مطالعه در آن انجام نگیرد. برای انتخاب پایگاه-های نمونه‌برداری، از اطلاعات جانبی دیگری نظیر نوع کاربری اراضی، جهت و میزان شیب زمین، نقشه خاک‌های استان، اقلیم، اطلاعات زمین‌شناسی و غیره نیز استفاده می‌شود. طی مطالعات میدانی از سایت‌های نمونه‌برداری اطلاعات مدیریتی شامل مدیریت کوددهی، تناوب اعمال شده در مزارع، عملکرد محصولات کشت شده و سایر اطلاعات مدیریتی، ثبت شد.

نقاط نمونه برداری با توجه به روش پیشنهاد شده توسط Askari *et al.*(2013) برای انجام مطالعات بصری انتخاب شد. به طور خلاصه در هر مزرعه یک پلات با ابعات ۳۰ در ۳۰ متر انتخاب و نمونه برداری های بصوت تصادفی در ۵ نقطه از این پلات انجام و میانگین نتایج برای آن مزرعه گزارش شد. در هر سایت روش VESS و DS مطابق با دستور العمل ارائه شده توسط Askari *et al.*(2013) و Emmet-Booth *et al.*(2019) انجام خواهد شد. نتایج این دو روش در کاربری دیم و آبی و همینطور بین سه سطح تولید محصول خوب، متوسط و ضعیف (به‌ترتیب ۸ ، ۵ و ۲ تن در هکتار در کاربری آبی و ۲/۵، ۱/۲ و ۰/۵ تن در هکتار در کاربری دیم) انجام شد. تجزیه‌های آماری، آنالیزهای چندمتغیره، روش‌های طبقه‌بندی و روش‌های تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم-افزارهای SPSS و R انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد و برای رسم نمودارها، محاسبات و معادلات، نرم‌افزار Excel مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۱ توصیف آماری نمرات دو روش بصری (VESS و DS) اجرا شده در دو کاربری آبی و دیم را نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار شاخص‌های VESS و DS در کاربری دیم و کمترین مقدار این شاخص‌ها در کاربری آبی مشاهده شد. بر اساس نتایج، هر دو شاخص VESS و DS اختلاف معنی‌داری ($p < ۰/۰۰۱$) در دو کاربری دیم و آبی داشتند. روش VESS قدرت تفکیک‌کنندگی بالاتری(t-value = ۳/۴۴) نسبت به روش DS (t-value=۲/۲۸) برای مقایسه کیفیت خاک در دو کاربری دیم و آبی داشت.

جدول۱- نتایج آزمون t با سطح اطمینان 95 درصد برای شاخصهای بصری خاک در دو کاربری دیم و آبی

شاخص بصری کیفیت خاک	میانگین امتیاز در کشت آبی	میانگین امتیاز در کشت دیم	t-value	سطح معنی داری (p-value)
VESS	۲/۲	۲/۸	۳/٤٤	۰/۰۰۲
DS	۲/۵	۲/۹	۲/۲۸	۰/۰۰۰

جدول۲- نتایج تجزیه واریانس شاخصهای بصری بین سه سطح تولید پایین، متوسط و خوب

کاربری	روش بصری	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	F-value	P-value
دیم	VESS	۲/۲	۳/۳	۲/۸	۰/۳۹	۵۴/۸	۰/۰۰۰
	DS	۲/۳	۳/۵	۲/۹	۰/۴۰	۱۲/۲	۰/۰۰۱
آبی	VESS	۱/۵	۲/۹	۲/۲	۰/۴۷	۷۱/۱	۰/۰۰۰
	DS	۱/۹	۳/۴	۲/۵	۰/۴۶	۳۱/۵	۰/۰۰۰

برخلاف نتایج Emmet-Booth *et al.*(2019)، این پژوهش نشان داده که روشVESS قابلیت بیشتری برای ارزیابی تاثیر روشهای مدیریتی در شرایط خاک در اراضی کشاورزی استان زنجان دارد. روش VESS در پژوهش‌های دیگر نیز به عنوان روش مؤثری برای ارزیابی کیفیت فیزیکی خاک در کاربری‌ها و مدیریت‌های مختلف کشاورزی معرفی شده است (Valani *et al.*, 2020; Çelik *et al.*, 2020).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روشهای ارزیابی بصری ساختمان خاک قابلیت خوبی برای بررسی شرایط خاک در اراضی کشاورزی استان زنجان نشان دادند. نتایج مقایسه و ارزیابی نمرات روشهای بصری نشان داد که هر دو روش VESS و DS حساسیت کافی برای تشخیص تفاوت کیفیت فیزیکی خاک بین دو کاربری دیم و آبی و سطوح مختلف تولید زراعی را داشتند. روش DS شرایط فیزیکی خاک در اعماق پایینتر از ۲۰ سانتی متر را هم بررسی می کند که معمولا در ارزیابی کمی متداول بررسی نمی‌شوند. استفاده از دو روشVESS و DS می تواند ابزارهای کاربردی و ساده ای را برای ارزیابی سریع تاثیر روش‌های مدیریتی بر کیفیت خاک به منظور جلوگیری از کاهش محصول در اراضی کشاورزی استان زنجان و مناطقی با شرایط و خاک‌های مشابه این استان فراهم کند.

فهرست منابع

Askari, M.S., Holden, N.M., (2015). Quantitative soil quality indexing of temperate arable management systems Soil and Tillage Research, 150, 57–67.

Askari, M.S., Cui, J., Holden, N.M., (2013). The visual evaluation of soil structure under arable management. Soil and Tillage Research, 134 (2013), 1-10

Ball, B.C., Guimarães, R.M.L., Cloy, J.M., Hargreaves, P.R., Shepherd, T.G., McKenzie, B.M., (2017). Visual soil evaluation: a summary of some applications and potential developments for agriculture, Soil and Tillage Research, 173, 114–124.

Çelik, İ, Günal, H, Acar, M, Acir, N, Bereket Barut, Z, Budak, M. (2020) Evaluating the long-term effects of tillage systems on soil structural quality using visual assessment and classical methods. Soil Use and Management, 36: 223– 239. https://doi.org/10.1111/sum.12554

Emmet-Booth, J. P., Forristal, P. D., Fenton, O., Bondi, G., & Holden, N. M. (2019). Visual soil evaluation–Spade vs. profile methods and the information conveyed for soil management. Soil and Tillage Research, 187, 135-143.

Mueller, L., Schindler, U., Shepherd, T.G., Ball, B.C., Smolentseva, E., Hu, C., Hennings, V., Schad, P., Rogasik, J., Zeitz, J., Schlindwein, S.L., Behrendt, A., Helming, K., Eulenstein, F., (2012). A framework for assessing agricultural soil quality on a global scale. Archives of Agronomy and Soil Science 58(sup1), S76-S82.

Sanchez, P.A., Swaminathan, M.S., (2005). Hunger in Africa: the link between unhealthy people and unhealthy soils. The Lancet, 365(9457), 442-444.

Shepherd, T.G., (2009). Visual Soil Assessment, Field guid for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country. Horizons Regional Council, Palmerston North volume 1, 119p.

Valani, G. P., Vezzani, F. M., & Cavalieri-Polizeli, K. M. V. (2020). Soil quality: Evaluation of on-farm assessments in relation to analytical index. Soil and Tillage Research, 198, 104565

Comparing the efficiency of two methods of visual evaluation of soil structure in some agricultural lands of Zanjan province

Zahra khasi[1], Mohmmad Sadegh Askari[2*], Setareh Amanifar[2], Kamran Moravej[2]
1-M.Sc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan
2-Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.
[*]Corresponding author email: askari@znu.ac.ir

Abstract

Visual soil assessment methods have shown good ability to assess the impact of management operations on soil quality. Despite studies conducted around the world using visual methods of soil quality, there are few studies that evaluate the sensitivity of these methods in arid and semi-arid regions. The aim of this study was to compare the efficiency of two methods of visual evaluation of soil structure, for assessing the physical soil quality and crop production under rain-fed and irrigated land uses. For this study, 30 farms were selected in rain-fed and irrigated land uses and two methods of Visual Evaluation of Soil Structure (VESS) and Double Spade (DS) were conducted in selected agricultural lands. The results of these two methods were compared between rain-fed and irrigated land uses as well as among three levels of good, medium and poor crop production. This research showed that both methods could provide practical and simple tools for rapid evaluation of the impact of management operations on soil quality in order to prevent yield decline in agricultural lands of Zanjan and the areas with similar conditions and soils.

Keywords: Visual evaluation, Agricultural land use, Soil quality.

بررسی اثر ویژگی‌های خاک و کاربری زمین بر شاخص‌های ساختمان خاک در منطقه حاشیه جنگل خانقاه نمین استان اردبیل

زهرا کریم زاده[۱] ، حسین شهاب آرخازلو[۲]، علی اشرف سلطانی طولارود[۳]، شکراله اصغری[۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
z.karimzadeh97@gmail.com

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر کیفیت فیزیکی خاک و عملکرد مطلوب آن، پایداری ساختمان خاک می‌باشد. در این مطالعه به منظور بررسی اثر برخی ویژگی‌های خاک شامل OC، آهک، درصد ذرات شن، سیلت و رس خاک وکاربری زمین بر ساختمان آن، ۷۲ نمونه خاک از دو کاربری کشاورزی و مرتع در منطقه حاشیه جنگل برداشته شد. سپس همبستگی بین ویژگی‌های خاک و شاخص‌های MWD تر و خشک، GMD و SI با ویژگی‌های خاک بررسی شد. همچنین مقایسه میانگین شاخص‌های ساختمان خاک بین دو کاربری انجام گردید. نتایج نشان داد که شاخص GMD با همه ویژگی‌های بررسی شده خاک همبستگی معنی‌دار داشت. همچنین اختلاف کم بین MWD خشک (۳/۱۴) و MWD تر (۴/۱۶) نشان‌دهنده پایداری بالای ساختمان خاک و مقاومت آن در برابر تخریب در اثر مرطوب شدن است. نتایج مقایسه میانگین بین کاربری‌ها نشان داد شاخص SI بیشترین تغییر در اثر کاربری زمین را نشان‌می‌دهد.

واژگان کلیدی: پایداری ساختمان خاک، میانگین وزنی قطرخاکدانه‌ها، میانگین هندسی قطرخاکدانه‌ها، کاربری زمین

مقدمه

ساختمان خاک، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک است که در بلند مدت تحت تاثیر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و عوامل اکولوژیکی و انسانی قرار می‌گیرد (برزگر،۱۳۸۰). همچنین ساختمان خاک با اثر بر چرخه عناصرغذایی از جمله کربن، جذب، ذخیره و حرکت آب، گرما و تهویه خاک، مقاومت مکانیکی و مقاومت در برابر فرسایش، در رشد گیاه و تولید بهینه محصول نقش بسزایی دارد (Diaz-Zorita et al, 2002). ساختمان خاک را می‌توان با شاخص پایداری ساختمان (SI[۱])، میانگین وزنی قطرخاکدانه‌ها (MWD[۲]) تر و خشک، میانگین هندسی قطرخاکدانه‌ها (GMD[۳]) بررسی نمود. این شاخص‌ها در تعیین مقدار و توزیع اندازه منافذ خاک و حساسیت خاک به فرسایش آبی و بادی نیز دارای اهمیت بسیار هستند (Jury ,1991 and Gardner). پایداری ساختمان خاک شاخص دقیقی برای ارزیابی کیفیت خاک در بهبود مدیریت پایدار استفاده از زمین است (Carter et al, 1994). مطالعه این شاخص ها نه تنها در اراضی کشاورزی بسیار مفید است، بلکه در مراتع، دیمزارها و جنگل‌ها و به طور کلی در هر اکوسیستم خشکی حائز اهمیت است (Doran et al, 1996). در مورد تأثیر ویژگی‌های ذاتی خاک از جمله ماده آلی، رس و کربنات کلسیم بر پایداری ساختمان خاک پژوهش‌های زیادی انجام گرفته است (Bronick and Lal, 2005). بسیاری از پژوهش‌ها نقش مثبت مواد آلی را در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها نشان دادند (Boix-Fayos et al,2001). شهاب و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که افزایش کربن آلی می‌تواند توزیع اندازه منافذ را بهبود بخشد که به دنبال آن کیفیت خاک نیز بهتر خواهد شد. مقایسه میانگین شاخص‌های فیزیکی نشان داد که میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های مرطوب، شاخص پایداری، در کاربری اراضی

[1]Stability Index
[2]Mean Weighted Diometer
[3]Geometric Mean Diameter

کشاورزی نسبت به کاربری اراضی مرتعی کمتر است. Lynch and Brag (1985) گزارش کردند که ماده آلی در خاک در شکل گیری و پایداری خاکدانه اثر مثبت دارد. Gerzabek et al (1995) در یک آزمایش بلند مدت (۳۸ سال) نشان دادند که به واسطه افزایش هوموس و کربن آلی خاک افزایش معنی‌داری در مقدار پایداری خاکدانه ها ایجاد شده است، به گونه ای که در کرت های تیمار کود حیوانی، پایداری ساختمان خاک بیشتر از کرت‌های شاهد بوده است. خزائی و همکاران (۱۳۷۸) به ترتیب مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم را از عوامل مؤثر بر پایداری خاکدانه‌های برخی از خاک‌های کشاورزی استان همدان تشخیص دادند. بهادری (۱۳۸۸) نیز روابط معنی‌داری با برخی از ویژگی‌ها (ماده آلی، رس، GMD و MWD بی‌کربنات کلسیم معادل، غلظت الکترولیت و سدیم تبادلی) در خاک‌های شور و سدیمی به دست آورد. Chaney and Swift (1984) با پژوهشی در خاک‌های بریتانیا، بیان داشتند که بین پایداری خاکدانه‌ها و ذرات اولیه خاک (رس، سیلت و شن)، رابطه معنی‌داری وجود نداشت، ولی ماده آلی از مهم‌ترین عوامل در وضعیت پایداری خاکدانه‌ها بود. این پژوهش روی خاک‌های حاشیه جنگل منطقه خانقاه نمین واقع در استان اردبیل (با اقلیم نیمه مرطوب) انجام شد و هدف از آن ارزیابی پایداری ساختمان خاک‌های منطقه در کاربری‌های مختلف و ارتباط این شاخص‌ها با خصوصیات ذاتی و کاربری خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه‌ای به مساحت حدود ۲۰۸ هکتار در اطراف روستای خانقاه شهرستان نمین واقع در استان اردبیل انجام شد. منطقه مورد مطالعه در محدوده جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۵ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و۳۳ دقیقه و ۳۶ ثانیه طول شرقی قرار دارد. میانگین دما و بارندگی این منطقه به ترتیب ۹/۴ درجه سانتی گراد و ۲۹۱ میلی‌متر می‌باشد. به منظور انجام این تحقیق، در فصل پاییز نمونه برداری از خاک منطقه به روش شبکه‌بندی منظم و با فواصل حدود ۲۰۰ متر در منطقه مورد مطالعه انجام شد که به این ترتیب از ۷۲ نقطه نمونه‌های خاک تهیه شد. تعداد ۵۳ نمونه خاک از اراضی مرتعی و ۱۹ نمونه خاک از زمین-های کشاورزی تهیه شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی متداول خاک شامل کربنات کلسیم کل معادل بر اساس روش تیتراسیون برگشتی با اسید و باز (Page et al.,1982)، ماده آلی به روش اکسیداسیون تر Walkley and Black (1934) و بافت خاک (درصد ذرات شن، سیلت و رس) به روش هیدورمتری (Gee and Orr, 2002) اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه گیری میانگین وزنی قطر(MWD)، از دو روش الک تر (شیوه مرطوب کردن سریع)(Kemper and Rosenau, 1986) و روش الک خشک استفاده شد (Kay, 2000). به منظور انجام الک تر ابتدا خاک هوا خشک شده بدون کوبیدن از الک ۸ میلی متری عبور داده شد. ۵۰ گرم از خاک الک شده (صفر تا ۸ میلی متری سطح خاک) روی یک سری الک (به ترتیب از بالا به پایین ۲،۱، ۰/۵، ۰/۲۵، ۰/۱۰۶ میلیمتر) به طور یکنواخت ریخته شده و در درون آب تکان داده شد (بالا و پایین برده شد). پنج دقیقه مناسب ترین زمان برای انجام آزمایش الک تر است (خزائی، ۱۳۸۷). پس از پایان الک کردن، الک‌ها به آرامی از آب خارج شده، خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک شسته و در آون در دمای ۱۰۵ درجه خشک و وزن شدند. به منظور تصحیح شن خاکدانه‌های باقی مانده مربوط به هر الک خرد شده و شن ریز و سنگ ریزه آن جدا شد و جرم واقعی خاکدانه‌ها بر روی هر الک محاسبه گردید. برای انجام الک خشک نیز از سری الک های مشابه استفاده شد که پس از ۵ دقیقه الک خاکدانه‌های باقی مانده روی هر الک وزن شد. از شاخص‌های میانگین وزنی قطر (MWD)، میانگین هندسی قطر (GMD) خاکدانه‌ها و شاخص پایداری ساختمان برای ارزیابی پایداری ساختمان خاک استفاده شد. میانگین وزنی قطر(MWD) خاکدانه‌ها از رابطه زیر محاسبه گردید(Kemper and Rosenau, 1986):

$$MWD = \sum_{i=1}^{n} w_i \bar{x}_i \qquad (۱)$$

که در آن $\bar{x}_i$: میانگین قطر خاکدانه‌های باقی مانده بر روی هر الک i (میانگین قطر الک بالایی و پایینی) ، n: تعداد الک ها و w_i : نسبت وزن خاکدانه‌های روی هر الک به وزن کل خاک به کار برده شده در ابتدای آزمایش پس از کسرذرات شن و سنگ ریزه می‌باشد که از فرمول زیر محاسبه شد:

$$W_i = \frac{W_i - W_{i(s)}}{W_t - \sum_{i=1}^{n} W_{i(s)}} \quad (۲)$$

که در آن W_i: وزن ذرات باقی مانده در دامنه i، $W_{i(s)}$: وزن ذرات شن و سنگ ریزه در دامنه i ، W_t : وزن آون خشک خاک می-باشند. نتایج آزمایش الک تر را می‌توان با استفاده از شاخص میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها (GMD) نیز بیان کرد. این شاخص از رابطه زیر محاسبه گردید (برزگر،۱۳۸۰):

$$GMD = \exp(\sum_{i=1}^{n} w_i \log \bar{x}_i) \quad (۳)$$

که $\bar{x}_i$ و w_i همان تعریف ذکر شده در فرمول MWD است. شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) (Pieri, 1992) با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$SI = \frac{1.724\ OC}{Silt+Clay} * 100 \leq SI \leq \infty \quad (۴)$$

که در این فرمول OC میزان کربن آلی خاک است و SI >۰/۹ بیانگر ساختمان پایدار خاک است.

پس از محاسبه شاخص ها و ویژگی‌های خاک ویژگی‌های آماری با استفاده از نرم افزار آمار SPSS19 محاسبه شد (نائبی،۱۳۹۳). در ادامه به منظور بررسی تاثیر ویژگی‌های ذاتی خاک روی شاخص‌های ساختمان خاک معرفی شده، همبستگی بین شاخص‌های ساختمان خاک با ویژگی‌های خاک محاسبه شد. همبستگی پیرسون در کل نمونه‌های مورد مطالعه و در دو کاربری مرتع و کشاورزی بررسی شد. همچنین مقایسه میانگین t-test شاخص‌ها در دو کاربری مرتع (۵۳ نمونه) و کشاورزی (۱۹نمونه) به روش مقایسه جفت نشده انجام شد. آنالیزهای مربوط به مقایسه‌های میانگین و همبستگی با استفاده از نرم افزار آماری SPSS19 انجام گرفت (نائبی،۱۳۹۳).

نتایج و بحث

با محاسبه شاخص‌های ساختمان خاک و ویژگی‌های موثر بر این شاخص‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از شاخص‌های چولگی و کشیدگی ارزیابی شد. به این ترتیب که اگر متغییر دارای چولگی و کشیدگی به ترتیب خارج از محدوده ۱- تا ۱ و ۳- تا ۳ باشد واریانس آن دارای اعتبار کمتری خواهد بود (Robinson and Metternicht, 2006). در جدول شماره ۱ نتایج چولگی و کشیدگی نشان داد که تمام ویژگی‌های خاک دارای توزیع نرمال بودند و فقط شاخص پایداری خاکدانه و میانگین قطر هندسی از توزیع نرمال برخوردار نبودند بنابراین برای نرمال‌سازی ویژگی‌های مزبور از تبدیل لوگ نرمال استفاده شد.

جدول۱- ویژگی های آماری متغییرهای اندازه‌گیری شده

ویژگی	واحد	کمینه	بیشینه	میانگین	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
MWD تر	mm	۰/۷۷	۵/۴	۳/۱۴	۰/۸۵	-۰/۲	۰/۱۹
MWD خشک	mm	۳/۶۹	۵/۷۸	۴/۶۴	۰/۴۸	۰/۲۲	-۰/۷۱
GMD	mm	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۴۲	۰/۰۲۸	۱/۶۲	۳/۱۱
SI	٪	۱/۶۲	۱۴/۲۱	۴/۹۴	۲/۲	۱/۳۷	۳/۵۸
کربن آلی	٪	۰/۵۸	۴/۶۲	۱/۹۱	۰/۷۵	۰/۹۸	۳/۳
آهک معادل	٪	۰/۶۷	۱۶/۶۷	۸/۰۱	۳/۳۹	۰/۲۱	-۰/۵۱
رس	٪	۱۱/۴۳	۴۲/۴۴	۲۶/۳۹	۷/۴۷	۱۰/۲۱	-۰/۶۹
شن	٪	۶/۷۲	۵۹/۳۲	۳۱/۳۴	۱۲/۵۶	۰/۰۴	-۰/۷۱
سیلت	٪	۲۰/۷۸	۶۲/۵۵	۴۲/۲۵	۱۰/۵۲	۰/۲	-۰/۸

نتایج آماره توصیفی ویژگی‌های خاک که در جدول شماره ۱ ارائه شده است نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه دامنه‌ای از بافت-های سبک تا سنگین را داشتند که بیش‌ترین درصد آن مربوط به کلاس بافت خاک لومی است. درصد کربن آلی نمونه‌ها در محدوده ۴/۵- ۰/۶ درصد و مقدار کربنات کلسیم معادل از ۰/۶۷ درصد تا ۱۶/۶۷درصد بود. میانگین شاخص پایداری خاک کمتر از ۹٪ است که نشان‌دهنده‌ی پایداری کم ساختمان خاک است (پیری،۱۹۹۲). همچنین اختلاف کم بین MWD تر و MWD خشک نشان‌دهنده پایداری ساختمان خاک می‌باشد. این امر می‌تواند به علت درصد بالای کربن آلی منطقه و نیز همبستگی بالای ساختمان خاک و کربن آلی باشد (جدول شماره ۲). زیاد بودن ضریب تغییرپذیری در سطح خاک برای شن و سیلت، احتمالاً به این دلیل است که این ذرات بیشتر در معرض فرسایش خاک می‌باشند که باعث تغییر در یکنواختی سطح خاک می‌شود. به علاوه GMD کمترین ضریب تغییرات را در بین شاخص های فوق به خود اختصاص داده است. همبستگی شاخص های ساختمان خاک با ویژگی های ذاتی خاک در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول۲- همبستگی شاخص‌های ساختمان خاک با ویژگی‌های خاک

ویژگی	کربن آلی	آهک معادل	رس	شن	سیلت
MWD تر	۰/۳۵۳**	۰/۰۴۷$^{n.s}$	-۰/۲۴۷*	۰/۳۳۲**	-۰/۰۸۳$^{n.s}$
MWD خشک	۰/۰۷۷$^{n.s}$	-۰/۰۴$^{n.s}$	۰/۴۵۱**	-۰/۳۶۰**	۰/۲۵۴*
GMD	۰/۳۰۶**	۰/۳۲۲**	-۰/۷۳۷**	۰/۸۴۴**	-۰/۵۴۰**
SI	۰/۸۹۹**	۰/۰۲۳$^{n.s}$	-۰/۲۶۱*	۰/۳۶۷**	-۰/۳۱۸**

** : همبستگی معنی دار در سطح یک درصد، * : همبستگی معنی دار در سطح پنج درصد، n.s : عدم وجود تفاوت معنی‌دار

مشاهده می‌شود که هر چهار شاخص ساختمان خاک همبستگی معنی داری با درصد رس و شن خاک داراست. هر چهار شاخص ساختمان خاک به جز MWD خشک همبستگی معنی‌داری با درصد کربن آلی خاک دارند. همچنین درصد سیلت خاک اختلاف معنی‌داری با MWD تر ندارد. آهک معادل فقط با میانگین هندسی قطر خاکدانه ها دارای همبستگی معنی‌دار است. شاخص پایداری ساختمان خاک با تمامی ویژگی‌های ذاتی خاک جدول به جز آهک معادل دارای همبستگی معنی‌دار است. همچنین مشاهده می‌شود که میانگین هندسی قطر خاکدانه‌ها با تمامی ویژگی‌های ذاتی خاک همبستگی معنی‌دار دارد که بیشترین و کمترین همبستگی به ترتیب مربوط به ویژگی‌های درصد شن و درصد رس خاک است. بیشترین ضریب همبستگی بین شاخص پایداری ساختمان خاک و درصدکربن آلی خاک است. بهادری (۱۳۸۳) ضریب تبیین(۷۳٪) بیشتری برای GMD نسبت به MWD برای بیان توزیع اندازه و پایداری خاکدانه‌ها به دست آورد. وی اثر ماده آلی را ۶۰ برابر رس و ۱۱۳ برابرکربنات کلسیم بیان کرد. Gardner(1956) نیز گزارش داد، شاخص GMD گاهی اوقات بهتر ازMWD پایداری خاکدانه‌ها را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش حاضر نیز ضرایب همبستگی بزرگ‌تری برای GMD نسبت به MWD نشان داد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین شاخص‌های ساختمان خاک در دو کاربری کشاورزی و مرتع در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- مقادیر میانگین شاخص‌های ساختمان خاک در نمونه خاکهای کشاورزی، مرتع و کل نمونه‌ها

کاربری زمین	MWD تر	MWD خشک	GMD	SI
کشاورزی	۲/۷۹$^{n.s}$	۴/۸۸ $^{n.s}$	۰/۰۳۲$^{n.s}$	۳/۶۶**

مرتع	۳/۲۷ n.s	۴/۵۵ n.s	۰/۰۴۶ n.s	۵/۴۰ **
کل نمونه ها	۳/۱۴	۴/۶۴	۰/۰۴۲	۴/۹۴

** : تفاوت میانگین معنی‌دار در سطح یک درصد، n.s : عدم وجود تفاوت معنی‌دار

نتایج حاصل نشان می‌دهد که فقط شاخص پایداری ساختمان خاک در دو کاربری کشاورزی و مرتع دارای اختلاف معنی‌دار است که می‌تواند نشان دهنده اثر عوامل انسانی نظیر عملیات خاک‌ورزی و استفاده از کوددهی در زمین‌های کشاورزی روی شاخص پایداری ساختمان خاک باشد. ار آنجا که در محاسبه شاخص SI مقدار OC مستقیما تاثیر دارد و تغییر کاربری زمین و عوامل انسانی میزان OC خاک را بشدت تحت تاثیر قرار می‌دهد، شاخص SI نیز به تبع آن تغییر شدیدی را نشان می‌دهد. بنابراین این شاخص برای بررسی تاثیر تغییر کاربری بر ساختمان خاک مناسب‌تر می‌باشد. شهاب و همکاران (۱۳۹۰) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. تغییرات دو شاخص میانگین وزنی قطر و میانگین هندسی قطر در دو کاربری کم بوده و اختلافشان معنی‌دار نیست.

نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش ارزیابی پایداری ساختمان و ارتباط آن با ویژگی‌های ذاتی خاک و مقایسه چهارشاخص ساختمان خاک در دو کاربری کشاورزی و مرتع در برخی از خاک‌های منطقه نیمه مرطوب استان اردبیل بود. نتایج نشان داد که GMD بیشترین همبستگی را با همه ویژگی‌های ذاتی خاک داشت. درصد کربن آلی خاک اهمیت زیادی در پایداری خاکدانه‌ها در مناطق مورد بررسی داشت. همچنین نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های ساختمان خاک در دو کاربری کشاورزی و مرتع نشان داد که شاخص پایداری ساختمان خاک (SI) بیشتر از دیگر شاخص‌ها تحت تاثیر تغییرات کاربری زمین است.

فهرست منابع

۱- برزگر، ع.ا. (۱۳۸۰). فیزیک خاک پیشرفته. چاپ اول، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

۲- بهادری، ل . (۱۳۸۸) . اثر برخی از ویژگیهای شیمیایی بر ساختمان تعدادی از خاک های همدان .پایاننامه کارشناسی ارشد خاک-شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

۳- خزائی، ع.، م.ر. مصدقی و ع.ا. محبوبی. ۱۳۸۷ . ارزیابی پایداری ساختمان در ۲۱ سری از خاک های استان همدان به روش الک تر ورابطه آن با برخی ویژگی های ذاتی خاک. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۹(۱):۱۸۲-۱۷۱.

۴- خزایی، ع ،. م. مصدقی و ع . محبوبی. ۱۳۸۷ . تأثیر شرایط آزمایش، مقدار ماده آلی، رس و کربنات کلسیم خاک بر میانگین وزنی قطر و مقاومت کششی خاکدانه ها در برخی از خاک های استان همدان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی۱۲۳:۴۴-۱۳۴.

۵- شهاب آرخازلو، ح. امامی، ح. حق‌نی، غ. کریمی، ع. (۱۳۹۰). تعیین مهم ترین ویژگی‌های موثر بر شاخص‌های کیفیت خاک در بخشی از زمین‌های کشاورزی و مرتعی جنوب مشهد. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۵):۱۲۰۵- ۱۱۹۷.

۶- نائبی، ه. (۱۳۹۳). آمارپیشرفته کاربردی همراه با . SPSS انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۴۰۱.

7- Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A.C. Imeson and M.D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soil sand the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. Catena, 44: 47–67.

8- Bronick, C.J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. Geoderma 124: 3-22.

9- Carter, M. R., D. A. Angers and H. T. Kunelius. 1994. Soil structural form and stability and organic matter under cool-season perennial grasses. Soil Sci. Soc. Amer. J. 58: 1194-99.

10- Chaney, K. and R.S. Swift. 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. J. Soil

11- Diaz-Zorita, M., J. H. Grove and E. Perfect. 2002. Disruptive methods for assessing soil aggregation: a review. Soil Till. Res. 64: 3-22.

12- Doran J.W., Sarrantonio M. and Leibig M.A. 1996. Soil health and sustainability. Adv. Agron. 56: 1-56.
13- Gardner, W.R. 1956. Representation of soil aggregate size distribution by a logarithmic-normal distribution. Soil Sci. Soc. Am. J. 20: 151–153.
14- Gee, G.W. and Orr D. 2002. Partical- size analysis. Soil Science Society of America. Madison, 16: 255-293.
15- Gerzabek. M. H., H. Kirchmann and F. Pichlmayer. 1995. Response of soil aggregates stability to manure amendments in the Ultuna long- term soil organic matter experiment. Zeitschrift–Fur–Pflanzenernahrung–und–Bodenkunde 158: 257-260.
16- Jury, W. A., W. R.Gardner and W. H. Gardner. 1991. Soil Physics. John Wiley & Sons Pub., New York.
17- Kay, B.D. 2000. Soil Structure, in: Handbook of Soil Science. CRC Press, E. M. Sumner, Ed., USA: F.I., Boca Raton A229–A264.
18- Kemper, W.D, and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution, in: Methods of Soil Analysis. Part 1, Physical and Mineralogical Methods, Klute, A., Ed. 425–442.
19- Lynch, J.M. and E. Bragg. 1985. Microorganisms and aggregate stability, Adv. Soil Sci. 2: 133–17120.
20- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of Soil Analysis, part2, chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy,Inc. Soil Science Society of Aamerica, Madison, WI Sci. 35: 223–230. 40.
21- Pieri, C.J.M.G. 1992Fertility of soils: A Future for Farming in the West African Savannah. Spring-Verlag, Berlin, Germany.
22- Robinson, T.P., and Metternicht, G. 2006. Testing the performance of spatial. interpolation techniques for mapping soil properties. Computers and Electronics in Agriculture, 50: 97-108.
23- Walkly A. and Black I.A. 1934. An examination of Degtijaref method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. I. Experimental. Soil Science Society of America Journal, 79: 459- 465.

