

## سخنران‌های کلیدی

## تحلیل و مدل سازی بهره وری آب

### بیژن نظری

دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) (b.nazari@eng.ikiu.ac.ir)

### چکیده

جمعیت ایران در طول کمتر از یک قرن، نزدیک به هشت برابر و در نیم قرن اخیر سهونیم برابر شده است. با همین روند، کشاورزی نیز به عنوان اصلی ترین بخش مصرف آب در کشور، توسعه زیادی را تجربه کرده است. این در حالی است که زنجیره تولید کشاورزی کماکان بهره وری لازم را ندارد. ارتقای هوشمندانه بهره وری آب، می تواند در کنار برآورده ساختن نیازهای جامعه، پایداری منابع پایه را نیز به همراه داشته باشد. با وجود تاکید همگانی بر لزوم ارتقای بهره وری آب، چارچوب و تعریفی کلی و عمومی برای تسهیل در برنامه ریزی های بهبود بهره وری وجود ندارد. شناخت مبانی بهره وری آب و آشنایی با رویکردها، راهکارها و روش های برنامه ریزی بهبود بهره وری، اهمیت زیادی در سازگاری با کم آبی و نیل به توسعه پایدار دارد. نوشتار حاضر که در زمینه روش های شناسایی مسائل مدل سازی و تحلیل سیاست های بهره وری است، در این راستا تدوین شده است.

**واژگان کلیدی:** حسابداری آب، تفکر سیستماتیک، تحلیل سیستم، چرخه بهره وری

### مقدمه

مدیریت آب، محور شکل گیری و شکوفایی تمدن در ایران بوده است. از آنجایی که آب کارکردهای مهم اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی دارد، وقوع بحران آب نیز پیامدهای گسترده ای را به همراه خواهد داشت. در سال های اخیر، نگرانی هایی جدی در زمینه وضع آبی کشور مطرح شده است. از بین رفتن امنیت آبی، به از بین رفتن امنیت غذایی و محیط زیست نیز منجر خواهد شد. با وجود تلاش هایی که برای مواجهه با کم آبی شده است، با ادامه روند فعلی مدیریت آب در کشور، وضع آب نه تنها بهبود نخواهد یافت، بلکه ابعاد بحران آب روز به روز گسترده تر خواهد شد. دلیل ادامه این روند زیان بار، تغییر نکردن ساختار مدیریت آب و رویکردهای مدیریت منابع آب است. بدیهی است که با ادامه راهبردها و اقدام های پیشین، نمی توان انتظار دستاوردهای بهتری داشت. افزون بر پیامدهای اجتماعی و محیط زیستی بحران کم آبی، محدودیت آب به عنوان یکی از اصلی ترین چالش های اقتصادی دهه های آینده نیز مطرح است.

رویکرد کشورهای مختلف در برخورد با بحران آب متفاوت بوده است. کشورهای پیشرو در مدیریت آب، هم زمان با افزایش جمعیت و بالا رفتن استانداردهای رفاهی با افزایش بهره وری آب و استفاده از ابزارهای مختلف حکمرانی آب، فشار بر منابع آبی را کنترل می کنند. در سایر کشورها، با افزایش جمعیت و ارتقای استانداردهای زندگی، تقاضا برای آب افزایش می یابد، اما به دلیل کوتاهی در ارتقای فناوری و بهره وری و استفاده از ابزارهای حکمرانی آب، فشار بر منابع آب به حد بحرانی می رسد. رشد سریع تقاضا برای آب و بلامتکلیفی در برنامه ریزی و مدیریت پیشران های اثرگذار بر وضع آب مانند تغییرات جمعیتی، یارانه های مصرف انرژی و سیاست های ناهماهنگ بین بخشی، وضعیت منابع آب را به شرایط نگران کننده فعلی رسانده است. در این بین، نقطه امید برای کشور وجود دارد و آن ارتقای بهره وری آب در چارچوب کارآمدی از حکمرانی آب است. در ارتقای بهره وری آب، مسئله بسیار مهم لزوم توجه به پایداری منابع آب است. ابزارها و فناوری ها و اقدامات ارتقای بهره وری آب، هیچگاه نباید در تضاد با پایداری منابع آب و به طور کلان پایداری محیط زیست اتخاذ و به کار گرفته شوند. نهایتا مدنظر دادن عدالت در دسترسی و توزیع آب به همراه بهره وری آب بالا و پایداری منابع آب، اهداف سه گانه مدیریت یکپارچه منابع آب را پوشش خواهد داد.

در این نوشتار، روش های تحلیل بهره وری آب به اختصار معرفی شده است. علاقه مندان برای مطالعه بیشتر روشها، می توانند به مراجع معرفی شده مراجعه نمایند.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### اندازه‌گیری و پایش بهره‌وری آب

آغاز و پایان فرایند بهبود بهره‌وری، «اندازه‌گیری» است. اندازه‌گیری و پایش بهره‌وری از مهم‌ترین مراحل بهبود بهره‌وری آب است. بدون اندازه‌گیری بهره‌وری، برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری امکان‌پذیر نیست. برخی از روش‌های تحلیل وضعیت و اندازه‌گیری بهره‌وری آب به شرح زیر است (نظری و لیاقت، ۱۴۰۰):

- **اندازه‌گیری میدانی اطلاعات آب:** در جمع‌آوری اطلاعات میدانی مصرف آب، داده‌های لازم برای پایش بهره‌وری آب، با استفاده از روش‌ها، سنجنده‌ها و دستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. انتخاب روش اندازه‌گیری در هر مطالعه، به امکانات و تجهیزات اندازه‌گیری در دسترس، زیرساخت‌ها و سازه‌های بهره‌برداری و توزیع آب، دقت مورد انتظار و هزینه‌های هر روش بستگی دارد.
- **بازدید و مصاحبه:** بازدید و مصاحبه از شناخته‌شده‌ترین، ابتدایی‌ترین و در عین حال مهم‌ترین روش‌های شناسایی سیستم‌ها است. بازدید با چند هدف می‌تواند انجام شود که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بازدید برای شناسایی مشکلات؛
- بازدید برای شناسایی فرصت‌های بهبود؛
- بازدید برای شناسایی فرایندها و ساختارهای عملکرد سیستم؛
- بازدید برای اطلاع‌رسانی؛
- بازدید برای کسب نظرات ذی‌نفعان سیستم.
- اندازه‌گیری میدانی اطلاعات آب

- **روش‌های پرسشنامه‌ای:** برخی داده‌های پایش بهره‌وری، از طریق پیمایش پرسشنامه‌ای گردآوری می‌شوند. در موضوع بهره‌وری، پرسشنامه‌ها معمولاً برای نظرسنجی از کارشناسان و ذی‌نفعان، گردآوری اطلاعات اقتصادی - اجتماعی، محیط زیستی و زراعی مرسوم است. در استفاده از روش‌های پرسشنامه‌ای توجه به کفایت آماری و روایی و پایایی لازم است.
- **سنجش از دور:** سنجش از دور، علم و فناوری به‌دست آوردن اطلاعات درباره‌ی یک شیء، منطقه یا پدیده از طریق پردازش و آنالیز داده‌های اخذشده به‌وسیله‌ی یک دستگاه (بدون تماس مستقیم با شیء، منطقه یا پدیده‌ی مورد مطالعه) است. مزایای به‌کارگیری سنجش از راه دور در مطالعات و برنامه‌ریزی بهبود بهره‌وری آب شامل هزینه‌ی کم گردآوری اطلاعات برای مطالعات در سطوح وسیع؛ امکان تحلیل مکانی و زمانی تغییرات بهره‌وری و وضعیت منابع آب؛ و امکان هوشمندسازی برنامه‌ریزی آبیاری و عملیات کوددهی و مبارزه با آفات و بیماری‌ها است. کاربرد سنجش از راه دور در مطالعات و پایش بهره‌وری آب در چند محور کلی مطرح است:

- برآورد تولید ماده‌ی خشک در کشت فاریاب و کشت دیم برای تخمین بهره‌وری؛
- برآورد تبخیر و تعرق از اراضی تحت کشت و اراضی مرتعی و جنگلی برای استفاده در مطالعات برنامه‌ریزی آبیاری، بیلان آب و حسابداری آب؛
- ارزیابی اثر راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب در سطوح کلان با تعیین مؤلفه‌های بیلان آب و انرژی (مانند ارزیابی توسعه‌ی سامانه‌های آبیاری، اصلاح کاربری اراضی و... در سطح یک حوضه بر مؤلفه‌های بیلان آب)؛
- تدقیق اطلاعات بارش و تهیه‌ی نقشه‌های بارش در مناطق با ایستگاه‌های باران‌سنجی کم؛
- پایش وضعیت رطوبت خاک در محدوده‌های کشاورزی و منابع طبیعی؛
- ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی نظر تنش‌های خشکی، غذایی و بیماری و...

### تحلیل زمانی و مکانی بهره‌وری آب

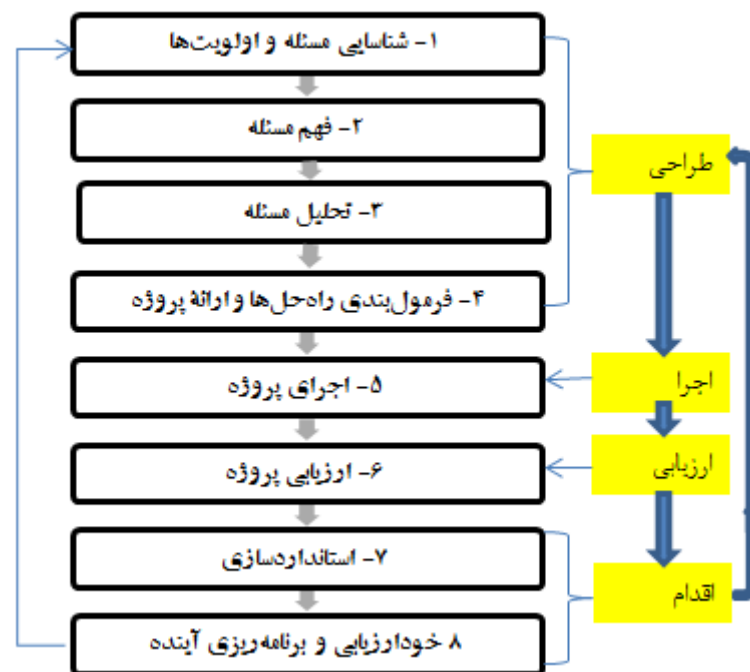
یکی از روش‌های تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب، بررسی روند تغییرات شاخص‌های مختلف بهره‌وری در طول زمان است که به آن تحلیل زمانی بهره‌وری آب می‌گویند. با اندازه‌گیری مجموعه شاخص‌ها در یک دوره‌ی کشت یا یک سال زراعی و مقایسه‌ی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

آن با شاخص‌های اندازه‌گیری شده در سال‌های دیگر، این امکان فراهم می‌شود که با گذشت زمان، روند تغییرات بهره‌وری آب استنتاج شود. در تحلیل مکانی اما شاخص‌های بهره‌وری آب یک حوضه آبی یا یک واحد تولیدی (مانند یک مزرعه، واحد آبیاری یا یک سیستم آبیاری) با حوضه آبی و یا واحد تولیدی مشابه خود مقایسه می‌شود. به دلیل نوع عملیات اعمال‌شده، دانش مدیران و کشاورزان، فرهنگ بومی یا حتی نوع نهاده‌های به کار گرفته‌شده و مواردی از این دست، میزان بهره‌وری آب می‌تواند به صورت مکانی متفاوت باشد، مقایسه شاخص‌های بهره‌وری آب یک واحد تولیدی با واحدهای تولیدی دیگر، در سایر مناطق کشور و حتی یک واحد تولیدی با واحد تولیدی دیگر در همان سیستم، این امکان را فراهم می‌سازد که افزون بر مطالعه و تحلیل روند زمانی بهره‌وری آب کشاورزی آن واحد تولیدی، از دلایل ارتقای عملکرد و بهبود بهره‌وری آب سایر واحدهای تولیدی دیگر نیز آگاه شد و با به کارگیری روش‌های مناسب و کارآمدتر به میزان بهره‌وری بالاتر دست یافت. به این نوع روش مقایسه‌ای یک واحد تولیدی با واحدهای تولیدی دیگر اصطلاحاً روش «شاخص‌سنجی»<sup>۱</sup> هم گفته می‌شود.

### چرخه کیفیت

چرخه کیفیت<sup>۲</sup>، فرایندی مبتنی بر همکاری گروهی برای بهبود کیفیت و بهره‌وری در یک سازمان یا پروژه است. گام‌های هشت‌گانه روش چرخه کیفیت در شکل ۱، ارائه شده است. در تعیین و اجرای راهکارهای بهبود بهره‌وری در روش چرخه کیفیت به ترتیب زیر عمل می‌شود (سازمان بهره‌وری آسیایی، ۲۰۱۹): اهداف را تعیین کنید؛ راهکارهای جایگزین برای هر علت ریشه‌ای مسائل را مشخص کنید؛ بهترین راهکار را انتخاب کنید؛ تحلیلی از مشکلات محتمل داشته باشید؛ جزییات اجرای راهکارها را مشخص کنید (ارائه برنامه عملیاتی)؛ برنامه بهبود بهره‌وری را برای تصویب به مدیریت ارائه دهید.



شکل ۱- گام‌های هشت‌گانه روش چرخه کیفیت QC (سازمان بهره‌وری آسیایی، ۲۰۱۹)

### روش توفان فکری

روش توفان فکری، روش خلاقانه گروهی است که برای تولید ایده‌های زیاد برای حل یک مشکل طراحی شده است. تکنیک‌های توفان فکری شامل روش گروه اسمی (اغلب در مدل‌سازی گروهی استفاده می‌شود)، روش ترسیم نقشه ایده تیمی، توفان فکری آنلاین (تحت وب)، توفان فکری جهت‌دار، توفان فکری انفرادی و توفان فکری پرسشی است.

<sup>۱</sup> Benchmarking  
1. Quality Circle

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### ماتریس تصمیم‌گیری

ماتریسی است که با آن ابعاد مختلف گزینه‌های تصمیم‌ارزیابی می‌شود. امتیاز اکتسابی هر گزینه تصمیم از نظر معیارهای مختلف با هم جمع می‌شود. برای جمع امتیازها می‌توان با توجه به اهمیت معیارهای مختلف، وزن‌هایی را نیز برای هر معیار در نظر گرفت. با کمک ماتریس تصمیم‌گیری می‌توان ساختاری را برای یک مسئله طرح‌ریزی و رابطه بین مجموعه‌ای از عوامل را تحلیل کرد. این روش برای تعیین اولویت‌ها مفید است. جدول ۱، مثالی از این روش را ارائه می‌دهد.

جدول ۱- مثالی از ماتریس تصمیم‌گیری در تحلیل بهره‌وری آب در یک کشت و صنعت (نظری ولیاقت، ۱۴۰۰)

| رتبه | امتیاز کل | قابلیت اجرا      | قابلیت حل مسئله   | دسترسی به اطلاعات | اثر بر بهره‌وری   | فوریت اقدام       | مسائل شناسایی شده با بارش فکری |
|------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------|
|      |           | دامنه امتیاز ۱-۵ | دامنه امتیاز ۱-۱۰ | دامنه امتیاز ۱-۵  | دامنه امتیاز ۱-۱۰ | دامنه امتیاز ۱-۱۰ |                                |
| ۲    | ۲۵        | ۳                | ۷                 | ۴                 | ۵                 | ۶                 | بازاریابی نادرست               |
| ۳    | ۲۷        | ۵                | ۵                 | ۳                 | ۷                 | ۷                 | کوددهی ناکافی                  |
| ۴    | ۲۰        | ۴                | ۲                 | ۳                 | ۶                 | ۵                 | آبیاری غیراصولی                |
| ۱    | ۲۸        | ۵                | ۸                 | ۵                 | ۴                 | ۶                 | بذر نامناسب                    |

### تحلیل پارتو

اصل پارتو<sup>۱</sup> که با نام‌های قانون ۸۰-۲۰ نیز شناخته می‌شود، بیان می‌کند که ۸۰ درصد رخدادها از ۲۰ درصد دلایل به وجود می‌آید. نام این اصل از نام اقتصاددان ایتالیایی، ویلفردو پارتو، گرفته شده است. اصل پارتو یک قاعده سرانگشتی رایج در مدیریت است. برای مثال، در مقوله بهره‌وری، ۸۰ درصد مشکلات بهره‌وری مربوط به ۲۰ درصد عوامل مؤثر است. از لحاظ ریاضی اصل ۸۰-۲۰ از توزیع پارتو پیروی می‌کند. اصل پارتو با کارایی پارتو<sup>۲</sup> نیز ارتباطی نزدیک دارد. برای مثالی در حوزه آب، تخصیص آب بین دو بخش صنعت و شرب را در نظر بگیرید. اگر هدف توزیع بهینه آب بین این دو بخش باشد، وضعیتی از توزیع آب وجود دارد که بهبود وضع تخصیص آب در بخش کشاورزی، بدون وارد کردن خسارت به بخش صنعت ممکن نیست، این وضعیت کارایی پارتو را نشان می‌دهد. در یک تخصیص اولیه از منابع آب در بین مجموعه‌ای از مصرف‌کنندگان، تغییر در این تخصیص که سبب شود شرایط مصرف‌کننده‌ای بدون تغییر منفی در شرایط مصرف‌کننده دیگر رخ دهد، ارتقای پارتو نامیده می‌شود. تخصیصی «بهینه پارتو» نامیده می‌شود که نتوان ارتقای پارتو را در آن اعمال کرد.

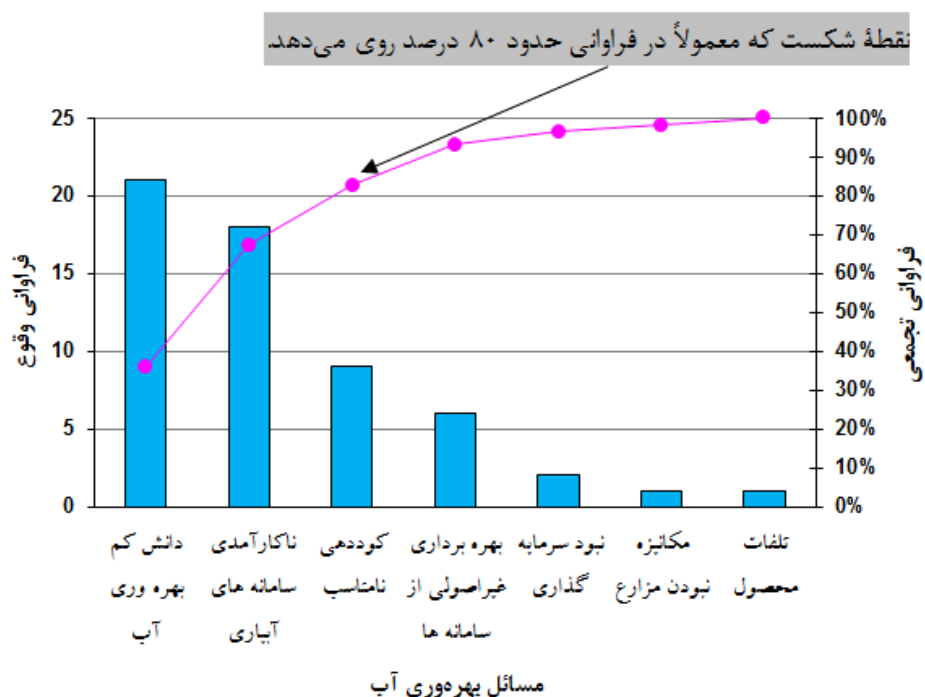
نمودار پارتو یک سیستم بزرگ را به بخش‌های کوچک‌تر می‌شکند و پراثرترین آنها را مشخص می‌سازد و به این ترتیب به تیم ارزیاب بهره‌وری کمک می‌کند با شناسایی نقاط تمرکز برای تلاش‌های بهبود بهره‌وری و به کارگیری مناسب منابع، بیشترین بهبود را کسب کنند. اصل پارتو نشان می‌دهد که تعداد محدودی از علل موجب بروز بخش بزرگی از مسائل می‌شوند. تمرکز تلاش‌ها بر تعداد محدودی از علل معمولاً راه خوبی برای استفاده از منابع بالارزش است. در یک مطالعه موردی، مسائل بهره‌وری آب به شرح جدول ۲، شناسایی شده‌اند. نمودار پارتو در شکل ۲ ترسیم شده است (نظری و لیاقت، ۱۴۰۰).

جدول ۲- مثالی از تحلیل پارتو مسائل بهره‌وری آب

| فرآوانی تجمعی (درصد) | فرآوانی وقوع | مسائل و مشکلات بهره‌وری آب        |
|----------------------|--------------|-----------------------------------|
| ۳۶                   | ۲۱           | دانش کم بهره‌وری آب               |
| ۶۷                   | ۱۸           | ناکارآمدی سامانه‌های آبیاری       |
| ۸۳                   | ۹            | کوددهی نامناسب                    |
| ۹۳                   | ۶            | بهره‌برداری غیراصولی از سامانه‌ها |
| ۹۷                   | ۲            | نبود سرمایه‌گذاری                 |
| ۹۸                   | ۱            | مکانیزه نبودن مزارع               |
| ۱۰۰                  | ۱            | تلفات محصول                       |

1. Pareto principle
2. Pareto efficiency
3. Pareto efficiency

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۲- مثال از ترسیم نمودار پارتو در شناسایی عوامل مؤثر بر بهره‌وری

### دیاگرام استخوان ماهی (علت و اثر)

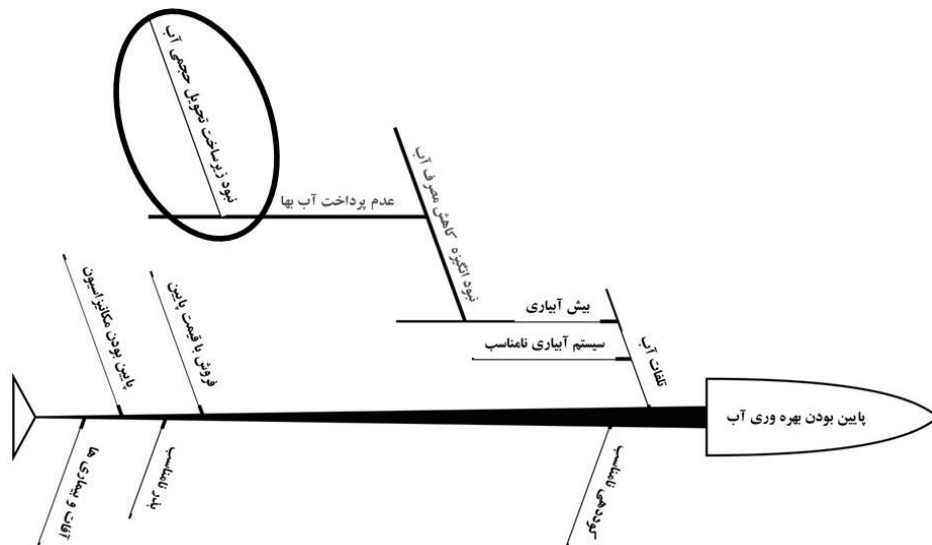
دیاگرام استخوان ماهی، الگوی شماتیکی است که روابط سیستماتیک بین مسئله یا اثر و علل آن را نشان می‌دهد. مراحل تهیه دیاگرام استخوان ماهی (دیاگرام علت و اثر) به شرح زیر است (سازمان بهره‌وری آسیایی، ۲۰۱۹):

گام ۱- اثر را در قسمت انتهایی سمت راست ستون ماهی (سرماهی) بنویسید و ستون ماهی را به آن وصل کنید.  
گام ۲- اصلی‌ترین علت‌ها (یا گروه‌هایی از علت‌ها) را شناسایی کنید و آنها را روی استخوان‌های بزرگ که به ستون ماهی وصل می‌شوند، بنویسید.

گام ۳- علل رخداد هر یک از علت‌های اصلی یا گروه عوامل را بنویسید. این کار را نهایتاً تا پنج مرحله و با سؤال «چرا؟» (پرسیدن دلیل رخداد هر علت) بنویسید. هر علت را به ترتیب در استخوان‌های متوسط و کوچک‌تر به صورت سلسله مراتبی یادداشت کنید.

گام ۴- ریشه علت‌ها را به دو دسته قابل کنترل و غیرقابل کنترل تقسیم‌بندی کنید و علت‌های قابل کنترل را با کشیدن دایره دور آنها نشان دهید. انتهایی‌ترین لایه در شناسایی مسائل، ریشه مسئله است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



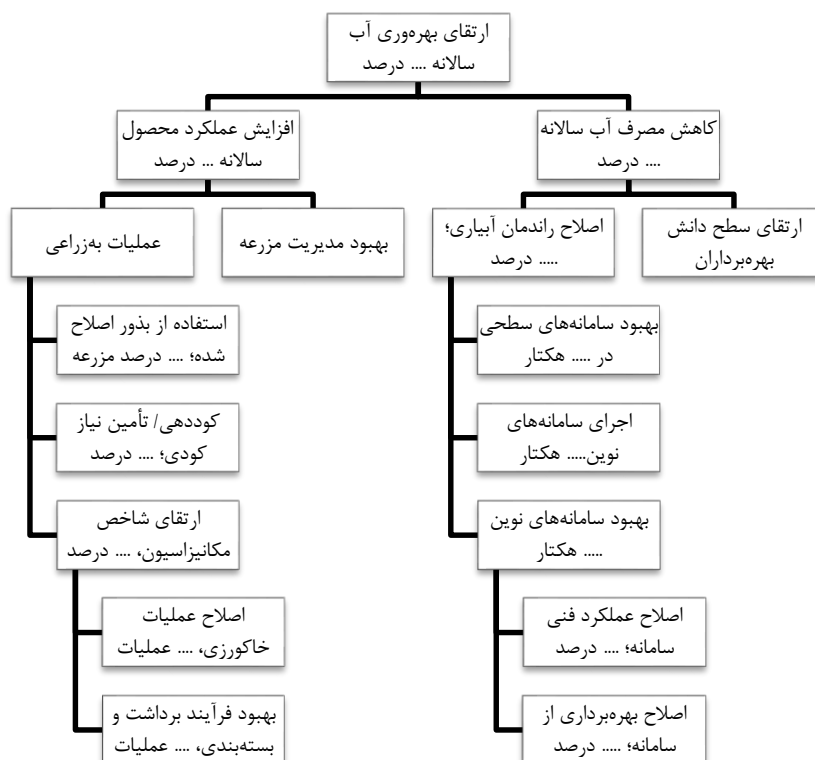
شکل ۳- دیاگرام استخوان ماهی و شناسایی علت ریشه‌ای پایین بودن بهره‌وری در لایه پنجم (نظری و لیاقت، ۱۴۰۰)

### نمودار درختی

نمودار درختی روشی برای جست‌وجوی ابزارهای حل یک مسئله است. این روش هم برای شناسایی مشکلات (مثال: درخت مسائل بهره‌وری) و هم برای شناسایی راه‌حل‌ها و اهداف (درخت اهداف بهره‌وری) به کار می‌رود. نمونه‌ای در شکل ۴ ارائه شده است.

### ماتریس ارزیابی تکنیک‌ها

از دیگر روش‌های تعیین راهکارهای مسائل بهره‌وری، استفاده از ماتریس ارزیابی تکنیک‌ها است (سازمان بهره‌وری آسیایی، ۲۰۱۹). جدول ۳ ملاحظه شود.



شکل ۴- نمونه‌ای از نمودار درخت هدف بهره‌وری

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

جدول ۱- ماتریس ارزیابی تکنیک برای تعیین راهکارهای ارتقای بهره‌وری (سازمان بهره‌وری آسیایی، ۲۰۱۹)

| پنج «چ» (چه چیزی، چه موقعیتی، چه زمانی، چه کسی و چگونه) <sup>۵</sup> | پنج چرا؟ <sup>۶</sup>                                                                               | راهنما/ ابزار مورد استفاده                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱- راهکار چیست؟                                                      | ۱- چرا این راهکار انتخاب شده است؟ چرا راهکارهای دیگر انتخاب نشود؟ چرا این راه نتیجه خواهد داد؟      | - راهکارها مشخص و ویژه باشد.<br>- تمامی راهکارهای ممکن بررسی شده باشد.<br>- تا جایی که امکان دارد راهکارها نیاز به سرمایه‌گذاری نداشته باشد |
| ۲- راهکار در چه موقعیتی باید به کار گرفته شود؟                       | ۳- چرا راهکار باید در این موقعیت به کار رود؟ چرا راهکار در موقعیت‌های دیگر به کار نرود؟             | - موقعیت‌های ویژه‌ای برای بهسازی مدنظر باشد.                                                                                                |
| ۳- راهکار در چه زمانی باید به کار گرفته شود؟                         | ۳- چرا این زمان‌بندی انتخاب شده است؟ چرا زودتر یا دیرتر برای اجرای راهکار اقدام نشود؟               | - زمان‌بندی (نمودار گانت)<br>- فعالیت‌هایی با زمان آغاز و پایان<br>- تحلیل هزینه و منفعت                                                    |
| ۴- مسئول اجرای راهکار چه کسی است؟                                    | ۴- چرا این فرد (افراد) به‌عنوان مسئول اجرا انتخاب شده‌اند؟ آیا آنها قادر به انجام وظایف محول هستند؟ | - نمودار گانت با مشخص شدن مسئول هر فعالیت                                                                                                   |
| ۵- راهکار چگونه اجرا می‌شود؟                                         | ۵- چرا این فعالیت‌ها انتخاب شده‌اند؟ چرا فعالیت‌هایی با هزینه کمتر و مزایای بیشتر انتخاب نشده‌اند؟  | - نمودار گانت و مشخص شدن فعالیت‌ها<br>- تحلیل هزینه - منفعت                                                                                 |

### حسابداری آب، ارزیابی راهکاری بهره‌وری آب و مدیریت مصرف آب

ارتقای بهره‌وری آب، در مراحل مختلف سیاست‌گذاری و اجرا نیازمند پایش دوره‌ای و مستمر است. یکی از قابلیت‌های حسابداری آب، ارزیابی راهکارها و فناوری‌های بهبود بهره‌وری است. در فرایند حسابداری آب، مؤلفه‌های آب ورودی و خروجی به انواع مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند. در کادر ۱ برخی اصطلاحات حسابداری آب تعریف شده است (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳). در خیلی موارد ما نمی‌توانیم بگوییم آب خروجی از قطعات زراعی کاملاً هدر رفته، زیرا این آب‌ها ممکن است در پایین‌دست استفاده، یا با پمپاژ آب زیرزمینی دوباره استحصال شوند. از طرف دیگر، نمی‌توان زهاب‌های سطحی و زیرسطحی خروجی از مزارع را با این توجیه که در جای دیگر ممکن است استفاده شوند، آب هدرنرفته تلقی کرد. از این رو مسئله تنزل کیفیت آب‌های خروجی به‌صورت زهاب‌های سطحی و زیرسطحی، اثرات محیط زیستی منفی و همچنین هزینه‌های ناشی از تلفات آب باید در تحلیل فنی و اقتصادی مؤلفه‌های آب خروجی مدنظر قرار گیرد.

1. 5 WH: What, When, Where, Who, How  
2. 5 WHY

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

کادر ۱- اصطلاحات حسابداری آب (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳)

**ورودی ناخالص:** کل آب ورودی به مرز کنترل آب (مرز هیدرولوژیکی - سیاسی یا مدیریتی) از طریق بارندگی و منابع آب سطحی و زیرزمینی.

**ورودی خالص:** ورودی ناخالص به اضافه تغییراتی که در ذخیره آب در محدوده حسابداری روی داده است.

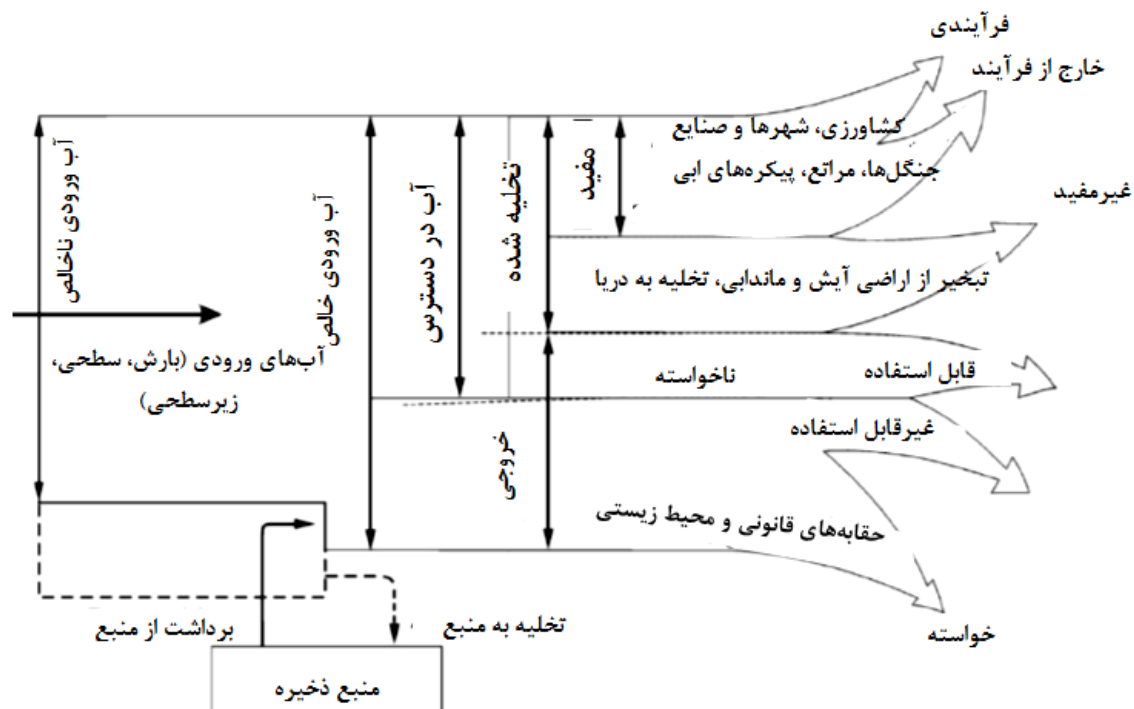
**تخلیه آب:** (مجموع مصارف مفید و غیرمفید آب) مصرف آب یا دفع آب از یک حوضه به نحوی که آب دفع شده یا مصرف شده برای مصارف بعدی غیرقابل دسترسی باشد. کل آب اختصاص داده شده به یک کاربری، معادل آب مصرف شده در آن کاربری نیست. تخلیه آب در چهار فرآیند زیر روی می دهد:

- ۱- تبخیر: آب تبخیر شده از سطوح خاک و آب، یا تعرق گیاهان؛
- ۲- تخلیه به منابع پذیرنده شور (مانند دریاها یا آب های زیرزمینی و سطحی شور و به طور کلی مواردی که امکان عملی یا اقتصادی برای استفاده مجدد از آب وجود نداشته باشد)؛
- ۳- آلودگی: کیفیت آب به حدی تنزل پیدا کند که مناسب مصارف موجود نباشد؛
- ۴- ترکیب با محصول: آبی که در محصولات کشاورزی یا صنعتی ادغام می شود (آب در گیاه و...).

**مصرف در فرآیند:** مقداری از آب که در تولید یک محصول مورد نظر، برداشت و مصرف شده است. **مصرف خارج از فرآیند:** در مواقعی که آب در فرآیندهایی غیر از آنچه مدنظر بوده است، مصرف شده باشد. این مصرف خارج از فرآیند ممکن است مفید، یا غیرمفید باشد. **خروجی خواسته:** آبی که از مرزهای حسابداری آب خارج می شود، اما برای این خروجی برای مصارف پایین دست (نیازهای محیط زیستی، یا حقایق های پایین دست) پیش بینی شده است (خروجی آگاهانه). **خروجی ناخواسته:** این بخش از خروجی های آب، می تواند مفید یا غیر مفید باشد. در مواردی که با بهسازی زیرساخت های موجود و مدیریت صحیح بتوان از آن بهره برداری کرد، این جزء، «خروجی ناخواسته مفید» خواهد شد. در مواردی که زیرساخت های موجود برای استحصال و استفاده از این آب ها وجود نداشته باشد، جزء «خروجی ناخواسته غیرمفید» خواهد بود. **آب در دسترس:** جریان ورودی خالص منهای مقادیر آبی که به صورت خواسته، یا ناخواسته (قسمت غیرمفید) از دامنه کنترل خارج شده اند. آب در دسترس، مقدار آبی است که در سطح یک حوضه یا هر مقیاس حسابداری و برنامه ریزی آب، برای بهره برداری قابل دسترس است. آب در دسترس، شامل مؤلفه های «مصرف»، «مصرف خارج از فرآیند» و «خروجی های مفید و قابل استفاده» است. **حوضه بسته:** حوضه ای است که در آن تمامی «آب در دسترس» مصرف می شود. **حوضه باز:** حوضه ای است که در آن مقداری «خروجی ناخواسته» و در عین حال قابل استفاده داریم. **حوضه کاملاً کنترل شده:** حوضه ای که خروجی ناخواسته ندارد و برای تمامی خروجی های آب، مصارفی پیش بینی شده است.

در برنامه ریزی ارتقای بهره وری آب، هدف مدیریت آب باید واضح و مشخص باشد. ما می توانیم مقدار آب در دسترس در دامنه کنترل را با کم کردن مقدار خروجی خواسته و خروجی ناخواسته از حجم آب ورودی خالص به دامنه کنترل محاسبه کنیم. «آب در دسترس» در شکل ۵ تعریف و نشان داده شده است (مولدن و همکاران، ۲۰۰۳). ارتقای بهره وری آب می تواند با افزایش جرم ماده خشک تولیدی به ازای واحد تبخیر و تعرق، تبدیل مصارف غیرمفید به مصارف مفید و تخصیص آب به کاربری های بارزتر به دست آید. راندمان حوضه می تواند به صورت نسبت مصرف مفید به آب در دسترس تعریف شود. مقدار آب در دسترس، جزئی نیست که بتوان به راحتی آن را محاسبه کرد، چراکه این جزء براساس میزان آبی که ما باید اجازه دهیم از حوضه خارج شود، تعیین می شود و این میزان آب به قوانین تخصیص آب، حقایق ها و نیازهای زیست محیطی بستگی دارد که در بسیاری از شرایط ناشناخته اند. از این رو یک مرحله مهم در تحلیل راهکارهای بهره وری در سطح حوضه، تعیین نیازها و حقایق ها است، به ویژه در حوضه هایی که با کمبود آب مواجه هستند، شناسایی این نیازها بسیار ضروری است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۵- دیاگرام عمومی حسابداری آب، برای سطح حوضه و مقیاس‌های دیگر (مولدن و همکاران، ۲۰۰۳)

کادر ۲، مثالی از تحلیل راهکارهای ارتقای بهره‌وری آب با توجه به مفاهیم حسابداری آب را نشان می‌دهد (کیچن و همکاران، ۲۰۰۳):

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### کادر ۲- مثالی از راهکارهای ارتقای بهره‌وری در کنار مفاهیم حسابداری آب

۱- افزایش بهره‌وری آب مصرف‌شده:

- مدیریت اصلاح‌شده آب: زمان‌بندی بهتر تأمین آب برای کاهش تنش در مراحل حساس رشد گیاه و افزایش محصول، افزایش اطمینان در تأمین آب برای افزایش سرمایه‌گذاری کشاورزان در سایر نهاده‌های کشاورزی و افزایش محصول به ازای واحد آب مصرفی؛
- کاربرد بهتر سایر نهاده‌های تولید: روش‌های زراعی مناسب مانند آماده‌سازی و کوددهی اراضی برای افزایش درآمد به ازای واحد آب.

۲- کاهش مصرف غیرمفید آب (تلفات):

- کاهش تبخیر غیرمفید: با کاهش تبخیر از اراضی آیش، کاهش تبخیر از سطح آزاد آب‌ها، کاهش گیاهان غیرمفید یا کم‌سود و کنترل علف‌های هرز؛
- کاهش تخلیه آب به منابع پذیرنده شور (منابع غیرقابل استفاده مجدد): با تمهیداتی که بتوان نفوذ عمقی، یا رواناب سطحی غیرقابل برگشت را کاهش داد؛
- کمینه کردن شوری جریان‌های برگشتی (آب‌های قابل استفاده): با کمینه‌سازی جریان آب در مسیر آب‌ها و خاک‌های شور و کاهش آلودگی جریان‌های برگشتی که قابلیت استفاده مجدد را دارند؛
- تخلیه آب‌های آلوده به منابع پذیرنده: برای جلوگیری از آلوده شدن آب‌های سالم، باید آب‌های شور یا آلوده مستقیماً به منابع پذیرنده مناسب تخلیه شوند؛
- استفاده مجدد از آب‌های برگشتی.

۳- تخصیص مجدد آب بین مصارف مختلف:

- تخصیص مجدد آب از مصارف کم‌ارزش به مصارف پربازده‌تر: تخصیص مجدد آب گاهی مستقیماً به صرفه‌جویی آب منجر نمی‌شود، بلکه می‌تواند بهره‌وری اقتصادی آب را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دهد. با تخصیص مجدد آب، ممکن است در شرایط آبی پایین‌دست تغییراتی ایجاد شود، از این رو ملاحظات محیط‌زیستی، اجتماعی و قانونی باید حتماً در نظر گرفته شود.

۴- استفاده و کنترل آب‌های خروجی ناخواسته (غیرضروری):

- ارتقای مدیریت ساختارها و سازه‌های موجود: برای دستیابی به بهره‌وری آب بالاتر، اتخاذ تمهیدات سیاسی، فنی، مدیریتی و سازمانی می‌توانند فرصت‌هایی نظیر توسعه مناطق تحت آبیاری، افزایش تراکم کشت، یا افزایش عملکرد محصول را ایجاد کنند. تمهیداتی مانند کاهش برداشت آب با بهبود راندمان کاربرد، قیمت‌گذاری آب و بهسازی روش‌های توزیع و تخصیص آب؛
- استفاده از جریان‌های برگشتی: با برداشت ثقلی، یا ایستگاه‌های پمپاژ برای افزایش سطح کشت؛
- ساخت سازه‌های ذخیره آب برای افزایش آب در دسترس در دوره‌های خشک‌تر: ذخیره آب می‌تواند به شکل مخازن ذخیره، آبخوان‌ها، تانکرهای کوچک و استخرهای مزارع باشد.

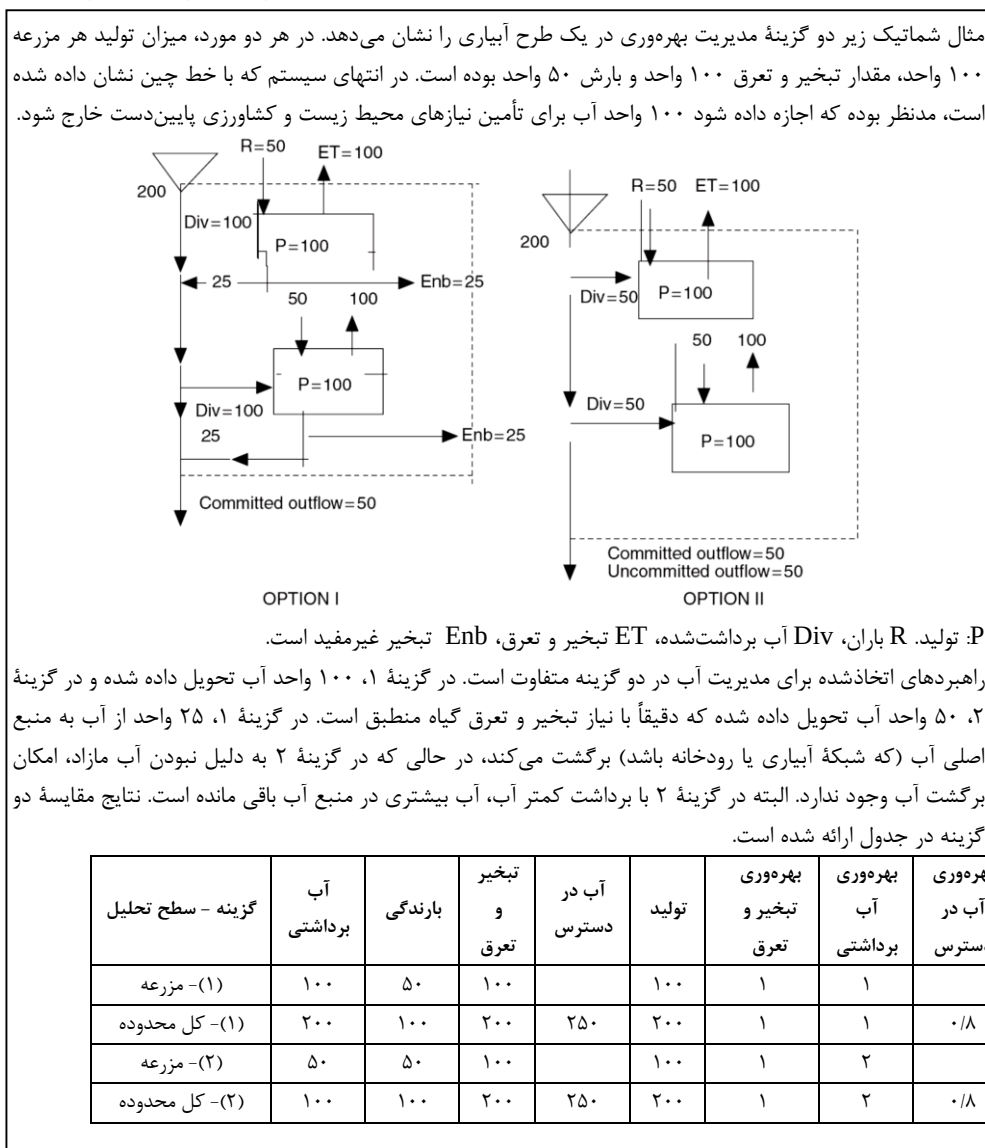
کادر ۳ را ملاحظه فرمایید (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳). افزایش در بهره‌وری آب به ازای واحد آب تأمین‌شده در سطح مزرعه، ممکن است به کاهش بهره‌وری آب به ازای واحد آب تأمین‌شده در سطوح بالاتر منجر شود. برای مثال چنانچه روش‌های زراعی کاراتری را برای کشت محصولات کم‌ارزش‌تر به کار ببندیم، به علت کاهش آب در دسترس برای مصارف دیگر که ممکن است بالارزش‌تر هم باشند، بهره‌وری کلی آب در سطح حوضه کاهش خواهد یافت، از این رو ممکن است «تولید به ازای واحد تبخیر و تعرق» در بین سطوح مختلف ثابت بماند. این در حالی است که ارتقای بهره‌وری آب به ازای واحد تبخیر و تعرق (WPET) می‌تواند به ارتقای «بهره‌وری آب در دسترس» منجر شود. در کادر ۳ دیده می‌شود که در سطح مزرعه، بهره‌وری آب برداشت‌شده در گزینه ۱، دو برابر بهره‌وری آب برداشت‌شده در گزینه ۲ است. در مثال شرح داده شده، در گزینه ۲، تبخیر غیرمفید<sup>۷</sup> (تبخیر

<sup>۷</sup> Non-Beneficial Evaporation

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

از خاک) کاهش می‌یابد، اما این کاهش تلفات به افزایش «بهره‌وری آب برداشت‌شده» از آبی که در زیرحوضه در دسترس بوده است، منجر نمی‌شود. در گزینه ۲ همچنین مقدار آب، خروجی ۱۰۰ واحد است که ۵۰ واحد از «آب خروجی خواسته» بیشتر است. از این رو هرچند در گزینه ۲ به علت حذف و کاهش تبخیر غیرمفید، میزان آب در دسترس افزایش یافته (۵۰ واحد خروجی ناخواسته به ۵۰ واحد خروجی خواسته اضافه شده است)، اما بهره‌وری آب تغییری نکرده است (۰/۸) در هر دو گزینه ۱ و ۲. این مسئله به این علت است که در گزینه ۲ برای مصرف ۵۰ واحد آبی که در اثر کاهش تلفات تبخیر به «آب در دسترس» اضافه شده، برنامه‌ریزی نشده است. اگر برای مصرف این آب در کشاورزی برنامه‌ریزی می‌شد، بهره‌وری آب در دسترس به یک می‌رسید ( $1 = 250/250$ ).

کادر ۳- بهره‌وری به ازای «آب برداشت‌شده»، «آب تخلیه‌شده» و «آب در دسترس» (کیجن و همکاران، ۲۰۰۳).



### مدلهای شبیه سازی بهره وری آب

برای بررسی و تحلیل مدیریت‌های مختلف آبی به منظور ارتقای بهره‌وری آب، می‌توان از آزمایش‌های صحرایی و مطالعات میدانی بهره برد، اما این آزمایش‌ها با وجود اینکه بسیار مفیدند، محدودیت‌های قابل توجهی نیز دارند. از مهم‌ترین این محدودیت‌ها می‌توان به هزینه و زمان مورد نیاز بالا، منطقه‌ای بودن اعتبار مطالعه (اعتبار آزمایش‌ها به شرایط فیزیکی و منطقه‌ای محدود است که آزمایش در آن انجام می‌شود) و محدودیت تعداد سناریوهایی که به وسیله آزمایش‌های صحرایی می‌تواند بررسی شود، اشاره کرد. همچنین پیچیدگی‌های ذاتی سیستم آب، خاک و گیاه، زمینه‌های ایجاد خطا در طول مطالعات میدانی را افزایش

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

می‌دهد، از این رو تلاش‌های زیادی به‌منظور توسعه مدل‌های کامپیوتری در این حوزه شده است. اغلب مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژی و آبیاری و زهکشی می‌توانند بسته به نیازهای مطالعاتی در پژوهش‌های مرتبط به بهره‌وری آب استفاده شوند. با توجه به وجود مراجع و مستندات فراوان در مورد هر یک از مدل‌های بهره‌وری آب، در اینجا صرفه به معرفی چند مورد از آنها پرداخته می‌شود. مدل قبل از استفاده در هر منطقه ارزیابی و واسنجی شود.

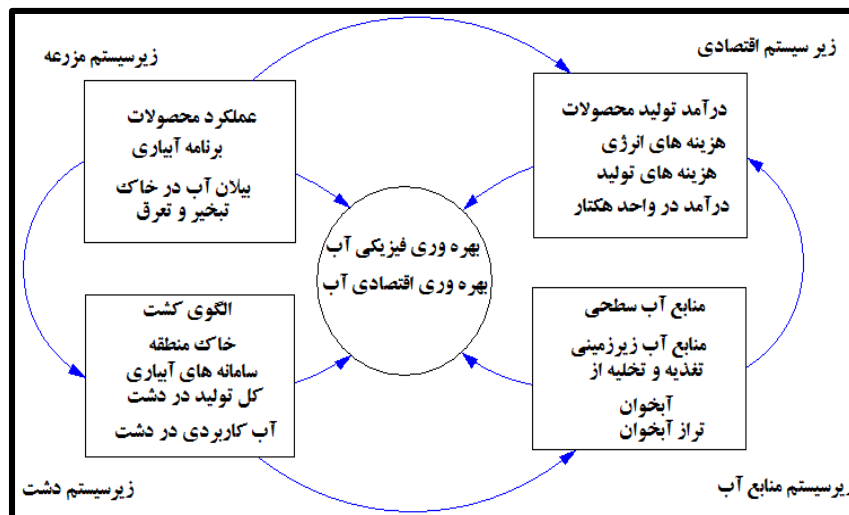
- **مدل گیاهی آکواکراپ مدل آکواکراپ (AquaCrop)** از طریق تفکیک سهم مولد تولید یعنی تعرق از تبخیر و میزان زیست‌توده تولیدی و به واسطه شاخص برداشت، مقادیر شاخص بهره‌وری آب (تعرق) و عملکرد محصول را برآورد می‌کند. آکواکراپ اثر تنش‌های دمایی، آبی، ماندابی، شوری و حاصلخیزی را بر نیاز آبی و عملکرد لحاظ می‌کند. این مدل تکامل‌یافته مدل Cropwat به شمار می‌رود.

- **مدل‌های مدیریت آبیاری** استفاده از مدل‌های مدیریت آبیاری در زمینه ارتقای بهره‌وری آب در کشاورزی اهمیتی ویژه دارد. دلیل این اهمیت این است که بخش زیادی از آب مصرفی در بخش کشاورزی و با سامانه‌های آبیاری مدیریت می‌شوند. مدیریت و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری سطحی پیچیدگی‌های فنی و مدیریتی به مراتب بیشتری نسبت به آبیاری تحت فشار دارد و با مدل‌سازی سامانه‌های آبیاری سطحی و اعمال تیمارهای بهینه‌شناسایی شده، می‌توان با هزینه کم، صرفه‌جویی قابل‌توجهی در مصرف آب در سامانه‌های آبیاری سطحی انجام داد. از رایج‌ترین مدل‌های آبیاری سطحی می‌توان به WinSFR و NRCS Surface اشاره کرد. برای مطالعه بیشتر در این زمینه، علاقه‌مندان می‌توانند به دفترچه راهنمای نرم‌افزارهای مذکور یا کتاب اصول جریان در آبیاری سطحی (عباسی، ۱۳۹۱) مراجعه کنند.

- **تحلیل سیستماتیک:** از روش‌های بسیار مؤثر برای بررسی وضع نظام‌های پیچیده، روش پویایی سیستم است. مدل‌های توسعه‌داده‌شده به روش پویایی سیستم‌ها جزء مدل‌های ریاضی پویا و با محتوای علی و با کاربرد بهینه‌سازی، شبیه‌سازی و پشتیبان تصمیم (DSS<sup>8</sup>) هستند. نمونه‌ای از چارچوب مفهومی کلی مورد استفاده در تحلیل سیستماتیک بهره‌وری در شکل ۶ ارائه شده است. در این مثال، بهره‌وری در سطح دشت و مزرعه مدنظر بوده است. مزیت‌های روش پویایی سیستم‌ها در مدل‌سازی در قالب سه بند زیر قابل عنوان است:

- انعطاف‌پذیری (مدل، استفاده از متغیرهای کمی و کیفی را میسر می‌سازد؛ امکان توسعه مدل‌های با مقیاس متداخل؛ ماهیت هدف محوری زیرمدل‌ها (واحد‌ها)؛ پوشش دادن گستره‌ای از اهداف پروژه (برای مثال در سطح مزرعه، افزایش درآمد به ازای آب مصرفی و در سطح حوضه ارزش افزوده به ازای کل آب مصرفی می‌تواند هدف پروژه باشد).
- سهولت درک و انطباق‌پذیری (ماهیت پویای مدل و شفافیت؛ وجود نرم‌افزارهای کامپیوتری متعدد و کم بودن هزینه برنامه‌نویسی و اجرای مدل؛ عدم نیاز به تعیین قطعی پارامترها قبل از شبیه‌سازی).
- قابلیت آموزش و تست مداوم (امکان آزمون پیوسته فرضیات و آنالیز حساسیت پارامترها؛ امکان پشتیبانی تصمیم‌گیری بر پایه نظرسنجی‌های گروهی در مراحل مختلف فرآیند بسط مدل)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۶- نمونه‌ای از چارچوب مفهومی برای تحلیل سیستماتیک بهره‌وری

### جمع بندی

در این نوشتار به اختصار روشهای تحلیل و مدلسازی بهره وری آب مطرح شد. در ارزیابی راهکارهای بهبود بهره‌وری توجه به مفاهیم و تعاریف و شاخص‌های اهمیت زیادی دارد. چنانچه در مخرج کسر بهره‌وری مقادیر «تأمین آب»، «مصرف آب»، «مصرف مفید آب» و... قرار گیرد، نتایج کاملاً متفاوت خواهد بود. به علت اینکه عوامل محیط زیستی و سطوح تحلیل حسابداری و بهره‌وری آب بر مؤلفه «کسر بهره وری» اثرگذار هستند، در استفاده از این عبارت، دقت زیادی لازم است. برای مثال در مناطقی که آبیاری سهم کمی در تأمین نیاز آبی دارد و بخش زیادی از نیاز آبی با بارندگی تأمین می‌شود، فرمول بهره‌وری آب اگر به صورت تولید به ازای واحد آب آبیاری باشد، مقادیر بالایی برای بهره‌وری برآورد خواهد شد. در نتیجه در این حالت مقایسه این مقادیر با نتایج فرمول در مناطقی که بارندگی کمتری دارند، صحیح نیست. پیچیدگی بیشتر مسئله این است که افزایش در بهره‌وری آب براساس شاخص بهره‌وری به ازای واحد تأمین آب آبیاری، به طور مستقیم نمی‌تواند بزرگ‌مقیاس شود (به سطوح بالاتر بسط داده شود). برای استفاده بهتر از هر روش باید هدف مطالعه و انتظارات از بهبود بهره وری به طور شفاف مشخص شود

### فهرست منابع

- عباسی، ف. (۱۳۹۱)، اصول جریان در آبیاری سطحی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- نظری، ب. (۱۳۹۲)، مدل سازی پویای شبکه‌های آبیاری با رویکرد بهره‌وری آب. رساله دکترا. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.
- نظری، ب. لیاقت، ع. (۱۳۹۶)، مبانی و شاخص‌های بهره‌وری آب. گزارش کمیسیون کشاورزی اتاق بازرگانی ایران.
- نظری، ب. لیاقت، ع. اکبری، م. (۱۳۹۶)، الزامات بهبود و استقرار حکمرانی آب کشاورزی؛ تعیین گلوگاه‌های تغییر و تحلیل شبکه‌ای راهبردها. نخستین همایش حکمرانی و سیاست‌گذاری عمومی. تهران، دانشگاه صنعتی شریف - پژوهشکده سیاست‌گذاری علم، فناوری و صنعت دانشگاه صنعتی شریف.
- نظری، ب. لیاقت، ع. (۱۴۰۰)، بهره وری آب؛ مفاهیم و فناوری‌ها، مشارکت و برنامه‌ریزی. انتشارات دانشگاه تهران. ۴۵۹ ص.

- APO, 2019. International Course on Development of Productivity Specialists/ Practitioners, Asian Productivity Organization (APO)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

- Kijne, J. W. Barker, R. Molden, D. 2003. Improving Water Productivity in Agriculture: Editors' Overview in "J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden., Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement". CABI.
- Nazari, B., Liaghat, A., Akbari, M.R. and Keshavarz, M., 2018. Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. *Agricultural water management*, 208, pp.7-18.

## نقش قارچ‌های آربسکولار در سکوستراسیون کربن

آرزو صیامی<sup>۱</sup>، ناصر علی‌اصغر زاده<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز [arezusiami@yahoo.com](mailto:arezusiami@yahoo.com)

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

### چکیده

افزایش روزافزون گاز CO<sub>2</sub> در اتمسفر نقش مهمی در گرمایش جهانی دارد. انتشار گاز CO<sub>2</sub> از احتراق سوخت‌های فسیلی و همچنین اراضی کشاورزی با مدیریت نامناسب منشأ می‌گیرد. کربن آلی خاک نقش مهمی در چرخه جهانی کربن و آب و هوای زمین دارد. قارچ‌های میکوریز آربسکولار به‌عنوان همزیست ریشه بسیاری از گیاهان، در جذب آب و عناصر غذایی، کاهش اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی و پایداری نظام‌های کشاورزی نقش مهمی دارند. گلومالین، گلیکوپروتئین اختصاصی تولیدی توسط این قارچ‌ها در خاک و درون ریشه است که به‌دلیل پایداری مولکولی، مدت‌های مدیدی در خاک باقی مانده و در ترسیب کربن در خاک‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند. در برخی از خاک‌ها، گلومالین به تنهایی حدود ۳۰ درصد کربن آلی خاک را به خود اختصاص می‌دهد. گلومالین کیفیت خاک را با افزایش ظرفیت نگهداری آب، ذخیره مواد غذایی و در دسترس بودن این مواد، فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی و تولید پلی‌ساکاریدهای خارج سلولی پس از رهاسازی در خاک افزایش می‌دهد. خاکورزی حفاظتی، مواد اصلاحی آلی و محصولات میکوریزی (به عنوان مثال ذرت، سورگوم، سویا و گندم) تولید گلومالین را افزایش داده و کربن را به اشکال پایدار تبدیل می‌کند و موجب حفظ حاصلخیزی خاک و کاهش انتشار CO<sub>2</sub> می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** ترسیب کربن، قارچ‌های میکوریز آربسکولار، کاربری اراضی، کربن آلی خاک، گلومالین

### مقدمه

گاز دی‌اکسیدکربن عامل اصلی اثر گلخانه‌ای اتمسفر است که به همراه گازهای دیگری مانند متان (CH<sub>4</sub>)، ازن (O<sub>3</sub>) و اکسید نیتروژن (N<sub>2</sub>O) بر آب و هوای جهانی تأثیر می‌گذارد. کیلینگ و وورف در سال ۲۰۰۲، غلظت گاز CO<sub>2</sub> اتمسفر را بیش از ۳۷۰ ppm گزارش کرده‌اند. در حال حاضر هر ساله تقریباً ۴۰ گیگاتن CO<sub>2</sub> در اتمسفر منتشر می‌شود و غلظت آن به حدود ۴۰۰ رسیده است (Ying et al., 2021). در نیمکره شمالی گیاهان و خاکها در پاییز، زمستان و اوایل بهار CO<sub>2</sub> تولید می‌کنند که باعث افزایش سطح آن تا ماه می می‌شود. دی اکسید کربن اتمسفر اندازه‌گیری شده در ماه می ۲۰۲۱، به طور متوسط ۴۱۹/۱۳ ppm و در پیک خود بود که بالاترین سطح اندازه‌گیری دقیق در ۶۳ سال پیش را نشان داد. اندازه‌گیری CO<sub>2</sub> در پنج ماه اول سال ۲۰۲۱ نشان داد که ۲/۳ ppm افزایش نسبت به پنج ماه مشابه سال ۲۰۲۰ وجود داشته است. این رقم نزدیک به میانگین افزایش سالانه از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ میلادی بوده است. منابع کربن خاک دارای دو جزء یعنی منبع کربن آلی و منبع کربن معدنی خاک است. منبع SOC بسیار فعال است و می‌تواند بسته به نوع کاربری و مدیریت زمین، منبع یا منشأ گازهای گلخانه‌ای باشد (Le Quéré et al., 2018). تخمین زده می‌شود که منبع کربن خاک در عمق ۱ متری در حدود ۱۵۵۰ Pg کربن آلی و تقریباً ۷۵۰ Pg کربن معدنی داشته باشد (Batjes, 1996). در این شرایط کل منبع کربن خاک ۲۳۰۰ Pg می‌شود که در حدود سه برابر منبع جوی (۷۷۰ Pg) و ۳/۸ برابر منبع پوشش گیاهی (۶۱۰ Pg) است (Scharlemann et al., 2014). کاهش در حدود ۱ Pg از منبع کربن خاک معادل با غنی‌سازی جوی ۰/۴۷ ppm دی‌اکسیدکربن در سال است (Lal, 2004). بنابراین هرگونه تغییر در منبع کربن خاک تأثیر معنی‌داری بر مقدار کربن جهانی خواهد داشت (Surya Prabha et al., 2019). رابطه معکوس بین کربن آلی خاک و گرم شدن کره زمین وجود دارد. خسارت جهانی کربن به دلیل فعالیت‌های کشاورزی ۵۵ تا ۱۰۰ پیکوگرم از منبع کربن خاک و ۱۰۰ تا ۱۵۰ پیکوگرم از منبع کربن بیوتیک تخمین زده می‌شود. منابع SOC در درجه اول به بهره‌وری فیتوماس و توزیع کربن تثبیت شده فتوسنتزی در زیست‌توده زیر سطح یا بالای سطح خاک و متعاقباً به جامعه میکروبی، تأثیر متقابل آب و هوا، فاکتورهای زیستی، مدیریت کاربری اراضی و کیفیت و میزان ورودی کربن در سیستم خاک بستگی دارد (Solaiman, 2014). با توجه به این‌که اغلب کربن آلی خاک در کوسیستم‌های کشاورزی تخلیه می‌شود، پتانسیل قابل توجهی برای ترسیب کربن در این اراضی وجود دارد که در سطح جهانی در حدود ۰/۹ Pg C yr<sup>-1</sup> تخمین زده می‌شود (Lal, 2004).

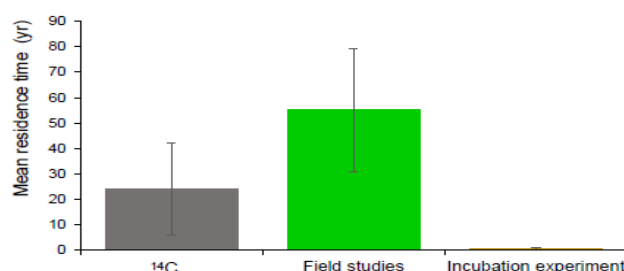
## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

همزیستی بین گیاهان و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار<sup>۹</sup> (AMF) از مهم‌ترین همزیستی‌های روی کره زمین است که سیستم ریشه‌ای و خاک را به هم متصل می‌کند (Hao et al. 2019). در حال حاضر می‌توان AMF را در ۸۰٪ از مناطق پیدا کرد. همزیستی AMF به طور گسترده در اغلب گیاهان زراعی و باغی تشکیل می‌شود و حداقل ۳۰٪ از جمعیت میکروبی خاک را تشکیل می‌دهد (Kumar et al. 2018).

گلومالین که گلیکوپروتئین تولید شده توسط هیف و اسپوره‌های AMF است برای خاکدانه‌سازی، ذخیره‌سازی کربن و بهبود کیفیت خاک حائز اهمیت است. گلومالین در خاک به دو صورت گلومالین کل<sup>۱۰</sup> (TG) و ساده استخراج<sup>۱۱</sup> (EEG) وجود دارد. گلومالین ساده استخراج کسری از گلومالین کل با قابلیت حل‌الیت بالا در آب است که اخیراً در خاک تولید شده و بنابراین نسبت به گلومالین کل از حساسیت بیشتری برخوردار است (Wright and Upadhyaya 1998).

### تجزیه گلومالین و میانگین زمان اقامت آن در خاک

ماهیت مقاوم گلومالین بر اساس حصول آن پس از اتوکلاو و مدت زمان طولانی اقامت آن در خاک مشهود است. زمان اقامت گلومالین در خاک در شرایط مزرعه بین ۶ تا ۴۲ سال است (Rillig et al. 2001). در آزمایش‌های تلقیحی، مقدار گلومالین خیلی سریعتر کاهش می‌یابد (شکل ۱). سهم گلومالین در کربن کل بیشتر از زیست‌توده میکروبی و زیست‌توده هیف است (Rillig et al. 2001). در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر بالایی از خاک، گلومالین به‌طور معمول شامل ۵٪ از کل N و ۳/۲٪ از کل C است (Lovelock et al. 2004).



شکل ۱- زمان اقامت گلومالین در خاک

### سهم AMF و گلومالین در ترسیب کربن خاک

#### سهم مستقیم هیف‌های AMF و گلومالین در ترسیب کربن خاک

اثر بالقوه AMF در ترسیب یا تجزیه کربن به طور قابل توجهی متفاوت است. قارچ‌های AM بیشتر از طریق هیف‌ها و گلومالین به کربن خاک کمک می‌کنند. در توضیح سهم بالاتر زیست‌توده هیف‌های AMF در ترسیب کربن می‌توان به مقدار بیشتر بقایای پروتئین‌های باقی‌مانده پس از تجزیه و حضور کیتینوز دیواره سلولی با ماهیت مقاوم اشاره کرد. اگرچه به‌طور کلی ذخیره‌سازی کلی SOM به ساختار هیف‌ها، تولید گلومالین و پایداری خاکدانه‌ها بستگی دارد ولی همچنان نیاز به بررسی بیشتر این موارد وجود دارد. سهم مستقیم میکوریز در تجمع کربن در خاک را می‌توان به صورت ریز خلاصه کرد: (۱) افزایش رشد گیاه با کمک AMF که به افزایش زیست‌توده مرده در سطح و زیر زمین تبدیل می‌شود. (۲) افزایش ورودی کربن در خاک به ویژه توسط ریشه‌ها و ترشحات ریشه‌ای (Zhou et al. 2020). (۳) افزایش باقی‌مانده‌های میکوریزی: هیف‌های AMF شامل هیف‌های رونده و هیف‌های جذبی است. هیف‌های رونده در خاک رشد کرده و ریشه‌های اطراف را به وسیله پل‌های هیفی به هم متصل می‌کنند و برای چند هفته در خاک باقی می‌مانند (Zhu and Miller 2003). هیف‌های جذبی کوتاه مدت هستند و به مدت ۵-۷ روز فعال باقی می‌مانند (Staddon et al. 2003). اگرچه هنوز مشخص نشده است که کدام منبع هیف با مقادیر بیشتر گلومالین همراه است، اما هیف‌های درشت به وضوح حاوی گلومالین بیشتر از انواع ریزتر هستند، مقدار گلومالین واکنش ایمنی با افزایش طول هیف کاهش می‌یابد (Lovelock et al. 2004).

#### سهم غیرمستقیم هیف‌های AMF و گلومالین در ترسیب کربن

<sup>9</sup> Arbuscular Mycorrhizal Fungi

<sup>10</sup> Total glomalinal (TG)

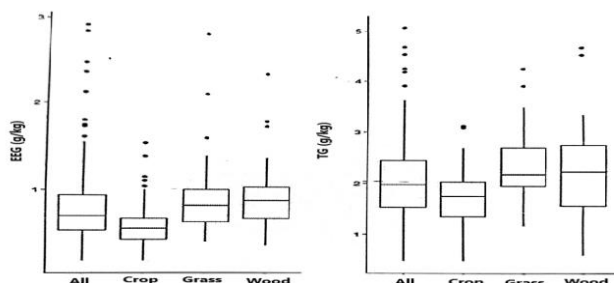
<sup>11</sup> Easily extractable glomalinal (EEG)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

سهم غیرمستقیم گلومالین در ترسیب کربن بسیار مهم است. اثرات غیرمستقیم هیف AMF و گلومالین بر ترسیب کربن شامل تشکیل و تثبیت خاکدانه‌های حاصل از ترسیب از طریق: (۱) حفاظت فیزیکی SOC: گلومالین به SOC، رسها و ذرات سیلت متصل می‌شود و هیف‌های AMF به طور مکانیکی ذرات را به یکدیگر متصل می‌کند به این ترتیب تشکیل و تثبیت خاکدانه‌ها را امکان‌پذیر می‌کند (Rillig et al.(2002); Comis(2002). (۲) از طریق بهبود ساختار خاک باعث رشد عمیق ریشه، هوادهی و بهبود وضعیت رطوبت می‌شود. با این کار AMF بقای خود را تضمین می‌کند (Rillig and Steinberg(2002). (۳) افزایش فعالیت میکروبی با کمک به منابع کربن فعال: تخصیص جذب به AMF باعث افزایش جذب مواد غذایی توسط گیاهان و در نتیجه افزایش فعالیت فتوسنتزی می‌شود و منبعی برای کربن فعال (کربوهیدرات) ایجاد می‌کند، همزمان فعالیت میکروبی و آنزیمی و کربن قابل استفاده در خاک را افزایش می‌دهد (Subramanian et al.(2019). (۴) افزایش رطوبت محلی خاک در طول دوره‌های خشکسالی، به طور مشابه با ترشح موسیلاژ ریشه است (Carminati et al.(2011). همچنین AMF با جابجایی ترشحات دور از ریزوسفر به منطقه اطراف ریشه با فعالیت میکروبی بالاتر و از مناطق تنفسی به داخل ماتریس خاک به ترسیب کربن کمک می‌کند (Zhu and Miller(2003). علاوه بر این AMF با افزایش قابل توجه مقدار SOC و میانگین قطر وزن خاکدانه‌ها ساختمان خاک را تثبیت می‌کند (Xu et al.(2014). بنابراین بررسی منابع کربن فعال از آن جهت مهم است که زمان گردش آنها سریعتر از SOC است و بنابراین می‌تواند نشانه‌ای از تغییرات لازم در شیوه‌های مدیریت کشاورزی باشد (Guillaume et al.(2016).

### اثرات کاربری‌های مختلف بر تولید گلومالین و ترسیب کربن

گلومالین در کاربری‌های مختلفی از اراضی مانند زمین‌های کشاورزی، علفزارها، جنگل‌ها، بیابان‌ها و خاک‌های بایر حتی کف روی رودخانه یافت شده است (Antibus et al.(2006); Bai et al.(2009); Harnner et al.(2004). ترزد و ترنر<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۷) در بررسی خود، اظهار داشتند که متوسط گلومالین کل واکنش ایمنی به ترتیب در مناطق بیابانی > کشاورزی و چمنزار معتدل > جنگل‌های شمالی > جنگل معتدل > جنگلی گرمسیری افزایش می‌یابد.



شکل ۲- گلومالین کل و گلومالین ساده استخراج خاک اندازه‌گیری شده به روش بردفورد در کاربری‌های مختلف.

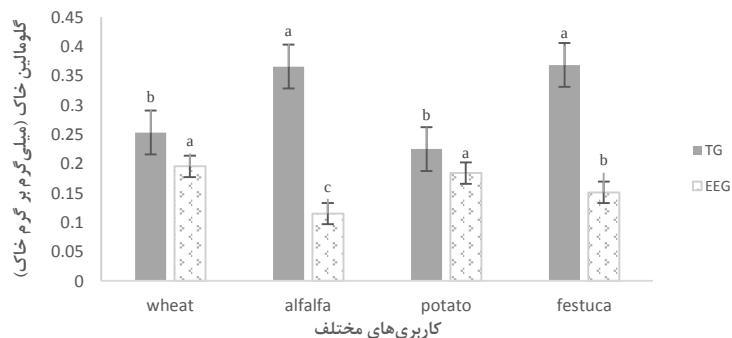
اثر کاربری اراضی برای هر دو بخش گلومالین در کاربری‌های زراعی، جنگلی و مرتعی در منطقه‌ای به وسعت ۲۵۶ Km<sup>2</sup> در فرانسه نشان داده است که مقادیر متوسط، مقدار یک چهارم و سه چهارم TG و EEG برای خاک‌های مرتعی و جنگلی نسبت به خاک‌های زراعی بیشتر است (شکل ۲) (Staunton et al.(2020).

در بررسی EEG و TG خاک به روش ELISA<sup>۱۳</sup> غیر مستقیم با استفاده از آنتی‌بادی مونوکلونال MAb32B11 در کاربری‌های مختلف اراضی که شامل کاربری زراعی برای گندم، یونجه و سیب زمینی و کاربری مرتعی فستوکا در منطقه‌ای به وسعت ۳۱۰ Km<sup>2</sup> در منطقه سراب آذربایجان شرقی بود، مشخص شد که بالاترین میانگین TG خاک در مراتع فستوکا و مزارع زیر کشت یونجه اندازه‌گیری شده است (شکل ۳) و TG واکنش ایمنی در منطقه مورد مطالعه دارای سیر نزولی مراتع فستوکا < مزارع یونجه < مزارع گندم < مزارع سیب زمینی می‌باشد.

<sup>12</sup> Treseder and Turner

<sup>13</sup> Indirect Enzyme-Linked Immunosorbent Assay (ELISA)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۳- گلومالین کل و گلومالین ساده استخراج خاک واکنش پذیر با آنتی بادی در کاربری های مختلف. میانگین های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک فاقد اختلاف معنی دار به روش آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪.

در مزارع گندم و سیب زمینی بدون اختلاف معنی دار در بالاترین سطح قرار دارد و مراتع فستوکا و مزارع یونجه در رتبه های بعدی قرار می گیرند (شکل ۳). همان طور که مشاهده می شود علی رغم TG بالا، EEG در مزارع یونجه پایین است که می تواند به همزیستی سه جانبه یونجه - مایکورایزا - ریزوبیوم نسبت داده شود. به طوری که کربن اختصاص داده شده به ریشه یونجه، بین ریزوبیوم و مایکورایزا تقسیم می شود. با مقایسه اختلاف میانگین TG و EEG در کاربری های مختلف مشاهده می شود که در مزارع سیب زمینی و گندم تفاوت TG و EEG غیر معنی دار است و به اندازه گیاهان چندین ساله فستوکا و یونجه نیست. گندم و سیب زمینی سالانه کشت می شوند و شبکه هیفی قارچ های درهم تنیده ریشه این گیاهان در اثر کشت و کار سالانه بهم می خورد و اتصالات هیفی قطع می شود که سبب کاهش جمعیت زنده قارچ ها می گردد (Oehl et al., 2003) و تولید گلومالین را کاهش می دهد همچنین OC در معرض اکسایش قرار می گیرد، تنفس میکروارگانیسم بالا می رود و کربن خاک مورد استفاده قرار می گیرد. بررسی میانگین کربن آلی در همین کاربری ها نشان می دهد که بالاترین مقدار میانگین کربن آلی خاک در مراتع فستوکا اندازه گیری شده است و کربن آلی خاک در مزارع زیرکشت یونجه، سیب زمینی و گندم و بدون اختلاف معنی دار در رتبه بعدی قرار می گیرد. درصد OC در مراتع که تحت عملیات خاکورزی قرار نگرفته اند بالا است. مهمترین عاملی که در تسریع کاهش ماده آلی در خاک تأثیر می گذارد، کشت و کار است که موجب افزایش تجزیه مواد آلی خاک طی عملیات شخم می شود (Tejada and Gonzalez, 2008). علاوه بر این عملیات خاکورزی سبب مخلوط شدن لایه های زیرین خاک با درصد کربن آلی کمتر، با خاک رویی حاوی کربن آلی بیشتر می شود و در نتیجه موجب کاهش کربن آلی خاک سطحی در مقایسه با حالت اولیه می گردد (Gregorich et al., 1998).

### نقش مدیریت اراضی در حفظ گلومالین خاک

#### تغییرات گلومالین در زراعت تک کشتی و محصولات ترکیبی

تناوب با میزبان های میکوریزی زیست توده زنده AMF را حفظ می کند، مقدار گلومالین را افزایش می دهد و رشد گیاه را بهبود می بخشد (Selvakumar et al., 2018). در مقابل جمعیت AMF به دنبال کشت محصولات غیر میکوریزی کاهش می یابد (Comis, 2002). از زمین های کشاورزی دارای گونه های گیاهی متنوع، مقدار گلومالین بالاتری نسبت به تک کشتی ها اندازه گیری شده است (Singh et al., 2018). در میان محصولات ترکیبی زراعی مانند گندم، ذرت، ارزن و آفتابگردان سیستمی که با موفقیت بالاتری گلومالین تولید کرد، ارزن، گندم و ذرت بود که با یک روش کشاورزی بدون خاکورزی مدیریت شد (Wright and Anderson, 2000).

#### تأثیر کشاورزی ارگانیک در میزان گلومالین

کشاورزی ارگانیک از تنوع AMF پشتیبانی می کند (Oehl et al., 2003). در مقایسه با سیستم های متداول، کشاورزی ارگانیک (اصلاح شده با کود و کمپوست) باعث افزایش فراوانی AMF، غنای گونه ای و تنوع گونه ای و همچنین گلومالین می شود (Turgay et al., 2015). در نتیجه ورودی های آلی بخش ماکرو خاکدانه سازی و میانگین قطر وزنی خاکدانه سازی به موازات افزایش زیست توده میکروبی، کربن آلی و بخش های گلومالین افزایش می یابد (Zhang et al., 2014). به همین ترتیب باغ های ارگانیک همچنین دارای غنای گونه ای AMF و TG بالاتری نسبت به باغ های معمولی بودند (Song et al., 2019). همچنین کاربرد طولانی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

مدت کود مرغی، خوکی یا گاو (Bertagnoli et al., 2020) و استفاده از کمپوست گیاهی مقدار گلومالین را افزایش می‌دهد (Turgay et al., 2015).

### نقش شهرنشینی در تغییر کاربری اراضی و تاثیر آن بر میزان گلومالین ساده و کل خاک

باوجود اینکه شهرنشینی عامل اصلی تغییرات در زمینه تغییر کاربری اراضی است، اطلاعات محدودی در مورد اثرهای شهرنشینی در گلومالین وجود دارد. نتایج بررسی خاک ۲۵۷ قطعه، از شهر هاربین چین، نشان داد که شهرنشینی به‌طور جدی ترسیب کربن خاک مربوط به گلومالین را کاهش می‌دهد. به‌طور کلی،  $1/3 - 1/4$  برابر مقدار گلومالین بیشتر، در مناطق جدید شهری که سابقاً مناطق روستایی بود، یافت شد. سهم گلومالین در ترسیب کربن کمتر از ۳۸-۵۹ درصد برای EEG و ۷۴-۸۵ درصد برای TG در اکثر مناطق شهری در مقایسه با مناطق روستایی بود (Wang et al., 2018).

### دینامیک گلومالین در کاربری‌های زمین و فصول آب و هوایی مختلف

سینگ و همکاران (۲۰۱۷) روی شناخت دینامیک کربن آلی خاک در کاربری‌ها و فصول آب و هوایی مختلف در اکوسیستم گرمسیری خشک کار کردند. نتایج آنان نشان داد که بخش قابل توجهی از گلومالین که گلومالین محلول در آب<sup>۱۴</sup> می‌باشد (۷/۹ تا ۲۱/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) با کربن آلی محلول آبشویی شد که حاوی ۰/۲ تا ۰/۲۳ درصد TG خاک بود. آبشویی WS-G و DOC از جنگل نسبت به زمین آیش و کشاورزی به میزان قابل توجهی افزایش نشان داد. تجمع WS-G و DOC در فصل خشک (تابستان و زمستان) بیشتر از فصول بارانی بود. میزان تغییرات فصلی در جنگل نسبت به دو کاربری دیگر زمین بیشتر بود که نشان‌دهنده نقش گیاهان و فعالیت‌های بیولوژیکی در پویایی ماده آلی محلول بود. تجزیه و تحلیل رگرسیون بین WS-G، TG، DOC و SOC نشان داد که تجمع و آبشویی گلومالین و دیگر مواد آلی خاک بستگی به عوامل مشابه دارد. نسبت WS-G-C به DOC در خاک زراعی بیشتر از جنگل و آیش بود. تحلیل رگرسیون چند متغیره نشان‌دهنده ارتباط قوی میان ذخیره و آبشویی گلومالین، کربن آلی خاک، مواد غذایی خاک (نیترژن و فسفر) و دیگر ویژگی‌های مهم خاک (pH و جرم مخصوص ظاهری) است که بیانگر بهبود کیفیت و مقدار ماده آلی و گلومالین خاک است که نیاز ضروری برای ترسیب کربن و سلامت خاک در اکوسیستم‌های زراعی خشک استوایی محسوب می‌شود.

### نقش AMF و گلومالین در کاربری ترمیمی

قارچ‌های AM ممکن است سبب تسهیل بازسازی اکوسیستم‌های تخریب شده از طریق کاهش تنش‌های زیستی و غیرزیستی در گیاهان پیشگام شود. بررسی ترکیب گونه، تنوع و فراوانی اسپور جوامع قارچی در مراتع بیابانی شمال چین در مدت ۱۲ و ۳۰ سال، توسط یو و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که فراهمی فسفر خاک و مقدار کربن آلی به طور قابل توجهی ترکیب و تنوع AMF را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این حال خواص خاک تنها می‌تواند حدود ۳۰ درصد از تغییرات جامعه قارچی AM را توضیح دهد. تعداد اسپور و میزان گلومالین اندازه‌گیری شده در بازسازی ۳۰ ساله به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از بازسازی ۱۲ ساله بود. هیچ تفاوت معنی‌داری در ترکیب جامعه و تنوع گونه‌های قارچی AM با توجه به مدت زمان‌های خاص مورد بررسی دیده نشد. نتایج ۶ ساله لونا و همکاران (۲۰۱۶) در ترمیم خاک‌های معدنی تخریب شده از معادن آهنی در محیط‌های نیمه‌خشک کوه‌های گادور (اسپانیا) با اثر دو ماده آلی (لجن و کمپوست) و دو مالچ (ماسه و خرده چوب) بر پایداری خاکدانه‌ها و ویژگی‌های خاک مربوط به خاکدانه‌سازی، نشان داد که ترکیب مواد آلی و مالچ‌ها، پایداری خاکدانه‌ها و میزان عوامل پیوند دهنده خاکدانه‌ها مانند کربن آلی کل و گلومالین را افزایش داد. نقش مواد آلی، به‌ویژه کمپوست، در افزایش کربن آلی کل و گلومالین، مهم‌تر از تیمارهای مالچ بود و نزدیکترین مقادیر را به منابع خاک مرجع (بیش از ۳۰ گرم در کیلوگرم برای کربن آلی کل و ۳/۵ گرم در کیلوگرم برای گلومالین) داشت.

### چشم انداز آینده

امروزه اهمیت AMF در تنظیم توزیع چرخه جهانی کربن در خاک مشخص شده است. همچنین، چرخه کربن خاک با چرخه نیترژن ارتباط تنگاتنگی دارد و برای درک بهتر تغییرات پی‌درپی کربن، زنجیره اتمسفر، خاک و گیاه باید در نظر گرفته شود. همچنین در تدوین روش‌های کم‌هزینه برای حفاظت و احیای کربن آلی خاک، استفاده پایدار از منابع خاک، شیوه‌های بهتر

<sup>14</sup> Water soluble glomalin (WS-G)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

مدیریت خاک، آب و احیای خاک‌های تخریب شده، استفاده بیشتر از گیاهان میکوریزی به ویژه در تناوب‌های زراعی و کاهش استفاده از سموم وقارچکش‌ها مورد نیاز است.

### فهرست منابع

- Antibus, R.K., Lauber C., Sinsabaugh, R.L., Zak, D.R. (2006). Responses of Bradford-reactive soil protein to experimental nitrogen addition in three forest communities in northern Michigan. *Plant and Soil*, 288, 173–187.
- Bai, C., He, X., Tang, H., Shan, B., Zhao, L. (2009). Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi, glomalin and soil enzymes under the canopy of *Astragalus adsurgens* Pall. In the Mu Us sandland, China. *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 941–947.
- Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47, 151–163.
- Bertagnoli, B.G.P., Oliveira, J.F., Barbosa, G.M.C., Colozzi Filho, A. (2020). Poultry litter and liquid swine slurry applications stimulate glomalin, extraradicular mycelium production, and aggregation in soils. *Soil and Tillage Research*, 202, 104657.
- Carminati, A., Schneider, C.L., Moradi, A.B., Zarebanadkouki, M., Vetterlein, D., Vogel, H.-J., Hildebrandt, A., Weller, U., Schüller, L., Oswald, S.E. (2011). How the rhizosphere may favor water availability to roots. *Vadose Zone Journal*, 10, 988–998.
- Comis, D. (2002). Glomalin: Hiding place for a third of the world's stored soil carbon. *Agriculture Research Magazine*, 50, 4–7.
- Gregorich, E.G., Greer, K.L., Anderson, D.W., Liang, B.C. (1998). Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil and Tillage Research*, 4, 291–302.
- Guillaume, T., Maranguit, D., Murtalaksono, K., Kuzyakov, Y. (2016). Sensitivity and resistance of soil fertility indicators to land-use changes: New concept and examples from conversion of Indonesian rainforest to plantations. *Ecological Indicators*, 67, 49–57.
- Hao, Z., Xie, W., Chen, B. (2019). Arbuscular mycorrhizal symbiosis affects plant immunity to viral infection and accumulation. *Viruses*, 11(6): 534–542.
- Harner, M.J., Ramsey, P.W., Rillig, M.C. (2004). Protein accumulation and distribution in floodplain soils and river foam. *Ecology Letters*, 7, 829–836.
- Kumar, S., Singh, A. K., Ghosh, P. (2018). Distribution of soil organic carbon and glomalin related soil protein in reclaimed coal mine-land chronosequence under tropical condition. *Science of the Total Environment*, 625: 1341–1350.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623–1627.
- Le Quere, C., Andrew, R.M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., Pickers, P.A., Korsbakken, J.I., Peters, G.P., Canadell, J.G., Arneeth, A. (2018). Global carbon budget. *Earth System Science Data*, 7, 349–396.
- Lovelock, C.E., Wright, S.F., Clark, D.A., Ruess, R.W. (2004). Soil stocks of glomalin produced by arbuscular mycorrhizal fungi across a tropical rain forest landscape. *Journal of Ecology*, 92, 278–287.
- Luna, L., Miralles, I., Andrenelli, M., C., Gispert, M., Pellegrini, S., Vignozzi, N., Solé-Benet, A. (2016). Restoration techniques affect soil organic carbon, glomalin and aggregate stability in degraded soils of a semiarid Mediterranean region. *Catena*, 14, 256–264.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T., Wiemken, A. (2003). Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of central Europe. *Applied and Environmental Microbiology*, 69, 2816–2824.
- Rillig, M.C. and Steinberg, P.D. (2002). Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 1371–1374.
- Rillig, M.C., Wright, S.F., Eviner, V.T. (2002). The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation : comparing effects of five plant species. *Plant and Soil*, 238, 325–333.
- Rillig, M.C., Wright, S.F., Nichols, K.A., Schmidt, W.F., Torn, M.S. (2001). Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. *Plant and Soil*, 233, 167–177.
- Scharlemann, J.P., Tanner, E.V., Hiederer, R., Kapos, V. (2014). Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5:81–91.
- Selvakumar, G., Yi, P.H., Lee, S.E., Shagol, C.C., Han, S.G., Sa, T., Chung, B.N. (2018). Effects of long-term subcultured arbuscular mycorrhizal fungi on red pepper plant growth and soil glomalin content. *Mycobiology*, 46, 122–128.

- Singh, G., Bhattacharyya, R., Das, T.K., Sharma, A.R., Ghosh, A., Das, S., Jha, P. (2018). Crop rotation and residue management effects on soil enzyme activities, glomalin and aggregate stability under zero tillage in the Indo-Gangetic Plains. *Soil and Tillage Research*, 184, 291–300.
- Singh, A.K., Rai, A., Pandey, V., Singh, N. (2017). Contribution of glomalin to dissolve organic carbon under different land uses and seasonality in dry tropics. *Journal of Environmental Management*, 192, 142–149.
- Solaiman, Z.M. (2014). Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon sequestration. Springer, Berlin, 287–296.
- Song, J., Han, Y., Bai, B., Jin, S., He, Q., Ren, J. (2019). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in rhizosphere soils of the Chinese medicinal herb *Sophora flavescens* Ait. *Soil and Tillage Research*. 195, 104423. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104423>
- Staddon, P.L., Ramsey, C.B., Ostle, N., Ineson, P., Fitter, A.H. (2003). Rapid turnover of hyphae of mycorrhizal fungi determined by AMS microanalysis of  $^{14}\text{C}$ . *Science*, 300, 1138–1140.
- Staunton, S., Nicolas, P.A., Saby, N., Arrouays D., Quiquampoix, H. (2020). Can soil properties and land use explain glomalin-related soil protein (GRSP) accumulation? A nationwide survey in France. *Catena*, 193: e104620. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104620>
- Subramanian, K.S., Vivek, P.N., Balakrishnan, N., Nandakumar, N.B., Rajkishore, S.K. (2019). Effects of arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizoglyphus intraradices* on active and passive pools of carbon in long-term soil fertility gradients of maize based cropping system. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 65, 549–565.
- Surya, Prabha, A.C., Senthivelu, M., Paramasivam, A. (2019). Carbon sequestration potential in different land uses: a review. *International Journal of Environmental Research and Development*, 15 (9), 727–736.
- Tejada, M. and Gonzalez, J.L. (2008). Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*, 145, 325–334.
- Treseder, K.K. and Holden, S.R. (2013). Fungal carbon sequestration. *Science*, 340, 1528–1529.
- Treseder, K.K. and Turner, K.M. (2007). Glomalin in ecosystems. *Soil Science Society of America Journal*, 71, 1257–1266.
- Turgay, O.C., Buchan, D., Moeskops, B., De Gussemme, B., Ortas, I., De Neve, S. (2015). Changes in soil ergosterol content, glomalin-related soil protein, and phospholipid fatty acid profile as affected by long-term organic and chemical fertilization practices in Mediterranean Turkey. *Arid Land Research and Management*, 29, 180–198.
- Wang, W., Wang, Q., Zhou, W., Xiao, L., Wang, H., He, X. (2018). Glomalin changes in urban-rural gradients and their possible associations with forest characteristics and soil properties in Harbin City, Northeastern China. *Journal of Environmental Management*, 224, 225–234.
- Wright, S.F. and Anderson, R.L. (2000). Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. *Biology and Fertility of Soils*, 31, 249–253.
- Wright, S.F. and Upadhyaya, A. (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198, 97–107.
- Xu, P., Liang, L.Z., Dong, X.Y., Shen, R.F. (2014). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on aggregate stability of a clay soil inoculating with two different host plants *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B— Soil & Plant Science*, 65, 23–29.
- Ying, N., Wang, W., Fan, J., Zhou, D., Han, Z., Chen, Q., Ye, Q., Xue, Z. (2021). Climate network approach reveals the modes of  $\text{CO}_2$  concentration to surface air temperature. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 31, <https://doi.org/10.1063/5.0040360>.
- Yu, J., Xue, Z., He, X., Liu, C., Steinberger, Y. (2017). Shifts in composition and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin contents during revegetation of desertified semiarid grassland. *Applied Soil Ecology*, 115, 60–67.
- Zhang, X., Wu, X., Zhang, S., Xing, Y., Wang, R., Liang, W. (2014). Organic amendment effects on aggregate-associated organic C, microbial biomass C and glomalin in agricultural soils. *Catena*, 123, 188–194.
- Zhou, J., Zang, H., Loepmann, S., Gube, M., Kuzyakov, Y., Pausch, J. (2020). Arbuscular mycorrhiza enhances rhizodeposition and reduces the rhizosphere priming effect on the decomposition of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 140, 107641. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.107641>
- Zhu, Y. and Miller, R.M. (2003). Carbon cycling by arbuscular mycorrhizal fungi in soil–plant systems. *Trends in Plant Science*, 8, 407–409.

#### The role of arbuscular fungi in carbon sequestration

Arezou Siami<sup>1</sup>, Nasser Aliasgharzad<sup>2</sup>

- 1- Ph.D. candidate, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. arezusiami@yahoo.com 2- Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

**Abstract:** Increasing CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere play an important role in global warming. CO<sub>2</sub> emissions come from the combustion of fossil fuels as well as poorly managed agricultural land. Soil organic carbon plays an important role in the global carbon cycle and the Earth's climate. Arbuscular mycorrhizal fungi, as the root symbionts of many plants, play an important role in absorbing water and nutrients, reducing the effects of biological and abiotic stresses, and stabilizing agricultural systems. Glomalin is a specific glycoprotein produced by these fungi in the soil and inside the roots. Due to its molecular stability, glomalin remains in the soil for a long time and plays an important role in carbon sequestration in soils. In some soils, glomalin alone accounts about 30 % of soil organic carbon. Glomalin increases soil quality by increasing water storage capacity, nutrient storage and availability, microbial and enzymatic activities, and production of extracellular polysaccharides after release into the soil. Conservation tillage, organic amendments and mycorrhizal crops (e.g. corn, sorghum, soybean and wheat) increase glomalin production and convert carbon into stable forms, maintaining soil fertility and reducing CO<sub>2</sub> emissions.

**Kekwords:** Arbuscular mycorrhiza fungi, Carbon sequestration, Glomalin, Land use, Soil organic carbon

## مروری بر وضعیت، پیشینه آموزش، پژوهش و اجرا در زمینه فرسایش و حفاظت خاک در ایران

حسین اسدی

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران؛ ho.asadi@ut.ac.ir

### چکیده

فرسایش خاک بدون شک مهم‌ترین عامل تخریب خاک در سطح جهان و ایران است که دارای پیامدهای محیطی فراوان و گسترده‌ای است. فرسایش خاک به شکل‌های مختلف آبی (سطحی و عمقی)، توده‌ای، شخم، برداشت محصول و بادی در گستره ایران و تقریباً در همه کاربری‌ها وجود دارد. شدت تخریب و هدررفت خاک ناشی از فرسایش در ایران، در مواردی تا حدی است که نابودی کامل خاک را به دنبال داشته و دارد. پیامدهایی همچون پرشدن مخازن و تالاب‌ها با رسوب، آلودگی فیزیکی و شیمیایی منابع آب، وقوع پدیده گرد و غبار و آلودگی هوا و سیل، اهمیت حفاظت خاک را دوچندان می‌کند. دلایل تنوع و شدت فرسایش خاک در ایران را می‌توان در دو گروه؛ عوامل طبیعی شامل، ویژگی‌های اقلیمی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، توپوگرافی، و پوشش گیاهی، و عوامل انسانی شامل، کاربری اراضی، مدیریت خاک و کشاورزی، فرهنگی و جمعیتی، و شرایط اقتصادی دسته‌بندی کرد. کشور ایران از نظر همه ویژگی‌های ذکر شده دارای تنوع بسیار زیادی و عمدتاً در جهت ایجاد حساسیت و تشدید فرسایش خاک است. فعالیت‌های آموزشی، اجرایی و پژوهشی در زمینه فرسایش و حفاظت خاک در کشور از اواسط دهه ۱۳۳۰ خورشیدی در ایران آغاز گردید و در این دوره بیش از چهار ساله، فعالیت‌های متنوع و گسترده‌ای در سطح کشور انجام شده است. در این مقاله، ضمن تبیین وضعیت فعلی کشور از نظر فرسایش خاک، ساختار و پیشینه آموزشی، پژوهشی و اجرایی مربوطه در کشور مرور می‌شود. همچنین، برخی قوانین و اسناد بالادست بیان، و ضمن معرفی برخی کمیته‌های ملی، برخی دستاوردهای آنها ارائه می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** تخریب خاک، رسوبدهی، فرسایش آب‌بندی، گرد و غبار، هدررفت خاک

### ۱- مبانی و مفاهیم فرسایش خاک

فرسایش خاک به عنوان مهم‌ترین عامل تخریب خاک و اراضی و بیابان‌زایی است که دارای انواع، آبی، بادی، شخم و توده‌ای (شامل زمین لغزش) است. فرسایش آبی خاک به دو گروه، فرسایش‌های سطحی (ورقه‌ای یا بین‌شیاری و شیاری)، و عمقی (آب‌بندی و کناره‌ای) دسته‌بندی می‌شود. از جمله فرسایش‌های مهم دیگر، فرسایش برداشت محصول است. فرسایش خاک بر مبنای عدم دخالت یا دخالت انسان، به دو دسته کلی فرسایش طبیعی و فرسایش تشدید شده گروه‌بندی می‌شود. هدررفت خاک،

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

مقدار مواد و ذرات خاکی است که در اثر فرسایش از یک قطعه زمین، یک دامنه یا یک منطقه به صورت سطحی خارج می‌شود. ذرات خاکی که توسط جریان آب یا باد در حال انتقال هستند را رسوب می‌گویند. تولید رسوب (یا رسوبدهی) بخشی از خاک فرسایش یافته در سطح حوضه است که توسط جریان رودخانه از حوضه خارج می‌شود. مقدار در واحد سطح رسوبدهی را رسوبدهی ویژه می‌گویند. انتقال رسوب به دو صورت کلی بار معلق و بار بستر صورت می‌گیرد. به نسبت بین رسوبدهی به فرسایش/هدررفت خاک، نسبت تحویل رسوب می‌گویند که اغلب بر حسب درصد بیان می‌شود. حد قابل تحمل فرسایش خاک میزانی از هدررفت خاک است که منجر به زوال کارکردهای خاک نمی‌شود. حد قابل تحمل، معیار بسیار مهمی برای تشخیص حد وخامت وضعیت فرسایش و نیز اولویت‌بندی برنامه‌های حفاظت خاک است. تپه‌های شنی فعال، و وقوع طوفان‌های شن و گردوغبار مهم‌ترین پیامدهای فرسایش بادی هستند.

### ۲- وضعیت فرسایش خاک در جهان و ایران

#### ۲-۱- وضعیت فرسایش خاک در دنیا

بر مبنای "ارزیابی جهانی تخریب خاک"<sup>۱۵</sup>، فرسایش عامل ۸۲ درصد تخریب خاک ناشی از فعالیت‌های انسان بوده و ۱۶۴۳ میلیون هکتار از اراضی دنیا را تحت تاثیر قرار داده است (به نقل از Morgan, 2005). Borrelli و همکاران (۲۰۱۳) متوسط سالانه پتانسیل فرسایش خاک را ۳۵ میلیارد تن در سال (با مقدار میانگین ۲/۸ تن در هکتار در سال) برآورد کردند. بر اساس این مطالعه، امریکای جنوبی، آفریقا و آسیا با مقادیر متوسط ۳/۵۳، ۳/۵۱ و ۳/۴۷ تن در هکتار در سال، بالاترین نرخ فرسایش خاک را دارند. از سوی دیگر، اثر اجرای کشاورزی حفاظتی در ۴۰ کشور، بیانگر کاهش معنی‌دار میزان فرسایش خاک بود. شدت فرسایش خاک در اراضی تحت کشت در نواحی کشاورزی وسیع، همانند ایالات متحده، حدود ۶ تن در هکتار در سال، و در اراضی وسیعی که طی قرن گذشته در شمال شرقی چین زیر کشت رفته‌اند، به طور متوسط ۱۵ تن در هکتار در سال و حتی بیش‌تر گزارش شده است (Nearing et al., 2017). بر اساس این گزارش، اجرای عملیات حفاظت خاک، به‌ویژه شخم حفاظتی و کشت بدون شخم، متوسط نرخ فرسایش خاک را در ایالات متحده به حدود ۱ تن در هکتار در سال یا حتی کمتر، کاهش داده است. بر اساس گزارش سازمان خوار و بار جهانی (FAO, 2019)، برآوردهای تلفات سالانه خاک بر مبنای کرت‌های صحرایی (۸ تا تقریباً ۵۰ تن در هکتار در سال)، به طور قابل‌توجهی بالاتر از مقادیر تخمینی از مدل‌های منطقه‌ای و جهانی (۲ تا ۴ تن در هکتار در سال) هستند.

#### ۲-۲- وضعیت فرسایش خاک در ایران

با وجود تلاش‌های فراوان، در مورد میزان فرسایش خاک در کشور اتفاق نظر وجود ندارد. کارشناسان در اواخر دهه ۱۳۴۰ و اوایل دهه ۱۳۵۰ معتقد بودند که میزان هدررفت سالانه خاک در اثر فرسایش در کشور بین ۶۰۰ میلیون تا یک میلیارد تن است (به نقل از باختر، ۱۳۵۲). بر مبنای نخستین نقشه فرسایش خاک که با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰۰ توسط یونسکو با همکاری فائو و برنامه محیط‌زیست سازمان ملل در سال ۱۹۸۰، برای خاورمیانه و شمال آفریقا تهیه شد، شاهویی (۱۳۶۸) درصد مساحت کلاس‌های مختلف این نقشه را در محدوده ایران تعیین کرد. بر اساس حد وسط هر کلاس، میزان کل هدررفت خاک کشور ۳/۲ میلیارد تن (معادل حدود ۲۰ تن در هکتار) در سال خواهد بود. جلالیان و همکاران (۱۳۷۳) بر مبنای آمار رسوب‌سنجی در ۲۴ زیر حوضه با مساحتی بالغ بر ۷۳ میلیون هکتار، و تحلیل آمار و داده‌ها بر مبنای سال‌های کم‌باران و پر باران، میانگین رسوبدهی ویژه را ۷/۵ تن در هکتار در سال و فرسایش خاک در این حوضه‌ها را حدود ۲۵ تن در هکتار در سال برآورد کردند. عرب‌خدری (۱۳۸۴) بر اساس آمار رسوبدهی معلق ۲۰۹ ایستگاه رسوب‌سنجی در سطح کشور، میانه رسوبدهی ویژه معلق کشور را ۲/۱۴ تن در هکتار در سال، و میزان فرسایش خاک کشور را بدون احتساب بار بستر، بالغ بر یک میلیارد تن در سال (حدود ۶ تن در

<sup>۱۵</sup> Global assessment of soil degradation (GLOSOD)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

هکتار در سال) برآورد کردند. با تهیه نقشه میزان فرسایش در سطح کشور با کاربرد مدل EPM، متوسط فرسایش خاک ۶/۹ تن در هکتار در سال و مقدار کل فرسایش ۱/۱۳ میلیارد تن برآورد گردید (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۶).

عربخدری (۱۳۹۳) با تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده از اندازه‌گیری و تخمین فرسایش خاک، و رسوبدهی کشور، مقدار کل فرسایش از سطح کشور را حدود یک میلیارد تن در سال و یا به طور متوسط، ۶ تن در هکتار برآورد کردند. ایشان سهم فرسایش سطحی در کل تولید رسوب را یک سوم، و بقیه رسوب تولیدی را ناشی از فرسایش‌های عمقی نظیر سازندهای حساس به فرسایش، فرسایش آبکندی و رانش زمین می‌دانند. عربخدری و همکاران (۱۳۹۵) برای تدقیق مقدار رسوب برآوردی، سطح کشور را به هشت منطقه همگن تفکیک کردند و با مقایسه ارقام مشاهده‌ای و برآوردی رسوبدهی، و به‌دست آوردن ضریب اصلاحی، وزن کل فرسایش خاک کشور را ۸۹۵ میلیون تن در سال (معادل ۵/۵ تن در هکتار در سال) برآورد کردند. نیک‌کامی و شادفر (۱۴۰۰) آمار رسوب‌سنجی ۱۱۸ ایستگاه را مورد استفاده قرار داده، برای تعیین درصد بار بستر از روشی تجربی بهره بردند و در نهایت با کمک داده‌های بار رسوب (بار معلق و بار بستر)، برای تهیه نقشه فرسایش فرسایش خاک از مدل EPM استفاده کردند. آنها میانگین رسوبدهی ویژه و متوسط وزنی فرسایش خاک حوضه‌های مشرف به ایستگاه‌های رسوب‌سنجی را به ترتیب ۳/۳ و ۱۶ تن در هکتار در سال برآورد کردند. در این تحقیق، با تعمیم نتایج به سطح ۱۲۵ میلیون هکتار دارای فرسایش آبی، میزان فرسایش آبی کشور ۲ میلیارد تن در سال به‌دست آمد. در جدیدترین برآورد سراسری فرسایش خاک با مدل‌سازی، محمدی و همکاران (۲۰۲۱) با کاربرد مدل G2 در سطح کشور بر مبنای اطلاعات ورودی عمدتاً دورسنجی شده، میانگین سالانه فرسایش خاک را برای ایران ۱۶/۵ تن در هکتار (معادل ۲/۷ میلیارد تن تلفات کل سالانه) برآورد کردند.

تفاوت حدود شش برابری بین مقادیر برآوردی متوسط فرسایش آبی خاک کشور (دامنه حدود ۵ تا ۳۰ تن در هکتار در سال) ناشی از عواملی همچون، پیچیدگی و چندوجهی بودن پدیده فرسایش خاک، پهنابودن کشور و تنوع بسیار زیاد در همه عوامل موثر بر فرسایش خاک، عدم وجود شبکه پایش فرسایش خاک و رسوب‌سنجی متناسب با سطح کشور و وضعیت فرسایش خاک، و دیدگاه کارشناسی متفاوت در تجزیه و تحلیل داده‌های موجود است. نکته قابل توجه این است که کم‌ترین مقدار برآوردی نرخ فرسایش خاک، به طور محتمل بیش از ۱۰ برابر حداقل تحمل فرسایش خاک در ایران است.

در پروژه ملی "بررسی و طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک خندقی‌های ایران" که در فاصله سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ انجام شد، تعداد ۱۷۴ پهنه آبکندی با مساحت بزرگتر از ۵۰۰ هکتار در تمامی استان‌های ایران مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه در مجموع، تعداد ۵۲۲ آبکند معرف (سه آبکند در هر پهنه خندقی) بررسی دقیق شد (صوفی، ۱۳۹۴). مجموع مساحت پهنه‌های آبکندی مورد مطالعه تا سال ۱۳۹۴ بالغ بر ۱/۴ میلیون هکتار تعیین شد. آبکندهای ایران دارای طول متوسط ۵۱۷ متر بوده و متوسط حجم هدررفت خاک در واحد طول آبکندهای ایران معادل ۲۱/۲۴ متر مکعب در متر برآورد گردید (Soufi et al., 2020).

یکی از مناطق با فرسایش آبکندی زیاد در ایران، منطقه دشتیاری در جنوب شرق استان سیستان و بلوچستان است. متوسط میان‌مدت (۱۵ ساله) تلفات خاک ناشی از فرسایش آبکندی در منطقه دشتیاری حدود ۵۰ تن در هکتار در سال برآورد شده است (شرکت ایده پردازان توسعه، ۱۳۹۲). بنا به گزارش صوفی و بیات (۱۴۰۰)، بیش‌تر آبکندهای ایران در دو کلاس کوچک (عمق کوچک‌تر از یک متر) و متوسط (عمق یک تا ۱۰ متر) قرار دارند و اغلب در اراضی زراعی دیم و مراتع و در خاک‌های با بافت لوم، لوم شن و لوم رس توسعه یافته‌اند. تحقیق صوفی و بیات (۱۴۰۰) نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد از آبکندهای ایران فاقد اقدامات مدیریتی و اصلاحی هستند و اغلب اقدامات سازه‌ای نیز با هدف کنترل رسوب اجرا شده‌اند.

ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده و حدود ۶۰ میلیون هکتار از مساحت آن را مناطق کویری می‌پوشانند. مساحت ماسه‌زارهای ایران حدود ۱۳ میلیون هکتار است که ۶ میلیون هکتار آن را تپه‌های شنی فعال تشکیل می‌دهد (رفاهی، ۱۳۹۶). مقدار کل تلفات خاک ناشی از فرسایش بادی معادل ۳۰۴ میلیون تن در سال از مساحتی بالغ بر ۲۰ میلیون هکتار (معادل میانگین وزنی تلفات خاک حدود ۱۵ تن در هکتار در سال) برآورد شده است. استان‌های خراسان جنوبی، کرمان، و

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

سیستان و بلوچستان به ترتیب با حدود ۱۹/۵، ۱۶ و ۱۵ درصد، بالاترین سهم نسبی از کل بار رسوب بادی کشور را دارند (عظیم‌زاده و طهماسبی بیرگانی، ۱۴۰۰).

مساحت اراضی با پتانسیل تولید گردوغبار در کشور بیش از ۳۰ میلیون هکتار است (دفتر ملی ستاد مقابله با گردوغبار، ۱۳۹۹). بررسی ۲۱ ساله (۱۳۶۴-۱۳۸۴) روند گردوغبار بر مبنای اطلاعات ۱۱۲ ایستگاه هواشناسی نشان داد، تعداد کل روزهای غبارناک از ۱۱ روز (خلخال) تا ۳۸۳۳ روز (ایستگاه زابل، و به طور متوسط معادل نیمی از سال) متغیر بوده است (محمدخان، ۱۳۹۶). هرچند روند یکسان افزایش یا کاهش گردوغبار برای کل کشور مشاهده نشد، اما برای شرق و جنوب ایران، این روند افزایشی بود.

### ۳- مرور ساختار آموزش و تحقیقات پژوهشی در دانشگاه‌ها

رشته مستقل خاکشناسی در سال ۱۳۴۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، و به ترتیب در سال‌های ۱۳۴۴، ۱۳۴۴، ۱۳۴۹ و ۱۳۶۳ در دانشگاه‌های شیراز، تبریز، اهواز و صنعتی اصفهان راه‌اندازی شد. مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری خاکشناسی به ترتیب در سال‌های ۱۳۴۵ و ۱۳۶۹ برای اولین بار در ایران در گروه خاکشناسی دانشگاه تهران ایجاد شدند. رشته مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشگاه تهران در سال ۱۳۴۵ هجری شمسی راه‌اندازی و فعالیت‌های آن در سه بخش مرتع‌داری، آبخیزداری و بیابان‌زدایی ساماندهی گردید. مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری این رشته به ترتیب در سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۷۵ راه‌اندازی شدند. مرکز تحقیقات همزیستی با کویر نیز در سال ۱۳۵۴ در دانشگاه تهران ایجاد شد. آموزشگاه عالی جنگل و مرتع گرگان در سال ۱۳۳۶ ایجاد، در سال ۱۳۵۵ به مدرسه عالی منابع طبیعی تبدیل، در سال ۱۳۵۸ با الحاق به وزارت علوم ملحق، به دانشکده منابع طبیعی تبدیل شد. رشته جنگل و مرتع در مقطع فوق دیپلم در سال ۱۳۴۵، و گرایش حفاظت خاک در مقطع کارشناسی از سال ۱۳۵۴ در این دانشکده دایر شدند.

بر مبنای جستجو در پایگاه اطلاعات علمی ایران، کتابخانه‌های دانشگاه تهران، تارنمای برخی دانشگاه‌ها و رزومه برخی استادان در شهریور ماه ۱۴۰۰، تعداد ۱۲۲۳ عنوان پایان‌نامه کارشناسی ارشد (۱۰۶۱) و رساله دکتری (۱۵۹) در زمینه فرسایش خاک (آبی و بادی)، گردوغبار، رسوبدهی، آبخیزداری، حفاظت خاک، بیابان‌زایی و بیابان‌زدایی انجام شده در دانشگاه‌ها تا شهریور ۱۴۰۰، استخراج گردید و مورد تحلیل قرار گرفت. موضوعات مرتع، جنگل، هیدرولوژی و رواناب، خشکسالی، سیل، هواشناسی، شوری و کیفیت خاک، آلودگی و کیفیت آب، آب‌های زیرزمینی و استحصال آب در این جستجو مدنظر قرار نگرفتند. نخستین پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان فرسایش و حفاظت خاک (محمد نجمائی) در سال ۱۳۴۵ در رشته کشاورزی عمومی در دانشگاه تهران انجام شد. در گرایش فرسایش و حفاظت خاک رشته خاکشناسی، اولین و دومین پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد، به ترتیب در تاریخ ۱۳۵۱/۰۱/۲۱ و ۱۳۵۲/۰۲/۲۶ دفاع گردید. اولین رساله دکتری فرسایش و حفاظت خاک نیز در تاریخ ۱۳۷۵/۰۶/۳۱ دفاع شد. در زمینه فرسایش بادی نیز اولین پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان "بررسی چگونگی حرکت تپه‌های شنی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از عکس‌های هوایی" در تاریخ ۱۳۵۲/۰۴/۲۲ دفاع گردید. در رشته آبخیزداری، نخستین پایان‌نامه کارشناسی ارشد در سال ۱۳۶۸ و نخستین رساله دکتری در سال ۱۳۸۲ در دانشگاه تهران دفاع گردید.

در جدول ۱، توزیع (درصد) پایان‌نامه و رساله‌های مورد بررسی برحسب موضوع و رشته آمده است. به طور کلی، در دانشگاه‌ها در زمینه‌های حد قابل تحمل فرسایش، روش‌های غیرسازه‌ای و مدیریتی حفاظت خاک ارزش‌گذاری اقتصادی خسارات فرسایش خاک، فرسایش برداشت محصول، اثر جاده‌سازی و معدن‌کاوی بر ایجاد فرسایش، و میزان فرسایش در اراضی دیم، تحقیقات اندکی انجام شده یا اساساً تحقیقی انجام نشده است. از کل عنوان‌ها، حدود ۶/۱ درصد (تعداد حدود ۷۵ مورد) دارای موضوع برآورد رسوبدهی و منحنی سنج رسوب بودند. تعداد حدود ۲۴۰ مورد (حدود ۲۰ درصد کل پایان‌نامه‌ها و رساله‌ها) دارای موضوع مدل و مدلسازی بودند که در این میان مدل‌های خانواده USLE، PSIAC/MPSIAC و EPM به ترتیب ۳۹، ۲۹ و ۱۶ مورد را به خود اختصاص دادند.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بر مبنای تعداد پایان نامه و رساله های انجام شده از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۹، روند گسترش تحصیلات تکمیلی تا اواسط دهه ۱۳۸۰ منطقی به نظر می رسد، اما در دوره تقریباً ده ساله ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵، تعداد دانشجویان تحصیلات تکمیلی و به تبع تعداد پایان نامه و رساله ها رشد شدیدی داشته و بین ۲/۵ تا ۳ برابر شده است. اوج تعداد پایان نامه و رساله های دفاع شده در زمینه فرسایش و حفاظت خاک (حدود ۹۰ مورد در سال) در فاصله سال های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ است و بعد از آن در حال کاهش است، هرچند که تعداد دانش آموختگان تحصیلات تکمیلی در زمینه مورد بحث (حدود ۴۰ مورد)، در سال ۱۳۹۹ به احتمال زیاد متأثر از شیوع کووید ۱۹ نیز بوده است. از جمله نگرانی های مرتبط با عنوان پایان نامه و رساله های انجام شده در دانشگاه ها، می توان به موردی بودن اغلب مطالعات، پراکندگی موضوعی یا عدم هدفمندی، تکراری بودن، و به روز نبودن برخی مطالعات بنیادی اشاره کرد. گسترش سریع و بیش از حد تحصیلات تکمیلی در یک دهه گذشته و عدم تناسب آن با ظرفیت های دانشی، بودجه ای و ابزاری دانشگاه ها، سیاست های غلط وزارت علوم به ویژه آیین نامه های ترفیع و ارتقاء، بودجه های بسیار اندک مصوب برای انجام پروژه ها، و نبود ارتباط با مراکز اجرایی را می توان از جمله دلایل احتمالی و مهم این نقاط ضعف دانست.

### جدول ۱- توزیع (بر حسب درصد) پایان نامه و رساله های مورد بررسی بر حسب موضوع، رشته و رشته و دانشگاه

| موضوع                      | درصد | رشته                     | درصد |
|----------------------------|------|--------------------------|------|
| فرسایش / هدررفت خاک        | ۳۰/۹ | آبخیزداری                | ۳۵/۳ |
| رسوب و رسوبدهی             | ۳۰/۰ | خاکشناسی                 | ۲۲/۰ |
| آبخیزداری                  | ۱۱/۵ | مدیریت بیابان            | ۱۴/۵ |
| حفاظت و مهار فرسایش        | ۸/۲  | جغرافیای طبیعی           | ۹/۳  |
| فرسایش بادی و گردوغبار     | ۷/۸  | مهندسی آب                | ۴/۳  |
| بیابان زایی و بیابان زدایی | ۶/۶  | مکانیزاسیون              | ۱/۲  |
| خاکورزی حفاظتی             | ۲/۵  | نامشخص &                 | ۳/۴  |
| فرسایش آبکندی (خندقی)      | ۱/۷  | بقیه رشته ها یا اشتباه & | ۹/۹  |
| زمین لغزش                  | ۱/۰  |                          |      |

مطالعات و تحقیقات دانشگاهی غیردانشجویی زیادی نیز به ویژه قبل از دایر شدن مقاطع تحصیلات تکمیلی توسط استادان در دانشگاه ها انجام شده است که جمع آوری و تحلیل آن میسر نشد. به عنوان نمونه می توان به نخستین تحقیقات در زمینه مکانیسم فرسایش بادی و بررسی روش های مبارزه با آن در منطقه الباجی اهواز توسط نخجوانی (۱۳۴۷) و احمدی و نخجوانی (۱۳۴۹)، و مطالعات و بررسی های پاشایی (۱۳۵۳) در زمینه سرعت باد و پروفیل مقدار گردوغبار در ارتفاعات مختلف اشاره کرد.

### ۴- ساختار تحقیقاتی و مرور تحقیقات در مراکز پژوهشی

بخش تحقیقات حفاظت خاک و آب در سال ۱۳۴۶ در موسسه خاکشناسی ایجاد شد و به تدریج پنج ایستگاه حفاظت خاک و آب در دیمزارهای پنج استان مختلف تاسیس شد. انستیتو جنگل و مرتع نیز به منظور تحقیقات در زمینه جنگل ها و مراتع در سال ۱۳۴۲ دایر شد. موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع در سال ۱۳۴۸ در وزارت منابع طبیعی ایجاد شد و در کنار موضوعات مربوط به جنگل و مرتع، موضوعات آبخیزداری و حفاظت خاک، و تثبیت شن های روان نیز جزو وظایف آن بود. در سال ۱۳۶۶، بخش تحقیقات آبخیزداری و تثبیت شن های روان به دو بخش مجزا تفکیک شد. بخش تثبیت شن های روان در سال ۱۳۷۲ به بخش تحقیقات بیابان تغییر نام داد. تفکیک وظایف وزارت خانه های کشاورزی و جهاد سازندگی، منجر به تشکیل مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری در سال ۱۳۷۲ گردید که در سال ۱۳۷۸ به پژوهشکده ارتقاء یافت که در حال حاضر در قالب پنج گروه تحقیقاتی فعالیت می کند.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

لیست مطالعات و پروژه‌های تحقیقاتی منتشر شده پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، و بخش بیابان موسسه تحقیقات مراتع و جنگل‌ها از تارنمای این دو مرکز استخراج و مورد تحلیل قرار گرفت. در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در دوره حدود ۳۰ ساله، بالغ بر ۷۸۴ طرح تحقیقاتی انجام و گزارش آن منتشر شده است. فعالیت این پژوهشکده از نظر تعداد طرح در سال، تا سال حدود ۱۳۸۹ افزایشی و بعد از آن کاهشی بوده است. طرح‌های محوری با بیش از ۲۰ زیر طرح شامل، تعیین ویژگی رودخانه‌ها و مسیل‌های کشور، تدوین برنامه و زیربرنامه، ارزیابی اثرات عملیات آبخیزداری، اثرات پخش سیلاب بر خاک، اطلس سیمای حوزه‌های آبخیز کشور، و بررسی مورفوکلیماتیک آبکندهای ایران هستند. برخی طرح‌های ملی مهم دیگر، بررسی زمین لغزه در حوزه‌های آبخیز کشور، برآورد رسوبدهی و تهیه نقشه تولید رسوب برای ایران، تدقیق ارقام فرسایش خاک کشور، شاخص فرساینده‌گی باران در ایران، واسنجی مدل‌های EPM و MPSIAC، و برآورد مقدار فرسایش قابل تحمل در کشور می‌باشد. ویژگی بارز طرح‌های پژوهشکده، تلاش برای پاسخگویی به مسائل کشور است. عدم پایش و اندازه‌گیری طولانی مدت فرسایش خاک، عدم مطالعه میدانی روش‌های غیرسازهای حفاظت خاک، و طول مدت کوتاه طرح‌ها (حدود ۸۰ درصد با مدت اجرای کمتر از ۳ سال مصوب شده‌اند) را می‌توان از نقاط ضعف، و کمبود بودجه و امکانات، و گستردگی و تنوع موضوعات فرسایش خاک را می‌توان از جمله چالش‌های این پژوهشکده دانست. انحراف بخشی از نیرو و امکانات پژوهشکده نیز نگران کننده است. بر مبنای دسته‌بندی نگارنده و عنوان گزارش طرح‌های اجرا شده، موضوع بیش از ۴۰ درصد طرح‌ها غیر مستقیم مرتبط با فرسایش و حفاظت خاک هستند و ممکن است جز رسالت‌های سایر مراکز پژوهشی باشند. فعال‌ترین استان‌ها در زمینه اجرای طرح، فارس و خراسان رضوی بوده‌اند.

تعداد طرح‌های تحقیقاتی ثبت شده بخش بیابان فعلی (و بخش‌هایی همچون حفاظت خاک و آبخیزداری، و تحقیقات خاک از زمان تشکیل موسسه جنگل و مرتع) موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۲۲۵ مورد است که در فاصله سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۹۶ انجام شده‌اند. بر مبنای دسته‌بندی نگارنده، بیش از ۲۰ درصد طرح‌ها به طور غیرمستقیم مرتبط با فرسایش و حفاظت خاک هستند. بر این اساس، آغاز اجرای نخستین طرح‌های تحقیقاتی در یک مرکز پژوهش در زمینه فرسایش و حفاظت خاک را می‌توان سال ۱۳۴۷ دانست. در این سال، اجرای تعداد چهار طرح آغاز شده که سه مورد آن در مورد تپه‌های شنی (چگونگی حرکت و مهار آن) و یک مورد در زمینه اندازه‌گیری رسوبات در رواناب در ایستگاه سیراچال بوده است. در سال ۱۳۴۸ نیز نه طرح مصوب شده است که عمدتاً در زمینه روش‌های نهالکاری و تثبیت تپه‌های شنی بوده است. بیش‌ترین فعالیت این بخش در دوره‌های ۸۰-۱۳۷۶ و ۸۵-۱۳۸۱ بوده است. "تعیین قلمرو محدوده بیابان" و "تعیین اشکال ناهمواری‌ها و ویژگی‌های شن‌زارها"، دور طرح محوری مهم بخش بیابان هستند. نقطه قوت طرح‌های بخش بیابان را می‌توان، تعداد قابل توجه پژوهش در زمینه تعیین ویژگی‌های شن‌های روان و روش‌های تثبیت آن (به ویژه روش‌های بیولوژیک) دانست. عدم پایش و اندازه‌گیری فرسایش بادی و طول مدت کوتاه طرح‌ها (حدود ۸۰ درصد مدت اجرای کمتر از ۴ سال)، از جمله نقاط ضعف، و کمبود بودجه، امکانات و نیرو، تداخل وظایف با سایر مرکز و سازمان‌ها از جمله چالش‌های بخش بیابان به نظر می‌رسند. به نظر می‌رسد، بسط قوانین و آیین‌نامه‌های وزارت علوم برای ترفیع و ارتقاء پژوهشگران مراکز تحقیقاتی، نیز یکی از دلایل تضعیف عملکرد این مراکز باشد.

### ۵- ساختار و فعالیت‌های اجرایی

اولین کمیته حفاظت آب و خاک در ایران، در سال ۱۳۳۷ در سازمان جنگل‌ها تشکیل شد. به عنوان نخستین مطالعه حفاظت خاک، اقدامات تحقیقاتی در زمینه فرسایش آبی و حفاظت خاک در سال ۱۳۳۹، در حوزه سد لتیان و با تأسیس ایستگاه تحقیقاتی سیراچال در آبخیز سد کرج انجام شد (رفاهی، ۱۳۹۶). دفتر فنی خاک در سال ۱۳۴۷ با هدف مبارزه با فرسایش بادی، تثبیت شن‌های روان و افزایش عمر مفید سدها تأسیس گردید که در سال ۱۳۵۱ به دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

تبدیل شد. در حال حاضر، معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری متشکل از چهار دفتر مستقل کنترل سیلاب و آبخیزداری، امور مراتع، امور بیابان، و آبخیزداری و حفاظت خاک است.

در زمینه مقابله با فرسایش آبی و تولید رسوب، نخستین برنامه اجرایی حفاظت خاک در سال ۱۳۳۹ در بخش از حوزه سد کرج در وسعتی به مساحت ۶۰۰ هکتار در منطقه سیراچال به اجرا درآمد. بر اساس گزارش نیکنام (۱۳۵۲) مدیر کل دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری وقت، از زمان تشکیل دفتر تا سال ۱۳۵۲، حجم عملیات اجرایی شامل ۸۰۰۰ کیلومتر بانکت، ۱۰۰ هزار هکتار بذریاشی، ۴/۵ میلیون اصله نهال کاری، بیش از ۹۰۰ هزار مترمکعب سدهای خشکه‌چین، و ۱۵۰ هزار هکتار قرق بوده است. نخستین طرح جامع آبخیزداری توسط کارشناسان ایرانی در سال ۱۳۵۳ تهیه و طی دوره ده ساله ۱۳۴۸-۱۳۵۷ در مجموع عملیات آبخیزداری در ۶۸۹ هزار هکتار اجرا گردید. در جدول ۲ آماری چکیده‌ای از سطح عملیات اجرای آبخیزداری طی دوره‌های ده ساله از ۱۳۴۸ تا ۱۳۸۶ ارائه شده است. در مجموع در دوره ۳۹ ساله، در مساحتی کمتر از ۲۱ میلیون هکتار از سطح آبخیزهای کشور عملیات آبخیزداری با مبلغ کل هزینه شده‌ای در حدود ۵۶۵۰ میلیارد ریال (معادل حدود یک میلیارد دلار با قیمت ارز زمان هزینه‌کرد) اجرا شده است. افزایش سالانه اعتبار تخصیص یافته اجرای عملیات آبخیزداری در ۱۹ سال (۱۳۶۸ تا ۱۳۸۶) با تعدیل نرخ ارز، حدود ۳۰ درصد بوده است. لازم به ذکر است که در ۱۵ سال گذشته و به ویژه در سال‌های اخیر و با اختصاص بودجه از صندوق توسعه ملی، اعتبارات ریالی اجرای عملیات آبخیزداری در کشور رشد بسیار زیادی یافته، هرچند که بخشی از آن نیز به دلیل تورم بالا و جهش نرخ ارز در این دوره، تعدیل می‌شود. بر اساس گزارش‌های منتشر نشده، تا پایان سال ۱۳۹۹ حدود ۳۵ میلیون هکتار مطالعات تفصیلی اجرایی آبخیزداری و حدود ۳۱ میلیون هکتار عملیات آبخیزداری در حوزه‌های بحرانی فرسایش و تولید رسوب و سیل خیز به اجرا درآمده است.

جدول ۲- چکیده‌ای از سطح اجرایی عملیات آبخیزداری و بودجه صرف شده در دوره ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۶

| دوره         | طول دوره (سال) | مجموع سطح<br>اجرایی (هزار هکتار) | سطح اجرا شده در<br>سال (هزار هکتار) | مجموع اعتبارات دوره<br>(میلیارد ریال) | مجموع اعتبارات &<br>(میلیون دلار) |
|--------------|----------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|
| ۱۳۴۸ تا ۱۳۵۷ | ۱۰             | ۶۸۹                              | ۶۹                                  | ۶/۵                                   | ۳۲۶                               |
| ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۷ | ۱۰             | ۱۰۵۶                             | ۱۰۶                                 |                                       |                                   |
| ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۷ | ۱۰             | ۷۳۱۴                             | ۷۳۱                                 | ۳۹۷                                   | ۱۱۴                               |
| ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۶ | ۹              | ۱۱۶۸۲                            | ۱۲۹۸                                | ۵۲۴۴                                  | ۵۹۸                               |

داده‌های اولیه جدول از برنامه راهبردی حفاظت خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (۱۳۸۸) استخراج شد

در زمینه تثبیت شن، از سال ۱۳۳۸ به بعد اقدامات موفقیت‌آمیزی توسط سازمان جنگلبانی ایران انجام می‌شد (نیکنام، ۱۳۵۲) که اغلب با استفاده از موانع تخته‌ای، ساقه‌های پده و گز بود (روحی‌پور، ۱۳۷۳). با تصویب اعتبار ۲۰۰ هزار ریالی در سال ۱۳۴۴ نخستین طرح تثبیت شن در منطقه حارث‌آباد سبزوار (استان خراسان) آغاز گردید (نیکنام، ۱۳۵۲). سپس بر مبنای نتایج به‌دست آمده، از سال ۱۳۴۶ برنامه تثبیت شن در استان‌های کرمان، خوزستان، سیستان و بلوچستان، و مرکزی (آن زمان) اجرا شد که پیامد آن تا سال ۱۳۵۲، کاشت بیش از ۱۲۲ میلیون اصله نهال و بذریاشی در ۲۰۰ هزار هکتار، و قرق بیش از ۲/۳ میلیون هکتار محدوده‌های فعال شن‌های روان بود (نیکنام، ۱۳۵۲). در دوره ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۰، دفتر مالچ‌های نفتی نیز سطوح نسبتاً وسیعی از شن‌های روان استان خوزستان را تثبیت کرد (روحی‌پور، ۱۳۷۳). عملیات اجرایی مبارزه با فرسایش بادی و تثبیت شن‌های روان که از سطح ۱۸ هکتار در سال ۱۳۳۸ در اهواز آغاز گردید، به حدود ۲ میلیون هکتار در سال ۱۳۶۷ رسید که در ۱۳ استان مختلف و در ۱۵۰ منطقه مختلف انجام می‌گردید (احمدی، ۱۳۷۱). در برنامه اول توسعه اقتصادی کشور بودجه اختصاص یافته برای تثبیت شن‌های روان حدود ۳۴ میلیارد ریال بود (به نقل از احمدی، ۱۳۷۱). بر اساس گزارش‌ها و به نقل

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

از اباذری معاون دفتر امور بیابان، نهال کاری در ۲ میلیون هکتار از سطوح مناطق بیابانی، بذریابی در ۴ میلیون و ۵۰۰ هزار هکتار، احداث ۳۰ هزار هکتار بادشکن زنده و غیرزنده، ۱۸۰۰ هزار هکتار مدیریت رواناب، و مالچ پاشی در ۲۷۰ هزار هکتار تپه‌های ماسه‌ای از مهم‌ترین اقدامات انجام شده هستند.

عملکرد اجرایی معاونت آبخیزداری با توجه به گستردگی ایران و تنوع بسیار زیاد انواع و پیامدهای فرسایش خاک کشور به طور کلی مثبت ارزیابی می‌شود. همچنین تلاش برای ایجاد شبکه پایش فرسایش آبی و بادی در کشور از جمله فعالیت‌های ارزشمند این معاونت است. با این وجود، از جمله نگرانی‌های مرتبط با فعالیت معاونت آبخیزداری، اتکای بیش از حد به روش‌های سازه‌ای (که اغلب کارکرد آن کنترل رسوب است تا حفاظت خاک) در مطالعات و اجرای عملیات آبخیزداری، توجه اندک به مشارکت بهره‌برداران در طراحی و اجرای عملیات آبخیزداری، و ضعف بدنه کارشناسی از نظر کیفی و کمی در سطح کشور می‌باشد. از مهم‌ترین چالش‌های بخش آبخیزداری و حفاظت خاک، توجه اندک سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان کشور به ابعاد و اهمیت موضوع است، به عنوان نمونه، کل بودجه صرف شده در یک دوره حدود ۴۰ ساله (۱۳۴۷ تا ۱۳۸۶) برای اجرای عملیات آبخیزداری در ایران کمتر از بودجه احداث یک سد متوسط یا احداث ۱۰۰ کیلومتر بزرگراه با قیمت‌های دهه ۱۳۷۰ بوده است.

### ۶- مجلات و مقالات منتشر شده

تاریخچه انتشار مجلات کشاورزی با انتشار «مجله فلاح و تجارت» توسط سعید نفیسی، به سال ۱۲۹۷ بر می‌گردد. دکتر تقی بهرامی نیز مؤسس و مدیر دو مجله با عناوین «فلاح» و «آب و خاک» بوده، که اولی را در سال ۱۳۱۲ و دومی را در سال ۱۳۲۱ منتشر کرده است (بهرامی، ۱۳۳۰). نخستین دوره انتشار مجله علوم کشاورزی ایران نیز بین سال‌های ۱۳۱۱ تا ۱۳۳۰ و با نام «مجله مدرسه عالی فلاح» بود. سابقه مجله منابع طبیعی ایران نیز به سال‌های قبل از ۱۳۴۰ می‌رسد که با نام نشریه چوبشناسی منتشر می‌شد. تعداد کل مجلات دارای مجوز و رتبه علمی از وزارت علوم، ۱۲۹۶ مورد است که از این تعداد، حدود ۱۸۰ مورد در دسته مجلات کشاورزی و منابع طبیعی (۱۴ درصد کل مجلات) قرار دارند. از کل مجموعه مجلات کشاورزی و منابع طبیعی، تعداد ۳۹ مورد با موضوع و عنوان آب و خاک، آبخیزداری، بیابان، محیط زیست و مرتع هستند. از کل مجلات در همه رشته‌ها، تعداد ۵۸ مورد (۵۴ مورد علمی-پژوهشی و ۴ مورد علمی-ترویجی) مرتبط با آب و خاک، آبخیزداری، بیابان، محیط زیست، مرتع، جغرافیای طبیعی، آمایش سرزمین، عمران و مهندسی آب هستند که نه مورد به زبان انگلیسی و ۴۹ مورد به زبان فارسی منتشر می‌شوند. تعداد مجلات تقریباً اختصاصی با موضوعات حفاظت خاک و آب، آبخیزداری، و بیابان حدود ۱۳ مورد است. بر مبنای جستجو سریع در پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی در شهریور ۱۴۰۰، تعداد و توزیع مقالات یافت شده در زمینه فرسایش خاک، تولید رسوب، آبخیزداری و مدیریت بیابان به شرح جدول ۳ است.

جدول ۳- تعداد و توزیع (درصد) مقالات در زمینه‌های مختلف فرسایش و حفاظت خاک

| عبارت جستجو | فرسایش و هدررفت خاک | فرسایش پذیری خاک | فرساینده‌گی رسوب و رسوبدهی باران | معلق گردوغبار و ریزگرد | آبخیزداری | فرسایش آبکنندگی | حفاظت خاک | بیابان‌زایی | جمع |
|-------------|---------------------|------------------|----------------------------------|------------------------|-----------|-----------------|-----------|-------------|-----|
| تعداد       | ۳۴۰                 | ۷۰               | ۳۴                               | ۱۲۰                    | ۱۹۱       | ۹۱              | ۷۶        | ۷۷          | ۱۸۰ |
| درصد        | ۲۹                  | ۶                | ۳                                | ۱۰                     | ۱۶        | ۸               | ۶         | ۷           | ۱۵  |

### ۷- کنگره‌ها و همایش‌ها

کنگره علوم خاک ایران و همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مهم‌ترین کنفرانس‌های ملی مرتبط با موضوع هستند. کنگره علوم خاک ایران دو سالانه بوده و تاکنون ۱۶ بار برگزار شده است. اولین و دومین کنگره علوم خاک ایران به ترتیب در دانشگاه تهران در سال ۱۳۵۱، و در دانشگاه شیراز در سال ۱۳۵۴ برگزار گردید. بعد از انقلاب، سومین کنگره در ۱۵-۱۸ شهریور سال ۱۳۷۱ برگزار گردید و پس از آن تقریباً به صورت مرتب هر دو سال یکبار برگزار شده تا به کنگره فعلی هفدهم در سال ۱۴۰۰ رسیده است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

اولین کنفرانس بررسی مسائل حفاظت خاک و آبخیزداری با حمایت دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری در ۳-۹ شهریور ۱۳۵۲ در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران برگزار شد. در این کنفرانس، تعداد ۱۹ مقاله ارائه شد که تمرکز اصلی آنها بر حفاظت خاک و آبخیزداری به ویژه در حوضه آبخیز سدهای بزرگ است. سه مقاله نیز مرتبط با بیابان لوت، پویایی شن‌های روان، و تثبیت شن‌های روان با روش‌های گوناگون ارائه شد. مجموعه مقالات اولین کنفرانس توسط دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری در سال ۱۳۵۴ به چاپ رسیده است. پانزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران در آبان ماه ۱۳۹۹ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری برگزار شد. تاریخچه و تحلیل کنگره‌های علوم خاک ایران تا کنگره پانزدهم توسط اسفندیارپور بروجنی و همکاران (۲۰۱۸) منتشر شده است. در این تحلیل، توجه اندک به چگونگی مدیریت و حکمرانی خاک در کنگره‌های علوم خاک ایران از جمله نقاط ضعف بیان شده است. گزارش و تحلیل همایش‌های علوم و مهندسی آبخیزداری تا همایش چهاردهم نیز توسط حزباوی و کله‌هوئی (۲۰۲۰) منتشر شده است. در جدول ۴ اطلاعات کلی و تعداد مقالات ارائه شده در مهم‌ترین همایش‌های مرتبط با فرسایش و حفاظت خاک آمده است.