Evaluation the effect of soil characteristics and land use on soil structure indices in Namin's Khangah forest margin area, Ardabil province

Z. Karimzadeh[1], H.Shahab[2], A.Soltani[3], Sh.Asghari[4]

1. MSc student , department of soil science,college of agriculture and natural resources, university of mohaghegh ardabili
2. Assistant professor, department of soil science, college of agriculture and natural resources, university of mohaghegh ardabili
3. Associated professor, department of soil science, college of agriculture and natural resources, university of mohaghegh ardabili
4. Associated professor, department of soil science, college of agriculture and natural resources, university of mohaghegh ardabili

Abstract

One of the most important factors affecting the physical quality of soil and its optimal performance is the stability of soil structure. In this study in order to evaluation the effect of some soil properties inclouding OC, lime, percentage of sand, silt and clay particles and land use on soil structure, 72 soil samples were taken from agricultural and pasture lands in the forest margin area. Then the correlation between soil properties and MWD $_{WET-DRY}$, GMD, SI indices with soil properties was evaluated. Also the mean of soil structure indices were compared between the two land uses. The result showed that the GMD index had a significant correlation with all the studied features. Also the small difference between MWD_{dry} (3.14) and MWD_{wet} (4.16) indicates the high stability of the soil structure and its resistance ti degradation due to wetting. The results of comparing the mean between land uses showed that the SI index showd the greatest change in land use.

Keywords: stability of soil structure, Mean Weighted Diometer, Geometric Mean Diameter, Land use

تاثیر خصوصیات خاک برویژگی‌های کمی و کیفی پسته در حاشیه پلایای بجستان

محمد قاسم زاده گنجه ای

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

چکیده

تحقیق حاضر با هدف شناخت خاک‌های تحت کشت پسته و تاثیر خصوصیات آنها بر رشد، عملکرد و برخی خصوصیات مورفولوژیکی، در حاشیه پلایای بجستان انجام شد. بدین منظور در منطقه‌ای به وسعت ۲۰ هزار هکتار، چهار سطح ژئومورفیک، انتخاب و در هر سطح سه باغ خوب، متوسط و ضعیف از نظر شکل عملکرد انتخاب و در هر باغ یک خاکرخ تشریح گردید. سه درخت در اطراف هر خاکرخ انتخاب و عملکرد، ارتفاع، قطر تاج و قطر تنه درخت و همچنین، درصد خندانی و درصد عناصر غذایی برگ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که عملکرد، ویژگی‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر در برگ پسته در بین سطوح و باغ‌ها تفاوت معنی‌داری داشتند. بیشترین مقدار عملکرد ۲۲/۶۲ کیلوگرم در باغ خوب سطح کفه رسی غیر شورو کمترین مقدار آن ۹/۴۷کیلو گرم برای هر درخت در باغ خوب سطح کفه رسی شور بود. سایر ویژگی‌های مورفولوژیک نیز در باغ خوب سطح کفه رسی غیر شور بهترین شرایط را داشتند. نتایج همبستگی چندمتغیره نشان داد که در بین ویژگی‌های خاک، هدایت الکتریکی، مقدار رس و غلظت بور تاثیر منفی معنی‌دار و در بین ویژگی‌های گیاهی، کمبود غلظت نیتروژن، آهن، پتاسیم و تا حدی فسفر برگ تاثیر منفی بر عملکرد، ویژگی‌های مورفولوژیک و غلظت عناصر در برگ داشتند.

واژه‌های کلیدی:پسته، ویژگی‌های خاک، پلایا، کفه رسی

مقدمه

پسته(Pistaciavera L.) یکی از محصولات مهم صادراتی و استراتژیک جنوب استان خراسان رضوی با سطح زیر کشت ۵۵ هزار هکتار است. پسته یک گیاه متحمل به شوری است ولی میزان عملکرد این گیاه در شوری‌های بالا به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Ozden, 2006). شرایط فیزیکوشیمیایی خاک نظیر شوری،کمبود عناصر کم مصرف در خاک و کم آبی در باغ های پسته مشکلات عدیده‌ای را ایجاد نموده است، به‌طوری‌که با کاشت نهال‌های پسته در محیط های شور، غلظت سدیم در اندام‌های هوایی افزایش یافته است و یک همبستگی معنی دار منفی بین میزان سدیم در محلول خاک و رشد هوایی نهال های پسته وجود دارد(Yermiyahu,2008). باوجود سطح زیرکشت قابل توجه پسته در ایران،تولیددردر واحد سطح پائین است. منطقه فیض‌آبادمه‌ولات یکی از این مناطق مهم و عمده کشاورزی استان خرسان رضوی است که درحاشیه پلایای بجستان قراردارد و با۳۵۰۰۰ هکتار باغ پسته، بیشترین مساحت باغات پسته استان را به خود اختصاص می‌دهد. در بازدیدهای صحرایی باغ‌های پسته با طیف گسترده‌ای از عملکرد و رشد ظاهری با مدیریت یکسان مشاهده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۲۰ هزار هکتار در شهرستان فیض آباد مه ولات در جنوب غرب استان خراسان رضوی رژیم رطوبتی خاک، اریدیک ضعیف و رژیم حرارتی خاک، ترمیک است. از شرق به غرب منطقه،چهار سطح ژئومورفیک، شامل اراضی حدواسط مخروط افکنه وکفه رسی غیرشور(Af-cf)،کفه رسی غیرشور(Cf1)،اراضی حدواسط پدیمنت وکفه رسی شور(Pe-cf) وکفه رسی شور(Cf2)،شناسایی شد.در هر سطح بر اساس خصوصیات ظاهری و عملکرد، سه باغ خوب، متوسط و ضعیف انتخاب شد. باغ‌ها به نحوی انتخاب شدند که از نظر رقم، کیفیت آب، دور آبیاری و سن درخت مشابه باشند.رقم مورد بررسی در این پژوهش، سفید بادامی (رقم غالب منطقه) و سن درختان بین ۱۸ تا ۲۰ سال بود و همگی در سال محصول‌دهی قرار داشتند. نحوه انتخاب باغ‌ها با تهیه پرسش‌نامه در ارتباط با وضعیتباغ‌های پسته بر اساس نظرات مشورتی کارشناسان با تجربه منطقه به نحوی صورت پذیرفت که نماینده‌ی منطقه بوده و با مدیریت یکسان، دامنه متفاوتی از خصوصیات خاک و عملکرد را شامل شوند. در هر باغ یک خاکرخ حفر شد و از افق‌های ژنتیکی آن نمونه‌برداری شد.۳ درخت در اطراف خاکرخ حفر شده انتخاب شدو برای هر درخت علاوه بر

عملکرد، ارتفاع درخت، قطر تاج درخت، قطر تنه، درصد خندانیو درصد عناصر غذایی برگ اندازه گیری شد. اطلاعات بدست آمده در قالب طرح آماری آشیانه‌ای(Nested design)با سه تکرار که در ان سه نوع باغ، در داخل ۴ سطح ژئومورفیک، آشیانه پیدا کرده واز نظر صفات مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

هرچه از سمت مخروط افکنه به سمت کفه رسی شور پلایا نزدیک می‌شویم با کاهش شیب، بافت خاک سنگین‌تر می‌شود به نحوی که بافت خاک از لوم شنی در خاکرخ ۷ به لوم رسی در خاکرخ ۱۲ می‌رسد. سنگریزه به مقدار ۵ تا ۴۰ درصد در خاکرخ ۷واقع در Pe-cfو به میزان ۱۰ تا ۳۰ درصد در خاکرخ شماره ۴ واقع درAf-cfوجود دارد. میزان کربنات کلسیم معادل در منطقه مورد مطالعه روند مشخصی ندارد و از ۱۱/۲ تا ۲۵/۲درصد متغیراست. دلیل تغییرات کم کربنات کلسیم، از یک سو، وجود مواد مادری آهکی و از سوی دیگر حلالیت کم آن است که باعث می‌شوند انتقال به‌صورت محلول در منطقه کم باشد. گچ در حد قابل اندازه‌گیری فقط در خاکرخ‌های ۴،۱۱ و ۱۲ وجود داشت. در مقابل، املاح محلول، به دلیل حلالیت بیشتر به سادگی در منطقه منتقل می‌شوند و از سمت مخروط افکنه به سمت کفه رسی شور، به تدریج مقدار گچ و املاح محلول افزایش می‌کند. میانگین وزنی هدایت الکتریکی در این خاک‌ها از ۲/۱ در خاکرخ ۱کفه رسی غیر شور تا ۳۴/۷دسی زیمنس بر متر در خاکرخ ۱۱ کفه رسی شور متغیر است. نتایج تجزیه واریانس آماری (جدول ۱)نشان دادکه برای کلیه صفات مورفولوژیکیو غلظتعناصر غذایی برگ درختان پسته به جز درصد فسفر در سطوح ژئومورفیک مختلف اختلاف بسیار معنی‌داری وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین صفات و خصوصیات عناصر غذایی موجود در برگ درختان پسته در سطوح مختلف مورد مطالعه نشان داد کهناحیه Cf1 در بیشتر صفات برتری معنی‌داری نسبت به سایرنواحی دارد. ناحیهCf2 با میانگین عملکرد ۹/۴۷ کیلوگرم برای هر درخت پستهنسبت به ناحیه Cf1 با باعملکرد ۲۲/۶۲ کیلوگرم برای هر درخت، ۵۸ درصد کاهش عملکرد نشان داد در حالی که نواحیAf-Cf و Pe-Cf به ترتیب با عملکرد ۱۰/۶۶ و ۱۴/۳۱کیلوگرم برای هر درخت، تفاوت معنی‌داری نداشتند. نتایج مقایسه میانگین آماری نوع باغ برای صفات مورفولوژیکی نشان داد که باغ خوب با عملکرد ۱۹/۰۵ کیلوگرمبرای هر درخت،بیشترین و باغ ضعیف باعملکرد ۹/۶۳ کیلو گرم برای هر درخت کمترین میزان عملکرد را دارا بود. در باغ متوسط، عملکرد ۱۴/۱۲ کیلوگرمبرای هر درخت بود. یکی دیگر از عواملی که بر روی عملکرد اثر بسیار قابل توجهی نشان می‌دهد، بافت خاک و اجزای آن می‌باشد، به‌طوری‌که با افزایش درصد ذرات رس در خاک، عملکرد کاهش یافته است. این‌گونه مشاهدات را می‌توان به این صورت توجیه کرد که با افزایش رس، نفوذپذیری کاهش یافته و خاک سفت تر و تهویه و نفوذ ریشه‌ها با مشکل مواجه می‌شود و در نتیجه کاهش رشد و متعاقبا کاهش عملکرد مشاهده می‌گردد. یکی از عوامل محدود کننده رشد پسته مقدار رس زیاد می‌باشد(Fergusen,2005c) .همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود خاکرخ ۶ باغ ضعیف سطحAf-Cf و خاکرخ ۱۱ضعیف سطحCf2 که حاوی رس بیشتری هستند، دارای عملکرد کمتر و از نظر پایداری خشک و سختی بیشتری نشان می‌دهند. در اثر وجود مقدار زیاد بوردر خاک، رشد ریشه محدود و فتوسنتز مختل می‌گردد و در شرایط سمیت شدید، برگ‌های درخت می‌ریزد(Kovkoulakis،2013). با توجه به نتایج فوق، غلظت زیاد بور خاک را نیز می‌توان یکی از عوامل دیگر موثر در کاهش رشد و عملکرد پسته درباغ متوسط و ضعیف خاکرخ‌های ۱۱ و ۱۲سطحCf2بیان کرد. بالاتر بودن ارتفاع درخت در ناحیه Cf1 نشان‌دهنده شرایط رشد مناسب در این ناحیه است .کاهش میانگین ارتفاع درخت، قطر تنه و قطر تاج تحت تنش شوری می‌تواند به دلیل کاهش میزان کلروفیل برگ باشد. به نظر می‌رسد که درختان پسته برای مقابله با شوری، رشد اندام‌های هوایی خود را کاهش می‌دهند. نتایج نشان داد که ارتفاع درخت باخصوصیات کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم، آهن و مس خاک همبستگی مثبت و بسیار معنی دار ($P<0.01$) وجود دارد. بیشتر بودن خصوصیات مورفولوژیکی در سطحCf1 و Pe-Cf احتمالا به دلیل بیشتر بودن میزان عناصر نیتروژن و پتاسیم خاک است.نیتروژن یکی از عناصر مهم برای بهبود قدرت رویشی و ارتفاع درختان پسته بوده و در تغذیه باغ‌های پسته نقش مهمی را ایفا می‌نماید.

جدول ۱– نتایج تجزیه واریانس آماری صفات زراعی و ویژگی های خاک در نواحی مورد مطالعه

منبع تغییر	درجه آزادی	عملکرد	ارتفاع درخت	قطر تاج درخت	قطر تنه درخت	درصد خندانی	N	P	K	Ca
ناحیه	۳	۳۱۷/۱۳**	۲۱۷۸/۴۲**	۵۰۲۳/۴۴**	۸۶/۷۴**	۲۱۴/۸**	۱/۸۰**	۰/۰۳$^{n.s}$	۱/۰۶**	۲/۶۶**
ناحیه/ تکرار (خطا)	۸	۰/۴۳۸	۱۳۵/۵۰	۲۴/۱۹	۲/۱۵	۴/۱۹	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۱۳
مدیریت باغ	۲	۲۲۶/۲۰۸**	۱۶۸۲/۵۸**	۲۶۳۵/۸۶**	۵۸/۸۱**	۱۶۳/۰۸**	۱/۶۸**	۰/۰۴$^{n.s}$	۰/۷۲*	۳/۰۶**
مدیریت باغ×ناحیه	۶	۳۴/۳۲**	۲۵۷/۶۹**	۴۳۵/۴۱**	۱۱/۱۵**	۳۵/۴۵**	۰/۳۵$^{n.s}$	۰/۰۲$^{n.s}$	۰/۱۶$^{n.s}$	۰/۳۵*
خطا	۱۶	۱/۴۳	۴۶/۵	۷۲/۶۵	۱/۷۹	۶/۱۱	۰/۱۴	۰/۰۱۸	۰/۱۸	۰/۱۱
٪CV		۸/۳۸	۲/۸۸	۳/۵۳	۵/۹۸	۲/۸۵	۱۸/۸۶	۵۷/۸۴	۳۲/۸۰	۲۰/۵۷

ادامه جدول۱

منبع تغییرات	Mg	Na	Fe	Mn	Zn	Cu	B
ناحیه	۰/۵۴**	۱/۲۵**	۱۱۸۶۲/۲۵**	۴۶۶۹/۹۵**	۵۰۹/۵۱**	۸/۶۲**	۵۰۵۴/۰۰**
ناحیه/ تکرار (خطا)	۰/۰۴	۰/۴۲	۳۸۰/۴۱	۲۰۲/۳۸	۳۴/۳۸	۱/۸۰	۳۶۱/۵۰
مدیریت باغ	۰/۱۶*	۰/۱۸$^{n.s}$	۳۵۳۲/۵۸**	۴۰۴۲/۱۱**	۲۴۷/۰۳**	۲/۶۹$^{n.s}$	۲۹۲۳/۵۸$^{n.s}$
مدیریت باغ×ناحیه	۰/۰۷$^{n.s}$	۰/۵۰**	۱۵۶۲/۶۹*	۵۷۵/۷۰$^{n.s}$	۱۱۹/۷۳*	۳/۳۹*	۲۷۳۷/۲۵*
خطا	۰/۰۴	۰/۱۰	۴۵۱/۳۳	۲۱۵/۲۶	۳۱/۱۸	۱/۰۵	۹۰۸/۴۵
٪CV	۳۷/۷۳	۴۵/۴۰	۱۳/۹۲	۲۲/۵۰	۲۱/۰۴	۱۱/۴۵	۱۷/۳۵

جدول ۲– نتایج مقایسه میانگین آماری مدیریت باغ برای صفات زراعی و خاک درختان پسته درمنطقه مورد مطالعه (فیض آباد مه ولات)

مدیریت باغ	عملکرد	ارتفاع درخت	قطر تاج درخت	قطر تنه درخت	درصد خندانی	(٪)N	(٪)P	(٪)K	(٪)Ca
خوب	۱۹/۰۵a	۲۴۹/۰۰a	۲۵۷/۵۸a	۲۴/۶۶a	۹۰/۸۳a	۲/۳۰a	۰/۲۸a	۱/۴۸a	۲/۱۷a
متوسط	۱۴/۱۲b	۲۳۵/۳۳b	۲۳۸/۰۸b	۲۲/۱۸b	۸۵/۷۵b	۲/۱۵a	۰/۱۷b	۱/۴۱a	۱/۵۸b
ضعیف	۹/۶۳c	۲۲۵/۴۱c	۲۲۸/۵۰c	۲۰/۲۵c	۸۳/۶۶b	۱/۵۹b	۰/۲۳ab	۱/۰۳b	۱/۱۷c

ادامه جدول ۴

مدیریت باغ	(ppm)B	(٪)Na	(ppm)Fe	(ppm)Mn	(ppm)Zn	(ppm)Cu
خوب	۱۵۵/۹۲b	۰/۵۸a	۱۷۱/۳۳a	۸۰/۲۵a	۳۰/۵۰a	۹/۵۰a
متوسط	۱۷۹/۸۳ab	۰/۸۱a	۱۴۸/۷۵b	۷۰/۵۸a	۲۷/۵۰a	۸/۸۳a
ضعیف	۱۸۵/۲۵a	۰/۷۸a	۱۳۷/۶۶b	۴۴/۷۵b	۲۱/۵۸b	۸/۵۸b

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد پسته در منطق مورد مطالعه از ۹/۴۷ تا ۲۲/۶۲ کیلو گرم برای هر درخت متغیر است. همچنین سایر ویژگی‌های مورفولژیکی و غلظت عناصر غذایی در برگ درختان پسته تغییرات زیادی در منطقه داشت. ویژگی‌های خاک نیز در منطقه مورد مطالعه تغیرات زیادی را نشان داد. نتایج بررسی‌های اماری نشان دا دکه ویژگی‌های خاک عامل تعیین-کننده بر عملکرد و سایر ویژگی‌هلی درختان پسته بود. ، در بین ویژگی‌های خاک، غلظت عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و بر)، شوری، مقدار رس بیشترین تاثیر را بر ویژگی‌های رشدی پسته داشتند. نتایج مطالعات همبستگی نشان داد که عناصر غذایی تاثیر مثبت و شوری، درصد رس و غلظت بر تاثیر منفی بر عملکرد و صفات مورفولوژیکی درختان پسته داشتند. نتایج آنالیز رگرسیون گام به گام نشان داد که میزان هدایت الکتریکی، رس و غلظت بر در خاک مهم‌ترین عوامل تعیین کننده بر رشد و عملکرد درختان پسته بودند.

فهرست منابع

Benmahioul, B. Dguin, F., and Kaid-Harche, M. 2009. Effect du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachia C. R. Biol. 332: 752-758.

Brady, NC., Weil, R.R. 2007. The nature and properties of soils. Prentice-Hall, Inc.

Duran Zuazo, V.H., Martinez-Raya, A., Aguilar Ruiz., J. and D. Franco Tarifa. 2005. Impact of salinity on macro- and micro nutrient uptake in mango (Mangifera indica L.cc. Osteen) with different rootstocks. Spanish Journal of Agricultural Research, 2(1): 121-133.

FAO .2012.statistical yearbook.Europe and central Asia, Food and agriculture.

Ferguson L, Poito V, Kallsen C. 2005. The Pistachio tree; botany and physiology and factors that affect yield. Pistachio production manual, 4thed Davis, CA, USA, University of California Fruit& Nut Research Information Center, 31-39.

Jones, J. B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis.CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 27-160.

Kovkoulakis, P Chatzissavvidis, C and Pontikis, D. 2013. Interactions between leaf macronutrients, micronutrienrs and soil properties in pistachio (Pistacia Vera L.) orchards.Acta Bot. Croat. 72 (2), 295-310.

Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance, Annul. Rev. Journal Plant Biology, 59: 651-681.

Ozden, K., Alayunt, F. 2006. The determination of some physical properties of Pistachio Vera l. Pakistan J Biologic Sci. 9: 2612-2617.

Page, A. L., R.H. Miller and H. Keeney. 1992. Method of Soil Analysis, Part 2, Am. Soc of Agron., Madison, WI.

Thomas, G. W. 1996. Soil pH and soil acidity.P. 475- 490. In D. L. Sparks (ed.), Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods., SSSA Book Series Number 5, Soil Science Society of America, Madison, WI.

Waling, I., Vark, W.V., Houba, V.J.G. and J.J.Van der lee. 1989. Soil and plant Analysis, a seris of syllabi. Part 7. Plant Analysis Procedures. Wageningen Agriculture University, Netherland.

Wander M.M., Walter G.L., Nissen T.M., Billero G.A., Andrews S.S., and Cavanaugh-Grant D.A. 2002. Soil quality: science and process. Agron, 94, 23–32.

Yermiyahu, U., A. Ben-Gal., R, Keren., R.J, Reid. 2008. Combined effect of salinity and excess boron on plant growth and yield. Plant Soil.. 304:73-87.

Zhu, J.K. 2013. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Curr. Opinion in plant Biol. 6: 441-445

The effect of soil properties on yieled and morphological propertis of pistachio in geomorphic surfaces of Bajestan playa

Mohamad Ghasemzazdeh Ganjehie

Academic Member of Soil and Water Department, KhorassanRazavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran.

Abstract

Pistachio is one of the important and strategic crops in Iran; so identifyinginfluencing factors on pistachio growth is necessaryfor sustainable production of this product. The objective of this study was to investigate the impact of soil properties on the yield and selected morphological characteristics of pistachio in Faizabadarea , in southwestern of KhorasanRazaviProvince. For this purpose, in an area of 20,000 hectares, four geomorphic surfacesat the margin of Bajestanplaya wererecognized.In eachgeomorphic surface threegood, medium and poor qualityorchards were identified.A representative soil profile in each orchard wasdescribed and sampled.Yield, height, crown and trunk diameters, percentage of splitting and leaf'snutrient elementsof three trees around each soil profile were measured. The results showed that the yield, morphological characteristics and leaf's nutrient elements concentrationswere significantly different between the geomorphic surfaces and orchards. The highest yield was observed in the goodorchard with the amount of 24.5 kg $tree^{-1}$ in non-saline clay flat geomorphic surface and the lowest with the amount of 5.2kg $tree^{-1}$was observed in the poororchard of alluvilal fan-clay flat geomorphic surface.The highest values of morphological characteristics were occurred in the good orchard ofnon-saline clay flat geomorphic surface. The results of correlation and multivariate regression showed that electrical conductivity (EC), clay content and boron concentration had a significant negative impact on the yield, morphological characteristics and leaf's nutrient elements.

شناسایی ویژگی‌های مهم خاک بر عملکرد باغات انجیر در دو منطقه معمولان و پلدختر استان لرستان

آناهید سلمان پور*[۱]، علی زین الدینی[۲]، میرناصر نویدی[۲]، مرادعلی قنبرپوری[۳]، فیروزه ویسکرمی[۴]

۱-استادیار پژوهش، بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، Email: a.salmanpour@areeo.ac.ir

۲- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳-محقق، بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان

۴-کارشناس ارشد، بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان

چکیده

با توجه به محدودیت‌های افزایش سطح زیر کشت، مطالعات بر تلاش برای افزایش عملکرد در واحد سطح و شناخت عوامل موثر بر آن متمرکز گردیده است. طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی، استان لرستان یکی از مهمترین مناطق تولید کننده انجیر آبی در ایران می‌باشد. با وجود این عمده مطالعات انجام شده در کشور در خصوص تاثیر عوامل مختلف بر عملکرد انجیر دیم می‌باشد. از این رو تحقیق حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های مهم و موثر خاک بر عملکرد انجیر سیاه در این استان انجام گردید. بدین منظور ۱۲ باغ در شهرستان پلدختر (جنوب استان لرستان) و در دو منطقه معمولان و بابازید انتخاب شد. در هر باغ یک نمونه خاک سطحی تهیه گردید و pH و EC گل اشباع، آهک، کربن‌آلی، فسفر قابل جذب، بافت خاک، درصد اشباع و درصد سنگ و سنگریزه در سه تکرار اندازه‌گیری شد. عملکرد باغ از طریق پرسشنامه در هر هکتار تخمین زده شد. به‌منظور مطالعه اثرات خصوصیات خاک بر عملکرد انجیر، از تجزیه تحلیل آماری و رابطه رگرسیونی چندمتغیره با استفاده نرم‌افزار SPSS استفاده گردید. نتایج نشان داد pH خاک کمترین و عملکرد بیشترین تغییرپذیری (به ترتیب ضریب تغییرات ۱۰< و ۹۰< درصد) را در مناطق مورد مطالعه داشتند. ضریب تغییرات بقیه ویژگی‌ها بین این دو مقدار بود. مدل رگرسیونی بدست آمده نیز مشخص کرد مهمترین ویژگی‌های موثر بر عملکرد انجیر درصد شن، ماده آلی، سنگ و سنگریزه و واکنش خاک هستند که ۶۵ درصد از تغییرات عملکرد را بر عهده دارند. به طور کلی از نتایج تحقیق حاضر می‌توان دریافت، برای تولید مناسب و اقتصادی نیاز به اعمال مدیریت صحیح در جهت کنترل pH و ارتقای ماده آلی خاک بوده علاوه بر اینکه ارزیابی اراضی و یافتن بهترین مکان در زمان احداث باغ نیز برای دستیابی به مدیریت پایدار لازم و ضروری است.

کلمات کلیدی: انجیر سیاه، عملکرد، ویژگی‌های خاک

مقدمه

بر اساس آمارنامه سازمان خواربار جهانی تولید سالانه انجیر در دنیا مجموعا حدود ۹۰ میلیون تن گزارش گردیده است. ایران در بین کشورهای تولید کننده انجیر از نظر سطح زیر کشت در مقام چهارم و از نظر مقدار کل تولید انجیر در مقام پنجم قرار دارد (فائو، ۲۰۲۰). طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی (۱۳۹۶)، از ۸۵۸۲ هکتار از اراضی کشور که تحت کشت انجیر آبی است ۱۵۷۰هکتار در استان لرستان قرار دارد و بر این اساس یکی از مهمترین مناطق تولید کننده انجیر آبی در ایران می‌باشد. مناطق انجیرکاری در این استان از بخش مرکزی شهرستان پلدختر (پلدختر، بابازید، آب تاف) تا بخش معمولان (افرینه، جلگه، زیودار، زورانتل) ادامه دارند؛ اما عمده انجیرکاری‌ها در در منطقه جلگه و زیودار متمرکز شده است. رقم غالب انجیر در لرستان انجیر مشکی با میانگین تولید حدود ۲۰ تن در هکتار می‌باشد.

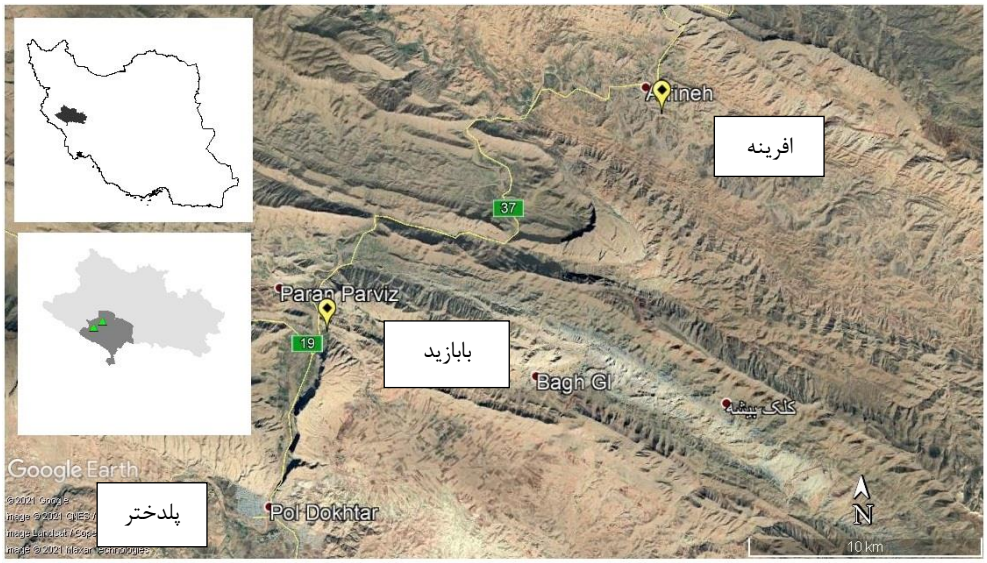
رشد روز افزون جمعیت نیاز به تولید بیشتر را ضروری نموده است و با توجه به محدودیت‌های افزایش سطح زیر کشت، مطالعات بر تلاش برای افزایش عملکرد در واحد سطح و شناخت عوامل موثر بر آن متمرکز گردیده است. با وجود اهمیت انجیر آبی در کشور، مطالعاتی در زمینه ارتباط عملکرد این گونه گیاهی با ویژگی‌های خاک انجام نشده و عمده تحقیقات در خصوص تاثیر عوامل مختلف بر عملکرد انجیر دیم می‌باشد. به عنوان مثال هرناندز و همکاران (۱۹۹۴) جنبه های کیفی و تغذیه ای درختان انجیر را در شش سطح آبیاری و شش سطح نیتروژن، ارزیابی کردند. نتایج ایشان نشان داد آبیاری در زمان گلدهی بر غلظت نیتروژن، فسفر و کلسیم برگ تأثیرگذار بود و سطوح نیتروژن فقط غلظت کلسیم را تحت تأثیر قرار داد. خوگر و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند انجیر دیم تا شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل می‌نماید ولی شوری بیشتر از ۶-۴ دسی‌زیمنس بر متر باعث کاهش ۲۰-۱۰ درصدی محصول انجیر می‌گردد. کریمی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی شرایط رویشگاهی و علل استقرار انجیر وحشی (Ficus johannis) در دو زیرحوزه مزرعه قبله و صادق‌آباد (بخشی از کوهستان شیرکوه) نشان که گونه انجیر وحشی در خاک‌های غیر شور تا کمی شور و قلیایی با اسیدیته ۸/۳۹-۷/۷۴ و بافت شنی - لومی رشد می‌کند. موردوگان و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی اثر کود آلی گوسفندی و گاوی بر عناصر مغذی برگ و میوه و کیفیت میوه انجیر گزارش کردند عناصر مغذی موجود در کود دامی اثری بر غلظت عناصر ماکرو در برگ در مقایسه با شاهد نداشت و اثر آن بر عناصر کم مصرف نیز معنی‌دار نبود. همچنین مقدار عناصر موجود در برگچه ها نیز بجز کلسیم و روی نیز متاثر از کود دامی نبود. مقدار کلسیم با افزایش کود دامی افزایش پیدا کرد و مقدار روی با نسبت ترکیب کود گوسفندی و گاوی ارتباط نشان داد. ایشان گزارش کردند مقدار عناصر تغذیه‌ای در گوشت میوه بجز آهن متاثر از کود دامی نبود و اندازه میوه با افزایش مقدار کود و ترکیب کود افزایش می‌یابد. کوتسیراس و همکاران (۲۰۱۷) رابطه ۹ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل درصد اشباع خاک، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی، مواد آلی، درصد اندازه ذرات، و غلظت عناصر کلسیم، منیزیوم و پتاسیم و فسفر قابل دسترس را با تولید انجیر در جنوب پلوپونیز در یونان بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد مناسبترین pH برای انجیر ۷/۵ تا ۷/۱ ، مناسب‌ترین بافت، لومی و مناسبترین مقدار ماده آلی ۲/۶ تا ۳/۵ درصد است. این محققان مقدار بهینه عناصر کلسیم، منیزیوم، پتاسیم و فسفر را به ترتیب ۴۰۰۰-۳۰۰۰، ۳۰۰ -۲۴۰، ۲۸۰-۲۳۰ و ۲۶< ppm گزارش نمودند.

با توجه به اهمیت انجیر به عنوان یکی از تولیدات بسیار مهم استان لرستان تحقیق حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های مهم و موثر خاک بر عملکرد انجیر سیاه در استان لرستان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

برای انجام تحقیق حاضر ۱۲ باغ در شهرستان پلدختر (جنوب استان لرستان) و در دو منطقه معمولان و بابازید انتخاب شد (شکل ۱). در این دو منطقه میانگین دما و بارندگی سالانه به ترتیب ۲۳ درجه سانتی‌گراد و ۳۶۹ میلی‌متر می‌باشد. بر اساس آمار طولانی مدت (۹۲-۱۳۷۸) رژیم حرارتی و رطوبتی، به ترتیب Termic و Aridic است. باغ‌های انتخابی در محدوده ′۴۴ °۴۷ تا ′۴۳ °۴۷ طول شرقی و ′۱۳ °۳۳ تا ′۱۹ °۳۳ عرض شمالی قرار داشتند. ارتفاع از سطح دریا بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر متغیر بود. انتخاب باغ‌ها به گونه‌ای بود که عملکرد متنوعی داشته و در عین حال از نظر عواملی نظیر مدیریت، اقلیم و سن درخت تا حد ممکن برای تمام باغات شرایط به نسبت مشابهی داشته باشند تا بتوان اثرات خصوصیات اراضی را بر عملکرد انجیر تجزیه و تحلیل آماری و بررسی نمود. در هر باغ یک نمونه خاک سطحی تهیه گردید. pH و EC گل اشباع، آهک، کربن‌آلی، فسفر قابل جذب (روش اولسن)، بافت خاک (روش هیدرومتر)، درصد اشباع و درصد سنگ و سنگریزه در سه تکرار اندازه‌گیری شد. عملکرد باغ از طریق پرسشنامه از مالکان باغ در هر هکتار تخمین زده شد. به‌منظور مطالعه اثرات خصوصیات خاک بر عملکرد انجیر، از تجزیه تحلیل آماری و رابطه رگرسیونی چندمتغیره گام به گام استفاده

گردید. تجزیه و تحلیل‌ها با استفاده نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۴ انجام گردید.



شکل ۱- مکان باغ‌های مورد مطالعه

نتایج و بحث

توصیف آماری داده‌ها

مشخصات آماری ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در جدول ۱ آمده است. مطابق جدول حداقل، حداکثر و متوسط عملکرد در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱/۹، ۴۱ و ۱۰/۹ تن در هکتار بدست آمد. کمترین و بیشترین عملکرد در منطقه بابازید مشاهده گردید. بیشترین عملکرد مشاهده شده دو برابر میانگین عملکرد گزارش شده سازمان جهاد کشاورزی در منطقه بود. کمترین مقدار آهک (۱۹/۳۳ درصد) در منطقه بابازید و بیشترین مقدار (۴۹/۸۳ درصد) در منطقه افرینه مشاهده شد. آهک موجود در خاک یکی از عوامل کنترل کننده pH خاک و فرم‌های قابل دسترس عناصر مغذی برای ریشه گیاه است. افزایش کربنات کلسیم در خاک، جذب عناصر ریزمغذی را تا حد قابل توجهی محدود می‌کند که دلیل این امر

جدول ۱- خلاصه آمار توصیفی ویژگی‌های خاک و عملکرد در منطقه مورد مطالعه

	Range	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance	CV	Skewness	Kurtosis
آهک (%)	۳۰/۵	۱۹/۳۳	۴۹/۸۳	۳۲/۱۴	۷/۵۷	۵۷/۳۷	۲۳/۵۷	۰/۴۹	۰/۷۹
pH	۰/۹	۷/۳	۸/۲	۱/۷/۷۴	۱/۲۱	۰/۰۵	۲/۷۶	۰/۳۶	-۰/۰۷
EC (dSm^{-1})	۳/۰۶	۰/۱۴	۳/۲	۱/۵۱	۱/۰۸	۱/۱۷	۷۱/۳۷	۰/۴۲	-۱/۵۶
Pava	۴/۶	۷/۷	۱۲/۳	۹/۵۹	۱/۳۱	۱/۷۱	۱۳/۶۳	۰/۴۳	-۰/۵۳
Sand (%)	۴۶/۳	۶/۷	۵۳	۳۱/۰۱	۱۱/۶۸	۱۳۶/۳۳	۳۷/۶۵	-۰/۳۵	۰/۰۶
Clay (%)	۳۵	۱۴	۴۹	۲۶/۸۲	۹/۸۸	۹۷/۷۱	۳۶/۸۶	۰/۸۴	-۰/۱۳
Silt (%)	۳۵	۳۰	۶۵	۴۲/۱۸	۸/۳۳	۶۹/۳۹	۱۹/۷۵	۱/۱۷	۱/۹۴
N (%)	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۰۱	۱۴/۶۸	-۰/۳۵	-۰/۸۹
OM (%)	۰/۹۷	۱/۳۶	۲/۳۳	۱/۹۳	۰/۲۸	۰/۰۸	۱۴/۷۲	-۰/۳۲	-۰/۸۹
SP (%)	۲۴/۵	۲۱	۴۵/۵	۳۸/۵	۶/۵۲	۴۲/۴۹	۱۶/۹۳	-۱/۵۶	۱/۷۸
Gravel (%)	۱۶	۷	۲۳	۱۲/۹۲	۵/۲۸	۲۷/۸۵	۴۰/۸۶	۰/۷۵	-۰/۵۱

Yield ($Kgha^{-1}$)	۳۹/۱	۱/۹	٤۱	۱۰/۹۲	۹/۹٤	۹۸/۷۸	۹۱/۰٤	۲/۲٤	٤/۸۸

pH بالا و تشکیل ترکیبات نامحلول عناصر در خاک است (اینگار و همکـاران، ۱۹۸۱).

میانگین شوری در خاک‌های مورد مطالعه ۱/۵۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. کمترین (dSm^{-1} ۱۴ /۰) و بیشترین (dSm^{-1} ۲ /۳) میزان شوری در باغ‌های منطقه بابازید مشاهده شد. این روند در مورد ماده آلی خاک نیز اتفاق افتاد. باغ‌های منطقه بابازید کمترین (۱/۳۶ درصد) و بیشترین (۲/۳۳ درصد) مقدار ماده آلی را در بین باغ‌های مطالعه شده داشتند. متوسط مقدار ماده آلی نیز ۱/۹۳ درصد بود. بر اساس تحقیقات سلیم پور و همکاران (۱۳۹۸)، ارقام سیاه و سبز متحمل‌ترین و رقم شاه انجیر حساس‌ترین به تنش شوری هستند. این محققان گزارش کردند تنش شوری باعث کاهش میزان پتاسیم برگ، ساقه

و ریشه و کاهش میزان نیتروژن کل برگ شد. به طور کلی مشخص شد که رقم سیاه به عنوان متحمل‌ترین رقم و شاه انجیر به عنوان حساس‌ترین رقم به شوری می‌باشند. هرچند بر اساس تحقیق حاضر میزان عملکرد و شوری همبستگی منفی داشت ولی این همبستگی معنی دار نبود (جدول ۲). درصد اشباع در خاک‌های مورد مطالعه بین ۲۱ تا ۴۵/۵ درصد متغیر بود. درصد اشباع خاک نشان‌دهنده تخلخل خاک است که ارتباط مستقیم با عملکرد خاک، حرکت آب در خاک، پیوستگی حفرات درشت، دمای خاک، رطوبت قابل دسترس و عمق توزیع ریشه دارد (داویر و استوارت، ۱۹۹۶؛ شیپیتالو و دیک، ۲۰۰۰).

جدول ۲ – همبستگی بین ویژگی‌های خاک و عملکرد

	آهک (%)	pH	EC (dSm^{-1})	P ava.	Sand (%)	Clay (%)	Silt (%)	N (%)	OM (%)	SP (%)	Gravel (%)	Yield ($Kgha^{-1}$)
آهک (%)	۱	۰/۳۱	-۰/۰۹	-۰/۲۱	-۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/۲۷	-۰/۰۴	۰/۱۲	-۰/۱۲
pH		۱	-۰/۲۱	-۰/۰۴	۰/۲۷	-۰/۱۳	-۰/۲۲	-۰/۱۷	-۰/۱۷	-۰/۳۷*	-۰/۲۴	-۰/۱۶
EC (dSm^{-1})			۱	۰/۱۸	-۰/۱۴	۰/۴۷**	-۰/۳۵*	-۰/۳۵*	-۰/۳۶*	۰/۱۱	۰/۴۲*	-۰.۰۵
P ava.				۱	۰/۰۲	۰/۱۴	-۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۳۹*	-۰/۲۹
Sand (%)					۱	-۰/۷۱**	-۰/۵۶**	۰/۰۹	۰/۱۱	-۰/۵۳**	-۰/۳۴*	**-۰/۵۸****
Clay (%)						۱	-۰/۱۹	-۰/۲۹	-۰/۳۰۳	۰/۱۷	۰/۲۶	**۰/۵۴****
Silt (%)							۱	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۵۴**	۰/۱۷	۰/۱۸
N (%)								۱	۰/۹۷**	۰/۰۶	۰/۲۸	**۰/۵۳****
OM (%)									۱	-۰/۰۰۳	۰/۳	**۰/۵۶****
SP (%)										۱	-۰/۰۵	**۰/۴۰***
Gravel (%)											۱	-۰/۱۹
Yield ($Tonha^{-1}$)												۱

با توجه به ضریب تغییرات داده‌ها، pH خاک کمترین ضریب (کمتر از ۱۰ درصد)، عملکرد بیشترین (بیشتر از ۹۰ درصد) و بقیه ویژگی‌ها ضریب تغییراتی بین این دو مقدار داشتند. ضریب تغییرات کمتر از ۱۰ درصد، دلالت بر تغییرپذیری پایین ویژگی موردنظر و ضریب تغییرات بالاتر از ۹۰ درصد بیانگر تغییرپذیری بالای آن ویژگی است (یغمایی‌ان و همکاران، ۱۳۹۸). ضریب تغییرات نسبتا پایین فسفر قابل استفاده، نیتروژن و ماده آلی خاک می‌تواند در نتیجه استفاده طولانی مدت

و مدیریت یکنواخت خاک و کود باشد که منجر به یکنواختی خاک شده و کاهش ضریب تغییرپذیری را به دنبال داشته باشد (یغماییان و همکاران، ۱۳۹۸). جدول ۲ نیز همبستگی بین ویژگی‌های خاک و عملکرد انجیر را نشان می‌دهد. نتایج این جدول نشان داد عملکرد انجیر در منطقه مورد مطالعه همبستگی منفی و معنی دار با درصد شن خاک (در سطح ۱ درصد) و همبستگی مثبت و معنی دار با درصد رس، اشباع خاک، ماده آلی و نیتروژن خاک دارد. انصاری و همکاران (۱۳۹۰) نشان دادند که افزایش مقدار کربنات کلسیم موجب کاهش معنی‌دار سطح برگ، وزن خشک، ارتفاع گیاه، جذب آهن و روی در اندام هوایی ذرت شد، ولی تأثیر معنی‌داری بر جذب مس اندام هوایی نداشت. هر چند در تحقیق حاضر همبستگی عملکرد انجیر با آهک خاک معنی‌دار نشد.

بررسی رابطه بین ویژگیهای خاک و عملکرد انجیر توسط مدل رگرسیون خطی چند متغیره

نتایج رابطه رگرسیونی بدست آمده در معادله ۱ آمده است. مدل بدست آمده نشان می‌دهد ویژگی های خاک شامل درصد شن، ماده آلی، سنگ و سنگریزه و واکنش خاک مهمترین ویژگی‌های خاک هستند که برروی عملکرد انجیر موثر هستند. مقدار ضریب تبیین استاندارد شده رابطه بدست آمده ۰/۶۵ است که نشان می‌دهد ویژگی‌های انتخاب شده ۶۵ درصد از تغییرات عملکرد را بر عهده دارند.

$$Yield\ (Tonha^{-1}) = -0.59\,Sand + 12.64\,OM - 0.50 Gravel - 10.53\,pH - 21.31 \quad R^2 = 0.65 \quad (۱)$$

مطابق با معادله بدست آمده عملکرد انجیر با درصد ماده آلی خاک ارتباط مثبت دارد. یغماییان و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی تحلیل مولفه اصلی گزارش کردند از ۲۰ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک، کربن آلی، نیتروژن کل و میانگین وزنی قطر خاکدانه ۳۰ درصد تغییرات عملکرد برنج را توجیه کردند. بهمنی و همکاران (۱۳۹۹) در مدلسازی با روش رگرسیون چند متغیره دریافتند نیتروژن کل، درصد سیلت و ماده آلی ویژگی‌های موثر بر عملکرد گل محمدی هستند که ۶۵ درصد تغییرات عملکرد را توجیه می‌نمایند. ساتیروپولوس و همکاران (۲۰۲۰) نیز دریافتند که در یک خاک آهکی با مقدار کافی ماده آلی، کاربرد کود NPK به میزان، ۱ کیلوگرم نیتروژن، ۱/۲ کیلوگرم فسفر و ۰/۶ کیلوگرم پتاسیم بهترین و اقتصادی‌ترین روش برای افزایش عملکرد انجیر در شرایط مدیترانه‌ای پلوپونز یونان می‌باشد.

ارتباط منفی عملکرد و درصد شن خاک و درصد سنگ و سنگریزه نیز پیش از این توسط محققان گزارش شده است. به عنوان مثال سپهوند و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند که افزایش رسوبات رودخانه‌ای با درصد شن و سنگ و سنگریزه بالا برای افزایش بهره‌برداری در کشت شنی خیار، باعث کاهش بهبود شرایط فیزیکی و رطوبتی خاک شده و با مدیریت پایدار منابع خاک همخوانی ندارد. ایشان ثابت کردند افزایش شن و سنگ و سنگریزه در خاک باعث کاهش شاخص‌های رطوبتی مانند درصد اشباع خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک در حالت FC و PWP می‌گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد از میان ۱۱ ویژگی خاک، مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر تخمین عملکرد انجیر در روش رگرسیون خطی چندمتغیره درصد شن، ماده آلی، درصد سنگ و سنگریزه و اسیدیته خاک می‌باشد. متغیرهای ذکر شده توانستند ۶۵ درصد از تغییرپذیری عملکرد را توجیه کنند. همبستگی مثبت عملکرد با ویژگی‌های شیمیایی خاک مشخص می‌کند برای تولید مناسب و اقتصادی نیاز به اعمال مدیریت صحیح در جهت کنترل pH و ارتقای ماده آلی خاک است. همبستگی منفی عملکرد با ویژگی های فیزیکی خاک نیز نشان می‌دهد ارزیابی اراضی و یافتن بهترین مکان در زمان احداث باغ برای دستیابی به مدیریت پایدار لازم و ضروری است.

منابع

انصاری عزآبادی، م. شیرانی، ح. دشتی، ح. تاج‌آبادی‌پور ا. (۱۳۹۰). تأثیر کربنات کلسیم و گچ بر عملکرد، اجزای عملکرد، جذب آهن، مس و روی ذرت (Zea may) در دو بافت خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵۷، ۱۸۱-۱۷۱.

بهمنی، م. محمدی، ج. اسفندیارپور، ع. متقیان ح. (۱۳۹۹). بررسی روابط بین عملکرد گل محمدی و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی با روش‌های رگرسیون چندمتغیره، شبکه عصبی مصنوعی و مدل‌سازی روابط ساختاری. تحقیقات کاربردی خاک ۸ (۲)، ۱۵۷-۱۴۲.

خوگر، ز. حامدی، س. مهرگان، ع. ملکوتی م. (۱۳۸۴). نقش مصرف بهینه کود بر کمیت و کیفیت انجیر در کشور. نشریه فنی شماره ۴۵۵. موسسه تحقیقات خاک و آب. ۱۷ صفحه.

سپهوند، م. امیدواری، ش. پرویزی ف. (۱۳۹۵). تخریب خاک ناشی از استفاده بلند مدت از شن و رسوبات رودخانه‌ای: مطالعه موردی کشت خیار در استان لرستان. نشریه مدیریت اراضی ۴ (۱). ۱۹-۱۳.

کریمی، ز. ایران‌نژاد، م. مصلح‌آرانی، ا. کیانی، ب. (۱۳۹۳). بررسی فلور و شرایط رویشگاهی بیشه‌زار انجیر وحشی (Ficus johannis Boiss) در کوهستان شیرکوه یزد. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۲۲ (۴): ۶۳۶-۶۴۸.

یغمائیان مهابادی، ن. همتی، س. فرهنگی، م. صبوری، ع. (۱۳۹۸). ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک و ارتباط آن با عملکرد برنج در شالیزارهای مرکزی استان گیلان. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار ۹(۱). ۱۳۵-۱۵۰.

Dwyer, L., Stewart., M. L. (1996). Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, 76: 23–28.

FAO statistic.2020. Available: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC.

Hernandez, F.B.T., Modesto, J.C., Suzuki, M.A., Correa, L.S., Reichardt, K. (1994). Effects of irrigation and nitrogen levels on qualitative and nutritional aspects of fig-trees (Ficus carica L.). *Scientia agricola*, 51(2), 292-297.

Iyengar, S.S., Martens, D.C., Miller, W. P. (1981). Distribution and plant availabiliy of soil zinc fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 45:735-739

Kotsiras, A., Amorgianiotis, T., Tsiavtari, E., Antonopoulos, D. F., & Demopoulos, V. (2017). GIS based soil suitability evaluation for fig orchards in Southern Peloponnese, Greece. *Acta Horticulturae*, 1173: 207-212.

Mordoğan, N., Hakerlerler, H., Ceylan, Ş., Aydın, Ş., Yağmur, B., Aksoy, U. (2013). Effect of organic fertilization on fig leaf nutrients and fruit quality. *Journal of plant nutrition*, 36(7), 1128-1137.

Shipitalo, M.J., Dick, W.A. (2000). Conservationtillage and macropore factors that affect water movement and the fate of chemicals. *Soil and Tillage Research*, 53: 167–183.

Sotiropoulos, S., Paschalidis, C., Kavvadias, V., Chatzissavvidis, C., Koriki, A., Xirogiannis, G. (2020). Effect of N-P-K Fertilization on the Yield and Nutrient Status of Fig (Ficus Carica L. Cv. Kalamon) Trees Grown under Mediterranean Conditions. *International Journal of Fruit Science*, 1-9.

Identification of important soil characteristics on the yield of fig orchards in the two regions of Mamolan and Poldakhtar in Lorestan province

Anahid Salmanpour[*1], Firoozeh Veiskarami[2]

1-Research assistant Professor, Soil and Water Department, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Lorestan Province

2- Master of the Department of Soil and Water, Soil and Water Department, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Lorestan Province

Abstract

Due to the limitations in increasing the area under cultivation, studies have focused on increasing yield per unit area and identify the factors affecting it. According to the statistics of the Ministry of Jihad Agriculture, Lorestan province is one of the most important regions for the production of irrigated figs in Iran. Therefore, the present study was conducted to investigate the effective soil properties on the yield of black figs in this province. For this purpose, 12 gardens were selected in Pole-dokhtar city (south of Lorestan province) and in two areas of Mamolan and Babazeid. In each garden, a surface soil sample was prepared and the pH and EC of saturated paste, soil calcium carbonate, organic carbon, absorbable phosphorus, soil texture, saturation percentage and percentage of soil gravel were measured in three replications. Fig tree yield was estimated per hectare through a questionnaire. In order to study the effect of soil properties on fig production, statistical analysis and multivariate regression equation were used using SPSS software. The results showed that soil pH had the lowest and yield had the highest variability (coefficient of variation< 10 and >90%, respectively) in the study areas. The coefficient of variation of the other soil properties were between these two values. The regression model manifested that the most important characteristics affecting the yield of figs are the percentage of sand, organic matter, gravel and soil reaction, which are responsible for 65% of yield fluctuation. In general, from the results of the present study, it can be seen that for proper and economical production, appropriate management is needed to control the soil pH and improve its organic matter. In addition, land evaluation and finding the best place is necessary during the construction of the orchards to achieve sustainable management.

Keyword: Black fig, yield, soil properties

بررسی اثر کپه کاری و قرق بر ویژگی‌های شیمیایی خاک مراتع دارانی علیا

۱- مریم احمدوند ۲-داود اخضری

۱- دانشجوی ارشد مرتعداری دانشگاه ملایر Email:m.ahmadvand2015@gmail.com

۲- استاد گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر Email: d_akhzari@yahoo.com

چکیده

اکوسیستم‌های مرتعی از دیدگاه اکولوژیکی، اقتصادی و زیست محیطی دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای می‌باشند. از آنجاکه مراتع منابع مهم تامین‌کننده علوفه لازم برای تغذیه دام‌ها به شمار می‌آیند، عدم تعادل بین ظرفیت مرتع و شدت جرای دام موجب ایجاد تغییرات زیادی در ویژگی‌های خاک می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی اثر قرق و کپه‌کاری مراتع منطقه دارانی علیا در شهرستان تویسرکان، استان همدان بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک انجام شده است. بدین منظور از روش نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی، در عرصه ۵ هکتاری که در سال ۱۳۹۳ در آن کپه‌کاری با بذر باریجه، اسپرس و النگاتوم انجام شده و قرق گردیده بود، استفاده شد و در خرداد ۱۳۹۹ از ۱۰ ترانسکت ۱۰۰ متری و در هر ترانسکت ۱۰ پلات ۱ در ۱ تعیین و از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری نمونه خاک برداشت شد. نتایج نشان در منطقه مورد مطالعه میزان pH در دو منطقه چرا و قرق تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد نداشته است. از طرفی میزان نیتروژن، فسفر و کربن آلی خاک در دو منطقه قرق و چرا تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد در عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری داشتند و میزان آنها در منطقه چرا بیشتر بوده است. همچنین هیچ تفاوت معناداری در دو عمق ۱۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری در هیچ یک از پارامترهای ذکر شده دیده نشد.

کلمات کلیدی: حاصلخیزی خاک، مدیریت مرتع، منطقه دارانی، وضعیت مرتع.

۱. مقدمه

به کلیه اراضی طبیعی که دارای پوشش گیاهی خودرو بوده و بتواند علوفه مورد نیاز دام‌ها را در فصل چرا تأمین نمایند مرتع گفته می‌شود. چرای دام مهم‌ترین و متداول‌ترین نوع کاربری اراضی مرتعی در سراسر جهان است و تاثیر زیادی بر چرخه عناصر خاک دارد [۱۶]. اکوسیستم‌های مرتعی از دیدگاه اکولوژیکی، اقتصادی و زیست محیطی دارای اهمیت فوق-العاده‌ای می‌باشند. همچنین خاک‌های مرتعی با تغییرپذیری زمانی و مکانی شدید، گسترش وسیع داشته و اهمیت زیادی در حفظ تنوع گیاهی و به طور کلی موجودات زنده در این اکوسیستم‌ها دارند [۳]. چرای دام و استفاده از علوفه تولیدی در مراتع، مهم‌ترین روش استفاده از مراتع است و تأثیر مهمی در ساختارها و عملکردهای اکوسیستم مرتع دارد و از طرفی توسط رشد گیاه، ساختار جامعه و عملکرد اکوسیستم در مراتع در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد [۲۲].

چرای بیش از حد ممکن است منجر به تغییرات آشکاری در ترکیب و ساختار جامعه گیاهی شود و در نتیجه منجر به کاهش قابل توجهی در توانایی احیای مراتع، زیست توده و مقدار مواد مغذی برگشته به خاک از طریق بستر شده و در نهایت منجر به تخریب مراتع گردد [۱۲]. چرای بیش از حد ظرفیت در مراتع به عنوان یک آشفتگی محسوب می‌شود و هر

نوع آشفتگی از این دست، ممکن است در دراز مدت منجر به تغییراتی در چرخه عناصر خاک شود و در نهایت سبب کاهش باروری خاک، تخریب خاک و افزایش فرسایش گردد [۱۱]. در مناطق با شدت چرای شدید، از درصد ماده آلی خاک کاسته می‌شود. افزایش چرا باعث کاهش پوشش گیاهی و لاشبرگ در سطح خاک و در نتیجه کاهش ماده آلی خاک می‌گردد [۴]. چرای دام بازگشت کربن به خاک را کاهش می‌دهد و میزان کربن خاک در منطقه قرق شده بیشتر از منطقه چرا گزارش شده است [۶]. بیشترین مقدار کربن و ماده آلی مربوط به چرای سبک و کمترین آن مربوط به چرای سنگین بوده است. در چرای سنگین به دلیل چرای مفرط مقدار بیومس هوایی و زیرزمینی کاهش می‌یابد در نتیجه ماده آلی و کربن هم کاهش می‌یابد [۱۳].

افزایش شدت چرا باعث کاهش میزان نیتروژن خاک نیز می‌گردد [۴]. An و Li [۱۰] گزارش نمودند نیتروژن خاک در مناطق چرا شده کاهش داشته است و از طرفی این کاهش در خاک عمقی بیشتر از خاک سطحی بوده است. علت این کاهش معنادار میزان نیتروژن خاک در لایه‌های عمقی به نسبت لایه‌های سطحی احتمالا به جذب و تخلیه این ماده توسط ریشه گونه‌های گیاهی از اعماق خاک و برگشت این مواد از طریق فضولات و ادرار دام‌های موجود به لایه‌های سطحی خاک مربوط می‌باشد. شدت چرای دام باعث کاهش میزان فسفر خاک گردیده است. دلیل این امر این است که قسمت عمده فسفر خاک به صورت ترکیب با مواد آلی است بنابراین خاک‌های سرشار از مواد آلی دارای فسفر بیشتری هستند. گیاه فسفر را از اعماق خاک جذب کرده و بعد از خشک شدن گیاه فسفر در سطح خاک آزاد می‌گردد [۴]. در بررسی اثر چرای دام بر پوشش گیاهی و خاک در مراتع سیساب بجنورد نتایج مشابهی گزارش شده و بیان گردیده است که چرا باعث کاهش فسفر به خصوص در عمق پایین‌تر می‌شود [۹]. فسفر به عنوان عنصر کاهش دهنده اسیدیته عمل می‌کند به این ترتیب هرچه مقدار فسفر بیشتر باشد مقدار اسیدیته کمتر است [۱۵].

در منطقه قرق شده قلیاییت خاک نیز نسبت به منطقه چرا شده کاهش داشته است که دلیل آن را می‌توان به افزایش ماده آلی یا کربن در خاک نسبت داد که موجب افزایش اسیدهای آلی و اسیدهای معدنی به خصوص اسید کربنیک در خاک می‌شود. اگرچه این ماده اسید ضعیفی است اما تولید دائم این اسید در خاک سبب شسته شدن آهک از این خاک‌ها شده و خارج کردن آهک از سبب کاهش pH می‌گردد [۹]. علت کاهش اسیدیته خاک در منطقه با شدت چرای کم می‌تواند مربوط به بیوماس بالای ریشه‌ای و انباشت ماده آلی زیاد و متابولیسم میکروارگانیسم‌های بسیار فعال در ریزوسفر باشد [۲۱].

به منظور احیای مراتع تحت چرای شدید روش‌های مختلفی وجود دارد. قرق به حفاظت و جلوگیری از ورود و چرای دام-های اهلی و وحشی به مراتع اتلاق می‌شود. به تعبیر دیگر قرق مرتع از نظر علمی به مفهوم جلوگیری از ورود (دام‌های اهلی و در برخی موارد دام‌های وحشی) به مرتع با هدف ایجاد تغییرات مورد نظر کمی و کیفی در پوشش گیاهی، استفاده بهینه از ذخیره نزولات آسمانی و حفاظت خاک و کاهش تولید رسوب می‌باشد [۵]. قرق به منظور اصلاح مرتع، حفاظت از حوزه-های آبخیز سدها، ایجاد مناطق امن برای حیات وحش، تامین شرایط مناسب برای اجرا و موفقیت پروژه‌های بذرکاری و نشاکاری، کاشت درختان و درختچه‌ها و همچنین برنامه‌های پژوهشی به اجرا در می‌آید. کپه‌کاری نیز رایج‌ترین روش اصلاح مراتع کوهستانی، به‌ویژه در دامنه‌های پرشیب، محسوب می‌شود. کپه‌کاری، یکی از روش‌های بذرکاری است که در آن بذر گیاهان مرتعی مورد نظر در چاله‌های حفر شده با دست قرار گرفته و سپس با خاک پوشانده می‌شود. در روش کپه-کاری، چاله‌های کوچکی در سطح مرتع احداث و سپس تعدادی بذر گیاهان مرتعی درون آنها کشت می‌شود [۲].

کشور ایران با برخورداری از ۹۰ میلیون هکتار عرصه‌های مرتعی، یکی از ۸ کشور دارای غنی‌ترین فلور گیاهی در جهان است. ایران کشوریست که دارای اراضی کوهستانی فراوانی به‌ویژه در غرب آن می‌باشد. این مناطق به دلیل داشتن شیب-های تند، برای کشت مناسب نیستند و به صورت مرتع برای چرای دام بهره‌برداری می‌شوند. در این مناطق به دلیل فشار سنگین چرا در طول سالیان دراز، پوشش گیاهی هم از نظر کمی و هم از نظر کیفی کاهش داشته است و گونه‌های نامرغوب جانشین گونه‌های با ارزش مرتعی شده است. چرای دام به عنوان بخش اصلی مصرف گیاهان مرتعی در کشور به طرق

مختلف نظیر تغذیه اندام هوایی گیاهان، لگدکوبی و تولید فضولات دامی، توزیع مواد غذایی خاک نظیر کربن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی را تغییر می‌دهد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر قرق و کپه‌کاری بر خصوصیات شیمیایی خاک منطقه دارانی در شهرستان تویسرکان در استان همدان است.

۲. مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه دارانی که در شهرستان تویسرکان در استان همدان قرار گرفته، در هفت کیلومتری جنوب شهر تویسرکان واقع شده است. میزان بارندگی منطقه بر اساس آمار بارندگی نزدیکترین ایستگاه هواشناسی همدان که در فاصله ۳۵ کیلومتری منطقه است به میزان ۳۰۹/۲ میلی‌متر با پراکنش متوسط بوده و آب‌های جاری منطقه شامل چند عدد چشمه طبیعی می‌باشد.

به منظور نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه از روش نمونه‌برداری سیستماتیک تصادفی، در عرصه ۵ هکتاری که در سال ۱۳۹۳ در آن کپه‌کاری با بذر باریجه، اسپرس و النگاتوم انجام شده و قرق گردیده بود، استفاده شد. اندازه‌گیری pH نشان می‌دهد خاک چه مقدار اسیدی و یا بازی است. اندازه‌گیری pH خاک با دستگاه pH متر و از عصاره گل اشباع انجام گردید. باید به این نکته توجه داشت که pH خاک بیانگر pH محلول خاک است [۲۰]. همچنین به منظور اندازه‌گیری کربن آلی خاک نمونه‌ها، از روش Walkley و Black [۲۳] استفاده گردید که در آن درصد کربن با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رابطه ۱):

$$C\% = \frac{10 * (V_1 - V_2) * N * 0.003 * 100}{W * V_1}$$ رابطه (۱)

که در این رابطه W وزن نمونه خاک؛ V_1: حجم محلول فروآمونیوم سولفات مصرف شده برای شاهد؛ V_2 حجم فروآمونیوم سولفات ۰/۵نرمال مصرف شده برای نمونه خاک و N نرمالیته فروآمونیوم سولفات است.

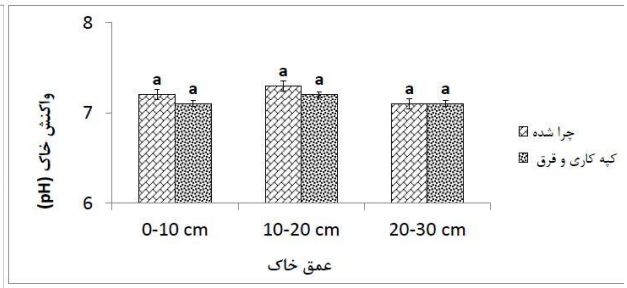
به منظور تعیین فسفر قابل استفاده در خاک‌های آهکی از روش اولسن استفاده گردید [۱۹]. در این روش با استفاده از محلول نیم نرمال بی‌کربنات سدیم با pH ۸/۵ عصاره خاک تهیه می‌شود. بی‌کربنات و هیدروکسیل به صورت دو رقیب فسفات را از ذرات خاک جدا می‌کنند. افزایش pH سبب افزایش غلظت یون‌های بی‌کربنات گشته در نتیجه حلالیت یون-های کلسیم کاهش می‌یابد. بدین ترتیب مقدار کمتری از فسفات‌های آزاد شده به صورت فسفات کلسیم رسوب می‌کند. نیتروژن در خاک عمدتاً به صورت ترکیبات آلی، از جمله پروتئین بوده و تنها مقدار ناچیزی ار آن به شکل آمونیوم و نیترات در خاک یافت می‌شود. امروزه بهترین طریقه اندازه‌گیری نیتروژن کل خاک استفاده از روش کجلدال (اکسید کردن مرطوب) می‌باشد. در روش کجلدال، نیتروژن آمونیاکی ($N\text{-}NH_4$) ماده آلی بر اثر ترکیب با اسید سولفوریک غلیظ به صورت سولفات آمونیوم درآمده، آمونیوم حاصل پس از ترکیب با سود غلیظ در دستگاه تقطیر به گاز آمونیاک تبدیل گشته و گاز حاصل سپس بوسیله اسید بوریک جمع‌آوری می‌شود. سرعت فعل و انفعالات فوق با افزایش دما و در حضور کاتالیزور فزونی می‌یابد. در عمل به منظور افزایش دما، از سولفات پتاسیم و یا سولفات سدیم استفاده می‌شود. در پایان باز تشکیل شده با کمک اسید سولفوریک رقیق تیتر گردیده و بدین ترتیب مقدار کل نیتروژن خاک تعیین می‌شود [۲۰].

آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از روش کولموگروف اسمیرنوف انجام گرفت. پس از آن به منظور بررسی تاثیر شرایط قرق و کپه‌کاری بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دو منطقه چرا و منطقه قرق و کپه‌کاری از آزمون t مستقل در سطح ۵ صدم در نرم‌افزار SAS استفاده گردید. این آزمون، میانگین دو گروه را با یکدیگر مقایسه می‌کند. به عبارتی دیگر در این آزمون، میانگین‌های بدست آمده از نمونه‌های تصادفی مورد قضاوت قرار می‌گیرد. بدین معنی که از دو جامعه مختلف، نمونه‌هایی اعم از اینکه تعداد نمونه مساوی یا غیر مساوی باشند، به طور تصادفی انتخاب کرده و میانگین‌های آن دو جامعه را با هم مقایسه می‌کند.

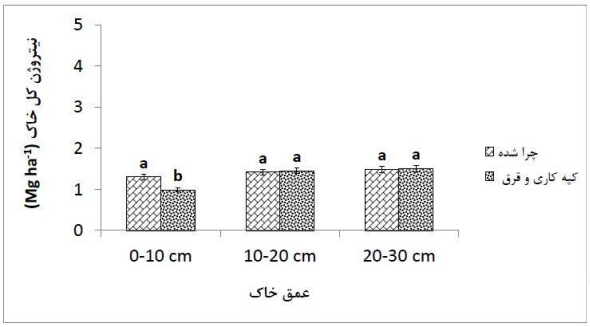
۳. نتایج و بحث

وضعیت pH خاک اندازه‌گیری شده در دو منطقه چرا و منطقه قرق و کپه‌کاری نشان داد در هر سه عمق مورد بررسی تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد در میزان واکنش خاک مشاهده نشده است. از آنجا که افزایش ماده آلی یا کربن در خاک موجب افزایش اسیدهای آلی و اسیدهای معدنی به خصوص اسید کربنیک در خاک می‌شود، انتظار می‌رود در منطقه قرق شده قلیاییت خاک نیز نسبت به منطقه چرا شده کاهش داشته باشد اما اینگونه مشاهده نگردید. اگرچه اسید کربنیک اسید ضعیفی است اما تولید دائم این اسید در خاک سبب شسته شدن آهک از این خاک‌ها شده و خارج کردن آهک سبب کاهش pH می‌گردد [۹]. pH خاک همبستگی بسیار قوی با بارندگی دارد بدین طریق که مناطق خشک و نیمه مرطوب قلیائی یا خنثی بوده و بیشتر خاک های مناطق مرطوب اسیدی هستند. از آنجا که مناطق مورد مطالعه در کنار یکدیگر بوده و در یک منطقه آب و هوایی قرار دارند از این رو تأثیر بارندگی بر هر دو یکسان است. از طرف دیگر pH خاک به مواد مادری خاک نیز بستگی دارد و با توجه به اینکه دو منطقه مواد مادری یکسانی دارند میزان pH نیز یکسان می‌باشد [۱۸].

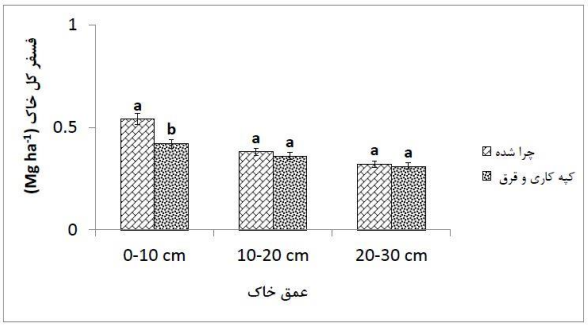
نتایج آنالیز میزان نیتروژن کل خاک نشان داد میزان آن در خاک سطحی که در معرض چرای دام قرار داشته است، افزایش معناداری در سطح ۵ درصد گزارش شده است در صورتی که در عمق ۱۰ الی ۳۰ سانتی‌متری میزان نیتروژن کل تفاوت معناداری نداشته است. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهند که معمولاً چرای دام در دراز مدت باعث کاهش مقدار کربن و ازت کل خاک شده و می‌تواند سرعت تجزیه مواد گیاهی را افزایش دهد. به علاوه میزان کربن و نیتروژن خاک در طول فصل چرا نیز متغیر است [۱۴]. همچنین چرای مرتع از طریق افزایش فضولات دامی، باعث افزایش تجزیه و چرخش سریع کربن و ازت خاک می‌شود [۱۷]. عدم تاثیر قرق و کپه‌کاری بر میزان نیتروژن کل احتمالا به دلیل نیاز به زمان بیشتر جهت تاثیر بر خصوصیات خاک بوده و بیشتر بودن میزان نیتروژن در منطقه چرا به دلیل بازگشتن نیتروژن به خاک از طریق فضولات دامی در این منطقه بوده است.



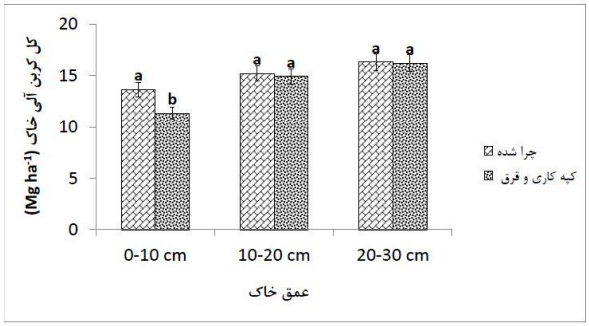
شکل 1- نتایج آزمون t مستقل pH خاک



شکل 2- نتایج آزمون t مستقل نیتروژن کل خاک



شکل 3- نتایج آزمون t مستقل فسفر کل خاک



شکل4- نتایج آزمون t مستقل کربن آلی کل خاک

افزایش نیتروژن در منطقه چرا احتمالا به دلیل جذب و تخلیه نیتروژن توسط ریشه گونه‌های گیاهی و برگشت این مواد از طریق فضولات و ادرار دام‌های موجود به لایه‌های سطحی خاک مربوط می‌باشد. با این حال گزارش شده است افزایش شدت چرا باعث کاهش میزان نیتروژن خاک نیز می‌گردد که علت افزایش میزان نیتروژن خاک در منطقه قرق نسبت به غیر قرق را می‌توان اضافه شدن لاشبرگ در اثر تجزیه گیاهان عنوان نمود [۴].

در بررسی کربن آلی کل نیز نتایج مشابه شرایط نیتروژن و فسفر بوده و در خاک سطحی میزان آن در شرایط تحت چرا به صورت معناداری در سطح ۵ درصد بیشتر از شرایط قرق و کپه‌کاری بوده است اما در خاک عمقی تفاوت معناداری نداشته‌اند. گزارش شده است در مناطق با شدت چرای شدید، از درصد ماده آلی خاک کاسته می‌شود. افزایش چرا باعث کاهش پوشش گیاهی و لاشبرگ در سطح خاک و در نتیجه کاهش ماده آلی خاک می‌گردد [۴] لذا چرای دام بازگشت کربن به خاک را کاهش می‌دهد و میزان کربن خاک در منطقه چرا کمتر از منطقه قرق است [۶]. عامل دیگری که بر میزان کربن آلی در مراتع موثر است شدت چرا می‌باشد به نحوی که بیشترین مقدار کربن و ماده آلی مربوط به چرای سبک و کمترین آن مربوط به چرای سنگین بوده است. در چرای سنگین به دلیل چرای مفرط مقدار بیومس هوایی و زیرزمینی کاهش می‌یابد در نتیجه ماده آلی و کربن هم کاهش می‌یابد. در چرای متوسط مقدار ماده آلی بیشتر از چرای سنگین است چرا که تحت چرای متوسط رشد گیاهان تحریک شده [۱۳] و بیومس افزایش می‌یابد اما چرای مفرط رشد را مختل می‌کند. در منطقه مورد مطالعه به دلیل بازگشت مواد مغذی از طریق فضولات حیوانی و نوع گونه‌های گیاهی غالب [۱]، میزان کربن، نیتروژن و فسفر که همگی جز غالب بخش آلی خاک هستند، در منطقه چرا بیشتر از قرق بوده است.

۴. مراجع

۱. آقاجان‌تبار، ح.، محسنی ساروی، م.، چائی چی، م.ر.، حیدری، ق. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر شدت چرا بر برخی مشخصه‌های فیزیکوشیمیایی خاک و پوشش گیاهی در حوزه آبخیز واز، استان مازندران . پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۶(۱۱): ۱۱۱-۱۲۳.

۲. جنگجو برزل‌آباد، م.، دلاوری، ا.، گنجعلی، ع. ۱۳۸۷. کپه‌کاری گیاه مرتعی *Bromus kopetdaghensis* در مراتع بوته‌زار. مجله علمی پژوهشی مرتع. ۲(۴): ۳۱۴-۳۲۸.

۳. ریاحی سامانی، م.، رئیسی ف. ۱۳۹۳. پویایی کربن خاک در مراتع طبیعی تحت چرا و قرق در سه اکوسیستم مرتعی کوه‌های زاگرس مرکزی. نشریه آب و خاک. ۲۸(۴): ۷۴۲-۷۵۳.

۴. قربانی، ژ.، سفیدی، ک.، کیوان بهجو، ف.، معمری، م.، اشرف سلطانی طولارود، ع. ۱۳۹۴. اثر شدت مختلف چرای دام بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع جنوب شرقی سبلان. نشریه علمی پژوهشی مرتع. ۹(۴): ۳۵۳-۳۶۶.
۵. قدوسی، ج.، توکلی، م.، خلخالی، ع.، سلطانی، م.ج. ۱۳۸۵. ارزیابی تاثیر قرق مرتع در کاهش و مهار فرسایش خاک و تولید رسوب. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۷۳: ۱۳۶-۱۴۲.
۶. کمالی، پ.، عرفانزاده، ر. ۱۳۹۲. اثر چرای دام بر تنوع، غنای گونه‌ای و برخی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک. فصلنامه علمی-پژوهشی اکوسیستم‌های طبیعی ایران. ۴(۱): ۱-۱۸.
۷. نیک نهاد قرماخر، ح.، جعفری فوتمی، ع.، شیدای کرکج، ا. ۱۳۹۲. اثر عملیات اصلاحی قرق بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه خشک مراوه تپه استان گلستان. تحقیقات کاربردی خاک. ۱(۲): ۱۱۴-۱۲۴.
8. Aghakhani, M. H., Borj, A. N., and Tavakoli, H. O. S. S. E. I. N. 2010. The effects of grazing intensity on vegetation and soil in Sisab rangelands, Bojnord, Iran. Iranian Journal of Range and Desert Research. 17(2): 243-255.
9. Aghamohseni Fashami, M., Zahedi, G. A., Farahpour, M., and Khorasani, N. A. 2008. Grazed and the impact on soil organic carbon and soil density: a case study in the pastures of the southern slopes of the central Alborz. Journal of Agricultural Science. 5(4): 35-49.
10. An, H., & Li, G. 2015. Effects of grazing on carbon and nitrogen in plants and soils in a semiarid desert grassland, China. Journal of Arid Land. 7(3): 341-349.
11. Bakhshi, J., Javadi, S. A., Tavili, A., and Arzani, H. 2019. Study on the effects of different levels of grazing and exclosure on vegetation and soil properties in semi-arid rangelands of Iran. Acta Ecologica Sinica.
12. Dong, S. K., Wen, L., Li, Y. Y., Wang, X. X., Zhu, L., and Li, X. Y. 2012. Soil- quality effects of grassland degradation and restoration on the Qinghai- Tibetan Plateau. Soil Science Society of America Journal. 76(6): 2256-2264.
13. Han, G., Hao, X., Zhao, M., Wang, M., Ellert, B. H., Willms, W., and Wang, M. 2008. Effect of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia. Agriculture, Ecosystems & Environment. 125(1-4): 21-32.
14. Haidarian M, Naghipoor AA and Tavakoli H. 2010. Effect of grazing intensity on vegetation and soil in sysabbojnord, Iranian Journal of Range and Desert Research, 17(2): 243-255.
15. Jafari, M., Ebrahimi, M., Khorsandi, Z., Tahmores, M. and Javadi, A. 2009. Soil Guide, University of Tehran press, 444 p.
16. Kelaidis, P. 2015. Introduction: Principal steppe regions. Steppes: The plants and ecology of the world's semi- arid regions. pp 360.
17. Kohandel A, Arzani H and Tavasol MH. 2009. Effect of different grazing in intensities on nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter in stepi Savojbolagh rangelands. Journal Range Management 3(6): 59-65.
18. Liebig, M.A., Gross, J.R., Kronberg, S.L., Hanson, J.D., Frank, A. B. and Phillips, R.L. 2006. Soil response to longe-term grazing in the northern Great plains of north America. Agriculture, Ecosystems and Environment. 270-276.
19. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. (1954). Estimation of Available Phosphorous in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate; U.S. Department of Agriculture: Washington, D.C., USDA Circ. 939.
20. Pansu, M., & Gautheyrou, J. 2007. Handbook of soil analysis: mineralogical, organic and inorganic methods. Springer Science & Business Media.
21. Pei, S., Fu, H., and Wan, C. 2008. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. Agriculture, Ecosystems & Environment. 124(1-2): 33-39.
22. Rahmanian, S., Hejda, M., Ejtehadi, H., Farzam, M., Memariani, F., and Pyšek, P. 2019. Effects of livestock grazing on soil, plant functional diversity, and ecological traits vary between regions with different climates in northeastern Iran. Ecology and evolution. 9(14): 8225-8237.
23. Walkley, A., andBlack, A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29–38.

تاثیر جنگل‌کاری و نوع گونه درختی بر فعالیت آنزیمی خاک در نواحی نیمه خشک (مطالعه موردی: منطقه بیستون استان کرمانشاه)

سحر مهرنوش[۱]، علی بهشتی آل آقا[۲]، مرتضی پوررضا[۳*]، علی اکبر صفری سنجانی[۴]

۱- دانش‌آموخته رشته علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه رازی

۳- *استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه رازی pourreza@razi.ac.ir

۴- استاد، گروه خاکشناسی، دانشگاه بوعلی سینا

چکیده

به منظور بررسی اثر جنگل‌کاری با گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ بر فعالیت آنزیمی‌خاک در مناطق نیمه خشک، پارک جنگلی بیستون در استان کرمانشاه انتخاب شد. در راستای یک دامنه و با شرایط اکولوژیک یکسان، کاربری‌های مختلفی شامل اراضی کشاورزی دیم، چراگاه و جنگل‌کاری‌ها با گونه‌های سرو نقره‌ای، کاج بروسیا و اقاقیا، در نظر گرفته شد. از هر یک از این کاربری‌ها سه نمونه خاک ترکیبی با الگوی تصادفی برداشت شد. البته در جنگل‌کاری‌ها، نمونه‌های خاک هم از زیر تاج درختان و هم از محدوده خارج از زیر تاج درختان برداشت شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک، فعالیت آنزیمی و همچنین برخی ویژگی‌های شیمیایی مانند ماده آلی و فسفر خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که فعالیت آنزیمی خاک در جنگل‌کاری با گونه‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ به طور معنی‌داری بیشتر از کاربری‌های کشاورزی و چراگاه بود. که جنگل‌کاری با گونه‌های درختی و به ویژه سوزنی‌برگان باعث بهبود کیفیت خاک نسبت به پوشش‌های کشاورزی و چراگاه شده است که می‌تواند وابسته به انباشتگی لاشبرگ فراوان و خاستگاه کربن آلی برای ریز جانداران در این پوشش‌ها باشد.

واژگان کلیدی: اقاقیا، جنگل‌کاری، سرو، فعالیت آنزیمی، کاج

مقدمه

جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بر روی خاک تأثیرات متفاوت می‌گذارد (شیخلو و رسولی صدقیانی، ۱۳۹۵) که دلیل آن، اختلاف گونه‌های مختلف در میزان جذب مواد معدنی، کیفیت لاشبرگ‌ها و سرعت رشد گونه‌ها است (کوچ و نقره، ۱۳۹۸؛ صالحی و همکاران، ۱۳۹۱). نوع گونه‌های جنگل‌کاری می‌تواند برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک را تحت تأثیر قرار دهد (Ghasemi Aghbash *et al.*, 2016; Kooch *et al.*, 2016). در همین راستا، در خصوص تأثیر گونه‌های درختی مختلف بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته است و نتایج کلی بیانگر آن است که حضور گونه‌های درختی پهن‌برگ در افزایش حاصلخیزی و باروری خاک بسیار مؤثر می‌باشد (Vesterdal *et al.*, 2013). گونه‌های سوزنی‌برگ خاک پیرامون خود و زیر درخت را اسیدی کرده و مانع از رشد گونه‌های دیگر گیاهان می‌شود (خان حسنی و همکاران، ۱۳۸۸). از دیگر اثرات گونه‌های سوزنی‌برگ می‌توان به خاصیت آللوپاتی، کمبود رطوبت موردنیاز پوشش علفی، کوبیدگی شدید خاک، تراکم زیاد در واحد سطح، نور و حرارت کم و فراوانی لاشبرگ و سوزنی‌های ریخته شده در زیر درختان سوزنی‌برگ، اشاره نمود (Ghasemi Aghbash *et al.*, 2015; Chae *et al.*, 2019). بررسی فعالیت آنزیم‌های خاک روش متداولی است که به‌طور گسترده برای سنجش فرآیندهایی که در چرخه‌های مواد غذایی خاک روی می‌دهد استفاده می‌شود (Silva *et al.*, 2019; Nannipieri *et al.*, 2017; Dick, 1984). از آنجایی‌که فعالیت آنزیمی در برابر عوامل

بیرونی بسیار حساس بوده، سنجش فعالیت آنزیم‌های خاک اساس پژوهش‌های بی‌شماری بوده که در پی یافتن تأثیر مدیریت و تنش‌های محیطی بر کیفیت خاک بوده است (Tabatabai and Dick., 2002; Sadeghifar *et al.*, 2020; Avellandea-Torres *et al.*, 2013; Pourreza *et al.*, 2014). فعالیت آنزیم‌های خاک به‌طور عمده تحت تأثیر مشخصات فیزیکی و شیمیایی و مدیریت خاک هستند و بیانگر فعالیت میکروبی و حاصلخیزی خاک است (Tabatabai and Dick., 2002). آنزیم‌های خاک از منابع گیاهی و میکروبی منشأ می‌گیرند و فعالیت اندازه‌گیری شده آنزیم‌ها نشان‌دهنده‌ی ترکیبی از آنزیم‌های داخل سلولی، آنزیم‌های خارج سلولی محلول و آنزیم‌های ترکیب‌شده با رس‌ها و مواد آلی است که نقش آن ها در تشخیص کیفیت خاک تحت کاربردهای مختلف، انواع تخریب‌های انسانی و غیرانسانی و انواع متفاوتی از رویشگاه‌ها به اثبات رسیده است (Caldwell, 2005). مطالعات بیانگر آن است که سرعت فعالیت آنزیم‌های خاک در اکوسیستم‌های مختلف متفاوت بوده و به فاکتورهایی از قبیل کیفیت محتوای ماده آلی خاک، نسبت کربن به نیتروژن و سایر شرایط وابسته می‌باشد (Caldwell, 2005). واکنش خاک (pH)، بافت خاک و زی‌توده ریشه، از دیگر عوامل مهمی هستند که در پژوهش‌های پژوهشگران اثبات‌شده است که فعالیت‌های آنزیمی خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند (Edwards and Jefferies, 2013; Zhao *et al.*, 2018). جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف درختی گزارش‌شده که تأثیرهای مختلفی بر کیفیت و کمیت محتوای ماده آلی خاک داشته و ازاین‌رو به‌شدت گونه‌های درختی فعالیت‌های آنزیمی خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (حق‌وردی، ۱۳۹۶). جنگل‌کاری با گونه‌های پهن‌برگ بر طبق گزارش‌هایی در مقایسه با سوزنی‌برگان باعث افزایش کیفیت محتوای ماده آلی خاک شده و در بیشتر نتایج و گزارش‌های اثبات گردیده که جنگل‌کاری با گونه‌های پهن‌برگ باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های خاک می‌شود (صالحی و همکاران، ۱۳۹۱). این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از این شاخص که در بیشتر پژوهش‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های میکروبی به آن شاره می‌شود، تأثیر جنگل‌کاری در مناطق نیمه خشک با برخی گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ را بر خاک ارزیابی و تعیین نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه، در استان کرمانشاه، در منطقه جنگل‌کاری شده بیستون با طول جغرافیایی (۳۴۲۲۱۶) و عرض جغرافیایی (۴۷۲۵۱۰) در غرب ایران واقع می‌باشد. کرمانشاه میانگین بارش منطقه ۴۰۰ تا ۴۵۰ میلی‌متر در سال و متوسط حداکثر دما ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل دمای آن ۱۲- تا ۱۳- درجه سانتی‌گراد است. بیشترین میزان بارندگی در فصول پاییز تا بهار انجام‌شده و تابستان خشک در منطقه حاکم می‌باشد (خان حسنی و همکاران، ۱۳۸۸). به‌منظور بررسی ویژگیهای بیولوژیک خاک از پنج جایگاه نمونه‌برداری صورت گرفت که شامل کاربری کشاورزی (اراضی دیم و نسبتاً فقیری که معمولاً تحت کشت جو و گندم قرار می‌گیرند و باردهی کمی دارند)، کاربری چراگاه (مراتعی با حداقل پوشش گیاهی و شیب زیاد که در اثر تردد و چرای بیش از ظرفیت دام به سمت اراضی بایر سوق داده‌شده‌اند)، جنگل‌کاری با گونه اقاقیا (زیر تاج بیرون تاج)، جنگل‌کاری با گونه سرو نقره‌ای (زیر تاج بیرون تاج) و جنگل‌کاری با گونه کاج (زیر تاج بیرون تاج) نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی در ۳ تکرار از لایه ۰تا ۵ سانتی‌متری انجام شد. طرح آماری نمونه‌برداری این پژوهش میدانی، به گونه کاملاً تصادفی بود که در آن با توجه به نوع گونه جنگل‌کاری شده دو نوع توده جنگلی سوزنی‌برگ (شامل توده سرو سیمین و کاج بروسیا) و یک توده پهن‌برگ (گونه اقاقیا) انتخاب شد. همچنین در داخل این توده‌ها محدوده زیر تاج درختان و خارج از تاج درختان نیز موردبررسی قرار گرفت. نمونه‌های لایه خاک در آزمایشگاه از الک ۲ و ۴ میلی‌متری گذر داده شدند و به ۲ بخش که بخش یکم خاک تازه و دارای رطوبت و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد برای بهره‌گیری در آزمایش‌های فعالیت آنزیمی بهره‌گیری شدند و بخش دیگر خاک برای بررسی ویژگی‌های شیمیایی مانند ماده آلی و فسفر در هوای آزاد، هوا خشک شدند. کربن آلی

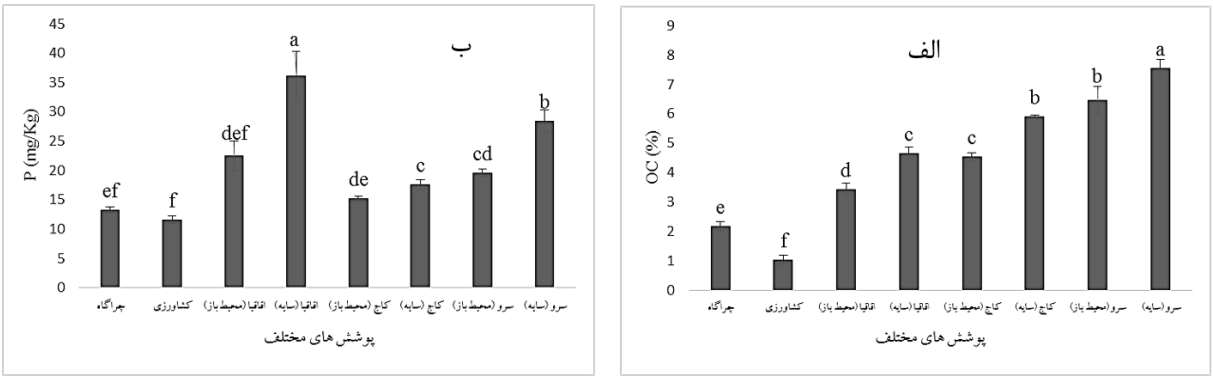
با استفاده از روش والکی بلک (Walkley and Black, 1934) و فسفر فراهم خاک با استفاده از روش اولسن اندازه‌گیری شد (Watanabe and Olsen, 1965). برای سنجش فعالیت آنزیم اوره‌آز، ۱ گرم خاک مرطوب الک شده ۲ میلی‌متری در ارلن ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس ۰/۲۵ میلی‌لیتر تولوئن برای پلاسمولیز سلول‌ها و آزاد شدن آنزیم‌های درون‌سلولی (Alef and Nannipieri, 1995) به آن اضافه شد. بعدازآن برای اندازه‌گیری آنزیم فسفاتاز اسیدی ۱ میلی‌لیتر محلول پی- نیتروفنیل فسفات از نمک سدیم پی- نیتروفنیل فسفات به نمونه‌ها اضافه گردید. پس از بستن درپوش ارلن‌ها، آن‌ها را مخلوط و به مدت ۱ ساعت در انکوباتور ۳۷ درجه سلسیوس قرار داده شدند. بعد از انکوباسیون، مقدار جذب پی- نیتروفنل (PNP) در محلول صاف‌شده در طول‌موج ۴۰۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت و برحسب g PNP g-1 h-1µ بیان گردید (Tabatabai and Bremner, 1969).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم فسفاتاز قلیایی یک گرم خاک توزین و سپس ۰/۲۵ میلی‌لیتر تولوئن و ۴ میلی‌لیتر بافر فسفات (pH=11) و یک میلی‌لیتر از محلول سوبسترای پارانیتروفنل به آن اضافه شد و نمونه‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد در انکوباسیون قرار گرفتند. بعدازآن محلول به‌وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف شد. ۴ میلی‌لیتر هیدروکسید سدیم ۰/۵ مولار و یک میلی‌لیتر کلرید کلسیم ۰/۵ مولار برای اتمام یافتن فعالیت آنزیمی بدان افزوده شد. نمونه‌ها به‌وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند و به‌صورت میکروگرم پارانیتروفنل بر گرم خاک خشک در یک ساعت انکوباسیون محاسبه گردید (Tabatabai and Bremner, 1969). پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک خاک، داده‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. تجزیه‌وتحلیل و نرمال بودن داده‌ها توسط تجزیه آنووا یک‌طرفه در سطح ۵٪ مورد بررسی قرار گرفت. هر یک از نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم گردیدند. تمامی آنالیزها با نرم‌افزار IBM SPSS V. 22 پردازش گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های شیمیایی خاک

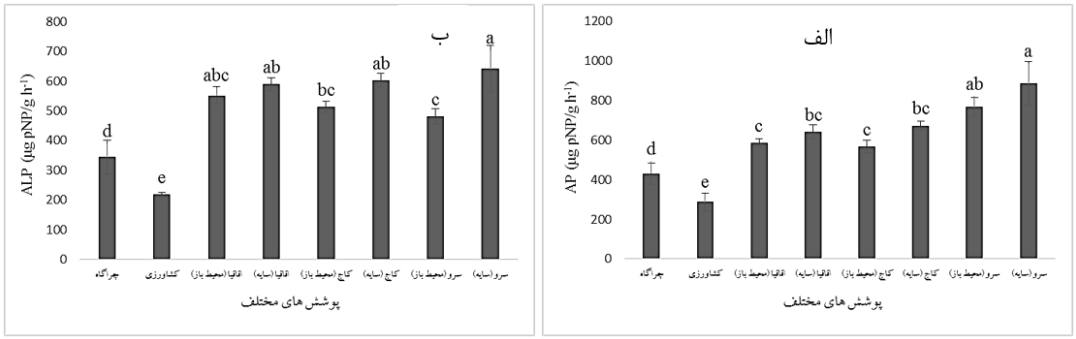
درباره مقایسه میانگین کربن آلی نتایج نشان داد که خاک سایه‌انداز پوشش سرو با مقدار (۷/۵۶ درصد) دارای بالاترین مقدار کربن آلی خاک بود که در مقایسه باخاک دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنادار برخوردار بود. کم‌ترین مقدار کربن آلی خاک نیز در خاک زمین کشاورزی با مقدار (۱/۰۴ درصد) مشاهده شد (شکل ۱ الف). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش اقاقیا با مقدار ۳۶/۲۰ میلی گرم بر کیلوگرم دارای بالاترین مقدار فسفر خاک است که در مقایسه با دیگر پوشش ها از تفاوت معنادار برخوردار بود. همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش سرو نیز با مقدار ۲۸/۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم دارای مقادیر بالایی از فسفر قابل جذب می باشد. کمترین مقادیر فسفر نیز در پوشش زمین کشاورزی (۱۱/۶۳ میلی گرم بر کیلوگرم) و چراگاه (۱۳/۳۰ میلی گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (شکل ۱ ب).

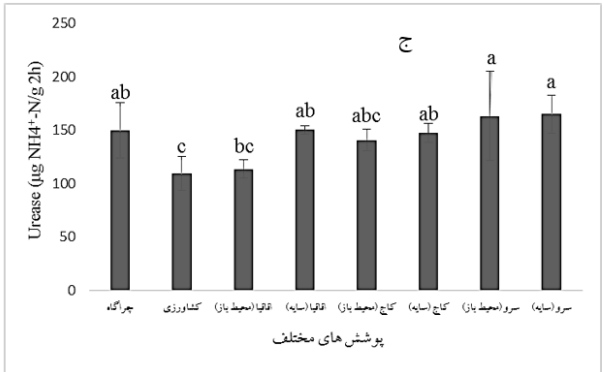


شکل ۱- مقایسه میانگین محتوی فسفر و کربن آلی در پوشش‌های مختلف گیاهی

فعالیت آنزیمی خاک

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش سرو با مقدار ۸۸۶ واحد فسفاتاز اسیدی و ۶۴۲ واحد فسفاتاز قلیایی دارای بالاترین مقدار از آنزیم های گروه فسفاتاز می باشد که در مقایسه با دیگر پوشش ها از تفاوت معنادار برخوردار بود. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که پوشش کاج (به ترتیب با مقادیر ۶۷۳ واحد فسفاتاز اسیدی و ۶۰۳ واحد فسفاتاز قلیایی) و اقاقیا (به ترتیب با مقادیر ۶۴۲/۷۹ واحد فسفاتاز اسیدی و ۵۸۹/۲۱ واحد فسفاتاز قلیایی) نیز دارای مقادیر بالایی از آنزیم های گروه فسفاتاز می باشند. کمترین مقادیر از آنزیم های گروه فسفاتاز نیز در پوشش زمین کشاورزی (به ترتیب با مقادیر ۲۸۷/۵۷ واحد فسفاتاز اسیدی ۲۱۸واحد فسفاتاز قلیایی) و چراگاه (به ترتیب با مقادیر ۴۳۱ واحد فسفاتاز اسیدی و ۳۴۴ واحد فسفاتاز قلیایی) مشاهده شد (شکل ۲ الف و ب).