جدول ۴- اطلاعات کلی برخی گردهم‌آبی‌های مرتبط با فرسایش و حفاظت خاک و آبخیزداری

| نام گردهم‌آبی                              | نخستین | آخرین | تعداد کل مقالات | توضیحات                                                          |
|--------------------------------------------|--------|-------|-----------------|------------------------------------------------------------------|
| کنگره علوم خاک ایران                       | ۱۳۵۱   | ۱۳۹۸  | بیش از ۸۴۰۰     | حدود ۹۰۰ مورد فرسایش و حفاظت خاک                                 |
| همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران    | ۱۳۵۲   | ۱۳۹۹  | بیش از ۲۷۰۰     | خشکسالی، سیل، پخش سیلاب، تغییر اقلیم، رسوب، آبخیزداری، زمین‌لغزش |
| همایش ملی فرسایش و رسوب                    | ۱۳۷۴   | ۱۳۸۹  | ۳۴۱             | چهار دوره                                                        |
| کنفرانس ملی با عنوان حفاظت خاک و آبخیزداری | ۱۳۹۴   | ۱۳۹۹  | ۴۱۱             | چهار دوره                                                        |
| همایش ملی بیابان                           | ۱۳۹۱   | ۱۳۹۳  | ۸۸۸             | دو دوره                                                          |
| فرسایش بادی (و طوفان‌های گرد و غبار)       | ۱۳۸۴   | ۱۳۹۶  | ۴۶۹             | چهار دوره                                                        |
| صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست           | -      | ۱۴۰۰  | ۹۰۰             | پنج دوره، دو دوره آخر به صورت بین-المللی                         |
| مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست        | ۱۳۹۳   | ۱۳۹۷  | ۷۳۱             | سه دوره-دوره سوم بین‌المللی                                      |
| همایش بین‌المللی گرد و غبار                | ۱۳۹۴   | ۱۳۹۷  | ۳۲۰             | دو دوره                                                          |

در ۲۷ تا ۳۰ اردیبهشت ۱۳۷۱ سمیناری با عنوان "بررسی مسائل مناطق بیابانی و کویری ایران" توسط مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران دانشگاه تهران برگزار گردید. در این سمینار، ۶۷ مقاله ارائه شد که اغلب آنها (بیش از ۵۰ مقاله) توسط استادان و محققان برجسته کشور با تخصص‌های گوناگون فرسایش و مدیریت بیابان، آب و خاک، هواشناسی و هیدرولوژی، جغرافیا و زمین‌شناسی، گیاه‌شناسی، آموزش و ترویج، اقتصادی و اجتماعی تهیه و ارائه گردید. این سمینار در نوع خود از کم‌نظیرترین همایش‌های ملی در زمینه فرسایش بادی و مسائل بیابان در ایران است که در آن برای نخستین (و شاید آخرین بار)، ابعاد مختلف یک موضوع توسط دانشمندان تراز اول کشور مورد واکاوی قرار می‌گیرد.

تعداد نه همایش ملی (کنفرانس سراسری یا کنفرانس علمی پژوهشی) "آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک" از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۸ (به صورت دوسالانه) توسط انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران در دانشگاه شهید باهنر کرمان برگزار شده است. همچنین تعداد نه همایش ملی یا بین‌المللی نیز با عنوان "سامانه‌های سطوح آبخیز باران" از سال ۱۳۹۱ برگزار شده و دهمین آن نیز برای آبان ماه ۱۴۰۰ برنامه‌ریزی شده است. درصدی از مقالات این همایش‌ها نیز در زمینه فرسایش، حفاظت خاک، تولید رسوب و آبخیزداری بوده است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### ۸- کمیته‌های ملی، قوانین و اسناد

کمیته تخصصی فرسایش و رسوب در سال ۱۳۷۴ در معاونت آبخیزداری وقت آغاز به فعالیت نمود. برگزاری سمینارهای ملی، کارگاه‌های آموزشی ملی و منطقه‌ای، و چاپ چند کتاب از جمله فعالیت‌های این کمیته است. از جمله کتاب‌های تالیف یا ترجمه شده توسط اعضای این کمیته، می‌توان به "فرهنگ تخصصی فرسایش و رسوب"، "حفاظت خاک و آب در آبخیزهای جنگلی"، و "روش‌های سنتی حفاظت خاک و آب در ایران" اشاره کرد. این سه کتاب با همکاری کمیسیون ملی یونسکو، انجمن آبخیزداری ایران و معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری به چاپ رسیدند.

کارگروه فرسایش خاک ستاد توسعه فناوری آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهور در سال ۱۳۸۹ و در پی تشکیل این ستاد ایجاد شد. نخستین مأموریت این کارگروه جمع‌آوری و تدوین تجربیات گذشته و تدوین سند راهبردی بخش فرسایش و حفاظت خاک بود. این سند بعد از تدوین، در ستاد با سند‌های سایر بخش‌ها تلفیق و بعد از چندین بار ویرایش، با عنوان نهایی سند راهبردی توسعه فناوری‌های "آب، خشکسالی، فرسایش و محیط زیست" در شهریور سال ۱۳۹۵ برای ارائه به شورای عالی انقلاب فرهنگی و تصویب در آن شورا، در نشستی یک روزه‌ای توسط اعضای کارگروه‌های مختلف ستاد نهایی شد. در این سند نهایی ستاد، تعداد ۴۷ اقدام اجرایی در قالب هفت راهبرد ذیل عنوان راهبردهای اختصاصی حفاظت خاک، کنترل فرسایش و رسوب "پیشنهاد گردید. توسعه فناوری‌های مدیریتی، زیستی و زیست‌مهندسی در پیشگیری و مهار فرسایش، توسعه فناوری‌های آموزش و ترویج مدیریت و حفاظت خاک و آبخیزداری، تبیین سازوکارهای ارتقای مشارکت ذینفعان در مدیریت و حفاظت خاک و آب، ارتقای توانمندی‌های دانش بنیان برای حفاظت آب و خاک و کنترل رسوب، توسعه و تعالی الگوهای سازمانی و حقوقی حفاظت خاک و اراضی کشور، تبیین معیارها و استانداردهای سازگاری برنامه‌های توسعه متناسب با حفاظت و پایداری منابع خاک، توسعه فناوری‌های مقابله با بیابان‌زایی و ریزگردها، هفت راهبرد پیشنهاد شده هستند. پیگیری تدوین دو پروپوزال کلان ملی با موضوع مدلسازی بومی فرسایش خاک و تعیین حد قابل تحمل فرسایش خاک، و برگزاری دو نشست تخصصی در این دو زمینه (در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) از جمله فعالیت‌های مهم این کارگروه است.

در راستای اجرای قانون الحاق جمهوری اسلامی ایران به کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی ملل متحد، آیین‌نامه تشکیل "کارگروه ملی بیابان‌زدایی" در ۱۳۸۹/۰۵/۲۴ در هیات دولت تصویب گردید. بر اساس این آیین‌نامه، ریاست کارگروه را وزیر جهاد کشاورزی بر عهده دارد و بیش از ۱۵ عضو کابینه (یا نمایندگان ایشان) نیز در آن حضور دارند. ستاد ملی مقابله با پدیده گردوغبار در سازمان حفاظت محیط زیست نیز در راستای اجرای بند یک آیین‌نامه اجرایی "آمادگی مقابله با پدیده گرد و غبار" که در ۱۳۹۵/۴/۲۳ به تصویب هیات وزیران رسید، با مسئولیت رییس سازمان حفاظت محیط زیست و با عضویت ۱۱ عضو کابینه یا نمایندگان آنها تشکیل گردید. بر اساس ماده ۱۸ این آیین‌نامه، سازمان حفاظت محیط زیست موظت گردید، گزارش اجرای آن را هر شش ماه یک‌بار به دفتر هیات دولت ارائه نماید. در تارنمای این ستاد، چهار فعالیت (مبادله موافقت‌نامه برای اجرای سه عنوان طرح؛ پیگیری اجرای اقدامات توسط دستگاه‌ها برای مقابله با پدیده گردوغبار در سطح ۸۰ هزار هکتار؛ راه‌اندازی سیستم پایش گردوغبار با همکاری کشور ژاپن، و برگزاری ۱۰ جلسه در قالب کمیته تخصصی برای تدوین طرح منشاء‌یابی)، به عنوان اهم اقدامات انجام شده توسط این ستاد ذکر شده است. تهیه و تدوین "دستورالعمل فنی ارزیابی کارایی تثبیت‌کننده‌های خاک (مالچ)" (۱۳۹۸)، و انتشار گزارش منشاء‌یابی گردوغبار داخل کشور (۱۳۹۹) از جمله فعالیت‌های ستاد ملی مقابله با پدیده گرد و غبار هستند.

قانون حفظ و حمایت از منابع طبیعی و ذخایر جنگلی کشور (مصوب ۱۳۷۱/۷/۵ مجلس شورای اسلامی)، قانون حفظ کاربری اراضی زراعی و باغ‌ها (مصوب ۱۳۷۴ با اصلاحات ۱۳۸۵)، قانون بهره‌وری بخش کشاورزی و منابع طبیعی (مصوب ۱۳۸۹/۰۴/۲۳ مجلس شورای اسلامی)، آیین‌نامه تشکیل کارگروه ملی بیابان‌زدایی (۱۳۸۹)، آیین‌نامه اجرایی آمادگی مقابله با پدیده گرد و غبار (۱۳۹۵)، و قانون حفاظت خاک (مصوب ۱۳۹۸/۰۳/۰۴ مجلس شورای اسلامی) از جمله قوانین مهمی هستند که موضوع حفاظت خاک را در بر می‌گیرند. در کنار این قوانین، اسناد ملی بسیار مهمی نیز وجود دارند که دستیابی به اهداف آن مستلزم

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

حفاظت از منابع آب و خاک است و یا به طور مستقیم به موضوع حفاظت خاک پرداخته‌اند. از جمله این اسناد می‌توان به؛ (۱) چشم‌انداز بخش کشاورزی سیاست‌های کلی نظام در افق ۱۴۰۴ که در بند ۷ آن، دستیابی به کشاورزی پایدار با مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز آمده است، (۲) نقشه جامع علمی کشاورزی که هدف کلان ۵ آن، ارتقاء و توسعه روش‌های علمی و فنی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و بهره‌برداری پایدار منابع است، (۳) بند ۷ سیاست‌های اقتصاد مقاومتی مبنی بر تامین امنیت غذایی و نیل به خودکفایی در محصولات اساسی که مستلزم حفاظت از کمیت و کیفیت منابع خاک است، و (۴) مواد ۴۱ و ۴۵ احکام برنامه توسعه ششم که شامل مواردی همچون ارتقاء بهره‌وری آب و خاک، توسعه کشاورزی حفاظتی، و اجرای عملیات آب و خاک (سازه‌ای و غیرسازه‌ای) است، اشاره کرد.

نقد اصلی وارد به اسناد بالادستی، عدم تبیین و پیش‌بینی سازوکار اجرایی دستیابی به اهداف این اسناد است که در اغلب موارد نیز بخش اعظم اهداف نیز محقق نشده یا در افق زمانی مدنظر قابل دستیابی نیست. برخی از قوانین موجود نیز دارای نقاط ضعفی هستند که ناشی از عدم درک دقیق کارشناسی از موضوع، و یا بعضاً تناقض ذاتی با روح قانون می‌باشد.

### سپاسگزاری

از آقایان دکتر عرب‌خدری، مهندس بهبودی، دکتر صادقی، دکتر نظری سامانی، دکتر خالدي درویشان، خانم دکتر حباوی، مهندس آویژگان به جهت همکاری، راهنمایی و در اختیار گذاشتن اطلاعات صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

### منابع

احمدی، ح.، ۱۳۷۱. محاسبه آستانه فرسایش بادی و استفاده از آن در ایجاد بادشکن. خلاصه مقالات سمینار بررسی مسائل مناطق بیابانی و کویری ایران، اردیبهشت ۱۳۷۱، مرکز تحقیقات مناطق کویری و بیابانی ایران دانشگاه تهران، یزد.

احمدی، ح.، ف. نخجوانی. ۱۳۴۹، فرسایش بادی در خوزستان، مجله جنگلداری، انتشارات دانشکده جنگلداری، شماره ۲۳.

باختر، ب.، ۱۳۵۲. عملیات حفاظت خاک و آب. اولین کنفرانس بررسی مسائل حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳-۹ شهریور ۱۳۵۲، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

بهرامی، ت.، ۱۳۳۰. تاریخ کشاورزی ایران. انتشارات دانشگاه تهران، ۲۲۷ صفحه.

پاشایی، ع.، ۱۳۵۳. تثبیت بیولوژیکی تپه‌های شنی در خوزستان. دانشگاه جندی شاپور.

پرویزی، ی.، م. عرب‌خدری. ۱۴۰۰. پایش فرسایش خاک در کشور: معرفی ظرفیت آبخیزهای معرف و زوجی کشور. هفدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۲۶-۲۸ مهرماه ۱۴۰۰، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۳۸۶. مطالعات سیمای حوزه‌های آبخیز، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور.

جلالیان، ا.، ا. محمدی مهساره، ح. ر. کریم زاده. ۱۳۷۳. فرسایش و رسوب و علل آن در حوزه‌های آبخیز کشور و ارائه نتایج موردی در بعضی از حوزه‌های آبخیز ایران. چهارمین کنگره علوم خاک ایران، خلاصه مقالات، ص ۹-۱۰.

رفاهی، ح.، ۱۳۹۶. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۶۷۲ ص.

روحی‌پور، ح.، ۱۳۷۳. تعیین ارتفاع بحرانی تپه‌های شنی خوزستان بر اساس نوسانات رطوبت در فصول مختلف سال. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، نشریه ۱۱۲.

ستاد ملی مقابله با گردوغبار. ۱۳۹۹. گزارش منشاء یابی گردوغبار داخل کشور. سازمان محیط زیست کشور، گزارش ایران.

شاهویی، ص.، ۱۳۶۸. بررسی فاکتورهای مؤثر در فرسایش خاک در ایستگاه تحقیقات حفاظت خاک و آب کوئین و تعمیم نتایج در تهیه نقشه فرسایش خاک آبخیز سرشاخه ملارود. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی دانشگاه تهران، ۱۷۰ صفحه.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شرکت ایده پردازان توسعه. ۱۳۹۲. مطالعات تفصیلی- اجرائی و کنترل گالی‌های حوزه کاجو و گرگرو شهرستان چابهار، جلد یازدهم: سنتز و تلفیق، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان سیستان و بلوچستان، معاونت آبخیزداری، سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، وزارت جهاد کشاورزی.

صوفی، م.، ۱۳۹۴. بررسی و طبقه بندی آبکندهای ایران (فاز ۱)، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۹۲ ص.

صوفی، م.، ر. بیات. ۱۴۰۰. روش‌های کنترل و مرمت آبکندها در استان‌های مختلف ایران. مهندسی و مدیریت آبخیز، پذیرفته شده، doi: 10.22092/ijwmse.2021.343122.1800

عرب‌خدری، م.، ۱۳۸۴. بررسی رسوبدهی معلق حوزه‌های آبخیز ایران. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۲، ۶۱-۵۱.

عرب‌خدری، م.، ۱۳۹۳. مروری بر نرخ فرسایش آبی و تولید رسوب در ایران. ترویج و توسعه آبخیزداری. ۲ (۴): ۲۳-۳۰.

عرب‌خدری، م.، ص. شادفر و ر. سکوتی اسکوئی. ۱۳۹۵. تدقیق ارقام فرسایش آبی و تعیین مقدار مجاز آن در کشور. گزارش نهایی طرح پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

عظیم‌زاده، ح.، ع. م. طهماسبی بیرگانی. ۱۴۰۰. برآورد کمی فرسایش بادی در اراضی غیرزراعی و زراعی ایران. گرجی و همکاران (ویراستاران)، چالش‌های منابع خاک ایران (مدیریت و راه‌کارها)، بخش چهارم - فصل چهارم، در دست انتشار.

محمدخان، ش.، ۱۳۹۶. بررسی وضعیت و روند تغییرات طوفان‌های گردوغبار در ایران در دوره زمانی ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۴. مجله مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۷۰ (۲): ۵۱۴-۴۹۵.

نخجوانی، ف.، ۱۳۴۷. بررسی مبارزه با فرسایش بادی در الباجی اهواز. نشریه جنگلداری، شماره ۹.

نیک‌کامی، د.، ص. شادفر. ۱۴۰۰. تهیه نقشه فرسایش خاک در حوضه‌های دارای ایستگاه رسوب‌سنجی کشور. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۳ (۲)، ۴۷۹-۴۹۶.

نیکنام، ف.، ۱۳۵۲. گزارش اقدامات دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری. اولین کنفرانس بررسی مسائل حفاظت خاک و آبخیزداری، ۳-۹ شهریور ۱۳۵۲، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K. et al., 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. Nature Communications 8, 2013. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>.

Esfandiarpour-Borujeni, I., Mosleh, Z., Javaheri, F., 2018. Iranian Soil Science Congress: History (1972–2017) and selected highlights. Geoderma 332, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.007>.

FAO. 2019. Soil Erosion: the greatest challenge to sustainable soil management. Rome. 100 pp.

Hazbavi, Z. Kolehhouei M., 2020. Watershed Management Sciences and Engineering Conference in Iran: History and Highlights. Ecopersia, 8(4):231-245.

Mohammadi, Sh., Balouei, F., Haji, Kh., Khaledi-Darvishan, A., Karydas, C.G., 2021. Country-scale spatio-temporal monitoring of soil erosion in Iran using the G2 model. International Journal of Digital Earth, 14:8, 1019-1039, DOI: 10.1080/17538947.2021.1919230.

Morgan, R.C.P. 2005. Soil Erosion and Conservation. Third Edition, Blackwell Publisher, Oxford, London.

Nearing, M. A., Xie, Y., Liu, B., Ye, Y., 2017. Natural and anthropogenic rates of soil erosion. International Soil and Water Conservation Research, 5(2), 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.04.001>

Soufi, M., Bayat, R., Charkhabi, A.H., 2020. Gully erosion in IR Iran: characteristics, processes, causes, and land use. In: Gully erosion studies from India and surrounding regions. Cham: Springer; p. 357–368.

## مروری بر روشهای تشخیص ضرورت در پاکسازی خاک (Soil cleanup)

شاهین اوستان

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (oustan@hotmail.com)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### چکیده

پاکسازی به معنای حذف آلاینده‌ها از خاک و یا محدود کردن اثرات منفی آنهاست. آگاهی از هزینه‌های سرسام‌آور آلودگی‌زدایی خاک بر لزوم جلوگیری از آلودگی خاک و نیز غربالگری و پایش خاکها به منظور قطع یا کاهش نشر آلاینده‌های زیست‌محیطی تاکید دارد. با اینحال، همواره برخی نقاط آلوده (hot spots) وجود خواهند داشت که نیاز به پاکسازی دارند، البته با تکنیکی مناسب که مقرون به صرفه، دوستدار محیط زیست و پایا باشد. نقاط آلوده نقاطی هستند که غلظت آلاینده در آنها فراتر از یک استاندارد معین است. این استاندارد که سطح کنش (action level) نامیده می‌شود را می‌توان با توجه به چیزی که در خطر است (انسان به صورت مستقیم یا غیرمستقیم، گیاه، حیات وحش، آب‌یرزمینی و حتی خود خاک) تعیین کرد. همچنین، سطح پاکسازی (cleanup level) با استفاده از غلظت‌های زمینه یا آستانه مشخص می‌شود. غلظت آستانه غالباً حد اطمینان ۹۵ درصد میانگین غلظت آلاینده در خاکهای غیرآلوده است که به صورت منطقه‌ای (regional) تعیین می‌شود. تعیین سطح کنش در وهله اول مستلزم تخصیص سطح ریسک قابل قبول برای هر نوع خطر پیش‌بینی شده و سپس آگاهی از شرایط مواجهه (exposure) است. آنچه چالش برانگیز بوده، خطر آلاینده‌ها برای سلامت خاک (soil health) است ولی به نظر می‌رسد تا کمی‌سازی آن راه درازی در پیش باشد.

**واژگان کلیدی:** آلودگی‌زدایی خاک، سطح پاکسازی، سطح کنش، سلامت خاک، غلظت آستانه

### مقدمه

تعبیر عامه از آلودگی خاک عمدتاً به تخلیه عمدی پسماندهای صنعتی و شهری، نشت غیرعمدی از لوله‌ها و مخازن نفتی، فرآیند استخراج فلزات و سوانحی مانند واژگونی تانک‌های حامل مواد شیمیایی محدود می‌شود. در حالی که نقش تصفیه خانه‌های فاضلابی که استانداردها را رعایت نمی‌کنند، واحدها و شهرک‌های صنعتی که به ظاهر دارای سیستم تصفیه فاضلاب هستند، معادنی که با ارزیابی زیست محیطی ضعیف و حتی صوری استخراج می‌شوند، واحدهایی که با پرداخت جریمه به نشر آلاینده‌ها ادامه می‌دهند و قاچاق کودها و سموم شیمیایی غیراستاندارد و خطرناک به داخل کشور، در آلودگی خاک پنهان است. بهترین کنش (action) در گریز از آلودگی خاک، جلوگیری از آلوده شدن خاک (soil pollution prevention) و نه پاکسازی خاک (soil cleanup) است. ولی متأسفانه تلاشها برای ترویج فرهنگ ارزش قائل شدن به خاک، اجرای قانون حفاظت از خاک (به‌ویژه مسئولیت‌پذیری واحدهای آلوده‌کننده خاک)، مدیریت پسماند و بازیافت و ترویج کشاورزی ارگانیک آنچنان که باید موثر نبوده‌اند. لذا، دیری نخواهد پایید که مواجهه با پاکسازی خاک یک امر اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. مگر آنکه دیگر بحران‌های خطر زیست‌محیطی (مانند کمبود آب، گرمایش جهانی و غیره) پیش‌دستی نمایند! هزینه‌های پاکسازی خاک به قدری بالاست که حتی کشورهای ثروتمند را با مشکل روبرو می‌کند، لذا حداکثر قابل قبول غلظت آلاینده‌های خاک در کشورهای کم‌درآمد منطقاً باید بیشتر از کشورهای ثروتمند باشد. عدم مشاهده چنین وضعیتی، گاهی می‌تواند به معنای صوری بودن این حدود در کشورهای کم‌درآمد باشد. آنچه پیش از تعیین این حدود که سطوح کنش (action levels) نیز نامیده می‌شوند، باید مشخص شود آن است که چه چیز در خطر است، به طور مستقیم در خطر است یا غیرمستقیم و چه سطحی از ریسک قابل قبول می‌باشد. همچنین، آگاهی از این موارد برای تعیین سطحی از آلودگی که متعاقب پاکسازی خاک برقرار خواهد بود (cleanup level)، ضروری است. در ادامه به این مطالب پرداخته خواهد شد.

### تعریف پاکسازی خاک

پاکسازی خاک (soil cleanup) کنشی است در پاسخ به رهاسازی بالفعل یا بالقوه مواد خطرناک (hazardous materials) از خاک که می‌تواند برای انسان یا محیط زیست زیان‌آور باشد. دو نوع پاکسازی خاک وجود دارد (USEPA, 1994):  
۱- پاکسازی حذفی (removal cleanup) که پاسخی است سریع، محدود و موقتی به رهاسازی مواد خطرناک از خاک و عمدتاً با حفاری و انتقال خاک آلوده به محلی مناسب آغاز می‌شود.  
۲- پاکسازی اصلاحی (remedial cleanup) که پاسخی است زمان‌بر، گسترده و ماندگار به رهاسازی مواد خطرناک از خاک و در آن حذف، کاهش غلظت، تجزیه، تغییر شکل (به منظور سم‌زدایی یا detoxification) و نامتحرک کردن به منظور جلوگیری از پخش آلاینده‌ها مد نظر است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

برای نامتحرک کردن (immobilization) آلاینده‌های خاک می‌توان از اصلاحگرها (amendments) استفاده کرد. البته اصلاحگر هر نوع ماده افزودنی به خاک (soil additive) است که سبب تغییر مثبت در شرایط آن می‌شود. بنابراین، از اصلاحگر می‌توان در هر دو کنش که بازسازی (restoration) و بهسازی (improvement) نامیده می‌شوند، استفاده کرد. وقتی یک خاک ذاتاً غیرحاصلخیز، کود فسفر دریافت می‌کند، این کنش از نوع بهسازی است، ولی وقتی یک خاک به دست بشر آلوده به سرب می‌شود و متعاقب آن برای نامتحرک‌سازی سرب، کود فسفر افزوده می‌شود، این کنش از نوع بازسازی است. ترجیح این است که اصلاحگرهای بازساز دوستدار محیط‌زیست (environmentally friendly) باشند که در اصلاح سبز (green remediation) مورد استفاده قرار می‌گیرند. یک مثال، حذف کروم شش ظرفیتی از خاک با کوکوپیت است (Khorshod *et al.*, 2020)، ولی استفاده از دوفلزها (bimetals) (Khorshod *et al.*, 2021)، اصلاح سبز محسوب نمی‌شود و حتی گاهی پتانسیل آلودگی ثانویه (secondary contamination) را نیز دارد (Zhu *et al.*, 2017). علاوه بر این، مقرون به صرفه بودن و ماندگاری نیز حائز اهمیت است. چشم انداز استفاده از اصلاحگرهای بازساز را می‌توان به صورت ذیل خلاصه کرد (Palansooriya *et al.*, 2020):

- ۱- اصلاحگرهای بدیع خاک (novel soil amendments)، ۲- اصلاحگرهای ترکیبی خاک (combined soil amendments)، ۳- اصلاحگرهای جفتی خاک (coupled soil amendments)، ۴- اصلاحگرهای مرکب خاک (composite soil amendments)، ۵- اصلاحگرهای تغییر یافته خاک (modified soil amendments).

بیشترین تحقیقات انجام شده در رابطه با شماره‌های ۴ و به‌ویژه ۵ است. برای مثال، تحقیقات نشان داده است که نانوذرات آهن (nZVI) برای حذف کروم شش ظرفیتی از خاک نیاز به تثبیت (stabilization) دارند (Reyhanitabar *et al.*, 2012). گزارش شده است که بایوچار (biochar) می‌تواند در قالب یک اصلاحگر مرکب، نانوذرات آهن را حمایت کند (Wang *et al.*, 2019). همچنین، بهترین مثالها از اصلاحگرهای تغییر یافته را می‌توان در بایوچارهای و کانی‌های رس یافت. از بایوچارهای بال میل شده (Ramezanzadeh *et al.*, 2021) و نیز کانی‌های رس بال میل شده (Di Leo *et al.*, 2019) در حذف کادمیم فرآهم از خاک استفاده شده است. علاوه بر تغییرات فیزیکی، تغییرات شیمیایی مانند اکسایش شیمیایی و احیای شیمیایی (Lee and Park, 2020) برای بایوچار و تغییرات شیمیایی مانند exfoliation/restacking, intercalation و pillaring برای کانی‌های رس (Del Mar Orta *et al.*, 2020) باعث ارتقای کارایی، به‌منظور نامتحرک کردن آلاینده‌های خاک شده است.

### مبانی ضرورت سنجی برای پاکسازی خاک

لزوم پاکسازی با کمک استانداردهای پاکسازی خاک (soil cleanup standards) که به نوعی حداکثر قابل قبول غلظت آلاینده در خاک (maximum admissible concentration) هستند، مشخص می‌شود. با اینحال، چنانچه غلظت آلاینده در خاک بیشتر از استاندارد مربوطه باشد، ضرورتاً پاکسازی انجام نمی‌شود و ممکن است مطالعات بیشتری لازم باشد. در نهایت، عوامل مدیریتی مانند عوامل اقتصادی و اجتماعی تعیین‌کننده ضرورت پاکسازی خاک خواهند بود. این استانداردها لزوماً با معیارهای پاکسازی خاک ارائه شده توسط EPA (Environmental Protection Agency) مطابقت ندارند. معیارهای ارائه شده توسط EPA سطوح غربالگری خاک (soil screening levels, SSLs) نامیده می‌شوند. در واقع این سطوح در ایالات متحده صرفاً برای محوطه‌های صنعتی که در فهرست اولویت‌های ملی (National Priorities List, NPL) درج شده‌اند و از بودجه دولتی (superfund) برای پاکسازی بلند مدت آنها استفاده می‌شود، سطوح کنشی خاک (soil action levels) محسوب می‌شوند. کاربری آتی این محوطه‌ها ممکن است مسکونی باشد. با این حال، این سطوح به عنوان الگویی برای غربالگری سایر محوطه‌ها اعم از شهری، صنعتی، تجاری، کشاورزی و غیره نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. باید در نظر داشت که سطوح غربالگری خاک صرفاً اثرات منفی بلند مدت قرارگیری انسان در معرض خاک آلوده را پوشش می‌دهند و برای صدمات حاد کارایی ندارند. سطوح غربالگری خاک تحت عناوین دیگری مانند مقادیر راهنمای خاک (soil guideline values, SGVs) نیز شناخته می‌شوند (Jeffries, 2009). سطوح غربالگری خاک به دو دسته عمومی (generic SSLs) و اختصاصی (site-specific SSLs) تقسیم می‌شوند. مقدار عددی سطوح غربالگری عمومی برای آلاینده‌های آلی و معدنی مختلف با لحاظ کردن مقادیر پیش فرض (default) برای پارامترهای مختلف در دسترس است (USEPA, 1996a). این سطوح هم برای مناطق مسکونی و هم برای مناطق صنعتی ارائه شده‌اند. در محاسبه این سطوح، مواجهه از طریق بلع (ingestion) و تماس با پوست (dermal contact) به صورت یکجا در نظر گرفته شده و به دلیل پیچیدگی موضوع و احتیاط، اغلب مقادیری برای سطوح غربالگری مربوط به استنشاق (inhalation) چه به صورت بخار و چه به صورت

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

ذره‌ای، ارائه نشده است. علاوه بر خطر تماس مستقیم با خاک، مقادیری از سطوح غربالگری نیز برای خطر آلودگی آبهای زیرزمینی ارائه شده است، برای مثال، سطوح غربالگری خاک مربوط به کادمیم (Cd) از بابت خطر بلع و تماس با پوست در مناطق مسکونی و صنعتی به ترتیب ۷۰ و ۹۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ذکر شده است. همچنین، مقدار عددی SSL برای خطر مهاجرت Cd به آبهای زیرزمینی در مناطقی که سطح ایستابی کم عمق بوده و یا سازند ناحیه غیراشباع از نوع گسل‌دار و یا کارستی باشد، ۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم پیشنهاد شده است. بدیهی است، با تغییر شرایط منطقه و نیز تغییر فرضیات مواجهه (exposure assumptions)، مقادیر SSL نیز تغییر کرده و در این صورت ضروری است که از سطوح غربالگری خاک اختصاصی که سطوح غربالگری منطقه‌ای (regional screening levels, RSLs) نیز نامیده می‌شوند، استفاده شود (USEPA, 1996a). استاندارد پاکسازی کادمیم برای خاکهای غیراسیدی ایران در مناطق مسکونی و صنعتی به ترتیب ۲۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم توصیه شده است (معاونت محیط زیست انسانی، ۱۳۹۳) که خیلی کوچکتر از غلظتهای فوق‌الذکر بوده و سوال برانگیز است. این تفاوت ممکن است به دلیل لحاظ کردن خطر استنشاق خاک آلوده در استاندارد ایران باشد ولی چگونگی محاسبه آن نامعلوم است.

### اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌های خاک

نمونه‌برداری از خاک به منظور اندازه‌گیری غلظت آلاینده در سه مرحله انجام می‌شود:

- ۱- نمونه‌برداری قبل از پاکسازی (pre-cleanup sampling)، ۲- نمونه‌برداری بعد از پاکسازی (post-cleanup sampling)،
  - ۳- نمونه‌برداری برای تعیین غلظت زمینه (background concentration) یا غلظت آستانه (threshold concentration)
- نمونه‌برداری از خاک آلوده برای ارزیابی خطرات ناشی از مواجهه مستقیم (بلع، استنشاق و تماس با پوست) تا عمق ۲ سانتی‌متری بوده و وسعت ناحیه مواجهه در مناطق شهری (residential exposure area) به‌منظور اخذ یک نمونه مرکب نباید بیشتر از ۰/۲ هکتار باشد. تعداد زیرنمونه‌ها نیز بین ۱ تا ۶ تغییر می‌کند. به دلیل اینکه برآورد میانگین واقعی غلظت آلاینده در خاک یک منطقه آلوده همواره با یک عدم قطعیت (uncertainty) همراه است، در صورت نرمال بودن توزیع داده‌ها از ۹۵ درصد حد بالایی اطمینان (upper confidence limit, UCL) برای میانگین استفاده می‌شود که غلظت نقطه مواجهه (exposure point concentration, EPC) نام دارد. در صورتی که توزیع نرمال نباشد، روش یاده شده بیش‌برآوردی داشته و لذا پاکسازی غیرضروری توصیه خواهد شد. از طرف دیگر، عدم قطعیت نمونه‌برداری سبب خطای تصمیم‌گیری (decision error) نیز می‌شود. لذا، به‌منظور احتراز از این خطا، باید تعداد نمونه مرکب خاک به قدر کافی زیاد باشد. راه حل دیگری که پیشنهاد می‌شود، مشخص کردن یک محدوده پیش فرض از 0.5SSL تا 2SSL تحت عنوان ناحیه خاکستری (gray region) است. در واقع، این کار توازن را بین هزینه‌های نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها از یک طرف و اخذ یک تصمیم نادرست از طرف دیگر برقرار می‌کند. با در نظر گرفتن حد 0.5SSL، فقط ۲۰ درصد احتمال وجود دارد که تصمیم به پاکسازی گرفته شود، در حالی که نیاز واقعی به آن وجود ندارد (خطای نوع II). همچنین، با در نظر گرفتن حد 2SSL، فقط ۵ درصد احتمال وجود دارد که تصمیم به پاکسازی گرفته نشود، در حالی که نیاز واقعی به آن وجود دارد (خطای نوع I) (USEPA, 1996a). بعد از پاکسازی خاک آلوده دو هدف می‌تواند مد نظر باشد. یکی اینکه میانگین غلظت آلاینده در خاک منطقه پاکسازی شده از غلظت زمینه یا آستانه کمتر باشد (average cleanup goal) و دیگری اینکه غلظت آلاینده حتی در یک نمونه مرکب نیز بیشتر از غلظت زمینه یا آستانه نباشد (not-to-exceed cleanup goal). معمولاً روش دوم برای مناطق با وسعت زیاد قابل توصیه است (USEPA, 2004). انواع مختلفی از غلظت زمینه برای آلاینده‌های خاک پیشنهاد شده است. غلظت‌های زمینه ژئوشیمیایی (geochemical background concentrations) و نیز غلظت‌های مرجع ماقبل صنعتی‌شدن (preindustrial reference concentrations) اصولاً برای رسوبات آلوده پیشنهاد شده و برای خاکها مناسب نیستند. برخی کشورها مقادیری را تحت عنوان غلظت‌های زمینه ملی (national background concentrations) معرفی کرده‌اند ولی آنچه قابل توصیه است غلظت‌های زمینه منطقه‌ای (regional background concentrations) است. در به‌دست آوردن این مقادیر باید حذف داده‌های پرت (outliers) به روش آماری مناسب، ضرورت نرمال بودن توزیع داده‌ها و نیز تناوب حد تشخیص (detection limit, DL) و مقدار عددی صفر برای نقاطی که غلظت در آنها کمتر از DL است را در نظر داشت. غلظت زمینه (background concentration) به‌عنوان محدوده‌ای که با سطح اطمینان ۹۵ درصد محاسبه شده، تعریف می‌گردد. این محدوده برای Cd در خاکهای جهان ۰/۱ تا ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم ذکر شده است (Kubier

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

(et al., 2019). در حالی که غلظت آستانه (threshold concentration) به صورت حد بالایی این محدوده تعریف می شود و از رابطه زیر قابل محاسبه است (USEPA, 2002a):

$$UCL = \bar{x} + 2 \times \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

که در آن،  $\bar{x}$  میانگین،  $s$  انحراف معیار و  $n$  تعداد نمونه است. برای مثال، غلظت آستانه Cd در خاکهای جهان برابر ۱ میلی گرم بر کیلوگرم خواهد بود (Toth et al., 2016).

### ملاکهای تعیین سطوح غربالگری خاک

تعیین مقادیر SSL می تواند با توجه به ملاکهای مختلفی صورت گیرد که در ذیل به آنها پرداخته می شود:

۱- *غلظت آستانه*: این غلظت به صورت ۹۵ درصد حد بالایی اطمینان (UCL) برای میانگین تعریف می شود (Reimann et al., 2005) و در تعداد زیادی از ایالتهای آمریکا مانند کنتاکی ملاکی برای تعیین SSL است. با اینحال، در برخی دیگر از ایالتها مانند ایلی نویز از میانگین و در برخی دیگر مانند رودآلیند از حداکثر غلظت استفاده می شود. این قبیل ملاکها پدوشیمیایی بوده و هیچ ارتباطی به اثرات منفی آلاینده های خاک بر سلامت انسان یا به طور کلی اکوسیستم (اعم از مستقیم یا غیرمستقیم) ندارند (Teaf et al., 2010).

۲- *سلامت انسان*: متداولترین ملاک برای تعیین SSL است و خطر مواجهه مستقیم با خاک آلوده از طرق بلع (ingestion)، استنشاق (inhalation) و تماس با پوست (dermal contact) را با آگاهی از درونبری امن (safe intake) و نیز مشخص کردن ریسک هدف (target risk) یا ریسک قابل قبول و نیز شرایط مواجهه (exposure conditions) مد نظر قرار می دهد. فرمول کلی برای محاسبه SSL به صورت زیر است (USEPA, 2002b):

$$SSL(mg/kg) = \frac{Target\ risk \times Safe\ intake}{Exposure} \quad (2)$$

درونبری امن از مطالعات سم شناسی بر روی حیوانات آزمایشگاهی و سپس تنظیم آن برای انسان به دست می آید. درونبری امن نسبت سطحی از درونبری بدون اثرات زیان آور قابل مشاهده (No observed adverse effects level, NOAEL) به فاکتور ایمنی (safety factor) است. شرایط مواجهه نیز شامل مدت زمان مواجهه، تواتر مواجهه و غیره است. ریسک هدف برای خطر غیرسرطان به صورت خارج قسمت خطر (hazard quotient, HQ) تعریف می شود و برای آن مقدار عددی ۱ بحرانی است. HQ در واقع نسبت درونبری واقعی (actual intake) به درونبری امن (safe intake) است. ریسک هدف برای خطر سرطان به صورت ریسک سرطان (cancer risk, CR) تعریف می شود و برای آن مقدار عددی  $10^{-6}$  بحرانی است. با اینحال، سطوح متفاوتی از ریسک سرطان برای ایالتهای مختلف آمریکا تعیین شده است. برای مثال، این سطوح برای آرسنیک (As) در ایالتهای تگزاس و ویسکانزین به ترتیب  $10^{-4}$  و  $10^{-7}$  هستند. بدین ترتیب، مقادیر SSL برای ایالتهای یاد شده به ترتیب  $0.39/0$  و  $24$  میلی گرم بر کیلوگرم خواهند بود که تفاوت فاحشی با یکدیگر دارند (Teaf et al., 2010). علاوه بر این، شرایط مواجهه از قبیل امید به زندگی، میانگین وزن بدن و غیره نیز می توانند بر حسب موقعیت جغرافیایی و نژاد متفاوت باشند.

۳- *سلامت غذا*: در این ملاک، سلامتی انسان به صورت غیرمستقیم از طریق مسیر خاک-گیاه-انسان (soil-plant-human) و با مصرف میوه، سبزی و غیره در معرض خطر آلاینده های خاک است. فرمول مورد استفاده مشابه آنچه در بالا برای سلامت انسان ذکر گردید است، با این تفاوت که مقادیر فاکتور انباشت زیستی (bioaccumulation factor) برای قسمت های خوراکی گیاه نیز باید لحاظ شود. این مقادیر برای شش فلز سنگینی که در لجن فاضلاب یافت می شوند (شامل آرسنیک، کادمیم، جیوه، نیکل، سلیسیم و روی) در دسترس است. با اینحال، داده های محدودی در رابطه با آلاینده های آلی در اختیار است (USEPA, 1996b). یکی از اشکالات مهم در استفاده از مقادیر فاکتور انباشت زیستی آن است که امکان دارد رابطه غلظت آلاینده در گیاه و غلظت آن در خاک مقدار عددی ثابتی نبوده و به صورت خطی یا خطی تغییر کند. موارد متعددی از روابط خطی و غیرخطی (Moustakas et al., 2001; Efromymson et al. 2001) گزارش شده است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

۴- سلامت حیات وحش: محاسبات تقریباً مشابه خطر سلامتی برای انسان بوده و ریسک محور است. با اینحال، خطرات اکولوژیکی خاک آلوده مد نظر قرار می‌گیرد. ساده‌ترین فرمول برای محاسبه SSL که عموماً به صورت Eco-SSL نشان داده می‌شود، در زیر ارائه شده است (USEPA, 2005a):

$$Eco-SSL = \frac{TRV}{FIR \times [P_s + BAF]} \quad (3)$$

که در آن،  $TRV$  مقدار عددی مرجع برای سمیت (toxicity reference value) است و می‌توان آن را معادل بزرگترین مقدار عددی گزارش شده برای  $NOAEL$  دانست،  $FIR$  میزان مصرف غذا،  $P_s$  کسری از غذا که آن را خاک تشکیل می‌دهد و  $BAF$  فاکتور انباشت زیستی است. لازم به ذکر است که مقادیر  $TRV$  صرفاً برای پستانداران و پرندگان و نه دوزیستان و خزندگان قابل استفاده می‌باشد.

۵- سلامت آب‌یرزمینی: SSL برای آلاینده‌های معدنی از رابطه زیر به دست می‌آید (USEPA, 1996a):

$$SSL = LSL \times \left[ K_d + \frac{\theta_v}{\rho_b} \right] \quad (4)$$

که در آن،  $LSL$  سطح غربالگری شیرابه (leachate screening level) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر،  $K_d$  ضریب توزیع آلاینده معدنی بر حسب لیتر بر کیلوگرم خاک،  $\theta_v$  تخلخل آب‌پر (water-filled porosity)، و  $\rho_b$  چگالی ظاهری خاک، است.  $LSL$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$LSL = MSL \times DAF \quad (5)$$

که در آن،  $MCL$  حداکثر سطح آلاینده (maximum contamination level) برای آب چاه بهره‌برداری و  $DAF$  فاکتور رقت-تضعیف (Dilution-attenuation factor) است که برای آن مقدار عددی ۲۰ پیش‌فرض بوده و مقدار عددی ۱ نیز برای سطح ایستابی کم‌عمق و یا وقتی که سازند ناحیه غیراشباع از نوع گسل‌دار و یا کارستی است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای آلاینده‌های آلی به جای  $K_d$  از  $K_{OC} f_{OC}$  استفاده می‌شود که در آن،  $K_{OC}$  ضریب تقسیم کربن آلی (organic carbon partition coefficient) بر حسب لیتر بر کیلوگرم کربن آلی و  $f_{OC}$  کسر کربن آلی خاک است  $K_{OC}$  از روی مقادیر  $K_{OW}$  مربوط به آلاینده آلی برآورد شده و برای  $f_{OC}$  نیز از مقدار عددی بحرانی ۰/۰۰۲ استفاده می‌شود. از هیدروکسیدهای مضاعف لایه‌ای (LDH) برای ممانعت از انتقال نیترات به آبهای زیرزمینی استفاده شده است (Halagnia, et al., 2016).

۶- سلامت گیاه: در مورد این ملاک، گیرنده (receptor) گیاه است و Eco-SSL برابر است با نسبت غلظت سم در خاک به حداکثر غلظت قابل قبول سم (maximum acceptable toxicant concentration, MATC) که از میانگین هندسی NOAEC و LOAEC به دست می‌آید. NOAEC بالاترین غلظتی از آلاینده در خاک است که در آن اثرات زیان‌آور قابل مشاهده نیست. LOAEC نیز پایین‌ترین غلظتی از آلاینده در خاک است که در آن اثرات زیان‌آور آغاز می‌شود. در مورد گیاه، دو انتخاب به عنوان endpoint وجود دارد، یکی زیتوده و دیگری صفات فیزیولوژیک (مانند شدت فتوسنتز، مقدار کلروفیل و غیره) که زیتوده متداولتر است. با توجه به اینکه عوامل خاکی مانند pH، مقدار کربن آلی خاک و غیره بر زیست‌فرآهمی (bioavailability) آلاینده برای گیاه تاثیر گذارند، تعیین مقدار عددی Eco-SSL با امتیازدهی (scoring) به این عوامل انجام می‌شود. برای مثال، در مورد فلز کاتیونی، چنانچه pH خاک در بازه ۴ تا ۵/۵ بوده و مقدار مواد آلی کمتر از ۲ درصد باشد، فرآهمی زیاد بوده و امتیاز ۲ تعلق خواهد گرفت. ولی برای فلز آنیونی در همین شرایط فرآهمی متوسط بوده و امتیاز ۱ خواهد بود (USEPA, 2005a). در عمل، میانگین هندسی مقادیر MATC برای ۱۴ گونه گیاهی که در شرایط خاکی مختلف از نظر pH و مقدار مواد آلی خاک مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، به عنوان Eco-SSL در نظر گرفته می‌شود که برای Cd برابر ۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (USEPA, 2005b). خطر آلاینده‌های خاک از نظر سمیت گیاهی (phytotoxicity) در محوطه‌های آلوده مانند معادن متروکه که قرار است در آنها پروژه‌های بازسازی (rehabilitation) انجام شود، مطرح است، هرچند در معادن فعال نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Moor et al., 2016).

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

۷-سلامت خاک: در این مورد بی‌مهرگان خاک (به‌ویژه کرم‌های خاکی) مورد توجه قرار گرفته‌اند. مقادیر NOAEC و LOAEC برای کرم‌های خاکی (اغلب *Eisenia fetida*) که در یک خاک مدل (۶۹ درصد شن ریز، ۲۰ درصد کائولن، ۱۰ درصد پیت اسفنگنوم، ۱ درصد کربنات کلسیم با pH برابر ۶) در معرض آلاینده‌های مختلف قرار گرفته‌اند، گزارش شده است. پارامتر پاسخ (response parameter) نیز اغلب مراحل مختلف تولید مثل بوده است (Efroymson *et al.*, 1997). در عمل، میانگین هندسی مقادیر MATC برای سه گونه از بی‌مهرگان خاک که در ۶ خاک با pH مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، به‌عنوان Eco-SSL در نظر گرفته می‌شود که برای Cd برابر ۱۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (USEPA, 2005b). این غلظت بسیار بزرگتر از غلظت‌های زمینه و آستانه است.

تحقیقات مشابهی برای ریزجانداران خاک نیز انجام شده است. با اینحال، خاک‌های مورد مطالعه، بافت، pH و مقدار مواد آلی متفاوتی داشته و فعالیت‌های میکروبی مختلفی (مانند تنفس، نیترات‌سازی، معدنی‌شدن نیتروژن و فعالیت آنزیم‌های دهیدروژناز، فسفاتاز و اوره‌آز) به‌عنوان پارامتر پاسخ مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Efroymson *et al.*, 1997). از اینرو، عملاً مقادیری برای Eco-SSL از بابت خطر برای ریزجانداران خاک ارائه نشده است (USEPA, 2005a). یکی از دلایل ذکر شده آن است که وقتی تعیین ریسک قابل قبول برای جانداران عالی (higher organisms) دشوار است، بنابراین برای میکروبیها غیرممکن خواهد بود. به‌علاوه، تغییرات شدید مکانی (در فواصل میلی‌متری) و زمانی (دقیقه تا ساعت) جوامع میکروبی خاک نیز مزید بر علت است. همچنین، وقتی endpoint میکروبی است، عوامل محیطی مانند دما، رطوبت، اکسیژن و سایر عوامل غیرمرتبط با آلودگی به‌شدت آن را تحت تاثیر قرار می‌دهند. پاسخ میکروبی به یک ماده شیمیایی در گزارشات مختلف، بدون توضیح قابل قبولی، در بازه غلظتی کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تا بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شده است (SETAC, 1999). به‌طور تعجب‌آوری، تنوع تاکسونومیک بالا برای ریزجانداران عملکردی خاک (soil functional microorganisms) مانند مایکورایزا که سبب می‌شود با حذف یکی، دیگری جایگزین آن شود (USEPA, 2003)، از جمله دلایل این تصمیم‌گیری ذکر شده است. بی‌مهرگان خاک مقادیر متنابهی از آلاینده‌ها را بدون بروز پاسخهای منفی در پیکره خود انباشته می‌کنند، در حالی که ریزجانداران خاک به‌ویژه آنهایی که در عملکرد خاک (soil functions) سهیم هستند، تدریجاً حذف شده و در نهایت تنوع زیستی خاک (soil biodiversity) کاهش می‌یابد (مصطفایی و همکاران، ۱۳۹۶). در حال حاضر، تحقیقاتی در جریان است تا بهترین شاخص برای تنوع عملکردی (functional diversity) پیدا شود. در این رابطه، تعیین مناسبترین endpoint (فعالیت آنزیمی، جامعه میکروبی و متابولیسم میکروبی) حائز اهمیت است و شاخص‌های تنوع عملکردی مبتنی بر فعالیت آنزیمی (enzyme-based functional diversity indices) بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. همچنین، کمی‌سازی مستلزم استفاده از یک مدل ریاضی است که مدل‌های میانگین وزن‌دهی شده (weighted mean)، شانون (Shannon) و سیمپسون (Simpson) بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شاخصی که بر مبنای فعالیت آنزیمی بوده و با استفاده از مدل میانگین وزن‌دهی شده محاسبه می‌شود به‌صورت زیر است (Lessard *et al.*, 2014):

$$FD = \frac{\sum_{i=1}^n [w_i \times (\%EA)_i]}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

که در آن، FD تنوع عملکردی، EA فعالیت آنزیمی و  $w_i$  وزن اختصاص یافته به هر آنزیم است. %EA نیز از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\%EA = \frac{EA_C}{EA_R} \times 100 \quad (7)$$

که در آن،  $EA_C$  فعالیت آنزیم در خاک آلوده و  $EA_R$  فعالیت آنزیم در خاک شاهد است. وزن اختصاص یافته به هر آنزیم ( $w_i$ ) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$w_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i}$$

(۸)

که در آن،  $v_i$  بردار ویژه (eigenvector) نخستین مولفه اصلی (principal component) است.

#### نتیجه‌گیری

لزوم پاکسازی با کمک استانداردهای پاکسازی خاک که به نوعی حداکثر قابل قبول غلظت آلاینده در خاک هستند، مشخص می‌شوند. روش تعیین این استانداردها بستگی به آن دارد که چه چیز ممکن است در معرض خطر باشد. خطرات می‌توانند متوجه انسان (به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم)، گیاه، حیات وحش، آب زیرزمینی و غیره باشند. در این راستا، نوع کاربری زمینی که خاک آن آلوده شده است نیز تعیین‌کننده خواهد بود. روشهایی که بر مبنای غلظت‌های زمینه یا آستانه هستند نیازی به در اختیار بودن پارامترهای خاص و محاسبات پیچیده نداشته ولی برای مناطق صنعتی مناسب نیستند. این غلظت‌ها بیشتر برای تعیین سطح آلودگی پس از پاکسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. روشی که در آن سلامت انسان محور اصلی است برای محوطه‌های صنعتی با کاربری آبی مسکونی و نیز خود محوطه‌های صنعتی و معدنی مناسب است. با این حال، استانداردهای پاکسازی عمومی، همچنان که در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرند، از صحت کافی برخوردار نبوده و استانداردهای منطقه‌ای نیز نیاز به پارامترهای ویژه آن منطقه (مثلاً سطح ریسک قابل قبول) دارند. یکی از اصلی‌ترین ضرورت‌ها اعتبارسنجی استانداردهای پاکسازی عمومی است که فعلاً مورد استفاده هستند. در اراضی کشاورزی خطرات هم به‌طور مستقیم و هم به‌طور غیرمستقیم متوجه سلامتی انسان هستند. خطر سمیت آلاینده‌های خاک برای گیاه بیشتر مناسب محوطه‌های صنعتی، معدنی و بازرگانی که قرار است در آنها پروژه‌های بازسازی انجام شود. این محوطه‌ها وقتی بدون نظارت و پایش به حال خود رها می‌شوند، بیشترین پتانسیل را برای آلوده کردن آبهای سطحی و زیرزمینی و نیز به خطر انداختن حیات وحش دارا هستند. بنا بر دلایلی، تاکنون از سوی EPA استاندارد پاکسازی که مبنای میکروبی داشته باشد برای خاک ارائه نشده است. با اینحال، گزارشات مبنی بر کاهش تنوع زیستی خاک زنگ خطری است که تداوم تلاشها برای تحقق این امر را می‌طلبد.

#### تشکر و قدردانی

از راهنمایی‌های همکار ارجمندم دکتر ناصر علی اصغرزاد کمال تشکر را دارم.

#### فهرست منابع

مصطفائی خرواق م، علی اصغرزاد ن، اوستان ش. (۱۳۹۶). تحمل القایی در جمعیت میکروبی ناشی از آلودگی خاک (PICT) با سطوح مختلف لوریل بنزن سولفونات. نشریه محیط زیست طبیعی، ۷۰ (۳)، ۶۸۵-۶۹۷.

معاونت محیط زیست انسانی. (۱۳۹۳). استانداردهای آلودگی منابع خاک و راهنماهای آن. دفتر آب و خاک. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۶۶ ص.

- Del Mar Orta M., Martin J., Santos, J.L., Aparicio I., Medina-Carrasco S., Alonso E. (2020). Biopolymer-clay nanocomposites as novel and ecofriendly adsorbents for environmental remediation. *Applied Clay Science* 198, 105838.
- Di Leo P., Pizzigallo M.D.R., Ditaranto N., Terzano R. (2019). Cadmium decontamination through ball milling using an expandable clay mineral. *Applied Clay Science*, 182, 105256.
- Efroymson R.A., Sample B.E., Suter II G.W. (2001). Uptake of inorganic chemicals from soil by plant leaves: Regressions of field data. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20(11), 2561-2571.
- Efroymson R. A., Will M. E., Suter II G.W. (1997). Toxicological benchmarks for contaminants of potential concern for effects on soil and litter invertebrates and heterotrophic process. DOE Report ES/ER/TM-126/R2. U.S. Department of Energy, Office of Environmental Management, under budget and reporting code EW 20.
- Halajnia A., Oustan S., Najafi N., Khataee A.R., Lakzian A. (2016). Effects of Mg-Al layered double hydroxide on nitrate leaching and nitrogen uptake by maize in a calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 47(9): 1162-1175.
- Jeffries, J. (2009). Using soil guideline values. Better Regulation Science Programme Science report: SC050021/SGV introduction. Environment Agency, Rio House, Waterside Drive, Aztec West, Almondsbury, Bristol, BS32 4UD, UK.

- Khorshid M., Oustan S., Najafi N., Khataee AR. (2021). Reductive remediation of Cr(VI)-contaminated soils in the presence of zero-valent metals and bimetals. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, In Press.
- Khorshid M., Oustan S., Najafi N., Khataee AR. (2020). Kinetic characterization of hexavalent chromium stabilization in contaminated soils amended with cocopeat. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 428.
- Kubier A., Wilkin R.T., Pichler T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: A review. *Applied Geochemistry*, 108, 1-16.
- Lee J.E., and Park Y-K. (2020). Applications of modified biochar-based materials for the removal of environment pollutants: A mini review. *Sustainability*, 12, 6112.
- Lessard I, Sauvé S., Deschênes L. (2014). Toxicity response of a new enzyme-based functional diversity methodology for Zn-contaminated field-collected soils. *Soil biology & Biochemistry*, 71, 87-94.
- Moor F., Sheykhi V., Salari M., Bagheri A. (2016). Soil quality assessment using GIS-based chemometric approach and pollution indices: Nakhlaq mining district, Central Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188 (4), 214.
- Moustakas N. K., Akoumianakis K. A., Passam H.C. (2001). Cadmium accumulation and its effect on yield of lettuce, radish, and cucumber. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(11&12), 1793–1802.
- Palansooriya K.N. et al. (2020). Soil amendments for immobilization of potentially toxic elements in contaminated soils: A critical review. *Environment International*, 134, 105046.
- Ramezanzadeh H., Reyhanitabar A., Oustan S., Mohammadi, M.H., van der Zee S.E.A.T.M. (2021). Enhanced sorption of cadmium by using biochar nanoparticles from ball milling in a sandy soil. *Eurasian Soil Science*, 54(2), 201-211.
- Reimann C., Filzmoser P., Garrett R.G. (2005). Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of the Total Environment*, 346, 1-16.
- Reyhanitabar A., Alidokht L., Khataee AR., Oustan S. (2012). Application of stabilized Fe<sup>0</sup> nanoparticles for remediation of Cr(VI)-spiked soil. *European Journal of Soil Science*, 63(5), 724-732.
- SETAC (1999). 20<sup>th</sup> Annual Meeting of the Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Philadelphia, PA.
- Teaf C.M., Covert D.J., Teaf P.A., Page E., Starks M.J. (2010). Arsenic cleanup criteria for soils in the US and abroad: Comparing guidelines and understanding inconsistencies. *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy: Vol. 15, Article 10.*
- Tóth G., Hermann T., Da Silva M.R., Montanarella L. (2016). Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, 88, 299-309.
- USEPA. (2005a). Guidance for developing ecological soil screening levels. EPA Report 9285.7-55. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA. (2005b). Ecological soil screening levels for cadmium: Interim final. EPA Report 9285.7-65. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA. (2004). Guidance on surface soil cleanup at hazardous waste sites: Implementing cleanup levels. EPA Report 9355.0-91. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA. (2003). Guidance for developing ecological soil screening levels (Eco-SSLs). Assessment of whether to develop ecological soil screening levels for microbes and microbial processes. EPA Report 92857-55. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA. (2002a). Calculating upper confidence limits for exposure point concentrations at hazardous waste sites. EPA Report 9285.6-10. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA. (2002b). Supplementing guidance for developing soil screening levels for superfund sites. EPA Report 9355.4-24. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA. (1996a). Soil Screening Guidance: Technical Background Document. EPA Report 540/R95/128. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA. (1996b). Background discussion for soil-plant-human exposure pathway. EPA Report 540/R95/128. Appendix G. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USEPA. (1994). Common Cleanup Methods at Superfund Sites. EPA Report 540/R94/043. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- Wang H., Zhang M., Li H. (2019). Synthesis of nanoscale zerovalent iron (nZVI) supported on biochar for chromium remediation from aqueous solution and soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(22):4430.
- Zhu F., Li L., Ren W., Deng X., Liu T. (2017). Effect of pH, temperature, humic acid and coexisting anions on reduction of Cr (VI) in the soil leachate by nZVI/Ni bimetal material. *Environmental Pollution*. 227, 444–450.

### A review on ways to recognize the need for soil cleanup

Shahin Oustan

Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

#### Abstract

Soil cleanup means removal of contaminants or limiting their adverse impacts. A glance on heavy costs of soil decontamination suggests the need for prevention of soil pollution as well as screening and monitoring of soils in line with stopping or reducing emission of environmental contaminants. However, there are always a few hot spots needs cleaning up using an appropriate, cost effective, environmentally friendly and stable technique. Hot spots are sites where the concentration of contaminant(s) exceeds a given standard value. This standard is named as "action level" and can be determined by knowing what is at risk of exposure [e.g. human (either directly or indirectly), plant, wildlife, groundwater and even the soil itself]. In addition, soil cleanup levels can be derived from background or threshold contaminant concentrations. Threshold concentration is often assumed to be the 95% upper confidence limit of the mean concentration of a contaminant in uncontaminated soils, which is regionally determined. At first, allocation of an admissible risk level for any kind of predicted hazard is required to determine the soil action level. Then, consideration of the relevant exposure assumptions is needed. What has been challenging is the risk of contaminants to soil health, but it is still a long way to quantify it.

**Keywords:** Action level, Cleanup level, Soil decontamination, Soil health, Threshold concentration

## تفکیک مدیریت آب در مزرعه از اقدامات سخت‌افزاری

مسعود پارس‌نژاد<sup>۱</sup>، علی اشرفی<sup>۲</sup>، امید رجایی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، البرز، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، البرز، ایران.

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، البرز، ایران.

#### چکیده

افزایش مصرف آب به دلیل رشد جمعیت از یک سو و ظهور تقاضاهای جدید برای آب از سوی دیگر که نهایتاً منجر به بهره‌برداری بی‌رویه و ناپایدار از منابع آب در دهه‌های اخیر شده است، منجر به کاهش روزافزون سرانه آب کشور گردیده و تامین پایدار نهاده آب به عنوان یکی از اصلی‌ترین نهاده‌های تولیدی، با چالش‌هایی مواجه است. اگر برنامه منسجم و منظمی برای مدیریت مصرف آب بخصوص در بخش کشاورزی وجود نداشته باشد، بحران آب عواقب جبران‌ناپذیری برای کشور رقم خواهد زد. مدیریت جامع آب در کشاورزی را می‌توان به مدیریت غیرسازه‌ای و مدیریت پر هزینه سازه‌ای تقسیم کرد. هدف از این مطالعه ارائه و بررسی اثربخشی راهکارهای مدیریتی غیر سازه‌ای ممکن بدون نیاز به تغییر سیستم آبیاری و صرف هزینه مضاعف است که در عین صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی، می‌تواند با حفظ نسبی تولید و عملکرد محصول، متضمن پایداری منابع آب و بهبود معیشت کشاورزان باشد. سهم و اثربخشی هر کدام یا ترکیبی از راهکارهای مدیریتی نرم‌افزاری در کاهش مصرف آب که به طور نمونه در این گزارش آورده شده، به عوامل متعددی از قبیل شرایط فیزیکی اولیه مزرعه، نوع کشت و مهارت بهره‌بردار و نهایتاً نظارت کیفی و تداوم اعمال این راهکارهای مدیریتی دارد.

**واژگان کلیدی:** راهکارهای غیرسازه‌ای، صرفه‌جویی، کاهش مصرف آب، مدیریت آب در مزرعه

#### مقدمه

آب یکی از ضروری‌ترین منابع طبیعی برای حیات و بقای انسان و دیگر موجودات زنده و در عین حال، بحرانی‌ترین منبع طبیعی در جهان است که کمبود شدید آن یک نگرانی و چالش جدی جهانی در حال حاضر و آینده محسوب می‌شود. آب منبع حیاتی برای هر پدیده زیستی و انسانی است. اگر نقش نیروی انسانی در جامعه، محور توسعه شناخته شده است، نقش آب نیز

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

در منابع طبیعی به مثابه مرکز توسعه، بیشترین تاثیر را در روند گسترش جوامع انسانی و پیدایش فرهنگ و تمدن جهانی داشته است. پیش‌بینی مجامع جهانی حاکی از آن است که تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به ۹/۲ میلیارد نفر افزایش یافته و در نتیجه، تقاضا برای مواد غذایی ۷۰ درصد و انرژی ۴۰ درصد افزایش خواهد یافت. همچنین، براساس پیش‌بینی‌های به عمل آمده، تا سال ۲۰۳۰ جهان با ۴۰ درصد کمبود آب مواجه خواهد شد که با این روند، در آینده نزدیک بسیاری از مناطق جهان دچار کم‌آبی یا خشکسالی شدید خواهند شد (Bindra et al, 2014). این مساله در کشوری نظیر ایران که در کمر بند خشکی دنیا قرار گرفته و اغلب مناطق آن دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشند، دارای اهمیت دوچندان است. در عین اینکه خشکسالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است ولی برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب، ایران را به مرز ورشکستگی و بحران شدید بی‌آبی رسانده است. با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل خشکسالی و کم‌آبی در سال‌های آینده حادث‌تر نیز خواهد شد. بحران‌های ناشی از کمبود منابع آب به‌عنوان تهدیدی جدی در توسعه پایدار، محیط‌زیست، سلامت و رفاه انسان‌ها مطرح است. در حال حاضر افزایش مصرف آب به دلیل رشد جمعیت از یک سو و ظهور تقاضاهای جدید برای آب از سوی دیگر که نهایتاً منجر به بهره‌برداری بی‌رویه و ناپایدار از منابع آب در دهه‌های اخیر شده است، منجر به کاهش روزافزون سرانه آب کشور گردیده و تامین پایدار نهاده آب به عنوان یکی از اصلی‌ترین نهادهای تولیدی، با چالش‌هایی مواجه است. کشاورزی، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، یک فعالیت استراتژیک می‌باشد که وابستگی زیادی به آب دارد. بررسی وضعیت مصرف آب به تفکیک بخش‌های اصلی نشان می‌دهد که در بیشتر مناطق جهان بخش کشاورزی بیشترین سهم آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. سهم آب مصرف شده در بخش کشاورزی در منطقه خاورمیانه و قاره آفریقا به ترتیب ۸۴ و ۸۲ درصد است. در ایران ۹۲ درصد آب مصرفی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (رضائاد، ۱۳۹۵). عدم استفاده از منابع آب تجدیدنپذیر، متضمن حفاظت و پایداری از منابع آب و از اصول اولیه مدیریت کلان و پایدار منابع طبیعی است. از چالش‌های اصلی مدیریت بهره‌برداری و مصرف منابع آب در شرایط کم‌آبی و در مناطق با پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی، تخصیص بهینه آب در بخش‌های مختلف از جمله مصارف شهری، صنعت، محیط‌زیست و نهایتاً کشاورزی است. در این بین مدیریت مصرف در بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب، نقش تعیین‌کننده و مهمی را داراست (رجا و همکاران، ۱۳۹۸). لذا می‌توان نتیجه گرفت اگر برنامه منسجم و منظمی برای مدیریت مصرف آب بخصوص در بخش کشاورزی وجود نداشته باشد، بحران آب عواقب جبران‌ناپذیری برای کشور رقم خواهد زد.

برای مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، شناسایی شاخص‌های اصلی مدیریت مصرف آب از جمله راندمان‌های آبیاری، بهره‌وری مصرف آب کشاورزی، مقدار آب مصرفی در بخش کشاورزی و توسعه پایدار روش‌های نوین آبیاری از مهم‌ترین شاخص‌های کلیدی و رویکردهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تامین، تخصیص و مصرف اصولی آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی است. با توجه به این که سهم عمده‌ای از منابع محدود آب کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد، سیاست‌گذاری برای مدیریت بهینه مصرف آب امری ضروری بوده و به همین دلیل تحقیقات اخیر محققان بیشتر در زمینه صرفه‌جویی در مصرف آب و نیز افزایش بازده آبیاری و کارایی مصرف آب صورت گرفته است. از طرفی بهینه کردن مصرف آب در کشاورزی و افزایش کارایی مصرف آن در نهایت می‌تواند به پایداری سیستم کشاورزی آبی، به‌همراه افزایش درآمد زارع منتهی گردد (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۳). ساماندهی و ارتقاء مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی، بهینه‌سازی کارایی آبیاری و کارایی مصرف آب در اراضی زراعی کشور (در مقیاس مزرعه)، اصلاح ساختار آبیاری در مزارع و باغات، استفاده از کم‌آبیاری بهینه به منظور افزایش کارایی مصرف آب در اراضی فاریاب کشور، استفاده از روش‌های مناسب مدیریت آبیاری به منظور کاهش تلفات آب در آبیاری‌های اولیه، تدوین برنامه‌ای جامع در مورد استفاده از آب‌های باکیفیت نامتعارف در کشاورزی، استفاده بهینه از مناطق دیم و استفاده از آبیاری تکمیلی در آن‌ها، استفاده مستقیم از آب باران و ترویج روش‌های مختلف جمع‌آوری آب، کاهش تبخیر از سطح اراضی زراعی دیم و فاریاب و لزوم توجه عمیق و نگرش سیستمیک به برهم‌کنش آب آبیاری، آفت‌کش‌های گیاهی، کودهای شیمیایی و پیامدهای زیست محیطی آن از مهم‌ترین راهکارهای بهینه‌سازی مدیریت مصرف آب در کشاورزی شناخته شده است (رحیمیان و همکاران، ۱۳۹۴).

تاکنون بیش از ۲/۵ میلیون هکتار از اراضی آبی کشور به انواع سامانه‌های نوین آبیاری مجهز شده است. کارشناسان معتقدند که اجرای طرح‌های آبیاری تحت فشار، قطره‌ای و بارانی به همراه دیگر روش‌های نوین در بهینه‌سازی مصرف آب و افزایش

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بهره‌وری و تولیدات کشاورزی و باغی موثر است و به کیفی‌سازی تولیدات می‌انجامد. تاکنون ۲ میلیون و ۴۰۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی کشور تحت پوشش سامانه‌های آبیاری جدید قرار گرفته که یک میلیون و ۱۰۰ هزار هکتار از این میزان، در دولت‌های یازدهم و دوازدهم محقق شده است. بوروکراسی اصلی‌ترین مانع در مسیر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری کشاورزی است. به‌طور متوسط قریب به چهار ماه زمان برای به نتیجه رسیدن یک پرونده آبیاری نوین صرف می‌شود. در مصاحبه‌ای معاون آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی گفت: در شصت و هفت پویش ملی تدبیر و امید برای جهش تولید، ۳ هزار و ۹۱۳ پروژه سامانه‌های نوین آبیاری در سطح ۷۲ هزار هکتار با اعتبار ۱۱۷۰ میلیارد تومان در سراسر کشور با فرمان رئیس‌جمهور افتتاح شد. بخش کشاورزی ۳۲ سال فراز و نشیب بسیاری داشته و ثمره آن اجرای سیستم‌های نوین آبیاری در ۲ میلیون و ۴۰۰ هزار هکتار از اراضی کشور است. وی اظهار داشت: البته با میزان مطلوب فاصله زیادی داریم اما با ورود سیستم‌های مجهز به این بخش می‌توانیم به رسیدن به اهداف امیدوار باشیم (باشگاه خبرنگاران، ۱۴۰۰).

مدیریت جامع آب کشاورزی را می‌توان به مدیریت غیر سازه‌ای و مدیریت پرهزینه سازه‌ای (تغییر سیستم آبیاری) تقسیم کرد. اقدامات سخت‌افزاری شامل اصول مهندسی و پیاده‌سازی است که به تکنولوژی و سرمایه‌گذاری اولیه نیاز دارد و در کوتاه‌مدت قابل انجام است ولی اقدامات نرم‌افزاری شامل اصول مدیریت و نگهداری طولانی‌مدت است که نیاز به مشارکت و همکاری ذینفعان دارد. نگاهی گذرا به اخبار و تحولات توسعه در بخش کشاورزی نشان می‌دهد اولویت اول و سرمایه‌گذاری کارگزاران نظام در دهه‌های اخیر توسعه سامانه‌های نوین آبیاری بوده است. گذشته از این که لازم است بررسی دقیق و کارشناسانه‌ای از اثربخشی رویکرد اتخاذ شده و حجم سرمایه‌گذاری بر کاهش برداشت از منابع آب انجام شود، پیغام اصلی این بحث تکیه بر آن است که در مدیریت پایدار منابع آب بخصوص در بخش کشاورزی، رویکردهای اولیه پایه‌ای غیر سرمایه‌ای و کم هزینه متعددی وجود دارد که می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه مصرف آب در بخش کشاورزی شود. برای این که مصرف آب در بخش کشاورزی کاهش یابد، نیاز به تکنولوژی‌های پرهزینه نیست و می‌توان با برخی اقدامات مدیریتی بدون هزینه سخت‌افزاری میزان مصرف آب را در سطح مزرعه کاهش داد. هدف از این مطالعه ارائه و بررسی اثربخشی راهکارهای مدیریتی غیر سازه‌ای ممکن بدون نیاز به تغییر سیستم آبیاری و صرف هزینه مضاعف است که در عین صرفه‌جویی در مصرف آب در کشاورزی، می‌تواند با حفظ نسبی تولید و عملکرد محصول، متضمن پایداری معیشت کشاورزان باشد.