شکل ۲- مقایسه میانگین فعالیت آنزیم فسفاتاز اسیدی (الف)، فسفاتاز قلیایی (ب) و اوره‌آز (ج) خاک در پوشش های مختلف

آنزیم‌های گروه فسفاتاز هیدرولیز ترکیبات آلی فسفردار به یون های فسفات قابل جذب برای گیاه را به عهده دارند و از آنزیم‌های مهم در چرخه فسفر به شمار می آیند (Tabatabai, 1994). ارتباط این آنزیم ها با مقدار ماده آلی خاک در پژوهش‌های مختلف به اثبات رسیده است (شیخلو و رسولی صدقیانی، ۱۳۹۵). افزایش فعالیت‌های آنزیمی توام با افزایش مواد آلی به خاطر وابستگی فعالیت میکروبی و آنزیم تولید شده به عرضه سوبسترای کربن می‌باشد. در پژوهش بالا بودن مقدار فعالیت آنزیم های گروه فسفاتاز در پوشش سوزنی‌برگ در مقایسه با پهن‌برگ (اگرچه میزان فعالیت آنزیم های گروه فسفاتاز در پهن‌برگان نیز بالا می باشد) می‌تواند به دلیل زیاد بودن درصد کربن آلی خاک باشد (شیخلو و رسولی صدقیانی، ۱۳۹۵). افزایش مواد آلی نه تنها از طریق افزایش فعالیت‌میکروبی، بلکه از طریق پایدارسازی فعالیت آنزیم های گروه فسفاتاز در خاک باعث افزایش فعالیت این آنزیم‌ها می شود. نتایج پژوهش Pourreza و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد که فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز رابطه مثبت و معنی‌داری با کربن آلی خاک داشت که هم‌سو با نتایج از این پژوهش می‌باشد. پایین بودن مقدار فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز در کاربری کشاورزی و چراگاه در مقایسه با پوشش جنگلی می‌تواند ناشی از فرسایش و خاکورزی بی رویه باشد. زیرا فرسایش و خاکورزی بی رویه که منجر به کاهش تجمع مواد آلی در لایه شخم می‌شود، فعالیت آنزیمی را به شدت کاهش می‌دهد (Gianfreda *et al.*, 2002). در همین خصوص، Silva و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی فعالیت‌های آنزیمی خاک در پوشش‌های مختلف اراضی بیان نمودند که در مقایسه با پوشش‌های غیرجنگلی، رویشگاه‌های جنگلی به دلیل حاصل‌خیزی بالاتر خاک دارای فعالیت آنزیمی فسفاتاز بیش‌تری می‌باشند. در پژوهش Ushio (۲۰۱۰) نیز گزارش شد که به دلیل زی‌توده میکروبی بالاتر در سوزنی‌برگان، فعالیت آنزیم‌های گروه فسفاتاز در مقایسه با پوشش پهن‌برگ بالاتر است. نتایج مقایسه میانگین فعالیت آنزیم اوره‌آز نشان داد که پوشش سرو با مقدار ۱۶۵ واحد، پوشش اقاقیا با مقدار ۱۵۰ واحد، پوشش کاج با مقدار ۱۴۷ واحد و پوشش چراگاه با مقدار ۱۵۰ واحد دارای بالاترین مقدار فعالیت آنزیم اوره‌آز بودند که در مقایسه با دیگر پوشش‌ها از تفاوت معنادار برخوردار بودند. کم‌ترین فعالیت آنزیم اوره‌آز نیز در پوشش کشاورزی با مقدار ۱۰۹/۳۴ واحد مشاهده شد (شکل ۲ ج). اوره آز آنزیمی است که هیدرولیز اوره به دی اکسیدکربن و آمونیاک را انجام می دهد. این آنزیم به طور گسترده در طبیعت، گیاهان، جانوران و ریزجانداران یافت میشود (Dick, 1984). نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که فعالیت آنزیم اوره‌آز باید به عنوان شاخص کیفیت خاک و تغییرات تحت تأثیر استفاده از خاک مورد استفاده قرار گیرد (Gil-Sotres *et al.*, 2005). برخلاف فعالیت فسفاتازها این آنزیم تفاوت معناداری را بین پوشش های سوزنی برگ و پهن برگ نشان نداد. بیش‌ترین فعالیت اوره‌آز در خاک‌های جنگلی (سرو، اقاقیا و کاج) مشاهده شد که بیشترین تجمع ماده آلی خاک را داشتند. بنابراین بالا بودن فعالیت این آنزیم در مقایسه با کاربری‌های چراگاه و کشاورزی ناشی از بالا بودن میزان ماده آلی در این پوشش ها می باشد. در بررسی های انجام شده توسط زنگ و همکاران (۲۰۰۹) میزان کربن آلی خاک از عوامل تأثیرگذار بر فعالیت آنزیم اوره‌آز ذکر شده است. بر اساس پژوهش های لیراس و همکاران (۲۰۰۰) نیز گزارش شد محتوای کربن آلی خاک معمولاً به طور مثبتی با میزان فعالیت آنزیم‌های خاک در ارتباط است. همچنین فعالیت آنزیم اوره‌آز در خاک چراگاه بالا و حتی با پوشش‌های جنگلی پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در محیط باز قابل مقایسه بود.فعالیت بالای آنزیم در خاک چراگاه از اثرات پوشش گیاهی و رهاسازی از خاکورزی، ناشی می‌شود. مشاهدات مشابه توسط Avellandea-Torres و همکاران (۲۰۱۳) گزارش شده است. فعالیت آنزیمی بالای خاک چراگاه در مقایسه با پوشش کشاورزی نیز نتیجه ترکیبی از نوع پوشش گیاهی و عدم شخم زدن خاک می باشد (Błońska *et al.*, 2017). پایین بودن میزان فعالیت آنزیم اوره‌آز در اراضی کشاورزی را می توان به دلیل پایین بودن سطح کربن آلی خاک مربوط دانست (کوچ و نقره، ۱۳۹۸). به طور کلی، خاک‌های کشاورزی حاوی ماده آلی کمتری هستند و این منجر به ضعف ساختار خاک و مقادیر کم‌تری از میکروارگانیسم‌ها

می شود (Błońska *et al.*, 2017). در پژوهش Błońska و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده شد که فعالیت آنزیم اوره‌آز به طور معناداری در پوشش پهن‌برگ بالاتر بود که در تضاد با یافته‌های این پژوهش می باشد. صالحی و همکاران (۱۳۹۱) نیز در تضاد گزارش کردند آنزیم اوره آز در توده پهن برگ (توسکا) بالاتر از پوشش سوزنی‌برگ (کاج تدا) بود. شیخلو و رسولی صدقیانی (۱۳۹۵) بالاترین فعالیت آنزیم اوره آز را در پوشش کشاورزی در مقایسه با جنگلی مشاهده کردند که به دلیل کاربرد کود اوره در زمین های کشاورزی بود؛ زیرا اوره سوبسترای لازم و اصلی برای فعالیت کاتالیزوری این آنزیم به شمار می‌آید.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش فعالیت آنزیمی خاک، در پوشش‌های مختلف سوزنی‌برگ، پهن‌برگ، کشاورزی و چراگاه در جنگل‌های منطقه بیستون واقع در استان کرمانشاه بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که نوع گونه‌های درختی کاشته شده باعث ایجاد تغییرات قابل‌توجهی در مشخصه‌های خاک، به‌ویژه ماده آلی خاک و فعالیت آنزیمی می‌شود. در مقایسه با پوشش پهن‌برگ، بالاترین مقادیر فعالیت‌های آنزیمی در پوشش سوزنی‌برگ مشاهده شد. با این‌حال پژوهش حاضر بیانگر آن است که رویشگاه جنگلی چه سوزنی‌برگ چه پهن‌برگ دارای بالاترین مقادیر مشخصه‌های فعالیت‌های آنزیمی، در مقایسه با پوشش‌های کشاورزی و چراگاه بودند. به‌طورکلی نتایج پژوهش نشان داد که ویژگی‌های خاک در پوشش جنگلی از وضعیت بهتری نسبت به پوشش کشاورزی و چراگاه برخوردار می‌باشند.

فهرست منابع

حق وردی، ک. (۱۳۹۶). اثر پوشش های درختی بر شاخص های میکروبیولوژی و تصاعد گاز دی اکسید کربن خاک. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۴ (۴)، ۶۳-۸۱.

خان حسنی، م.، شریفی، م. و توکلی، ا. (۱۳۸۸). تغییرات ترکیب گونه ای پوشش علفی در جنگلهای دست کاشت کاج تهران (Pinus eldarica Medw.) با سنین متفاوت در کرمانشاه. فصلنامهٔ علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۲) ۱۸۸-۱۹۹.

شیخلو، ف.، و رسولی صدقیانی، م. (۱۳۹۵). تاثیر کاربری های زراعی و جنگلی بر فعالیت برخی آنزیم های خاک. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۷(۱): ۲۰۵-۲۱۶.

صالحی، ع.، و متینی زاده، م.، و تمجیدی، ج. (۱۳۹۱). تأثیر جنگل کاری با گونه های توسکا قشلاقی (Alnus glutinosa (L.) Gaertn) و کاج تدا (Pinus taeda L.) روی فعالیت و زی توده میکروبی خاک (مطالعه موردی: منطقه گیسوم- غرب استان گیلان). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۰(۲): ۳۳۴-۳۴۵.

کوچ، ی.، و نقره، ن. (۱۳۹۸). اثر پوشش های جنگلی, مرتعی و زراعی بر مشخصه های میکروبی و فعالیت های آنزیمی خاک. پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۶(۳): ۱۲۷-۱۴۳

Alef, K. and Nannipieri, P. (1995). Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press.

Avellaneda-Torres, L. M, Melgarejo, L. M, Narváez-Cuenca, C. E, & Sánchez, J. (2013). Enzymatic activities of potato crop soils subjected to conventional management and grassland soils. Journal of soil science and plant nutrition, 13(2), 301-312.

Błońska, E., Lasota, J., and Zwydak, M. (2017). The relationship between soil properties, enzyme activity and land use. Forest Research Papers 78(1), 39-44.

Caldwell, B.A.(2005). Enzyme activities as a component of soil biodiversity: A review. Pedobiologia, 49, 637-644.

Chae, H.M., Choi, S.H., Lee, SH., Cha, S., Yang, K.C., Shim, J.K. (2019). Effect of Litter Quality on Needle decomposition for Four Pine Species in Korea. Forests, 10(5), 371.

Ghasemi-Aghbash, F., Hosseini, V., Pourreza, M. (2016). Nutrient dynamics and early decomposition rates of Picea abies needles in combination with Fagus orientalis leaf litter in an exogenous ecosystem. Annals of Forest Research, 59, 21–32.

Dick, W.A. (1984). Influence of long-term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. Soil Science Society of America Journal, 48, 569-574.

Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, C., Leiros, M.C., Seoane, S. (2005). Different approaches to evaluate soil quality using biochemical properties. Soil Biology & Biochemistry, 37, 877–887.

Kooch, Y., Rostayee, F., and Hosseini, S.M. (2016). Effects of tree species on topsoil properties and nitrogen cycling in natural forest and tree plantations of northern Iran. Catena, 144, 65-73.

Silva, E.D., de Medeiros, E.V., Duda, G.P., Lira, M.A., de Oliveira, J.B., dos Santos, U.J., and Hammecker, C. 2019. Seasonal effect of land use type on soil absolute and specific enzyme activities in a Brazilian semi-arid region. Catena, 172, 397-407.

Sinsabaugh, R.L., Antibus, R.K., Linkins, A.E. (1991). An enzymic approach to the analysis of microbial activity during plant litter decomposition. Agriculture, Ecosystems & Environment, 34, 43–54.

Tabatabai, M. A. (1994). Soil enzymes. In: Weaver, R.W., Angle, J.S. and Bottomley, P.S. (Eds.), Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties. Part 2. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI, pp. 775–833.

Tabatabai, M. A., and Bremner, J. M. 1969. Use of p-nitrophenylphosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biology and Biochemistry, 1, 301-307.

Ushio, M., Kitayama, K., Balser, T.C. (2010). Tree species-mediated spatial patchiness of the composition of microbial community and physicochemical properties in the topsoils of a tropical montane forest. Soil Biology and Biochemistry, 42,1588-1595.

Vesterdal, L., Clarke, N., Sigurdsson, B. D., and Gundersen, P. (2013). Do tree species influence soil carbon stocks in temperate and boreal forests? Forest Ecology and Management, 309, 4-18.

Zhao, F., Z., Ren, C.J., Han, X.H., Yang, G.H., Wang, J., Doughty, R. (2018). Changes of soil microbial and enzyme activities are linked to soil C, N and P stoichiometry in afforested ecosystems. Forest ecology and management, 427, 289-295.

Walkley, A., Black, I.A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37, 29–37.

Watanabe, F.S., Olsen, S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO3 extracts from soil. Soil Science Society of America Journal, 29, 677–678.

The effect of afforestation and tree species type on soil enzymatic activity in semi-arid regions (Case study: Biston region of Kermanshah province)

Sahar Mehrnoosh[1], Ali Beheshti Ale-Agha[2], Morteza Pourreza[3], Ali Akbar Safari Senejani[4]

1-Graduate student of Soil Sience, Razi University, Kermanshah
2-Associte Professor, Soil Science Department, Razi University
3-Assistant Professor, Natural Resources Department, Razi University, pourreza@razi.ac.ir
4- Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University

Abstract

In order to investigate the effect of afforestation with broadleaf and coniferous species on soil enzymatic activity in semi-arid regions, Biston Forest Park in Kermanshah province was selected. For this porpuse, different land uses were considered, including rainfed agricultural lands, pastures and afforestation with Arizona Cypress, Brutia pine and Black locust species were selected in the same geographical aspect and ecological conditions. Three composit soil samples with a random pattern were taken from each of these land uses. Moreover, soil samples were taken both from under the tree crown and outside the crown. After preparing soil samples, Soil enzymatic activity and some chemical properties such as soil organic matter and phosphorus were measured. The results showed that soil enzymatic activity in afforestation with coniferous and broadleaf species was significantly higher than agricultural and pasture landuse. Afforestation with tree species, especially conifers, has improved soil quality compared to agricultural and pasture landuses, which may depend on the accumulation of litter and the origin of organic carbon for microorganisms in these soils.

Keywords: Black locust, Enzymatic activity, afforestation, Pine, Cypress

بررسی و مقایسه ویژگی‌های شیمیایی خاکهای زراعی استان اصفهان

علیرضا مرجوی[1]، پریسا مشایخی[1]

۱-اعضا هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. amarjovvi@yahoo.com

چکیده

کیفیت خاک (با مفهوم توانایی خاک در انجام وظایف) امروزه به‌عنوان بخش مهمی از پایداری منابع در محیط زیست به‌شمار می‌رود که همواره تحت تأثیر فعالیت‌های بشری قرار گرفته است. برای ارزیابی کیفیت خاک از شاخص‌ها استفاده می‌شود. گروهی از این شاخص‌ها مربوط به فرآیندهای شیمیایی مرتبط با وظایف و کارکرد خاک می‌باشد. از ۱۱۹ پایگاه انتخاب شده برای سنجش کیفیت خاک در اراضی زراعی استان اصفهان نمونه برداری مرکب از لایه‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتیمتری انجام شد. برای کلیه نمونه‌ها در آزمایشگاه، خصوصیات تیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلر، کربنات و بی‌کربنات، سولفات، آهن، منگنز، روی، مس، درصد آهک، گچ، بر، سدیم، کربن آلی و ظرفیت جذب کاتیونی خاک اندازه‌گیری گردید. بیشترین میانگین اغلب عناصر مورد نیاز و اصلی گیاه در اعماق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ در مناطق غرب و جنوب استان اصفهان قرار گرفتند و کمترین میانگین عناصر فوق در شمال استان واقع شده‌اند. از طرف دیگر خصوصیاتی که برای رشد گیاهان مانع هستند مانند عناصر کلر، سدیم ، گچ ، بر و سدیم در مناطق شمالی استان در بیشترین میزان مشاهده شدند. با توجه به صفات مورد بررسی در پایگاه های مطالعاتی، مناطق شرق، شمال، شمال شرق اصفهان و در بخش مهیار در جنوب اصفهان بدون اعمال مدیریت های دقیق کشاورزی با خطر تخریب بیش از پیش مواجه است.

واژه های کلیدی: اصفهان، کیفیت خاک، تغییرات شیمیایی

مقدمه

جمعیت دنیا هر روزه بیشتر شده و متأسفانه تعداد بسیاری از مردم در دنیا از سوء تغذیه رنج می‌برند. بر اساس آمار فائو در سال ۲۰۱۰ بالغ بر ۹۵۰ میلیون نفر در دنیا دچار سوء تغذیه بوده‌اند. این در حالی است که بر اساس اهداف هزاره بایستی سوء تغذیه بین سالهای ۲۰۱۵-۱۹۹۰ به نصف تقلیل می‌یافت. برآوردهای انجام شده حاکی از آن است که چنانچه رشد جمعیت در وضعیت کنونی خود باقی بماند لازم است تولید جهانی غذا تا سال ۲۰۲۵ به میزان ۳۸ درصد و تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۵۷ درصد افزایش یابد. در حالیکه بخش عمده اراضی مناسب هم اکنون تحت کشت بوده و امکان اندکی برای گسترش سطح زیر کشت در اراضی مناسب وجود دارد. این در حالیست که حدود ۱۵ درصد کل اراضی جهان تحت تأثیر فرسایش و تخریب فیزیکی و شیمیایی از جمله شوری تخریب شده است (Wild ،2003). بهبود استانداردهای زندگی جمعیت در حال رشد، بدون تخریب محیط زیست از چالشهای اساسی جهانی می‌باشد. برای آگاهی از چگونگی و وسعت اثرات فعالیت‌های بشری بر روی خاک به عنوان یکی از منابع پایه، نیاز به داده‌های کمی این تغییرات می‌باشد. تاکنون شاخص‌ها و پارامترهای بسیار متنوعی برای بررسی کیفیت شیمیایی خاک‌ها ارائه شده است به‌عنوان مثال Karlen et al (2008) برای ویژگی‌های شیمیایی، واکنش خاک، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی، عناصر قابل استخراج، غلظت عناصر کم مصرف، و... را ارائه نمودند. ویژگی‌های خاک به‌صورت مکانی و زمانی از سطح یک مزرعه تا منطقه با مقیاس وسیعتر تغییر می‌نماید و این ویژگی‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی (عوامل خاکسازی همانند مواد مادری) و عوامل بیرونی (همانند مدیریت خاک، کوددهی و تناوب زراعی) می‌باشد. (Sun et al., 2003).

استان اصفهان با وسعت بیش از ۱۰۷ هزار کیلومترمربع از نظر سهم، حدود ۶/۶ درصد از کل کشور است. پس از کرمان، سیستان و بلوچستان و فارس چهارمین استان پهناور کشور محسوب می شود. استان اصفهان دارای ۲۳ شهرستان می باشد و عمده فعالیت های کشاورزی آن در حاشیه و اطراف رودخانه زاینده رود متمرکز می باشد. با توجه به خشکسالی های سال های اخیر و کاهش نزولات

جوی و بدنبال آن کاهش منابع آبی استان سطح زیر کشت به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. در اکثر مناطق استان کاهش سطح آب های زیر زمینی بصورتی می باشد که برداشت آب از منابع آب های زیر زمینی و تولیدات کشاورزی را غیر منطقی و غیر اقتصادی نموده است. کاهش و قطع جریان آب در رودخانه زاینده رود علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی سبب خشک شدن و کاهش سطح آب در چاه ها گردیده است. بطوری که عملاً کشاورزی را در بسیاری از مناطق استان با مشکل و در شرق استان غیر ممکن نموده است. جمعیت استان اصفهان طبق نتایج سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، برابر با ۵۱۲۰۸۵۰ نفر بود. جمعیت ساکن در نقاط شهری ۴۵۰۷۳۰۹ نفر و جمعیت ساکن در نقاط روستایی ۶۱۳۰۷۳ نفر می باشد. با توجه به اهمیت این استان هدف از انجام این تحقیق بررسی کیفیت خاک و ایجاد یک بانک اطلاعات جامع خاک برای کلیه خاک های کشاورزی استان اصفهان است. اتخاذ سیاست‌های اجرایی مناسب در جهت حفظ منابع پایه (آب و خاک و ...) و بهره‌برداری بهینه از این منابع برای افزایش تولیدات کشاورزی مورد تأکید و توجه برنامه‌ریزان بخش کشاورزی می‌باشد. سیاست‌های اجرایی مدیریت منابع خاک مانند تهیه و اجرای پروژه‌های حفاظت خاک، شناسایی آلاینده‌ها و جلوگیری از آلودگی منابع خاک و آب، احیاء اراضی مخروبه کشاورزی حاصل از تخریب‌های فیزیکی و شیمیایی، شناسایی منابع اراضی برای توسعه کشاورزی آبی و دیم با شیوه‌های نوین کشاورزی پایدار از مهم‌ترین این سیاست‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

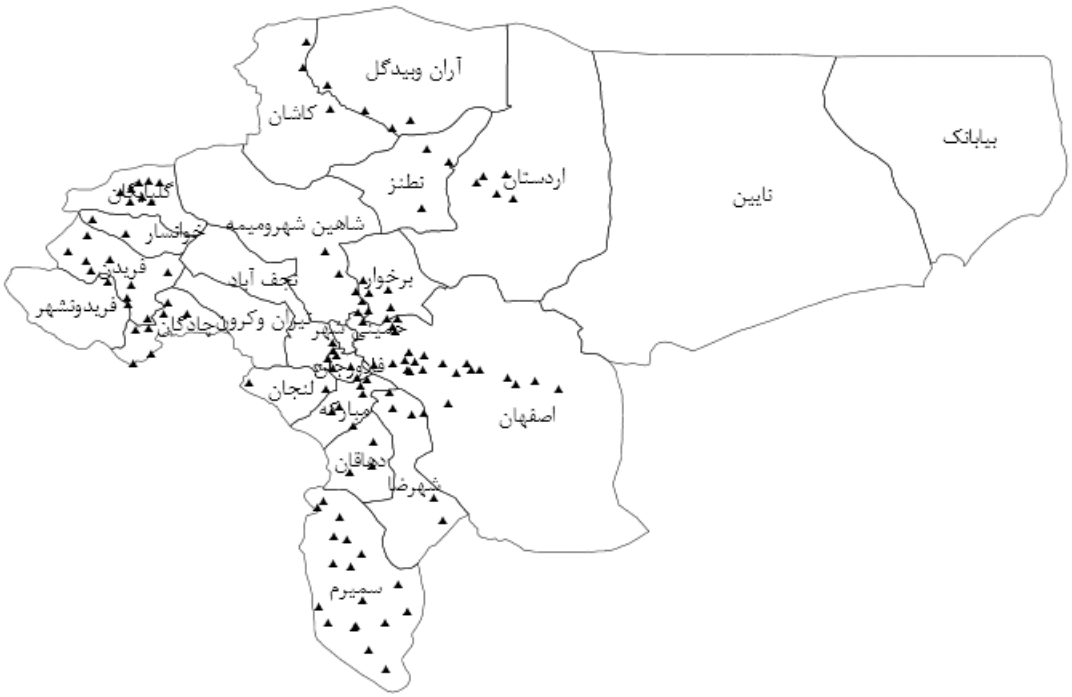
برای تعیین نقاط نمونه برداری، از اطلاعات موجود مختلفی نظیر نوع کاربری اراضی، نقشه رقومی استان، نقشه رقومی کاربری اراضی، نقشه رقومی خاک و اطلاعات و نظر کارشناسان مطلع از وضعیت کشت و خاک منطقه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به پراکندگی اراضی زیر کشت در بسیاری از مناطق استان، انجام شبکه بندی جهت انتخاب پایگاه‌های مطالعاتی نمی‌توانست همه اراضی و مناطق تحت کشت را پوشش دهد لذا نقاط نمونه برداری به گونه‌ای انتخاب شد که تقریباً در هر ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت در استان یک نمونه از مزارع شاخص هر منطقه تهیه گردد. به همین منظور ۱۱۹ پایگاه مطالعاتی در کل اراضی کشاورزی استان انتخاب گردید. این نقاط بصورتی تعیین گردید که کل اراضی آبی، دیم و آیش را پوشش دهد و سعی گردید از مناطق دارای وضعیت خاص مانند اراضی آلوده و شور که دارای سطح قابل توجهی بود علاوه بر نقاط پیش‌بینی شده نمونه‌برداری بیشتری برداشت گردد.
انتخاب هر پایگاه به گونه ای انجام شد که حتی الامکان قطعه ای ۳-۱ هکتاری با مدیریت واحد باشد و تغییرات شدید همانند تغییر کاربری، تسطیح اراضی و ... در طول مطالعه در آن انجام نگردد. پس از انتخاب پایگاه های مطالعاتی، و ثبت موقعیت جغرافیایی آن، نمونه برداری بصورت مرکب از دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتیمتر انجام گرفت و پس از انتقال به آزمایشگاه ویژگی های شیمیایی آنها طبق استانداردهای روش‌های اندازه‌گیری تعیین شد. پرسشنامه مشخصات پایگاه نیز برای هر پایگاه تکمیل شد. پس از اندازه گیری خصوصیات هر پایگاه اطلاعات بر اساس شهرستان های مختلف استان و وضعیت یکنواختی و انتخاب تعداد پایگاه ها در هر منطقه کلیه خصوصیات اندازه گیری شده بوسیله نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. خصوصیات آماری از قبیل حداکثر، حداقل، میانگین، میانه، نما، واریانس، انحراف معیار و نظایر آن ها توسط نرم افزار تجزیه و سپس بوسیله نرم افزار اکسل نمودار های مورد نیاز رسم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به پراکنش نقاط نمونه برداری و تعداد نمونه ها در هر شهرستان و به منظور امکان بررسی خصوصیات اندازه‌گیری شده در مناطق مختلف استان، نتایج ۲۳ شهرستان در قالب ۸ منطقه بشرح جدول ۱ تقسیم بندی و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در دو شهرستان نائین و خور و بیابانک در شرق استان علی رقم وسعت زیاد آن بدلیل عدم وجود منابع آب کافی، کشاورزی در سطح محدود انجام میگردد و لذا نمونه برداری انجام نگردید. همچنین شهرستان خمینی شهر در همجواری غرب شهر اصفهان بدلیل کمی سطح زیر کشت و تغییر کاربری های انجام شده نمونه برداری در آن انجام نگردید.

جدول ۱- طبقه بندی مناطق مورد مطالعه در بررسی نتایج

ردیف	منطقه	شهرستان های تحت پوشش هر منطقه
۱	ESF	شهرستان اصفهان
۲	BORKHAR	شهرستان برخوار- شاهین شهر و میمه-
۳	MAHYAR	شهرستان های دهاقان، شهرضا و مناطقی از مهیار شهرستان اصفهان
۴	KASHAN	شامل شهرستان های کاشان، اردستان،آران و بید گل و نطنز
۵	FERYDA	شامل شهرستان های فریدن،فریدون شهر و چادگان
۶	GOLPAYEGAN	شامل شهرستان های گلپایگان و خوانسار
۷	ZARIN SHAHR	شامل شهرستان های مبارکه، فلاورجان، لنجان، نجف آباد و تیران و کرون
۸	SEMIROM	شهرستان سمیرم

نتایج و بحث

در شکل ۱ نقاط مختلف نمونه‌برداری شده در مناطق مختلف استان ارایه گردیده است.



شکل ۱ – پراکنش پایگاه‌های سنجش کیفیت خاک در استان اصفهان

میانگین عناصر اندازه گیری شده در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری در مناطق هشت گانه تقسیم بندی شده اصفهان، برخوار، مهیار، کاشان، فریدن، گلپایگان، زرین شهر و سمیرم در جدول ۲ آمده است. بر اساس اندازه گیرهای مشخص شد میانگین نیتروژن (N) در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری در مناطق هشت گانه تقسیم بندی شده اصفهان، برخوار، مهیار، کاشان، فریدن، گلپایگان، زرین شهر و سمیرم به ترتیب ۰/۱، ۰/۰۷ ، ۰/۰۷ ، ۰/۰۴، ۰/۰۷۲، ۰/۱۱، ۰/۱ ، ۰/۱ درصد می باشد. بیشترین میزان میانگین نیتروژن مربوط به منطقه گلپایگان و کمترین میانگین نیتروژن متعلق به منطقه کاشان می باشد. میانگین فسفر (P) در مناطق ذکر شده بالا به ترتیب ۳۶/۹، ۲۱/۲، ۱۷/۵، ۱۰/۱، ۲۸/۲، ۲۶/۲، ۲۹/۳، ۳۹/۵ میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد. بیشترین میانگین میزان فسفر مربوط به منطقه سمیرم و کمترین میانگین فسفر متعلق به منطقه کاشان می باشد. میانگین پتاسیم (K) نیز در مناطق هشت گانه تقسیم بندی شده به ترتیب ۲۷۰/۶، ۲۴۰/۸، ۲۵۳/۳، ۱۶۰/۳، ۳۷۲/۴، ۳۲۳/۳، ۲۲۴/۳، ۵۰۹/۷ میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد. بیشترین میانگین میزان پتاسیم مربوط به منطقه سمیرم و کمترین میانگین پتاسیم متعلق به منطقه کاشان می باشد. همچنین در خصوص عناصر کم مصرف بیشترین میانگین میزان آهن با ۱۷/۸ میلی گرم در کیلوگرم خاک مربوط به منطقه زرین شهر و کمترین میانگین آهن با ۳/۴ میلی گرم در کیلوگرم خاک متعلق به منطقه برخوار می باشد. بیشترین میانگین میزان منگنز با ۲۴/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به منطقه فریدن و کمترین میانگین منگنز با ۵/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متعلق به منطقه کاشان می باشد. بیشترین میانگین میزان روی با ۴/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک مربوط به منطقه سمیرم و کمترین میانگین روی با ۰/۸ میلی گرم در کیلوگرم خاک متعلق به منطقه برخوار می باشد. بیشترین میانگین میزان مس با ۲/۲ میلی گرم در کیلوگرم خاک مربوط به مناطق زرین شهر و سمیرم و کمترین میانگین مس با ۰/۸ میلی گرم در کیلوگرم خاک متعلق به منطقه کاشان می باشد. در رابطه به عناصری که مانع رشد گیاه می‌باشند میانگین کلر (Cl) در مناطق هشت گانه تقسیم بندی شده اصفهان، برخوار، مهیار، کاشان، فریدن، گلپایگان، زرین شهر و سمیرم به ترتیب ۱۰۳۸/۴، ۱۳۴۱/۹، ۶۴۹/۷، ۸۶۳/۸ ، ۹۴/۴ ، ۱۹۳/۳، ۵۹۰/۸ ، ۱۴۳/۸ میلی گرم در کیلوگرم می‌باشد. بیشترین میانگین میزان کلر مربوط به منطقه برخوار و کمترین میانگین کلر متعلق به منطقه فریدن می باشد. میانگین بی‌کربنات (HCO3) در مناطق هشت گانه ذکر شده به ترتیب ۲۳۳/۸ ، ۱۷۹/۶ ، ۱۷۸/۷ ، ۱۶۲/۳ ، ۱۸۵/۵ ، ۱۸۰/۳ ، ۲۲۳/۵ ، ۲۲۶/۷ میلی گرم در کیلوگرم می باشد. بیشترین میانگین میزان بی کربنات مربوط به منطقه اصفهان و کمترین میانگین بی کربنات متعلق به منطقه کاشان می باشد. همچنین بیشترین میانگین میزان سدیم با ۷۴۲/۹ میلی گرم در کیلوگرم خاک مربوط به منطقه برخوار و کمترین میانگین سدیم با ۹۱ میلی گرم در کیلوگرم خاک متعلق به منطقه سمیرم می باشد. با توجه به بیشتر بودن میانگین یون کلر در منطقه برخوار می توان چنین نتیجه گرفت که بیشترین نمک موجود در منطقه برخوار می تواند نمک طعام باشد که عامل شوری منطقه را نیز فراهم نموده است.

جدول ۲- میانگین میزان بیشترین و کمترین پارامترهای اندازه گیری شده در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری مناطق مورد مطالعه استان اصفهان

	میانگین بیشترین میزان																									میانگین کمترین میزان														
پارامتر / منطقه	N	P	K	Cl	HCO3	SO4	Fe	Mn	ZN	Cu	TNV	گچ	B	Na	OC	CEC	N	P	K	Cl	HCO3	SO4	Fe	Mn	ZN	Cu	TNV	گچ	B	Na	OC	CEC
اصفهان					✔								✔																					
برخوار				✔		✔						✔		✔													✔							
مهیار																													✔			
کاشان																	✔	✔	✔					✔		✔	✔					✔	✔
فریدن																✔				✔													
گلپایگان	✔												✔									✔											
زرین شهر										✔	✔												✔			✔							

| | | |

Investigation and comparison of chemical properties of agricultural soils in Isfahan province

Alireza Marjovvi and Parisa Mashayekhi

Faculty members of Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran. amarjovvi@yahoo.com

Abstract

Today, soil quality (in the sense of soil ability to perform tasks) is considered as an important part of resource sustainability in the environment that has always been affected by human activities. To evaluate soil quality are used indicators. Some of these indicators are related to chemical processes and functions of soil. Composite sampling of 0-30 and 30-60 cm layers was performed from 119 selected sites for soil quality measurement in agricultural lands of Isfahan province. For all samples in the laboratory, the properties of nitrogen, phosphorus, potassium, chlorine, carbonate and bicarbonate, sulfate, iron, manganese, zinc, copper, percentage of lime, gypsum, barium, sodium, organic carbon and cation exchancheble capacity of soil were measured. for most required elements of the plant, in both depths of 0-30 and 30-60, the highest average of were located in the western and southern and the lowest average of the above elements were located in the north of the province. On the other hand, the characteristics such as chlorine, sodium, gypsum, barium and sodium that prevent the growth of plants were observed in the highest amount in the northern regions of the province. According to this study, the eastern, northern, northeastern regions of Isfahan and the Mahyar district in the south of Isfahan without the application of precise agricultural management are at greater risk of destruction.