### راهکارهای نرم‌افزاری کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی

راهکارهای متعددی اعم از سازه‌ای و غیرسازه‌ای در خصوص کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی وجود دارد. از مهم‌ترین راهکارها می‌توان به اصلاح الگوی کشت (تناوب کشت، تغییر نوع کشت)، کشت نشایی، کنترل تلفات غیر قابل بازگشت رواناب و نفوذ عمقی، کاهش هزینه انرژی و غیره از طریق اقداماتی چون روکش کانال و آبیاری دقیق، اصلاح شیب و ابعاد مزرعه، کم آبیاری (افزایش حد تخلیه مجاز، افزایش دور آبیاری، کاهش عمق آب آبیاری)، استحصال باران (اراضی آبی و دیم و بررسی شاخص رد پای آب)، مدیریت آبیاری (راندمان، یکنواختی، شدت و مدت آبیاری)، بذر و رقم کاشت (طول دوره رشد، مقاوم یا حساس)، کنترل و کاهش جزء غیرمفید تبخیر/تعرق، شیوه‌های به‌زراعی (مالچ‌پاشی یا تغییر تاریخ کاشت برای مطابقت دوره رشد با تقاضای تبخیر کم) یا کشاورزی حفاظتی و خاک‌ورزی (تسطیح زمین، شخم، مالچ، مواد آلی و غیره) مدیریت کاشت (روش، زمان و الگو)، مدیریت تخصیص و تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی، تخصیص مجدد آب اشاره کرد. میزان اثربخشی، ارزش افزوده و مدت زمان لازم برای شهود اثربخشی هر کدام از راهکارها متفاوت می‌باشد. چرا که برای اجرای هر کدام از راهکارها، امکانات و تجهیزات لازم متفاوتی با/بدون نظارت وجود دارد. همچنین، سطح شناخت عمومی، پذیرش اجتماعی و سهم و لزوم دخالت بخش دولتی می‌توانند موانع بازدارنده متفاوتی را در به‌کارگیری هر کدام از این مدیریت‌ها داشته باشند. لازم به ذکر است به‌کارگیری هر کدام از راهکارهای صرفه‌جویی مصرف آب در بخش کشاورزی ممکن است در بخش مصرفی یا غیرمصرفی آب تاثیر داشته باشند. به طوریکه هر کدام از این راهکارها ممکن است پارادوکس صرفه‌جویی مصرف آب ظاهری<sup>۱۶</sup> / واقعی<sup>۱۷</sup> را در دو سطح مزرعه یا حوضه ایجاد کنند. بخش مصرفی به دو بخش مفید (تعرق) و غیرمفید (تبخیر از سطوح مرطوب یا مصرف علف هرز) تقسیم می‌شود. از طرف دیگر بخش غیرمصرفی به جریان‌های قابل بازیافت و برگشت (جریان آب به سمت زهکش‌ها

<sup>۱۶</sup> Apparent  
<sup>۱۷</sup> Real

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

و بازگشت به سیستم رودخانه برای مصرف احتمالی در پایین دست و نفوذ به سفره آب شیرین) و غیرقابل بازیافت (نفوذ به سفره آب شور، خروج آب به سمت زهکش‌هایی که هیچ‌گونه مصرفی در پایین دست ندارند و یا مسقیما به اقیانوس و دریاها تخلیه می‌شوند). بنابراین راهکارهایی که منجر صرفه‌جویی ظاهری مصرف آب شود عموماً به کاهش برداشت از منابع را دنبال می‌کند اما میزان مصرف را کاهش نمی‌دهد. از طرف دیگر راهکارهایی که منجر به صرفه‌جویی واقعی آب می‌شوند به دنبال کاهش مصارف آب و جریان‌های غیرقابل بازگشت (رواناب و نفوذ عمقی) می‌باشند. لازم به ذکر است هر کدام از راهکارهای صرفه‌جویی آب ممکن است اثربخشی متفاوتی داشته باشد و بدون افزایش مصرف آب بتواند بهره‌وری آب بیشتری داشته باشد. به کارگیری راهکارها به صورت مکمل و نه بخشی‌نگری و نیز راهکارهای توسعه و ترویج و آموزش می‌توانند میزان اثربخشی راهکارها را متناسب با وضعیت کم‌آبی و بحرانی کشور را در صرفه‌جویی واقعی مصرف آب در بخش کشاورزی به حداکثر برساند.

در این بررسی به راهکارهای مختلف با حداقل هزینه شامل بهبود راندمان آبیاری (بدون تغییر سیستم آبیاری)، تغییر تاریخ کاشت، الگوهای مختلف کم‌آبیاری، تغییر الگوی کشت مبتنی بر سیاست‌های کلان ملی (نظیر حذف کشت‌های پرآب بر نظیر برنج، کاهش پتانسیل تبخیر از سهم تبخیرتغرق از طریق مالچ، آبیاری در شب یا ساعات خنک در روز و یا مواردی دیگر که می‌توانند در میزان صرفه‌جویی هر چه بیشتر مصرف آب و همچنین احیای آبخوان‌ها موثر باشند، پرداخته شده است. پیشنهادها و راهکارهای متعدد دیگری نیز برای کاهش مصرف آب وجود دارد اما اجرای آن‌ها پر هزینه است. راهکارهای پیشنهادی در این گزارش مستلزم ادوات جدیدی از قبیل ماشین‌های تسطیح دقیق و غیره نیستند.

### بهبود راندمان آبیاری نه الزاماً با تغییر سیستم آبیاری

راندمان پایین آبیاری به عنوان یکی از مهم‌ترین ضعف‌های مدیریت آب کشاورزی است. یکی از گزینه‌های کاهش مصرف آب، بهبود راندمان آبیاری بدون تغییر روش آبیاری می‌باشد. مدیریت‌های متعدد در سطح مزرعه (On Farm Management) از قبیل تسطیح و اصلاح ابعاد و شیب مزرعه، اصلاح طول و فواصل ردیف‌ها، تنظیم شدت جریان آب، مدیریت زمان‌بندی و قطع آبیاری، قطع و وصل و کاهش تدریجی جریان ورودی به کرت و شیار می‌تواند در بهبود و افزایش راندمان آبیاری موثر باشد. کاهش آب تخصیص یافته در اثر بهبود راندمان آبیاری در شرایط کمبود آب قابل دسترس در سال‌های کم‌آب اهمیت دارد؛ چرا که در شرایط محدودیت آب، امکان بهره‌برداری از حداکثر اراضی تحت کشت با حفظ عملکرد موجود امکان‌پذیر است. رجا و همکاران (۱۳۹۸) در یک مطالعه موردی در درودزن و کربال با بررسی میدانی نشان دادند که راندمان آبیاری برای روش آبیاری مشابه در دامنه گسترده از ۳۶٪ تا ۵۶٪ وجود داشت. در این راستا بدون تأمین امکانات و تجهیزات مدرن و در شرایط مدیریتی برتر موجود در منطقه می‌توان در مصرف آب آبیاری مورد نیاز برای محصولات غالب در این مناطق که در بر گیرنده ۹۱٪ از اراضی تحت کشت است، با ارتقاء به راندمان برتر (حداکثر راندمان موجود در منطقه)، در منطقه درودزن در مجموع به میزان (۱۱/۲٪) ۱۳۱/۵ میلیون متر مکعب و در منطقه کربال در مجموع به میزان (۱۰/۸۳٪) ۳۳/۸ میلیون متر مکعب صرفه‌جویی کرد. در این میان میزان صرفه‌جویی آب مصرفی برای کشت‌های چغندر، برنج و ذرت دانه‌ای بیش از دیگر محصولات بود.

### مدیریت کم‌آبیاری

در راستای افزایش و بهبود کارایی مصرف آب، مدیریت کم‌آبیاری از گزینه‌های برتر محسوب می‌شود. در شرایط خشکسالی و کم‌آبی، تکنیک کم‌آبیاری که در واقع اعمال تنش رطوبتی ملایم و برنامه‌ریزی شده در طول دوره رشد یا در مراحل مشخص با توجه به توابع تولید محصولات مختلف منجر به حداقل تأثیر سوء بر تولید محصولات زراعی شده و می‌تواند با تولید حداکثری بهره‌وری آب یا محصول تولیدی به ازای هر واحد آب آبیاری، سبب افزایش سود اقتصادی محصول شود (بوستانی و همکاران، ۱۳۹۳). سناریوهای کم‌آبیاری شامل افزایش حد تخلیه مجاز (RAW)، کاهش عمق آب آبیاری (IRR) و افزایش دور آبیاری می‌باشد. رجا و همکاران (۱۳۹۸) با اعمال سناریوهای مختلف کم‌آبیاری برای محصولات غالب منطقه درودزن با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی نشان دادند به ترتیب به روش‌های افزایش حد تخلیه (RAW)، کاهش عمق آب آبیاری (IRR) و افزایش فاصله آبیاری به ترتیب به میزان ۱۸/۶، ۵۲/۷ و ۱۴/۵ میلیون متر مکعب و در مجموع به میزان (۷/۳٪) ۸۵/۸ میلیون متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی خواهد شد. همچنین با اعمال سناریوهای کم‌آبیاری برای محصولات غالب منطقه کربال به ترتیب با روش‌های ذکر شده به ترتیب به میزان ۱۲/۵، ۸/۷ و ۵ میلیون متر مکعب و در مجموع به میزان (۸/۴٪) ۲۶/۲ میلیون متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی خواهد شد. در جهت بهینه‌سازی مدیریت کم‌آبیاری، زبردست (۱۴۰۰) تابع عملکرد فصلی و تابع

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

عملکرد مرحله‌ای کشت یونجه را در تخصیص بهینه آبیاری استفاده کرد. مدل تخصیص بهینه آبیاری تدوین شده در این مطالعه نشان داد اولویت تخصیص در مرحله رشد یا گام زمانی با حداقل تبخیر و تعرق پتانسیل و ضریب حساسیت بیشتر است. در این بررسی، بهینه‌سازی تخصیص آبیاری یونجه در شرایط کم‌آبیاری ۲۵ درصد و تأمین ۷۵ درصد نیاز آبیاری با استفاده از دو تابع فصلی و مرحله‌ای مقایسه شد. نتایج نشان داد که استفاده از تابع عملکرد اقتصادی نسبی فصلی با ۲۵ درصد کم‌آبیاری، منجر به ۱۸ درصد کاهش شده در حالی که تابع عملکرد مرحله‌ای با در نظر گرفتن حساسیت محصول در مراحل مختلف رشد، منجر به تنها ۹ درصد کاهش عملکرد خواهد شد.

### تغییر تاریخ کاشت

یکی دیگر از گزینه‌های مدیریتی جهت کاهش مصرف آب، اصلاح و انتخاب تاریخ کاشت برتر با توجه به شرایط اقلیمی و الگوهای بارش فصلی در منطقه است. این مدیریت بر میزان نیاز خالص آبیاری در محصولات مختلف با توجه به امکان کاهش نیاز خالص آبی گیاه به دلیل کاهش طول دوره رشد و امکان افزایش بهره‌وری از میزان باران موثر تأثیر دارد. طبیعتاً تاریخ کاشت برتر متناسب با شرایط آب و هوایی و بارندگی منطقه و سال مورد نظر می‌تواند متفاوت باشد. نتایج رجا و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد با انتخاب تاریخ کاشت برتر در منطقه درودزن حدود (۳/۵٪) ۳۱/۶ میلیون متر مکعب و در منطقه کربال حدود (۳/۹٪) ۹/۱۷ میلیون متر مکعب در مصرف آب صرفه‌جویی خواهد شد. همچنین نتایج تحقیق (Walia et al, 2014) نشان داد که زمان مناسب کاشت برای یک محصول در مناطق مختلف متغیر است و تاریخ کاشت یک عامل مهم و تعیین‌کننده در تولید محصول و صرفه‌جویی در مصرف آب است. همچنین بیان کرد که میزان صرفه‌جویی در میزان آب آبیاری مورد نیاز به‌طور مشخص برای کشت گندم قابل توجه است که دلیل آن وسعت بالای اراضی تحت این کشت در مزرعه تحقیقاتی دپارتمان زراعت، دانشگاه کشاورزی پنجاب، لودیانا است.

### کاهش سهم تبخیر غیرمولد از نیاز آبی گیاهان با پوشش مالچ

تبخیر مستقیم آب از سطح خاک را می‌توان عمده‌ترین بخش از اجزای بیلان آب در مناطق خشک تلقی نمود که اثر موثری بر تولید محصول نداشته و عمدتاً باعث هدررفت آب می‌شود. بسته به روش آبیاری، مرحله رشد و نوع گیاهان، تبخیر از سطح خاک می‌تواند بین ۱۰ تا ۶۹ درصد کل تبخیر و تعرق را شامل شود (Ghesareh et al, 2010). مالچ‌دهی روش مناسبی برای کاهش هزینه‌های آبیاری، حذف علف‌های هرز، نگهداری فضای سبز و حفظ سلامت گیاه، کاهش سله و کاهش تبخیر از سطح خاک است. مالچ، با جلوگیری از فشرده‌شدن خاک سبب تهویه بهتر خاک شده و از فرسایش خاک جلوگیری می‌کند. انواع موادی که به عنوان مالچ استفاده می‌شوند عبارتند از پسماندهای گیاهی، برش‌های علوفه، برگ‌ها، پوست خردشده درخت، خاک اره، تراشه‌های چوب، کمپوست و انواع مالچ‌های رزینی (که از بازیافت تایرها و دیگر فرآورده‌های پلاستیکی بدست می‌آیند)، پوشش‌های پلاستیکی و همچنین سنگریزه‌های ریز و درشت (افشار و همکاران، ۱۳۹۱). در تحقیقی نشان داده شد که استفاده از مالچ می‌تواند رواناب حاصل از یک باران با شدت زیاد (۷/۵ سانتی‌متر بر ساعت) را کاهش دهد. همچنین، تلفات بارندگی به صورت رواناب در خاک لخت حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد و در قطعه پوشیده شده با مالچ ۳ تا ۱۰ درصد گزارش شده است (Ma and Li, 2011). استفاده از مالچ برای جلوگیری از تبخیر آب از سطح مزرعه و حذف رواناب ممکن است باعث افزایش نفوذ عمقی نیز شود که در نتیجه آب از ناحیه ریشه خارج شده و وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. اگرچه این امر باعث از دست رفتن آب از محدوده ریشه گیاه می‌شود، اما آب اضافی وارد آب‌های زیرزمینی شده که باعث تغذیه سفره می‌شود. با این حال، می‌توان با صرف کمی هزینه و احداث زهکشی کنترل‌شده در هر زمان که لازم است آب را از محدوده ریشه خارج کرد (Penn State Extensions, 2020).

### کشت نشایی بجای کشت بذری

اصلاح تقویم زراعی، کشت ارقام زودرس و نهایتاً کشت نشایی بجای کشت بذری هر کدام به تنهایی و یا به صورت توانمند می‌توانند در جهت افزایش سهم باران موثر و کاهش نیاز آبیاری نقش داشته باشند. از این میان، یکی از راهکارهای مناسب برای کاهش مصرف آب در مرحله‌ی اولیه‌ی رشد و کاهش دوره‌ی رشد، کشت نشایی (Transplanting) بجای کشت متداول بذری است. با استفاده از کشت نشایی، می‌توان بذور را در داخل گلدان‌های مخصوص در گلخانه در اوایل بهار کشت نمود و پس از

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

حدود ۴۵ روز در مرحله چهار تا شش برگی، گیاهچه‌های جوان را در زمان مناسب به مزرعه منتقل نمود (در بعضی مواقع بعد از گرفتن آخرین آب غلات). این روش در مناطق دارای محدودیت‌های نظیر کم‌آبی، شوری و کوتاه بودن دوره رشد قابل توصیه است (یوسف‌آبادی، ۱۳۹۶). روش دیگر کشت نشایی، روش ریشه لخت (بدون استفاده از گلدان) نام دارد. در این روش بذور با تراکم بالا، به طور مستقیم در داخل خاک خزانه کشت شده و پس از ۶۰ تا ۷۰ روز در مرحله شش تا هشت برگی با ریشه‌چه‌ای به قطر حدود یک سانتی‌متر آماده انتقال به مزرعه اصلی خواهند بود (یوسف‌آبادی، ۱۳۹۴). از جمله مزایای کشت نشایی ایجاد شرایط مناسب و فرصت کافی برای تهیه بستر کشت در بهار، ۳۰ تا ۴۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف سموم دفع آفات نباتی، صرفه‌جویی در مصرف کودهای شیمیایی، به ویژه نیتروژن، افزایش قدرت رقابت محصول با علف‌های هرز، کمک به حفظ محیط‌زیست به دلیل کاهش مصرف سموم مختلف، ۳۵ تا ۴۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری، صرفه‌جویی ۵۰ درصدی در مصرف علف‌کش‌ها، حذف ۱۰۰ درصدی عملیات پرهزینه‌ی تنک مزرعه، صرفه‌جویی ۶۵ درصدی در مصرف بذر و کاهش هزینه‌ی کارگری در تولید است (یوسف‌آبادی، ۱۳۹۶). نتایج محرمی (۱۴۰۰) نشان داد کشت نشایی در سال‌های خشک نسبت به سال‌های پربارش اثربخشی بیشتری را نشان می‌دهد زیرا کشت نشایی آبیاری‌های اول فصل را حذف می‌کند ولی از بارش‌هایی که در ابتدای فصل کشت رخ داده نمی‌تواند بهره‌بردار. محمدیان (۱۳۹۸) با ارائه‌ی یک بسته مدیریتی کاهش آب آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب در زراعت چغندر قند موارد زیر را پیشنهاد کرده است: ۱- کشت زود هنگام چغندر قند، ۲- تغییر آرایش کاشت چغندر قند، ۳- کم‌آبیاری در مراحل رشدی مقاوم به کم‌آبی، ۴- استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت فشار، ۵- توسعه‌ی کشت پائیزه‌ی چغندر قند، ۶- استفاده از ارقام توصیه‌شده برای شرایط کمبود آب، ۷- کاشت چغندر قند با استفاده از سامانه‌ی کشت نشائی و ۸- کشت چغندر قند بعد از برداشت و یا آخرین آبیگری غلات پاییزه.

### بهبود شرایط مزرعه و سلامت خاک

میزان رطوبت خاک در طول فصل متغیر است. میزان رطوبت خاک به طور خاص تحت تأثیر نوع خاک است. تغییر ویژگی‌های ذاتی خاک امکان‌پذیر نیست اما مهم است که مدیریت بر اساس نوع خاک و ویژگی‌های آن تنظیم شود. به عنوان مثال ذخیره آب خاک را می‌توان با بهبود سلامت خاک افزایش داد؛ به این صورت که با افزایش مواد آلی به خاک ظرفیت نگهداری آب در خاک بهبود می‌یابد. نمونه دیگر این مدیریت، اجتناب از تراکم خاک سطحی و زیرسطحی است؛ زیرا تراکم خاک رشد ریشه را کاهش داده و جذب آب را محدود می‌کند (Extensions Penn State, 2020). استفاده از حداکثر تراکم محصول و حداقل فاصله بین گیاهان نیز باعث کاهش سطح کشت و افزایش صرفه‌جویی در مصرف آب خواهد شد. بسیاری از مزارع برای آبیاری به آب شهری یا چاه‌ها (آب‌های زیرزمینی) متکی می‌باشند، در حالی که با ساخت حوضچه‌های مناسب برای ذخیره بارندگی برای استفاده از آن‌ها در طول سال می‌توان بخشی از آبیاری را با آب باران انجام داد و مصرف آب آبیاری را کاهش داد. همچنین در مناطق گرم و خشک که تبخیر آب زیاد است، با اعمال آبیاری در ساعات ابری و یا در شب می‌توان با کاهش قابل توجه تبخیر در میزان مصرف آب صرفه‌جویی کرد. همچنین در مزارعی که آب از انتهای آن‌ها خارج می‌شود و به اصطلاح با انتهای باز می‌باشند را می‌توان رواناب پایاب را ذخیره و برای استفاده مجدد بکار برد (CUESA, 2014).

### پایش رطوبت خاک و آبیاری دقیق

آبیاری دقیق (Precision Irrigation) در عمل، کاری سخت و مشکل است و مستلزم نظارت دقیق و مستمر بهره‌بردار در سطح مزرعه است. مفهوم آبیاری دقیق به عنوان بخشی از کشاورزی دقیق، تاکنون چندان مورد توجه قرار نگرفته و چارچوب مشخصی نیز در خصوص تحقیق، توسعه، بومی‌سازی و حمایت از آن وجود ندارد. تعریف قدیمی آبیاری دقیق عبارت است از کاربرد مقدار مشخصی از آب برای گیاهان در زمان مشخص و به صورت یکنواخت در سطح مزرعه. بر همین اساس عموم روش‌های آبیاری تحت فشار و به خصوص آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به دلیل کنترل میزان شدت آب و مدیریت زمان آبیاری، نوعی آبیاری دقیق به‌شمار می‌رود. این تعریف قدیمی، در حال حاضر نیز به صورت وسیعی بخصوص توسط بخش‌های تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مفهوم آبیاری دقیق اساساً متفاوت از تعریف قدیمی آن است. آبیاری دقیق در بردارنده مدیریت‌های مختلف آبیاری و در نتیجه تفاوت الگوی کشت در مزرعه می‌باشد. آبیاری دقیق تمرکز بر هر یک از گیاهان در سطح مزرعه و یا یک سطح کوچکی از مزرعه دارد در حالی که تعریف قدیمی کل سطح مزرعه را در نظر می‌گیرد. آبیاری دقیق قابل انطباق بر کلیه‌ی روش‌های آبیاری و گیاهان در هر زمان و مکان است. بعضی از تعاریف آبیاری دقیق متمرکز بر

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

برخی تکنولوژی‌های آبیاری تحت فشار و به خصوص سیستم آبیاری سنتریپوت می‌باشد. این تعاریف توانایی و آزادی عمل را در آبیاری دقیق کاهش می‌دهد. این در حالی است که مجموعه‌ای از تکنولوژی‌ها در مقیاس یک سیستم کاربردی، یک ترکیب ضروری برای آبیاری دقیق می‌باشد. آبیاری دقیق یک هماهنگی واحد بین مدیریت پیشرفته آبیاری و قرائت و پایش اطلاعات، مدل‌سازی و کنترل می‌باشد. شاید این چنین تصور شود که منظور از آبیاری دقیق کاربرد تکنولوژی است اما این تعریف همیشه صادق نیست. اگرچه آبیاری دقیق ترکیبی از تکنولوژی پیشرفته شامل اتوماسیون و اطلاع رسانی است. زارعین در عمل از داده‌های طولانی مدت ایستگاه‌های هواشناسی منطقه به طور میانگین استفاده کرده و همان داده‌ها را ملاک نیاز آبی می‌دانند. هم‌چنان که سند آبیاری ایران و تحویل حجمی آب به زارعین در حال حاضر نیز با همین روش صورت می‌گیرد. به نظر می‌رسد که برآورد مقدار آب آبیاری بر اساس محاسبات نیاز آبی بر پایه داده‌های هواشناسی طولانی مدت منطقه می‌تواند به کم یا فرابراورد نیاز آبی و در نهایت تغییر در مقدار محصول منجر شود (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۳). به منظور مقایسه میزان مصرف آب آبیاری و تأثیر آن بر کارایی مصرف آب در سه وضعیتی که در آن‌ها میزان آبیاری بر اساس: (۱) داده‌های به‌هنگام هواشناسی مزرعه، (۲) داده‌های به‌هنگام ایستگاه هواشناسی خارج از مزرعه و (۳) داده‌های میانگین هواشناسی منطقه محاسبه شده بود آزمایش صحرایی روی محصول ذرت علوفه‌ای در منطقه کرج انجام گرفت. نتایج کار نشان داد که بین داده‌های هواشناسی از نظر دما، رطوبت و سرعت باد در مزرعه و نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی و یا داده‌های میانگین منطقه تفاوت وجود داشته و در صورت استفاده از داده‌های به‌هنگام هواشناسی مزرعه افزایش ۲۷ درصدی کارایی مصرف آب مشاهده شد. (موسوی، ۱۳۸۷).

آبیاری اغلب در زمان مناسب و به میزان مورد نیاز صورت نمی‌گیرد. از آنجا که مدیریت نامناسب آبیاری بیش از هر عامل دیگری در کاهش محصول تولیدی و افزایش تلفات آبیاری نقش دارد، می‌توان با اصلاح این مدیریت از طریق پایش مستمر نوسانات رطوبتی خاک و به تبع آن تعیین زمان‌بندی دقیق، شدت جریان، عمق مورد نیاز، تناوب و نهایتاً زمان قطع به‌موقع آبیاری می‌توان شرایط بهینه آبیاری در جهت حداکثرسازی بهره‌وری آب را فراهم کرد (انصاری، ۱۳۸۴). به تازگی پیشرفت قابل توجهی در تکنیک سنجش از دور بدست آمده که به پژوهشگران اجازه می‌دهد، نقشه رطوبت خاک را در هر نقطه از جهان به صورت دقیق و مکرر داشته باشند. این پیشرفت‌ها برای بدست آوردن داده‌های مورد اطمینان از حوضه‌های دوردست یا بدون آمار، کمک می‌کند و از صرف وقت و هزینه اضافی جلوگیری به‌عمل می‌آورد. در پژوهشی در استان خوزستان حسینی چمنی و همکاران (۱۳۹۸) از تصاویر لندست برای برآورد شاخص‌های گیاهی و حرارتی استفاده کردند و در زمینه برآورد رطوبت خاک از آن بهره بردند. نتایج آن‌ها نشان داد که می‌توان از تصاویر ماهواره‌های لندست و شاخص‌های گیاهی و حرارتی برای برآورد رطوبت سطحی خاک و میزان آبیاری مورد نیاز استفاده کرد. در مطالعه‌ای دیگر فرخی و همکاران (۱۳۹۹) به توسعه مدل تخمین رطوبت خاک منطقه ریشه (SMAR)، در پیکسل‌های یک کیلومتری در دشت رفسنجان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های رطوبت خاک سطحی بدست آمده از روش ریزمقیاس‌سازی، تطابق مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی برقرار کرد.

### کشت‌های زودرس و استفاده از ارقام مقاوم

امروزه بهبود کارایی مصرف آب (WUE) و تولید محصول بیشتر در ازای واحد آب مصرفی، از مهم‌ترین اهداف کشاورزی حتی در شرایط تنش خشکی می‌باشند. تاریخ کاشت و ارقام مناسب از مهم‌ترین مولفه سازگار با تنوع اقلیمی و خشکسالی بوده و نسبت به سایر تیمارهای زراعی، بیشترین تأثیر را بر خصوصیات زراعی گیاه می‌گذارد. با انتخاب تاریخ کاشت مناسب می‌توان بیشترین تطابق را بین روند رشد گیاه و شرایط اقلیمی ایجاد کرد. تاریخ کاشت مناسب به صورت مدت زمان لازم برای حداکثر تولید شاخ و برگ و حداکثر عملکرد اقتصادی بیان می‌شود و معمولاً بستگی به زمان کاشت داشته و از طریق آزمایشات مشخص می‌گردد. تاریخ کاشت مناسب، تاریخی است که در نتیجه آن تمامی عوامل محیطی (آب، نور و خاک) مورد استفاده گیاه جهت حداکثر عملکرد قرار گیرد. به عنوان مثال در پژوهشی در همدان، نتایج بیانگر این بود که جهت تولید هر کیلوگرم سیب‌زمینی با تاریخ کاشت معمول ۱۴۱ لیتر آب و با کشت تاخیری جهت تولید هر کیلوگرم غده سیب‌زمینی ۸۵ لیتر آب مصرف می‌شود (پرویزی و قدمی، ۱۳۹۹). هم‌چنین حبیب‌زاده و همکاران (۱۳۹۹) نتیجه گرفتند که استفاده از ارقام گندم مقاوم به کم‌آبی در زمینه افزایش کارایی مصرف آب و کاهش مصرف آب کارگشا است.

### آبیاری شیاری یک در میان

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

آبیاری شیاری (جویچه‌ای) یک در میان از شیوه‌های کم‌آبیاری و از راهکارهای مدیریت مصرف آب در اراضی فاریاب است که با آبیاری تنها نیمی از جویچه‌ها به‌صورت یک در میان قابل اجرا می‌باشد. دو روش مدیریت آب در سیستم آبیاری جویچه‌ای یک در میان به کار می‌رود: ۱) آبیاری جویچه‌ای یک در میان متغیر که در آن جای جویچه‌های آبیاری شده و آبیاری نشده در هر آبیاری عوض می‌شوند. ۲) آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت که در این روش جویچه‌های آبیاری شده در طول فصل رشد ثابت می‌مانند. هنگامی که مشکلاتی از نظر تأمین سرمایه، انرژی، نیروی کارگر و یا دیگر منابع وجود داشته باشد یا هنگامی که هزینه‌های این گونه منابع بالا باشد، کم‌آبیاری می‌تواند در افزایش بهره‌وری اقتصادی مفید واقع شود. با استفاده از آبیاری شیاری یک در میان در شرایطی که زمین عامل محدودکننده تولید نباشد سطح زیر کشت را می‌توان به دو برابر افزایش داد و در نتیجه مقدار محصول نسبت به تیمار آبیاری جویچه‌ای کامل قابل ارتقاء خواهد بود. در آبیاری جویچه‌ای یک در میان، تقویت نفوذ جانبی منجر به تلفات کمتر رواناب در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای معمولی می‌شود (ابراهیمیان و همکاران، ۱۳۹۰). هم‌چنین نتایج دهقانی و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد آبیاری جویچه‌ای متناوب و یا آبیاری جویچه‌ای مرسوم با اعمال تنش ملایم (کم‌آبیاری تا حد ۲۰ درصد) ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، باعث توسعه یک سیستم مناسب ریشه و گسترش ریشه‌های ثانویه می‌شود که امکان استفاده بهتر از شرایط محیطی و رطوبت موجود در خاک را فراهم می‌سازد.

### نتیجه‌گیری

هدف اصلی از این بررسی تأکید بر لزوم اولویت‌بخشی راهکارهای متعدد غیرسازه‌ای و نرم‌افزاری مدیریتی در سطح مزرعه است که می‌تواند تأمین‌کننده اهداف کلان کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی با حداقل هزینه‌های سرمایه‌ای باشد. رویکرد غالب در نظام مدیریتی کشور د برگیرنده سرمایه‌گذاری‌های هنگفت و توجیه‌ناپذیر دولتی شامل توسعه سامانه‌های آبیاری نوین، به‌عنوان اولین رویکرد مدیریتی لزوماً راهگشا نیست و قبل از پذیرش این حجم بالای سرمایه‌گذاری، توجه و ترویج راهکارهای مختلف مدیریتی غیرسازه‌ای در سطح مزرعه از اهمیت بالایی برخوردار است و می‌تواند متضمن اثربخشی و پایداری اهداف کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی باشد. سهم و اثربخشی هر کدام یا ترکیبی از راهکارهای مدیریتی نرم‌افزاری در کاهش مصرف آب، که به‌طور نمونه در این مبحث آورده شده، به عوامل متعددی از قبیل شرایط فیزیکی اولیه مزرعه، نوع کشت و مهارت بهره‌بردار و نهایتاً نظارت کیفی و تداوم اعمال این راهکارهای مدیریتی متکی است. در این راستا در وهله اول حکمرانی دقیق و هدفمند در سیاست‌گذاری و نظارت مستمر بر الگوی برداشت پایدار از منابع آب سطحی و زیرزمینی شرط اساسی در موفقیت و اثربخشی این رویکرد است. در عین حال واگذاری اجرای سیاست‌های برداشت و تخصیص منابع آب بین کشاورزان و ذینفعان به بنگاه‌های مستقل آبیاری محلی بجای مدیریت‌های بالادستی مورد تأکید است. نقش مستقیم کارشناسان آموزش، ترویج و فرهنگ‌سازی در مشارکت و ایجاد انگیزه نسبت به لزوم صرفه‌جویی در مصرف آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که این مهم در اغلب موارد اساساً مغفول مانده است.

نهایتاً، رویکرد کلان حاکمیت باید به سمت ساماندهی بخش کشاورزی با توجه به آمایش سرزمین و جایگزینی تدریجی اشتغال و معیشت آب‌محور باشد. ذینفعان بخش کشاورزی علیرغم به تاراج رفتن منابع حیاتی آب کشور کماکان از اقشار کم‌برخوردار جامعه محسوب می‌شوند. ایجاد صنایع فرآوری بعد از برداشت می‌تواند تا حد زیادی مشکل گشا باشد.

## منابع

- ابراهیمیان، ح.، و لیاقت، ع.، و پارسی نژاد، م.، و عباسی، ف.، و نوایان، م. ۱۳۹۰. بررسی تلفات آب و نیترات و کارایی مصرف آب در کودآبیاری جویچه ای یک در میان. پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)، ۲۵ (۱ (ب)): ۲۱-۲۹.
- افشار، ه.، صدراقین، س.، و مهرآبادی، ح. (۱۳۹۱). ارزیابی کاربرد مالچ پلاستیک بر عملکرد و میزان آب مصرفی در زراعت پنبه. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶ (۶): ۱۴۲۱-۱۴۲۷.
- انصاری، ح. (۱۳۸۴). مدیریت بهینه آبیاری فضای سبز با پایش داده‌های رطوبت خاک. دومین همایش ملی فضای سبز شهری.
- باشگاه خبرنگاران، (۱۴۰۰). توسعه سامانه نوین آبیاری. بازیابی شده در ۱۷ مرداد ۱۴۰۰ از <https://khabarban.com/tag/%D8%AA%D9%88%D8%B3%D8%B9%D9%87%D8%B3%D8%A7%D9%85%D8%A7%D9%86%D9%87-%D9%87%D8%A7%DB%8C%D9%86%D9%88%DB%8C%D9%86%D8%A2%D8%A8%DB%8C%D8%A7%D8%B1%DB%8C>.
- بوستانی، .، و محمدی، معین الدینی. ۲۰۱۴. پیامد سیاست‌های افزایش قیمت آب و کاهش آب آبیاری در استان فارس (رهیافت برنامه‌ریزی ریاضی مثبت تصحیح شده). مهندسی منابع آب، ۷ (۲۰): ۶۵-۷۸.
- پرویزی، ق. و قدمی فیروزآبادی، ع. ۲۰۲۰. مدیریت مصرف آب و کاهش خسارت آفات و بیماری‌های مهم سبب زمینی با کشت تأخیری سبب زمینی در استان همدان. علوم کاربردی سبب زمینی، ۳ (۲): ۵۱-۵۸.
- حبیب زاده، ی. و عیوضی، ع. ۲۰۲۰. ارزیابی مناطق مستعد کشت گندم آبی از نظر هزینه‌های اقتصادی و کاهش مصرف آب در شهرستان‌های استان آذربایجان غربی. علوم گیاهان زراعی ایران، ۵۱ (۳): ۲۰۵-۲۲۰.
- حسینی چمنی، ف.، و فرخیان فیروزی، ا.، و عامری خواه، ه. ۱۳۹۸. تابع انتقالی به منظور برآورد رطوبت خاک به کمک شاخص‌های پوشش گیاهی، دمای سطح خاک و شاخص نرمال شده رطوبت. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۶ (۴): ۲۳۹-۲۵۴.
- دهقانی سانج، ح.، خزائی، ا. و ذاکری‌نیا، م. ۱۳۹۳. نقش آبیاری دقیق در مصرف آب و کارایی مصرف آب، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۸ (۱): ۱۸۶-۱۸۰.
- دهقانی، م.، نوری امام زاده ای، م.، شاه نظری، ع.، و قیصری، م. ۱۳۹۸. تأثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای بر صرفه جویی و کارایی مصرف آب ذرت علوفه ای در اصفهان. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۵۰ (۸)، ۱۸۹۹-۱۹۱۰.
- رجا، ا.، پارسی نژاد، م. و سهرابی، ت. ۱۳۹۷. اثربخشی راهکارهای مدیریتی کاهش مصرف آب کشاورزی (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی مروت‌دشت-خرامه). نشریه حفاظت منابع آب و خاک (علمی-پژوهشی)، ۸ (۴): ۶۷-۸۶.
- نیکخواه، م.، رحیمیان، م.ج.، روستا، م.ج. و رزاقیان، حسین. ۱۳۹۳. ارزیابی برخی راهکارهای مدیریتی افزایش شاخص کارایی مصرف آب مزارع گندم در شرایط شور. آب و توسعه پایدار، ۱ (۳): ۵۳-۵۸.
- رضائزاد، ع. ۱۳۹۵. شناسایی مدیریت منابع آب کشاورزی توسط باغداران شهرستان مراغه و گرایش آن‌ها به استفاده از روش‌های پایدار مدیریت منابع آب. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.
- زبردست، ش. ۱۴۰۰. مدل زمان واقعی بهینه سازی تخصیص توأمان آب کشاورزی و حقایق دریاچه ارومیه (مطالعه موردی: شبکه آبیاری سد بوکان)، رساله دکتری (در مرحله دفاع). گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

- فرخی، م.، انصاری، ح. و فریدحسینی، ع.ر. ۱۳۹۹. تخمین رطوبت خاک با تلفیق روش ریزمقیاس سازی داده های سنجنده مایکروویو و مدل SMAR (مطالعه موردی: دشت رفسنجان). مجله علوم آب و خاک، ۲۴(۱): ۱۴۴-۱۳۳.
- محرمی، ه. ۱۴۰۰. بررسی اثر کشت نشایی در افزایش ردپای آب سبز چغندر قند در حوضه ی آبریز دریاچه ارومیه. سمینار دانشجویی گروه مهندسی آبیاری و آبادانی. دانشگاه تهران.
- موسوی، م. ۱۳۸۷. ارزیابی تاثیر اجرای خودکارسازی آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت علوفه ای (مطالعه موردی منطقه کرج)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- یوسف آبادی، و.ا. ۱۳۹۴. کشت نشائی در زراعت چغندر قند. کارگاه آموزشی بهینه سازی شیوه های کشت چغندر قند جهت صرفه جویی در مصرف آب. موسسه ی تحقیقات چغندر قند.
- یوسف آبادی، و.ا. ۱۳۹۶. کشت نشایی چغندر قند با دو روش گلدان کاغذی و بدون استفاده از گلدان (ریشه لخت). چاپ اول، نشر آموزش کشاورزی، کرج.
- Bindra, S. P., Hamid, A., Salem, H., Hamuda, K. & Abulifa, S. 2014. Sustainable integrated water resources management for energy production and food security in Libya. *Procedia Technology*, 12: 747-752.
- Ghehsareh, M. G., Khosh-Khui, M. & Abedi-Koupai, J. (2010). Effects of superabsorbent polymer on water requirement and growth indices of *Ficus benjamina* L. 'Starlight'. *Journal of plant nutrition*, 33(6): 785-795.
- Ma, Y. J. & Li, X. Y. 2011. Water accumulation in soil by gravel and sand mulches: Influence of textural composition and thickness of mulch layers. *Journal of Arid Environments*, 75(5): 432-437.
- Penn State Extension., 2020. Strategies to improve water use efficiency, Updated July 2020. <https://extension.psu.edu/strategies-to-improve-water-use-efficiency-part-1>.
- Penn State Extension., 2020. Strategies to improve water use efficiency, Updated July 2020. <https://extension.psu.edu/strategies-to-improve-water-use-efficiency-part-2>.
- Rezanjad Asl A. 2016. Identification of agricultural water resources management by gardeners in Maragheh city and their tendency to use sustainable water resources management methods. Master thesis. Faculty of Agriculture, University of Zanjan (In Persian).
- Walia, U. S., Walia, S. S., Sidhu, A. S. & Nayyar, S. 2014. Productivity of direct seeded rice in relation to different dates of sowing and varieties in Central Punjab. *Journal of Crop and Weed*, 10(1), 126-129.
- CUESA, 2014. 10 Ways Farmers Are Saving Water [PDF document]. Retrieved from <https://cuesa.org/article/10-ways-farmers-are-saving-water>.

**Decoupling improving Farm Water Management and Expansion of Hardware Measures**

Masoud Parsinejad<sup>1</sup>, Ali Ashrafi<sup>2</sup>, Omid Raja<sup>3</sup>

- 1) Associate Professor, Department of Irrigation and Reproduction Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.
- 2) Msc Student, Department of Irrigation and Reproduction Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.
- 3) Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reproduction Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran.

**Abstract**

Increasing water consumption due to population growth and the emergence of new demands for water, which has ultimately led to the unplanned and unsustainable use of water resources in recent decades, has resulted in a decrease in water per capita in Iran. The water crisis in Iran will become worse unless a comprehensive management plan is prepared to manage water consumption, especially in the agricultural sector. Water management in agriculture can be divided into non-structural management and costly structural management. The purpose of this study is to evaluate the effectiveness of non-structural management solutions without the need to change the irrigation system and high cost, which while saving water consumption in agriculture, can ensure the sustainability of water resources and improve farmers' livelihoods. The effectiveness of each or a combination of software management strategies in reducing water consumption, which is exemplified in this article, depends on several factors such as the initial physical condition of the farm, type of cultivation and farmer skills, and finally quality monitoring and continuation of these management strategies.

**Keywords:** Non - structural management, Sustainability of water resources, Water management, Water saving

**پایش فرسایش خاک در کشور: معرفی ظرفیت آبخیزهای معرف و زوجی کشور**

یحیی پرویزی<sup>\*</sup>، محمود عربخدری

دانشیاران پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران  
<sup>\*</sup>نویسنده مسوول، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری y.parvizi@areeo.ac.ir

**چکیده**

اتلاف سالانه مقادیر عظیم خاک حاصلخیز، خسارات سنگین مادی و معنوی بر کشور تحمیل می‌کند که برآوردها نشان از خسارتی حداقل معادل ۱۴ درصد درآمد ناخالص ملی است. مشخص نیست که این اتلاف منابع تا چه حد منجر به ویرانی توان ژنومیک خاک کشور و ظرفیت تولید آن می‌شود؟ بعلاوه، سالانه حداقل ۴۰۰۰ میلیارد ریال صرف اجرای طرح‌های حفاظت خاک در کشور می‌شود. از سوی دیگر، آمار دقیقی حاصل از ثبت میدانی فرسایش، از روند فرسایش خاک در کشور وجود ندارد. سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری جهت نیل به هدف ثبت داده فرسایش خاک، در مقیاس حوضه آبخیز و نیز ارزیابی کارایی اقتصادی این حجم از سرمایه‌گذاری و نیز مدیریت دانش‌بنیان حوضه‌های آبخیز دست به احداث حوزه‌های معرف و زوجی در سطح کشور زد. همچنین، شبکه حوضه‌های معرف و زوجی با اهداف پایش و ثبت آمار داده مکانی دقیق پارامترهای اقلیمی، فرسایش و رسوب، گیاه‌شناسی، خاک و آب‌های زیرزمینی توسط این سازمان احداث گردیده‌اند. ایستگاه‌های مذکور، بستر مناسبی جهت مطالعه روش‌های کنترل فرسایش خاک در کشور و انجام پژوهش‌های کاربردی مورد نیاز کشور جهت برنامه‌ریزی علمی و دانش‌بنیان در حوضه حفاظت خاک و آب را فراهم نموده است. در این نوشتار تلاش شده است ضمن بیان ضرورت پایش متغیرهای هیدرولوژی و به‌ویژه فرسایش خاک در مقیاس حوضه آبخیز، ساز و کار اجرا شده جهت پایش فرسایش خاک در حوضه‌های معرف و زوجی کشور معرفی شود. همچنین وضع موجود تا زمان مطالعه حاضر، از نظر داده‌های ثبت شده مورد

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بررسی و مذاقه قرار گرفته و نقاط ضعف و قوت واحدهای پایش یاد شده از منظر پایش متغیرهای فرسایش خاک تبیین شده است.

### ۱- مقدمه

فرسایش خاک مهم‌ترین عامل تخریب خاک در سطح جهان است (FAO, 2015) و اثرات سوء اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی فراوانی بر جای می‌گذارد. فرسایش خاک یکی از دلایل اصلی بیابانی شدن حوزه های آبخیز نیز می‌باشد. فرسایش متوسط سالانه کشور در حدود یک میلیارد تن در سال معادل شش تن از هر هکتار در سال (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۶) می‌باشد. برآوردهای بیش‌تر از این میزان نیز در برخی از منابع ذکر شده است. بدیهی است ارائه هر گونه برنامه موثر حفاظت خاک بدون اطلاع از مقدار فرسایش خاک و روند تغییرات آن مقدور نیست. بیشتر اطلاعات موجود از فرسایش به صورت برآوردی و با استفاده از مدل‌های فرسایش و رسوب می‌باشد. به رغم ارزشمند بودن چنین برآوردهایی، از آنجا که بر اساس اندازه‌گیری در نقاط ثابت به‌دست نیامده اند، قابل استفاده برای تعیین روند فرسایش نیستند. از آنجا که برخی از عوامل نظیر شدت و مقدار باران، سرعت و جهت باد و وضعیت پوشش گیاهی از زمانی به زمان دیگر تغییر می‌کند، مقدار فرسایش نیز تغییراتی را نشان می‌دهد. بخشی از این تغییرات نوسانات فصلی دارند. در مقابل برخی تغییرات به تفاوت‌های بین‌سالی عوامل فرساینده مربوط است. بنابراین در برنامه پایش فرسایش خاک باید ثبت طولانی مدت مد نظر برنامه‌ریزان قرار گیرد. به بیان دیگر، اگر چه اطلاعات مربوط به یک رویداد نیز می‌تواند فایده‌هایی داشته باشد ولی سودمندی آن هنگامی بیش‌تر می‌شود که پایش طولانی مدت انجام گیرد.

سابقه پایش فرسایش خاک در ایران اقداماتی در دفتر طرح‌ریزی سازمان جنگل‌ها و مراتع و آبخیزداری در قالب طرح احداث آبخیزهای زوجی انجام گرفته است (دفتر طرح ریزی، ۱۳۹۱). مساحت این آبخیزها عموماً کوچک بوده که در یکی از آنها عملیات حفاظت خاک انجام شده و در دیگری مدیریت متداول در منطقه جاری است.

شبکه حوضه‌های معرف و زوجی با اهداف پایش و ثبت آمار داده مکانی دقیق پارامترهای اقلیمی، فرسایش و رسوب، گیاه شناسی، خاک و آب‌های زیرزمینی توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری احداث گردیده‌اند. ایستگاه‌های مذکور، بستر مناسبی جهت برنامه‌ریزی علمی و دانش‌بنیان برای مدیریت حوزه‌های آبخیز کشور و انجام پژوهش‌های کاربردی مورد نیاز کشور را فراهم نموده است. حوزه‌های معرف یاد شده، هر یک دربردارنده دو حوضه زوجی نمونه و شاهد است که با اهداف ثبت مستمر فاکتورهای اقلیمی و داده مکانی و ارائه آمار و اطلاعات دقیق منطقه‌ای از پارامترهای هواشناسی، هیدرومتری، فرسایش و رسوب، گیاه شناسی و آب‌های زیرزمینی، پایش شاخص‌های حوزه‌های آبخیز اقلیم ذیربط احداث گردیده است. همچنین، برنامه‌ریزی و اعمال الگوهای مدیریت حوزه های آبخیز، ارزیابی فنی، مدیریتی و اقتصادی - اجتماعی و پایش الگوهای یاد شده، ارائه الگوهای آموزشی - ترویجی فعالیتهای آبخیزداری و زمینه‌سازی انجام تحقیقات کاربردی، از دیگر اهداف احداث این ایستگاه‌ها است. ایستگاه‌های مذکور علاوه بر ایفای نقش پیلوت ترویجی و آموزشی، به‌عنوان پایگاه داده مکانی و بانک اطلاعاتی آبخیز، بستر مناسبی جهت انجام پژوهش‌های کاربردی مورد نیاز کشور را فراهم نموده است.

### ۲- تعاریف

**حوضه آبخیز معرف**<sup>۱۸</sup>: آبخیزهای معرف واحدهای هیدرولوژیکی هستند که در مناطق همگن از نقطه نظر اقلیمی، لیتولوژی، پوشش گیاهی و خاک شناسی استقرار و راه اندازی می شوند، تنوع کاربری ملاک انتخاب این آبخیزها است. انتخاب مناسب این آبخیزهای معرف جهت تعمیم نتایج حاصل از آنها در مناطق همگن بسیار کلیدی است. این گونه آبخیزها در مناطقی که دارای کاربری‌های مختلفی از اراضی بوده استقرار یافته و وسعت آنها حداکثر تا ۱۰۰۰۰ هکتار می رسد. آبخیزهای معرف برای اولین بار در ایالات متحده آمریکا راه اندازی شدند و در حال حاضر اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه نسبت به استقرار اینگونه حوزه ها اقدامات لازم به‌عمل آورده اند.

<sup>18</sup> . Representative watershed

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

**حوضه آبخیز نمونه<sup>۱۹</sup>:** حوزه‌هایی که عملیات مدیریتی آبخیزداری بر روی آنها اعمال و جهت نمونه برداری و اندازه گیری میزان فرسایش و رسوب و رواناب از آنها استفاده می‌شوند. آبخیزهای کوچکی در سطح حدود ۵۰۰ هکتار بوده که علاوه بر ثبت پارامترهای هیدرولوژیکی نظیر مقادیر فرسایش و رسوب و رواناب، به منظور بررسی اثرات عملیات مختلف آبخیزداری بر شرایط فیزیکی و اجتماعی آبخیز، به کار برده می‌شوند. حوزه نمونه جنبه کاربردی داشته و کمتر جنبه های نمایشی آن مد نظر قرار می گیرد لذا نتایج حاصل از آنها قابل تعمیم می باشد.

**حوزه های آبخیز شاهد<sup>۲۰</sup>:** حوزه شاهد معمولاً در مجاورت آبخیز نمونه و برای ثبت ویژگی‌های طبیعی یک حوزه معرف و مطابقت آن با حوزه نمونه (یا مجموعه حوزه معرف) که اعمال مدیریت آبخیزداری گردیده، از آن استفاده خواهد شد. از حوزه شاهد جهت بررسی روند و گرایش حوزه نمونه و معرف استفاده می‌گردد. حوزه های شاهد در واقع حوزه هایی هستند که در آنها اعمال مدیریت مناسب منابع طبیعی تجدید شونده انجام نگرفته است و تقریباً به حالت بکر و دست نخورده می‌باشد. حوزه های شاهد معمولاً با حوزه های نمونه در یک حوزه معرف تعریف می گردند و به همین لحاظ به آنها حوزه های زوجی گفته می شود. حوزه های شاهد جنبه ترویجی و آموزشی عملیات آبخیزداری را شامل می‌شود و از آنها جهت بررسی روند و گرایش حوزه معرف استفاده می گردد. حوزه های شاهد حوزه هایی هستند که در آنها اعمال مدیریت مناسب منابع طبیعی تجدید شونده انجام نگرفته است و تقریباً به حالت بکر و دست نخورده می‌باشد.

**آبخیزهای زوجی<sup>۲۱</sup>:** حوزه‌های نمونه و شاهد نمونه در داخل یک حوزه معرف تعریف می‌گردند و به آنها حوزه های زوجی گفته می‌شود. حوزه‌های نمونه و شاهد باید تشابهات مرفوژئومتری داشته باشند، ولی فاکتورهای تاثیرگذار متفاوتی دارند. لذا، نتایج حاصل از آنها قابل قیاس و سنجش با یکدیگر نخواهد بود. جهت مقایسه نتایج، از قطعات نمونه و شاهد که بر روی یک دامنه با شرایط یکسان استقرار می‌یابد، می توان استفاده نمود. در چنین حالتی به آنها قطعات زوجی<sup>۲۲</sup> اطلاق می گردد.

**حوزه آبخیز نمایشی - ترویجی<sup>۲۳</sup>:** آبخیزهای نمایشی به منظور نشان دادن اثرات عملیات اجرایی پروژه های آبخیزداری و ترویج آنها بین دست‌اندرکاران و آبخیزنشینان، برای جلب مشارکت آنها در اجرای برنامه های حفاظت آب و خاک، به کار برده می‌شوند. داشتن اطلاعات از منابع آبخیز برای برنامه‌ریزی‌های کوتاه مدت و دراز مدت لازم و ضروری می باشد. این مهم فقط با استفاده از استقرار و راه اندازی حوزه‌های معرف در مناطق همگن امکان‌پذیر خواهد بود. از آنجائی که آبخیزهای معرف در مناطق همگن هیدرواقليم، هیدروادفیک و هیدرواکولوژیک استقرار و راه اندازی می‌گردند، بنابراین نتایج به‌دست آمده از آنها قابل تعمیم برای این‌گونه مناطق خواهد بود. بر همین اساس اکثر کشورهای در حال پیشرفت و پیشرفته دنیا آبخیزها را به‌عنوان واحد برنامه ریزی انتخاب نموده و کلیه برنامه‌های توسعه پایدار خود را در محدوده آبخیزها دنبال می نمایند. حوزه‌های زوجی نوعی حوزه تحقیقاتی می‌باشد و به منظور تسریع در انجام تحقیقات از آنها استفاده می شود و ممکن است در داخل حوزه معرف قرار داشته باشد. نحوه کار بدین ترتیب است که در یکی از زیر حوزه های فرعی، دو آبراهه را که از نظر سطح، توپوگرافی، زمین شناسی، پوشش گیاهی، خاک، شیب، لیتولوژی، فرسایش، آب و هوا و غیره تا حد امکان یکسان باشند، انتخاب نموده، در یکی از حوزه ها شرایط ثابت باقی مانده و به‌عنوان شاهد در نظر گرفته می شود و در حوزه دیگر تغییراتی توسط روش‌ها و تکنیک‌های آبخیزداری صورت می گیرد و اثرات آنها مطالعه می شود، که نمونه خوانده می شود. حال ضمن پایش متغیرهای هیدرولوژیکی به‌طور عام و متغیرهای فرسایش، رسوب و جریان به‌طور خاص در هر یک از این واحدهای پایش، روند اثربخشی این عملیات در متغیرهای یاد شده در طی زمان پایش و رصد خواهد شد.

### ۳- سابقه پایش فرسایش خاک در جهان

<sup>19</sup> . Sample catchment

<sup>20</sup> . Testifier catchment

<sup>21</sup> . Paired catchment

<sup>22</sup> . Paired segments

<sup>23</sup> . Demonstration watershed

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

در اوایل قرن بیستم حوزه‌های معرف هواشناسی و هیدرولوژیکی در بسیاری از کشورهای دنیا براساس اقلیم و متوسط بارش سالیانه استقرار و راه اندازی گردیدند. درحال حاضر اکثر ممالک دنیا از این گونه حوزه ها برای اهداف مختلفی استفاده می‌نمایند. به‌عنوان مثال، کشور ترکیه دارای ۳۰ حوزه معرف هواشناسی و هیدرولوژیکی می‌باشد. کشور هندوستان جهت بررسی و الویت-بندی برنامه‌های حفاظت خاک، از حوزه‌های معرف و زوجی استفاده نموده است. سابقه تاسیس حوزه های آبخیز زوجی در دنیا به سال ۱۹۲۸ در ایالات متحده امریکا بر می گردد. در آسیا برای اولین بار در کشورهای ژاپن و هندوستان احداث شد. معروفترین حوزه معرف و زوجی در آمریکا، آبخیز والنات گالچ در جنوب آریزونا و رینولدز کریک در آیداهو است. این حوزه ها با هدف پایش داده های رواناب، فرسایش و رسوب و سیل و همچنین ارزیابی عملیات حفاظت خاک به ترتیب در دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ در یک محدوده ۱۵۰ و ۲۳۹ کیلومتر مربعی تاسیس گردیدند (رنارد و همکاران، ۲۰۰۸، اسلاوتر و همکاران، ۲۰۰۱). نیکولاس و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی کمی و کیفی داده های رسوب ایستگاه والنات گالچ در ۵۰ سال پرداخته و به احصاء نقاط ضعف و قوت داده ها پرداختند. آنها بازه زمانی و حدود قابل اطمینان داده ها را در فاصله دهه های ۶۰ تا پایان دهه ۹۰ میلادی استخراج نمودند. اسکیروین و همکاران (۲۰۰۸) همین کار را روی داده های پوشش گیاهی حوزه والنات گالچ از ابتدای تاسیس تا سال ۲۰۰۵ انجام داده و نقشه های پوشش را با منابع متعدد داده موجود برای بازه های زمانی مختلف برای حوزه مزبور ترسیم و بانک اطلاعات داده تحت وب و در دسترس برای این منظور تاسیس نمودند. کلویرو و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی داده های رواناب ایستگاه آزمایشی (معرف و زوجی) بونیس در جنوب ایتالیا از ۱۹۸۶ تا سال تحقیق نشان دادند که بعد از جنگل تراشی، در مجموع رواناب به میزان ۵۰ درصد متوسط سالانه افزایش یافت.

در یک برنامه پایش فرسایش خاک در آمریکا، طی سال‌های ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۸، عوامل سطح خاک مربوط به فرسایش برای ۱۳۵ میلیون ایکر از اراضی به روش موسوم به BLM اندازه گیری و ثبت شد (کلارک، ۱۹۸۰). برنامه پایش دیگری موسوم به روش اندازه گیری خاک - گیاه متعاقبا به تصویب رسید که همچنان اندازه گیری عوامل سطح خاک در آن ملحوظ بود.

بزرگترین و جامع ترین سیستم پایش در حال اجرا در ایالات متحده آمریکا، برنامه پایش منابع اراضی (خاک، آب، پوشش و تنوع زیستی) یا منابع طبیعی (خاک، آب، مرتع و جنگل) است. این برنامه در ابتدا از ۱۹۵۸ تا ۱۹۶۸ تحت عنوان فهرست نیازهای حفاظتی نامیده می‌شد (CNI<sup>۲۴</sup>). هر ۵ سال یکبار، در آمریکا پایش وضعیت منابع ملی (منابع طبیعی، کاربری اراضی، فرسایش خاک و منابع اراضی) انجام می‌شود (برنامه NRI<sup>۲۵</sup>). از ۱۹۷۷ کنگره آمریکا وزیر کشاورزی را موظف کرد ضمن پایش سالانه خاک و از جمله روند فرسایش خاک در اراضی فدرال، برنامه حفاظتی طرح ریزی و اجرا کند و به صورت دوره ای به کنگره و مردم گزارش دهد. در این برنامه، سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا ۸۰۰۰۰۰ نقطه را در قالب طرح اندازه گیری منابع طبیعی از نظر فرسایش مورد پایش مداوم قرار داده است. در این پایش که هر پنج سال تکرار می شود، منابع خاک و آب در سطح آمریکا اندازه گیری می شوند (NRI، ۲۰۱۵ و Toys و همکاران، ۲۰۰۲). طراحی تعیین نقاط اندازه گیری بر اساس روش نمونه گیری طبقه بندی شده دو مرحله ای بوده است. واحد نمونه گیری اولیه یک قطعه زمین است؛ در حالی که واحدهای نمونه گیری ثانویه تعدادی نقطه انتخاب شده در واحد اولیه می باشند. تعداد نقطه تابع یکنواختی و یا غیر یکنواختی زمین است. وسعت اغلب واحدهای نمونه گیری اولیه حدود نیم مایل مربع است که در هر یک از آنها به طور متوسط سه نقطه انتخاب شده‌اند.

طراحی سامانه نمونه برداری در NRI به صورت طبقه بندی شده دو مرحله ای طراحی شده است که عرصه کشور در یک شبکه ۶×۶ مایل طراحی و هر مایل مربع به یک شبکه چهار تکه (سلول کوچک) تقسیم شد. سپس در هر شبکه ۶×۶، واحدهای نمونه گیری به صورت تصادفی به تعداد ۶ سلول کوچک انتخاب و نقاط نمونه برداری به تعداد سه نقطه در هر سلول کوچک انتخابی تعیین شد. در مجموع ۳۶ نقطه نمونه برداری در یک شبکه ۶×۶ مایل توزیع گردید. داده ها در سه مقیاس مکانی نقطه ای، منطقه ای و زیرایالتی برداشت شد. داده برداری در دو مقیاس زمانی و مکانی شامل داده های خاک (شیب، عمق، کلاس قابلیت، فراوانی شوری، اسیدی بودن، غرقاب بودن و غیره)، پوشش سطح (درختی، درختچه ای، گراسلند، ...)، کاربری اراضی (مرتعی، تفرجگاهی، جنگلی و ...)، نوع فرسایش (شیاری، بین شیار و ... بادی)، مدیریت کاربری (شخم حفاظتی، بادشکن، آبیاری)، شرایط

<sup>24</sup> . Conservation Needs Inventory

<sup>25</sup> . National Resources Inventory

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

پوشش گیاهی، نیازهای حفاظتی خاک، گستره کاربری شهری و مسکونی بود. تکنیک‌های آماری مورد نیاز برای تخمین داده در سلول‌ها یا پیکسل‌های دارای گپ داده اعمال شد. همچنین ساماندهی داده‌ها در یک سیستم اطلاعات منابع اراضی به کمک سامانه‌های بانک اطلاعات داده و محیط‌های GIS و سرویس‌های تهیه نقشه تحت شبکه<sup>۲۶</sup> انجام و طراحی نرم افزاری برای این منظور انجام شد.

این سیستم NRI کاربرد زیادی در پیشگیری از خسارات و برنامه ریزی جامع و حفاظت از خاک‌ها دارد. به طور کلی عوامل تخریب کننده خاک و اقدامات اصلاحی آن را پیشنهاد می‌کند. بخش‌های مختلف در این سیستم نقش ایفا می‌کنند. به طور مثال، در نیویورک، شهرداری‌ها، کمیسیون‌های حفاظتی، سازمان‌های آبخیزداری و سازمان EMC به تدوین و جمع‌آوری اطلاعات و شناسایی مناطق برای این سیستم که تحت نظارت وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (NRCS) است، کمک می‌کنند. سیستم NRI همچنین می‌تواند یافته‌هایی در مورد نوع فرسایش آبی و بادی موجود در منطقه و اثر رواناب و بارندگی بر خاک را با فاصله اطمینان 95٪ ارائه دهد. فرسایش محاسبه شده در این روش بر اساس ویژگی‌های ذاتی خاک، آب و هوا، و شیوه کشت و مدیریت زمین در طولانی مدت است. در این سیستم، از معادله فرسایش بادی (WEQ) و معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) برای تعیین شاخص فرسایش پذیری (EI) استفاده می‌شود. نرخ تحمل تلفات خاک (T) که حداکثر میزان از دست رفتن سالانه خاک است، در این سیستم قابل محاسبه است و مقدار آن میزان بهره‌وری از زمین از نظر اقتصادی است تا جایی که محصول کشت شده در خاک پایدار بماند.

سیستم پایش فرسایش خاک در چین شامل یک مرکز پایش ملی تحت مدیریت MWR، هفت مرکز پایش منطقه‌ای مستقر در مرکز مدیریت هفت آبریز بزرگ رودخانه‌ای اصلی این کشور است، همراه با ۳۰ مرکز پایش استانی مستقر در دپارتمان منابع آب استانی دارد. در مجموع ۴۸۳ سایت پایش فرسایش خاک تحت مدیریت این مراکز منطقه‌ای در حال ثبت داده فرسایش خاک هستند. مثلاً حوضه آبریز رودخانه هوای‌هی به هفت محدوده پایش منطقه‌ای منطبق بر هفت واحد منطقه‌ای سطح سوم، رودخانه تفکیک شده است.

پلاتفرم باز تولید داده و پایش با عنوان شبکه SHui، شبکه تولید داده و مدل‌سازی در دو مقیاس کوچک و بزرگ بین کشورهای اتحادیه اروپا، چین و اسرائیل در حال انجام و استحصال داده خاک و همچنین داده فرسایش و تخریب خاک است. شبکه پایش خاک (SMN) نیز یک آرایش فضایی از سایت‌های پایش خاک است که به گونه‌ای طراحی شده است که نمایانگر نوع خاک، کاربری زمین و مناطق آب و هوایی باشد. در این شبکه، استفاده از یک روش هماهنگ برای ارائه داده‌های قابل مقایسه بین سایت‌ها و کشورهای عضو طراحی شده است. برنامه ENVASSO یک مجموعه واحد و یکپارچه در سطح اتحادیه اروپا و عملیاتی از معیارها و شاخص‌های قابل اندازه‌گیری طراحی کرده و تا حدی آزمایش کرده است که مبنایی برای یک سیستم هماهنگ جامع اطلاعات خاک و زمین اروپا فراهم می‌کند (کیبل وایت و همکاران، ۲۰۰۸). انتخاب معیارها و شاخص‌ها در ENVASSO بر اساس خروجی‌ها و تجربه‌های قبلی است. عملکرد این شاخص‌ها برای حمایت از اجرای اولیه آنها در یک سیستم پایش خاک عملیاتی ارزیابی شده است. ENVASSO یک تلاش تحقیقاتی هماهنگ از سوی جامعه علمی با تمرکز بر پارامترها، فرایندها و توسعه مدل به منظور پر کردن شکاف‌های اطلاعاتی در منابع خاک کشورهای عضو اتحادیه اروپا را پر می‌کند.

در اسپانیا، طرح اندازه‌گیری ملی فرسایش خاک برای اجرا بین سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ به تصویب رسید و قرار است هر ۱۰ سال تکرار شود (مارتین و نونز، ۲۰۱۱). اهداف این اندازه‌گیری بسیار گسترده بوده و مشتمل بر شناسایی، تعیین مقدار فرسایش و تعیین روند تغییرات در طول زمان می‌باشد. همچنین پیش‌بینی شده است که از پایگاه داده به‌وجود آمده در ارتباط با برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در ارتباط با مسائل حفاظت خاک و زیست محیطی استفاده به عمل آید. این طرح دارای پنج جزء مختلف از نظر پایش و اندازه‌گیری فرسایش دامنه‌ای، فرسایش خندقی، فرسایش توده‌ای، فرسایش کنار رودخانه‌ای و فرسایش بادی است. در قسمت فرسایش دامنه‌ای که فرسایش ورقه‌ای و شیار را پوشش می‌دهد، یک نمونه از هر شبکه ۵×۵ کیلومتری برداشت و نقشه‌ها با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به تفکیک استان‌ها ارائه می‌شود.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

کلتر و هوپارت (۲۰۱۷) از داده های ایستگاه های آزمایشی برای مدلسازی جریان در حوزه های شهری استفاده کردند. آنان نشان دادند که مهم ترین پارامترها با  $R^2 > 0.9$  در پیش بینی رفتار جریان در زیرحوزه های آزمایشی فاکتورهای پوشش و کاربری بود. کلویرو و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی داده های رواناب و بارش ایستگاه آزمایشی (معرف و زوجی) بونیس در جنوب ایتالیا از ۱۹۸۶ تا سال تحقیق نشان دادند که بعد از جنگل تراشی بخش هایی از ایستگاه مزبور ضریب رواناب در زمستان و پائیز از ۰/۲۱ به ۰/۲۹ و در بهار و تابستان از ۰/۱۶ به ۰/۴۱ افزایش یافتو در مجموع رواناب به میزان ۵۰ درصد متوسط سالانه افزایش یافت.

### ۴- سابقه پایش فرسایش خاک در ایران

اگرچه در ایران، وزارت نیرو برای اولین بار در سال ۱۳۲۱ نسبت به راه اندازی حوزه آبخیز معرف امامه در تهران اقدام نمود و همچنین در سال ۱۳۹۲ این وزارتخانه دارای ۲۲ حوزه آبخیز معرف بود. ولیکن تلاش برنامه ریزی شده و پیوسته که طی آن داده هایی را طی زمان در داخل واحدهای هیدرولوژیک کوچکی بنام حوضه آبخیز استحصال و ثبت نمود، انجام نشده است. به خصوص این فقر داده در خصوص متغیر فرسایش خاک در مقیاس دامنه ونیز حوضه های تک منبعی بیشتر وجود داشته و دارد. در سال ۱۳۶۷ دکتر پاولوویچ کارشناس فائو در منطقه باروت آغاجی، زیر حوضه سد سفیدرود در استان زنجان، اقدام به تاسیس حوزه آبخیز زوجی به منظور ثبت داده های فرسایش و جریان نمود.

در رابطه با حوزه های نمایشی، اولین حوزه از این نوع در سال ۱۳۶۸ با همکاری FAO در حوزه آبخیز سفید رود، بر روی شاخه زنجان رود در استان زنجان ایجاد شد و در ادامه از سال ۱۳۷۳ توسعه کمی آن مد نظر قرار گرفت. همچنین در سال ۱۳۷۲ با استفاده از روش آبخیز نمایشی در حوزه آبخیز آجی چای در شهرستان تبریز به مدت چهار سال شروع گردید. منسجم ترین تلاشها برای احداث حوضه های آبخیز نمونه و معرف وزوجی و ثبت مستمر داده در دهه ۱۳۷۰ توسط سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری آغاز شد. در آن مقطع زمانی، بعد ترویجی و مشارکتی احداث این آبخیزها پر رنگ بود، اما به دلیل اهمیتی که احداث این آبخیزها در امر تولید آمار و اطلاعات فرسایش خاک از حوزه های آبخیز داشت، ضمن مباحث تبلیغی و ترویجی، مقرر شد از نتایج این پروژه در تدوین برنامه های حفاظت آب و خاک و سیاست گذاری ها در سطوح مختلف محلی، منطقه ای، استانی و ملی بهره گرفته شود.