Keywords: Chemical changes, Isfahan, Soil quality

مقاله

بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک بر عملکرد درختان زیتون با روش مؤلفه‌های اصلی

سمیرا واحدی[۱]، سینا بشارت[۲]، ناصر دواتگر[۳] و مهدی طاهری[۴]

۱ کارشناس بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. samva4s@gmail.com

۲ دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه

۳ هیئت‌علمی بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۴ دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران

چکیده

توسعه کشت زیتون مستلزم انجام مطالعات دقیق برای دستیابی به بیشترین عملکرد، تولید محصول با کیفیت و در نظر گرفتن راهکارهای مدیریتی و اصلاح الگوی مصرف آب است. تعیین متغیرهای مؤثر بر عملکرد محصول و علت تغییرات آن در مناطق مختلف از اساسی‌ترین اطلاعات مورد نیاز کشاورزان در راستای مدیریت دقیق هر محصول است. به‌منظور بررسی نقش ویژگی‌های شیمیایی خاک بر عملکرد زیتون پژوهش حاضر در برخی باغ‌های استان قزوین با کاربرد روش مؤلفه‌های اصلی (PCA) و نقشه‌های توزیع مکانی انجام گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده عامل محدودکننده اصلی در تقسیم مناطق ویژه مدیریتی، میزان شوری خاک به‌ویژه درصد بالای سدیم محلول (Na) خاک در کل منطقه است. به نظر می‌رسد مهم‌ترین اقدام در مدیریت باغ، کاهش اثرات شوری با اعمال درست آبشویی در حجم آبیاری و آبشویی فصلی باشد.

واژگان کلیدی: زمین‌آمار، خاک شور، مناطق همگون، PCA

مقدمه

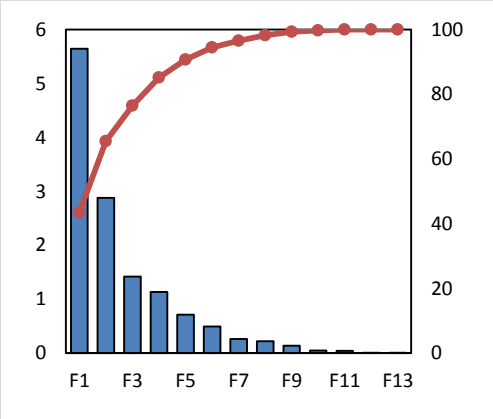
یکی از مهم‌ترین محصولات باغی کشور که در طرح‌های توسعه باغات توجه ویژه‌ای به آن شده زیتون است. طی ده سال اخیر (۸۷-۹۷) در استان زنجان و قزوین حدود ۵۲/۳۳ درصد به سطح زیر کشت بارور این محصول اضافه شده است. (ICTC, 2019). با این حال مشکلاتی مانند عملکرد کمی و کیفی پایین و سال آوری در باغات وجود دارد. یکی از مهم‌ترین اقدامات در راستای توسعه باغات افزایش بهره‌وری و محصول گیاه در واحد سطح است و این امر در صورتی امکان پذیر است که مطالعات وسیعی در مورد گیاه و شرایط محیطی آن در هر منطقه انجام شود. تنوع مکانی و زمانی خواص خاک، برنامه‌های آبیاری و مدیریت کود، نقش مهمی در رشد و عملکرد محصول در سیستم‌های کشاورزی دارد. بااین‌حال، چگونگی بهبود و پیش‌بینی دقیق عملکرد محصول در مناطق مختلف مدیریتی در یک زمینه در مقیاس بزرگ مهم است اما به‌ندرت مورد بحث قرار می‌گیرد. Vasu و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از مدل‌سازی تغییرات مکانی عناصر غذایی ماکرو خاک به مدیریت ویژه مکان در سایت‌های ویژه عناصر غذایی در یک محیط گرمسیری نیمه‌خشک برای کشت گیاهان زراعی اعمال کردند. در پژوهش حاضر به بررسی اثرات ویژگی‌های شیمیایی خاک بر عملکرد زیتون در منطقه لوشان استان قزوین پرداختیم.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیرات ویژگی‌های شیمیایی خاک بر عملکرد باغات زیتون، از باغات رقم آربیکن، زیتون به مساحت ۱۲۰ هکتار در شهرستان لوشان استان گیلان برای این مطالعه انتخاب شد. تحلیل داده‌های چندگانه از نقشی اساسی در تحلیل اطلاعات برخوردار است. مجموعه داده‌های چندگانه، حالت‌ها یا تغییرهای زیادی را برای هر مشاهده در بردارند. به‌منظور بررسی و تحلیل اثرات و روابط همبستگی بین عوامل مختلف از روش PCA استفاده شد. این روش با عدم‌تغییر قطر ماتریس همبستگی و معادله‌های ریاضی متغیرها ازجمله ماتریس همبستگی یا کوواریانس مؤلفه‌های غیرهمبسته، مؤلفه‌های اصلی (PC) را استخراج می‌نماید. پیش از انجام آنالیز مؤلفه‌های اصلی شاخص KMO[۱] برای بررسی شدت همبستگی‌های متقابل و آزمون کرویت بارتلت[۲] برای بررسی عدم مستقل بودن متغیرها از هم انجام شد. اگر میزان شاخص KMO بیشتر از ۰/۶ باشد می‌توان از PCA استفاده کرد (Kaiser, 1974). در آزمون کرویت بارتلت اگر فرض صفر، رد شود به این معناست که متغیرها با یکدیگر همبستگی دارند. در اجرای مدل تحلیل مؤلفه‌های اصلی، برای تفسیر بهتر مؤلفه‌ها از روش محور چرخان (روش واریمکس[۳]) استفاده شد تا بهترین ترکیب متغیرها در مؤلفه‌ها مشخص شود.

نتایج و بحث

در راستای تحلیل نتایج و اعمال اثرات متقابل، پارامترهای شیمیایی شاخص KMO تعیین و سپس با روش واریمکس، آزمون PCA اجرا گردید. مؤلفه‌های اصلی با توجه به بیشترین میزان تغییرات واریانس و اثر تجمعی آن‌ها انتخاب گردید (شکل ۱).



شکل۱- تغییرات مقادیر ویژه مؤلفه‌های شیمیایی خاک برای تعیین مؤلفه بهتر با روش PCA

جدول۱- مقادیر بار عاملی دو مؤلفه اصلی ویژگی‌های شیمیایی خاک

ویژگی	D1	D2
pH	–	-۰/۲۲
EC(ds.m^{-1})	۰/۹۲	۰/۲۱
SAR	۰/۸۱	۰/۱۴
OC(%)	۰/۳۰	۰/۹۱
TNV(%)	۰/۷۴	-۰/۱۰

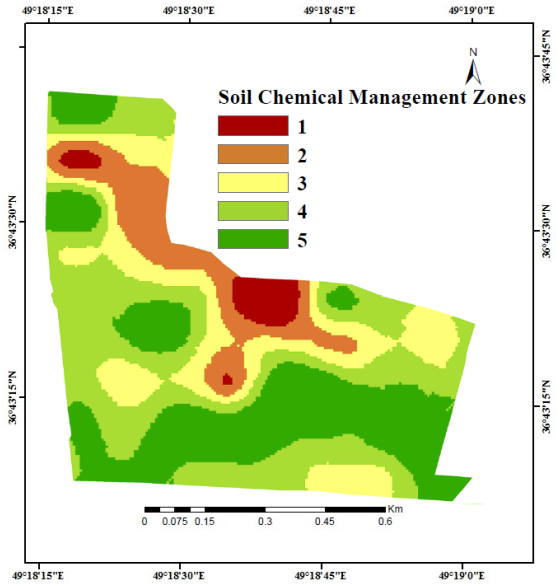
[۱] Kaiser-Mayer-Olkin

[۲] Bartlett's test of sphericity

[۳] Varimax

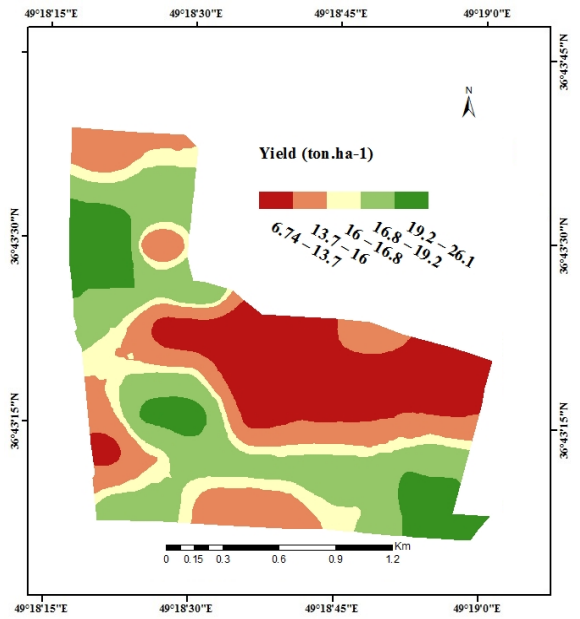
P(mg.kg^{-1})	۰/۰۶	۰/۹۶
K(mg.kg^{-1})	۰/۲۸	۰/۴۲
Ca&Mg(meq.l^{-1})	۰/۸۵	۰/۲۳
Na(meq.l^{-1})	۰/۸۹	۰/۱۶
Fe(mg.kg^{-1})	–	۰/۷۸
Mn(mg.kg^{-1})	۰/۶۴	۰/۴۷
Zn(mg.kg^{-1})	۰/۲۰	۰/۸۱
Cu(mg.kg^{-1})	۰/۵۶	-۰/۰۴

پارامترهای شیمیایی خاک، فرض آزمون بارتلت رد شده است و به این معنی است که بین پارامترها همبستگی وجود دارد. نتیجه شاخص KMO کل پارامترها برابر ۰/۶۳ به دست آمد. دو مؤلفه اصلی PC1 و PC2 حدوداً ۶۵/۵۳ درصد تغییرات واریانس کل را به خود اختصاص داده‌اند. ازنظر معیار SC در مؤلفه PC1، 8 پارامتر EC، Na، Ca&Mg و pH، SAR، TNV، Mn و Cu مقدار بالایی داشتند. به‌طوری‌که EC (۱۷/۱۷ ٪)، Na (۱۶/۴۰ ٪) و مجموع Ca و Mg (۱۴/۸۱ ٪) بیشتر از ۵۰ درصد سهم در این مؤلفه را دارند. در این مؤلفه pH و Fe بار منفی و دیگر پارامترها بار مثبت بر مؤلفه نشان دادند(جدول ۱). به‌منظور تطبیق نتایج با مطالعات پیشین می‌توان به مطالعات Behera و همکاران (۲۰۱۸)، Tripathi و همکاران (۲۰۱۵) اشاره کرد که ایشان هم روابط مشابه و تأثیرات ویژگی‌های مورد بحث را مشابه نتایج این پژوهش به دست آورده‌اند.



شکل ۳- نقشه مناطق همگون مدیریتی ویژگی‌های شیمیایی خاک

نقشه مدیریت ویژه گروه پارامترهای شیمیایی (شکل ۳) که بر مبنای مؤلفه PC1 ایجاد شده است (شکل۱)، خاک منطقه به پنج کلاس به ترتیب کلاس (۱) با ۲/۶ درصد، کلاس (۲) ۲۰/۱۷ درصد، کلاس(۳) ۲۳/۱۰ درصد و کلاس (۴) ۳۳ درصد و در نهایت کلاس (۵) با ۲۲ درصد از مساحت کل تقسیم گردید.



شکل ۳- نقشه تغییرات عملکرد زیتون در منطقه مورد مطالعه

بررسی الگوی تغییرات عملکرد زیتون در منطقه (شکل ۳) و همبستگی عملکرد با کلیه ویژگی‌های شیمیایی خاک نشان داد عملکرد درختان در منطقه بیشتر متأثر از اثر منفی EC، SAR، TNV است. با توجه به الگوی تغییرات عملکرد با سایر پارامترها بیشترین تأثیر را EC و SAR خاک بر کاهش عملکرد درختان زیتون داشتند.

نتیجه‌گیری

عامل محدودکننده اصلی در تقسیم مناطق ویژه مدیریتی، میزان شوری خاک به‌ویژه درصد بالای سدیم محلول (Na) خاک در کل منطقه است. بنابراین، یکی از اولین و مهم‌ترین اقدامات در مدیریت باغ کاهش اثرات شوری به‌خصوص در مناطق کلاس ۱ و ۳ است که این امر می‌تواند با اعمال درست آبشویی در حجم آبیاری و آبشویی فصلی تا حدودی کنترل شود. عامل مؤثر دیگر ویژگی‌های شیمیایی خاک، میزان TNV خاک است که میانگین بالای آن در کل محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌گردد . سرانجام برای دستیابی به بازدهی بالا در باغ‌های زیتون، بهتر است از مدیریت هم‌زمان آبیاری، تغذیه خاک، و گیاه استفاده شود .

فهرست منابع

1. Information and Communication Technology Center (ICTC). (2019). *Sowing level and production rate of horticultural products in 2018*. Ministry of Agriculture, Deputy of Planning and Economics, Technology and Communication Center. (In Farsi).
2. Kaiser, H. F. 1974. An index of factorial simplicity. Psychometrika, 39(1), 31-36.
3. Tripathi, R., Nayak, A. K., Shahid, M., Lal, B., Gautam, P., Raja, R., . . . Sahoo, R. N. (2015). Delineation of soil management zones for a rice cultivated area in eastern India using fuzzy clustering. CATENA, 133(Supplement C), 128-136.
4. Vasu, D., Sahu, N., Tiwary, P., & Chandran, P. 2020. Modelling the spatial variability of soil micronutrients for site specific nutrient management in a semi-arid tropical environment. Modeling Earth Systems and Environment.

Investigation of soil chemical properties on yield of olive tree by principal components analys

Samira vahedi[1], **Sina Besharat**[2], **Naser Davatgar**[3], **Mehdi Taheri**[4]

1 Researcher of Soil and Water Research Department ,Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.

2 Associate Professor of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.

3 Associate Professor of Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

4 Associate Professor of Soil and Water Research Department ,Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.

The development of olive cultivation requires detailed studies to achieve maximum yield, produce a quality product and consider management strategies and improve the pattern of water consumption. Determining the variables affecting crop yield and the reason for its changes in different regions is one of the most basic information needed by farmers in order to accurately manage each crop. In order to investigate the role of soil chemical properties on olive yield, the present study was conducted in some orchards of Qazvin province using principal component method (PCA) and spatial distribution maps. According to the results, the main limiting factor in the division of special management areas is the salinity of the soil, especially the high percentage of dissolved sodium (Na) in the soil in the whole region. It seems that the most important action in garden management is to reduce the effects of salinity by applying proper leaching in the volume of irrigation and seasonal leaching.

Keywords: Geostatistics, Saline soils, homogeneous zones, PCA

اثر بیوسالید در حضور و عدم حضور اسیدهومیک بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و عملکرد گندم

لاله لیموچی[۱] ، مجید افیونی[۲] ، حسین شریعتمداری[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی اصفهان، Email: limoochi.la86@gmail.com

۲- اساتید گروه علوم خاک دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

هدف از این مطالعه تعیین اثر بیوسالید به عنوان کود آلی و اسیدهومیک بر رشد گندم بود. بیوسالید با سه سطح (صفر (Bs0)، ۱۰ (Bs10) و ۲۰ (Bs20) تن در هکتار) در حضور و عدم حضور اسیدهومیک در ۳ تکرار در گلخانه‌ی دانشگاه صنعتی اصفهان به‌صورت فاکتوریل با طرح پایه کاملا تصادفی طراحی گردید. نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار ماده آلی خاک در سطح ۲۰ تن در هکتار بیوسالید در حضور اسیدهومیک بود. اثر سطوح بیوسالید و اثر متقابل بیوسالید و اسیدهومیک بر ماده آلی خاک معنی‌دار شد. عملکرد گیاهان با افزایش سطوح بیوسالید افزایش یافت. مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در حضور اسیدهومیک افزایش یافت. اثر متقابل اسیدهومیک و بیوسالید بر پتاسیم خاک معنی‌دار شد. هدایت الکتریکی خاک با افزایش سطح بیوسالید افزایش یافت اما اثر متقابل اسیدهومیک و بیوسالید و حضور و عدم حضور اسیدهومیک بر هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار نشد.

واژگان کلیدی: اسیدهومیک، بیوسالید، گندم، لجن فاضلاب، ماده آلی

مقدمه

افزودن ماده آلی به خاک باعث بهبود کیفیت شیمیایی خاک، گنجایش نگه‌داری آب و رشد گیاهان می‌شود زیرا مواد آلی تامین کننده عناصر غذایی کم‌نیاز و پر نیاز بوده و با کمپلکس کردن فلزات سنگین باعث کاهش سمیت آن‌ها در خاک می‌شود. استفاده از روش‌هایی مانند مصرف لجن فاضلاب به‌عنوان یک کود آلی، مناسب به‌نظر می‌رسد که علاوه‌بر داشتن برتری‌های اقتصادی، گزینه مناسبی نیز برای رفع مشکل مدیریت لجن فاضلاب بوده و موجب افزایش ماده آلی، بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش کیفیت و کمیت محصول می‌شود (Roing *et al*. 2012). لجن فاضلاب هنگامی که به‌درستی تصفیه می‌شود، به بیوسالید تبدیل می‌شود که به‌عنوان مواد آلی غنی از مواد مغذی تولید شده از تاسیسات تصفیه فاضلاب شهری است (U.S.EPA. Part 503). بر اساس تحقیقات انجام شده کاربرد بیوسالیدها به‌طور قابل توجهی نیتروژن کل خاک و عناصر دردسترس گیاهان مانند P، Fe، Zn را افزایش می‌دهد. کاربرد بیوسالیدها به‌طور قابل توجهی باعث افزایش کربن آلی، کربوهیدرات‌ها در خاک می‌شود (García-Orenes *et al*. 2005). مواد هومیکی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی مختلف هستند که از باقی‌مانده گیاهان و حیوانات حاصل می‌شوند. امروزه کاربرد خاکی اسیدهومیک به رسمیت شناخته شده و استفاده از آن به دلیل آثار سودمند در رشد محصولات و به‌ویژه در خاک‌هایی با کمبود مواد آلی در حال افزایش است. اسیدهومیک کود محسوب نمی‌شود و به‌طور مستقیم مواد غذایی را برای گیاه فراهم نمی‌کند ولی به‌عنوان یک منبع طبیعی مکمل برای کود عمل می‌نماید. طاهر و همکاران (۲۰۱۱) اثر سطوح مختلف اسیدهومیک را بر روی گیاه گندم مورد آزمایش قرار دادند و نتایج آن‌ها نیز نشان داد که سطوح مختلف اسید هومیک تاثیر معنی‌داری بر وزن ساقه و میزان جذب نیتروژن و رشد گندم داشت (Tahir *et al*. 2011). چلیک و همکاران (۲۰۱۰) با کاربرد اسیدهومیک دریافتند که این ماده سبب افزایش وزن خشک و جذب عناصر غذایی روی، مس، آهن، نیتروژن، پتاسیم، فسفر وسایر عناصر غذایی گیاه ذرت شد (Chekik *et al*. 2010). نان و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند کاربرد اسیدهومیک و گچ در یک خاک شور-سدیمی در مقایسه با تیمار شاهد، باعث کاهش نسبت جذب سدیم محلول خاک، نسبت سدیم تبادلی خاک، افزایش مقدار ماده آلی و شوری خاک شد (Nan *et al*. 2016).

این پژوهش با هدف بررسی عملکرد گندم، ویژگی‌های شیمیایی خاک در اثر استفاده از بیوسالید حاصل از لجن فاضلاب و اسیدهومیک و اثر متقابل بیوسالید و اسیدهومیک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

خاک مورد مطالعه از منطقه‌ی تیران با رده‌بندی Typic torriorthents در استان اصفهان نمونه‌برداری شد. آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد، تیمارها شامل سه سطح بیوسالید (صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) در حضور و عدم حضور اسیدهومیک در ۳ تکرار بود. بیوسالید پس از عبور از الک ۲ میلی‌متر، به‌طور یکنواخت با مخلوط گردید. اسیدهومیک به‌صورت هیومکس تجاری نیز با آب آبیاری مخلوط شد و به خاک اضافه گردید. پس از اعمال تیمارها، بذرهای گندم، رقم پارسی در ۵ کیلوگرم خاک در گلدان کشت شد. بعد از گذشت ۴ ماه گیاهان برداشت شده، وزن تر و خشک بخش هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد. خاک گلدان‌ها نیز نمونه‌برداری و هوا خشک گردید. سپس واکنش خاک (pH)، هدایت الکتریکی خاک (EC) در عصاره‌ی ۱:۵ خاک به آب (Roades 1996)، ماده‌آلی (%OM) از روش سوزاندن تر (Klute 1986)، پتاسیم قابل جذب خاک عصاره با استات آمونیوم اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین به روش آزمون LSD، رسم نمودارها با استفاده از نزم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

اثر هیچ‌کدام از تیمارها بر pH خاک معنی‌دار نشد. با توجه به زیاد بودن ظرفیت بافری خاک‌های آهکی، مقادیر زیادی از کودهای آلی و مدت زمان بسیار طولانی لازم است تا کاهش قابل ملاحظه‌ای در pH خاک ایجاد شود. با افزایش سطوح بیوسالید هدایت الکتریکی خاک افزایش یافت اگرچه این میزان افزایش تفاوتی با مقدار اولیه هدایت الکتریکی در خاک نداشت (شکل۱- الف) و کاهش قابل توجهی در عملکرد گیاه ایجاد نشد. بیوسالید نسبت به کود حیوانی غلظت کم‌تری از نمک دارد و افزایش هدایت الکتریکی در خاک با بیوسالید می‌تواند به این دلیل باشد که پس از استفاده در خاک، برخی از نمک‌ها با تجزیه مواد آلی از بیوسالید آزاد می‌شوند. هدایت الکتریکی خاک در حضور و عدم حضور اسیدهومیک و اثر متقابل بیوسالید و اسیدهومیک معنی‌دار نشد. علت این امر احتمالا مقدار کم اسیدهومیک است منجر به ایجاد تفاوت معنی‌دار هدایت الکتریکی خاک نشده است (جدول۱).

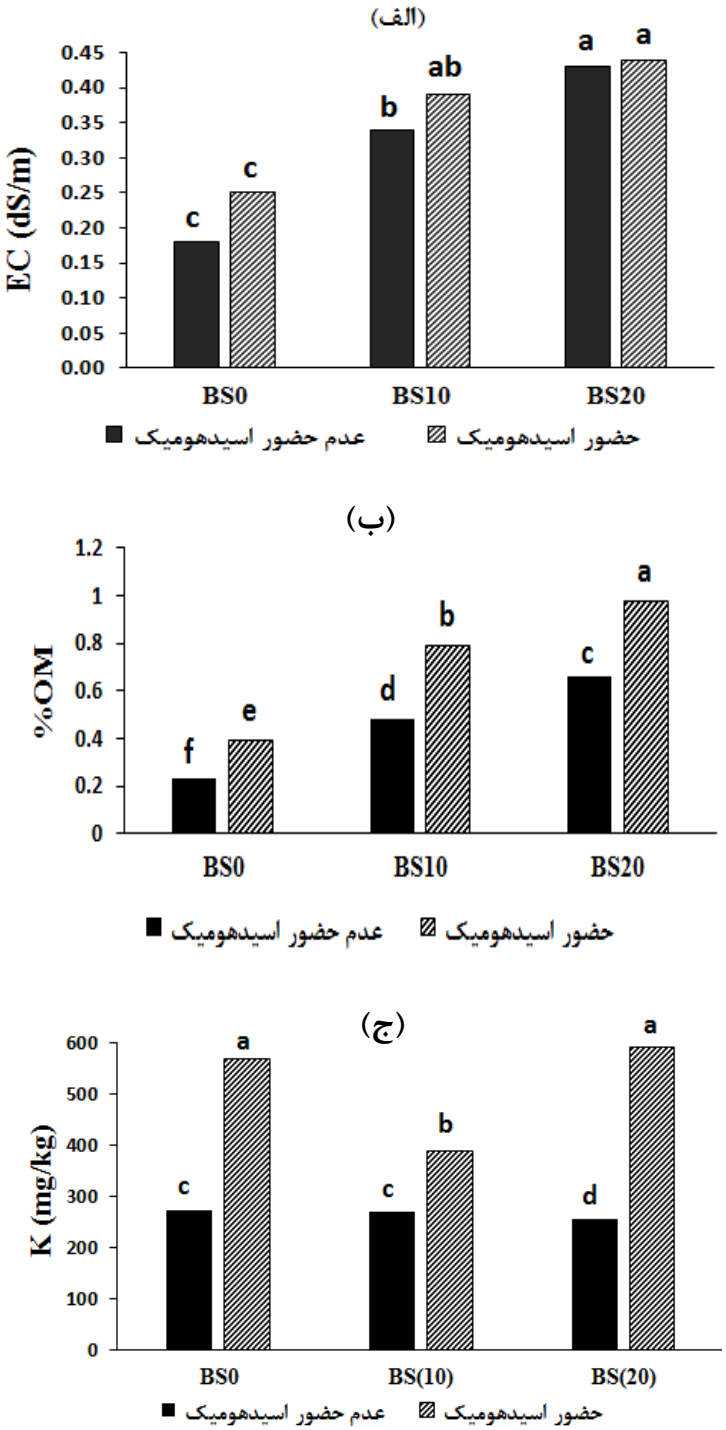
جدول۱- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		%OM	EC($dS\ m^{-1}$)	K(mg/kg)
کود	۲	۰/۳۹۹**	۰/۰۷۹**	۱۷۳/۰۴*
اسیدهومیک	۱	۰/۳۱۲**	۰/۰۰۹۸^{ns}	۲۸۲۶۵۶**
کود*اسیدهومیک	۲	۰/۰۱۱**	۰/۰۰۱۸^{ns}	۱۹۶۰۴**
خطا	۱۲	–	–	–

*و **و ns به‌ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

سطوح بیوسالید و اسیدهومیک و اثر متقابل بیوساالید و اسیدهومیک اثر معنی‌داری بر ماده آلی خاک داشت (جدول۱). بیش‌ترین مقدار ماده آلی خاک در سطح ۲۰ تن در هکتار بیوسالید در حضور اسیدهومیک بود (شکل ۱- ب). کربن آلی موجود در اسیدهومیک عمدتا ترکیبات هوموسی شده‌اند همین امر ممکن است سبب کاهش تجزیه میکروبی اسیدهومیک در خاک و افزایش ماده آلی خاک شده باشد. بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده که علاوه بر افزودن عناصر

به خاک، مواد آلی موجود در لجن فاضلاب پس از ورود به خاک توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و سبب افزایش هوموس خاک و در نهایت بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و حاصلخیزی خاک می‌گردد (نظری و همکاران ۱۳۸۵).



شکل۱- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در خاک

(ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

حضور اسیدهومیک در تیمارها، پتاسیم قابل جذب خاک را به صورت معنی‌دار افزایش داد که ناشی از غلظت بالای پتاسیم در این ماده می‌باشد (شکل۱- ج). غلظت زیاد پتاسیم در اسیدهومیک احتمالا به دلیل کاربرد KOH در عصاره‌گیری اسیدهومیک از لئوناردیت باشد. پتاسیم خاک در حضور و عدم حضور اسیدهومیک و اثر متقابل بیوسالید و اسیدهومیک معنی‌دار شد (جدول۱). طبق پژوهشی که در گذشته صورت گرفت در بین تیمارها بیش‌ترین مقدار غلظت پتاسیم قابل جذب خاک در خاک‌های اصلاح شده با اسیدهومیک دیده شد که با نتایج این پژوهش مطابقت داشت (بهشتی ۱۳۹۶). با افزایش سطوح بیوسالید مقدار پتاسیم کاهش یافت که این امر می‌تواند به دلیل کمبود پتاسیم در بیوسالید باشد. کودهایی که مقدار کمی پتاسیم دارند، مانند بیوسالید می‌توانند برای برخی از محصولات زینتی که به نمک‌های محلول یا مقدار بیش از حد پتاسیم بسیار حساس هستند، مفید باشند.

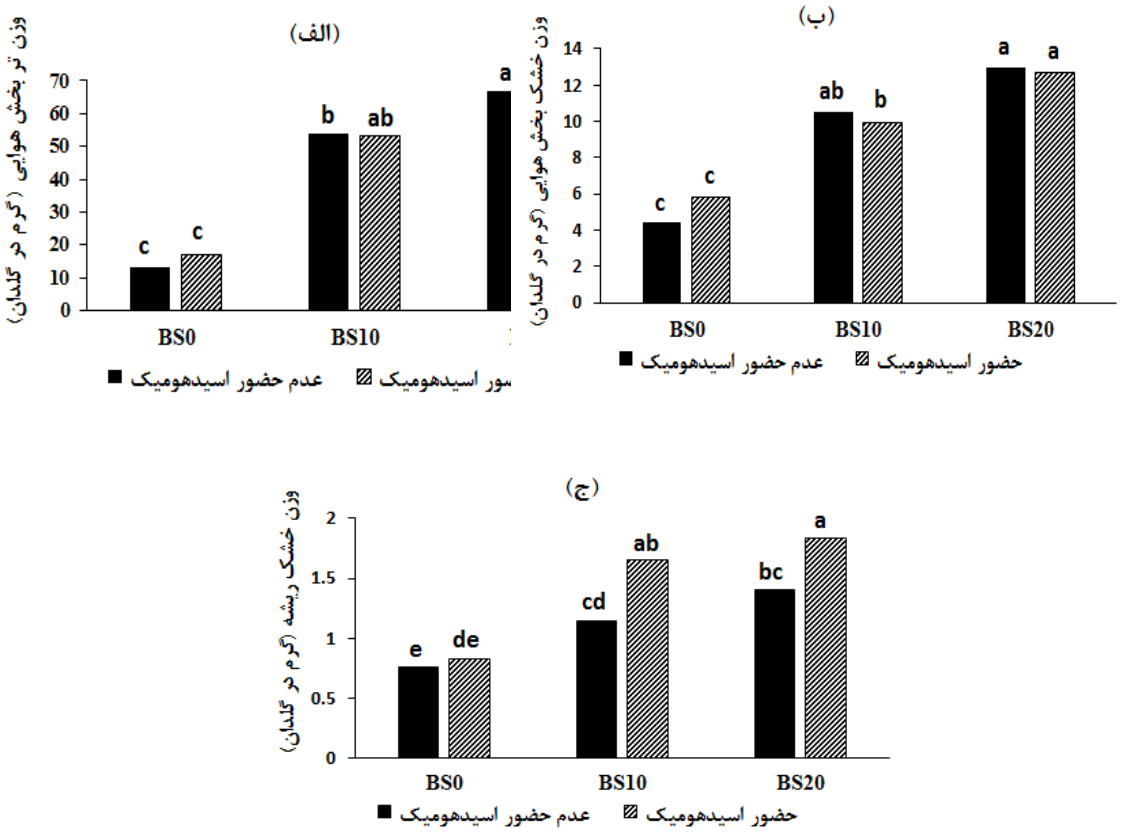
عملکرد گیاه

وزن تر و خشک بخش هوایی گیاه گندم با افزایش سطوح بیوسالید افزایش یافت (شکل۲_الف و ب). اگرچه حضور اسیدهومیک در سطح صفر بیوسالید، وزن تر و خشک بخش هوایی گندم را افزایش داد اما این افزایش معنی‌دار نبود (جدول۲). بیش‌ترین وزن خشک ریشه مربوط به تیمار بیوسالید در سطح ۲۰ تن در حضور اسیدهومیک نیز مشاهده شد (شکل ۲- ج) که این افزایش به‌دلیل تاثیر اسیدهومیک بر ریشه‌زایی گیاه بود. کوثر و همکاران (۱۹۸۵) طی آزمایشی روی گندم دریافتند که اسیدهومیک به میزان ۵۴ میلی‌گرم در لیتر، ۵۰٪ افزایش در طول ریشه و ۲۲٪ افزایش در ماده خشک ریشه را به همراه داشت (Kusar and Azam 1985). وزن خشک ریشه با افزایش سطوح بیوسالید و حضور و عدم حضور اسیدهومیک معنی‌دار شد (جدول۲). لیبو و همکاران (۲۰۰۰) در آزمایشی روی گیاه بنت گراس نشان دادند که در غلظت ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هومیک، وزن خشک ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Liu and Copper 2000). عملکرد گیاه در واقع برآیند مجموعه عوامل رشد محسوب می‌شود. بیوسالید به علت غنی بودن از ماده آلی و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در بیشتر موارد باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شود. عرفان منش (۱۳۷۶) در آزمایشی نشان داد افزایش سطح لجن فاضلاب سبب افزایش عملکرد زیستی گوجه فرنگی شد، به‌طوری که عملکرد زیستی در تیمار ۲۰۰ تن لجن در هکتار حدود ۳ برابر شاهد افزایش یافت.

جدول۲ – تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده گیاه گندم

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		وزن تر بخش هوایی	وزن خشک بخش هوایی	وزن خشک ریشه
			گرم در گلدان	
کود	۲	۴۰۶۴/۷**	۹۱/۴**	۱/۰۸**
اسیدهومیک	۱	۰/۲۷^{ns}	۰/۱۲۶^{ns}	۰/۵۲**
کود*اسیدهومیک	۲	۱۸/۷۷^{ns}	۱/۶۴^{ns}	۰/۰۸۶^{ns}
خطا	۱۲	–	–	–

*و **و ^{ns} به‌ترتیب بیان‌گر اثر معنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.



شکل ۲- مقایسه میانگین پارامترهای اندازه‌گیری شده در گندم

(ستون‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

با کاربرد بیوسالید در حضور اسید هومیک، ماده آلی خاک افزایش یافت که به بهبود حاصلخیزی خاک و بهبود کیفیت فیزیکی و شیمیایی خاک کمک می‌کند. با افزایش سطوح بیوسالید هدایت الکتریکی افزایش پیدا کرد ولی این افزایش خیلی کم بود البته شاید استفاده مکرر از بیوسالید در دراز مدت باعث شوری خاک شود. کمبود پتاسیم در بیوسالید تفاوتی در میزان پتاسیم قابل جذب خاک ایجاد نکرد که در خاک‌هایی که کمبود پتاسیم دارند می‌توان از بیوسالید همراه با کود این عنصر یا منبع دیگری مانند اسیدهومیک استفاده کرد. استفاده از بیوسالید و اسیدهومیک عملکرد گیاهان را به دلیل فراهمی عناصر مورد نیاز گیاهان افزایش داد.

فهرست منابع

بهشتی، ف. (۱۳۹۶). تاثیر استفاده از کود آلی مایع و شیرابه کمپوست زباله شهری در مقایسه با اسیدهومیک بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک. پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

عرفان منش، م. (۱۳۷۶). اثر تیمارهای لجن فاضلاب بر برخی ویژگی‌های خاک و جذب و تراکم عناصر سنگین به‌وسیله اسفناج و گوجه فرنگی. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

نظری، م.ع.، شریعتمداری، ح.، افیونی، م.، مبلی، م. و رحیلی، ش. (۱۳۸۵). اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۰ (۳).۱۱۰-۹۷.

Chekik, H., Katkat, A.V., Asik, B.B., Turan, M.A. (2010). Effect of foliar-applied humic acid to dry weight and mineral nutrient uptake of maize under calcareous soil conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, (42), 29-38.

García-Orenes, F., Guerrero, C., Mataix-Solera, J., Navarro-Pedreño, J., Gómez, I., Mataix-Beneyto, J. (2005). Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. *Soil & Tillage Research*, (82), 65-76.

Kauser, A., and Azam, F. (1985). Effect of humic acid on wheat seeding growth. *Environmental and Experimental Botany*, (25), 245-252.

Klute, A. (Ed.). (1986). Methods of Soil Analysis. Part1-Physical and Mineralogical Methods. Seconds edition. *Soil Science Society of America Journal*. Publisher Madison, Wisconsin. USA.

Liu, C., Cooper, R.J. (2000). Humic substances influence creeping bent grass growth. *Carbon*, (54), 41-51.

Nan, J., Chen, X., Chen, C., Lashari, M. S., Deng, J. and Du, Z. (2016). Impact of flue gas desulfurization gypsum and lignite humic acid application on soil organic matter and physical properties of a saline-sodic farmland soil in Eastern China. *Journal of Soils and Sediments*, (16), 2175-2185.

Roades J.D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. Method of soil analysis, parss: chemical methods. Madison. Wisconsin, USA. Pp: 417-436.

Roig, N., Sierra, J., Martí, E., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L. (2012). Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, (158), 41-48.

Tahir, M.M., Khurshid, M., Khan, M.Z., Abbasi, M.K., and Kazemi, H.M. (2011). Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. *Pedosphere*. (21), 124-131.

U.S.EPA. (1994). A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. EPA/832/R-93/003. Adopted from www.EPA.gov.

Effect of biosolid in the presence and absence of humic acid on some soil properties and yield of wheat

L. Limoochi[1], M. Afyuni[2], H. Shariatmadari[2]

1 and 2- Graduate Student, Department of Soil Science and Professor, Respectively, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Abstract:

The objective of this study was to determine the effect of biosolid as an organic fertilizer and humic acid on wheat growth. Three levels of biosolid: zero (Bs0), 10 t/ha (Bs10) and 20 t/ha (Bs20) in the presence and absence of humic acid with 3 replications were used in the greenhouse of Isfahan University of Technology in a factorial with a completely randomized design was designed. The results showed that the highest amount of soil organic matter was at the level of 20 t/ha (Bs20) of biosolid in the presence of humic acid. The effect of biosolid levels and the interaction of biosolid and humic acid of soil organic matter were significant. Plant yield increased with increasing biosolid levels. The amount of plant available potassium in the soil increased significantly in the presence of humic acid. The interaction of humic acid and biosolid on soil potassium was significant. Soil electrical conductivity increased with increasing biosolid levels, but the interaction of humic acid and biosolid and the presence or absence of humic acid on soil electrical conductivity was not significant.

Keywords: Humic acid, Biosolid, Wheat, Sewage sludge, organic matter

تاثیر کاربرد ویناس بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک کشت شده

ندا مرادی[1*]، احمد لندی[2]، ام لیلا مجیدی[3]

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

*نویسنده مسئول: n.moradi@scu.ac.ir

چکیده

ویناس به دلیل داشتن ماده آلی می‌تواند به عنوان اصلاح کننده خاک استفاده شود. به منظور بررسی تاثیر کاربرد ویناس بر روی برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک، یک آزمایش گلدانی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۶ تیمار و در ۳ تکرار اجرا شد. جهت انجام این تحقیق ویناس در غلظت‌های ۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵ و۳۰ مترمکعب در هکتار به خاک افزوده شد و کشت بذور ذرت در هر گلدان صورت گرفت. در پایان دوره رشد ذرت (۷۰ روز)، pH، EC، موادآلی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز قابل استفاده خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد موادآلی خاک، هدایت الکتریکی خاک، غلظت عناصر نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر قابل استفاده با افزایش سطح ویناس در نمونه‌های خاک به طور معنی‌دار افزایش پیدا کرد.کاربرد ویناس سبب افزایش چشم گیر پتاسیم گردید، بطوریکه پتاسیم قابل استفاده خاک در تیمار۳۰ مترمکعب ویناس نسبت به تیمار شاهد (بدون ویناس) ۱۱ برابر افزایش یافت بود. اما کاربرد ویناس بر pH، آهن، روی، مس و منگنز قابل استفاده خاک تأثیر معنی‌داری نداشت. بطورکلی، ویناس می‌تواند به عنوان کود آلی مایع (بویژه برای پتاسیم) در مزارع استفاده شود.

واژگان کلیدی: پتاسیم، کود شیمیایی، موادآلی، ویناس

مقدمه

ویناس (vinasse) به پساب صنایع الکل‌سازی گفته می‌شود که پس از تقطیر الکل بر جای می‌ماند. در کل ویناس محصول جانبی صنعت قند است و دارای ماده آلی بوده و بیش از ۹۰ ٪ آن را آب تشکیل می‌دهد (Hidalgo 2009). ویناس ماده‌ای با رنگ قهوه‌ای تیره و بوی شکر سوخته می‌باشد که غنی از پتاسیم، کلسیم و منیزیم و بطور متوسط دارای ازت و فسفر است (Webb and Chapman 1987). به طور متوسط برای تولید هر یک لیتر الکل، ۱۳ لیتر ویناس تولید می‌شود که این مقدار از ۱۰ تا ۱۵ لیتر متغیر است و میزان آن به کیفیت نیشکر و پروسه صنعتی بستگی دارد (Joshi *et al.* 1996). در مورد تأثیر ویناس بر ویژگی‌های خاک مانند میزان شوری، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، واکنش خاک و غلظت برخی عناصر غذایی نظیر پتاسیم، کلسیم و منیزیم تا کنون مطالعات زیادی انجام شده است. در طی سالهای اخیر استفاده از ویناس و پسابهای صنعتی قند اهمیت بیشتر پیدا کرده‌اند که وجود مقادیر زیاد مواد غذایی و ماده آلی سبب بهبود باروری محصول و حل مشکل دفع پسابها در محیط باز می‌شود. همچنین تحقیقات انجام شده در دهه اخیر که در چین انجام شده است حاکی از اثرات مثبت کاربرد ویناس بر رشد و نمو نیشکر و بهبود ویژگی‌های خاک است (Li *et al*. 2008; Mo *et al*. 2009; Meng *et al*. 2009).

Su *et al.* (2009)، گزارش کردند که کاربرد ویناس (۴۵، ۷۵ و ۱۰۵ تن در هکتار) سبب بهبود مقدار نیتروژن کل، موادآلی و اسید هومیک در خاک تحت کشت نیشکر گردید. Ao *et al.* (2009)، نیز گزارش کردند که مقدار pH و وزن مخصوص ظاهری خاک با کاربرد ویناس کاهش اما مقدار نیتروژن، پتاسیم و منیزیم قابل استفاده و مواد آلی خاک به طور معنی‌دار افزایش یافتند. کاربرد

ویناس در خاک همچنین می‌تواند سبب کاهش آلودگی محیط زیست و تغییر آن از ضایعات به ماده باارزش شود (Jiang *et al*. 2012). نتایج آزمایشات مختلف Subash *et al*. (2002)، نشان داده است که افزایش ویناس به خاک موجب افزایش عناصر غذایی شامل فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم قابل دسترس شده است. بنابراین با توجه به پایین بودن مقدار مواد آلی و عناصر غذایی در خاک‌های کشور و با توجه به کمبود اطلاعات در زمینه تأثیر ویناس بر روی ویژگی‌های شیمیایی خاک این تحقیق با هدف بررسی تأثیر کاربرد ویناس بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک کشت شده اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با ۶ تیمار سطوح ویناس (۰، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ مترمکعب در هکتار) با سه تکرار در شرایط گلخانه‌ای در گلخانه دانشگاه شهیدچمران اهواز اجرا گردید. برای این تحقیق یک نمونه خاک مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از اراضی کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهیدچمران اهواز تهیه گردید. نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا- خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به روش استاندارد اندازه‌گیری گردیدند (جدول ۱). همانطور که جدول ۱ مشاهده شد، خاک مورد مطالعه از لحاظ نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و آهن قابل استفاده دارای کمبود است. همچنین ویناس مورد استفاده هم از کارخانه الکل‌سازی خرمشهر تهیه گردید که برخی ویژگی‌های آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، خاک آماده شده به مقدار ۶ کیلوگرم در گلدان‌های پلاستیکی ریخته شدند و به ترتیب ۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰،۵۰ و ۶۰ میلی لیتر ویناس به هر گلدان اضافه شد. محاسبات فوق براساس نسبت وزن خاک تا عمق ۲۰ سانتی‌متر در یک هکتار مزرعه و وزن خاک درون گلدان انجام شده است. در هر گلدان ۱۰ بذر ذرت کاشته شد که پس از مراحل اولیه رشد سه بوته سالم در هر گلدان نگه داشته و بقیه حذف گردید. پس از گذشت از ۷ هفته گیاه ذرت برداشت شد و نمونه برداری از خاک کشت شده انجام گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کشت شده تحت تیمار ویناس نظیر pH و EC خاک در عصاره گل اشباع توسط pH متر و EC سنج، کربن آلی با روش والکلی و بلک، نیتروژن کل با کجلدال، فسفر قابل استفاده به روش اولسن، پتاسیم قابل استفاده با فلیم فتومتر، آهن، روی، منگنز و مس به روش DTPA توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شدند (Carter and Gregorich 2008).

رسم نمودارها با نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۳، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ انجام شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

pH	EC	SP	بافت	N	قابل استفادهP	قابل استفادهK	آهک	کربن آلی	Na	Fe	Mn	Zn	Cu
	دسی‌زیمنس بر متر	درصد		درصد	میلی‌گرم بر کیلوگرم			درصد	میلی‌اکی والان بر لیتر	میلی‌گرم بر کیلوگرم			
۷/۷	۳/۵	۴۶/۷	لوم سیلتی	۰/۰۴۵	۷/۵	۱۵۴	۵۰	۰/۴۵	۱۷	۴/۸	۵/۷۲	۰/۷۳	۱/۶۵

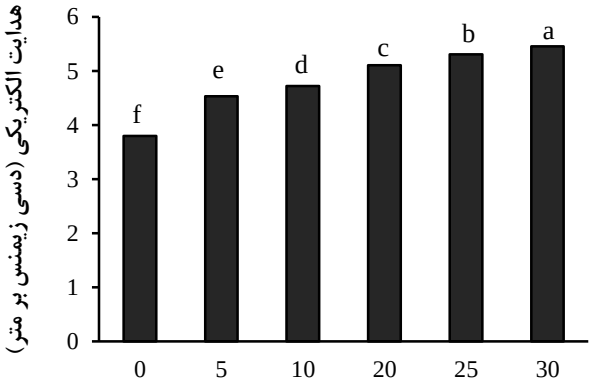
جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی ویناس مورد استفاده

pH	EC	رطوبت	C:N	کربن آلی	N	P	K	Na	Ca	Mn	Zn	Fe	Cu
	دسی‌زیمنس بر متر	درصد		درصد	میلی‌گرم بر لیتر								
۴/۴	۳۹/۱	۸۸	۱۵/۹	۲/۷	۱۷۰۰	۷۰۰	۲۱۱۲۰	۲۶۵۰	۲۰۴۰	۴/۳	۷/۲	۱۰۱	۱/۶

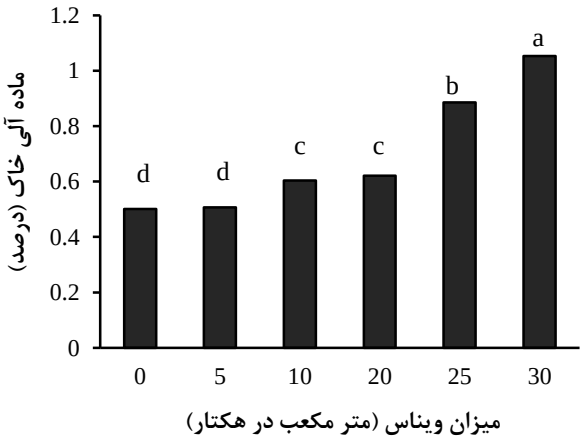
نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، کاربرد ویناس بر pH خاک و مقدار عناصر کم‌مصرف خاک (آهن، روی، مس و منگنز) اثر معنی‌دار نداشت. اما تاثیر کاربرد ویناس بر روی هدایت الکتریکی خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به اینکه هدایت الکتریکی ویناس در حدود ۳۹/۱ دسی زیمنس برمتر بود (جدول ۲)، افزایش آن به خاک تأثیر زیادی بر هدایت الکتریکی خاک داشت (شکل۱). در نتیجه افزایش سطح کاربرد ویناس در خاک هر سبب افزایش معنی‌دار هدایت الکتریکی گردید. بطوریکه سطح ۳۰مترمکعب در هکتار ویناس در مقایسه با تیمار شاهد (بدون ویناس) باعث افزایش ۴۳/۴۸ درصد در مقدار هدایت الکتریکی خاک شد (Jiang *et al*. 2012).

نتایج مقایسه میانگین تاثیر ویناس بر مقدار ماده آلی خاک نشان داد که با افزایش سطوح ویناس میزان ماده آلی به طور معنی‌دار افزایش یافت (شکل ۲). تیمار ۳۰ مترمکعب در هکتار ویناس بیشترین اثر را روی افزایش کربن آلی خاک داشت که در مقایسه با تیمار بدون ویناس میزان ماده آلی را ۲ برابر افزایش داد. به دلیل اینکه ویناس شامل مواد آلی زیادی است کاربرد آن به طور معنی‌دار مواد آلی خاک را افزایش می‌دهد (Yin *et al*. 2019).

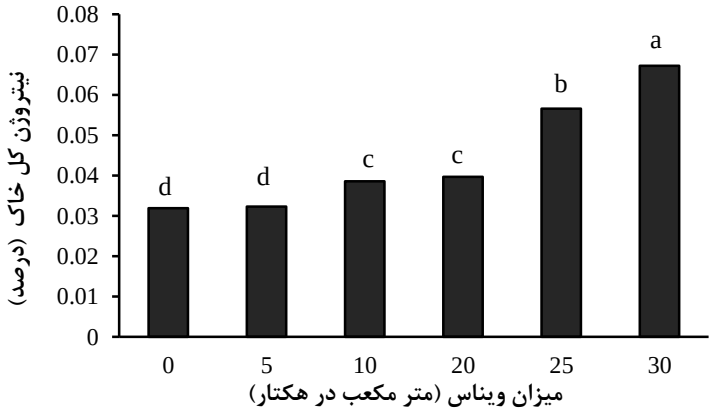


شکل ۱- تاثیر سطوح کاربرد ویناس بر هدایت الکتریکی خاک



شکل ۲- تاثیر سطوح کاربرد ویناس بر مقدار ماده آلی خاک

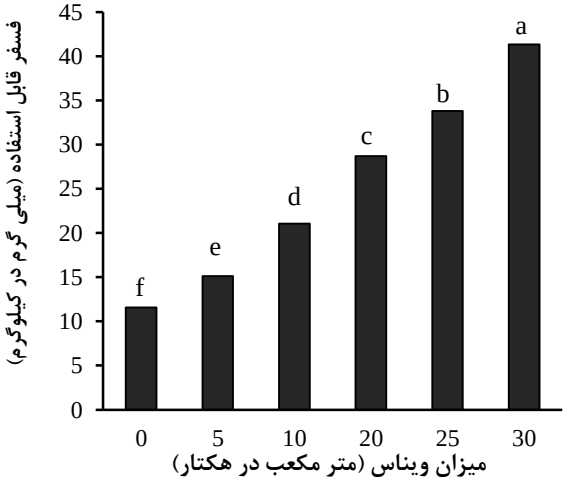
نتایج مقایسه میانگین اثر سطوح ویناس بر درصد نیتروژن خاک نشان داد در اثر افزایش سطوح کاربرد ویناس مقدار نیتروژن خاک به طور معنی‌دار افزایش یافت. تیمار ۳۰ مترمکعب ویناس در یک هکتار خاک سبب افزایش نیتروژن موجود در خاک به مقدار تقریباً ۲ برابر شد (شکل۳). از آنجایی که با اضافه شدن ویناس به خاک مواد آلی خاک افزایش پیدا کرد، فعالیت میکروبی زیاد شده و باعث افزایش نیتروژن خاک می‌شود. همچنین ویناس مورد استفاده دارای حدود ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر لیتر نیتروژن بود که افزودن آن به خاک، می‌تواند میزان نیتروژن خاک را افزایش دهد (Campiteli *et al*. 2018).



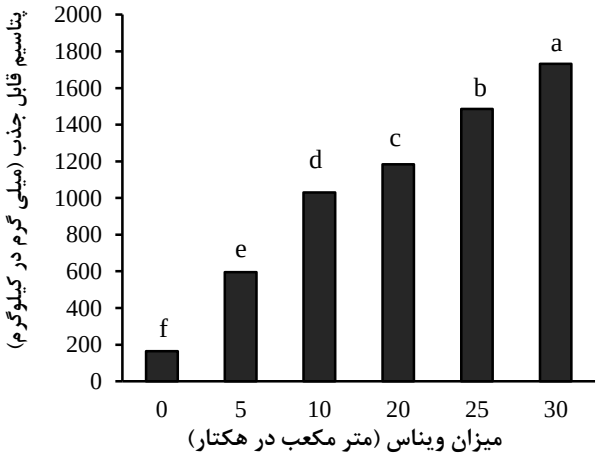
شکل ۳- تاثیر سطوح کاربرد ویناس بر درصد نیتروژن خاک

مقدار فسفر قابل استفاده در خاک از ۱۱/۵۸ تا ۴۱/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر بوده است. بیشترین و کمترین مقدار فسفر قابل استفاده به ترتیب در تیمار ۳۰ متر مکعب ویناس در یک هکتار خاک و تیمار شاهد (بدون ویناس) حاصل شد که فسفر قابل استفاده ۳/۵ افزایش یافت (شکل۴). به دلیل اینکه ویناس حدود ۷۰۰ میلی‌گرم در لیتر فسفر دارد (جدول ۲) و همچنین مقدار بیکربنات ویناس و اسیدهای آلی که ضمن تجزیه ویناس آزاد می‌شوند به محلول بودن فسفر طبیعی خاک نیز کمک می‌کند، هر چه میزان ویناس اضافه شده به خاک بیشتر باشد، فسفر خاک نیز بیشتر خواهد شد. این نتایج منطبق با یافته‌های Subash *et al*. (2002) بود.

تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف ویناس بر پتاسیم قابل جذب خاک، حاکی از روند کلی افزایش پتاسیم قابل استفاده خاک در اثر افزایش سطوح مختلف ویناس است. دامنهٔ تغییرات پتاسیم قابل جذب خاک بین ۱۶۴/۱۴ تا ۱۷۳۱/۱۹ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک متغیر بود. پتاسیم قابل استفاده خاک با کاربرد ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ مترمکعب ویناس نسبت به تیمار شاهد (بدون ویناس) به ترتیب ۴، ۷، ۸، ۹ و ۱۱ برابر بود (شکل۵). احتمالاً چنین افزایشی در غلظت پتاسیم قابل استفاده خاک به دلیل غنی‌بودن ویناس از پتاسیم است و اضافه‌نمودن چنین ترکیبی به خاک یقیناً موجب افزایش معنی‌دار در پتاسیم قابل جذب خاک می‌شود. Jiang *et al*. (2002)، نیز بیان کردند که مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های تیمار شده با ویناس در مقایسه با خاک شاهد و کوددهی شده به‌طور معنی‌دار بالاتر بود و علت آن را بالا بودن میزان پتاسیم در ویناس بیان کردند. نتایج مشابهی نیز توسط محققیان دیگر گزارش شده است (Laime *et al*. 2011; Moran-Salazar 2016).



شکل ۴- تاثیر سطوح کاربرد ویناس بر فسفر قابل استفاده خاک



شکل ۵- تاثیر سطوح کاربرد ویناس بر پتاسیم قابل استفاده خاک

نتیجه‌گیری

با توجه به اثبات نقش ضایعات آلی در حاصلخیزی خاک و با نظر به اینکه ویناس یکی از ضایعات کارخانه الکل‌سازی است که دور ریخته می‌شود. به راحتی با اضافه نمودن چنین ترکیبی به خاک می‌توان به طور اقتصادی عناصر مورد نیاز گیاه را تامین کرد. اضافه نمودن ویناس به خاک به عنوان ماده مغذی برای میکروارگانیسم‌های خاک و گیاهان می‌تواند به عنوان روشی مناسب برای حاصلخیز نمودن خاک مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به اینکه ویناس یک ماده آلی است می‌توان با افزودن آن به خاک موجب افزایش مواد آلی خاک گردید. همچنین به دلیل اینکه ویناس دارای مقدار بسیار بالایی پتاسیم است و می‌تواند به عنوان یک منبع کودی برای تقویت خاک و بازگرداندن پتاسیم تخلیه شده مورد استفاده قرار گیرد و جایگزین بسیار مناسبی برای کودهای پتاسیمی خواهد بود.به طور کلی با توجه به اینکه ویناس بیشتر عناصر مورد نیاز گیاه را دارا می‌باشد و کاملا منشا گیاهی دارد می-تواند جانشین کلی (پتاسیم) یا جزئی (ازت و فسفر)کودهای شیمیایی شده و باعث حاصلخیزی خاک شود. اما استفاده مقدار خیلی زیاد ویناس می‌تواند سبب سمیت برخی عناصر گردد، بنابراین در مصرف ویناس باید دقت لازم صورت گیرد.

فهرست منابع

Ao, J.H., Deng, H.H., Li, Q.W., Huang, Z.R., Jiang, Y. (2009). Effects of vinasse on the properties of soil. *Guangdong Agricultural Sciences*, 7, 177–180.

Campiteli, L.L., Santos, R.M., Lazarovits, G., Rigobelo, E.V. (2018). The impact of applications of sugar cane filter cake and vinasse on soil fertility factors in fields having four different crop rotations practices in Brazil. *Cientifica*, 46(1), 42-48.

Carter, M.R., Gregorich, E.G., Eds. (2008). Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Hidalgo, K. (2009). Vinasse in feed: Good for animal and environment. *Feed Technology*, 13(5), 18–20.

Jiang, Z.P., Li, Y.R., Wei, G.P., Liao, Q., Su, T.M., Meng, Y.C., Zhang, H.Y., Lu, C.Y. (2012). Effect of long-term vinasse application on physico–chemical properties of sugarcane field soils. *Sugar Tech*, 14(4), 412–417.

Joshi, H.C., Kalra, N., Chaudhary, A., Dev, D.L. (1996). Use of distillery and sugar industry wastes in agriculture. In: Pro Nat Symp, AC & RI, Trichy. pp 97–107.

Laime, E.M.O., Fernandes, P.D., Oliveira, D.C.S., Freire, E.A. (2011). Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. *R. Trop. Ci. Agr. Biol.* 5, 16–29.

Li, Y.R., Zhu, Q.Z., Wang, W.Z. (2008). Multiple location experiment of technique system for direct rational application of vinasse from cane mill in sugarcane fields. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 21(3), 749–756.

Meng, Y.C., Tang, Q.Z., Liu, Z., Chen, G.F., Wang, Y. (2009). Impact of several organic materials of sugar industry on soil microbe population in sugarcane field. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 22(2), 389–392.

Mo, Y.C., Ye, Y.P., Liang, Q., Li, Y.R. (2009). Effects of vinasse on the quality of sugarcane and key enzymes in sucrose synthesis. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 22(1), 55–59.

Moran-Salazar, R.G., Sanchez-Lizarraga, A.L., Rodriguez-Campos, J., Davila-Vazquez, G., Marino-Marmolejo, E. N., Dendooven, L., Contreras-Ramos, S.M. (2016). Utilization of vinasses as soil amendment: consequences and perspectives. *SpringerPlus*, *5*(1), 1007.

Su, T.M., Li, Y.R., Wei, G.P., Jiang, Z.P. (2009). Effect of sugarcane vinasse on soil physicochemical properties and oxidoreductase enzymes. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 6, 1106–1110.

Subash, M., Gopal, H., Baskar, M., Kayalivizhi, C. (2002). Utilization of distillery effluent in coastal sandy soil to improve soil fertility and yield of sugarcane. 17th International Soil Science Congress. Thailand. 14-25.

Webb, W.A.C., Chapman, L.S. (1987). Dander as a fertilizer for sugar cane in the central district of Queensland. *Proceeding of Australian Society of Sugar Cane Technologists*, 55-59.

Yin, J., Deng, C.B., Wang, X.F., Chen, G.I., Mihucz, V.G., Xu, G.P., Deng, Q.C. (2019). Effects of Long-Term Application of Vinasse on Physicochemical Properties, Heavy Metals Content and Microbial Diversity in Sugarcane Field Soil. *Sugar Tech*, 21, 62–70.

Effects of Vinasse application on the chemical properties in cultivated soil

Neda Moradi[1*],Ahmad Landi[2], Ome Leila Majidi[3]

1-Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3- M.S. Graduated of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* Corresponding Author's Email: n.moradi@scu.ac.ir

Abstract

Vinasse can be recycled as a soil amendment due to its organic matter content. In order to investigate the effect of vinasse application on some soil chemical properties, a pot experiment was performed based on randomized complete block design with 6 treatments and 3 replications. For this research, vinasse at rates of 0, 5, 10, 20, 25 and 30 m^3 ha^{-1} was added to pots and corn (*Zea mays* L.) seeds were sown in each pot. At the end of the corn growth period (70 days), pH, EC, organic matter, total nitrogen (N), phosphorus (P_{ava}), potassium (K_{ava}), iron (Fe_{ava}), zinc (Zn_{ava}), copper (Cu_{ava}) and manganese (Mn_{ava}) were measured in soil. The results showed that by increasing of vinasse application rate, the soil organic matter, EC, N, K_{ava} and P_{ava} increased significantly compared to treatments without vinasse. The application of vinasse markedly increased the soil K, so that the soil K_{ava} in the treatment of 30 m^3 ha^{-1} was 11 fold higher than the control treatment (without vinasse). But, application of vinasse had not significant effect on pH, Fe_{ava}, Zn_{ava}, Cu_{ava} and Mn_{ava} of soil. In general, vinasse can be used as a liquid organic fertilizer on farms (especially for potassium).

Keywords: Chemical fertilizers, Organic matter, Potassium, Vinasse.

تأثیر طولانی مدت مواد آلی مختلف بر خصوصیات شیمیایی خاک تحت شرایط مزرعه‌ای

مهدی بهشتی*[۱]، کریم شهبازی[۲]، مصطفی مارزی[۲]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران، کرج، m.beheshti@ut.ac.ir (نویسنده مسئول).
۲- به ترتیب دانشیار و محقق موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

چکیده

کربن آلی احتمالاً مهم‌ترین اجزای خاک است زیرا تقریباً بر روی تمام خصوصیات خاک تأثیر گذار است. کربن به عنوان ماده‌ی آلی خاک، خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها را تغییر می‌دهد. به علت پایین بودن ماده آلی در خاک‌های استان البرز آزمایشی به صورت کاملاً تصادفی در شرایط مزرعه‌ای برای بررسی تأثیر مواد آلی مختلف شامل کمپوست، ورمی کمپوست و کود گاوی بر روی خصوصیات شیمیایی خاک در یک بازه زمانی چهار ساله طراحی گردید. نتایج نشان داد که تیمارها مواد آلی استفاده شده بر خصوصیات شیمیایی خاک شامل مواد آلی، نیتروژن نیتراتی و آمونیاکی، فسفر و پتاسیم قابل جذب و همچنین عناصر میکرو Fe، Zn، Cu و Mn تأثیر داشته و باعث افزایش این پارامترها نسبت به کرت شاهد در خاک شد. بر اساس نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد که مصرف کودهای آلی به خصوص به شکل کمپوست و ورمی کمپوست اثرات مثبت و مفیدی بر خصوصیات شیمیایی خاک داشته که خود منجر به حفظ سلامت و حاصلخیزی خاک و تولید پایدار در دراز مدت خواهد شد. براساس نتایج این مطالعه اگر از افزودن مواد آلی به خاک افزایش مقدار ماده آلی خاک در بلند مدت مدنظر باشد، کاربرد موادی مثل کمپوست و ورمی‌کمپوست توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: مواد آلی، کمپوست، کود گاوی، ورمی کمپوست.

مقدمه

امروزه رویکرد کشاورزی پایدار برای حفظ اکوسیستم‌های کشاورزی از بسیاری از آلودگی‌های زیست محیطی، استراتژی مدیریت مزارع را به سوی استفاده از کودهای آلی و بقایای گیاهی سوق داده است و کیفیت و میزان مواد آلی خاک را به عنوان عاملی کلیدی در ارزیابی پایداری شیوه‌های مدیریت در نظر گرفته است. هدف اصلی اکوسیستم کشاورزی پایدار، حفظ ذخایر مواد آلی بوده که در این راستا بقایای گیاهی و کودهای آلی یکی از مهم‌ترین منابع مواد آلی خاک به‌شمار می‌روند (Bastian, Bouziri, Nicolardot, & Ranjard, 2009). اسپاکینی و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که ماده آلی خاک، ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیک و فرآیندهای خاک را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک محسوب می‌شود (Spaccini, Mbagwu, Igwe, Conte, & Piccolo, 2004). شهبازی و همکاران (۲۰۱۵) با افزودن ترکیبات آلی از منابع مختلف کودهای گاوی، گوسفندی و کمپوست زباله شهری به خاک نشان دادند که میزان تلفات کربن از دست رفته در طول زمان بطور قابل توجهی افزایش نشان داد، همچنین نتایج نشان داد که هر چند در کوتاه مدت با افزودن ترکیبات آلی به خاک، مقدار کربن آلی آن افزایش می‌یابد ولی روند تغییرات کربن آلی خاک در دراز مدت روندی کاهشی است (Shahbazi, Majidi, Moradi, 2015). میرزایی تالارپشتی و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی اثر کاربرد کودهای الی (کود گاوی، کود مرغی، ورمی کمپوست و کمپوست زباله) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک گزارش کردند که اثر تیمارهای کود آلی بر خصوصیات شیمیایی خاک شامل مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل جذب، pH خاک و CEC در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. همچنین کاربرد تیمارهای کود آلی باعث افزایش عناصر ریزمغذی خاک شد (Mirzaei talarposhti, 2015). با وجود مطالعاتی در مورد تجزیه مواد آلی و معدنی شدن کربن و نیتروژن در ایران، تاکنون روند تغییرات بلند مدت کربن آلی خاک، در خاک‌های کشاورزی کشور به خوبی مورد مطالعه قرار

نگرفته است. تحقیق حاضر تحت شرایط مزرعه‌ای در استان البرز با هدف بررسی روند تغییرات بلند مدت کربن آلی لایه سطحی خاک تحت تأثیر منابع مختلف کربن آلی خاک و بررسی تأثیرات بلند مدت مواد آلی مختلف بر خصوصیات شیمیایی خاک طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

اجرای آزمایش

تحقیق حاضر در ایستگاه تحقیقاتی موسسه خاک و آب واقع در استان البرز طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۲ به مدت ۴ سال (از آذر ۱۳۹۲ تا آذر ۱۳۹۶) انجام شد. قبل از اعمال تیمارها، نمونه‌های مرکب خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از مکان اجرای طرح تهیه و ویژگی‌های فیزیکی آن اندازه‌گیری شد. سه منبع کود آلی که از منابع آلی عمده مورد مصرف در اراضی مزروعی استان البرز بود آماده و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. تیمارهای آزمایشی و مقادیر مصرف آنها در جدول (۱) و ویژگی‌های شیمیایی آنها در جدول (۲) نشان داده شده است. تیمارهای آزمایشی در دو تکرار در کرت‌هایی به طول ۳ متر و عرض ۳ متر اعمال گردید. ابتدا خاک کرت‌ها تا عمق ۳۰ سانتیمتری کاملاً نرم شده و ماده آلی با خاک تا این عمق بطور یکنواخت، کاملاً مخلوط گردید. قبل از مصرف، کودهای آلی آسیاب شده، سپس از الک دو میلیمتری عبور داده شدند. مبارزه با علف‌های هرز در طول مدت انجام آزمایش بصورت مکانیکی انجام شد. نمونه‌برداری از مزرعه در فصول مختلف انجام شد. داده‌های هواشناسی در طی این چهار سال در این جا نشان داده نشده است.