### ۵- حوضه های معرف و زوجی

پروژه حوزه های معرف و نمایشی از اواخر سال ۱۳۷۳ و اوایل سال ۱۳۷۴ در معاونت آبخیزداری وزارت جهادسازندگی آغاز شد. در ابتدا هدف اصلی توسعه و بهره گیری از پروژه ای بود که توسط کارشناس فائو آقای دکتر پاولوویچ در سال ۱۳۶۷ در منطقه باروت آغاجی حوزه زنجان رود اجرا گردیده بود. در مراحل بعد این آبخیزها با هدف تولید آمار متغیرهای هیدرولوژیکی و فرسایش خاک و از یک سو، و از سوی دیگر، با هدف ارزیابی پروژه های حفاظت خاک (از جنبه های فنی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی و نیز توسعه پایدار) طرح ریزی و اجرا شدند. با توجه به مطالب فوق الذکر، ضرورت ایجاد آبخیزهای معرف و زوجی در سطح کشور براساس موارد زیر قابل استدلال می باشد.

۱- کمبود اطلاعات و آمار واقعی جهت برنامه ریزی متمرکز برای حوزه های آبخیز کشور

۲- کمبود معیارها و شاخص های مربوط به نظارت و ارزیابی پروژه های حفاظت خاک

۳- صرفه جویی در هزینه های مربوط به مطالعات و طراحی پروژه های حفاظت خاک

۴- تهیه اطلاعات پایه جهت تدوین اهداف بلند مدت بر اساس آمار واقعی از حوزه های آبخیز کشور

۵- امکان اجرا اعمال مدیریت کاربری مناسب از اراضی، بر اساس توانمندی های سرزمین و بهره برداران

۶- تهیه اطلاعات پایه جهت پیشگیری از سیل و خشکسالی بر اساس آمارهای واقعی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

۷- داشتن اطلاعات پایه جهت تدوین توسعه پایدار در غالب حوزه های آبخیز کشور

۸- ایجاد زیرساخت لازم جهت برگزاری کارگاه های آموزشی و برنامه های ترویجی

۵-۱- اهداف آبخیز های معرف و زوجی

- تعیین مناطق همگن

- جمع آوری و انتشار آمار و اطلاعات مناطق همگن

- تهیه بانک اطلاعاتی در سیستم اطلاعات جغرافیایی

- تحلیل های ملی و منطقه ای از میزان فرسایش خاک

- اولویت بندی برنامه های حفاظت خاک بر حسب مناطق مختلف

- تحلیل اثر بخشی تغییرات اقلیمی بر روی میزان فرسایش خاک

- برآورد میزان تاثیر عملیات مختلف آبخیزداری در کاهش رواناب، فرسایش و رسوب

- برآورد تاثیر پروژه های حفاظت خاک بر کیفیت خاک، افزایش تولیدات کشاورزی، جنگل و مرتع و کاهش خسارات ناشی از فرسایش خاک

- ثبت آمار و اطلاعات اقلیم، هیدرولوژیکی و خصوصیات بیو-فیزیکی منطقه قبل و پس از اجرای پروژه ها

- ایجاد زمینه برای ترویج و آموزش آبخیز نشینان

- تطبیق و انطباق استاندارد های حفاظت خاک و آبخیزداری با شرایط فیزیکی - اقلیمی منطقه

- ایجاد زیرساختی جهت اعمال و فن آوری های جدید در پروژه های آبخیزداری

### ۵-۲- فرایند انتخاب حوزه های معرف و زوجی

در آغاز پروژه، برنامه ریزی شده بود در هراستان حداقل یک پروژه راه اندازی گردد ولی به دلیل مشکلات اعتباری مقرر گردید حداکثر به ۲۰ استان کشور تعمیم داده شد. براساس سند نهایی در مجموع ۱۲ پروژه حوزه معرف و زوجی در ۱۲ استان کشور انتخاب و عملیات احداث این آبخیزها در دستور کار قرار گرفت. طی سال ۸-۱۳۷۷ با مطالعه روش های کشورهای مختلف جهان در تعیین مناطق همگن، روش منطقه بندی برای تعیین مناطق همگن کشور انتخاب گردید. در این روش، یک جامعه آماری به طبقات مختلفی از لحاظ اقلیمی، خاکشناسی، پوشش گیاهی دسته بندی و سپس در هر یک از این طبقات اقدام به نمونه برداری تصادفی، سیستماتیک و نرمال گردید. به تنوع اقلیمی و خاکشناسی و کاربری اراضی و.. فاکتورهای تاثیر گذار بر روی منابع آبخیز، برای انتخاب و راه اندازی حوزه های معرف و زوجی توجه شد. در مرحله نهایی و برای انتخاب مناطق همگن و تعیین محدوده های معرف برای انتخاب این حوزه ها، با استفاده از تلفیق ۳ لایه اقلیم، خاک و پوشش کشور و با در نظر گرفتن یکسری فاکتورها و مسائل فنی و اقتصادی و اجتماعی ۱۱ منطقه همگن یا محدوده معرف در سطح کشور تعریف گردید که به شرح جدول ۱ ذیل می باشد. سپس در داخل این مناطق همگن ۱۲ آبخیز معرف در ۱۲ استان کشور انتخاب گردید. این آبخیزها، شش اقلیم اصلی کشور و هفت تیپ رویشگاهی و کاربری اراضی کشور را نمایندگی می کنند. سپس در داخل محدوده های همگن و با در نظر گرفتن ملاحظات یاد شده، حوزه های معرف به تفکیک استان های هدف انتخاب شدند. مساحت حوزه های معرف انتخابی از ۴۴۷ هکتار در گنبد همدان تا ۱۲۵۰۰ هکتار در دهگین هرمزگان متغیر بود. حوزه نمونه نیز از ۴۹/۹ هکتار در تنگ شل فارس تا ۱۸۵/۵ هکتار در هریس آذربایجان شرقی متغیر می باشد. برخی مشخصات فیزیکی و کلی حوزه های معرف انتخابی در جدول ۱ آمده است.

### ۵-۳- پارامترهای پایش در حوزه های معرف و زوجی

بسته به شرایط اکوکلیمایی، هندسی فیزیکی و مدیریتی حوزه، پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی و فرسایش و رسوب در حوزه های معرف و زوجی در حال ثبت و پایش هستند. اگرچه ممکن است برخی پارامترها بصورت ویژه در یک حوزه برداشت شوند، ولی بطور کلی در تمامی حوزه های ۱۲ گانه پارامترهای ثابت اقلیمی مشتمل بر ۱۹ پارامتر، پارامترهای آبسنجی،

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

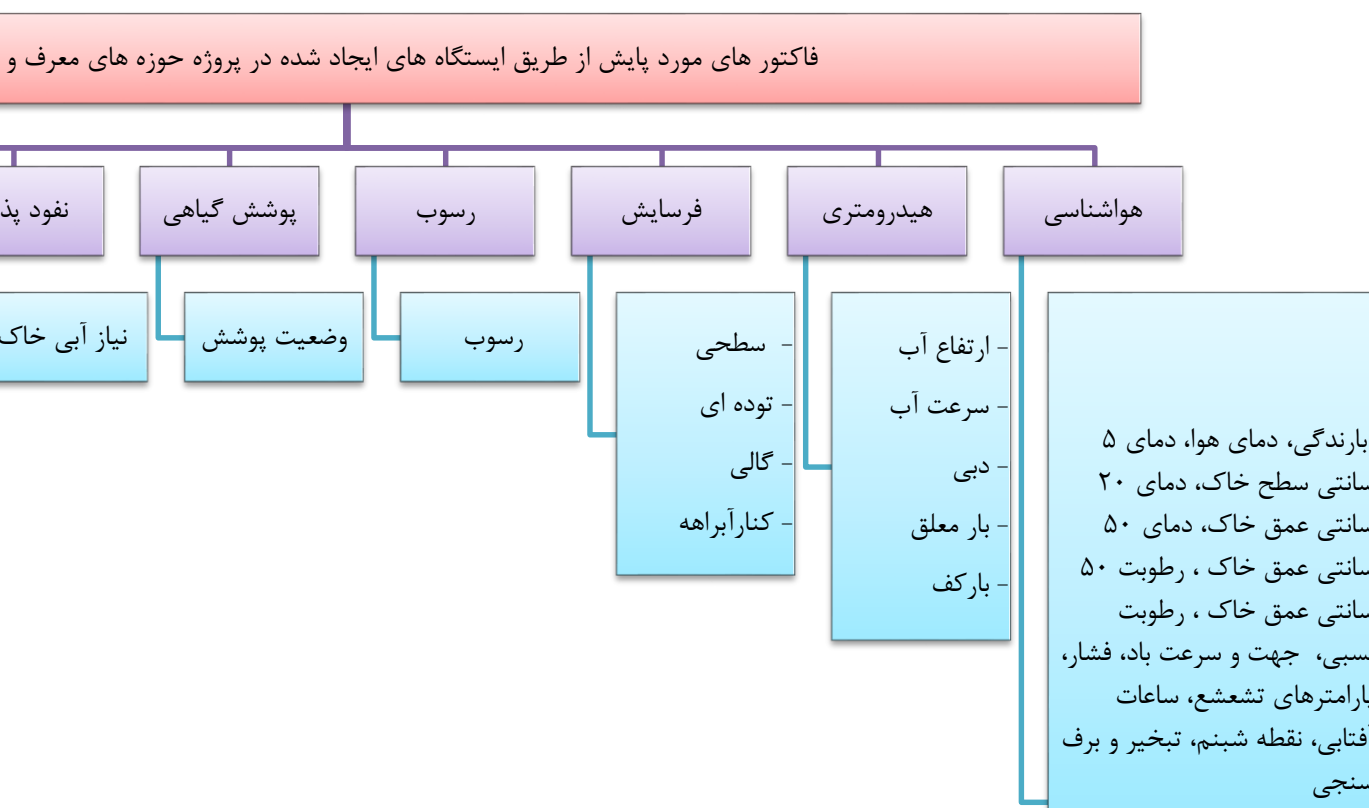
فرسایش، رواناب و رسوب در مقیاس دامنه، پوشش گیاهی، خاک و نفوذپذیری در هر سه آبخیز معرف، نمونه و شاهد در حال ثبت و پایش است. در برخی از حوضه ها در حال حاضر در هر دو آبخیز نمونه و شاهد داده سطح ایستابی یا پیژومتری در حال ثبت است. داده های هیدرومتری، اقلیمی و پیژومتری از طریق دیتالاگر ثبت و بعضا فرایند آنالین سازی جهت انتقال و ثبت آنالین داده ها با نصب دستگاه GPRS بر روی دیتالاگر انجام شده است. در شکل ۱ اهم داده های در حال ثبت و ضبط در کلیه آبخیزهای معرف و زوجی نشان داده شده است.

### ۴-۵- عملیات حفاظت خاک در حوضه های معرف و زوجی

در حال حاضر در سطح حوضه های نمونه عملیات ابخیزداری و حفاظت خاک متنوعی اعمال شده است که اثر بخشی آنها در کنترل فرسایش خاک، به کمک داده های ثبت و پایش شده فرسایش خاک یا جریان، قابل ارزیابی است. اهم اقدامات انجام شده که در بیشتر حوضه ها مشترک است قرق کامل یا دوره ای حوضه نمونه است. برخی عملیات حفاظت خاک دیگر نیز در برخی حوضه ها اعمال شده است که مصادیق آنها در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات و موقعیت آبخیزهای معرف و زوجی انتخابی در سطح کشور

| ردیف | اقلیم معرف  | خاک معرف               | پوشش معرف      | منطقه همگن (km <sup>2</sup> ) | استان انتخابی     | حوضه معرف انتخابی | مساحت (هکتار) |            |
|------|-------------|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------------|-------------------|---------------|------------|
|      |             |                        |                |                               |                   |                   | شاهد          | نمونه معرف |
| ۱    | خیلی مرطوب  | آلفی سل                | جنگل خزری      | ۱۳۵۱۴                         | مازندران          | کسیلیان           | ۱۳۵/۹۹        | ۱۲۴/۷۱     |
| ۲    | نیمه خشک    | اینسپتی سل - ورتی- سل  | مراتع استپی    | ۱۵۶۴۴۴                        | همدان             | گنبد              | ۱۳۸/۳۳        | ۱۴۹/۹۱     |
| ۳    | نیمه مرطوب  | اینسپتی سل             | جنگل بلوط      | ۲۱۰۴۷                         | فارس              | تنگ شول           | ۵۸/۷۴         | ۴۹/۹۱      |
| ۴    | مدیترانه ای | انتی سل - اینسپتی- سول | مراتع کوهستانی | ۵۱۳۹۸                         | البرز             | میان بیشه         | ۹۳/۰۴         | ۱۰۵/۶۹     |
| ۵    | فراخشک      | انتی سل                | پوشش شوره زار  | ۳۶۱۰۸۰                        | سیستان و بلوچستان | گوربند            | ۲۱۵/۶۶        | ۱۶۷/۶۷     |
| ۶    | خشک         | اینسپتی سل             | مراتع فقیر     | ۱۵۲۹۳۵                        | هرمزگان           | همگین             | ۲۱۵/۶۶        | ۱۶۷/۶۷     |
| ۷    | نیمه خشک    | انتی سل - اریدی سل     | مراتع متوسط    | ۱۴۶۶۵۲                        | خراسان رضوی       | کاخک              | ۱۱۰/۳۹        | ۱۰۶/۲۳     |
| ۸    | نیمه مرطوب  | انتی سل - اینسپتی- سل  | مراتع استپی    | ۶۸۷۴۹                         | کردستان           | خامسان            | ۱۰۹/۹۷        | ۱۰۷/۳۷     |
| ۹    | نیمه مرطوب  | اینسپتی سل             | اراضی دیم      | ۱۰۱۲۷                         | آذربایجان شرقی    | هریس              | ۱۴۴/۵۲        | ۱۸۵/۴۵     |
| ۱۰   | نیمه خشک    | انتی سل - اینسپتی- سل  | مراتع فقیر     | ۲۴۰۵۶                         | خوزستان           | شوش               | ۱۰۲/۷۹        | ۹۶/۷۴      |
| ۱۱   | نیمه خشک    | خاکهای لسی             | اراضی دیم      | ۱۲۵۰                          | گلستان            | کچیک              | ۱۳۵/۲         | ۱۵۴/۲      |



شکل ۱- داده‌های در حال ثبت در کلیه آبخیزهای معرف و زوجی

### ۵-۵- واحدهای پایش فرسایش در آبخیزهای معرف و زوجی

#### ۵-۵-۱- ایستگاه‌های پلات فرسایش و رسوب

این نوع واحدهای پایش، که به منظور اندازه‌گیری میزان رسوب در حوزه‌های شاهد و نمونه طراحی و نصب شده اند، اغلب دارای ابعاد پلات‌های استاندارد فرسایش خاک ( ابعاد  $۲۴ \times ۱/۸$  متر) می‌باشند. جنس بدنه این سازه‌ها ورق گالوانیزه با ضخامت  $۱/۵$  الی  $۲$  میلی‌متر است. حجم مخزن جمع آوری رواناب و رسوب دو مترمکعب با ابعاد  $۱ \times ۱ \times ۲$  می‌باشد. تعداد ایستگاه‌های پلات فرسایش و رسوب در حوزه نمونه، سه ایستگاه و هر ایستگاه شامل سه پلات فرسایشی می‌باشد که در انتهای هر پلات یک مخزن جمع آوری رواناب و رسوب تعبیه شده است. در مجموع ۹ پلات و ۹ عدد مخزن رواناب و رسوب در حوزه نمونه وجود دارد و

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

در حوضه شاهد نیز به همین صورت و با همین تعداد می باشد. در مجموع ۱۸ پلات و ۱۸ عدد مخزن رواناب و رسوب در هر دو حوضه شاهد و نمونه نصب شده است. شیوه اندازه گیری بدین صورت است که بعد از هر بارندگی کارشناس ایستگاه محتویات مخزن را هم زده و با بطری نمونه برداری نموده و غلظت رسوب معلق نمونه را محاسبه و ثبت می کند. پلات ها و مخازن حوضه بویژه در حوضه نمونه بطور کامل محصور و فنس کشی شده است.

نمونه ای از پلات های احداث شده در آبخیزهای نمونه در برخی حوضه های معرف و زوجی در شکل ۲ نشان داده شده است. این پلاتها در کاربری های مختلف احداث شده اما مدیریت غالب در اکثر آنها در سطح کشور مدیریت قرق کامل است. سابقه این مدیریت نیز بسته به نوع حوضه و شرایط اجتماعی آن از زمان تاسیس تا مرحله کنونی منطبق با جدول می باشد.

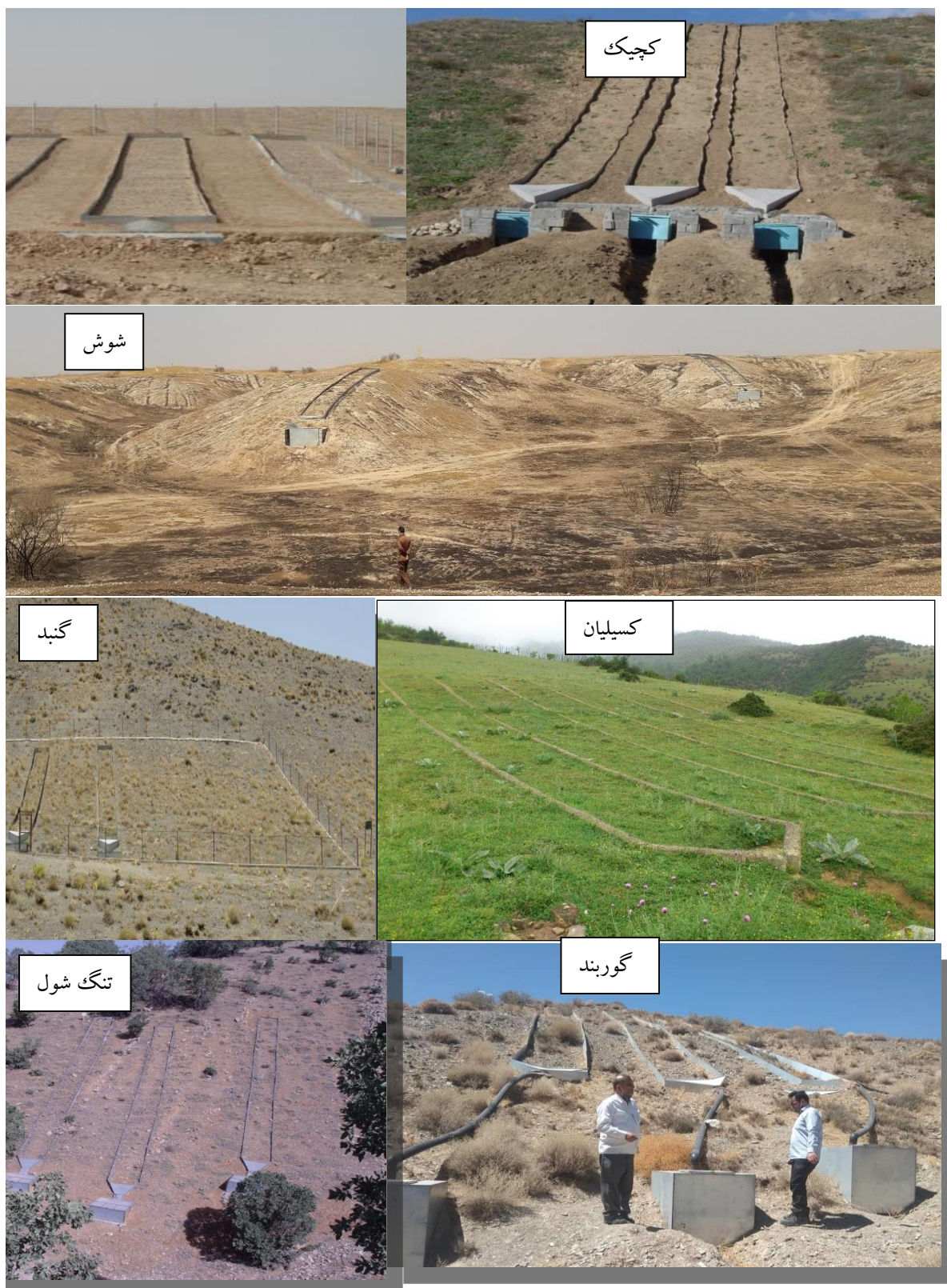
جدول ۲- عملیات حفاظت خاک اعمال شده در آبخیزهای معرف و زوجی کشور

| نام حوضه         | شوش                         | کاخک                   | کسیلیان، تنگ شول و کچیک | خامسان                              | زیدشت و گنبد                | گوربند                        | هریس، طاحونیه |
|------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------|
|                  |                             | بند خشکه               |                         |                                     |                             |                               |               |
|                  |                             | چین و گابیون           |                         |                                     |                             |                               |               |
| عملیات حفاظت خاک | کنتورفارو ۵ هکتار، نهالکاری | بانکت با نهالکاری      | قرق                     | بانکت بندی بندهای اصلاحی سنگی ملاتی | بندهای سنگی ملاتی و گابیونی | بذرکاری بنه بندهای اصلاحی قرق | فاقد عملیات   |
|                  |                             | بذرکاری و کپه کاری قرق |                         |                                     |                             |                               |               |

### ۵-۵-۲- میادین پین

میادین پین، بسته به نوع فرسایش غالب در حوضه معرف و زوجی هدف، در سه دسته پین های اندازه گیری فرسایش سطحی، اندازه گیری فرسایش آبکندی و اندازه گیری فرسایش کنار آبراهه ای طرح ریزی و نصب شده اند و در هر دو حوضه نمونه و شاهد وجود دارند. برای رصد کردن فرسایش سطحی، در کنار هر محدوده پلات بندی یک میدان پین متشکل از پین های فرسایش با فواصل (۱ در ۱ متر و تعداد ۱۰ در ۱۰ نصب گردیده است. بدین ترتیب در هر یک از حوضه های نمونه و شاهد سه میدان پین با مشخصات یاد شده نصب گردیده است. تصاویری از میادین پین در حوضه های معرف و زوجی در شکل نشان داده شده است. در حوضه هایی که مصادیق فرسایش کناره ای و خندقی وجود دارد در محل محدوده های فرسایشی میادین پین برای پایش وضعیت فرسایش در اشکال یاد شده نصب گردیده است. نمونه میدان پین در محدوده فرسایش خندقی در حوضه معرف و زوجی شوش خوزستان و در داخل محدوده حوضه نمونه نشان داده شده است. مدیریت رایج در این میادین هم همانند محدوده میادین پلاتها بصورت قرق کامل است. نمونه پین ها جهت اندازه گیری فرسایش سطحی و خندقی در آبخیزهای معرف و زوجی در شکل ۳ نشان داده شده است

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۲- تصاویری از پلات‌های فرسایش در حوضه‌های مختلف معرف و زوجی در کشور

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۳- نمونه میادین پین ثبت فرسایش سطحی و خندقی در آبخیزهای معرف و زوجی

### ۵-۶- سابقه ثبت داده در واحدهای پایش فرسایش

داده های موجود و ثبت شده فرسایش اعم از فرسایش و رواناب ثبت شده در میادین پین و پلاتها، در حوضه های معرف و زوجی مختلف متفاوت است. سطح و کیفیت پیش بینی شده برای ثبت وضبط داده بسته به سال تاسیس، امکانات و شرایط دسترسی متغییر بوده است. اما بطور کلی در اکثر حوضه ها داده های ثبت شده با شرایط اولیه طراحی شده ومورد انتظار فاصله زیادی دارد. اگرچه در تمامی حوضه ها پیش بینی اولیه و شرایط طراحی شده منطبق با ثبت داده فرسایش بصورت رویداد محور بوده است. اما این امر در بیشتر ایستگاهها محقق نشده و رویدادهای ثبت شده بازه مشخصی را پوشش داده و بصورت نامنظم ثبت شده است. در جدول ۳ به تفکیک حوضه معرف و زوجی سال آغاز و بعضا سال انتهای داده برداری فرسایش نشان داده شده است. همچنین کیفیت داده های ثبت شده مشخص گردیده است.

جدول ۳- کیفیت داده های فرسایش و رواناب و رسوب استحصال شده در آبخیزهای معرف و زوجی کشور

| نام حوضه | سال شروع داده برداری | تعداد سنوات با داده موثر | تعداد سنوات با داده کامل | داده پلات از سال | داده پین از سال | ملاحظات                                                        |
|----------|----------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------|
| دهگین    | ۲۰۰۷                 | ۱۲                       | ۱۲                       | ۲۰۰۹             | -               | داده پین و رسوب سنجی ندارد<br>داده فرسایش رویداد محور و نامنظم |
| گنبد     | ۲۰۰۳                 | ۱۶                       | ۱۰                       | ۲۰۱۱             | ۲۰۰۵            | داده فرسایش رویداد محور و نامنظم                               |
| کاخک     | ۲۰۰۷                 | ۹                        | ۹                        | ۲۰۰۸-۲۰۰۷        | ۲۰۱۶-۲۰۰۷       | فاقد داده رسوب<br>داده فرسایش رویداد محور و نامنظم             |

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

|                                       |      |    |    |               |      |                                                                       |
|---------------------------------------|------|----|----|---------------|------|-----------------------------------------------------------------------|
| فاقد داده پین و پلات در ۴ سال<br>اخیر |      |    |    |               |      |                                                                       |
| خامسان                                | ۲۰۰۸ | ۱۰ | ۸  | ۲۰۰۸          | ۲۰۱۸ | داده رسوب پراکنده<br>داده فرسایش رویداد محور و<br>نامنظم              |
| شوش                                   | ۲۰۰۸ | ۴  | ۴  | ۲۰۱۷          | ۲۰۱۷ | فاقد داده هیدرومتری و داده های<br>اقلیمی نامنظم                       |
| تنگ شول                               | ۲۰۱۱ | ۱۰ | ۹  | ۲۰۱۱          | ۲۰۱۱ | داده های فرسایش رویداد محور و<br>نامنظم                               |
| فاقد داده پین و پلات در ۵ سال<br>آخر  |      |    |    |               |      |                                                                       |
| کسیلیان                               | ۲۰۱۱ | ۹  | ۷  | ۲۰۱۱-<br>۲۰۱۴ | -    | داده فرسایش رویداد محور و<br>نامنظم                                   |
| میان بیشه                             | ۲۰۱۱ | ۷  | ۱  | ۲۰۱۴          | ۲۰۱۴ | فاقد داده هیدرومتری و پیزومتری<br>داده فرسایش رویداد محور و<br>نامنظم |
| هریس                                  | ۲۰۱۱ | -  | -  | -             | -    | -                                                                     |
| گوربند                                | -    | -  | -  | -             | -    | -                                                                     |
| فاقد پیزومتری                         |      |    |    |               |      |                                                                       |
| کچیک                                  | ۲۰۱۱ | ۱۰ | ۱۰ | ۲۰۱۱          | -    | داده فرسایش رویداد محور و<br>نامنظم                                   |
| طاحونه                                | -    | -  | -  | -             | -    | تازه تاسیس                                                            |

### ۶- نتیجه‌گیری

حوضه های آبخیز معرف و زوجی باتوجه به امکانات، ادوات و تجهیزات نصب شده شامل ایستگاه هواشناسی مدرن، ایستگاه‌های هیدرومتری، میداین پین فرسایشی، ایستگاه‌های پلات‌های فرسایشی و مخازن رواناب و رسوب در دو حوضه شاهد و نمونه، یک بستر بسیار مناسب برای انجام کارهای پژوهشی، آموزشی و ترویجی می‌باشد که می‌توان با بهره‌گیری از نتایج و برون‌داد پروژه های تحقیقاتی قابل انجام در این حوضه ها به یک الگوی مناسب برای مدیریت اصولی حوضه‌های آبخیز در واحدهای همگن دست یافت. با توجه به اینکه در حال حاضر برخی از پایش‌ها مانند قرائت پین های اندازه‌گیری فرسایش سطحی، کنار آبراهه ای و فرسایش خندقی به صورت سنتی و دستی صورت می‌گیرد انتظار می رود با استفاده از ابزارها و تکنیک‌های جدید، به منظور تدقیق بهتر داده‌ها این رویه به روز گردد. مهمترین چالش بحث مدیریت و نگهداری حوضه به دلیل کمبود اعتبارات و نداشتن ردیف اعتباری مستقل است. همچنین شرح خدمات مشخصی برای تحلیل داده ها وجود ندارد.

یکی دیگر از چالش‌ها وجود معارضین محلی و توسعه اراضی کشاورزی اطراف حوضه است به طوری که حوضه ها بعضا در محاصره کامل اراضی کشاورزی و یا سامانه عرفی چراگاه‌های عشایر و روستائیان می‌باشند که در آینده می‌تواند وضعیت طبیعی حوضه را از لحاظ هیدرولوژیکی و به ویژه حوضه شاهد را از حالت یک حوضه کنترلی خارج کند

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

داده های فرسایش اعم از داده های پلات ها و داده های میادین پین در حوضه ها و سنواتی که ثبت شده بصورت رویداد محور بوده اما ثبت آنها نامنظم بوده است. یعنی مشخصا بین دو زمان ثبت داده رویدادهای واقع شده بصورت منفک و قابل تمییز از هم نیستند. در برخی حوضه ها عملا داده ای ثبت نشده است. چرا که به دلیل مشکلات اجتماعی و وجود معارض در محل امکان ثبت داده فرسایش وجود نداشته است. نمونه آن حوضه هریس آذربایجان شرقی است. در برخی حوضه ها به دلیل مدیریت ناکارآمد حاکم بر حوضه داده ای ثبت نشده است، نظیر حوضه گوربند سیستان. اما در بقیه حوضه ها با بازه های متنوع داده برداری داده فرسایش و رواناب در سطح میادین پین و پلات ثبت گردیده است.

### منابع

- جعفری تختی، ا.، کوهپایه، ن.، بابایی، ع.، عامری سیاهویی، ف.، آتش دهقان، م. ۱۳۹۷. بررسی اثرات فعالیتهای آبخیزداری در پیشگیری و مهار سیل حوزه آبخیز معرف و زوجی دهگین در استان هرمزگان، هفتمین همایش ملی سامانه های سطوح آگیر باران، تهران، اول و دوم اسفند ۱۰۲۶-۱۰۳۳
- خالدی درویشان، ع.و.، هادی قورقی، ج.، کاتبی کرد، آ.، محمدامینی، ه.، غلامی، ل.، کرمزاده، ا.، بهمنی، ع.، سعیدی، ف. ۱۳۹۶. بررسی اثر قرق بر رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک در کرت های فرسایش در حوزه آبخیز معرف خامسان در استان کردستان، نشریه پژوهشهای حفاظت آب و خاک، ۲۴(۶): ۲۴۳-۲۵۵.
- دفتر طرح ریزی، ۱۳۹۱، مطالعات فرسایش و رسوب حوضه های معرف و زوجی. سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور.
- Caloiero, T., Biondo, C., Callegari, G., & Veltri, A. (2017). Results of a long-term study on an experimental watershed in southern Italy. <https://www.researchgate.net/publication/320490647>
- Clark, R.D. 1980. Erosion Condition Classification System. Bureau of Land Management. US Department of Interior. -FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Kellner, E., Hubbard, J.A. 2017. Application of the experimental watershed approach to advance urban watershed precipitation/discharge understanding. *Urban Ecosyst* 20, 799–810. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0631-4>
- Kibblewhite, M.G., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Baritz, R., Huber, S., Arrouays, D., Micheli, E. and Stephens, M. (eds) 2008. Environmental Assessment of Soil for Monitoring Volume VI: Soil Monitoring System for Europe. EUR 23490 EN/6, Office for the Official Publications of the European Communities Luxembourg, 72pp
- Martin-Fernandez, L. and M. Martinez-Nunez. 2011. An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. *Science of the Total Environment*. 409 (17): 3114-3123.
- National Resources Conservation Service. -Toy, T. J., G. R. Foster and K. G. Renard. 2002. Soil Erosion, Processes, Prediction, Measurement and Control, John Wiley & Sons.
- Nichols, M.H., Stone, J.J., & Nearing, M.A. (2008). Sediment database, Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, United States. *Water Resour. Res.*, 44, W05S06, doi:10.1029/2006WR005682.
- NRI. 2018. Creating a Natural Resources Inventory <https://www.dec.ny.gov/lands/120538.html>
- Nichols, M. H., J. J. Stone, and M. A. Nearing (2008), Sediment database, Walnut Gulch Experimental Watershed, Arizona, United States, *Water Resour. Res.*, 44, W05S06, doi:10.1029/2006WR005682.
- Panel on Soils, Rome, Italy. -Martin-Fernandez, L. and M. Martinez-Nunez. 2011. An empirical approach to estimate soil erosion risk in Spain. *Science of the Total Environment*.

409 (17): 3114-3123. -National Resources Inventory. 2001. A guide for users of 1997 NRI data files, Version 1.

Renard, K., M. H. Nichols, D. Woolhiser, and H. Osborn (2008), A brief background on the U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service Walnut Gulch Experimental Watershed, Water Resour. Res., doi:10.1029/2006WR005691

## ریشه: نیمه فراموش شده گیاه

محمد علی حاج عباسی hajabbas@iut.ac.ir

استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه صنعتی اصفهان ۸۴۱۵۶۸۳۱۱۱

### چکیده

ریشه اساسی ترین بخش هر گیاه به حساب می آید و اهمیت آن علاوه بر نگهداشت گیاه در اثر گذاری بر بسیاری از فرایندهای بی بدیل گیاهی است. خلاصه ای از این فرایندها عبارتند از: لنگرگاه بودن و نگهدارنده گیاه (Anchoring)، جذب آب و عناصر غذایی، تولید هورمونها. از شروع مطالعات علمی پیرامون گیاهان، مطالعه روی ریشه دست کم گرفته شده است. یعنی مطالعات سامانه گیاهی اغلب مربوط به بخش فوقانی گیاه تا ریشه بوده است. و البته اغلب این مطالعات مربوط به فیزیولوژی و زراعت و باغبانی بوده و روابط متقابل خاک و ریشه به ندرت دیده شده است. برخی علل این کم توجهی را ناپیدا بودن و همچنین طاقت فرسا بودن کار روی ریشه دانسته و عده ای پیچیده بودن و کمبود ابزار و فناوریهای موجود برای مطالعه را از علل کم کاری روی ریشه پنداشته اند. در این نوشته هدف توجه دادن متخصصین مخصوصا جوان رشته علوم و مهندسی خاک به این بخش مهم و از یاد رفته بوده و بسیار مختصر به برخی از کارکرد های سامانه خاک-ریشه، اشاره و ابزار و روشهای مدرن مطالعه بر روی ریشه معرفی شده و سپس مشکلات و چالشهای مربوط به آن بحث گردیده است. واژگان کلیدی: سامانه ریشه گیاهان، روابط متقابل خاک-ریشه،

### ۱. کارکردهای ریشه

ریشه ها بخش ناپیدا و تامین کننده نیازهای گیاهان از منابع زیر زمینی می باشند. آنها بسیار انعطاف پذیر بوده و می توانند خود را با تغییرات دائمی محیط زیر خاک سازگار نمایند. این سازگاری از طریق شکل پذیری ظاهری ریشه ها و از توانایی آنها برای انشعاب و توسعه ریشه های جانبی انجام می پذیرد. ریشه ها اولین بخش گیاه بودند که با این سازگاری باعث گسترش سیطره گیاه بر روی کره زمین شدند (شخار و همکاران، ۲۰۱۸). در ادامه به برخی از کارکرد های ریشه اشاره می شود.

### الف) نقش لنگرگاهی و معماری ریشه (Anchoring and Root Architecture)

رخدادهای طبیعی مانند طوفان می توانند با ریشه کن کردن گیاهان مخصوصا به درختان جنگل خسارت های زیادی وارد کنند. در این رابطه حتی درختان با ۸۰ سانتی متر عمق ریشه می توانند سقوط کنند. بنابراین، معماری متناسب ریشه به عنوان یک لنگرگاه و ستون خیمه برای زنده ماندن و رشد گیاهان از ابتدای رشد مورد نیاز است. ریشه ها سامانه ای با ساختار سه بعدی و پیچیده بوده که عملکردهای اصلی گیاهان مانند جذب آب و مواد مغذی و نگهدارنده گیاه (آیر پاسکوزی و همکاران، ۲۰۱۰)، را به عهده دارند. استمرار این عملکردها و در کل سلامت و بقاء گیاهان به معماری سیستم ریشه ای (Root System Architecture, RSA) آنان بستگی دارد (لینچ، ۱۹۹۵). با بالغ تر شدن گیاهان، سیستم معماری ریشه آنها نیز تغییر کرده و پیچیده تر می شود و این امر می تواند به بهبود ویژگیهای زراعی مطلوب مانند افزایش عملکرد و تحمل و مقاومت در برابر خشکسالی و کمبود مواد مغذی بیانجامد (استیل و همکاران، ۲۰۰۷). البته با توجه به این که مطالعه (RSA) صرفا باید در محیط دست نخورده خاک انجام پذیرد دانش در مورد اثرات ژنتیکی بر ساختار معماری ریشه بسیار محدود می باشد (دوروال و همکاران، ۲۰۱۶). انجمن بین المللی تحقیقات ریشه چارچوبی برای طبقه بندی معماری سیستم ریشه با تعریف چهار کلاس اصلی ایجاد کرده است (زوبل و وایزل، ۲۰۱۰). ریشه اصلی (Tap Root)، یعنی اولین ریشه ای

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

که از دانه بیرون می آید. ریشه های جانبی (Lateral Roots)، که شاخه هایی از ریشه های دیگر هستند؛ ریشه های منتشره از ساقه (Shoot-Born Roots)، که از بافت ساقه بوجود می آیند. و ریشه های پایه (Basal Root)، که از هیپوکتیل ایجاد می شوند، یعنی اندامی که بین پایه ساقه و ریشه اصلی قرار دارد. پایبندی به طبقه بندی ارائه شده باعث کاهش سردرگمی و حذف برخی از اختلالات کنونی نتایج می شود.

یک جنبه کلیدی برای مهندسی تولید و عملکرد بهتر محصولات از طریق بهینه سازی RSA درک بهترقوانینی است که فرآیندها و اجزای ژنتیکی ریشه و رشد ریشه را تنظیم می کنند، می باشد. رشد ریشه و واکنش های آن به تغییر شرایط محیطی (مانند خاک)، نیز وابسته و فرایندی بسیار پیچیده است که در سطوح مختلف پیچیدگی و کنترل آن وابسته به شبکه های ژنی در زمان و مکان می باشد. تا کنون انتخاب محصول صرفا بر اساس صفات و عملکرد بخش بالای زمین بوده است و اگر هم ریشه در نظر گرفته می شده تاثیر این تنشها صرفا بر اساس نسبت وزنی ساقه به ریشه بوده است که نمی تواند کامل باشد. البته مطالعه هم زمان بر روی ساقه و خصوصیات ریشه مانند تغییرات RSA ممکن است قدری همراه با افزایش هزینه ها باشد (کواوتر و همکاران، ۲۰۱۶)، که شاید یکی از علل عدم توجه به ریشه بوده است. از سوی دیگر، انتخاب بر اساس RSA نمی تواند تنها بر اساس گستردگی و بزرگتر بودن سیستم ریشه باشد بلکه مطالعات انجام گرفته نشان می دهد که بایستی مبنا خصوصیات مختلف مرفولوژیکی ریشه باشد که بسیاری از آنها وابسته به خصوصیات فیزیوشیمیایی و مکانیکی- هیدرولیکی خاک بوده و باید همراه با مباحث ژنتیکی توامان در نظر گرفته شوند.

### ب) نقش ریشه در نگهداری خاک روی شیب ها

ریشه گیاهان با افزایش مقاومت برشی خاک نقش مهمی در مقاوم سازی خاک در برابر زمین لغزش کم عمق و فرسایش سطحی دارد. در بین مدل هایی که مکانیسم های تقویت کنندگی خاک-ریشه را در شیب تفسیر می کند، مدل Wu-Waldron نسبتا بیشتر پذیرفته شده است. در این مدل، افزایش مقاومت خاک توسط ریشه های گیاه متناسب با دو عامل مهم در ارزیابی اثر تقویت شیب توسط ریشه های گیاه، یعنی نسبت متوسط مقاومت کششی ریشه ها و سطح ریشه در نظر گرفته شده است. در این مدل مشخص می شود که مقاومت فرسایش خاک با تعداد ریشه های گیاه افزایش می یابد. افزایش مقاومت به فرسایش خاک توسط ریشه های گیاه عمدتا از طریق ریشه های فیبری با قطر کمتر از ۱ میلی متر بوده است. همچنین ریشه های فیبری با افزایش تعداد و قطر باعث تشکیل خاکدانه های پایدار و محافظت از آنها در خاک شده و از این طریق پایداری خاک را برای مقاومت در برابر اثر آب افزایش می دهد. ریشه های ریز همچنین می توانند نفوذپذیری خاک را نسبت به آب به طور موثری افزایش داده و رواناب و فرسایش خاک را کاهش دهند (زیونگ و همکاران، ۲۰۰۷).

### ج) نقش ریشه ها در کاهش مقاومت فروروی

ویژگی های ریخت شناسی یا مرفولوژی ریشه مانند تراکم، انشعاب، طول، حجم، اعوجاج و جهت گیری تأثیر بسزایی بر خواص مکانیکی خاک دارد. در مطالعه ای مقدار نفوذ و مقاومت فروروی که از ویژگی های ریخت شناسی و معماری ریشه در مقاومت در برابر برش است اندازه گیری شد و نتایج زیر به دست آمد: در هنگام برش، ریشه ها به میزان قابل توجهی نیروی برشی و انرژی تغییر شکل را در خود افزایش می دهند، اما تاثیر قابل توجهی بر تغییر شکل خاک و تنش پسماند ندارند، چرا که این ویژگی ها بیشتر به رطوبت خاک (خواص ذاتی) بستگی داشته تا نسبت به حضور ریشه. ریشه ها نه تنها در هنگام مواجهه با صفحه برشی، بلکه در بالا و پایین صفحه برشی در برابر نیروی برشی از خود مقاومت نشان می دهند. تغییرات قطع عرضی ریشه خصوصیت مناسبی برای نشان دادن این اثر مقاومت برشی خاک نمی باشد بلکه چندین خصوصیت دیگر از معماری ریشه ای، به ویژه تعداد ریشه و انشعابات آن، برای این منظور یعنی مقاومت در برابر نیروهای برشی خاک مهم هستند.

برای تجزیه و تحلیل تأثیر صفات و معماری ریشه بر پایداری خاک روی شیب نباید این صفات را به طور مستقل و به تنهایی در نظر گرفت، بلکه در مورد مقاومت در برابر برش اثر ترکیبی چندین ویژگی مفیدتر از یک خصوصیت بوده نتایج بهتری ارائه می دهد. به عنوان مثال هنگام مطالعه ی ر روی گیاه *R. communis* در نظر گرفتن مخلوط ریز و درشت ریشه های موجود

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

نتایج قابل توجه تری نسبت به زمانی بوده که اکثریت ریشه های ریز یا درشت به تنهایی در نظر گرفته شده اند (گستم و همکاران، ۲۰۱۳).

### د) نقش ریشه در کاهش تنش آب و خشکی

پیشرفت های اخیر در تکنیک های تصویربرداری و تحلیل آنها امکان تجسم بیوژئوشیمیایی و محیط فیزیکی اطراف ریشه ها یعنی ریزوسفر را به خوبی میسر ساخته است. جزئیات این تصاویر دقیق از هندسه فضائی منافذ و محتوای آب و پویایی آن در اطراف ریشه ها نشان دهنده ناهمگونی این خصوصیت در منطقه ریزوسفر در مقایسه با خاک دورتر را نشان می دهد. این یافته ها الگوهای جدیدی از جذب آب توسط ریشه را که هدف آن توصیف ناهمگونی هیدرولیکی در مقیاس کوچک است را روشن می سازد. با این حال هنوز سوالات زیادی در این رابطه که این یافته های مبتنی بر تصویر تا چه حد درک ما را از این موضوع گسترش داده و اینکه چگونه ریشه ها آب را از خاک استخراج می کنند، باقی می ماند. در این خصوص مطالعات و توجه ویژه ای به نقش مخاطی که توسط ریشه ترشح می شود یعنی موسیلاژ و اینکه این ماده چگونه رطوبت خاک را در پتانسیل های منفی آب افزایش می دهد و یا آن را حفظ می کند، انجام گرفته است. در هنگام جذب آب توسط گیاه ریزوسفر مرطوب می شود و احتمالاً با ایجاد ارتباط هیدرولیکی بین ریشه و خاک و افزایش هدایت هیدرولیکی ادامه این فرایند را حفظ می کند. اما هنگامی که خاک خیلی خشک شود موسیلاژ چسبناک و آبگریز می شود و جریان آب را در مسیر و در مرحله توزیع مجدد محدود می کند. چگونگی نقش ریزوسفر در برقراری ارتباط هیدرولیکی بین ریشه و خاک اطراف در کاهش اثر کم شدن پتانسیل آب در اطراف ریشه ها هنگام خشکی هنوز مبهم باقی مانده است. از عناصر گمشده این پازل چگونگی تغییرات شیب پتانسیل آب در اطراف ریشه هاست. البته با اندازه گیری پتانسیل آب در آوند های چوبی در مقابل پتانسیل های مختلف آب خاک و همین طور نرخ تعرق که توسط مدل های متعدد عددی جذب آب توسط ریشه بدست می آید، می توان پتانسیل آب در عرض ریزوسفر را تخمین زد. چنین اندازه گیری هایی برای درک نحوه ورود آب به داخل ریشه ها حیاتی و مهم هستند (کارمیناتی و همکاران، ۲۰۱۶).

چگونگی و فعل و انفعالات ترشحات ریشه به عنوان تسهیل کننده جریان آب و مواد غذایی به درون گیاه (کارمیناتی و همکاران، ۲۰۱۶) و همچنین تولید مواد دفاعی زیرزمینی در مقابل خطرات زیستی، احتمالاً به دلیل مخفی بودن ریشه و خارج از حیطه چشم بودن آن زیاد مطالعه نشده است. با این وجود، این فصل از زیست شناسی ریشه به تدریج و در طی دهه های گذشته از طریق توصیف مواد شیمیایی گیاهی ترشح شده که به طور مستقیم میکروارگانیسم های بیماری زا را در ریزوسفر دفع، مهار یا از بین می برد، مورد بحث قرار گرفته است (بیتز و مارتینو، ۲۰۱۴). در این مطالعات روشن شده است که مشخصات ترشحات ریشه نه تنها در ترکیب آن متنوع بوده، بلکه به طور چشمگیری پویا است.

### ر) نقش ریشه در ترسیب کربن

ریشه اندام مهمی است که نقش به سزایی در رشد و نمو گیاهان بازی میکند. ریشه، نه تنها آب و مواد غذایی را تأمین می کند، بلکه نقش حفاظت از گیاه را از دوران گیاهچه تا مرحله رسیدگی و نمو ایفا می نماید. همچنین، ریشه ها با تقویت میزان ماده آلی خاک، سبب بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می گردند که نتیجه آن، افزایش عملکرد زراعی گیاه است. خاکها، بزرگترین ذخیره گاه کربن در جهان هستند. گزارش های زیادی هست که نشان می دهد که ریشه ها تأثیر نسبی بیشتری بر ذخیره کربن خاک نسبت به اندام هوایی دارند و تا حدودی نگهداری بیشتر کربن منشأ گرفته از ریشه را به حفاظت فیزیکی در داخل توده خاک نسبت داده اند ژو و همکاران (۲۰۲۰). کوآوتر و همکاران، (۲۰۱۶) پیشنهاد کردند در سیستم های مبتنی بر لگوم، سهم کربن منشأ گرفته از ریشه در مقایسه با ذرات مواد آلی، سیلت و رس، بیشتر است که این امر نشان دهنده ماندگاری بیشتر کربن ریشه ها در خاک است. باربر، (۱۹۹۵) برآورد کرد که ۸ الی ۱۱ درصد بقایای ساقه ذرت به صورت کربن آلی وارد خاک می گردد ژو و همکاران (۲۰۲۰) عنوان کردند که سهم سیستم ریشه در تشکیل و افزایش کربن آلی خاک بسیار مهم است چراکه کربن مشتق شده از گیاه (Plant Drive Carbon, PDC) که توسط ریشه آزاد می شود، تأثیر قدرتمندی بر جامعه باکتریایی داشته و از این طریق بر مقاوم تر شدن گیاه در مواجهه با محیط های تنش زا

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

اثر گذاراست. اگرچه PDC تازه ترشح شده می تواند به فاصله کمی از ریشه با کربن مشتق از خاک ( Soil Drive Carbon, SDC) مخلوط و رقیق تر شود و در کل اثر کمتری داشته باشد. بنابراین، SDC نقش غالب تری در ذخیره کربن نسبت به PDC یعنی کربن ریزوسفری دارد.

از دیدگاه زیست محیطی ریشه گیاهان ابزاری هستند برای تبدیل و ترسیب کربن جو در خاک به صورت یکی از ترکیبات اسید آلی، فنولیک، آمینو اسید، غیره. ترشحات ریشه به ترسیب کربن در خاک زیر سطحی کمک قابل توجهی می کند. سهم ذخیره و پتانسیل نگهداری آن در اطراف ریشه ها به دلیل اکسیداسیون کند بیشتر از سهم خاک اصلی بوده که این امر در افزایش تولیدات کشاورزی تاثیر به سزایی دارد. شیوه های مدیریت زمین، عوامل زراعی، آب و هوا و میزان و کیفیت نهاده های میکروبی و کشاورزی (کود و مواد شیمیایی) اثر زیادی بر محیط ریزوسفر و ترسیب کربن در خاک دارد (بورسرت و همکاران، ۲۰۱۵). استفاده از تناوب زراعی، کوددهی و روشهای دیگر بهبود خاک رویکردهای ارزشمندی را در این راستا ارائه می دهند. از طرف دیگر ترسیب کربن برای حل بسیاری از مشکلات طبیعی و کشاورزی خاکها و کاهش غلظت CO<sub>2</sub> در اتمسفر که خود کمکی در راستای مبارزه با خشکسالی، تنش شوری و بیابان زایی است، قطعاً کمک کرده و مطمئناً مناسب ترین رویکرد به سوی پایداری خواهد بود.

### ۲. ابزار سنتی و مدرن مطالعه بر روی ریشه

#### الف) روشهای سنتی مطالعه خصوصیات ریشه

از قدیم الایام هنگام مطالعه ریشه و خصوصیات مرفولوژیکی آن کار با خارج نمودن ریشه از خاک و جدا سازی مواد اضافی و تمیز کردن آن شروع می شد. از جمله آسانترین راه برای این کار کاشت در گلدان و جاکن کردن ریشه (Excavation) و یا اگر در مزرعه باشد، با استفاده از سیلندر این عمل انجام می شود. مرحله بعد شستشو و جدا کرن ریشه از خاک می باشد که با شستن خاک و جدا کردن ریشه از آن با دست انجام می شود. ولی راه بهتر با بازده بالاتر از لحاظ دریافت ریشه های بیشتر، استفاده از دستگاهی به نام جت آبی (High pressure water jet) است که در آن خاک و ریشه در لوله ای ریخته شده و در انتهای لوله آب با سرعت زیاد (مانند جت) مخلوط را به گردش در آورده و همزمان حبابهای هوا هم به آن قسمت تزریق شده تا ریشه های جدا شده از خاک را به سمت بالا هدایت کند و در بالا ریشه ها توسط یک غربال از آب گرفته شده و جمع آوری می شود و پس از شستشو مخلوط خاک و آب باقی مانده دور ریخته می شود (بنجامین و نیلسون، ۲۰۰۴). پس از شستشوی ریشه عموماً با روش کاغذ شطرنجی طول ریشه و با توزین آن قطر و حجم بدست آمده و در نهایت سطح آن محاسبه می گردد. در این روشها هم در مرحله شستشو هم در هنگام شمارش بخش اعظم ریشه ها یعنی ریشه های موئین از دایره محاسبات خارج می شوند و این موضوع باعث می شود سطح ریشه که خصوصیت بسیار مهم مرفولوژیکی و از عوامل مهم جذب آب، عناصر غذایی و تماس با سطوح ذرات خاک است، مغفول بماند.

#### ب) استفاده از ریزوترون (خصوصیات ریزوسفر)

تا قبل از معرفی ریزوترون آزمایشهای بی شماری در خصوص اندازه گیری های خصوصیات و رفتار ریشه در خاک طراحی و اجرا شده است، اما تقریباً تمامی آنها در یک اقلیمک و با استفاده از بخشی از خاک و ریشه ها بوده است و در آنها تنوع زمانی و مکانی فرآیندهای ریزوسفری دیده نشده به طوری که ساختار کل سیستم ریشه و فعالیت آن مغفول مانده است. و لذا مقیاس ریزوسفری و تنوع مکانی فرآیندهای ریزوسفری در کل سیستم ریشه، با در نظر گرفتن ریشه درسین مختلف گیاه، هنوز به خوبی درک نشده است. این جنبه ها را می توان با استفاده از ترکیبات جدیدی از ابزارها، از جمله تجسم و مدل سازی فرآیندهای اندازه گیری و با استفاده از روشهایی مانند اسکن و غیره و در مقیاس های کوچکتر و با استفاده از ریزوترون، مورد بررسی قرار داد.

#### ج) استفاده از اسکن ها

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

تکنیک های قبلی برای مطالعه ساختار ریشه گیاهان اغلب پرهزینه، تخریب کننده و فاقد دقت بوده اند. در نتیجه در مقایسه با بخش روی زمین گیاه، سیستم های ریشه به ندرت موضوع تحقیق بوده و محققان بارها بر این مشکلات تأکید کرده اند. لذا برای مطالعه سامانه های ریشه ای نیاز است از روشهایی استفاده کرد که مشکلات بالا را کمتر داشته باشند. در این خصوص روشها و ابزاری معرفی شده است که کارکرد آنها در زمینه های تخصصی دیگران بوده و برای مطالعه ریشه نیز به کار گرفته شده است. علاوه بر تفاوت در رویکردهای فنوتیپیکی رشد ریشه در فضاهائی مانند آئروپونیک، هیدروپونیک و ریزوترون، مطالعه ریشه ها در محیط سه بعدی طبیعی خود یعنی در خاک کاربرد بسیار بیشتری دارد. برای نگاه و مطالعه رشد و تغییرات ساختاری سه بعدی سیستم ریشه ها در شرایط طبیعی تر (خاک) و غلبه بر پیچیدگی شرایط خاک، روش های توموگرافی کامپیوتری اشعه ایکس (CT) یا تصویر برداری رزونانس مغناطیسی (MRI)، معرفی شده است (فلاگفلدر و همکاران ۲۰۱۷). از بین این روشها استفاده از دانش تفسیر تصاویر ((NMR, Image Analysis, CT اسکن و MRI از مهمترین آنها می باشند. از آنجایی که خاک مرطوب و نفوذ پذیر است و قسمت اعظم ریشه زنده نیز آب می باشد روش NMR می تواند به عنوان یک ابزار خوب مورد استفاده قرار گیرد. در این خصوص می توان اطلاعات ساختاری، رشد و هیدرودینامیک در سامانه ریشه ها را به طور درجا اندازه گیری نمود. در این روش با استفاده از اشعه های غیر یونیزه کننده آب در محیط خاک تصویربرداری NMR به طور کامل انجام می شود. این اشعه ها می تواند بدون تخریب، نفوذ کند و لذا هیچ اثر سووی روی گیاهان ندارد. بدین ترتیب، آزمایشات تصویربرداری را می توان به طور نامحدود در طول عمر گیاه تکرار کرده و روند تغییرات و نظارت بر رشد و نمو و واکنش گیاه به نور، CO<sub>2</sub> و مواد مغذی خاک را در طول زمان و مکان اندازه گیری نمود. کاربردهای این تکنیک در مطالعات آسیب گیاه شامل بیماری، اثر مواد شیمیایی شامل علف کش ها و آلاینده ها، و همچنین تنش های فیزیکی گیاه در خاک را می توان بطور درجا مورد مطالعه قرار داد (بوتوملی و همکاران ۱۹۸۶).

### ۳. چالش های تحقیق و مطالعه بر روی ریشه

اهمیت دادن و چگونگی مطالعه سیستم ریشه در انواع مختلف گیاهان، اندازه گیری آن و ارتباط با عملکرد از ضروریات افزایش تولید بوده که می تواند منجر به استفاده مؤثر از مواد مغذی خاک و آب توسط گیاه و کاهش اثرات منفی بر محیط زیست شود. با وجود این موضوع، ریشه ها در زمینه های مختلف ریخت شناسی، تغذیه ای و هیدرولوژیکی، کمتر مورد توجه و مطالعه واقع شده اند (فاگریا ۲۰۱۹). بخشی از این غفلت، از غیر قابل دسترس بودن سیستم ریشه و در زیر خاک بودن آن نشأت می گیرد. به علاوه، تشکیل و از بین رفتن سریع سامانه های ریشه ای از عوامل پیچیدگی و رغبت به عدم مطالعه ریشه است. ریشه ها دائما در حال رشد بوده، میمیرند و تجزیه می شوند (جونز و دولان ۲۰۱۲) و به این دلایل، اطلاعات در مورد ساختار ریشه و دینامیک رشد آن به عنوان تابعی از عوامل محیطی در گیاهان زراعی نادر و پراکنده است. اندازه گیری واقعی سیستم ریشه ای مشکلات عملی زیادی دارد، به طوری که بسیاری از محققان این زمینه را به چالش کشیده اند (هودج و همکاران، ۲۰۰۹) اگر چه در حال حاضر، روشهای مناسبی برای اندازه گیری ریشه با استفاده از ظروف یا لوله های قابل دسترس دائمی وجود دارد ولی این روشها اغلب تخریبی هستند (محل اندازه گیری ثابت نمی ماند) و لذا دارای محدودیت اند. این اطلاعات همچنین نمی تواند چگونگی توزیع ریشه در خاک را توضیح دهد و تنها در مورد میانگین زیست توده ریشه در بلوک یا تیمارها را ارائه میدهد. مرفولوژی ریشه و سامانه ریشه ها بر تاب آوری و مقاومت گیاه در مقابل ناملايمات محیطی و خاک و چگونگی و بازده جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه اثر زیادی دارد. در این میان ژنوتیپ گیاهی و عوامل بیوتیکی و محیطی بر چگونگی رفتار مرفولوژیکی ریشه ها، رشد و نهایتا تولیدات گیاهی موثرند. بخش اول تا حدودی مورد مطالعه قرار گرفته، و لذا مهمترین چالش محققان چگونگی مطالعه و روند تاثیر عوامل زیستی و محیطی بر رفتار مرفولوژیکی ریشه هاست. که در این خصوص روشها، ابزار و فناوریهای زیادی باید گسترش یابد تا خصوصیات مرفولوژیکی مانند اندازه، شکل و دینامیک سامانه های ریشه ای مورد مطالعه قرار گیرد (دونی و همکاران، ۲۰۱۵). پیشرفتهای زیادی در خصوص تصویرگری و تحلیل تصاویر در این راستا بوقوع پیوسته که در بخش قبل به آنها اشاره شده است. مطالعه انعطاف پذیری ریشه ها در محیطهای بحرانی (شخار و همکاران ۲۰۱۸) مانند خاکهای شور و آلوده و در مقابل کم آبی و خشکسالی، از مشخصات وضعیت خاک و

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

اقلیمی که کشور ما برای سالها با آن درگیر خواهند بود، از دیگر مواردی است که باید به آنها پرداخته شود. برای مطالعه چگونگی رفتار سیستم های ریشه در خاک، همانند بقیه زمینه ها در سالهای اخیر استفاده از مدل نیز رایج شده است. این امر باعث گسترش درک و فهم بهتر موضوع گردیده و عین حال چالشهای جدیدی را به همراه داشته است. بر اساس گفته جوری و همکاران (۲۰۱۱) اکثر روشهای مدل سازی ماکروسکوپی مطالعه جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه ها، براساس تراکم تک بعدی نیم رخ ریشه ها بوده و از معماری و ساختار کامل سامانه ریشه ها غفلت شده است. در حالی که جذب آب و مواد مغذی در سیستم ریشه وابسته به به محل و زمان بوده، و ممکن است مقدار آن در مکان و زمان تا چند ده برابر متفاوت باشد (پیرت و همکاران، ۲۰۰۷). از طرفی ریشه های موین که برای افزایش سطح تماس با خاک اهمیت بسزایی دارد و همچنین برای افزایش پایداری گیاه (گیلروی و جونز، ۲۰۰۰) لازم است اغلب در این مدل ها دیده نشده است. از طرفی ممکن است در نتیجه افزایش سن تغییرات زیادی در خواص فیزیولوژیکی در طول ریشه رخ دهد که از این موضوع نیز غفلت می شود (هودج و همکاران، ۲۰۰۹).

در مقیاس های بزرگ نیز، بیشتر مدلهای جذب آب و مواد غذائی ریشه تجربی بوده و قادر به توصیف فرآیندهای مهمی مانند تأثیر عوامل مختلف استرس زا در این خصوص نیستند. اوستل و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کردند که پیش بینی چرخه های بیوژئوشیمیایی آب، نیتروژن و کربن که توسط مدلهای پویای جهانی پوشش گیاهی ارائه شده، کارکرد موفقی نداشته است. که دلیل آنرا تفاوت قابل توجه مفروضات مختلف این مدلهای با فرآیندهای کلیدی تعامل خاک و گیاه در مقیاس محلی عنوان نموده است. بنابر این یکی دیگر از این چالش ها توصیف تعاملات خاک و گیاه در مقیاس های کوچک همراه با شناسایی فرایندهای کلیدی و مکانیسم های بازخورد آنها می باشد. که ممکن است به بهبود پیش بینی این چرخه ها کمک نماید.

### نتیجه گیری

نوسانات در تولید محصولات گیاهی ناشی از تغییرات آب و هوایی جهانی، از جمله چالش های دهه آتی تولید کنندگان و محققان رشته های کشاورزی می باشد. همکاری همه محققان در رشته های مربوطه در خصوص بهینه سازی بخش های بالا و زیر زمین گیاه، لازم است تا بتوان در برابر طیف گسترده ای از تنش های زیستی و غیرزیستی مقاومت نمود. در این رابطه همانطور که اشاره شد بررسی و مطالعه خصوصیات ریشه و اثر سامانه های ریشه بر بازده گیاهی و تولید محصول بسی پیچیده تر است. در حالی که، مطالعه چگونگی شکل پذیری در توسعه ریشه برای تحمل اغلب این تنشها می تواند ارتباط مستقیمی با عملکرد گیاهان داشته باشد. برای نزدیک شدن به جواب واقعی و ارائه راه حل این مشکلات و افزایش بازده ریشه ها در هنگام مواجهه با بحران های محیطی مانند شوری و خشکسالی، بایستی با چالشها متعددی از جمله سخت و طاقت فرسا بودن، نبودن ابزار و روشهای کافی برای مطالعه ریشه، روبرو شده و ابزار و فناوری مورد لزوم این گونه مطالعات را فراهم و یا طراحی و مورد استفاده قرار داد. در این صورت شاید نسبت به قبل، ریشه یعنی بخش ناپیدا و مهم گیاه نیز همانند بخش قابل رویت گیاه دیده شود و در راستای بهینه سازی محیط رشد آن گام برداشته شده و باعث افزایش تولید شود.

### فهرست منابع

Baetz, U. and E. Martinoia. 2014. Root exudates: the hidden part of plant defense. Zurich Open Repository and Archive University of Zurich Main Library. DOI:10.1016/j.tplants.2013.11.006

Barber SA. 1995. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. New York: JohnWiley & Sons, Inc.

- Benjamin, J. G. and D.C. Nielsen. 2004. A method to separate plant roots from soil and analyze root surface area. *Plant and Soil* 267:225–234.
- Bottomley, P. A., H. H. Rogers, AND T. H. Foster. 1986. NMR imaging shows water distribution and transport in plant root systems in situ. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. Vol. 83: 87-89.
- Bourceret, A., C. Leyval, C.I de Fouquet, and A. Cébron. 2015. Mapping the Centimeter-Scale Spatial Variability of PAHs and Microbial Populations in the Rhizosphere of Two Plants in *PLoS ONE* · November 2015
- Carminati<sup>1</sup>, A., M. Zarebanadkouki, E. Kroener<sup>1</sup>, M. A. Ahmed, and M. Holz 2016. Biophysical rhizosphere processes affecting root water uptake, *Annals of Botany* 118: 561–571.
- Dorval, D., C. Meredieu and F. Danjon. 2016. Anchorage failure of young trees in sandy soils is prevented by a rigid central part of the root system with various designs. *Annals of Botany* 118: 747–762, doi:10.1093/aob/mcw098
- Downie, H. R., M. O.Adu, S. Schmidt, W. Otten, L X. Dupuf, P. Whi and T. A. Valentine. 2015 Challenges and opportunities for quantifying roots and rhizosphere interactions through imaging and image analysis. *Plant, Cell and Environment*. 38: 1213-1232.
- Fageria, N. K. 2019. *The Role of Plant Roots in Crop Production*. CRC Press.
- Ghestem M., G. Veylon, A. Bernard, Q. Vanel and A. Stokes. 2013. Influence of plant root system morphology and architectural traits on soil shear resistance. *Plant Soil*, DOI 10.1007/s11104-012-1572-1
- Gilroy, S., and D.L. Jones. 2000. Th rough form to function: Root hair development and nutrient uptake. *Trends Plant Sci*. 5:56–60. doi:10.1016/S1360-1385(99)01551-4.
- Hodge, A., G. Berta, C. Doussan, F. Merchan, and M. Crespi. 2009. Plant root growth, architecture and function. *Plant Soil* 321:153–187. doi:10.1007/s11104-009-9929-9.
- Iyer-Pascuzzi, A., O. Symonova, Y. Mileyko, Y. Hao, H. Belcher, J. Harer, J. S. Weitz, and P. N. Benfey. 2010. Imaging and Analysis Platform for Automatic Phenotyping and Trait Ranking of Plant Root Systems. *Plant Physiology*, 152:1148–1157,
- Jones, V. A. S., and L. Dolan. (2012). The evolution of root hairs and rhizoids. *Annals of Botany*, 110(2), 205–212.
- Jury, W. A., D. Or, Y. Pachepsky, H. Vereecken and J. W. Hopmans. 2011. *Kirkham's Legacy and Contemporary Challenges in Soil Physics Research*. Agronomy Publications, Iowa State University, Digital Repository. [https://lib.dr.iastate.edu/agron\\_pubs/390/](https://lib.dr.iastate.edu/agron_pubs/390/)
- Koevoets, I.T., J. H. Venema, J. Theo. M. Elzenga and C. Testerink. 2016. Roots Withstanding their Environment: Exploiting Root System Architecture Responses to Abiotic Stress to Improve Crop Tolerance. *Frontiers in Plant Science*. 7: 1335. doi: 10.3389/fpls.2016.01335
- Lynch J (1995) Root architecture and plant productivity. *Plant Physiol.*, 109: 7–13
- Ostle, N.J., P. Smith, R. Fisher, F.I. Woodward, J.B. Fisher, J.U. Smith, D. Galbraith, P. Levy, P. Meir, N.P. McNamara, and R.D. Bardgett. 2009. Integrating plant–soil interactions into global carbon cycle models. *J. Ecol*. 97:851–863. doi:10.1111/j.1365-2745.2009.01547.x
- Pflugfelder, D., R. Metzner, D. van Dusschoten, R. Reichel, S. Jahnke and R. Koller. 2017. Non-invasive imaging of plant roots in different soils using magnetic resonance imaging (MRI). *Plant Methods*, 13:102, DOI 10.1186/s13007-017-0252-9

Pierret, A., C. Doussan, Y. Capowiez, F. Bastardie, and L. Pages. 2007. Root functional architecture: A framework for modeling the interplay between roots and soil. *Vadose Zone J.* 6:269–281. doi:10.2136/vzj2006.0067

Shekhar, V., D. Stöckle, M. Thellmann and J. E. M. Vermeer. 2018. The role of plant root systems in evolutionary adaptation. *Current Topics in Developmental Biology*, Volume 131 # 2019 Elsevier Inc. ISSN 0070-2153. <https://doi.org/10.1016/bs.ctdb.2018.11.011>

Steele KA, Virk DS, Kumar R, Prasad SC, Witcombe JR (2007) Field evaluation of upland rice lines selected for QTLs controlling root traits. *Field Crops Res* 101: 180–186.

Xiong YM, Xia HP, Li ZA, Cai XA. 2007. Effects and mechanisms of plant roots on slope reinforcement and soil erosion resistance: a research review. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.* 18(4):895-904 .

Zobel, R. W. and Y. Waisel. 2010. A plant root system architectural taxonomy: A framework for root nomenclature. *Plant Biosystems*, 144 (2): 507–512.

Zhou, Y., Q. Yao and H. Zhu. (2020). Soil Organic Carbon Attenuates the Influence of Plants on Root-Associated Bacterial Community. *Front. Microbiol.* 11:594890. doi: 10.3389/fmicb.2020.594890

### Roots: The Plant Forgotten Half

Mohammad Ali Hajabbasi, hajabbas@iut.ac.ir  
Professor, Department of Soil Sciences,  
Isfahan University of Technology, Isfahan 8415683111

#### Abstract

Plant roots are the most essential part of any species and its importance in addition to plant maintenance is to affect many irreplaceable plant processes. Summary of these processes are: anchoring, water and nutrients absorption and hormone production. From the beginning of scientific studies on plants, roots has been underestimated. Meaning that plant system studies have often been related to the upper part of the plant. Of course, most of these studies are also related to physiology, agronomy and horticulture, and soil-root interactions are rarely seen. Some have attributed the lack of this attention to the invisibility as well as the tedious nature of root working, while others introduced the complexity and lack of tools and technologies. In this article, the aim is to draw the attention of experts, especially young soil scientists to this important and forgotten part, and very briefly introduces some of the functions of the soil-root system, and modern tools and methods of root study. Then, problems and challenges related to it are discussed.