آنالیز آزمایشگاهی

خصوصیات شیمیایی خاک مثل کربن آلی به روش اکسیداسیون با دی‌کرومات پتاسیم (Walkley & Black, 1934)، نیتروژن کل به روش کجلدال (Anderegg & Pfenninger, 1990)، و غلظت نیتروژن آمونیومی و نیتراتی به روش بخار-تقطیر و با دستگاه سمی‌میکرو کجلدال در عصاره ۱:۱۰ کلرید پتاسیم ۲ مولار اندازه‌گیری شد (Mulvaney, 1996). غلظت عناصر میکرو به روش عصاره‌گیری با DTPA (Sparks, Helmke, & Page, 1996)، غلظت فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen, 1954)، پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Sparks et al., 1996) اندازه‌گیری شد. خشک‌کردن نمونه‌های خاک در سریعترین زمان ممکن صورت گرفت تا از تغییرات شدید کربن آلی در اثر فعالیت‌های میکروبی جلوگیری شود. در صورتی‌که امکان خشک-کردن سریع نمونه‌ها بدلیل شرایط جوی وجود نداشت از آون با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد برای خشک کردن خاک استفاده گردید. در کودهای آلی مورد استفاده، درصد رطوبت، اسیدیته (pH)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی، نیتروژن، نسبت C:N، فسفر، پتاسیم اندازه‌گیری شدند (Shahbazi, Davoodi, 2019). میانگین نتایج ویژگی‌های شیمیایی خاک محل‌های اجرای آزمایش در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های اصلی (C، N و نسبت C/N) و مقدار مصرف تیمارهای آزمایشی

منبع کود آلی	بر اساس وزن خشک (OM) $g.kg^{-1}$			خاک خشک $g.kg^{-1}$		Field dose ($t.ha^{-1}$)
	C	N	C:N	کربن اضافه شده	نیتروژن اضافه شده	
کود گاوی	۱۵۰/۵	۱۱/۲	۱۳/۴۴	۵/۴۱	۰/۴	۱۴۹
ورمی‌کمپوست	۱۹۴/۸	۱۳/۸	۱۴/۱۲	۱۳/۰۷	۰/۹۳	۲۷۸
کمپوست	۱۱۵/۸	۱۳/۳	۸/۷۱	۸/۳	۰/۹۵	۲۹۷

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده در کرت‌های آزمایشی

منبع کود آلی	OC	N	P	K	EC(1:5) ($dS.m^{-1}$)	pH(1:5)	رطوبت (٪)
	%						
کود گاوی	۱۵/۰۵	۱/۱۲	۰/۶۷	۱/۲۲	۵/۲*	۸/۱۳	۵/۱۱
ورمی‌کمپوست	۱۹/۴۸	۱/۳۸	۰/۶۵	۰/۲۶	۰/۵۵	۷/۵۳	۱۱/۳۴
کمپوست	۱۱/۵۸	۱/۳۳	۰/۴۴	۰/۸۳	۸/۱۸	۷/۶۳	۹/۴۶

* اعداد میانگین دو تکرار می‌باشد.

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح

عمق (cm)	ECe ($dS.m^{-1}$)	pH	N (%)	OC (%)	CEC ($Cmolc^{+}.kg^{-1}$)
۰-۳۰	۰/۱۲۵	۸/۷	۰/۰۳	۰/۴	۰/۱۵

* اعداد میانگین دو تکرار می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

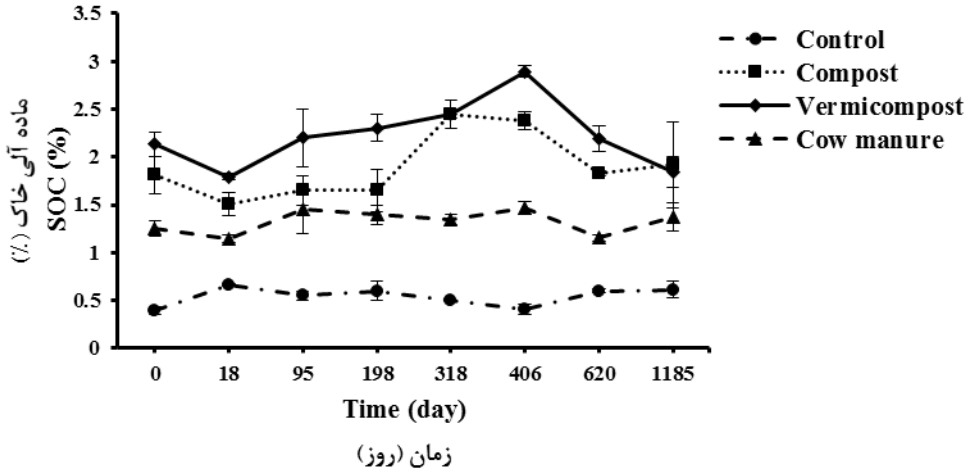
این آزمایش در غالب در طرح کاملاً تصادفی در ۲ تکرار در مزرعه انجام شد. تیمارها شامل کرت شاهد، کود گاوی، ورمی‌کمپوست و کمپوست بود. از نرم افزار SPSS 24 برای تعیین میانگین، انحراف معیار و مقایسه میانگین داده‌ها استفاده شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ٪۵ استفاده شد. برای بدست آوردن همبستگی بین پارامترهای مختلف از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

نتایج و بحث

کربن آلی خاک

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است مقدار کربن آلی در کرت شاهد و کرت کود گاوی در طول چهار سال تقریباً ثابت بوده و نوسانات جزئی مشاهده شده ممکن است ناشی از تغییرات دمایی و تغییر در شکل‌های کربن افزوده شده باشد. باید به این نکته توجه نمود که کربن موجود در کودهای دامی به مرور زمان به شکل‌های فعال در می‌آید. در تیمار کود کمپوست و ورمی‌کمپوست تغییرات بیشتر بود. اگرچه در طول اجرای آزمایش علف‌های هرز به طور مداوم به صورت مکانیکی از کرت‌ها جمع آوری می‌شد ولی افزایش مقدار کربن آلی در فصول زمستان (روز ۹۵) و پاییز (روز ۴۰۶) می‌تواند مربوط به ماندن قسمتی از ریشه‌ی علف‌های هرز باشد که در اندازه‌گیری کربن آلی خطا ایجاد کرده است. با مقایسه نمودار مربوط به هر تیمار می‌توان نتیجه گرفت که مقدار کربن باقیمانده در تیمار ورمی‌کمپوست بیشترین مقدار بوده و بعد از آن به ترتیب کمپوست، کود گاوی و شاهد قرار دارند. بنابراین کمپوست و ورمی‌کمپوست در برابر تجزیه میکروبی مقاوم‌تر بوده و گزینه‌های مناسبی برای افزایش ماده آلی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی خاک هستند. با توجه به شکل، کربن آلی خاک در تمام تیمارها نسبت به کرت شاهد در سطح بالاتری نسبتاً به تعادل رسیده است. نتایج محققان دیگر نشان دادند که کاربرد کود گاوی و کود مرغی باعث افزایش ماده‌ی آلی خاک در طی ۶۰ روز دوره آزمایش شد (Roy & Kashem, 2014). مقدار کربن آلی محلول خاک با کاربرد کود آلی و کود مرغی در یک

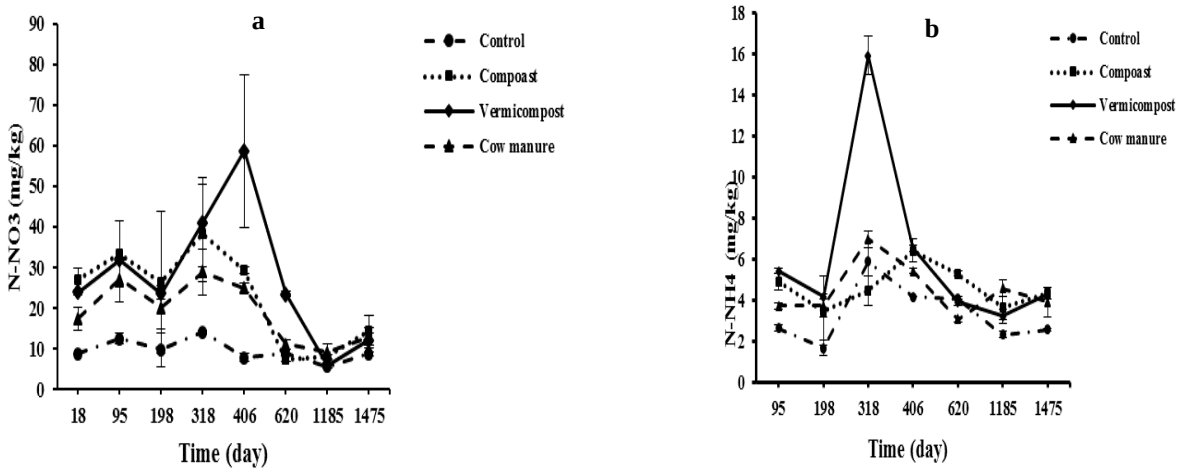
آزمایش انکوباسیون در ابتدا افزایش و با گذشت زمان کاهش یافت که این کاهش می‌تواند با اکسید شدن کربن آلی خاک به CO_2 به وسیله‌ی میکروارگانیسم‌های خاک قابل توجیه باشد (Escobar & Hue, 2008).



شکل ۱- تغییرات زمانی کربن آلی خاک (SOC) در اثر تیمارهای مختلف کود آلی (میانگین ± انحراف معیار).

نیتروژن نیتراتی

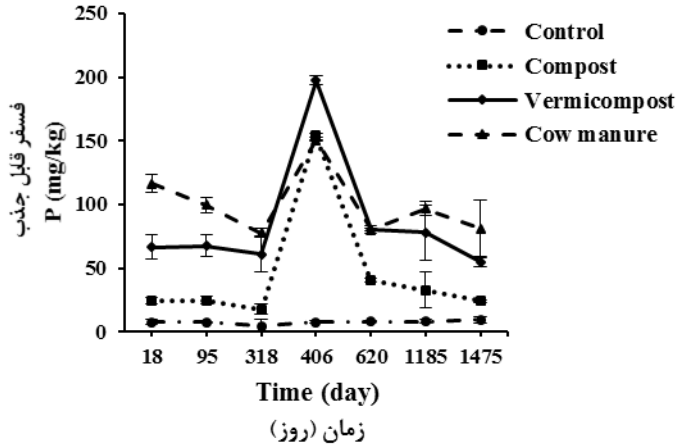
براساس آنچه که در شکل ۲-a نشان داده شده است بعد از حدود سه سال مقدار نیتروژن نیتراتی خاک ثابت شده و مشابه کرت شاهد شده است. استفاده از تیمارهای کود گاوی، کمپوست و ورمی کمپوست باعث افزایش مقدار نیترات در سال‌های اولیه گردید. روند تغییرات نیتروژن نیتراتی با روند تولید کربن (شکل ۱) یا به عبارتی تجزیه مواد آلی همخوانی دارد. دلیل عمده این تغییرات می‌تواند ناشی از تغییرات دمایی باشد که بر تجزیه مواد آلی اثرگذار است، همچنین کاهش نیترات در طول فصل زمستان می‌تواند ناشی از آبشویی نیترات باشد. مقدار نیتروژن نیتراتی خاک در یک آزمایش انکوباسیونی در هفته اول کاربرد افزایش شدیدی نشان داد و با گذشت زمان این افزایش کمتر شد و پس از حدود ۲ ماه ثابت شد (Dinesh & Dubey, 1999). همانطور که مشخص می‌باشد بعد از حدود سه سال، مقدار نیتروژن آمونیومی خاک ثابت شده و مشابه کرت شاهد شده بود. استفاده از تیمارهای کود گاوی، کمپوست و ورمی کمپوست باعث افزایش مقدار آمونیوم در سال‌های اولیه شد. تغییرات مقدار آمونیوم در کوتاه مدت می‌تواند ناشی از تغییرات دمایی باشد. بعد از ۳۱۸ روز آزمایش با افزایش دما در فصل تابستان و افزایش فعالیت‌های میکروبی که باعث تجزیه ماده آلی خاک شده و مقدار آمونیوم خاک افزایش یافته است (شکل ۲-b). روی و کاشم (۲۰۱۴) نشان دادند که کاربرد کود گاوی (۱۶/۳۶ درصد) و کود مرغی (۱۶/۱۶ درصد) بعد از ۶۰ روز مقدار نیتروژن آمونیمی خاک را افزایش داد (Roy & Kashem, 2014). مقدار نیتروژن آمونیومی با افزایش ماده آلی به خاک در آزمایش انکوباسیون در کوتاه مدت افزایش یافت و با گذشت زمان کاهش نشان داد (Das & Puste, 2001).



شکل ۲- تغییرات زمانی مقدار نیتروژن نیتراتی (a) و آمونیومی (b) خاک در اثر تیمارهای مختلف کود آلی (میانگین ± انحراف معیار).

فسفر قابل جذب

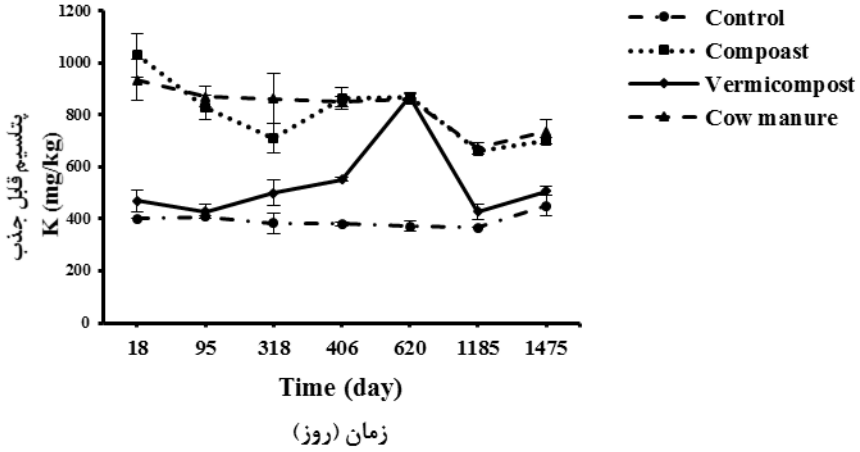
تیمار خاک با مواد آلی مورد مطالعه باعث افزایش مقدار فسفر قابل جذب خاک گردید (شکل ۳). کود گاوی بیشترین مقدار فسفر را به خاک وارد کرده و بعد از آن به ترتیب ورمی‌کمپوست و کمپوست می‌باشند. روند تغییرات فسفر قابل جذب خاک تقریباً ثابت بوده با این تفاوت که در ۴۰۶ (فصل پاییز) روز پس از شروع آزمایش یک جهش را نشان می‌دهد. این جهش می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد و یکی از دلایل محتمل می‌تواند کاهش فعالیت میکروبی و جذب توسط ریشه علف‌های هرز باشد که باعث افزایش مقدار قابل دسترس فسفر شده است مقدار فسفر قابل جذب خاک با کاربرد اصلاح کننده‌ی آلی برای کشت لوبیا افزایش یافت و باعث بهبود رشد گیاه شد (Nguyen, Haynes, & Goh, 1995). کاربرد کود آلی باعث افزایش فسفر و کلسیم قابل جذب خاک می‌شود (Schoenholtz, Van Miegroet, & Burger, 2000). شارپلی و همکاران (Sharpley, Smith, Stewart, & Mathers, 1984) گزارش کردند کاربرد کود گاوی باعث افزایش فسفر قابل جذب خاک در خاک‌های کشاورزی می‌شود. کاربرد کود گاوی باعث افزایش فرم‌های مختلف فسفر به خصوص فسفر قابل جذب خاک می‌شود (Hao, Godlinski, & Chang, 2008).



شکل ۳- تغییرات زمانی مقدار فسفر خاک در اثر تیمارهای مختلف کود آلی (میانگین ± انحراف معیار).

پتاسیم قابل جذب

نتایج مربوط به تغییرات زمانی پتاسیم قابل جذب خاک (K_{ava}) در شکل ۴ ارائه شده است. مقدار پتاسیم خاک در اثر کاربرد کمپوست و کود گاوی نسبت به ورمی‌کمپوست افزایش بیشتری نشان داده است، که با توجه به مقدار پتاسیم در مواد آلی اولیه منطقی به نظر می‌رسد (جدول ۳). پس از حدود ۳ سال مقدار پتاسیم برای تیمارهای کود گاوی و کمپوست در سطح حدود ۷۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به تعادل رسیده است. تغییرات مقدار پتاسیم در تیمارهای کودی ناشی از تغییرات دمایی است به طوری که با کاهش دما در طول فصل زمستان (روز ۹۵) مقدار پتاسیم کاهش و با افزایش دما در فصل تابستان (روز ۶۲۰) مقدار پتاسیم قابل جذب خاک به دلیل فعالیت بیشتر میکرواورگانسیم‌های خاک و تجزیه مواد آلی و آزادسازی پتاسیم مواد آلی خاک افزایش می‌یابد. . افزایش کود مرغی و کود گاوی در طول دوره انکوباسیون ۵۶ روزه به سه خاک اندی‌سول، اکسی‌سول و آلتی‌سول باعث افزایش پتاسیم قابل جذب در هر سه خاک شد (Escobar & Hue, 2008). اشنلوتز و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند همبستگی مثبتی بین کاربرد ماده‌ی آلی با مقدار پتاسیم قابل جذب خاک وجود دارد (Schoenholtz et al., 2000).

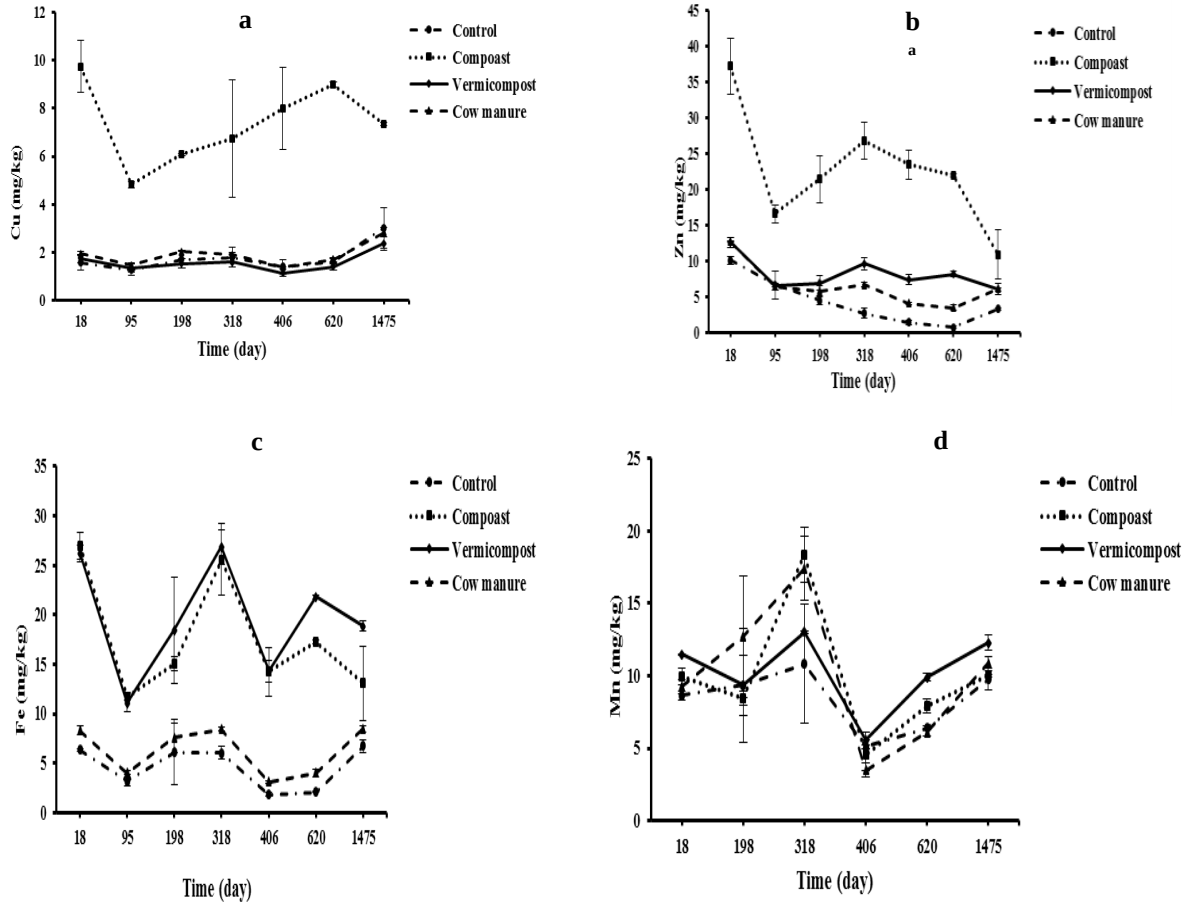


شکل ۴- تغییرات زمانی مقدار پتاسیم خاک در اثر تیمارهای مختلف کود آلی (میانگین ± انحراف معیار).

عناصر میکرو قابل جذب (Cu, Zn, Fe, Mn)

نتایج آنالیز عناصر میکرو و تغییرات آن با زمان در شکل‌های ۵ a-d نشان داده شده است. تغییرات زمانی مقدار مس قابل جذب خاک نشان داد که کاربرد تیمار کود گاوی و ورمی‌کمپوست به ترتیب با ۷۱ و ۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تأثیر چندانی بر مقدار مس خاک نداشته و تغییرات آن‌ها در محدوده کرت شاهد می‌باشد. تغییرات اندک در این تیمارها می‌تواند مربوط به تغییرات دمایی خاک باشد. در تیمار کود کمپوست به دلیل مقدار بالای مس در ماده اولیه (۴۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم)، مقدار مس قابل جذب خاک با افزایش چشمگیری همراه بود. در فصل زمستان (روز ۹۵) در تیمار کود کمپوست کاهش چشمگیری در مس مشاهده می‌شود و با افزایش دما در فصل تابستان (روز ۳۱۸ و ۶۲۰) مقدار مس خاک افزایش نشان داده است که می‌تواند مربوط به فعالیت بالای میکرواورگانسیم‌های خاک باشد (شکل ۵-a). نتایج نشان داد که با افزایش دما (روز ۱۹۸، ۳۱۸) و تجزیه بیشتر ماده آلی مقدار روی قابل جذب خاک افزایش می‌یابد. در فصول سرد سال (روز ۹۵، ۱۴۷۵) مقدار روی قابل جذب خاک کاهش می‌یابد (شکل ۵-b). در شکل ۷-c تغییرات مقدار آهن با نوسانات دمایی در شکل به وضوح مشخص می‌باشد، به طوری‌که با کاهش دما (روز ۹۵ و ۴۰۶) مقدار آهن قابل جذب خاک کاهش و با افزایش دما (روزهای ۱۹۸، ۳۱۸ و ۶۲۰) مقدار آهن قابل جذب خاک افزایش می‌یابد. روند تغییرات آهن قابل جذب در تیمار کود گاوی مشابه کرت شاهد می‌باشد که نشان می‌دهد بخش قابل جذب آهن در کود گاوی پایین می‌باشد و تأثیر چندانی در افزایش آهن قابل جذب خاک نداشته است. ولی تیمارهای کمپوست و ورمی-کمپوست مقدار آهن قابل جذب خاک را افزایش قابل توجهی داده‌اند (شکل ۵-c). نتایج نشان داد با افزایش دما مقدار منگنز قابل جذب خاک افزایش و با کاهش دما مقدار منگنز کاهش می‌یابد. بعد حدود ۴ سال مقدار منگنز خاک در تیمارهای کمپوست و

کودگاوی تقریبا به مقدار کرت شاهد رسیده است ولی در تیمار ورمی‌کمپوست مقداری افزایش نشان داده است (شکل ۵-d). هـو و همکاران (۲۰۰۱) گزارش کردند که کاربرد کود آلی و لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار منگنز قابل جذب خـاک در یـک خـاک اکسی‌سول شده است (Hue, Uehara, Yost, & Ortiz-Escobar, 2007). همچنـین شـومن و همکـاران (۱۹۸۸) نشـان دادنـد کـه کاربرد کود آلی باعث افزایش مس، روی و منگنز قابل استخراج با DTPA در دو خاک درشت بافت و ریز بافت می‌شـود (Shuman, 1988).



شکل ۵- تغییرات زمانی مقدار مس (a)، روی (b)، آهن (c) و منگنز (d) قابل جذب خاک در اثر تیمارهای مختلف کود آلی (میانگین ± انحراف معیار).

نتیجه‌گیری

مواد آلی یکی از عناصر کلیدی حاصلخیزی و باروری خاک به حساب مـی‌آینـد. مـواد آلـی بعـد از افـزوده شـدن بـه خـاک درگیـر فرآیندهای تجزیه میکروبی می‌شوند. نتایج نشان داد که معدنی شدن کربن در ابتدا با سرعت بالایی انجام می‌شود و بعـد از گذشـت زمانی به تعادل می‌رسد و بعد از به تعادل رسیدن تغییرات فصلی را از خود نشان می‌دهد. کمپوسـت و ورمـی‌کمپوسـت بـه تجزیـه میکروبی مقاوم بوده و قسمت عمده کربن آلی آنها در خاک باقی مانده و اثرات باقیمانده آنها در خاک بعـد از ۴ سـال نیـز مشـاهده شد. روند تغییرات معدنی شدن نیتروژن تقریبا مشابه معدنی شدن کربن بوده اما در مقیاس‌های مختلف. مقدار سایر عناصر تغذیـه-ای مثل فسفر، پتاسیم، عناصر میکرو با کاربرد تیمارهای آلی تحت تاثیر قرار گرفت. در بسیاری از حالت این تیمارها باعـث افـزایش این پارامترهای خاکی نسبت به کرت شاهد شدند. یکی از پارامترهایی مؤثر در تجزیه مواد آلی خاک شرایط اقلیمـی و آب و هـوایی

می‌باشد. نتایج نشان داد که نوسانات دمایی و رطوبتی باعث تغییر در تجزیه مواد آلی شده و باعث آزاد شدن عناصر غذایی می‌شود. یکی دیگر از عوامل مؤثر ماهیت ماده آلی (درصد عناصر، مقدار ماده آلی و غیره) اضافه شده به خاک می‌باشد که نتایج نشان داد مواد آلی مختلف اثرات متفاوتی دارند. براساس نتایج این مطالعه اگر از افزودن مواد آلی به خاک افزایش مقدار ماده آلی خاک در بلند مدت مدنظر باشد، کاربرد موادی مثل کمپوست و ورمی‌کمپوست توصیه می‌گردد. این مواد با مقاومت به تجزیه میکروبی برای ترسیب کربن نیز مناسب می‌باشند. اما اگر هدف بحث تغذیه‌ای و آزادسازی عناصر برای تغذیه گیاه باشد، کاربرد کودهای دامی توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

1. Anderegg, P., & Pfenninger, H. (1990). Nitrogen determination according to Kjeldahl. *Brauerei-Rundschau mit allgemeiner Getraenke-Rundschau (Switzerland)*.
2. Bastian, F., Bouziri, L., Nicolardot, B., & Ranjard, L. (2009). Impact of wheat straw decomposition on successional patterns of soil microbial community structure. *Soil Biology and Biochemistry, 41*(2), 262-275.
3. Das, D., & Puste, A. (2001). Influence of different organic waste materials on the transformation of nitrogen in soils. *The Scientific World Journal, 1*, 658-663.
4. Dinesh, R., & Dubey, R. (1999). Nitrogen mineralization rates and kinetics in soils amended with organic manures. *Journal of the Indian Society of Soil Science (India)*.
5. Escobar, M. O., & Hue, N. (2008). Temporal changes of selected chemical properties in three manure–Amended soils of Hawaii. *Bioresource technology, 99*(18), 8649-8654.
6. Hao, X., Godlinski, F., & Chang, C. (2008). Distribution of phosphorus forms in soil following long-term continuous and discontinuous cattle manure applications. *Soil Science Society of America Journal, 72*(1), 90-97.
7. Hue, N., Uehara, G., Yost, R., & Ortiz-Escobar, M. (2007). Distribution of soil orders in Hawaii. *Journal of Hawaiian and Pacific Agriculture, 14*, 17-29.
8. Mirzaei talar posti, r. J. Cambodia, h. Sabahi. A. Mahdavi Damghani. 2007. Effect of Organic Fertilizers Application on Soil Physicochemical Properties and Crop Production and Tomato (Lycopersicon esculentum L.), *Iranian Journal of Crop Research*, Volume 7, Number 1, (In Persian).Mulvaney, R. (1996). Nitrogen—inorganic forms. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*(methodsofsoilan3), 1123-1184.
9. Nguyen, M., Haynes, R., & Goh, K. (1995). Nutrient budgets and status in three pairs of conventional and alternative mixed cropping farms in Canterbury, New Zealand. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 52*(2-3), 149-162.
10. Olsen, S. R. (1954). *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*: United States Department Of Agriculture; Washington.
11. Roy, S., & Kashem, M. A. (2014). Effects of organic manures in changes of some soil properties at different incubation periods. *Open Journal of Soil Science, 2014*.
12. Schoenholtz, S. H., Van Miegroet, H., & Burger, J. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management, 138*(1-3), 335-356.
13. Shahbazi, K. M. H. David, M. Feizollah Zadeh Ardebili. 2019. Methods of fertilizer analysis. First Edition, *Soil and Water Research Institute*, Karaj, Iran, (In Persian).Sharpley, A., Smith, S., Stewart, B., & Mathers, A. (1984). Forms of Phosphorus in Soil Receiving Cattle Feedlot Waste 1. *Journal of Environmental Quality, 13*(2), 211-215.
14. Shuman, L. (1988). Effect of organic matter on the distribution of manganese, copper, iron, and zinc in soil fractions. *Soil Science, 146*(3), 192-198.
15. Spaccini, R., Mbagwu, J., Igwe, C., Conte, P., & Piccolo, A. (2004). Carbohydrates and aggregation in lowland soils of Nigeria as influenced by organic inputs. *Soil and Tillage Research, 75*(2), 161-172.
16. Sparks, D. L., Helmke, P., & Page, A. (1996). *Methods of soil analysis: Chemical methods*. Retrieved from
17. Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science, 37*(1), 29-38.

Long-term effect of different organic matter on soil chemical properties under field conditions

Mehdi Beheshti[1*], Karim Shahbazi[2], Mostafa Marzi[2]

1. PhD student, Department of Soil Science, University of Tehran, Karaj, m.beheshti@ut.ac.ir (Corresponding author).

2. Associate Professor and Researcher of Soil and Water Research Institute, Agriculture Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran., respectively.

Abstract

Organic carbon is probably the most important soil component because it affects almost all soil properties. Carbon, as a soil organic matter, alters the physical, chemical, and biological properties of soils. Due to the low organic matter in the soils of Alborz province, an experiment was designed completely randomly in field conditions to investigate the effect of different organic materials including compost, vermicompost and cow manure on soil chemical properties over a period of four years. The results showed that the organic matter treatments used had an effect on soil chemical properties including organic matter, nitrate and ammonia nitrogen, absorbable phosphorus and potassium as well as trace elements Fe, Zn, Cu and Mn and increased these parameters compared to the control plot. Based on the results of this experiment, it can be said that the use of organic fertilizers, especially in the form of compost and vermicompost, has positive and beneficial effects on soil chemical properties, which in turn will lead to soil health and fertility and sustainable production in the long periods. According to the results of this study, if the addition of organic matter to the soil is intended to increase the amount of soil organic matter in the long run, the use of materials such as compost and vermicompost is recommended.

Keywords: Organic matter, compost, manure, vermicompost.