**Keywords:** Plant Root Systems, Soil-Root Interactions

### نقش کاربری اراضی بر ذخیره و اجزا کربن آلی در خاک

زهرا وارسته خانلری<sup>۱</sup> و احمد گلچین<sup>۲</sup>

۱- هیات علمی، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ۲- استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

چکیده

---

<sup>۲۲</sup> z.khanlari93@gmail.com

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

به منظور بررسی تغییرات اجزای کربن آلی یک خاک جنگلی در اثر تبدیل به شالیزار و همچنین احیای مناطق جنگل زدایی شده به جنگل‌های دست کاشت، یک مطالعه در ایستگاه تحقیقاتی صنوبر انجام شد و نمونه‌های خاک از پنج کاربری مختلف شامل جنگل طبیعی، جنگل‌های دست کاشت و شالیزار مجاور آن‌ها و از اعماق (۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متر) برداشت گردیدند. پوشش گیاهی مناطق احیا شده را جنگل دست کاشت صنوبر (*Populus caspica*)، جنگل دست کاشت توسکا (*Alnus subcordata*) و جنگل دست کاشت دارتالاب (*Toxodium distichum*) تشکیل می‌داد، در حالی که جنگل طبیعی عمدتاً زیرپوشش توسکا (*Alnus serrulata*) قرار داشت. نتایج جزیبندی مواد آلی بر حسب دانسیته نشان داد که در هر پنج کاربری با افزایش دانسیته اجزاء، وزن آن‌ها افزایش یافت. این وضعیت در کل خاک‌رخ و در تمام اندازه خاکدانه قابل مشاهده بود. با افزایش دانسیته اجزاء درصد کربن آلی کاهش یافت. درصد کربن اجزاء به صورت درصدی از کربن کل خاک در تمام اندازه خاکدانه‌ها در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ گرم برسانتی‌مترمکعب کمتر از اجزای با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم برسانتی‌مترمکعب بود و با افزایش عمق در تمام اندازه خاکدانه‌ها از درصد کربن در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ گرم برسانتی‌مترمکعب کاسته و به درصد کربن در اجزای با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم برسانتی‌مترمکعب اضافه گردید. در تمام اندازه خاکدانه‌ها در اثر تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار درصد کربن اجزاء به صورت درصدی از کربن کل خاک در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ گرم برسانتی‌مترمکعب کاهش و در اجزای با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم برسانتی‌مترمکعب افزایش یافت. حساس‌ترین و مقاوم‌ترین جزء به تغییر کاربری به ترتیب جزء با دانسیته کوچکتر از ۱/۶ گرم برسانتی‌مترمکعب (مواد آلی ذره‌ای آزاد و مواد آلی ذره‌ای محبوس شده در خاکدانه‌ها) و جز با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم برسانتی‌مترمکعب می‌باشد. احیای اراضی جنگل‌زدایی شده به وسیله جنگل‌های دست کاشت باعث گردید که اجزای کربن در جنگل دست کاشت صنوبر و توسکا به جنگل طبیعی نزدیک شود و تقریباً تمام شرایط حاکم بر جنگل طبیعی در جنگل دست کاشت صنوبر و توسکا دیده شد. ولی اجزای کربن در پوشش دارتالاب شبیه اراضی شالیزار بود.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر کاربری، کیفیت خاک، جزیبندی کربن آلی، احیای اراضی جنگل‌زدایی شده

### مقدمه

ذخایر کربن خاک دو یا سه بار بیشتر از کربن موجود در اتمسفر و دو و نیم بار بیشتر از میزان کربن ذخیره شده در پوشش گیاهی است (Post et al., 1990). افزایش مخزن کربن اتمسفر طی سال‌های گذشته به قیمت کاهش مخزن کربن خاک و پوشش گیاهی صورت گرفته است. مخزن کربن آلی خاک با محیط اطراف خود در تعادل دینامیک بوده و به آسانی تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی قرار می‌گیرد. فعالیت‌های بشری مانند جنگل‌زدایی، تبدیل اکوسیستم‌های طبیعی به زراعی، سوزاندن زیست توده، شخم و کشت و کار، چرای دام، مصرف کودهای شیمیایی دارای تاثیر شدید و منفی بر مخزن کربن آلی خاک هستند. به خصوص تبدیل اکوسیستم‌های طبیعی به زراعی باعث کاهش مخزن کربن آلی خاک می‌شوند. افزایش کربن آلی خاک، به بالاتر از سطح بحرانی (۱۰ تا ۱۵ گرم در کیلوگرم) ضروری است که باعث ترمیم و بهبود خاک شود. تکنیک‌های خاصی برای بازگرداندن کیفیت خاک وجود دارد که از آن جمله می‌توان از کشاورزی حفاظت شده، مدیریت یکپارچه موادغذایی، پوشش گیاهی مداوم مانند مالچ و پوشش‌های دست کاشت و چرای کنترل شده نام برد (Lal et al., 2009). شناخت نحوه توزیع فضایی کربن آلی در خاک برای درک نقش خاک در سیستم کربن جهانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

ماده آلی خاک از بخش‌های مختلف تشکیل شده است که از لحاظ ترکیب بیوشیمیایی و پایداری بیولوژیکی با یکدیگر متفاوتند. این اجزاء ممکن است حساسیت متفاوت به اثرات استفاده از زمین و مدیریت از خود نشان دهند. برای ارزیابی تاثیر مدیریت زمین بر پویایی کربن آلی بهترین راه جزیبندی کربن آلی می‌باشد. امروزه، بخش‌های مختلف مواد آلی خاک توسط روش‌های شیمیایی و فیزیکی تفکیک می‌شوند. تفکیک شیمیایی به دلیل نادیده گرفتن نقش موادمعدنی در دینامیک مواد آلی و مشخص نبودن وظایف اجزاء کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و بیشتر از تفکیک فیزیکی استفاده می‌شود. تفکیک فیزیکی خود به دو صورت انجام می‌شود که یکی از این روش‌ها دانسیته یا چگالی است. جزیبندی بر اساس دانسیته، که اقامت بقایای آلی در

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

خارج خاکدانه (جزء سبک LF) را از پیوند مواد آلی با مواد معدنی (جزء سنگین HF) جدا می‌کند، یک روشی را برای مطالعه مکانیسم ثابت فیزیکی و فیزیکوشیمیایی فراهم می‌آورد (Golchin et al., 1994; sohi et al., 2005).

Amara et al. (2016) با مطالعه تاثیر نوع کاربری روی جذب کربن آلی در خاک‌های سرالئون به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی از جنگل طبیعی به کشت بادام زمینی منجر به از دست رفتن کربن آلی کل و کربن در همه اجزا شده و بیشترین کاهش در کربن جز سبک (LF) (۱۶/۴ درصد)، سپس کربن آلی ذره‌ای (۱۵/۸۲ درصد)، کربن آلی کل (۱۴/۶۳ درصد) و جز سبک + رس (۵/۸۳ درصد) بود.

مطالعات اندکی روی تغییر اجزای کربن آلی و توزیع آن‌ها در اندازه‌های مختلف خاکدانه در اراضی جنگل طبیعی تخریب شده و تغییر اجزای کربن آلی پس از احیای برخی از این مناطق جنگل زدایی شده به وسیله جنگل‌های دست کاشت انجام شده است. بنابراین هدف از این تحقیق اولاً بررسی تعیین اجزای ماده آلی و تغییرات آن‌ها در اراضی جنگل طبیعی تخریب شده و تغییر این پارامترها پس از احیای برخی از این مناطق جنگل زدایی شده به وسیله جنگل‌های دست کاشت و ثانیاً تعیین حساس‌ترین و مقاوم‌ترین جز ماده آلی نسبت به تغییر کاربری زمین است.

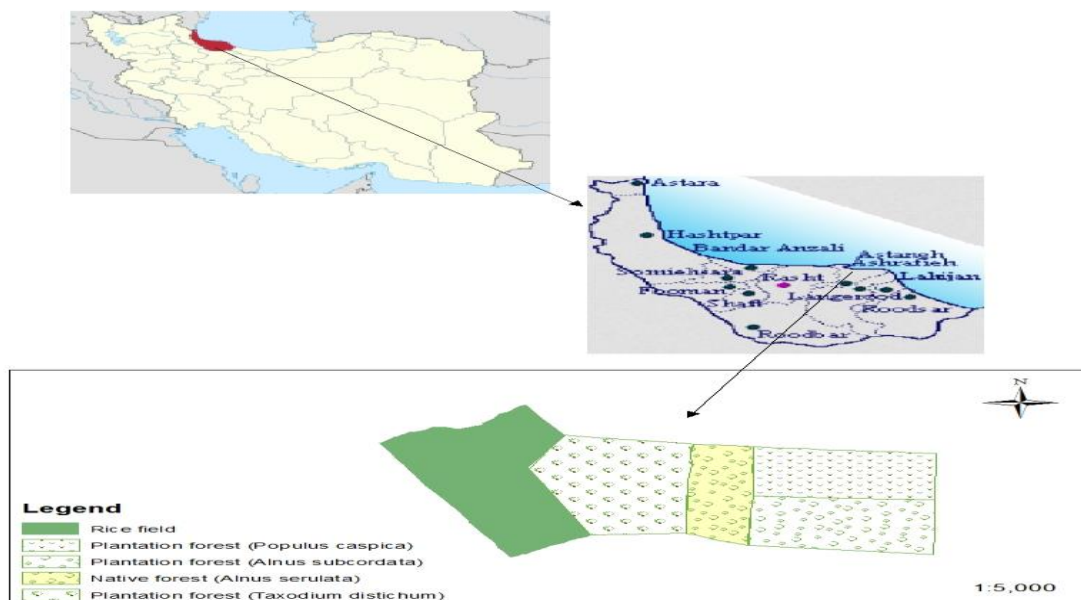
## مواد و روش‌ها

### ١- توصیف منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی تاثیر عمق و نوع کاربری اراضی بر تغییرات اجزای ماده آلی ایستگاه تحقیقاتی صنوبر در استان گیلان انتخاب شد. این منطقه شامل خاک‌های بکر جنگلی (جنگل توسکا)، جنگل‌های دست‌کاشت (شامل جنگل دست‌کاشت صنوبر، جنگل دست‌کاشت توسکا و جنگل دست‌کاشت دارتالاب) و شالیزار مجاور آن‌ها، می‌باشد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حدود ۲۵ سال قبل بعد از جنگل‌زدایی و قطع درختان که موجب تخریب جنگل طبیعی گردیده است، قسمتی از این اراضی جنگل‌زدایی شده زیر کشت برنج رفته و دائماً طی این مدت کشت شده و روز به روز خاک تخریب گشته است در حالیکه قسمت دیگری از منطقه جنگل‌زدایی شده مجدداً احیا گردیده و درختان دست‌کاشت در آن‌ها کشت شده‌اند.

## ۲- نمونه برداری و آماده سازی نمونه‌ها

به منظور نمونه برداری از خاک منطقه، هر کاربری به شش قسمت مختلف تقسیم و هر سه قسمت به عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد در حقیقت در هر کاربری شش خاکریز حفر گردید و اقدام به جمع آوری نمونه از اعماق ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰، ۶۰-۸۰ و ۸۰-۱۰۰ سانتیمتری گردید.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### ۳- جزبندی فیزیکی به روش دانسیته

اساس و تئوری که پشت جبهه جز کردن فیزیکی وجود دارد آن است که زمینه معدنی خاک بر سرعت تجزیه ماده آلی موثر بوده و بسته به اینکه ماده آلی در کجا قرار گرفته باشد (خارج خاکدانه، داخل خاکدانه یا روی سطح رسها) سرعت تجزیه آن متفاوت خواهد بود. بر این اساس این روش مواد آلی به سه جز تقسیم می گردند:

۱- مواد آلی بیرون خاکدانه یا خارج خاکدانه که Free POM نامیده شد و با دانسیته کمتر از  $1/6$  گرم بر سانتی متر مکعب از خاک جدا می شود (Golchin et al. 1994). ۲- مواد آلی محبوس شده در خاکدانه ها (Occluded POM) که پوسیده ترین آن ها با دانسیته کمتر از  $1/6$  گرم بر سانتی متر مکعب، نیمه تجزیه شده با دانسیته  $1/8$  -  $1/6$  گرم بر سانتی متر مکعب و تازه ها با دانسیته  $2/8$  -  $1/8$  گرم بر سانتی متر مکعب جدا می شوند (Golchin et al. 1994). Free POM و Occluded POM هر دو به شکل ذره ای هستند. ۳- Clay associated OM مواد آلی همراه با رس یا چسبیده به رس است که کلوئیدی می باشد.

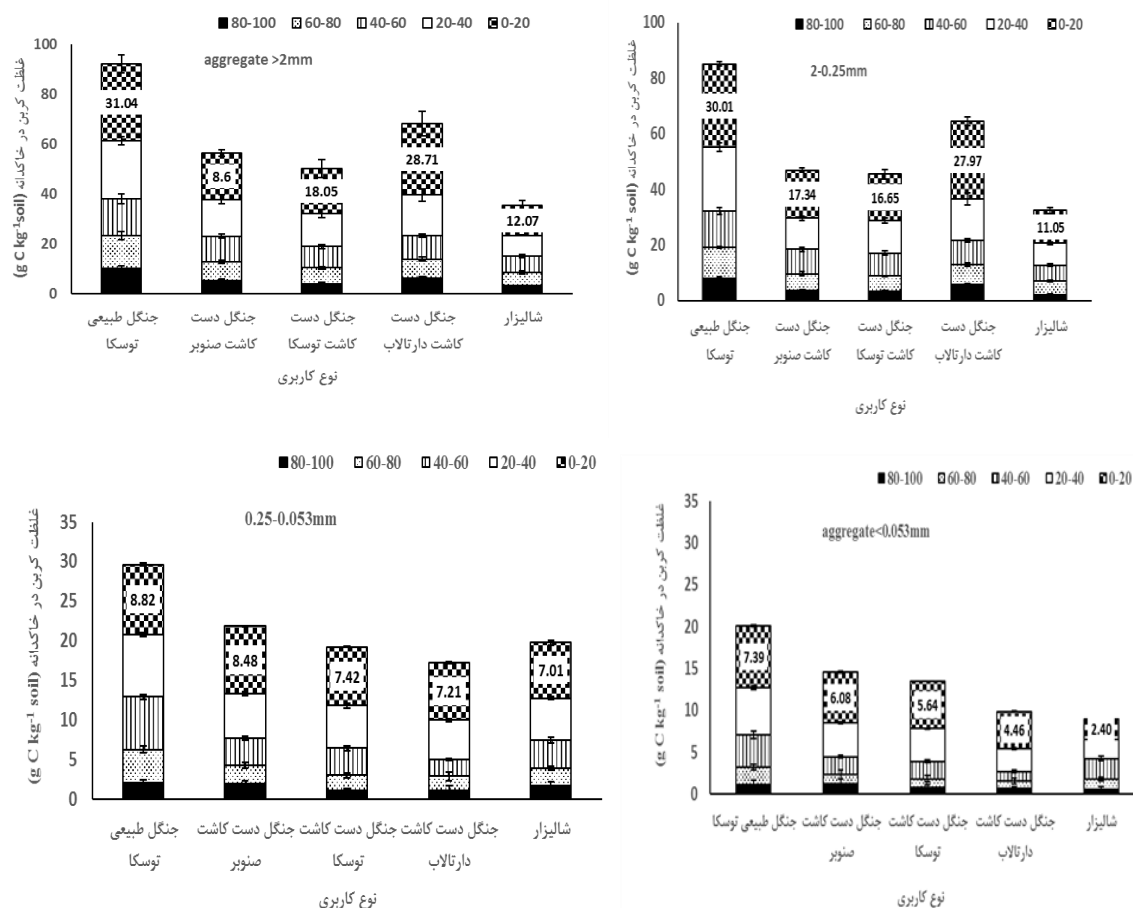
برای انجام جزبندی فیزیکی در اندازه های مختلف خاکدانه مقداری از نمونه های خاک ابتدا از الک ۴ میلی متری عبور داده شد. سپس خاک های عبور کرده از الک ۴ میلی متر از الک ۲ میلی متر گذارنده شدند. آن گاه حدود ۱۰۰ گرم از خاکدانه های باقی مانده روی الک ۲ میلی متر از هر یک از عمق های نیم رخ های مورد مطالعه جهت جداسازی خاکدانه های پایدار در آب به روش الک تر برداشته شد و روی سری الک ها با قطر ۲، ۲۵ و ۰/۵۳ میلی متر قرار داده شد. بعد از جداسازی، خاکدانه های باقیمانده روی هر سری الک جداگانه در آون ساعت خشک گردید (Kemper et al. 1985). برای جزبندی به روش دانسیته از روش (Golchin et al. 1994) استفاده گردید. در خاکدانه های جدا شده از نمونه های خاک و در اجزای جدا شده در جزبندی بر اساس دانسیته از این خاکدانه ها کربن آلی به روش والکی - بلک (Nelson, 1982) اندازه گیری شد.

### نتایج و بحث

#### توزیع کربن آلی در ارتباط با اندازه خاکدانه ها در خاک های منطقه مورد مطالعه

بررسی توزیع کربن آلی در ارتباط با اندازه خاکدانه در پنج کاربری نشان داد که با کاهش اندازه خاکدانه محتوای کربن آلی کاهش یافت (شکل ۲).

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۲- غلظت کربن در اندازه مختلف خاکدانه در پنج کاربری در عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتی‌متری. خطوط عمودی مقادیر خطای استاندارد را نشان می‌دهند.

غلظت کربن آلی در اراضی جنگل طبیعی توسکا، جنگل‌های دست کاشت صنوبر، توسکا، دارتالاب و اراضی شالیزار (میانگین پنج عمق برای هر کاربری) به ترتیب از ۱۸/۴، ۱۱/۲، ۱۰/۰، ۱۳/۶ و ۷/۱ گرم کربن در کیلوگرم خاک در خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر (خاکدانه‌های بزرگ) به ۴، ۲/۹، ۲/۷، ۲/۰ و ۱/۸ گرم کربن در کیلوگرم خاک در خاکدانه‌های کوچکتر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر (پیوند یافته با سیلت و رس) رسید (شکل ۲). در حقیقت مقدار کربن در جنگل طبیعی توسکا، جنگل دست کاشت صنوبر، جنگل دست کاشت توسکا، جنگل دست کاشت دارتالاب و اراضی شالیزار (میانگین ۵ عمق برای هر کاربری) به ترتیب ۴/۶، ۳/۹، ۳/۷، ۶/۹ و ۴/۰ برابر در خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر (خاکدانه‌های بزرگ) بیشتر از خاکدانه‌های کوچکتر از ۰/۰۵۳ میلی‌متر (پیوند یافته با سیلت و رس) بود. مقدار کربن در خاکدانه‌های مختلف از سطح به عمق کاهش یافت ولی ترتیب حضور کربن در خاکدانه‌ها به روال قبل بود و در خاکدانه‌های درشت‌تر بیشتر از خاکدانه‌ها با اندازه ریزتر بود (شکل ۲).

با تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار مقدار کربن آلی در خاکدانه‌ها کاهش یافت. ولی مقدار کاهش در خاکدانه‌های بزرگتر از ۲ میلی‌متر (خاکدانه‌های بزرگ) بیشترین (به‌طور میانگین ۶۲ درصد برای کربن) و در خاکدانه‌های ۰/۲۵-۰/۰۵۳ میلی‌متر (خاکدانه‌های کوچک) کمترین مقدار (به‌طور میانگین ۳۳ درصد برای کربن) بود (شکل ۲). Moges and Holden (2008) گزارش نمودند که محتوای کربن آلی در خاک‌های بکر بیشتر از خاک‌های کشت شده است. درحقیقت کشت و کار با در معرض قرار دادن کربن آلی خاکدانه‌های بزرگ برای تجزیه میکروبی هدررفت کربن آلی خاک را ارتقا می‌بخشد.

احیای برخی از این اراضی جنگل‌زدایی شده با جنگل‌های دست کاشت موجب بهبود کربن در خاکدانه‌ها گردید. جنگل دارتالاب بیشتر موجب بهبود کربن در خاکدانه‌های بزرگ (>2mm و 2-0.25mm) و جنگل دست کاشت صنوبر بیشتر موجب بهبود کربن در خاکدانه‌های کوچک (0.25-0.053mm و <0.053mm) گردید (شکل ۲). که این احتمالاً به ماهیت شیمیایی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

لاشبرگ‌های این گیاهان برمی‌گردد. بقایای دارتالاب در مقایسه با صنوبر ( $\frac{C}{N}$ ) بالاتری داشته و کمتر تجزیه شده‌اند و در خاکدانه‌های بزرگتر قرار می‌گیرند و بقایای صنوبر که ( $\frac{C}{N}$ ) پایین‌تری دارند در خاکدانه‌های کوچکتر قرار می‌گیرند.

**تأثیر تغییر کاربری، عمق و احیای اراضی جنگل‌زدایی شده بر اجزای فیزیکی ماده‌آلی خاک منطقه مورد مطالعه**

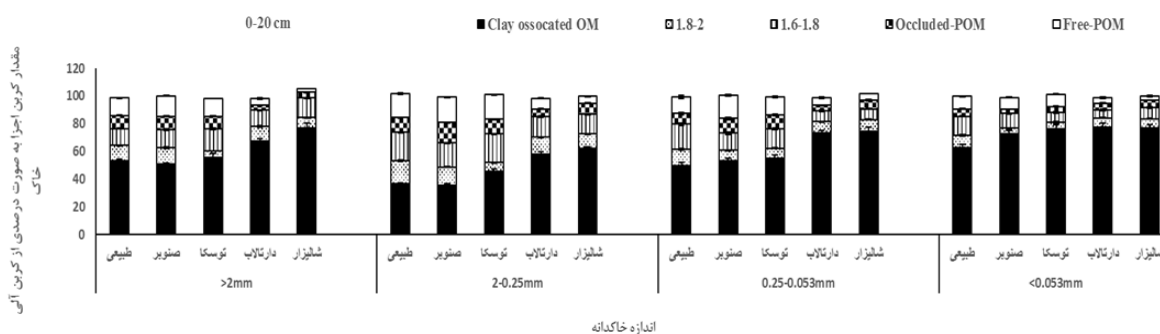
نتایج جزیندی موادآلی بر حسب دانسیته نشان داد که در هر پنج کاربری با افزایش دانسیته، وزن اجزا افزایش یافت (جدول ۱). این وضعیت در کل خاک‌رخ و در تمام اندازه خاکدانه قابل مشاهده بود (فقط یک عمق یک کاربری نمایش داده شده است). با افزایش دانسیته درصد کربن آلی اجزا کاهش یافت زیرا میزان موادمعدنی اجزا افزایش پیدا کرد. مقدار کربن اجزا به صورت درصدی از کربن آلی خاک در تمام اندازه خاکدانه‌ها به استثنای خاکدانه‌های ۲۵/۰-۲ میلی‌متر در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب کمتر از اجزای با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود و با افزایش عمق در تمام اندازه خاکدانه‌ها از درصد کربن در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب کاسته و به درصد کربن در اجزای با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب اضافه گردید. با افزایش دانسیته اجزا، نسبت C/N اجزا کاهش یافت. در تمام اندازه خاکدانه‌ها در اثر تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار از مقدار کربن اجزا به صورت درصدی از کربن آلی خاک در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب کاسته و به مقدار کربن در جز با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب اضافه گردید (شکل ۳). کاهش مقدار کربن در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ از خاکدانه‌های بزرگتر به سمت خاکدانه‌های کوچکتر کاهش یافت. به‌طوریکه در خاکدانه‌های بزرگ (>2mm) میزان کاهش مقدار کربن در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر ۱۴۵ درصد و در خاکدانه‌های کوچک (<0.053mm) میزان کاهش در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر حدود ۶۷ درصد بود. میزان افزایش کربن در جزء با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب با رفتن از خاکدانه‌های بزرگ (>2mm) به سمت خاکدانه‌های کوچکتر تا 0.25-0.053mm افزایش یافت ولی میزان افزایش در خاکدانه‌های کوچک (<0.053mm) کمترین میزان بود (شکل ۳). حساس‌ترین جزء به تغییر کاربری جزء با دانسیته 1.6< گرم بر سانتی‌مترمکعب (موادآلی ذره‌ای آزاد و موادآلی ذره‌ای محبوس شده در خاکدانه‌ها) (POM) بود که به‌طور میانگین از جنگل طبیعی به شالیزار حدود ۲۶۵ درصد کاهش یافت. مقاوم‌ترین جز به تغییر کاربری جزء با دانسیته بزرگتر از ۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب (*Clay associated OM*) می‌باشد (شکل ۳) (Bouajita and Gallali 2010) اثر نوع کاربری اراضی را بر مقدار کربن آلی خاک، مقدار POM و پایداری خاکدانه‌ها مطالعه کردند. تغییر کاربری اراضی از جنگل طبیعی به مرتع و زمین کشاورزی به طور معنی‌دار میزان کربن آلی خاک و کربن آلی ذره‌ای را کاهش داده بود.

جدول ۱- اجزای جدا شده ماده‌آلی در خاک جنگل دست کاشت صنوبر و ویژگی‌های آن‌ها در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری

| نوع کاربری            | عمق     | اندازه خاکدانه | دانسیته اجزا | درصد وزنی اجزا از وزن خاک | درصد کربن اجزا | درصد نیتروژن اجزا | مقدار کربن اجزا به صورت درصدی از کربن آلی خاک | مقدار نیتروژن اجزا به صورت درصدی از نیتروژن خاک | نسبت کربن به نیتروژن اجزا |
|-----------------------|---------|----------------|--------------|---------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------|
| جنگل دست کاشت (صنوبر) | 0-20 cm | >2 mm          | <1.6         | 3.50                      | 10.79          | 0.35              | 14.60                                         | 10.57                                           | 30.83                     |
|                       |         |                | <1.6         | 1.30                      | 13.64          | 0.28              | 9.49                                          | 0.98                                            | 48.71                     |
|                       |         |                | 1.6-1.8      | 3.10                      | 7.79           | 0.28              | 12.93                                         | 2.34                                            | 27.82                     |
|                       |         |                | 1.8-2        | 11.00                     | 2.08           | 0.09              | 12.24                                         | 2.77                                            | 23.11                     |
|                       |         |                | Total< 2     | 18.90                     |                |                   | 49.24                                         | 20.43                                           |                           |
|                       |         |                | >2           | 81.10                     | 1.17           | 0.36              | 50.76                                         | 79.57                                           | 3.25                      |
|                       |         | 2-0.25mm       | <1.6         | 5.50                      | 5.84           | 0.08              | 18.54                                         | 1.57                                            | 73.00                     |
|                       |         |                | <1.6         | 2.00                      | 12.55          | 0.31              | 14.48                                         | 2.12                                            | 40.48                     |
|                       |         |                | 1.6-1.8      | 4.20                      | 7.21           | 0.28              | 17.46                                         | 4.00                                            | 25.75                     |
|                       |         |                | 1.8-2        | 8.70                      | 2.60           | 0.14              | 13.03                                         | 4.14                                            | 18.57                     |
|                       |         |                | Total< 2     | 20.40                     |                |                   | 64.23                                         | 9.98                                            |                           |
|                       |         |                | >2           | 79.60                     | 0.78           | 0.33              | 35.77                                         | 90.02                                           | 2.36                      |
|                       |         | 0.25-0.053mm   | <1.6         | 3.50                      | 4.09           | 0.07              | 16.88                                         | 1.31                                            | 58.43                     |
|                       |         |                | <1.6         | 2.00                      | 4.52           | 0.17              | 10.66                                         | 1.80                                            | 26.59                     |
|                       |         |                | 1.6-1.8      | 8.90                      | 1.17           | 0.07              | 12.27                                         | 3.34                                            | 16.71                     |
|                       |         |                | 1.8-2        | 8.10                      | 0.78           | 0.09              | 7.44                                          | 4.05                                            | 8.67                      |
|                       |         |                | Total< 2     | 22.50                     |                |                   | 46.59                                         | 9.91                                            |                           |
|                       |         |                | >2           | 77.50                     | 0.58           | 0.22              | 53.41                                         | 90.09                                           | 2.64                      |
|                       |         | <0.053mm       | <1.6         | 4.00                      | 1.30           | 0.03              | 8.54                                          | 1.93                                            | 43.33                     |
|                       |         |                | <1.6         | 0.50                      | 3.74           | 0.17              | 3.07                                          | 1.16                                            | 22.00                     |
|                       |         |                | 1.6-1.8      | 8.40                      | 0.78           | 0.07              | 10.76                                         | 8.13                                            | 11.14                     |
|                       |         |                | 1.8-2        | 5.60                      | 0.39           | 0.14              | 3.59                                          | 10.84                                           | 2.78                      |
|                       |         |                | Total< 2     | 18.50                     |                |                   | 26.94                                         | 21.13                                           |                           |
|                       |         |                | >2           | 81.50                     | 0.18           | 0.07              | 73.06                                         | 78.87                                           | 2.57                      |

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

Dungait et al. (2012) نیز با مطالعه تاثیر تغییر کاربری بر اجزای ماده آلی بیان نمودند که جزء سبک (Light fraction) شاخص اولیه و بسیار حساس به تغییرات کوتاه مدت زمین می باشد مقدار کربن اجزا به صورت درصدی از کربن کل در لایه صفر تا ۲۰ سانتی متری در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۱/۶ (مواد آلی ذره ای آزاد و محبوس شده در خاکدانه) (POM) در جنگل طبیعی در خاکدانه های  $>2\text{mm}$  (۲۱/۹۳)، در خاکدانه های  $2-0.25\text{mm}$  (۲۷/۹۷)، خاکدانه های  $0.25-0.053\text{mm}$  (۲۰/۵۹) و در خاکدانه های کوچکتر از  $0.053\text{mm}$  (۱۳/۸۸) بود. بالاترین میزان این جز در خاکدانه های  $2-0.25\text{mm}$  مشاهده گردید (شکل ۳). همچنین مقدار این جز در لایه صفر تا ۲۰ سانتی متری در شالیزار به این صورت مشاهده گردید. در خاکدانه های  $>2\text{mm}$  (۶/۷۴)، در خاکدانه های  $2-0.25\text{mm}$  (۱۲/۶۷)، خاکدانه های  $0.25-0.053\text{mm}$  (۱۱/۰۳) و در خاکدانه های کوچکتر از  $0.053\text{mm}$  (۷/۸۵) (شکل ۳). یعنی تغییر کاربری از جنگل طبیعی به شالیزار به ترتیب موجب کاهش ۶۹، ۵۵، ۴۶ و ۴۳ درصدی این جز در خاکدانه های  $>2\text{mm}$ ،  $2-0.25\text{mm}$ ،  $0.25-0.053\text{mm}$  و  $<0.053\text{mm}$  گردید. در احیای اراضی جنگل زدایی شده به وسیله جنگل های دست کاشت، اجزای کربن در جنگل دست کاشت صنوبر و توسکا به جنگل طبیعی نزدیک بود و تقریباً تمام شرایط حاکم بر جنگل طبیعی در جنگل دست کاشت صنوبر و توسکا دیده شد (شکل ۳). به طوری که مقدار کربن اجزا به صورت درصدی از کربن کل در لایه صفر تا ۲۰ سانتی متری در اجزای با دانسیته کوچکتر از ۱/۶ (مواد آلی ذره ای آزاد و محبوس شده در خاکدانه) در جنگل دست کاشت صنوبر در خاکدانه های  $>2\text{mm}$  (۲۴/۴۹)، در خاکدانه های  $2-0.25\text{mm}$  (۳۳/۰۲)، خاکدانه های  $0.25-0.053\text{mm}$  (۲۷/۵۴) و در خاکدانه های کوچکتر از  $0.053\text{mm}$  (۱۱/۶۱) بود (شکل ۳). مقدار این جز در جنگل دست کاشت توسکا در این عمق به این صورت مشاهده گردید. در خاکدانه های  $>2\text{mm}$  (۲۱/۹۳)، در خاکدانه های  $2-0.25\text{mm}$  (۲۸/۲۳)، خاکدانه های  $0.25-0.053\text{mm}$  (۲۲/۸۹) و در خاکدانه های کوچکتر از  $0.053\text{mm}$  (۱۳/۱۱) (شکل ۳). ولی اجزای کربن در کاربری دارتالاب شبیه اراضی شالیزار بود (شکل ۳). این شرایط در تمام لایه ها برقرار بود.



شکل ۳- مقدار کربن اجزا به صورت درصدی از کربن آلی خاک در اندازه های مختلف خاکدانه برای پنج کاربری در عمق های ۰-۲۰ سانتی متری

### نتیجه گیری

تغییر کاربری از جنگل طبیعی به اراضی شالیزاری تاثیر نامطلوب روی مقدار کربن اجزا در اندازه های مختلف خاکدانه داشت. به طوری که از میزان مواد آلی ذره ای آزاد و محبوس شده در خاکدانه (جز سبک) که نقش بسیار مهمی را در تغذیه گیاه دارند به شدت کاسته شد. که این امر موجب کاهش سلامت خاک و پتانسیل ترسیب کربن در خاک می شود. احیای اراضی جنگل زدایی شده به وسیله جنگل های دست کاشت باعث گردید که اجزای کربن در جنگل دست کاشت صنوبر و توسکا به جنگل طبیعی نزدیک شود و تقریباً تمام شرایط حاکم بر جنگل طبیعی در جنگل دست کاشت صنوبر و توسکا دیده شد. ولی اجزای کربن در پوشش دارتالاب شبیه اراضی شالیزار بود.

### منابع

- Amara, D.M.K., Koroma, S.A., Kamanda, P.J., Kamara, A.M. and Saidu, D.H. 2016. Effects of land use on soil organic carbon fraction in soils of Njala landscape in Sierra Leone. International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology. 1: 637-645.
- Bouajita, A. and Gallali, T. 2010. Land use effect on soil and particulate organic carbon and aggregate stability in some soils in Tunisia. African Journal of Agricultural Research. 5(8): 764-774.

- Dungait, J.A.J., Hopkins, D.W., Gregory, A.S. and Whitmore, A.P. 2012. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Global Change Biology*. 18: 1781-1796.
- Golchin, A., Oades, J. M., Skjemstad, J. O. and Clarke, P. 1994. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state  $^{13}\text{C}$  CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Soil Research*. 32(2): 285-309.
- Kemper, C. T., Osborne, R. L. and Bellows, J. C. 1985. U.S. Patent No. 4,517,468. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office
- Lal, G., Zhang, N., Van Der Touw, W., Ding, Y., Ju, W., Bottinger, E. P. and Bromberg, J. S. 2009. Epigenetic regulation of Foxp3 expression in regulatory T cells by DNA methylation. *The Journal of Immunology*. 182(1): 259-273.
- Moges, S. and Holden, M.N. 2008. Soil fertility in relation to slope position and agricultural land use: a case study of umbulo catchment in Southern Ethiopia. *Environmental Management*. 42: 753-763.
- Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. *Methods of soil analysis. Part 2, Chemical and microbiological properties* (2<sup>nd</sup> Ed
- Post, W., Peng, T.H., Emmanuel, W.R., King, A.W., Pale, V.H. and Angelis, D.L. 1990. The global C cycle. *American Scientist*. 78: 310-326.
- Sohi, S. P., Mahieu, N., Powlson, D. S., Madari, B., Smittenberg, R. H. and Gaunt, J. L. 2005. Investigating the chemical characteristics of soil organic matter fractions suitable for modeling. *Soil Science Society of America Journal*. 69(4): 1248-1255.

### The role of land use on soil carbon organic storage and components

and A. Golchin<sup>2</sup> <sup>\*</sup> Z. Varasteh Khanlari<sup>1</sup>

1- Assistant Professor, Department of Soil Science. College of Agriculture, Malayer University

2-Professor, Department of Soil Science. College of Agriculture, Zanzan University

### Abstract

In order to investigate the changes in the organic carbon components of a forest soil as a result of conversion to paddy fields as well as deforested areas to hand planted forests, a study was conducted at the Populus Research Station. Soil samples were collected from five nearby sites under paddy rice, natural and hand planted forest from five different depths (0-20, 20-40, 40-60, 60-80, and 80-100 cm). The main vegetation covers of hand planted forests were *Populus caspica*, *Alnus subcordata* and *Taxodium distichum*, while the natural forest was under *Alnus serrulata* cover. Results of soil organic carbon fractionation showed that percentage of soil weight in fractions increased with increasing density in all five land use. This situation was visible throughout the soil profiles and in all the aggregate sizes. By increasing the density of fractions, the concentration of organic carbon in the fractions decreased. The organic carbon content of the fractions as a percentage of organic carbon content of whole soil, in all the aggregate sizes, and in the fractions with density  $< 2 \text{ g cm}^{-3}$  was smaller than those of fractions with density  $> 2 \text{ g cm}^{-3}$ . In all of the aggregates, with increasing depth, organic carbon content of the fractions with density  $< 2 \text{ g cm}^{-3}$  as a percentage of organic carbon content of whole soil decreased while those of the fractions with density of  $> 2 \text{ g cm}^{-3}$  increased. In all of the aggregate, due to the change of land use from natural forests to rice field, organic carbon content of the fractions as a percentage of organic carbon content of whole soil, decreased in the fractions with density  $< 2 \text{ g cm}^{-3}$  and increased in the fractions with density  $> 2 \text{ g cm}^{-3}$  and this was more pronounced in aggregates of larger size. The most sensitive and resistant fractions to land use change were fraction  $< 1.6 \text{ g cm}^{-3}$  (free particulate organic matter and occluded particulate organic matter) and fraction  $> 2 \text{ g cm}^{-3}$  respectively. The reforestation of degraded lands by hand-planted forests resulted in the carbon fractions of the *Populus* and *Alnus* plantations approaching the natural forest. But the carbon fractions in the *Taxodium* cover were similar to paddy fields.

**Keywords:** Land use change, Soil quality, Organic carbon fractionation, Restoration of deforested lands

کودهای زیستی: گذشته، حال و آینده

هوشنگ خسروی

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

<sup>\*</sup> Corresponding Author: Email: Z.khanlari93@gmail.com

### مقدمه

احتیاج کشورها به غذا، سالیانه در حال افزایش بوده به طوری که نسبت به قرن گذشته به افزایش ۱۰۰ درصدی تولید محصولات کشاورزی نیاز است. یکی از راه‌های اصلی برطرف کردن نیاز تغذیه‌ای محصولات کشاورزی، مصرف کودهای شیمیایی می‌باشد. گرچه کودهای شیمیایی به عنوان پرمصرف‌ترین نهاده‌های کشاورزی، به آسانی و به سرعت عناصر مورد نیاز گیاه را تأمین نموده و موجبات رشد آن را فراهم می‌کنند با اینحال، از پتانسیل آلوده‌سازی بالایی برخوردار بوده و مصرف بی‌رویه و نامتعادل آنها موجب آلودگی هوا، آب، خاک، گیاه، دام و انسان می‌شوند. بنابراین ارائه راهکارهای مبتنی بر توسعه پایدار و توجه به حفظ سلامت محیط زیست برای افزایش تولید محصولات کشاورزی امری ضروری است. یکی از روش‌های افزایش تولید محصولات کشاورزی استفاده از پتانسیل ریزجانداران مفید خاکری 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 نیاز 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. کودهای زیستی به اشکال مایع، جامد، یا نیمه جامد تهیه شده و به صورت تلقیح به بذر، نشاء، قلمه، مصرف در آب آبیاری، مصرف خاکی و برگ‌پاشی در خزانه، گلخانه و مزرعه استفاده می‌شوند. کود زیستی یک اصطلاح کلی است با اینحال مایه تلقیح نیز اصطلاحی در زیر مجموعه کودهای زیستی است که معمولاً حاوی ترکیبات مؤثر همراه دیگری نیستند و فقط شامل سوبیه‌ای خالص از یک یا چند ریزجاندار مفید هستند که به گیاه یا خاک تلقیح می‌شوند. مایه تلقیح‌های ریزوبیومی، محرک رشد گیاه و قارچ‌های میکوریزی از نمونه‌های مشهور کودهای زیستی هستند. اولین کود زیستی با جداسازی باکتری‌های ریزوبیوم از گره‌های ریشه باقلا در سال ۱۸۹۶ در آمریکا و به شکل کشت آگاری در ظروف شیشه‌ای بسته‌بندی و به بازار عرضه شد. بعد از آمریکا کشورهای روسیه، کانادا و استرالیا نیز به تولید کودهای زیستی با استفاده از ریزجانداران مختلف پرداختند. هم‌اکنون شرکت‌های زیادی وجود دارند که کودهای زیستی تولیدی خود را به سراسر جهان عرضه می‌کنند. امروزه کودهای زیستی در بسیاری از محصولات کشاورزی در دنیا مصرف شده که سبب افزایش محصولی معادل ۲۵-۱۰ درصد می‌شوند بطوری که صرفه اقتصادی آن میلیاردها دلار در سال برآورد شده است. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، کودهای زیستی را به عنوان یکی از منابع تأمین‌کننده عناصر غذایی گیاهان به رسمیت شناخته است. بطور کلی هر کود زیستی شامل دو بخش ریزجاندار(ان) و ماده حامل است. از مهمترین و شناخته شده‌ترین ریزجانداران کودهای زیستی می‌توان به ریزوبیوم، ازتوباکتر، آزوسپیریلوم، سودوموناس، باسیلوس، تیوباسیلوس و قارچ‌های میکوریزی اشاره کرد. حامل نیز، ماده یا ترکیبی از مواد مختلف است که از نظر وزنی و حجمی بخش عمده یک کود زیستی را تشکیل می‌دهد بطوریکه مصرف و استفاده از آن را تسهیل می‌نماید. وظیفه اصلی حامل اینست که شرایط تنفسی، اسیدیته و میزان رطوبت را برای بقای ریزجانداران فراهم تا جمعیت آنها در یک حدود معین از زمان تولید تا مصرف نگهداری نماید. از رایج‌ترین مواد حامل یا نگهدارنده طبیعی برای تولید کود زیستی، انواع خاصی از تورب یا پیت است. به دلیل فقدان تورب مناسب و کافی در غالب کشورها از مواد گوناگونی آلی و معدنی همانند لیگنیت پرلیت، بنتونیت، انواع کمپوست، ملاس نیشکر، خاک اره، پودر سیوس و کاه غلات و آرد حبوبات استفاده می‌شود. در ایران پرلیت به عنوان یک ماده معدنی قابل دسترس و ارزان به عنوان حامل مناسب برای تهیه اغلب کودهای زیستی غیرمایع مورد استفاده دارد.

کودهای زیستی حاصل مطالعات دانشمندان رشته‌های مختلف علوم کشاورزی، میکروبیولوژی، گیاهشناسی و شیمی در اعصار مختلف است. در این مقاله به اجمال به وضعیت انواع رایج کودهای زیستی در گذشته، حال و آینده در جهان و ایران پرداخته می‌شود.

### تاریخچه کودهای زیستی و دانش میکروبیولوژی خاک

شواهد فسیل‌شناسی نشان می‌دهد که ریزجانداران در بیش از سه میلیارد سال قبل بر روی کره زمین حضور داشته‌اند. در زمان‌های قدیم، کشاورزان برای تقویت زمین‌های کشاورزی، گیاهان از تیره لگومینوز نظیر شبدر و باقلای مصری را در تناوب با سایر گیاهان کشت می‌کردند و بر این باور بودند که با کشت این گیاهان میزان حاصلخیزی خاک افزایش پیدا می‌کند. در حدود

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

۳۰۰ سال قبل از میلاد، یکی از شاگردان ارسطو به نام تئوفراستوس، نظر داد که افزودن مخلوطی از خاک‌های حاصلخیز به خاک‌های غیر حاصلخیز موجب اصلاح این نوع از خاک‌ها می‌شود. همچنین جئورجیکس، حدود ۳۰ سال قبل از میلاد به اثرات مفید لگوم‌ها اشاره نموده است. اولین مشاهدات مربوط به میکروبیولوژی خاک در رم باستان و مربوط به گره‌های تثبیت کننده نیتروژن در ریشه گیاهان لگوم بود. آنتونی فیلیپس ون لی‌ون‌هوک<sup>۲۹</sup> دانشمند هلندی به‌عنوان نخستین میکروب‌شناس و پدر میکروبیولوژی، اولین بار باکتری را در زیر میکروسکوپ مشاهده و در سال ۱۶۶۵ اولین کتاب در زمینه میکروبیولوژی را به نام میکروگرافیا منتشر نمود. سرگئی نیکولائوویچ وینوگرادسکی<sup>۳۰</sup> (۱۸۶۵-۱۹۵۳) میکروبیولوژیست اوکراینی و پدر میکروبیولوژی خاک با مطالعه میکروب‌های خاکری، بسیاری از فرآیندهای مهم میکروبی خاک. شامل نیتریفیکاسیون، شیمیواتتروفی، اکسیداسیون میکروبی آهن، و باکتری غیرهوازی تثبیت کننده نیتروژن به نام کلوستریدیوم پاستوریانوم را کشف نمود. اولین باکتری تثبیت کننده نیتروژن همزیست با لگوم‌ها به نام ریزوبیوم و ازتوباکتر به‌عنوان اولین باکتری آزادزی و غیر همزیست تثبیت کننده نیتروژن به وسیله یک میکروبیولوژیست هلندی به نام مارتینوس ویلمز بیجرینک<sup>۳۱</sup> و از بنیانگذاران میکروبیولوژی محیطی کشف شد. از دیگر دانشمندان مؤثر در پیشرفت علم میکروبیولوژی خاک می‌توان الکساندر فلمینگ؛ پزشک و میکروبیولوژیست اسکاتلندی و کاشف پنی‌سیلین را نام برد. سایر دانشمندان در سال‌های بعد برای توسعه این دانش، تلاش‌ها و زحمات بسیاری را انجام داده‌اند.

### وضعیت کنونی تولید و مصرف کودهای زیستی در جهان و ایران

امروزه طیف وسیعی از باکتری‌های خاکری، جلبک‌ها و انواع قارچ‌های میکوریزی و غیرمیکوریزی به اشکال و فرمولاسیون‌های مختلف برای تولید کودهای زیستی برای محصولات مختلف کشاورزی از جمله غلات، حبوبات، سبزیجات و صیفی‌جات و باغات تولید و استفاده می‌شوند. در جنوب آمریکای لاتین سالانه بیش از ۳۰ میلیون هکتار سویا کشت می‌شود که ۷۰ درصد آن با *Bradyrhizobium japonicum* تلقیح می‌شود. سالانه در حدود ۶۰ تا ۷۰ هزار تن کود زیستی در برزیل برای محصولات مختلف زراعی و باغی مصرف می‌شود. چندین شرکت بزرگ تولید کننده در برزیل از جمله Embrafós و Biofosfatos مشغول تولید انواعی از کود زیستی هستند. در کوبا شرکت Labiofam S.A محصولی به نام Nitrofix حاوی باکتری آزوسپیریوم تولید می‌کند. ریزوباکتر یک کمپانی مهم است که در سال ۱۹۷۷ در آرژانتین احداث و برای لگوم‌های مختلف کود زیستی ریزوبیوم تولید می‌کند که محصولات آن در ایالات متحده، اروپا، آفریقا، آرژانتین، برزیل، بولیوی، پاراگوئه و اروگوئه مصرف می‌شود. شرکت نووزیمس، کودهای زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات و تثبیت کننده نیتروژن مولکولی تولید می‌کند که در سراسر اروپا، آمریکا، استرالیا و کانادا توزیع می‌شود. اروپا یکی از مناطقی است که بیشترین رونق در بازار کودهای زیستی را به خود اختصاص داده است. بطوریکه درآمد آن در سال ۲۰۱۷ بالغ بر ۴۵۰۰ میلیون دلار برآورد شد. یکی از شرکت‌های بزرگ و در حال توسعه شرکت Symborg است که مخلوط میکروبی با جمعیت حدود  $10^6$  (CFU.gr<sup>-1</sup>) به نام VitaSoil را تولید می‌کند که برای گیاهان باغی، گل و مرکبات، باغات انگور و سایر درختان میوه، غلات و تنباکو مصرف می‌شود. شرکت لولند، کودی ویژه مرکب از ریزجانداران، آنزیم‌ها، اسیدهای آلی و کلات‌کننده‌ها به نام Accomplish را تولید می‌کند که سبب توسعه ریشه، افزایش قابلیت جذب عناصر از کودها و خاک می‌شود. شرکت JSC روسیه نیز کود زیستی Azotobacterin را تولید می‌کند که حاوی *Azospirillum brasilense* B-4485 بوده و تا ۲۰ درصد عملکرد گندم، جو، ذرت، هویج، کلم و غیره را افزایش می‌دهد. در هندوستان بیش از ۱۰۰ تولید کننده کود زیستی در ایالت‌های مختلف فعالیت دارند. یکی از این شرکت‌های مطرح، شرکت Biomax است که سه محصول عمده آن به نام‌های Biomix، Biozink و Biodine حاوی ریزجانداران تثبیت کننده نیتروژن، حل‌کننده فسفات، آهن، روی، منگنز تولید می‌کند که برای طیف وسیعی از گیاهان مورد استفاده قرار می‌گیرند. برآورد شده است که در بیش از ۱۰۰ هزار هکتار مزارع ارگانیک شده هندوستان حدود ۱/۵ میلیارد دلار صرف کودها و آفت‌کش‌های زیستی شده است. در چین نیز از سال ۱۹۹۶ کودهای زیستی توسط وزارت کشاورزی این کشور به ثبت رسیده است بطوریکه هم‌اکنون

29 - Antonie Philips van Leeuwenhoek

30 - Sergei Nikolaievich Winogradsky

31 - Martinus Willem Beijerinck

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

صدها محصول در شرکت‌های مختلف تولید می‌شود. شرکت ("CBF") China Bio-Fertilizer AG محصولی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفر و پتاسیم است که سبب افزایش ۳۰ درصدی محصول و کاهش ۳۰ درصدی مصرف کودهای شیمیایی می‌شود. شرکت Tokachi ژاپن نیز یکی از معدود شرکت‌های تولید کننده کودهای زیستی ریزوبیومی در آسیا است که سه محصول از جمله Mamezo را تولید می‌کند. در قاره آفریقا بجز بخشی از آفریقای جنوبی، بقیه کشاورزان نسبت به مصرف کودهای زیستی مقاومت سرسختانه‌ای از خود نشان می‌دهند و قانع کردن آنها به مصرف کودهای زیستی به جای کودهای شیمیایی کار مشکلی است. قابل ذکر است که در کشورهای در حال توسعه، کشاورزان از آموزش‌های فنی لازم در مورد کشاورزی نوین برخوردار نبوده و بیشتر به انجام روش‌های سنتی تمایل دارند.

اولین کود زیستی مورد استفاده در ایران، ریزوبیوم بود که بنام تجاری نیتراژین که در سال ۱۳۴۰ به کشور وارد و در کشت سویا مصرف شد. آموزش در مورد میکروبیولوژی خاک و کودهای زیستی در دهه ۵۰ شمسی توسط خانم دکتر ناهید صالح‌راستین در دانشگاه تهران آغاز شد. پژوهش‌ها در مورد کودهای زیستی در قالب پایان‌نامه‌های دانشجویی به راهنمایی دکتر صالح‌راستین از ۱۳۶۶ و در مورد اکسیدکنندگان گوگرد آغاز و در ادامه پایان‌نامه‌های دیگری در مورد سایر کودهای زیستی انجام شد. در سال ۱۳۷۵ بخش تحقیقات بیولوژی خاک در مؤسسه تحقیقات خاک و آب راه‌اندازی شد ایجاد این بخش که اولین رئیس آن نیز دکتر صالح‌راستین بودند، نقش مؤثری در توسعه پژوهش کودهای زیستی در ایران داشت. از اولین اقدامات این بخش، جداسازی، شناسایی و ارزیابی کارایی باکتری‌های ریزوبیوم بومی همزیست با سویا، نخود، لوبیا، باقلا و یونجه بود. در ادامه پژوهش‌ها، سویه‌های کارآمد ریزوبیوم طی آزمایشات گلخانه‌ای و مزرعه‌ای انتخاب شدند. فرمولاسیون و دانش فنی تولید انبوه این کودهای زیستی به بخش خصوصی واگذار شدند. اولین کود زیستی تولید داخل، کود زیستی ریزوبیوم سویا بود که تولید تجاری آن از سال ۱۳۷۹ آغاز و موجب قطع واردات آن از خارج گردید. برای محصولاتی مانند گندم و ذرت، مایه‌تلقیح‌هایی از باکتری‌های همیار و آزادی تثبیت‌کننده نیتروژن، حل‌کننده‌های فسفات و قارچ‌های میکوریزی تولید نیز شد. در جدول ۱ عناوین دانش‌های فنی کودهای زیستی ارائه شده توسط مؤسسه تحقیقات خاک و آب نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در دانشگاه‌های مختلف ایران نیز پژوهش‌های متعددی در مورد ریزجانداران مفید خاک انجام شده است. اما با توجه به اینکه معمولاً هر دانشگاه به طور مستقل عمل می‌کند لذا کارهای موازی و تکراری زیادی مشاهده می‌شود همچنین هر کدام از آنها از ریزجانداران مختلفی استفاده نموده و لذا جمع‌بندی نتایج آنها در سطح ملی دشوار است. امروزه انواعی از کودهای زیستی در شرکت‌های مختلف کشور تولید می‌شود که اسامی آنها در سایت انجمن صنفی تولیدکنندگان فرآورده‌های آلی و زیستی کشاورزی ارائه شده است (<http://www.iapobp.ir>).

جدول ۱- مشخصات کودهای زیستی تجاری‌سازی شده تحت لیسانس مؤسسه تحقیقات خاک و آب

| ردیف | عنوان دانش فنی                   | محصول هدف         |
|------|----------------------------------|-------------------|
| ۱.   | مایه تلقیح ریزوبیوم سویا         | سویا              |
| ۲.   | مایه تلقیح ریزوبیوم لوبیا        | انواع ارقام لوبیا |
| ۳.   | مایه تلقیح ریزوبیوم نخود         | نخود ایرانی       |
| ۴.   | مایه تلقیح ریزوبیوم باقلا        | باقلا             |
| ۵.   | کود زیستی فلاوید                 | گندم              |
| ۶.   | مایه تلقیح ازتوباکتر فسفاتی      | محصولات مختلف     |
| ۷.   | مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس | محصولات مختلف     |
| ۸.   | کود زیستی قارچ‌های میکوریزی      | محصولات مختلف     |

استاندارد تولید کودهای زیستی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

تاکنون برای کودهای زیستی یک استاندارد بین‌المللی و مورد توافق اکثر کشورها ارائه نشده است. با اینحال در برخی کشورها شیوه‌نامه‌های منطقه‌ای در این مورد تدوین شده است. مثلاً استاندارد حداقلی برای تولید کودهای زیستی ریزوبیومی در استرالیا در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- استاندارد حداقلی برای کودهای زیستی ریزوبیومی در استرالیا

| شمارش در طی دوره   |                         | شمارش بلافاصله بعد از تولید |  | واحد شمارش                | حالت کود زیستی | ردیف |
|--------------------|-------------------------|-----------------------------|--|---------------------------|----------------|------|
| شش ماه پس از تولید | ماندگاری                |                             |  |                           |                |      |
| $1 \times 10^*$    | $\geq 1 \times 10^8$    | $\geq 1 \times 10^9$        |  | (CFU.g <sup>-1</sup> )*   | پیت            | ۱.   |
| ۶                  | $\geq 1 \times 10^9$    | $\geq 5 \times 10^9$        |  | (CFU.ml <sup>-1</sup> )   | مایع           | ۲.   |
| ۶                  | $\geq 1 \times 10^{10}$ | $\geq 1 \times 10^{10}$     |  | (MPN.ha <sup>-1</sup> )** | گرانول         | ۳.   |
| ۶                  | $\geq 5 \times 10^{11}$ | $\geq 1 \times 10^{12}$     |  | (CFU/vial)                | فریز-خشک       | ۴.   |

\*MPN: Most Probable Number; \*\*CFU: Colony Forming Unit

در کنیا، استاندارد کودهای زیستی ریزوبیومی تعداد  $10^8$  و برای ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات  $10^7$  سلول باکتری در گرم یا میلی‌لیتر مایه تلقیح تعیین شده است.

در ایران، با همکاری سازمان ملی استاندارد و مؤسسه تحقیقات خاک و آب برای کودهای زیستی استانداردهایی برای تولید تدوین شده است. بر اساس این استانداردها هر کدام از این کودها بایستی دارای ویژگی‌هایی باشند که تولیدکنندگان ملزم به رعایت آنها می‌باشند. این ویژگی‌ها در تمام مدت از زمان تولید تا انقضای محصول باید احراز شوند. تاریخ تولید و انقضاء توسط تولیدکننده بر روی محصول درج می‌شود. در زیر خلاصه‌ای از این استانداردها ارائه شده است. متن کامل استانداردهای کودهای زیستی در سایت سازمان ملی استاندارد ایران قرار دارد (<http://isiri.gov.ir/portal>).

### استاندارد تولید کودهای زیستی ریزوبیومی

ویژگی کودهای زیستی حاوی باکتری‌های ریزوبیوم بر اساس استاندارد ملی ایران (شماره ۲۲۳۰۲)، در فرمولاسیون‌های جامد و مایع مطابق با جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳- ویژگی‌های کودهای زیستی ریزوبیومی برای تولید در ایران

| ردیف | ویژگی               | حد قابل قبول                                                             |
|------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | جامد (در گرم)       | حداقل $5 \times 10^7$                                                    |
| ۲    | مایع (در میلی‌لیتر) | حداقل $1 \times 10^7$                                                    |
| ۳    | کارایی              | ایجاد گره‌های فعال تثبیت‌کننده نیتروژن                                   |
| ۴    | آلودگی میکروبی      | بر روی محیط کشت گلوگز-پپتون آگار در رقت $10^{-5}$ هیچ آلودگی مشاهده نشود |

### استاندارد تولید کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد

ویژگی کودهای زیستی حاوی باکتری‌های محرک رشد گیاه بر اساس استاندارد ملی ایران (شماره ۲۲۳۰۵)، مطابق جدول ۴ می‌باشد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

جدول ۴- ویژگی‌های کودهای زیستی افزایش دهنده رشد گیاه برای تولید در ایران

| ردیف | ویژگی          | حد قابل قبول                                                                                                                                                       |
|------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | شناسایی        | طبق ادعای تولیدکننده در حد جنس و گونه و بر اساس روش مولکولی 16S rRNA                                                                                               |
| ۲    | تعداد باکتری   | پودری<br>حد اقل $5 \times 10^6$ CFU.g <sup>-1</sup><br>مایع<br>حد اقل $1 \times 10^6$ CFU.ml <sup>-1</sup><br>گرانول<br>حد اقل $1 \times 10^5$ CFU.g <sup>-1</sup> |
| ۳    | آلودگی میکروبی | در رقت $10^{-6}$ هیچ گونه آلودگی مشاهده نشود                                                                                                                       |

### استاندارد تولید کودهای زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات

ویژگی کودهای زیستی حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر اساس استاندارد ملی ایران (شماره ۲۲۳۰۱)، باید مطابق

جدول ۵ باشد.

جدول ۵- ویژگی‌های کودهای زیستی باکتری‌های حل‌کننده فسفات برای تولید در ایران

| ردیف | ویژگی                       | حد قابل قبول                                                                     |
|------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | شناسایی                     | طبق ادعای تولیدکننده در حد جنس و گونه و زیرگونه (در صورت اعلام، توسط تولیدکننده) |
| ۲    | کارایی حل‌کنندگی فسفات      | ایجاد هاله شفاف با ۲/۵ برابر قطر کلنی در محیط جامد                               |
| ۳    | تعداد باکتری حل‌کننده فسفات | پودری<br>حد اقل $5 \times 10^6$<br>مایع<br>حد اقل $1 \times 10^6$                |

### استاندارد تولید کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تیوباسیلوس

ویژگی کودهای زیستی حاوی باکتری‌های تیوباسیلوس بر اساس استاندارد ملی ایران (شماره ۲۲۳۰۲)، باید مطابق

جدول ۶ باشد. این

جدول ۶- ویژگی‌های کودهای زیستی باکتری‌های تیوباسیلوس برای تولید در ایران

| ردیف | ویژگی                   | حد قابل قبول                                                                       |
|------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | تعداد باکتری تیوباسیلوس | حد اقل $5 \times 10^6$ CFU.g <sup>-1</sup> یا $1 \times 10^6$ CFU.ml <sup>-1</sup> |

### استاندارد تولید کودهای زیستی حاوی قارچ‌های میکوریزی

بر اساس استاندارد ملی ایران (شماره ۲۲۳۰۴)، کودهای زیستی حاوی قارچ‌های میکوریزی در مصرف

خاکی بایستی حاوی حداقل ۱۰۰ عدد اندام فعال قارچی در واحد وزن (g) برای انواع پودری یا حجم (ml) برای انواع

انواع مایع و برای بذرمال ۸۰۰ باشد. بر این اساس میزان اندام فعال قارچ اضافه شده به بذر مورد نیاز برای هر هکتار

حداقل ۴۰۰۰۰۰ عدد باشد.

### کنترل کیفی کودهای زیستی

کشاورزان برای خرید کودهای زیستی، هزینه پرداخت می‌کنند و انتظار دارند همانند بسیاری از کودهای شیمیایی

نتیجه کاربرد آنها نتیجه‌بخش باشد. بنابراین، ارائه دهنده دانش فنی، تولیدکننده کود زیستی و همچنین دولت که حمایت‌کننده

و نظارت‌کننده است وظیفه دارند که کود زیستی با کیفیتی را در اختیار کشاورزان قرار دهند. برای این منظور، کیفیت کودهای

زیستی لازم است با دقت کنترل شده و مدام مورد قرار گیرند. بعضی از آزمایشات کمی و کیفی شامل کنترل کشت‌ها از نظر

آلودگی‌های میکروبی، pH محیط کشت، رنگ‌آمیزی گرم، کشت خطی بر روی محیط کشت جامد و مشاهده سلول زنده یا

شمارش کلنی و همچنین مراجعه به استانداردهای مربوطه توصیه می‌شود. برای جلوگیری از افت کیفیت کودهای زیستی بهتر

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

است در مکانی خشک و خنک، ترجیحا در دمای ۱۰-۲۰ درجه سلسیوس و دور از نور مستقیم خورشید نگهداری شوند. انواع فریز-خشک نیز نایبستی در فریزر نگهداری شوند. مواد شیمیایی و سموم در سطح بذر ممکن است در هنگام مصرف کودهای زیستی باعث کاهش کارایی آنها شوند. اختلاط بذر و مایه تلقیح نباید با استفاده از وسایل اختلاط کننده و ظروفی که قبلا از آن برای علفکشها، قارچکشها، آفتکشها و همچنین مواد شیمیایی حاوی غلظت زیاد روی و جیوه یا کودهای شیمیایی حاوی مولیبدن، روی و منگنز استفاده شده صورت گیرد.

در ایران مسیولیت ارائه مجوز به کودهای زیستی تولیدی و وارداتی و پایش و کنترل کیفی آنها بر عهده دفتر ثبت و کنترل مواد کودی کشور در مؤسسه تحقیقات خاک و آب است.

### روشهای مصرف کودهای زیستی

کودهای زیستی به اشکال مایع، پودری، گرانول، ژلهای، چیپس مانند یا فریز-خشک، فرموله می‌شوند. بطور کلی، کودهای زیستی به صورت آغشته کردن بذر یا بذرمال کردن، غوطه ور کردن ریشه، نهال یا قلمه، تلقیح خاکی، مصرف در آب آبیاری (کودآبیاری) و یا برگ‌پاشی مصرف می‌شوند.

### مصرف کودهای زیستی به روش بذرمال

معمول‌ترین، مؤثرترین و اقتصادی‌ترین شیوه کاربرد کودهای زیستی، روش تلقیح بذر یا بذرمال کردن است. روش بذرمال برای انواع حبوبات، غلات، دانه‌های روغنی، گیاهان علوفه‌ای، گیاهان علفی و گیاهان زینتی کاربرد دارد. 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 ماده چسباننده مناسب آغشته شود. از مواد چسباننده مناسب می‌توان به صمغ عربی<sup>۳۲</sup>، صمغ سلولز (کربوکسیل-متیل سلولز)<sup>۳۳</sup>، سلوفاز A (متیل سلولز)، پلی وینیل پیرویدون (PVP)<sup>۳۴</sup>، روغن‌های گیاهی و محلول شکر اشاره کرد. عمل تلقیح در سطح یک تا دو هکتار را می‌توان به روش دستی و در پلاستیک‌های خیار یا سطل انجام داد. در صورتیکه سطح زیر کشت بیش از دو هکتار باشد می‌توان از کارنده‌ها استفاده کرد. در مایه‌تلقیح‌های با حامل پیت یا انواع فریز خشک، بهتر است به صورت آبکی و دوغاب درآیند. معمولا آب آشامیدنی و آب باران برای این منظور مناسب است.

### مصرف کودهای زیستی به روش غوطه‌ورسازی

در این روش، بذر، نشاء، قلمه یا نهال در درون کود زیستی، غوطه‌ور می‌شود. این روش برای کودهای با فرمولاسیون مایع، مناسب‌تر هستند و برای انواع پودری و جامد هم می‌بایستی به شکل سوسپانسیون درآیند. بهتر است نشاء، نهال یا قلمه مدت زمان بیشتری در درون مایه تلقیح نگهداری شوند تا فرصت بیشتری برای امکان استقرار ریزجانداران و موفقیت تلقیح فراهم شود.

### مصرف کودهای زیستی به روش کاربرد در خاک

مصرف خاکی کودهای زیستی در باغات و درختان میوه، لگوم‌های درختی و درختانی که برای تولید چوب کاشته می‌شوند، کاربردی‌تر است اما برای محصولات زراعی، مصرف خاکی کمتر معمول است زیرا مقادیر زیادی کود مورد نیاز است. در هر صورت برای مصارف در خاک، می‌توان کود زیستی را به نسبت چهار به صد در مخلوط با کودهای آلی مصرف نمود.

### مصرف کودهای زیستی به روش برگ‌پاشی

یکی دیگر از روش‌های مصرف کودهای زیستی، برگ‌پاشی و اسپری بر روی اندام هوایی گیاهان است. در انواعی از کودهای زیستی، ممکن است باکتری توسط سانتریفیوژ، خالص شده و در یک محلول غذایی یا سرم فیزیولوژیک، سوسپانسیون شده و

32 - Arabic gum

33 - Carboxymethyl cellulose (CMC)

34 - Polyvinylpyrrolidone

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

سپس بر روی گیاه اسپری شود. با اینحال عمده کودهای زیستی مورد استفاده برای برگ‌پاشی، فاقد سلول زنده ریزجانداران بوده و معمولاً حاوی عصاره‌ای از اسیدهای آمینه، هورمون‌ها، عناصر غذایی و سایر متابولیت‌های حاصل از فعالیت ریزجانداران می‌باشند. در شرایط مزرعه‌ای با توجه به سطح کانوپی، مقدار کود زیستی مصرفی متفاوت خواهد بود. 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 از فرصت کافی برای نفوذ به برگ وجود داشته باشد.

### مصرف کودهای زیستی به 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<sup>۳۵</sup> نامیده می‌شود. این روش می‌تواند در سیستم‌های آبیاری سطحی، قطره‌ای، بارانی و زیرزمینی استفاده شود. معمولاً 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 حتماً 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 برگ‌پاشی مصرف می‌شود کودآبیاری به روش بارانی مناسب‌تر و به هدف مورد نظر نزدیک‌تر خواهد بود. در درختان اگر کود زیستی در چال کود و یا کانال کود توصیه شده است کودآبیاری به روش قطره‌ای و یا زیرزمینی می‌تواند روش مناسبی باشد.

### توصیه کودهای زیستی در کشورهای مختلف

#### توصیه کودهای زیستی ریزوبیومی در استرالیا و کانادا

۹۲ درصد کودهای زیستی ریزوبیومی در استرالیا در حامل پیت، ۵ درصد گرانوله و ۳ درصد به صورت فریز-خشک عرضه می‌شوند. بسته‌های کود زیستی ریزوبیوم در استرالیا با توجه به نوع و اندازه بذر از ۲۵۰ تا ۲۵۰۰ گرم متغیر هستند. مقدار کود زیستی ریزوبیوم توصیه شده در استرالیا برای لگوم‌های با بذر ریز مانند یونجه و شبدر (با تعداد  $10^3$  سلول به ازای هر بذر) یک کیلوگرم و برای لگوم‌های با بذر متوسط همانند عدس، ماش، ماشک و خلر ۲۰۰ (با تعداد  $10^4$  سلول به ازای هر بذر) و برای انواع بذر درشت همانند باقلا، نخود، بادام زمینی و لوبیا، ۴۰۰ گرم کود زیستی (با تعداد  $10^5$  سلول به ازای هر بذر) حداکثر ۱۰۰ کیلوگرم بذر است.

در کانادا، کودهای زیستی ریزوبیومی برای انواع لگوم با بذر درشت، متوسط و ریز به ترتیب تعداد  $10^5$ ،  $10^4$  و  $10^3$  سلول باکتری ریزوبیوم به ازای هر بذر توصیه شده است.

#### توصیه کودهای زیستی در چین

توصیه کودهای زیستی در چین برای سبزیجات برگ‌ی مانند اسفناج، کرفس، کلم، سیب زمینی، زنجبیل و سیر  $3/75$  تا ۱۵ کیلوگرم و برای سبزیجات میوه‌ای همانند خیار، گوجه، بادمجان و خربزه  $7/5$  کیلوگرم در هکتار است. برای سبزیجات کودهای جامد در ردیف‌ها یا چاله‌های کشت و یا بصورت سرک مصرف می‌شوند. در درختان میوه با باردهی هر درخت ۵۰، ۵۰ تا ۱۰۰ و بیشتر از ۱۰۰ کیلوگرم به ترتیب ۱۰ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۵۰ گرم به ازای هر درخت مصرف می‌شود. برای برنج (قبل از انتقال نشا به زمین اصلی) نشاها در شکل به مدت ۱۵-۱۰ دقیقه در کود زیستی مایع غوطه‌ور شده و مجدداً  $1/5$  تا ۳

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

لیتر در هکتار در روی سطح خاک و آب شلتوک مصرف می‌شود. برای گندم بذرها به مدت یک شب در مایه تلقیح خیسانده شده و مجدداً ۱/۵ تا ۳ لیتر در هکتار بر روی سطح برگ‌ها توزیع می‌شود.

### توصیه کودهای زیستی در هندوستان

در هندوستان، نحوه مصرف کودهای زیستی ازتوباکتر و آزوسپیریلوم به شکل مایع و صورت تلقیح بذری است و مقادیر آنها به‌طور کلی ۵۰۰ میلی‌لیتر در هکتار توصیه شده است. با توجه به گیاه هدف، نوع ریزجاندار توصیه شده در کودهای زیستی در هندوستان در جدول ۷ ارائه شده است.

| جدول ۷- کودهای زیستی با توجه به گیاه هدف در هندوستان* |                                               |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| ریزجاندار                                             | گیاه هدف                                      |
| ازتوباکتر+آزوسپیریلوم                                 | گندم، جو، چاودار                              |
| آزوسپیریلوم                                           | برنج                                          |
| ازتوباکتر                                             | دانه‌های روغنی (خردل، کنجد، آفتابگردان، کرچک) |
| ازتوباکتر                                             | ارزن                                          |
| آزوسپیریلوم                                           | سورگوم و ذرت                                  |

### توصیه کودهای زیستی در کنیا و اتیوپی

مقدار و نحوه مصرف کودهای زیستی در کنیا برای کود زیستی ریزوبیوم به شکل گرانول، ۲۵۰ و به صورت پودری، ۷۵۰ گرم در هکتار توصیه شده است. تعداد سلول باکتری ریزوبیوم  $10^8$  و برای ازتوباکتر، آزوسپیریلوم و باکتری‌های حل‌کننده فسفات تعداد  $10^7$  در گرم یا میلی‌لیتر مایه تلقیح به عنوان استاندارد تعیین شده است. در اتیوپی، کود زیستی ریزوبیوم به‌طور کلی به مقدار ۵۰۰ گرم توصیه شده است. این توصیه به ازاء بذر و سطح زمین برای محصولات مختلف در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸- مقدار توصیه کود زیستی ریزوبیوم برای محصولات مختلف در اتیوپی

| نوع محصول و مقدار مصرف |             |             |             |             |             | مقدار کود   |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                        |             |             |             |             |             | زیستی (گرم) |
| باقلا                  |             | سویا        |             | عدس         |             |             |
| به ازای بذر            | به ازای سطح | به ازای بذر | به ازای سطح | به ازای بذر | به ازای سطح |             |
| (کیلوگرم)              | (هکتار)     | (کیلوگرم)   | (هکتار)     | (کیلوگرم)   | (هکتار)     |             |
| ۷۲                     | ۰/۵         | ۸۰          | ۱           | ۸۴          | ۱           | ۵۰۰         |

### توصیه کودهای زیستی محرک رشد گیاه در ایران

از کودهای زیستی محرک رشد گیاه تحت لیسانس مؤسسه تحقیقات خاک و آب می‌توان به کود زیستی فلاویت اشاره کرد که باعث افزایش متوسط ۱۵ درصدی عملکرد گندم در آزمایش‌های مرحله پژوهشی در ۲۵ استان کشور شد. فلاویت حاوی باکتری‌های محرک رشد از جنس *Microbacterium Sp* با جمعیت  $10^7$  (CFU.gr<sup>-1</sup>) است که به روش بذر مال و به مقدار یک لیتر و به ازای هر ۱۰۰ کیلوگرم بذر، مصرف می‌شود. در جدول ۹ مقدار و طریقه مصرف سایر انواع کودهای زیستی محرک رشد گیاه تولیدی در ایران ارائه شده است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

**جدول ۹- مقدار مصرف و نوع باکتری‌های محرک رشد گیاه برای انواع کود زیستی تجاری در ایران**

| ردیف | نام تجاری      | محصول هدف                 | نوع باکتری                         | جمعیت                                          | مقدار مصرف                              | نحوه مصرف                                                                             |
|------|----------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱.   | نیتروکارا      | غلات، حبوبات، سبزی و صیفی | آزوریزوبیوم                        | ۱۰ <sup>۷</sup> سلول در گرم                    | ۱۰۰-۱۰ گرم برای گرم بذر                 | بذر مال                                                                               |
| ۲.   | نیتروکارا      | درختان میوه               | آزوریزوبیوم                        | ۱۰ <sup>۷</sup> سلول در گرم                    | ۲-۴ گرم برای هر درخت                    | اطراف ریشه                                                                            |
| ۳.   | نیتراژین       | گندم و جو                 | ازتوباکتر + آروسپیریوم             | ۱۰ <sup>۸</sup> سلول در میلی‌لیتر              | ۲-۴ لیتر                                | بذر مال                                                                               |
| ۴.   | بیوفارم        | گندم و جو                 | ازتوباکتر + آروسپیریوم + سودوموناس | ۱۰ <sup>۸</sup> سلول در میلی‌لیتر              | ۱-۲ لیتر در ۱۰۰ کیلوگرم بذر             | بذر مال                                                                               |
| ۵.   | سوپر نیتروپلاس | غلات، حبوبات، سبزی و صیفی | آروسپیریوم + سودوموناس + باسیلوس   | ۱۰ <sup>۸</sup> سلول در میلی‌لیتر              | ۲-۴ لیتر در هکتار                       | بذر مال                                                                               |
| ۶.   | کارا           | غلات، حبوبات، سبزی و صیفی | ازتوباکتر + آروسپیریوم             | ۱۰ <sup>۱۰</sup> سلول در گرم                   | ۳۰۰ گرم برای هر ۳۰۰ گرم بذر             | بذر مال                                                                               |
| ۷.   | نیتروکسین      | غلات، سبزی و صیفی         | ازتوباکتر + آروسپیریوم             | ۱۰ <sup>۷</sup> سلول در میلی‌لیتر              | ۲-۴ لیتر برای مقدار بذر توصیه شده       | بذر مال                                                                               |
| ۸.   | رشد افزا       | محصولات مختلف             | آروسپیریوم + سودوموناس + باسیلوس   | ۱۰ <sup>۷</sup> سلول در میلی‌لیتر              | ۲ لیتر برای هر هکتار                    | محلول پاشی                                                                            |
| ۹.   | سولفو بارور ۱  | گیاهان زراعی و باغی       | تیوباسیلوس                         | ۱۰ <sup>۷</sup> تا ۱۰ <sup>۸</sup> سلول در گرم | هر ۵۰ کیلوگرم گوگرد یک بسته یک کیلوگرمی | در مزرعه بصورت سطحی و یا نواری در باغات ۰/۵ الی ۱ کیلوگرم برای هر درخت به صورت چالکود |

### توصیه کودهای زیستی ریزوبیومی در ایران

بطور کلی مقدار کود زیستی ریزوبیوم برای لگوم‌های مختلف در ایران دو کیلوگرم در هکتار توصیه شده است. ضرورت تلقیح ریزوبیوم به لگوم معمولاً در مواردی است که سابقه کشت لگوم مورد نظر در منطقه وجود نداشته و یا اینکه در طی چهار سال گذشته آن لگوم در مزرعه کشت نشده باشد. همچنین کشت یک لگوم جدید، سبب نیاز به تلقیح با ریزوبیوم همزیست می‌شود. علاوه بر این در مواقعی که یک سویه جدید و مؤثر از ریزوبیوم مد نظر است تلقیح با سویه جدید انجام می‌شود. شرایط اسیدی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

یا قلیایی بودن خاک و شرایط خشکی، گرما و شوری هم شرایط را برای بقای ریزوبیوم محدود می کند که سبب ضروری شدن تلقیح می شود.

### توصیه کودهای زیستی حاوی قارچ های میکوریزی در ایران

در ایران یک نوع کود زیستی میکوریزی به نام میکوروت تحت لیسانس مؤسسه تحقیقات خاک و آب در مقیاس صنعتی تولید و برای محصولات مختلف توصیه شده است. متوسط جمعیت در این محصول حداقل ۳۰۰ واحد اندام فعال از گونه های مختلف قارچ میکوریز و زیکولار-آربوسکولار (VAMF) ویژه محصولات زراعی و ۱۰۰ واحد اندام فعال ویژه محصولات باغی است. سویه های قارچ میکوریز در این محصول شامل *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices* و *Glomus etunicatum* با جمعیت  $10^8 - 10^7$  (CFU.gr<sup>-1</sup>) است. مایه تلقیح قارچ های میکوریزی در زراعت به صورت بذرمال و برای باغات احداث شده در دو طرف هر درخت و به صورت چالکود مصرف می شود. بهترین زمان کاربرد مایه تلقیح قارچ های میکوریزی برای احداث باغ های جدید در زمان کاشت نهال و در ناحیه کف حفره در نظر گرفته شده است. در خزانه، برای تکثیر از طریق بذر، قلمه و نهال با بستر خزانه مخلوط و مورد استفاده قرار می گیرد. برای احیاء و جوان سازی باغات فرسوده، مایه تلقیح قارچ های میکوریزی به صورت ژلاتینی یا پودری با کمک نازل های ویژه ای و با استفاده از فشار هوا در عمق ۶۰ الی ۱۰۰ سانتی متری خاک و در مجاورت سیستم ریشه ای گیاه تزریق می کنند.

### چشم انداز کودهای زیستی در جهان و ایران

#### تثبیت همزیستی نیتروژن در غلات؛ تحولی عظیم در عرصه کشاورزی

دانشمندان سال هاست به دنبال امکان برقراری رابطه همزیستی بین تثبیت کنندگان نیتروژن و غلات همانند لگومها بوده اند. به واقعیت پیوستن این مسئله می تواند به عنوان یک تحول در کشاورزی محسوب شود. در این رابطه رایج و همکاران (۱۹۹۲) با استفاده از 2,4,D و تلقیح باکتری های مختلف توانستند ساختمان های گرهمانندی در گندم ایجاد نمایند. عبدالهادی و همکاران (۲۰۱۳) نیز با استفاده از ازتوباکتر کروکوکوم و یک سری از ترکیبات شیمیایی توانستند شبه گره هایی در گندم ایجاد نمایند. در هفته نامه شماره ۳۳۳ انجمن پیشرفت علوم آمریکا در مقاله ای با عنوان چشم انداز آینده برای غلاتی که نیتروژن تثبیت می کنند به این موضوع تاکید شده و انتقال ژن تثبیت نیتروژن به غلات را پیشنهاد داده است. مشاهده موارد طبیعی از ریزوبیوم هایی که قادرند با گیاه غیرلگوم پارسپونیا رابطه همزیستی برقرار کنند همچنین رابطه همیاری اختصاصی تثبیت نیتروژن بین ازتوباکتر پاسپالی با گیاه پاسپالوم نوتاتوم و ارتباط همزیستی بین اکتینومیسیت فرانکیا و درخت توسکا، امیدها در مورد امکان ایجاد رابطه همزیستی بین تثبیت کنندگان نیتروژن و غلات را بیشتر می کند.

#### انتقال ژن مولد آنزیم ACCدآمیناز به گیاهان و اهمیت آن در ایران

تولید گیاهان ترانسژنیک با ژن ACCدآمیناز که مولد آنزیم مقابله کننده با تنش است نیز از موضوعات امیدبخش است. ژن مولد آنزیم ACCدآمیناز که در برخی باکتری های خاک وجود دارد باعث کاهش اثرات تنشی در گیاهان شده است. یک نمونه موفق در مورد گیاهان تراریخته با ژن مولد آنزیم ACCدآمیناز مربوط به کلزا است که در شرایط تنش شوری تحمل بیشتری نسبت به کلزای غیر تراریخته در شرایط شور داشته است. ایران در مناطق خشک و نیمه خشک جهان واقع شده و همچنین چند سال متوالی است که ایران با پدیده خشکسالی و کمبود نزولات جوی نیز مواجه شده و افزایش دمای هوا نیز مشکلات را مضاعف نموده است. خشکسالی در حوزه کشاورزی بیشترین تاثیر را دارد زیرا بیش از ۹۰ درصد آب مصرفی در ایران در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار می گیرد. از طرف دیگر در زمین های زیر کشت دیم بارندگی سالیانه برای رشد بهینه محصول کفایت نمی کند. لذا در بیشتر موارد، گیاه با تنش خشکی روبرو است. بنابراین، تنش خشکی یکی از عوامل مهم کاهش رشد گیاهان در ایران می باشد. از مجموع ۱۸ میلیون هکتار اراضی قابل کشت ایران حدود ۶/۸ میلیون هکتار مبتلا به درجات مختلف شوری هستند.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بنابراین محدودیت شوری در منابع خاک و آب از جمله شرایط تنشی مهم در ایران محسوب می‌شود. با توجه به مسائل یاد شده هر گونه فناوری از جمله تولید گیاهان ترانسژنیک حاوی ژن ACCدآمیناز که گیاه را در برابر شرایط تنشی مقاوم‌تر نماید دارای ارزش راهبردی در کشاورزی ایران است.

### دورنمای کودهای زیستی در ایران

فرهنگ مصرف محصولات ارگانیک در بین مردم به تدریج در حال افزایش بوده و لذا تولید محصولات کشاورزی سالم در بین کشاورزان اهمیت بیشتری پیدا کرده است. در اسناد ملی و بالادستی نیز موضوع تغذیه سالم و مسایل زیست محیطی انعکاس مناسبی داشته است. همچنین توجه به حفاظت از محیط زیست و منابع خاک و آب در وسایل ارتباط جمعی و شبکه‌های اجتماعی بیشتر شده است. دانش‌های فنی تولید کودهای زیستی که دارای دارای پشتوانه علمی مناسبی هستند از طرف مراکز پژوهشی ارائه شده است. در چند سال اخیر، بخش خصوصی در حوزه تولید کودهای زیستی فعالیت‌های خوبی از خود نشان داده و زیرساخت‌های مناسبی برای تولید تجاری فراهم شده است. مجموع مسایل مذکور چشم‌انداز تولید و مصرف کودهای زیستی را در ایران روشن‌تر و امیدوارکننده‌تر کرده است.

### مهمترین نقاط ضعف و چالش‌های پژوهش، تولید، ترویج و مصرف کودهای زیستی در ایران

۱. هتروتروف بودن اکثر باکتری‌های بکار رفته در کودهای زیستی و کم بودن ماده آلی در غالب خاک‌ها
۲. نامشخص بودن مؤثرترین و دقیق‌ترین تعداد و جمعیت ریزجاندار مورد نظر برای کلنیزه کردن یک گیاه خاص.
۳. عدم آگاهی کافی از وضعیت رقابت ریزجانداران بومی خاک و انواع موجود در کود زیستی
۴. عدم استفاده از یک سویه یکسان از ریزجانداران در پژوهش‌های مختلف و جمع ناپذیر بودن نتایج آنها
۵. وجود گزارش‌های متفاوت پژوهشی و تضاد بین نتایج آزمایشگاهی، گلخانه‌ای و مزرعه‌ای و تکرارپذیری ضعیف نتایج
۶. عدم توجه کافی به ساز و کارهای مختلف تاثیر ریزجانداران بر رشد گیاه
۷. آشنایی کم کشاورزان با کودهای زیستی
۸. عدم اجرا و نمایش مزارع تحقیقی-ترویجی
۹. وجود راهبردهای متفاوت در مدیریت زراعی در مزارع مختلف
۱۰. تنوع در ارقام گیاهی، خاک‌ها و آب و هوا
۱۱. عدم ارتباط کافی و تعریف شده بین بخش پژوهش، تولید و ترویج
۱۲. قیمت کم کودهای شیمیایی و هدفمند نبودن یارانه کود
۱۳. عدم قطعیت برای تضمین اثربخشی یک نوع کود زیستی در همه مناطق
۱۴. وجود مشکلات در تجاری‌سازی همچون نیاز به تخصص و تجهیزات خاص، ماندگاری ریزجاندار، آلودگی کود زیستی تولیدی و کنترل کیفی و دریافت مجوزها
۱۵. عدم برخورداری برخی از مایه تلقیح‌های تولیدی داخل از دانش فنی و پشتوانه علمی-پژوهشی کافی

### پیشنهادها برای توسعه پژوهش، تولید و مصرف کودهای زیستی در ایران

۱. برنامه‌ریزی و تلاش برای افزایش کربن آلی خاک‌ها و یا مصرف کودهای زیستی به همراه مواد آلی
۲. انجام پژوهش‌های بنیادی در رابطه با رقابت ریزجانداران موجود در کود زیستی و انواع بومی خاک و میزان کلنیزاسیون ریشه گیاه مورد نظر
۳. انجام پژوهش در زمینه بیوتکنولوژی میکروارگانیسم‌ها به منظور افزایش کارایی کودهای زیستی
۴. ایجاد مرکز مطالعات کودهای زیستی برای متمرکز نمودن پژوهش‌های مرتبط و شناسنامه‌دار نمودن ریزجانداران مفید و برتر بومی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

۵. ترویج از طریق اجرای مزارع تحقیقی- ترویجی در مورد اثربخشی و تاکید بیشتر رسانه‌های ارتباط جمعی بر مزایای مصرف کودهای زیستی
۶. اختصاص یارانه به تولید کودهای زیستی و معافیت مالیاتی تولیدکنندگان کودهای زیستی
۷. ایجاد سیستم ارزش‌گذاری محصولات کشاورزی بر اساس کیفیت محصول و اولویت خرید تضمینی با محصولات ارگانیک و سالم

### منابع مورد استفاده

۱. بی‌نام ۱. ۱۳۹۶. استاندارد ملی کودهای بیولوژیک حاوی باکتری‌های تیوباسیلوس-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۶، سازمان ملی استاندارد ایران.
۲. بی‌نام ۲. ۱۳۹۶. استاندارد ملی کودهای بیولوژیک حاوی باکتری‌های ریزوبیوم-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۲، سازمان ملی استاندارد ایران.
۳. بی‌نام ۳. ۱۳۹۶. استاندارد ملی کودهای بیولوژیک حاوی ریزوباکتری‌های افزاینده رشد گیاه-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۵، سازمان ملی استاندارد ایران.
۴. بی‌نام ۴. ۱۳۹۶. استاندارد ملی کودهای بیولوژیک مایه تلقیح‌های حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۱، سازمان ملی استاندارد ایران.
۵. بی‌نام ۵. ۱۳۹۶. استاندارد ملی کودهای بیولوژیک مایه تلقیح‌های حاوی قارچ‌های میکوریز آربسکولار-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ملی شماره ۲۲۳۰۴، سازمان ملی استاندارد ایران.
۶. خسروی ه. ۱۳۹۲. کودهای زیستی افزاینده رشد گیاه در ایران: نقاط قوت و ضعف. نشریه مدیریت اراضی، (۱): ۳۳-۴۶.
۷. خسروی ه. ۱۳۹۲. بررسی اثر بخشی مایه تلقیح ازتوباکتر بر رشد و عملکرد گندم در مناطق مختلف ایران. مؤسسه تحقیقات خاک و آب. نشریه شماره ۱۷۹۳.
۸. رجالی ف. ۱۳۹۶. آشنایی با قارچ‌های میکوریزی و کاربرد آنها در اکوسیستم‌های مختلف. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی. ۱۵۴ صفحه.
۹. قربانی نصرآباد ق. ۱۳۹۴. کودآبیاری. نشریه ترویجی شماره ۲۰۴، مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی.
10. Bashan, Y., 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnology advances*, 16(4), pp.729-770.
11. Bashan, Y., de-Bashan, L.E., Prabhu, S.R. and Hernandez, J.P., 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and soil*, 378(1), pp.1-33.
12. Cirera, X. and Masset, E., 2010. Income distribution trends and future food demand. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), pp.2821-2834.
13. 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.
14. Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA),. 2006. Biofertilizer Manual. FNCA Biofertilizer Project Group, 124 pages.
15. García-Fraile, P., Menéndez, E. and Rivas, R., 2015. Role of bacterial biofertilizers in agriculture and forestry. *AIMS Bioeng*, 2(3), pp.183-205.
16. 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.
17. 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.

18. Thomas, L. and Singh, I., 2019. Microbial biofertilizers: types and applications. In Biofertilizers for Sustainable Agriculture and Environment (pp. 1-19). Springer, Cham.
19. USDA. 2015. Legume Seed Inoculation Plant Materials. Natural resource Conservation Service Technical Note, No: TX-PM-15.
20. Westhoek, A., Field, E., Rehling, F., Mulley, G., Webb, I., Poole, P.S. and Turnbull, L.A., 2017. Policing the legume-Rhizobium symbiosis: a critical test of partner choice. Sci Rep 7: 1419.

### تأثیر بیوجار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، ترسیب کربن و تغییرات نیتروژن در فرایند کمپوست‌شدن

کمال خلخال<sup>۱</sup>، عادل ریحانی تبار<sup>۲</sup>، شاهین اوستان<sup>۳</sup> و ناصر علی‌اصغرزاد<sup>۴</sup>

۱\* دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز ۲ دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز ۳ استادان گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

#### چکیده

از جمله 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 بیوجار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ( $\text{CO}_2$ ،  $\text{CH}_4$  و  $\text{N}_2\text{O}$ )، ترسیب کربن و تغییرات نیتروژن است و در ایران تاکنون گزارش منتشر شده‌ای در این زمینه وجود ندارد. تأمین و توزیع اکسیژن ناشی از تخلخل و سطح ویژه بالای بیوجار از طرفی باعث محدود کردن فعالیت‌های متانوژن و بهبود فعالیت‌های متیلوتروف و در نتیجه جذب و احتباس  $\text{CH}_4$  می‌شود. از طرف دیگر این اکسایش مجدد در کنار جذب آمونیوم روی سطوح بیوجار باعث کاهش فرایند دنیتریفیکاسیون و کاهش هدررفت  $\text{NO}_3^-$ ،  $\text{NH}_3$  و  $\text{N}_2\text{O}$  می‌شود. همچنین pH بالای بیوجار باکتری‌های دنیتریفیکاتور موجود در کمپوست را محدود می‌کند. بنابراین بیوجار 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: بیوجار، 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 ( $\text{CO}_2\text{-e}$ ) 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  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CH}_4$ ،  $\text{N}_2\text{O}$  و  $\text{CO}$  می‌باشند. در میان این مشکلات هدررفت C و N را می‌توان از مهمترین معایب فرایند کمپوست‌سازی یا کمپوستینگ<sup>۳۶</sup> نامید. شکل اصلی نیتروژن منتشر شده در فرایند کمپوست‌شدن، آمونیاک است و میزان آن از انتشار  $\text{N}_2\text{O}$  بیشتر است. از طرف دیگر انتشار  $\text{CH}_4$  و  $\text{N}_2\text{O}$  توجهات را به خود جلب کرده است زیرا پتانسیل گرمایش جهانی آنها به ترتیب ۲۵ و ۲۹۸ برابر بیشتر از  $\text{CO}_2$  در افق زمانی ۱۰۰ ساله است (IPCC. 2014). غلظت کم نیتروژن که معلول انتشار گازهای گلخانه‌ای است ارزش زراعی کمپوست حاصله را کاهش می‌دهد. اخیراً در کشورهای پیشرفته از یک سری مواد افزودنی به‌ویژه بیوجار برای ترسیب کربن و حذف یا کاهش انتشار گازهای یاد شده در فرایند معروف به "کمپوست مشترک یا هم‌نوا"<sup>۳۷</sup> استفاده شده است. بیوجار 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 بیوجار 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 بیوجار بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، ترسیب کربن و تغییرات نیتروژن در فرایند تهیه کمپوست هم‌نوا می‌باشد.

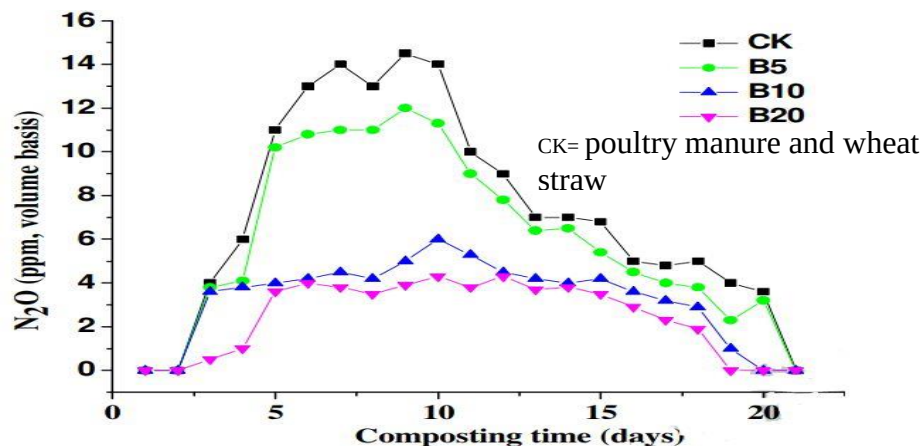
#### مواد و روش‌ها

اطلاعات این مقاله از منابع گوناگون، شامل سایت انجمن بین‌المللی بیوجار (IBI)، مقالات متعدد مروری و تحقیقاتی، پایگاه ایران‌داک (گنج) و سیلوپیکا با جستجوی اصطلاحات بیوجار، کمپوست‌شدن، کمپوست مشترک، گازهای گلخانه‌ای، ترسیب کربن و تغییرات نیتروژن تا تاریخ ۱۴۰۰/۴/۲۹ جمع‌آوری گردید.

#### نتایج و بحث



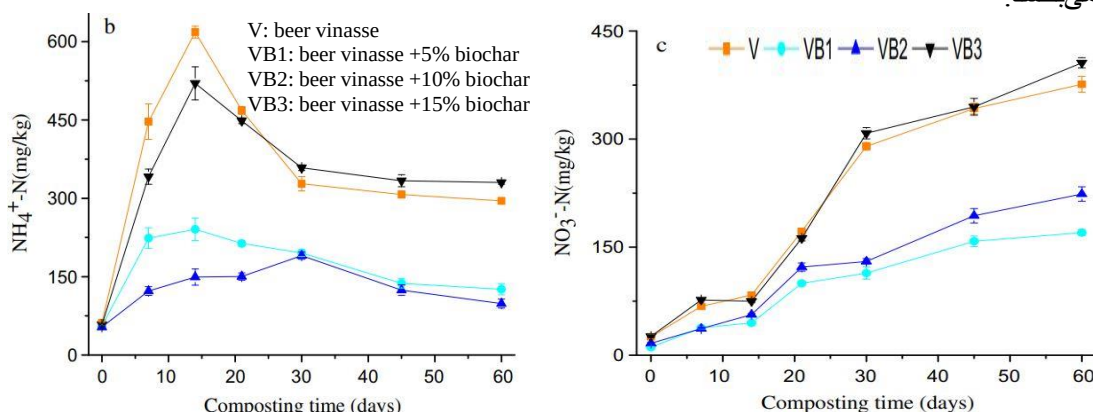
## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۲. تصاعد N<sub>2</sub>O در طول کمپوست شدن (Liu et al. 2017)

### ۳-۱. $\text{NH}_4^+$ و $\text{NO}_3^-$

از نسبت  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  به عنوان شاخص نیتروژنیفیکاسیون می‌توان برای انعکاس بلوغ و پایداری کمپوست استفاده کرد. برنال و همکاران (۲۰۰۹) مقادیر استاندارد  $\text{N-NH}_4^+$  را کمتر از ۴۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و نسبت  $\text{NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$  را کمتر از ۰/۱۶ گزارش کرده‌اند. بیوجار می‌تواند با تأثیر بر نیتروژنیفیکاسیون و دنیتروژنیفیکاسیون (روابط ۲ و ۴) روی گونه‌بندی N در کمپوست نهایی تأثیر گذارد و درصد بالایی از N در شکل  $\text{NO}_3^-$  نسبت به  $\text{NH}_4^+$  در کمپوست هم‌نوی بیوجار وجود دارد (Wang et al. 2017; Liu et al. 2017). به عبارتی دیگر در طول کمپوست شدن نیترات روند افزایشی و آمونیوم روند کاهشی دارد. ژانگ و همکاران (۲۰۱۶) در کمپوست کود خوک اصلاح شده با بیوجار، افزایش معناداری در غلظت  $\text{NO}_3^-$  در مرحله اولیه کمپوست تا دو هفته اولیه مشاهده نکردند اما پس از آن،  $\text{NO}_3^-$  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 بیوجار 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 بیوجار متصل شده‌اند، بار منفی داشته و می‌توانند  $\text{NH}_4^+$  را با جذب الکترواستاتیک جذب سطحی کنند (Nguyen et al. 2017). نیترات ( $\text{NO}_3^-$ ) که شکل ناپایدار نیتروژن است، از طریق جذب الکترواستاتیک نمی‌تواند بر روی سطح بیوجار جذب سطحی شود؛ زیرا سطح بیوجار 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 بیوجار تسهیل کند (Nguyen et al. 2017). بنابراین، بیوجار می‌تواند یک استراتژی قابل استفاده برای کمپوست انواع پسماندهای غنی از نیتروژن باشد و ارزش زراعی کمپوست را بهبود می‌بخشد.



شکل ۳. تغییرات  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{NH}_4^+$  در طول کمپوست شدن (Wang et al. 2017; Liu et al. 2017)

### ۲. تأثیر کمپوست مشترک بیوجار در ترسیب کربن

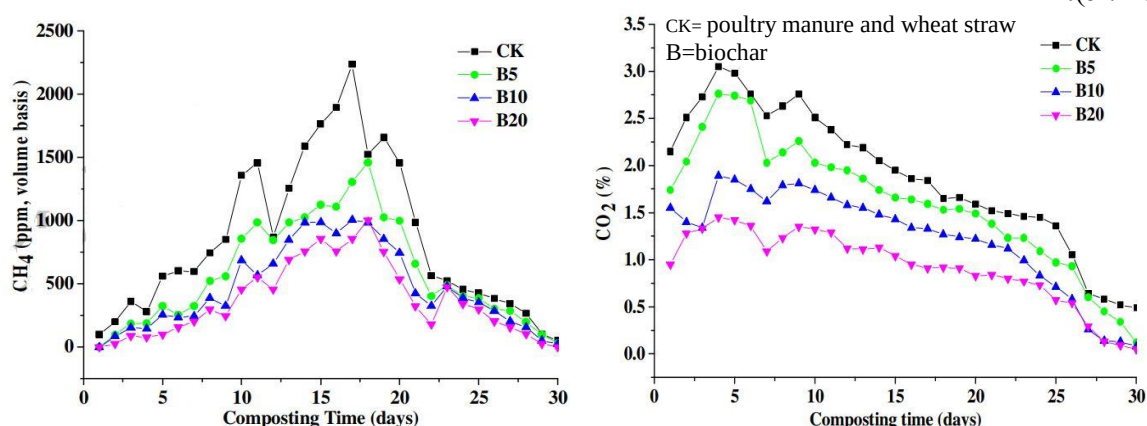
واژه ترسیب کربن از دو دیدگاه حائز اهمیت است: ۱) جلوگیری از تصاعد کربن ایجاد شده ( $\text{CH}_4$  و  $\text{CO}_2$ ) در نتیجه فعالیت‌های انسانی به اتمسفر به وسیله به دام انداختن آن در یک ذخیره مطمئن و ۲) حذف کربن از اتمسفر به وسیله روش‌های متفاوت و ذخیره کردن آن (Al-Kaisi, 2001). انتشار جهانی کربن از 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 بیوجار این ماده جامد غنی از کربن با داشتن ساختار متخلخل،

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

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.

### ۱-۲ CH<sub>4</sub>

در روند هوازی کمپوست‌سازی، گاز متان تولید نمی‌شود، زیرا میکروب‌های تولید کننده متان در حضور اکسیژن فعال نیستند. با این حال، CH<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> 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<sub>4</sub> 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 میتلوتروف فعال می‌شوند (Sonoki et al. 2013). در مرحله دوم، بیوچار باعث جذب و احتباس CH<sub>4</sub> می‌شود. در آخر، pH بالای موجود در بیوچار فعالیت متانوژن‌هایی را که ترجیح می‌دهند pH تقریباً 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-گارسا 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<sub>2</sub> و CH<sub>4</sub> در طول کمپوست‌شدن (Liu et al. 2017)

### ۲-۲ CO<sub>2</sub>

انتشار CO<sub>2</sub> بیوژنیک در طول کمپوست شدن ناشی از تجزیه ماده آلی هوازی توسط ریزجانداران می‌باشد (سانچز-گارسا و همکاران ۲۰۱۵). CO<sub>2</sub> فراوانترین گاز ساطع شده هنگام کمپوست شدن است. انتشار CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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.

### نتیجه‌گیری

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 هم‌نوا 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 هم‌نوا 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, Iowa, USA. PM1871.

Barrington, S., Choinière, D., Triguí, 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., Mastrodonato, 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<sup>\*1</sup>, Adel Reyhanitabar<sup>2</sup>, Shahin Oustan<sup>3</sup> and Naser Aliasgharzad<sup>4</sup>

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<sup>38</sup>

**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<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O), 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<sub>4</sub>. On the other hand, this reoxidation along with ammonium adsorption on biochar surfaces reduces the denitrification process and reduces the loss of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O. 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

برنامه نشست تخصصی "علوم و فنون نوین در مدیریت خاک و آب"

در هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش مدیریت آب در مزرعه

## همبست آب- خاک- غذا- انرژی

فاطمه رزاقی<sup>۳۹</sup>

دانشیار بخش مهندسی آب و پژوهشگر مرکز مطالعات خشکسالی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

جمعیت رو به رشد جهان و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که جمعیت تا سال ۲۰۳۰ میلادی از ۸/۵ میلیارد نفر خواهد گذشت و این رقم در سال ۲۰۵۰ به ۹/۷ میلیارد نفر خواهد رسید (UNESA, 2015) و انتظار می‌رود که ۷۰ درصد تقاضا برای غذا و ۴۰ درصد تقاضای انرژی افزایش یابد (Hoff, 2011). علاوه بر این، تا سال ۲۰۳۰، جهان باید با کمبود

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

۴۰ درصدی آب مواجه شود. بنابراین، اقتصاد فعلی نمی‌تواند در آینده از منابع محدود آب، غذا و انرژی استفاده و حیات بشر را تضمین نماید. بی‌شک کمبود آب و مواد غذایی و ناامنی‌های انرژی مانع ثبات اجتماعی و رشد اقتصادی خواهد شد.

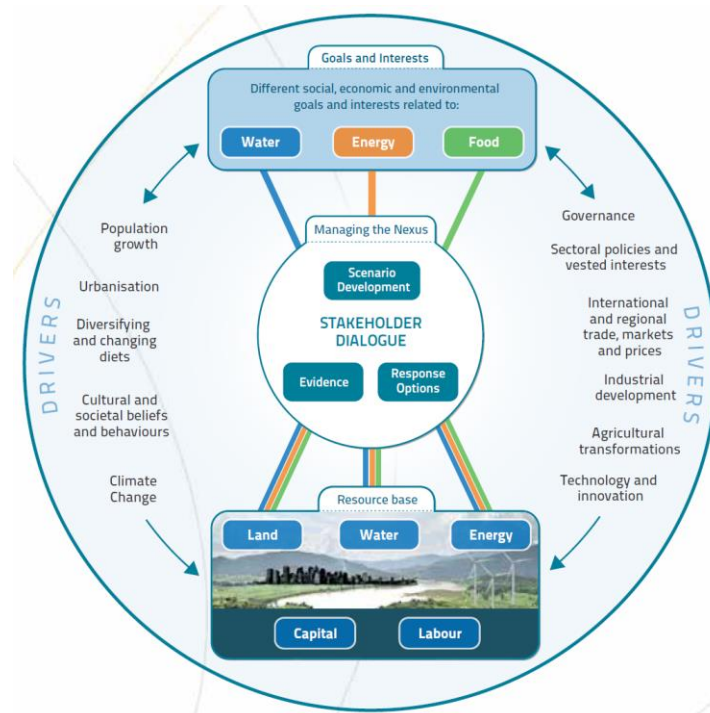
آب همچنین جز برای شرب و تولیدات کشاورزی، در طول کل زنجیره تأمین محصولات کشاورزی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و از آن برای تولید یا انتقال انرژی به اشکال مختلف نیز استفاده می‌شود (FAO, 2011). همچنین پیش‌بینی می‌شود کل برداشت جهانی آب برای آبیاری تا سال ۲۰۵۰ نیز به ۱۰ درصد افزایش یابد (FAO, 2011). از اینرو، ایجاد تعادل و توازن بین بهره‌برداری از کلیه منابع و میزان تولید محصولات کشاورزی امری ضروری است.

از سوی دیگر خاک، محیط رشدی مناسب برای گیاه و بستر کلیه فرایندهای بیوژئوشیمیایی و بیوژئوفیزیکی است. ساختمان منحصر به فرد خاک، پایه و اساس هر سیستم پیوندی غذا - آب - انرژی را تشکیل می‌دهد. این زیستگاه برای میلیاردها تنوع گیاهی مختلف است و اساس بسیاری از خدمات اکوسیستم ضروری برای رفاه انسان و حفظ طبیعت به شمار می‌رود. خاک منبع اصلی تأمین کننده دیگر منابع طبیعی نظیر آب، غذا، آب و انرژی است. ساختار خاک همچنین از خدمات متعدد اکوسیستم از جمله تغییر و در دسترس بودن مواد مغذی، کیفیت و تجدیدپذیری آب، تغییر رنگ و انتقال آلاینده‌ها و نوسانات سطح آبهای زیرزمینی پشتیبانی می‌کند (Lal et al., 2017). در واقع، خاک یک مخزن غنی برای آب و کربن به شمار می‌رود.

به طور کلی منابع آب، خاک، غذا و انرژی به شدت به یکدیگر متصل بوده و با نگرش جدیدی از پایداری، تلاش می‌کند تا با درک بهتر از پتانسیل‌ها، تعادل میان اهداف مختلف، منافع و نیازهای مردم و محیط‌زیست را برقرار نماید. (شریفی مقدم و صادقی، ۱۳۹۷)

بر همین اساس رویکرد همبست به عنوان یک روش برنامه‌ریزی ساختارمند مطرح می‌باشد که هدف آن جذب وابستگی متقابل استفاده از منابع و در دسترس بودن همه منابع اصلی است. رویکرد همبست می‌تواند منجر به تخصیص بهینه منابع، بهبود کارایی اقتصادی، کاهش آثار منفی زیست‌محیطی و بهداشتی و شرایط توسعه اقتصادی بهتر شود. به طور خلاصه، چشم انداز همبست با درک چالش‌ها و یافتن فرصت‌ها بر وابستگی متقابل آب، خاک، غذا و انرژی متمرکز است و تلاش می‌کند زندگی بهتری را برای بشر در چارچوب حفظ محیط زیست بنا نهد (Leck et al., 2015).

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۱- رویکرد FAO به نکسوس آب-انرژی-غذا

### لزوم همبست آب، خاک، غذا و انرژی

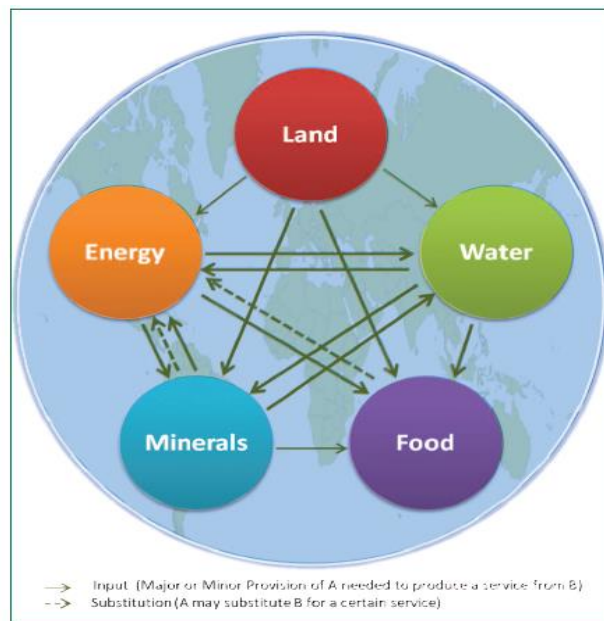
با این نرخ افزایش جمعیت، نیاز بشر برای حفظ حیات یک چالش اساسی است که باید با تولید غذای بیشتر به مقابله با آن پرداخت، اما با رشد شهرنشینی نیروی کار روستایی کمتری در اختیار خواهد بود و علاوه بر این، مواد اولیه بیشتری نیز مورد نیاز است. از سوی دیگر روش‌هایی جهت تولید کارآمدتر و پایدارتر، و سیاست‌ها و اقداماتی برای کاهش مصرف آب نیز باید در نظر گرفته شود. از اینرو تغییرات باید به گونه‌ای انجام شود که ظرفیت بخش‌های کشاورزی، محصولات زراعی، دام، شیلات و جنگل‌داری را برای برآوردن نیازهای غذایی جهان به مخاطره نیندازد. پیش‌بینی‌های سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) نشان می‌دهد که برای تغذیه جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰، تولید سالانه محصولات زراعی و دامی در جهان باید ۶۰ درصد افزایش یابد (FAO, 2015). و همچنین باید نسبت به شهرنشینی سریع در دهه‌های آینده، و افزایش جمعیت در مناطقی که با بیشترین آمار سوء تغذیه و تغییرات آب و هوایی مواجه هستند، مقابله شود.

از سوی دیگر با توجه به کاهش منابع آب شیرین در دسترس و افزایش نیاز آبی در منابع مختلف از جمله کشاورزی، رقابت شدید بر سر آب مورد استفاده برای تولید انرژی و آب مورد استفاده برای تولید غذا در مناطق کم آب جهان، شکل گرفته که نمونه کلیدی ارتباط آب و انرژی و غذا است. به عنوان مثال، جوامع باید بین استفاده از زمین، برای تولید غذا یا تولید انرژی تجدیدپذیر و بین استفاده از آب شیرین برای تولید انرژی یا آبیاری محصولات یکی را انتخاب کنند. اجزای پیوند در سیستم‌های کشاورزی آبی با هم آمیخته شده‌اند و توسعه پایدار سیستم مستلزم مدیریت موثر و هماهنگ است (Murzakulova, 2020). در اینجا، ما همبست آب، خاک، غذا و انرژی را به عنوان رویکردی درک می‌کنیم که به موجب آن می‌توان با ادغام مدیریت و حاکمیت در بخش‌ها، امنیت آب، خاک، انرژی و غذا را بهبود بخشید (Schull et al., 2020).

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بهبود عملکرد سیستم‌های تولید محصولات زراعی بر این محور استوار است که ما درک کافی از توانایی و عملکرد کلیه منابع در اختیارمان داشته باشیم؛ و با در نظر گرفتن تأثیرات متقابل این منابع بر روی یکدیگر و به طور کلی لازم است در بخش‌های مختلف آب، خاک، غذا و انرژی، سیاست‌های مدیریتی جهت کاهش تأثیر منفی بر روی منابع در حال و آینده به مرحله اجرا در آید. از این‌رو مفهوم همبست آب، خاک، انرژی و مواد غذایی برای مقابله با کاهش روزافزون منابع و ناپایداری محیط زیست و حفظ امنیت بشر و تامین نیازهای آن پدید آمده است.

ناگفته نماند که تمرکز بر روی یکی از بخش‌های ارتباط آب، خاک، انرژی و مواد غذایی بدون در نظر گرفتن روابط بین آن‌ها خطرات جدی و عواقب ناخواسته را به دنبال خواهد داشت. ارتباط آب، خاک، غذا و انرژی و استفاده موثر از منابع محدود موجود بر روی زمین به شدت به درک تأثیرات متقابل و نحوه استفاده از منابع خاک و آب وابسته است (Mohtar, 2015). پیوند منابع یک مدل مفهومی است که ارتباطات بین منابع مختلف و در مقابل آن‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۲). همان‌طور که در شکل نشان داده شده است یک (یا چند) منبع به عنوان ورودی برای تولید منبع دیگر استفاده می‌شود. به عنوان مثال، آب و برق (برای پمپاژ آب) منابع لازم برای تولید غذا به ویژه در اقتصادهایی است که کشاورزی مبتنی بر آبیاری غالب است (Bleischwitz et al., 2013).



Source: own compilation, PBL 2011

شکل ۲- منابع همبست

کمیاب منابع و لزوم اجرای سیاست‌گذاری‌های مناسب را می‌توان با پنج ویژگی مشخص نمود:

- اولین ویژگی، فقدان مناطق توسعه نیافته و حفاظت از منابع است، که مرحله جدیدی را در جستجوی مداوم بشریت برای مواد حیاتی نشان می‌دهد.
- ویژگی دوم مربوط به چالش‌های فنی، اجتماعی و زیست‌محیطی در بهره‌برداری از منابع جدید در مناطق دور افتاده و حاشیه‌ای است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

○ ویژگی سوم تقاضای بی‌سابقه برای منابع طبیعی بیشتر و جدید را ایجاد می‌کند. ظهور ناگهانی مصرف‌کنندگان جدید سیری‌ناپذیر در نتیجه افزایش رشد اقتصادی در چین، هند و دیگر قدرت‌های اقتصادی آسیایی این تقاضا را افزایش می‌دهد.

○ ویژگی چهارم کمبود فیزیکی منابع طبیعی است و افزایش قیمت مواد غذایی و به تبع آن افزایش فقر می‌باشد.

○ ویژگی پنجم مربوط به گسترش بازیگران در مدیریت منابع فراتر از دولت‌ها است. علاوه بر نهادها و رژیم‌های بین‌المللی، نقش منافع تجاری در حاکمیت است.

منافع کنونی جامع بین‌المللی سیاستی برای ایجاد تغییرات سیستمیک است که مدیریت یکپارچه منابع را تقویت می‌کند. برای انجام این کار، تأثیرات بین بخشی سیاست‌ها باید در تمام سطوح حاکمیت لحاظ شود. با این حال، سیاست هدف یکپارچگی منابع باید محدودیت‌های توزیع نابرابر منابع در مقیاس‌های مختلف و محدودیت‌های بهره‌وری زیست محیطی را تشخیص دهد.

بهره‌وری مناسب از منابع را می‌توان با فرصت‌های زیر پیش‌بینی کرد:

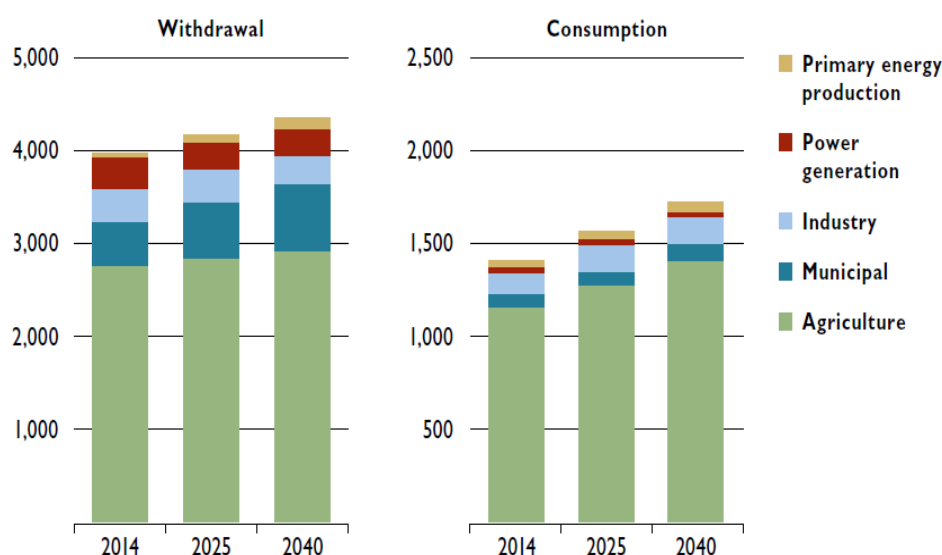
- بهره‌وری انرژی ساختمان
- کاهش ضایعات غذایی
- افزایش عملکرد در مزارع بزرگ مقیاس
- افزایش عملکرد در مزارع خرده مالک
- کاهش نشت آب شهری
- تراکم شهری
- افزایش بهره‌وری سوخت حمل و نقل
- افزایش نفوذ خودروهای برقی و هیبریدی
- کاهش تخریب زمین
- بهبود بازیابی نفت و زغال سنگ
- بهبود تکنیک‌های آبیاری
- انتقال بارهای جاده‌ای به راه آهن
- بهبود کارایی نیروگاه

چالش‌ها و بحران موجود در منابع

چشم انداز آب

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

میزان رشد تقاضا برای آب دو برابر نرخ رشد جمعیت طی چند دهه گذشته بوده است. برداشت جهانی آب شیرین از منابع آب سطحی و آبهای زیرزمینی از سال ۱۹۸۰ تقریباً ۱ درصد در سال افزایش یافته است (UNESCO, 2016). به طور کلی الگوهای منطقه‌ای برداشت و مصرف آب بسته به چگونگی ساختار اقتصادی در کشورهای مختلف بسیار متفاوت است. در بیشتر کشورهای پیشرفته، برداشت آب شیرین تثبیت شده یا کمی کاهش یافته است، که تا حدی به دلیل ترکیب دو عامل بهبود کارایی مصرف آب و افزایش واردات محصولات آب‌بر، از جمله مواد غذایی می‌باشد. از اینرو می‌توان گفت که افزایش فعلی استفاده از آب عمدتاً توسط کشورهای در حال توسعه می‌باشد. از همین رو انتظار می‌رود طی ۲۵ سال آینده، برداشت آب تقریباً ۱۰ درصد نسبت به سال ۲۰۱۴ افزایش یابد (UNESCO, 2012). کشاورزی آبی بیش از ۴۰ درصد از تولیدات زراعی جهان را به خود اختصاص می‌دهد و بزرگترین مصرف‌کننده آب در جهان است (UNESCO, 2012) و تقریباً ۷۰ درصد از کل برداشت‌های جهانی آب شیرین (و تا ۸۵ درصد در برخی از کشورهای در حال توسعه) را شامل می‌شود، اگرچه پیش‌بینی می‌شود سهم برداشت آن تا سال ۲۰۴۰ اندکی کاهش یابد (شکل ۳) ولی همچنان کشاورزی مسئول عمده مصرف آب است که این مصرف بیشتر ناشی از تبخیر از سطح زمین در طول آبیاری و تعلق از گیاهان است.

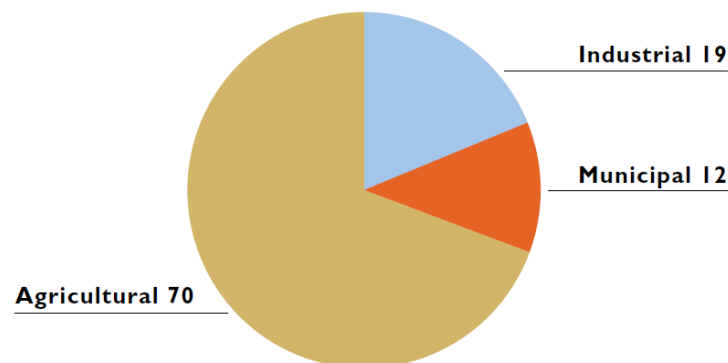


شکل ۳- تقاضای جهانی آب بر اساس بخش تا ۲۰۴۰ (میلیارد متر مکعب) (Siala et al., 2017)

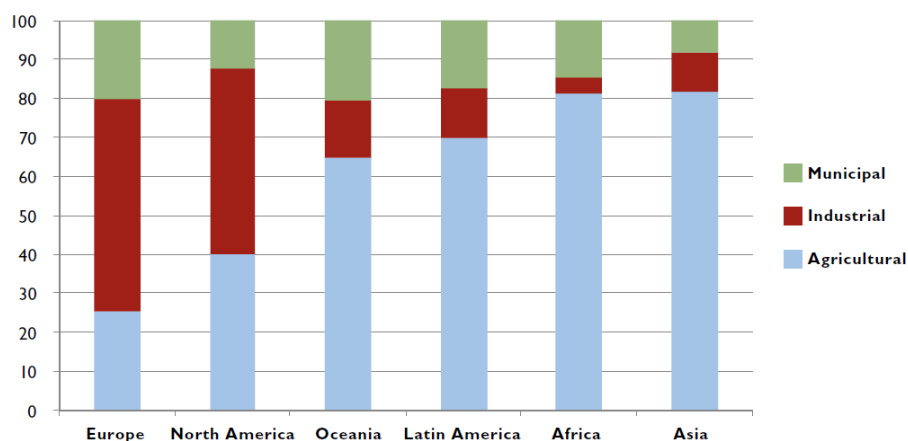
طبق گزارشات برداشت‌ها برای برآوردن تقاضای آب شهری ۱۳ درصد از کل آب را در سال ۲۰۱۴ به خود اختصاص داده است و پیش‌بینی می‌شود که این رقم در سال ۲۰۴۰ به ۱۷ درصد برسد (شکل ۴ و ۵). سه پنجم این افزایش از سه منطقه هند، آفریقا و دیگر کشورهای در حال توسعه آسیا (به استثنای چین) ناشی می‌شود (Arup and Sydney, 2015). این روند در آینده با افزایش شهرنشینی و افزایش استانداردهای زندگی و همچنین تغییر در ترجیحات غذایی افزایش خواهد یافت. به طوری که غذای موردپسند از مواد اصلی چون سبزیجات غده‌ای و ریشه‌ای به سمت گوشت و فرآورده‌های شیر، غذاهای تصفیه شده و فرآوری شده، و قندها، روغن‌ها و چربی‌ها که تولید آن به مقدار بیشتری آب نیاز دارند خواهد رفت. همچنین تقریباً ۱۰ درصد از برداشت‌های جهانی آب در سال ۲۰۱۴ مربوط به صنعت (بدون

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

احتساب بخش انرژی) بوده است. در کشورهای صنعتی پیشرفته، صنعت ۱۲ درصد از برداشت آب را در اختیار دارد، در حالی که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، بخش صنعت کمتر از ۸ درصد آب مصرف می نماید. صنعت دومین بخش مصرف کننده آب (پس از کشاورزی) است. پیش بینی می شود سهم آن در حدود ۸ تا ۹ درصد در بازه زمانی ۲۰۴۰ ثابت بماند (Siala et al., 2017).



شکل ۴- برداشت جهانی آب برحسب بخش (برحسب درصد)



شکل ۵- برداشت آب زیرزمینی برحسب بخش (برحسب درصد)

شکل (۵) برداشت آب زیرزمینی برحسب بخش (برحسب درصد) را نشان می دهد در حالی که آب های زیرزمینی به میزان قابل توجهی در تولید غذای جهان کمک نموده و منبع قابل اطمینان آب را برای کشاورزان فراهم کرده است، همچنین منجر به استفاده بیش از حد از آب و سقوط سطوح آب های زیرزمینی شده است (Siala et al., 2017).

## چشم انداز غذا

جمعیت جهان سالانه حدود ۸۳ میلیون نفر در حال افزایش است. بالاترین نرخ رشد جمعیت به ویژه در ۴۸ کشوری که توسط سازمان ملل متحد به عنوان کم توسعه ترین کشورها (۲۷ کشور در آفریقا) نام گرفته اند بالاترین نسبت را دارا

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

است. پیش بینی ها حاکی از آن است که از ۲/۴ میلیارد نفر دیگر که قرار است بین سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ به جمعیت جهان اضافه شود، ۱/۳ میلیارد نفر در آفریقا خواهند بود. همچنین آسیا به عنوان دومین افزایش دهنده نرخ جمعیت در جهان خواهد بود و پیش بینی می شود بین سال های ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ حدود ۰/۹ میلیارد نفر را به خود اختصاص دهد و پس از آن آمریکای شمالی، آمریکای لاتین و کارائیب و اقیانوسیه قرار دارند، که انتظار می رود سهم بسیار کمتری داشته باشند (UNDESA, 2014).

طبق مطالعات تولید محصولات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه تا سال ۲۰۵۰ تقریباً دو برابر خواهد شد. این به معنی افزایش چشمگیر تولید چندین کالای کلیدی است. برای مثال، تولید سالانه غلات تقریباً ۱ میلیارد تن باید افزایش یابد. و تولید گوشت با افزایش ۲۰۰ میلیون تن به مجموع ۴۷۰ میلیون تن در سال ۲۰۵۰ برسد (Siala et al., 2017). همه اینها برای اطمینان از امنیت تغذیه و تغذیه مناسب جمعیت جهان خواهد بود. به طور کلی انتظار می رود ۹۰ درصد رشد تولید محصولات زراعی در سطح جهان (۸۰ درصد در کشورهای در حال توسعه) ناشی از عملکرد بیشتر در واحد سطح و مابقی ناشی از افزایش سطح زیر کشت باشد. در کشورهای توسعه یافته به دلیل بهبود تدریجی بهره‌وری در استفاده از آب و کاهش میزان استفاده از زمین برای محصولات آب بر، برداشت آب برای آبیاری با سرعت کمتری افزایش می‌یابد، اما همچنان تقریباً ۱۱ درصد (یا حدود ۲۸۶ میلیارد متر مکعب) افزایش خواهد داشت (Siala et al., 2017).

FAO امنیت غذایی را به عنوان وضعیتی تعریف می‌کند که در آن "همه مردم در هر زمان دسترسی فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به غذای کافی، سالم، ایمن و مغذی برای برآوردن نیازهای غذایی خود برای یک زندگی فعال و سالم داشته باشند (FAO, 1996). از اینرو همبست آب و غذا برای دسترسی عادلانه، متعادل و پایدار به منابع آب و غذا در مواجهه با افزایش تقاضای جمعیت پیشنهاد شده است. (Lopez et al., 2021)

### چشم انداز خاک

با توجه به اینکه کیفیت خاک بر حفظ یا بهبود منابع طبیعی تأکید دارد و به یک جزء لاینفک کشاورزی پایدار تبدیل شده است؛ ارزیابی علمی خاک برای کمک به پایداری سیستم‌های کشاورزی امری الزامی است. کیفیت خاک به طور غیر مستقیم با تولید غذا، امنیت غذایی و کیفیت محیط‌زیست (به عنوان مثال، کیفیت آب، گرمایش جهانی و استفاده از انرژی در تولید مواد غذایی) و از طریق تأثیر آن بر عملکردهای کلیدی خاک ارتباط دارد. متأسفانه، با اتخاذ سیستم‌های مدرن تولید کشاورزی، تخریب خاک‌ها (یعنی از دست دادن تنوع زیستی خاک، خاک ضعیف خاک و ترکیب عنصری نامتعادل) رخ داده است. البته پیامدهای زیست محیطی صنعتی شدن کشاورزی در کوتاه مدت قابل رویت نیست و تأثیر بیشتر آن در درازمدت حیات بشر را با تهدید جدی مواجه می‌کند. (Stamou and Rutschmann, 2018). به طوریکه گزارشات مربوط به وضعیت زمین‌های کشاورزی در بعضی مناطق نشان می‌دهد که رسوبات خاک، مواد مغذی و مواد آلی با سرعتی بسیار زیادی از بین رفته است، نتیجه‌ای که پیامدهای مستقیم و غیر مستقیم عظیمی بر سودآوری، بهره‌وری و کیفیت محیط‌زیست خواهد داشت (Liu et al., 2019).

تأثیرات بشر بر خاک و محیط‌زیست از اهمیت زیادی برخوردار می باشد؛ چرا که خاک غنی و باکیفیت قادر به تولید مواد گیاهی ارزشمند و فراوانی است که علاوه بر تولید غذای بشر، لباس و سرپناهی برای حیات ایجاد می‌کند. خاک با

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

کیفیت بالا با کاهش فرسایش خاک و رواناب مواد مغذی (یعنی حفاظت از کیفیت آب) و ذخیره کربن در خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از محیط‌زیست در برابر تخریب محافظت می‌کند. از سوی دیگر خاک بی کیفیت، فاقد مواد آلی کافی برای حفظ بهره‌وری در دراز مدت است و منجر به فرسایش بیش از حد خاک و کیفیت نامطلوب آب می‌شود. فعالیت و تنوع بیولوژیکی اینگونه خاک‌ها پایین است و می‌تواند منجر به تأمین مواد غذایی ناسالم و ناکافی برای انسان شود.

### کمبود آب در کشاورزی: چالش آینده امنیت جهانی آب

از آنجا که آب جزء اساسی سیستم پشتیبانی حیات بشر است و کمبود آب در آینده نه چندان دور به عنوان خطری جدی برای جامعه بشری تلقی می‌شود که باید در فرایند توسعه اقتصادی- اجتماعی بر آن غلبه کرد. پیامدهای کمبود آب تا سال ۲۰۵۰ از نظر کمبود احتمالی آب در سطح جهان برای تولید مواد غذایی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. ذخیره آب مصرفی باید بین نیازهای آب برای تولید جهانی غذا، تولید چوب برای سوخت و ترسیب کربن تقسیم شود (Falkenmark, 2013).

امنیت آب از دو جهت اصلی باید مورد بررسی قرار گیرد. از یک سو، به عنوان آب جاری (آبی) برای برآوردن نیازهای بهداشتی، شرب و اقتصادی (از جمله آبیاری)، و از طرف دیگر، به عنوان آب باران نفوذی در خاک (آب سبز) که تولید غذا و سایر زیست‌توده‌ها را انجام می‌دهد. امنیت آب همچنین در مقیاس‌های مختلفی چون کمبود آب، که سبب به خطر افتادن امنیت غذایی، تأمین آب انسانی، تولید صنعتی، تولید نیروگاه‌های آبی، خنک کننده نیروگاه‌های هسته‌ای و غیره مطرح است (Key et al., 2012).

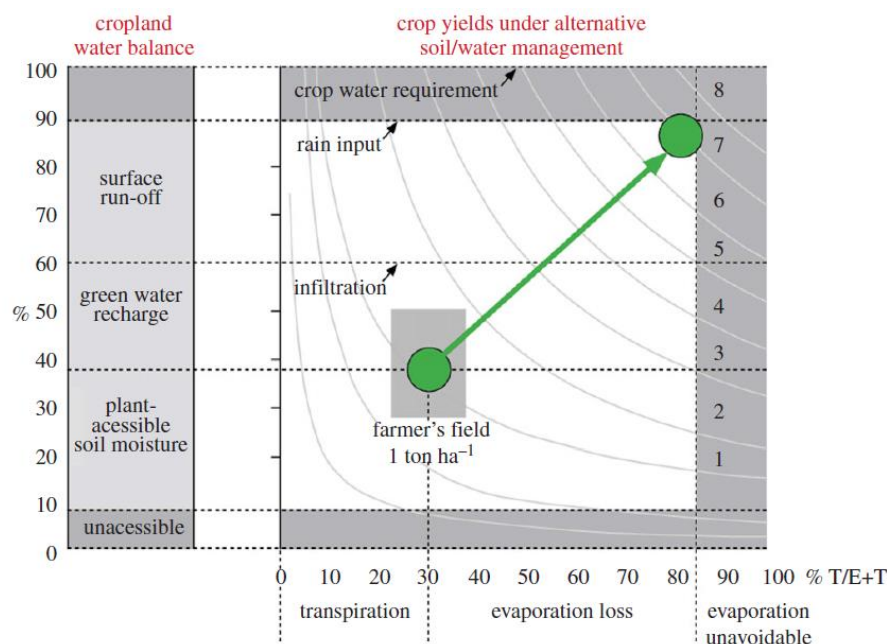
### کمبود آب سبز

امنیت آب کشاورزی به شدت مستعد کمبود آب سبز (آب باران نفوذی در خاک) است. تولید محصول بستگی بسیار زیادی به ریشه‌های گیاه دارد که رطوبت خاک را گرفته و آن را تا برگ‌ها منتقل کنند. بنابراین رشد گیاه تابع دسترسی آب سبز در ناحیه ریشه است. در طول فصل رشد محصول، آب جاری تنها ۱۶ درصد از آب مصرفی گیاه را در اختیار دارد، در حالی که این رقم در آب سبز ۸۴ درصد است (Liu and Yang, 2010).

آب سبز می‌تواند به چند دلیل کمیاب باشد. برخی دلایل مربوط به تغییرات آب و هوایی و کیفیت خاک است (SIWI, 2007). ممکن است بارش باران بسیار کم باشد؛ و ممکن است بیشتر آب باران تبخیر شود و خاک خشک شود؛ ممکن است مشکلاتی در مورد نفوذ آب در خاک وجود داشته باشد (به عنوان مثال پوسته شدن خاک)؛ ممکن است خاک به دلیل بافت ذرات ظرفیت نگهداری کافی را نداشته باشد، و در آخر بعلت خشکسالی‌های مداوم. به طور کلی دسته‌های مختلف خشکسالی باعث ایجاد انواع مختلف اختلالات و تأثیرات متفاوت بر خاک و آب و محیط‌زیست می‌گردد. خشکی‌های بین فصلی را می‌توان با برداشت آب و آبیاری تکمیلی جبران کرد، در حالی که خشکسالی‌های بین سالی منجر به درجات مختلفی از خرابی محصول می‌شود و برای مقابله با آن نیاز به سیاست‌گذاری‌های بلندمدت و منجمم در تمامی ارگان‌ها می‌باشد (Lundqvist and Falkenmark, 2010).

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

کمبود آب سبز همچنین ممکن است منشاء دست بشر باشد، به عنوان مثال از طریق سوء مدیریت خاک در مزرعه کشاورز، و ایجاد اختلال در تقسیم بارندگی محلی. در همین ارتباط در تحقیقی وضعیت ساحلی در نیامی نیجر مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۶) که در آن تنها بخش بسیار محدودی از آب باران ورودی به زیست توده تبدیل می‌شود، و همین مقدار منجر به عملکرد محصول در سطح ۱ تن در هکتار شده است، که این مقدار بسیار کمتر از عملکرد بالقوه می‌باشد. این در حالی است که آب کافی برای عملکردهای بالاتر در دسترس است، اما به دلیل نفوذ کم در خاک، اختلال در ظرفیت نگهداری آب در خاک و همچنین ظرفیت پایین جذب ریشه‌های آسیب دیده از خشکی، این آب نمی‌تواند در دسترس گیاه قرار گیرد و باعث افزایش عملکرد گردد. البته با از بین رفتن این اختلالات، بازدهی به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد (Rockstrom et al., 2007). مطالعات سیستماتیک موردی در ICARDA (مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک) اخیراً نشان داده است که با بهبود شیوه‌های مدیریت زمین و آب، شکاف عملکرد را می‌توان در منطقه مدیترانه به نصف کاهش داد (Pale et al., 2011).



شکل ۶- تأثیرات آب بر عملکرد محصول در نیامی نیجر

## لزوم همبست آب و خاک

بین فقر و عدم دسترسی به زمین و آب ارتباط قوی وجود دارد، زیرا فقیرترین افراد دارای کمترین دسترسی به زمین و آب سالم هستند و به دام مزارع کوچک با خاک‌های بی‌کیفیت و با نسبت آسیب‌پذیری بالا در برابر تخریب زمین و آب و هوا قرار دارند (FAO, 2011). کمبود آب با در نظر گرفتن نیاز آن جهت تأمین آب برای سلامتی انسان، تأمین غذا، تأمین انرژی و تولید صنعتی، امنیت آب را از چند جهت با اهمیت بیشتری مواجه می‌کند.

از همین رو ارزیابی منابع آب به یکی از مهمترین تمرکزهای جهانی تبدیل شده است. منابع آب مهمترین نقش را در تولید غذا در سراسر جهان دارد، تضمین تأمین مواد غذایی و دستیابی به توسعه پایدار جهانی در مواجهه با افزایش

## هدفهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

جمعیت و تغییرات اقلیمی اساسی است. زیرا در سال‌های اخیر به دلیل افزایش جمعیت، تقاضای آب سالم و غذا به شدت افزایش یافته است (Maja and Ayano, 2021). از همین رو پیش‌بینی می‌شود تقاضا برای این منابع تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۵۰ درصد نسبت به سال ۲۰۱۵ افزایش می‌یابد (Ferroukhi et al., 2015). در این زمینه، همبست آب و غذا ناشی از رویکردی است که ارتباط متقابل مدیریت منابع طبیعی و اهمیت تضمین حقوق جهانی این منابع را ترویج می‌کند (GWP, 2012).

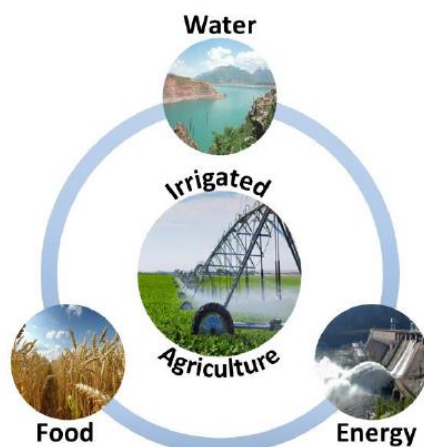
از سوی دیگر خاک‌ها می‌توانند تأثیرات مثبت یا منفی بر سلامت انسان داشته باشند. خاک‌های سالم پایه همه منابع دیگر (مانند غذا، انرژی و آب) هستند. خاک نه تنها پایه‌ای برای تأمین منابع طبیعی غذا، آب و انرژی است، بلکه یکپارچه‌سازی و درک ارتباط متقابل بین غذا، انرژی و آب با خاک تکمیل می‌شود. منابع خاک محدود و در برخی موارد قابل تجدیدپذیری در مقیاس‌های زمانی بشر نیست. بنابراین باید بالاترین اولویت برای حفظ سلامت خاک و کیفیت خاک در نظر گرفته شود (Lal, 2015). از اینروست که اهمیت همبست آب، انرژی و غذا و خاک با کاهش منابع طبیعی موجود و تغییرات آب و هوایی افزایش می‌یابد (Lal, 2013 a,b). خاک می‌تواند نقش مهمی در کاهش تغییرات آب و هوایی، تأمین مواد غذایی، انرژی و آب داشته باشد. برای ارتباط خاک‌ها با سایر منابع طبیعی (آب، غذا و انرژی)، خدمات اکوسیستمی و نگرانی‌های فردی، اجتماعی و زیست‌محیطی بشر، نیاز به رویکردهای بین رشته‌ای در تمامی زمینه‌ها به شدت احساس می‌شود (Weigelt et al., 2015).

### همبست آب - انرژی - غذا در زمینه کشاورزی آبی و توسعه پایدار

تولید محصولات کشاورزی در مناطق کم آب، به ویژه در محیط‌هایی که در حال تغییر و تحول هستند اهمیت بسیار زیادی دارد، زیرا منبع مهمی برای درآمد در مناطق فقیرنشین روستایی است (Hamidov et al., 2015). با این حال، در مناطق مستعد خشکسالی، استفاده از آب برای آبیاری با استفاده از آب برای کشاورزی و تولید انرژی رقابت می‌کند (Habteyes and Ward, 2020). آبیاری نقش مهمی در توسعه اقتصادی بسیاری از کشورها دارد. در این راستا، توسعه و بهبود آبیاری راه‌های اصلی برای اطمینان از تأمین غذا، ایجاد اشتغال برای روستاییان و در نتیجه پایان بخشیدن به فقر در بسیاری از مناطق است.

البته دستیابی به اصول امنیت آب بدون در نظر گرفتن نقش خاک در چرخه آب و تأمین و تدارک آب برای بشر، غیرممکن خواهد بود. از اینرو پیوند آب با سایر منابع به عنوان رویکردی برای تصمیم‌گیری و ایجاد سیاست‌گذاری مدیریت منابع یکپارچه منابع آب در نظر گرفته خواهد شد (Rosales-Asensio et al., 2020). چندین سازمان دولتی ضرورت ایجاد اقداماتی را اعلام کرده‌اند که می‌تواند منجر به انطباق توسعه پایدار (SDG) و تضمین منابع لازم برای نسل‌های کنونی و آینده شود (شکل ۷).

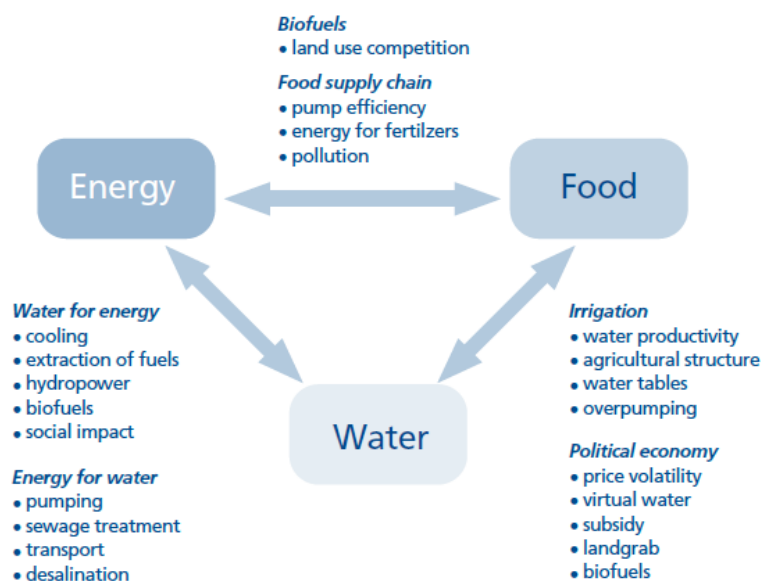
## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۷- ارتباط آب، انرژی و غذا با کشاورزی آبی

شکل (۷) مفهوم سازی ارتباط همبست آب، انرژی و غذا با کشاورزی آبی را نشان می دهد. اهداف توسعه پایدار (SDG) که توسط سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۵ معرفی شده و باید توسط همه دولتهای ملی تا سال ۲۰۳۰ اجرا شود. در این راستا، توسعه و بهبود روش های آبیاری و افزایش عملکرد در واحد سطح در تأمین غذا بسیار مهم است. نقش کشاورزی آبی در پاسخ به افزایش تقاضای غذایی در حال افزایش است، زیرا جمعیت جهان افزایش یافته و به سمت تولید محصولات بیشتر گرایش یافته است.

همچنین مصرف آب برای تولید انرژی و استفاده از انرژی برای تولید آب یا ارتباط آب و غذا و ارتباط غذا و انرژی نیز از جنبه های دیگر این پیوند است (Bazilian et al., 2010). لایه دیگری از پیچیدگی با پیوند بیشتر آب- انرژی با امنیت غذایی معرفی می شود. توجه به این امر مستلزم درک دقیق تری از روابط و ارتباطات بین آب، انرژی، زمین و پیامدهای تغییر آب و هوا است (شکل ۸)



شکل ۸- شماتیک پیوند آب، انرژی، غذا و مسائل تشکیل دهنده آن

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

تحقق پیوند منابع آب، غذا و انرژی و پایداری آن در همبست قابل تحقق نیست مگر اینکه منابع خاک به طور مناسب در کنار سایر اجزای پیوند قرار گیرد و مدیریت شود. به طور کلی با در نظر گرفتن تأثیرات متقابل منابع بر روی یکدیگر برای رسیدن به پایداری، لازم است در بخش‌های مختلف آب، خاک، غذا و انرژی، سیاست‌های مدیریتی جهت کاهش تأثیر منفی بر روی منابع به مرحله اجرا در آید.

هر گونه برنامه ریزی برای مدیریت خاک و آب باید با استفاده از رویکرد همبست به مسائل بپردازد. تا ضمن از بین بردن خطرات و مضرات نابودی منابع بتواند امنیت و زندگی کیفی بهتری را برای نسل حال و آینده رقم بزند. بر اساس این رهیافت آب، خاک، انرژی و امنیت غذایی عناصر کلیدی برای کاهش فقر می‌باشند که از یه طرف حفظ اکوسیستم را برای حفظ محیط‌های طبیعی سالم و از طرف دیگر بهره‌برداری از اکوسیستم را با ارائه خدمات و دستورالعمل‌های درست سبب می‌شوند.

### تشکر و قدردانی

نویسنده از زحمات خانم مهندس سمانه پورمنصور کارشناس مرکز تحقیقات آب و خاک تشکر می‌نماید.

### فهرست منابع

شریفی مقدم، ا. و صادقی، س.ح.ر. ۱۳۹۷. کاربرد همبست آب-انرژی-غذا در مدیریت منابع آب. اولین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالشهای زیست محیطی

Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., ... & Yumkella, K. 2011. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. Energy policy, 39(12):7896-7906.

Bleischwitz, R., Johnson, C. M., & Dozler, M. G. 2014. Re-Assessing resource dependency and criticality. Linking future food and water stress with global resource supply vulnerabilities for foresight analysis. European Journal of Futures Research, 2(1), 34.

food and agriculture FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for (SOLAW)—managing systems at risk.

food and agriculture FAO. 2011. The state of the world's land and water resources for (SOLAW)—managing systems at risk.

Ferroukhi, R., Nagpal, D., López, P.A., Hodges, T., Mohtar, R., Daher, B., Mohtar, S. and Keulertz, M. 2015. Renewable Energy in the Water, Energy & Food Nexus; International Renewable Energy Agency: Masdar City, Abu Dhabi, pp. 24–35.

GWP. 2012. Seguridad Hídrica y Alimentaria: El Nexo Entre el Agua y la Producción de Alimentos. 2012, pp. 8–41. Available online: [gwp.org-globalassets-global-gwp-cam\\_files-memoria-foro-gwp-2012-fin.pdf](http://gwp.org-globalassets-global-gwp-cam_files-memoria-foro-gwp-2012-fin.pdf) (accessed on 23 September 2020).

Habteyes, B.G. 2020. Ward, F.A. Economics of irrigation water conservation: Dynamic optimization for consumption and investment. J. Environ. Manag., 258: 110040.

Hamidov, A. and Helming, K. 2020. Sustainability Considerations in Water–Energy–Food Nexus Research in Irrigated Agriculture. Sustainability, 12: 6274.

- Hamidov, A., Thiel, A. and Zikos, D. 2015. Institutional design in transformation: A comparative study of local irrigation governance in Uzbekistan. *Environ. Sci. Policy*, 53: 175–191.
- Hoff, H. 2020. Understanding the Nexus: Background Paper. In Proceedings of the Bonn2011 Water, Energy and Food Security Nexus, Bonn, Germany, 16–18 November 2011. Available online: <https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/SEI-Paper-Hoff-UnderstandingTheNexus-2011.pdf>.
- Hoof, H. 2011. Understanding the Nexus. In Background Paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus, Bonn, Germany, 16–18 November 2011; Sweden. Stockholm Environment Institute: Stockholm,
- Key, P.W. 2012. van der Ent RJ, Gordon LJ, Hoff H, Nikoli R, Savenije HG. *Biogeosciences* 733–746. 9:
- Series #1 UNU-FLORES, Dresden, Lal, R. 2013a. The nexus of soil, water, and waste. Lecture Germany.
- J Plant Nutr Soil Lal, R. 2013b. Climate-strategic agriculture and the water-soil-waste nexus. *Sci.* 176(4):479–93.
- under changing climate Lal, R. 2015. The nexus approach in managing water, soil and waste In: Kurian M, Ardakanian R, editors. *Governing and growing demands on natural resources. water, soil, waste change*. Dordrecht, Holland: Springer. p. 39–61. the nexus:
- Lal, R., Mohtar, R.H., Assi, A.T., Ray, R., Baybil, H. and Jahn, M. . 2017. Soil as a Basic Curr Sustainable .of the Food–Energy–Water Nexus Nexus Tool: Soils at the Center .Renewable Energy Rep . 4:117–129
- Leck, H. et al. 2015. Tracing the Water–Energy–Food Nexus: Description, Theory and 445–460.:*Geography Compass*, 9 (8) Practice,
- Liu, C., Zhang, Z.Y., Liu, S.Y., Liu, Q.Y., Feng, B.P. and Tanzer, J. 2019. Evaluating agricultural sustainability based on the water-energy-food nexus in the chenmengquan irrigation district of China. *Sustainability*, 11: 5350.
- Liu, J and Yang, H. 2010 Global agricultural green and blue water consumptive uses and virtual water trade. In *Rethinking water and food security*. Fourth Botin Foundation Water pp. 23–32. Leyden, The Netherlands: CRC Press. Workshop,
- López, E.C., Román-Gutiérrez, A.D., Otazo-Sánchez, E.M., Guzmán-Ortiz, F.A. and Acevedo-Sandoval, O.A. 2021. Water–Food Nexus Assessment in Agriculture: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18: 4983.
- Lundqvist, J. and Falkenmark, M. 2010 Adaptation to rainfall variability and unpredictability. *Resour. Dev.* 26: 595–612. Water
- Maja, M.M. and Ayano, S.F. 2021. The Impact of Population Growth on Natural Resources and Farmers’ Capacity to Adapt to Climate Change in Low-Income Countries. *Earth Syst. Environ.* 1-13.
- Murzakulova, A., Schmidt-Vogt, D., Balla, D., Darr, D., Hamidov, A., Kasymov, U., Orazgaliyev, S. 2020. Water for agriculture and other economic Mendelevitch, R. and sectors. In *The Aral Sea Basin: Water for Sustainable*

- from Pale, M. *et al.* 2011 Assessment of wheat yield gap in the Mediterranean: case studies Morocco, Syria, and Turkey. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, ICARDA, Syria.
- Rockstrom, J., Lannerstad, M. and Falkenmark, M. 2007 Assessing the water challenge of a revolution in developing countries. Proc. Natl Acad. Sci. USA, 104: 6253–6260. new green
- Rosales-Asensio, E., de la Puente-Gil, A., García-Moya, F.-J., Blanes-Peiró, J. and de Simón-Martín, M. 2020. Decision-making tools for sustainable planning and conceptual framework for the energy–water–food nexus. Energy Rep. 6: 4–15.
- Schull, V.Z., Daher, B., Gitau, M.W., Mehan, S. and Flanagan, D.C. 2020. Analyzing FEW water resources decision-making and management applications. nexus modeling tools for Food Bioprod. Process. 2020, 119: 108–124.
- Managing key Siala, F., Al-Soof, N. and Mazraat, M. 2017. The energy–water–food nexus: for sustainable development. The OPEC Fund for International Development resources (OFID). PP 100 .
- SIWI. 2007. On the verge of a new water scarcity: a call for good governance and human SIWI Policy Briefs. Stockholm: SIWI. ingenuity.
- Stamou, A.-T. and Rutschmann, P. 2018. Pareto optimization of water resources using the Water Resour. Manag. 32: 5053–5065. nexus approach.
- UNESCO. 2012. United Nations World Water Assessment Program, 2012.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). 2016. Nations World Water Assessment Program, 2016.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs (UNDESA). 2015. Population The 2015 Revision, 2015. Division, World Population Prospects—
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2014. World Prospects—The 2014 Revision, 2014. Urbanization
- Weigelt, J., Janetschek, H., Muller, A. and Topfer, K. 2015. Editorial overview: environmental change issues: soils in the nexus. Current Opinion in Environmental Sustainability 15, V-Viii.

## **How mucilage alter the biophysical properties of the rhizosphere: Potential impacts on root water and nutrient uptake**

Mohsen Zarebanadkouki

Chair of Soil Physics, University of Bayreuth, Germany

Given the limited water and nutrient resources, an important strategy to meet the increasing demand for food production must focus on selecting plant varieties with better performance and higher water and nutrient use efficiency under drought and nutrient-limited conditions. The success of such programs requires a deep mechanistic understanding of the functioning of the

roots in water and nutrient uptake and also the factors affecting the transport of water and nutrients within the soil-plant-atmosphere continuum, particularly under limited conditions. Among different potential candidates affecting plant access to water and nutrients, the rhizosphere has recently received significant attention as a new avenue to maximize efficient and sustainable use of limited water and soil nutrient resources (Gregory, 2006; Dotaniya & Meena, 2015).

Despite the consistent interest in rhizosphere studies, it is surprising that we are only now starting to understand the biophysical aspects of the rhizosphere, particularly the effect of mucilage on the transport of water and nutrients, while its distinct biochemical properties and their impacts have been intensively investigated. Mucilage is a gel-like substance that consists of polysaccharides, lipids, and root border cells. The focus of the majority of the current studies interested in the physical and chemical properties of the rhizosphere has been so far on the impact of rhizodeposition on increasing the volume/quantity of water and nutrients in the rhizosphere. However, the missing information is still the impact of mucilage on the transport of water and nutrients across the soil and towards the roots, which becomes critical under drying soil conditions.

This contribution presents conceptual and experimental evidence showing how mucilage may favor water and nutrient uptake under soil drying conditions. The underlying hypothesis is that, besides maintaining the rhizosphere wetter during soil drying, mucilage also alters the spatial distribution of water within the pore space maintaining the connectivity of the liquid phase in drying soil (Fig. 1). This positive effect is originated from three main intrinsic properties of mucilage (high viscosity, low surface tension, and high water retention), which are shared among all the mucilage secreted by plant roots (Naveed *et al.*, 2019). These modifications enhance water retention and liquid connectivity of soil during a drying cycle, facilitating both i) the flow of water and ii) the transport of nutrients across the rhizosphere and therefore favors water and nutrient uptake by plant roots.

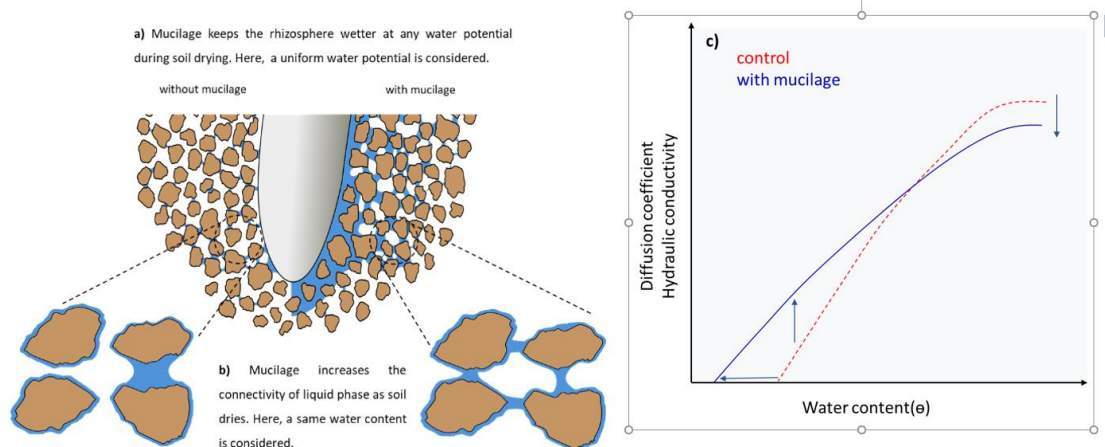


Fig. 1: Effects of mucilage on soil water content and its spatial configuration in the rhizosphere. a) Schematic sketch of a single root in the soil and the effect of mucilage on the soil water content of the rhizosphere. Considering a uniform water potential, mucilage keeps the rhizosphere wetter than the bulk soil during soil drying. b) Schematic sketch of the mucilage effect on the spatial distribution and the connectivity of the liquid phase between soil pores. Mucilage maintains the connectivity of the liquid phase under drying conditions. c) The conceptual effects of mucilage on the hydraulic conductivity (liquid phase) diffusion coefficient of soil as a function of soil water content. Mucilage avoids a steep drop in the hydraulic conductivity and diffusion coefficient of the rhizosphere as it dries. The arrows show the expected changes in the hydraulic conductivity and diffusion coefficient of soil mixed with mucilage. This figure is adapted from Zarebanadkouki *et al.* (2019).

First, a new conceptual framework is developed to describe the impact of root mucilage on soil transport properties during soil drying. This concept illustrates how mucilage by modification of physical properties of the soil solution (i.e., increasing the extensional viscosity of the soil

solution and decreasing its surface tension) may favor higher liquid connectivity within soil pores as the soil dries. Then a high-resolution X-ray computed tomography is used to monitor the effect of mucilage (from maize [*Zea mays* L.] roots) on liquid phase distribution and its configuration within porous media during a drying cycle. The results showed that mucilage forms filaments and 2D/3D interconnected structures spanning multiple pores upon drying in porous media (Benard et al., 2019a). Unlike water, the mucilage structures and liquid phases within soil pores did not break up upon drying, which is explained by mucilage's high viscosity and low surface tension (Benard et al., 2019b). In parallel experiments, we evaluated the impact of mucilage on the retention and transport of water and nutrient in soils mixed with mucilage extracted from chia seeds (Fig. 2). The results showed that the presence of mucilage in the soil i) increased retention of water, ii) maintained higher hydraulic conductivity, and ii) higher diffusion coefficient of nutrients in drying soils (Benard et al., 2019a; Zarebanadkouki et al., 2019). These positive effects were attributed to preserved liquid connectivity within the soil pores during soil drying, thanks to the mucilage impact on the physics of water in the soil. In summary, we showed that biophysical interactions between mucilage and the pore space determine the water and nutrient-related properties of the rhizosphere. Mucilage forms a network that i) provides mechanical stability to soils upon drying and ii) maintains higher connectivity of the liquid phase during soil drying. We conclude that mucilage in the rhizosphere may help sustain higher water and nutrients transport into the roots under drying conditions.

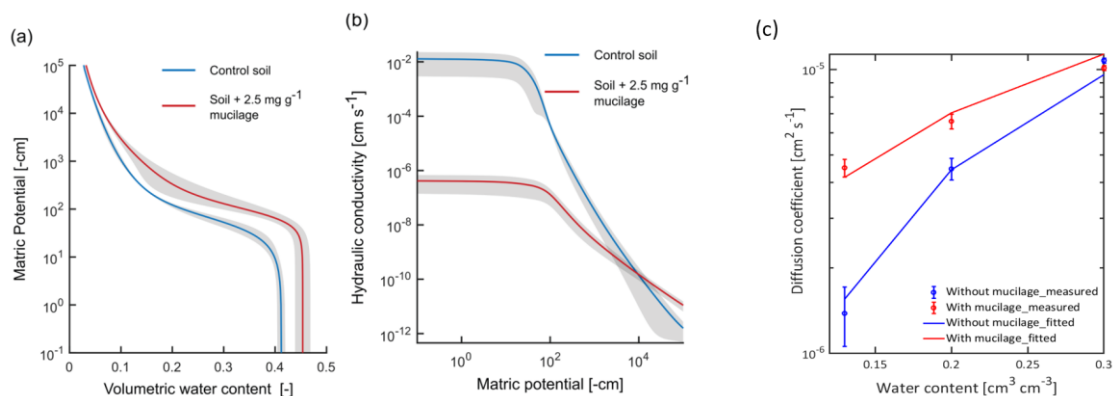


Fig. 2: The effect of mucilage on water retention (a), hydraulic conductivity (b) and diffusion coefficient (c) of sandy loam. Mucilage is extracted from chia seeds and mixed with soil at a mucilage content of 2.5 mg dry mucilage per g of dry soil. The soil retention and hydraulic conductivity curves are obtained through a soil evaporation experiment implemented in a commercial device called Hyprop (Benard et al., 2019a). The soil diffusion coefficients are determined at three different soil moistures combining phosphor imaging of radiocesium <sup>137</sup>Cs, image processing, and modeling Cs transport by diffusion within the soil (Zarebanadkouki et al., 2019).

## References:

- Benard P, Zarebanadkouki M, Brax M, Kaltenbach R, Jerjen I, Marone F, Couradeau E, Felde VJMN, Kaestner A, Carminati A. 2019a. Microhydrological niches in soils: How mucilage and EPS alter the biophysical properties of the rhizosphere and other biological hotspots. *Vadose Zone Journal* **18**.
- Benard P, Zarebanadkouki M, Carminati A. 2019b. Physics and hydraulics of the rhizosphere network. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **182**: 5–8.
- Dotaniya ML, Meena VD. 2015. Rhizosphere Effect on Nutrient Availability in Soil and Its Uptake by Plants: A Review. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section B - Biological Sciences* **85**: 1–12.

Gregory PJ. 2006. Roots, rhizosphere and soil: The route to a better understanding of soil science? *European Journal of Soil Science* 57: 2–12.

Naveed M, Ahmed MA, Benard P, Brown LK, George TS, Bengough AG, Roose T, Koebernick N, Hallett PD. 2019. Surface tension, rheology and hydrophobicity of rhizodeposits and seed mucilage influence soil water retention and hysteresis. *Plant and Soil*.

Zarebanadkouki M, Fink T, Benard P, Banfield CC. 2019. Mucilage Facilitates Nutrient Diffusion in the Drying Rhizosphere. *Vadose Zone Journal* 18: 1–13.

## کاربرد سنجش از دور در برآورد تبخیر-تعرق واقعی، بهره‌وری آب و راندمان آبیاری

شاهرخ زند پارسا<sup>۱</sup>، مهدی مهبذ<sup>۲</sup>، شهره دیداری<sup>۳</sup>، فاطمه قاسمی سعادت آبادی<sup>۴</sup>، سجاد جمشیدی<sup>۵</sup> سمیه نوروزی<sup>۶</sup>

۱. استاد، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. zandparsa@yahoo.com
۲. استادیار، گروه علوم مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم. mahbod001@yahoo.com
۳. استادیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. sh.didari@gmail.com
۴. دانشجوی دکتری، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. fa.ghasemi@shirazu.ac.ir
۵. دانشجوی دکتری، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز و Department of Agronomy- Crops, Soils, and Water Sciences, Purdue University, West Lafayette, IN 47907, USA
۶. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

## چکیده

استفاده از فناوری سنجش از دور در مدیریت منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای مدیریت مصرف آب در کشاورزی باید از میزان واقعی آب مصرفی گیاهان آگاهی پیدا کرد، تا علاوه بر تامین نیاز آبی گیاه و اجتناب از بروز تنش خشکی و کاهش محصول، از مصرف بیش از اندازه آب نیز جلوگیری نمود. نیاز آبیاری مزارع کشاورزی براساس تبخیر-تعرق واقعی گیاهان می‌باشد، که به تغییرات زمان و مکان، ویژگی‌های هیدرولوژیکی خاک، بارش، نوع و تراکم پوشش گیاهی، نوع سیستمهای آبیاری و روش آبیاری وابسته می‌باشد. تعیین تبخیر-تعرق واقعی گیاهان مزارع کشاورزی با استفاده از روش‌های سنتی امکان پذیر نیست، به همین دلیل استفاده از الگوریتم‌های سنجش از دور برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی، توصیه می‌شود. برای استفاده از فناوری سنجش از دور لازم است نتایج حاصله با داده‌های اندازه‌گیری شده اطلاعات هواشناسی، مقدار و زمان آب مصرفی و محصول برداشت شده در مزارع مقایسه، تلفیق و اعتبار سنجی شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق، METRIC، گندم زمستانه، Landsat8، AquaCrop

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

افزایش اشتغال در بخش کشاورزی، عدم توسعه صنایع بومی، رشد جمعیت، و گسترش سطح زیر کشت در سه دهه اخیر استفاده از منابع آب سطحی و زیرزمینی را افزایش داده و موجب تخریب کمی و کیفی آنها شده است. تمرکز بر افزایش سود بیشتر در واحد سطح ارضی، موجب برداشت بی رویه از منابع آبی شده است. خشکسالی و کاهش بارش در سالهای اخیر نیز به این مشکلات افزوده است.

در کشاورزی، بهره‌وری آب به صورت مقدار محصول تولید شده به ازای واحد حجم آب آبیاری ( $WP_I$ ) یا به ازای حجم آب تبخیر-تعرق یافته ( $WP_{ET}$ ) است که به صورت کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود (Zhou et al., 2021; Kijne, et al. 2003). در سابق و در بعضی از منابع، به این مقدار، راندمان مصرف آب ( $WUE$ , Water Use Efficiency) نیز گفته می‌شده است.

با توجه به محدودیت آب در ایران لازم است تا استفاده از آن به گونه ای باشد که از این حجم محدود حداکثر درآمد برای کشور حاصل گردد. بخشی از مصرف آب کشاورزی به صورت بخار به اتمسفر جریان می‌یابد که بعداً این آب قابل استفاده نبوده و این بخش آب از دسبرس خارج می‌شود. بنابراین بهره‌وری را می‌توان به صورت مقدار محصول تولیدی بر واحد حجم آب تبخیر-تعرق یافته،  $WP_{ET}$  در نظر گرفت. معمولاً زارعین در مزارع خود خواستار افزایش مقدار  $WP_I$  می‌باشند که با افزایش راندمان آبیاری مقدار آن بیشتر می‌شود (به عنوان مثال تبدیل سیستم آبیاری سطحی به آبیاری تحت فشار). وقتی  $WP_I$  مد نظر قرار می‌گیرد، دیگر مزایای آبی که به صورت نفوذ عمقی یا رواناب از دسترس زارع خارج شده مد نظر قرار گرفته نمی‌شود. در غالب پژوهشهای صورت گرفته، بدون در نظر گرفتن درآمد و هزینه‌ها در سطوح بزرگ، هدف را حداکثر نمودن  $WP_I$  قرار می‌دهند که به نتایجی نادرست منتهی می‌شود (Wichelns, 2014).

برای مطالعات در سطوح بزرگ بهتر است از واژه بهره‌وری تبخیر-تعرق ( $WP_{ET}$ )، محصول تقسیم بر حجم آب تبخیر-تعرق شده استفاده نمود، زیرا آب تبخیر-تعرق شده از دسترس خارج می‌شود ولی با منظور کردن بهره‌وری آب آبیاری، آب تلف شده ممکن است در جای دیگری هم مورد استفاده قرار بگیرد که با منظور نکردن آن در سطوح بزرگ (حوضه‌ها) ممکن است ایجاد اشکال نماید. پیش‌بینی مقادیر  $WP_{ET}$  در ارتباط با پیش‌بینی تبخیر-تعرق واقعی می‌باشد، که امکان محاسبه آن با استفاده از روشهای کلاسیک نیست.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

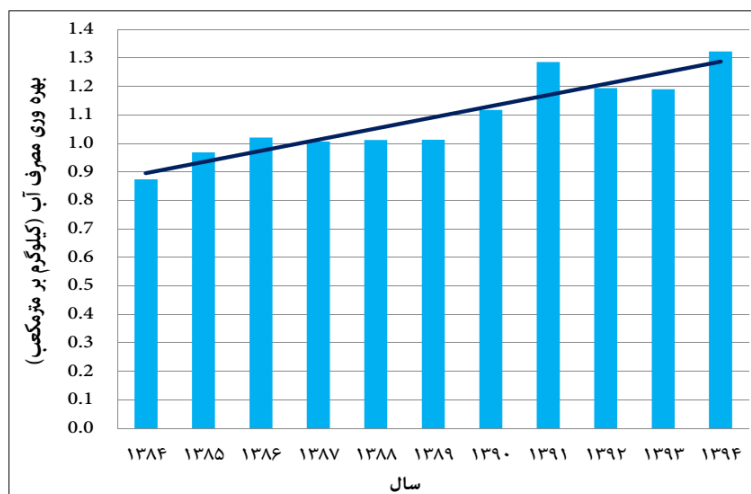
شاخص  $WP_I$  با افزایش محصول، کاهش آب آبیاری، افزایش راندمان آبیاری و یا تاثیر هر سه عامل به صورت همزمان، افزایش می‌یابد ولی شاخص  $WP_{ET}$  فقط با افزایش نسبت محصول تولیدی به تبخیر-تعرق افزایش می‌یابد و در صورتی که افزایش راندمان آبیاری منجر به افزایش محصول نشود مقدار آن افزایش نمی‌یابد. به عنوان مثال با مشاهده نتایج Ward et al. (2008) در جدول (۱) مشخص می‌شود که اگرچه راندمان آبیاری با تغییر از سیستم آبیاری سطحی به آبیاری قطره‌ای به بیش از دو برابر افزایش یافته است، ولی مقدار  $WP_{ET}$  تغییر نکرده و در برخی موارد اندکی جزئی کاهش یا افزایش یافته است.

جدول ۱- مقادیر راندمان آبیاری و بهره‌وری تبخیر-تعرق ( ) ( $WP_{ET}$ ) (Ward et al. 2008).

|                   | Irrigation Efficiency |      |          | Blue Water Footprint |        |               |                 |       |          |
|-------------------|-----------------------|------|----------|----------------------|--------|---------------|-----------------|-------|----------|
|                   | ET/Water Applied      |      | % Change | $W/D_{crop}$         |        |               | (ET/acre)/Yield |       | % Change |
|                   | Flood                 | Drip |          | Flood                | Drip   | Flood-to-Drip | Flood           | Drip  |          |
| Alfalfa           | 0.44                  | 1    | 127%     | 3.6                  | 3.7    | 2%            | 27.50           | 27.00 | -2%      |
| Pima cotton       | 0.43                  | 1    | 133%     | 625.0                | 625.0  | 0%            | 0.16            | 0.16  | 0%       |
| Upland cotton     | 0.43                  | 1    | 133%     | 833.3                | 833.3  | 0%            | 0.12            | 0.12  | 0%       |
| Lettuce, Spring   | 0.44                  | 1    | 127%     | 431.8                | 424.1  | -2%           | 0.23            | 0.24  | 2%       |
| Lettuce, Fall     | 0.42                  | 1    | 136%     | 357.1                | 347.2  | -3%           | 0.28            | 0.29  | 3%       |
| Onions, Fall      | 0.43                  | 1    | 135%     | 600.0                | 600.0  | 0%            | 0.17            | 0.17  | 0%       |
| Onions, Midseason | 0.58                  | 1    | 74%      | 293.5                | 291.0  | -1%           | 0.34            | 0.34  | 1%       |
| Onions, Spring    | 0.56                  | 1    | 78%      | 305.6                | 303.3  | -1%           | 0.33            | 0.33  | 1%       |
| Grain sorghum     | 0.45                  | 1    | 122%     | 44.4                 | 45.5   | 2%            | 2.25            | 2.20  | -2%      |
| Wheat             | 0.44                  | 1    | 127%     | 83.6                 | 82.1   | -2%           | 1.20            | 1.22  | 2%       |
| Green chile       | 0.43                  | 1    | 130%     | 5.5                  | 5.5    | 0%            | 18.18           | 18.12 | 0%       |
| Red chile         | 0.44                  | 1    | 127%     | 1590.9               | 1620.4 | 2%            | 0.06            | 0.06  | -2%      |
| Pecans            | 0.43                  | 1    | 131%     | 445.4                | 452.4  | 2%            | 0.22            | 0.22  | -2%      |
| Median            | 0.44                  | 1    | 127%     | 357.1                | 347.2  | 0%            | 0.28            | 0.29  | 0%       |

حیدری (۱۳۹۴) بهره‌وری آب آبیاری محصولات زراعی و باغی را در حوضه آبریز کرخه محاسبه و مقایسه نمودند. طبق مطالعه آنها، در میان محصولات زراعی، گوجه فرنگی با  $WP_I$  برابر ۳۰/۳ کیلوگرم (وزن تر) بر مترمکعب بیشترین و گندم با ۵۳/۰ کیلوگرم (وزن دانه) بر مترمکعب کمترین کارایی مصرف آب را داشتند. عباسی و همکاران (۱۳۹۶) حجم آب آبیاری را به روش بیلان آبی محاسبه و براساس آمار تولید محصولات زراعی و باغی به تفکیک سال‌های مختلف برآورد کردند. با توجه به سود ناشی از افزایش سطح اراضی تحت آبیاری حاصل از افزایش راندمان آبیاری، تغییرات مقدار  $WP_I$  در کشور مطابق شکل ۱ مثبت می‌باشد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۱- بهره‌وری آب آبیاری در طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۴ (عباسی و همکاران، ۱۳۹۶)

افزایش بهره‌وری آب آبیاری و راندمان آبیاری بدون محدود کردن مصرف آب، باعث حصول سود بیشتر از آب شده ولی در سطح حوضه منجر به مصرف بیشتر آب می‌شود. حتی رعایت موارد جابجایی تاریخ کاشت محصولات از بهاره به پاییزه، معرفی ارقام زراعی با طول دوره رشد کوتاه‌تر، توسعه کاربرد فناوری‌های به زراعی و به نژادی، ارائه برنامه الگوی کشت، عدم حمایت از کشت محصولات آب‌بر، هوشمند سازی کشاورزی مبتنی بر اینترنت و افزایش ظرفیت گلخانه‌های کشور، در صورتی می‌توانند موثر واقع شوند که مصرف آب محدود شود و به صورت کنترل شده مدیریت شود. از آنجایی که مشکل بحران آب در ایران ناشی از مصرف بیش از اندازه آن می‌باشد، هر طرحی که منجر به کاهش مصرف آب نشود با شکست مواجه می‌شود.

در ارزیابی و برتری سیستم‌های آبیاری، راندمان آبیاری (نسبت آب ذخیره شده در ناحیه ریشه در مزرعه به آب تأمین شده از منبع اصلی آبیاری) اهمیت زیادی دارد. مطالعات زیادی در زمینه راندمان‌های مختلف آبیاری (شامل راندمان کاربرد، انتقال و توزیع، و راندمان کل) در کشور انجام شده است. نتایج مطالعه عباسی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی جامع در زمینه روند تغییرات زمانی و مکانی راندمان‌های آبیاری در کشور در بیش از ۲۰۰ مطالعه طی سال‌های ۱۳۷۰-۱۳۹۴ در کشور نشان داد که راندمان کاربرد آب آبیاری در کشور از ۲۲/۵ تا ۸۵/۵ درصد، با میانگین آن ۵۶ درصد متغیر بود برآورد (نی ریزی و فخر داود، ۱۳۸۲). سپاسخواه (۱۳۸۳) بیان کرد که یکی از علتهای حصول مقادیر کم راندمان آبیاری پروژه‌ها در ایران، روش نه چندان

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

درستی است که در اندازه گیری راندمان کاربرد آبیاری مزرعه به کار گرفته شده است، و با اصلاح روش تعیین راندمان کاربرد آبیاری مقادیر قابل قبولی در حد حتی بیش از ۷۰ درصد حاصل گردید.

برای اندازه گیری راندمان آبیاری، اندازه گیری یا برآورد دقیق تبخیر-تعرق واقعی ضروری است. اندازه گیری تبخیر-تعرق و محاسبه آن در شرایط واقعی به روش های مختلفی مانند لایسیمتر، ادی کواریانس و سایر روش ها صورت می گیرد. تبخیر-تعرق واقعی با تغییر روز سال، موقعیت جغرافیایی، ویژگی های هیدرولوژیکی خاک، بارش و نوع و تراکم پوشش گیاهی تغییر می کند. بنابراین برآورد آن در مقیاس جغرافیایی وسیع با استفاده از روش های سنتی امکان پذیر نیست. با استفاده از سنجش از دور و پردازش تصاویر ماهواره ای می توان تبخیر-تعرق را برای مناطق وسیع با دقت خوبی برآورد نمود. مدل های مختلفی توسط محققین ارائه شده است که با استفاده از تصاویر ماهواره ای و داده های زمینی شار انرژی در سطح برآورد می شود. این مدل ها در مطالعات گوناگونی در نقاط مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته و اعتبارسنجی شده اند. (Allen et al. (2005 در پژوهشی مقدار تبخیر-تعرق برای چمن و چغندر قند را با استفاده از مدل METRIC برآورد نمودند و نتایج بدست آمده را با مقادیر اندازه گیری شده توسط لایسیمتر مورد مقایسه قرار دادند. در استفاده از مدل، مقدار خطای برآورد تبخیر-تعرق در فصل رشد برابر چهار درصد بود. در طی مطالعه ای، (Folhes, et al. (2009 با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و مدل توازن انرژی METRIC مقدار تبخیر-تعرق را در برزیل محاسبه کردند. (Jamshidi et al. (2019 برای بررسی دقت مدل SEBS و METRIC در برآورد تبخیر-تعرق با تصاویر ماهواره ای با وضوح متفاوت، در طی مطالعه ای مقدار تبخیر-تعرق را با استفاده از الگوریتم های SEBS و METRIC و تصاویر لندست و مادیس برای منطقه خشک و نیمه خشک گربایگان در جنوب ایران بررسی نمودند. آن ها نشان دادند که نتایج مقدار تبخیر-تعرق بدست آمده از تصاویر مادیس برای مناطق پوشش گیاهی تنک و ناهمگن کمتر از مقدار واقعی بود. و تبخیر-تعرق بدست آمده با استفاده از تصاویر لندست با تفکیک مکانی پایین تر در مقایسه با تصاویر مادیس دقت بالاتری داشت. میانگین خطای مدل های METRIC و SEBS به ترتیب برابر ۵٪ و ۱۳٪ بود. کمالی و نظری در مطالعه ای برای تعیین نیاز آبی ذرت علوفه ای، واقع در استان مازندران از تصاویر ماهواره لندست و الگوریتم سبال استفاده

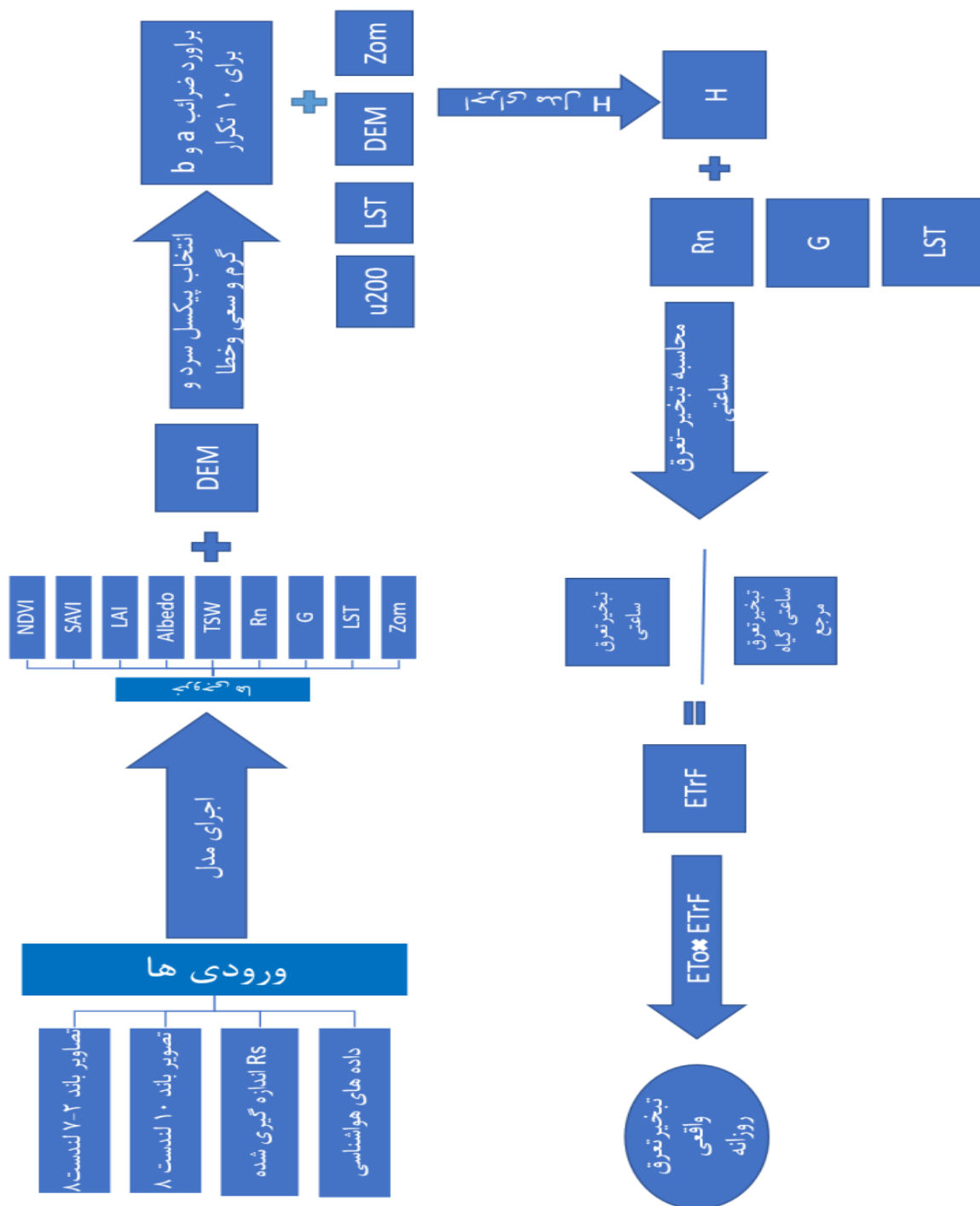
## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

کردند. و تبخیر-تعرق برآورد شده با مقدار ریشه متوسط مربع خطا (RMSE)، ۰/۷۳، ۱/۳۸ و ۰/۷۴ میلی-متر بر روز برخوردار بود و بیان کردند استفاده از روش‌هایی مانند لایسیمتر گران و وقت‌گیر است و سنجش از دور می‌تواند یک روش مفید برای انجام این کار باشد. در این بررسی، به نمونه‌هایی از برآورد تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مدل‌های مبتنی بر داده‌های سنجش از دور در اراضی زراعی و باغی پرداخته می‌شود و کارایی آن‌ها در تعیین بهره‌وری آب و راندمان آبیاری ارزیابی می‌شود.

اساس نظری و محاسباتی مدل METRIC توسط Allen et al. (2007) شرح داده شده است. به طور کلی در مدل METRIC، تبخیر - تعرق تصاویر ماهواره‌ای با بکارگیری یک بیلان انرژی در سطح تعیین می‌شود. بصورتیکه انرژی مصرف شده توسط جریان ET به عنوان یک باقی مانده از معادله انرژی سطحی محاسبه می‌شود. در واقع تابش خالصی که از جو به زمین می‌رسد شامل سه قسمت می‌باشد. بخشی باعث گرم شدن هوای بالای سطح زمین، بخشی صرف گرم شدن خاک و بقیه باعث تبخیر-تعرق می‌شود. بیلان انرژی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$R_n = ET + G + H \quad (1)$$

که در آن  $R_n$  تابش خالص رسیده به زمین، ET تبخیر-تعرق واقعی، H شدت گرمایی که باعث گرم شدن هوا می‌شود و G شدت جریان گرمایی به زمین می‌باشند. در مدل سازی صورت گرفته، اجزای معادله بالا بر طبق اساس نظری آن کدنویسی شد و مدل نوشته شده با استفاده از ورودیهای مختلف هواشناسی و همچنین تصاویر ماهواره‌ای لندست و داده‌های رقوم ارتفاعی بدست آمده از ماهواره استر اجرا گردید. مراحل محاسبه تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مدل METRIC در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- مراحل محاسبه تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از مدل متریک

### برآورد $WP_{ET}$ ، $WP_I$ و $E_I$

برای برآورد  $WP_{ET}$  لازم است مقادیر تبخیر-تعرق واقعی برآورد و محصولات برداشتی در سطح مزارع اندازه‌گیری شود، برای برآورد راندمان آبیاری  $E_I$  لازم است مقادیر آب آبیاری اندازه‌گیری و تبخیر-تعرق واقعی در سطح مزارع برآورد شود، ولی برای برآورد  $WP_I$  لازم است مقادیر آب آبیاری و محصولات برداشتی در سطح مزارع اندازه‌گیری شود.

$$WP_{ET} =$$

$$(۲) \frac{GY}{ET_a}$$

$$WP_I =$$

$$(۳) \frac{GY}{I}$$

$$E_I = \frac{ET_a}{I+Rain} \quad (۴)$$

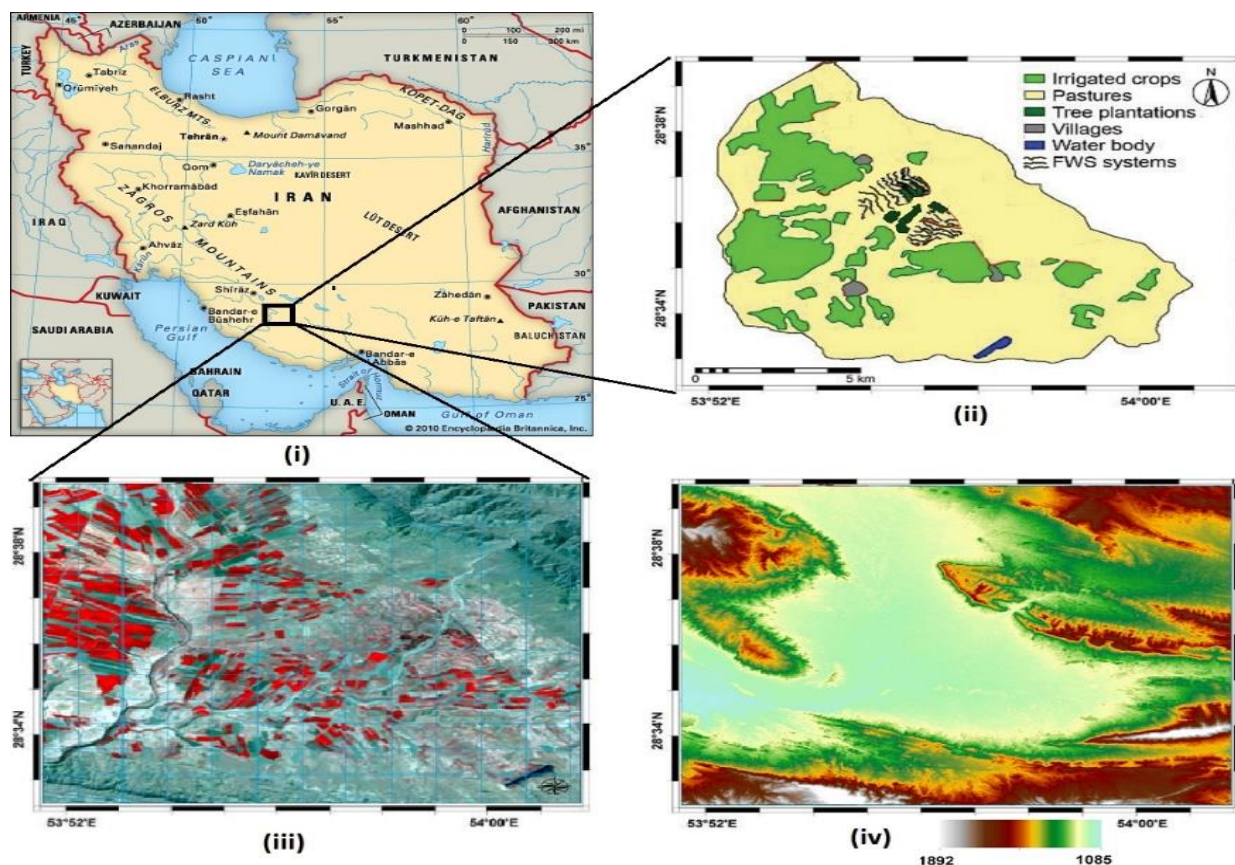
که در آنها  $GY$  محصول تولیدی (کیلوگرم بر هکتار)،  $ET_a$  حجم تبخیر-تعرق واقعی (مترمکعب در هکتار)،  $E_I$  راندمان آبیاری و  $Rain$  و  $I$  به ترتیب حجم بارندگی و آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) می باشد.

نمونه های موردی از برآورد تبخیر-تعرق واقعی روزانه و راندمان آبیاری با استفاده از داده های سنجش از دور

الف- دشت گریبایگان فسا

در تحقیقی در منطقه گریبایگان (Jamshidi et al. (2019) برای برآورد تبخیر-تعرق محصولات کشاورزی تابستانه (غالباً ذرت) و زمستانه (گندم) دقت مدل  $METRIC$  را با خطای میانگین ۷ درصدی گزارش کردند (جدول ۲ و شکل ۳).

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۳- موقعیت دشت گریبایگان در ایران (i)، کاربری اراضی (ii)، تصویر Landsat در سال ۱۳۸۹ (iii) و نقشه ارتفاعی Dem (iv)

حدول ۲- مقادیر تبخیر-تعرق واقعی برآورد شده، بارندگی و آب آبیاری ( $m^3 ha^{-1}$ ) محصولان تابستانه و زمستانه دشت گریبایگان در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۹ (Jamshidi et al, 2019)

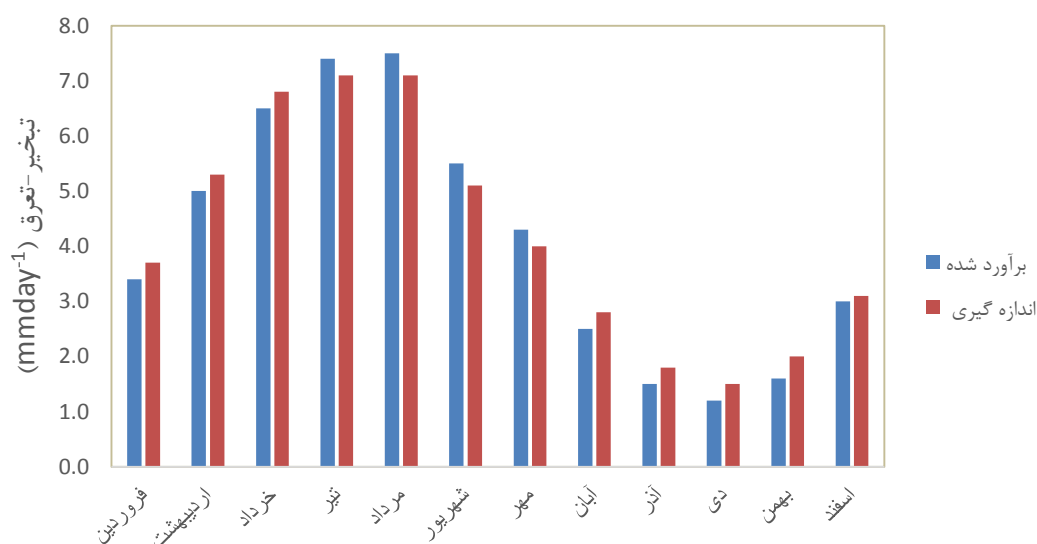
|        | Area | Irrigation        | Effective rainfall | Net water | METRIC     | SEBS       |
|--------|------|-------------------|--------------------|-----------|------------|------------|
| Crops  | (ha) | ( $m^3 ha^{-1}$ ) |                    |           | estimation | estimation |
| Winter | 1234 | 4800              | 1000               | 5.44      | 5.66       | 4.81       |
| Crops  |      |                   |                    |           |            |            |

|        |     |      |   |      |      |      |
|--------|-----|------|---|------|------|------|
| Summer | 716 | 9800 | 0 | 5.33 | 5.02 | 6.16 |
| Crops  |     |      |   |      |      |      |

## ب- باغ مرکبات کازرون

جمشیدی و همکاران در سال ۱۳۹۶ در تحقیق دیگری در شهرستان کازرون در برآورد تبخیر-تعرق باغات مرکبات، مدل METRIC را بکار گرفتند و خطای میانگین ۸/۷٪ را درصدازش کردند. همچنین حجم آب مصرفی در باغ مذکور در جدول (۳) و شکل ۴ ارائه شده است که با توجه به مقادیر اندازه گیری شده آب پمپاژ شده و نقشه های تبخیر-تعرق واقعی تهیه شده با مدل METRIC، از این میزان آب مصرفی، بصورت میانگین ۱۶٪ به عنوان سهم فرونشست عمقی (راندمان ۸۴٪) برآورد شد.

۱



شکل ۴- مقایسه مقدار تبخیر-تعرق ماهانه برآورد شده از مدل METRIC در مقایسه با نتایج اندازه گیری شده ( $\text{mm day}^{-1}$ ) باغ مرکبات کازرون (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۶).

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

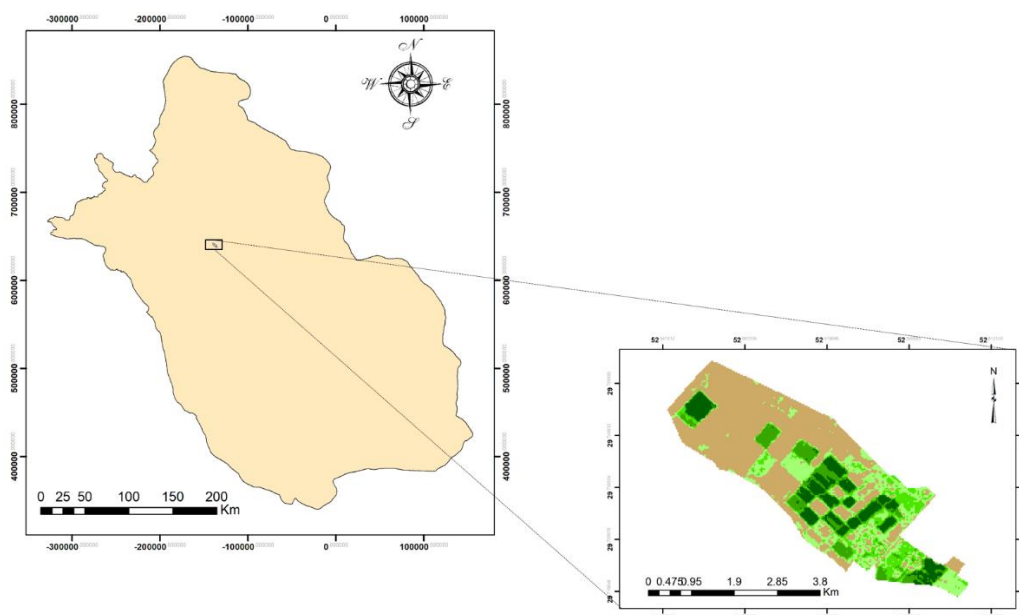
جدول ۳- حجم آب آبیاری و بارندگی ماهیانه و مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق با مدل METRIC در باغ مورد مطالعه بر حسب مترمکعب (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۶).

|          | اسفند | بهمن  | دی   | آذر  | آبان | مهر  | شهریور | مرداد | تیر   | خرداد | اردیبهشت | فروردین |
|----------|-------|-------|------|------|------|------|--------|-------|-------|-------|----------|---------|
| Measured | ۴۰۰۰  | ۱۰۰۰  | ۲۸۰۰ | ۲۲۵۰ | ۶۰۰۰ | ۸۵۰۰ | ۱۰۸۰۰  | ۱۵۳۰۰ | ۱۵۳۰۰ | ۱۰۳۰۰ | ۱۴۵۰۰    | ۱۱۶۰۰   |
| Rainfall | ۱۹۰۰  | ۱۰۰۰۰ | ۲۷۰  | ۱۱۰۰ | ۰    | ۰    | ۰      | ۳۳۰   | ۰     | ۰     | ۰        | ۹۰۰     |
| METRIC   | ۵۴۰۰  | ۲۸۸۰  | ۲۱۶۰ | ۲۷۰۰ | ۴۵۰۰ | ۷۷۴۰ | ۹۹۰۰   | ۱۳۵۰۰ | ۱۳۳۲۰ | ۱۱۷۰۰ | ۹۰۰۰     | ۶۱۲۰    |

. با تهیه نقشه های NDVI و تبخیر-تعرق منطقه، و با در دست داشتن نقشه های کاداستر، میزان آب مصرفی از منابع آبی موجود در هر منطقه با کاربری های مختلف اراضی اعم از تمامی زمین ها، مزارع و باغات را می توان با سنجش از دور پایش کرد (جمشیدی و همکاران، ۱۳۹۶).

### ج- اراضی دانشکده کشاورزی

در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز (شکل ۵) با استفاده از الگوریتم METRIC و تصاویر لندست ۸ اقدام به برآورد مقدار تبخیر-تعرق گندم و ذرت علوفه ای شد. پس از دریافت داده های مورد نیاز، مدل METRIC برای تصاویر دریافت شده در طول فصل رشد گندم، اجرا شد.

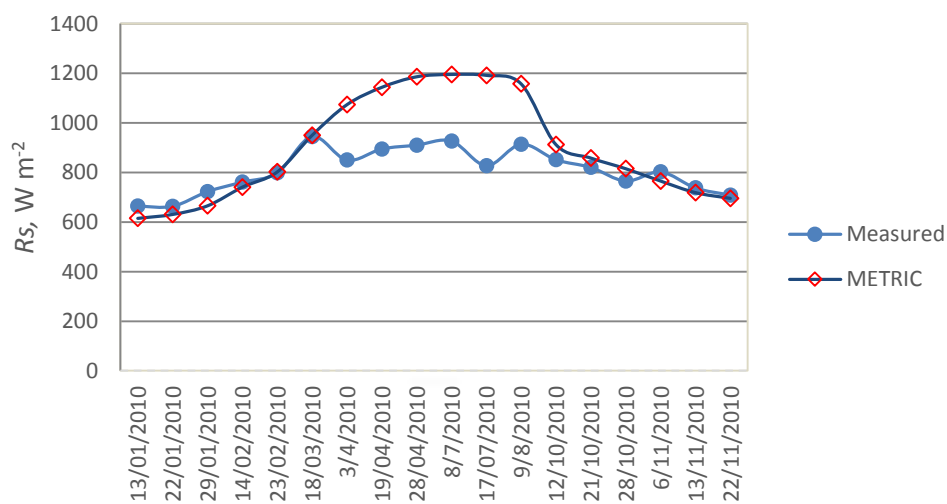


شکل ۵- موقعیت جغرافیایی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز

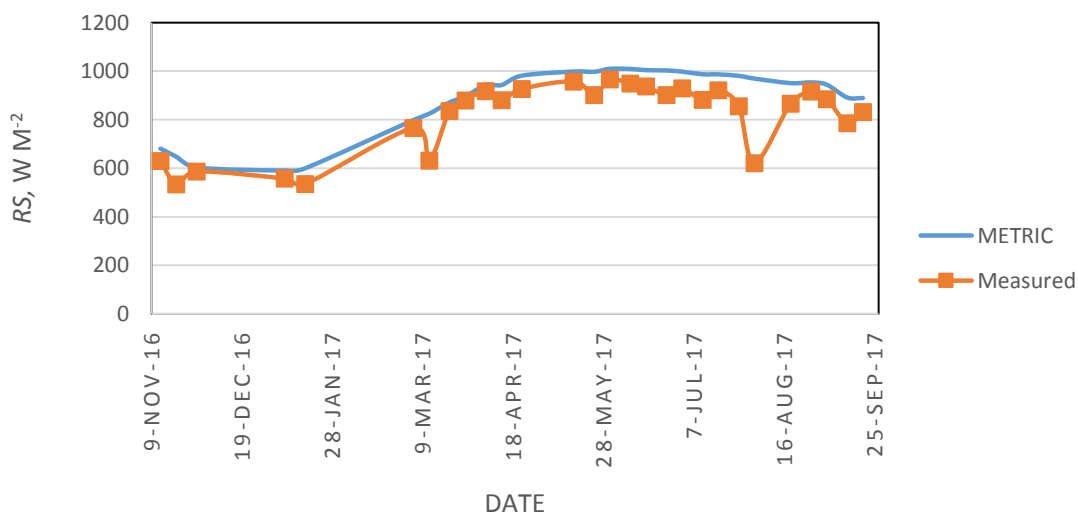
مطابق شکل (۲) بعد از بررسی خروجی‌های مدل شامل  $NDVI$ ،  $SAVI$ ،  $Rs$  (تایش خورشیدی)،  $G$  (جریان گرمایی خاک) ... و اصلاح برخی موارد اثرگذار مانند  $Rs$  در شکل (۶) نشان داده شده است. در این شکل بعنوان مثال مقادیر محاسبه شده  $Rs$  با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاههای هواشناسی شیراز و فسا مقایسه گردید (شکل ۶). با توجه به اهمیت مقدار تابش خورشیدی در مقادیر تبخیر-تعرق تخمین زده شده توسط مدل  $METRIC$ ، برای رسیدن به دقت بالاتر از داده های اندازه گیری شده تابش خورشیدی در هر محل استفاده شد. در شکل (۷) یکی از نقشه‌های تبخیر-تعرق بدست آمده در تاریخ ۱۷ فروردین ۱۳۹۶ در اراضی دانشکده کشاورزی نشان داده شده است. تغییرات تبخیر-تعرق در اراضی مورد مطالعه به صورت طیف رنگی نشان داده شده است و بیشترین مقدار آن ۵/۵۹ میلی‌متر در روز بود. با بررسی سری زمانی نقشه‌های تبخیر-تعرق می‌توان میزان مصرف آب هر یک از مزارع گندم و یا کل مزارع را برآورد کرد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### Fassa

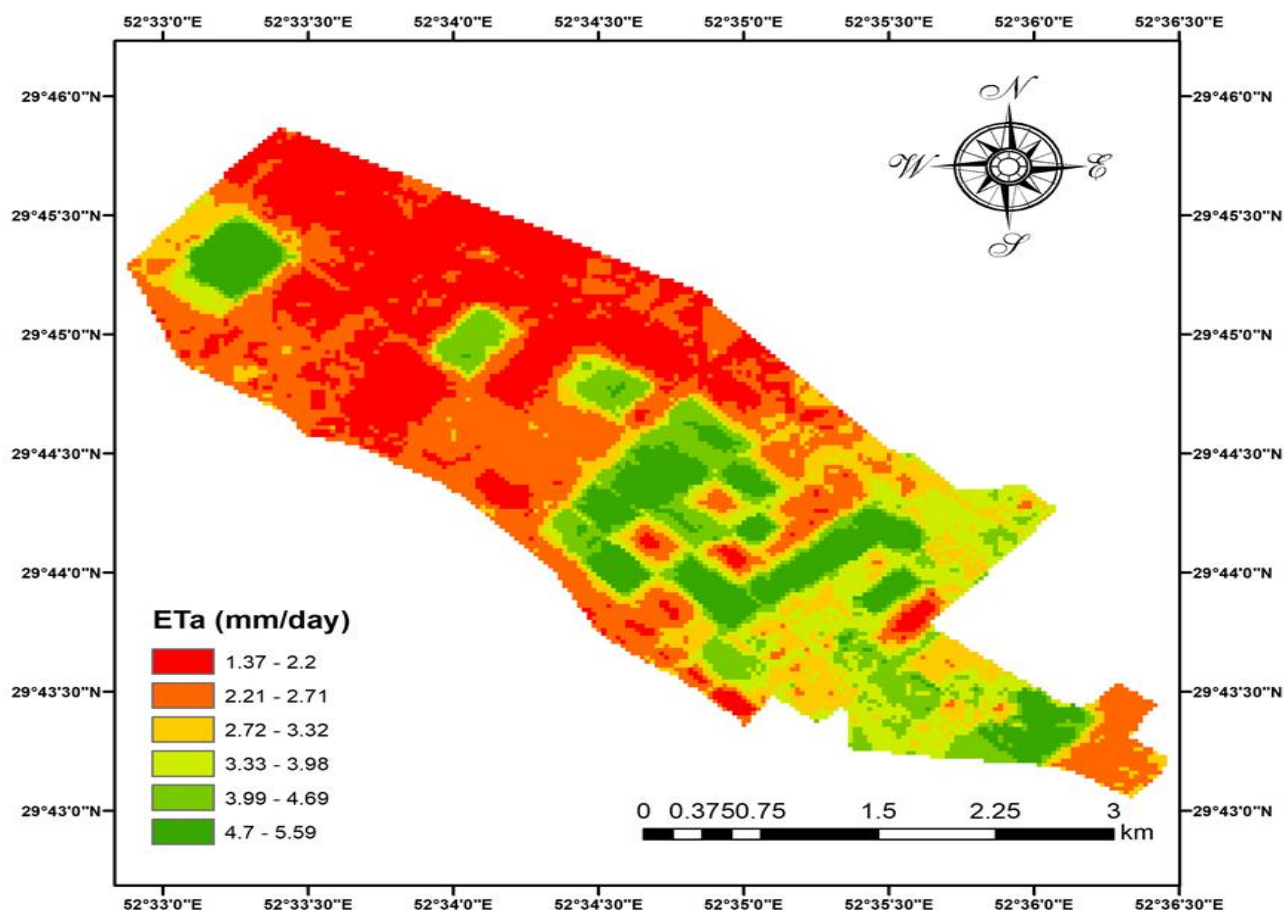


### SHIRAZ



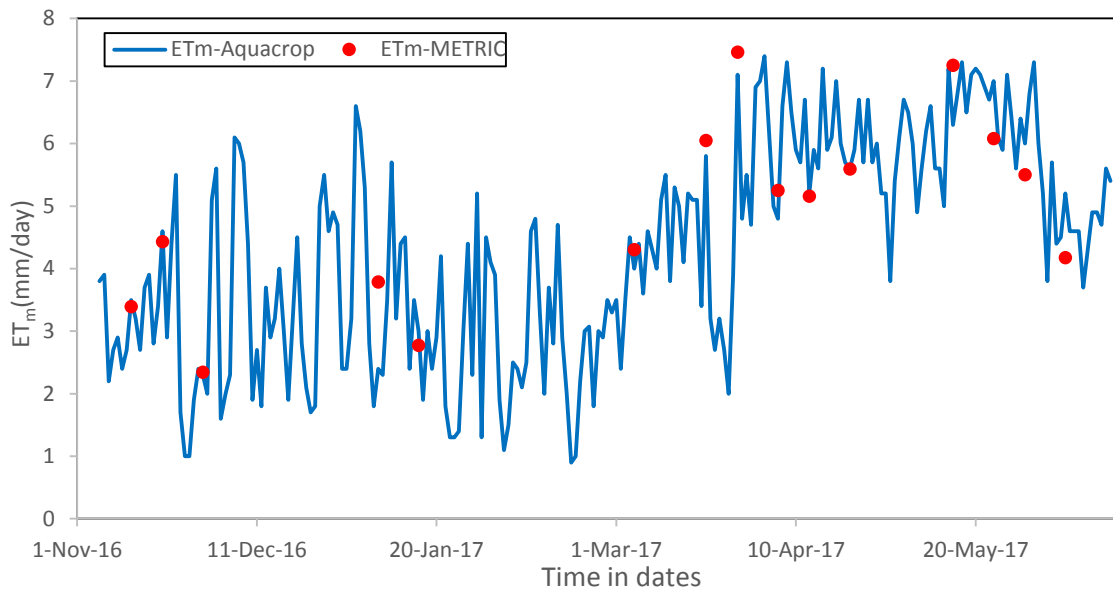
شکل ۶ - مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده با  
مدیر ایستگاههای هواشناسی شیراز و فسا

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

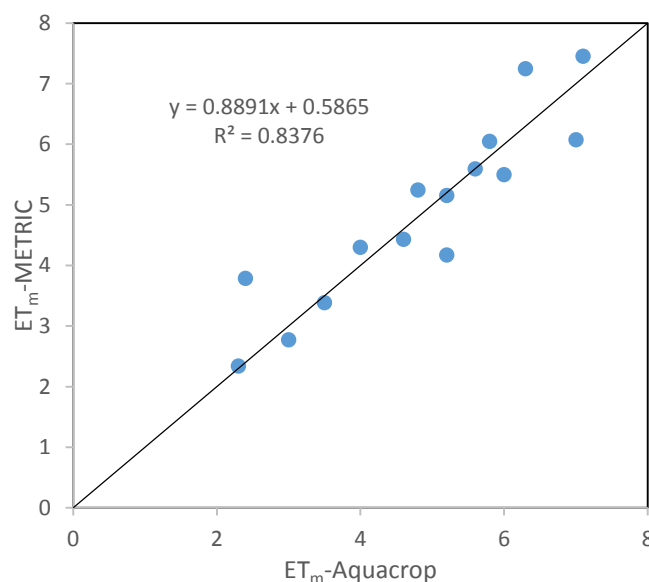


شکل ۷- مقادیر تبخیر-تعرق واقعی با مدل *METRIC* در ارضی دانشکده کشاورزی در تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۱۷

جهت ارزیابی مدل *METRIC* از مزارعی که به تازگی آبیاری شده بودند استفاده گردید و نتایج آن با مقادیر تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل واسنجی شده *AquaCrop* (زندپارسا و همکاران، ۱۳۹۵) مورد مقایسه قرار گرفت. برای این منظور، مدل *AquaCrop* با این فرض که آبیاری به گونه‌ای انجام شده است که رطوبت خاک همیشه در حالت ظرفیت زراعی است و در نتیجه تبخیر-تعرق حاصله در حالت بالقوه است، اجرا شد. مقادیر مختلف تبخیر-تعرق بدست آمده از مدل *METRIC* و *AquaCrop* در روزهای مختلف بعد از رشد گیاه گندم در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده، در بعضی از روزها که قبل از زمان عبور ماهواره لندست، بارندگی وجود داشته و مدل *METRIC* تبخیر-تعرق را بیشتر از مدل *AquaCrop* برآورد نموده است. شاخص‌های آماری  $R^2$  و  $NRMSE$  بدست آمده به ترتیب برابر ۰/۸۴ و ۰/۱۲ می‌باشد که نشان دهنده دقت خوب مدل می‌باشد (شکل ۹)



شکل ۸- مقادیر بالقوه تبخیر-تعرق گندم با استفاده از مدل‌های *METRIC* و *AquaCrop* در ارضی دانشکده کشاورزی در طول فصل رشد



شکل ۹- مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق روزانه برآورد شده با مدل‌های *METRIC* و *AquaCrop* در سال ۹۶ برای گندم

با استفاده از نتایج تبخیر-تعرق حاصله از مدل *METRIC* و مقدار محصول مزارع گندم اراضی مورد مطالعه، بهره‌وری تبخیر-تعرق آب برابر ۰/۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد گردید. (2004) Zwart and Bastiaanssen بیان کردند که بهره‌وری تبخیر-تعرق محصول گندم در ۲۸ منطقه در ۱۳ کشور برابر ۱/۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب با محدوده تغییرات از ۰/۶ تا ۱/۷ کیلوگرم در مترمکعب بود

که به علت بالا بودن تبخیر-تعرق نشان دهنده کم بودن مقدار  $WP_{ET}$  می باشد .

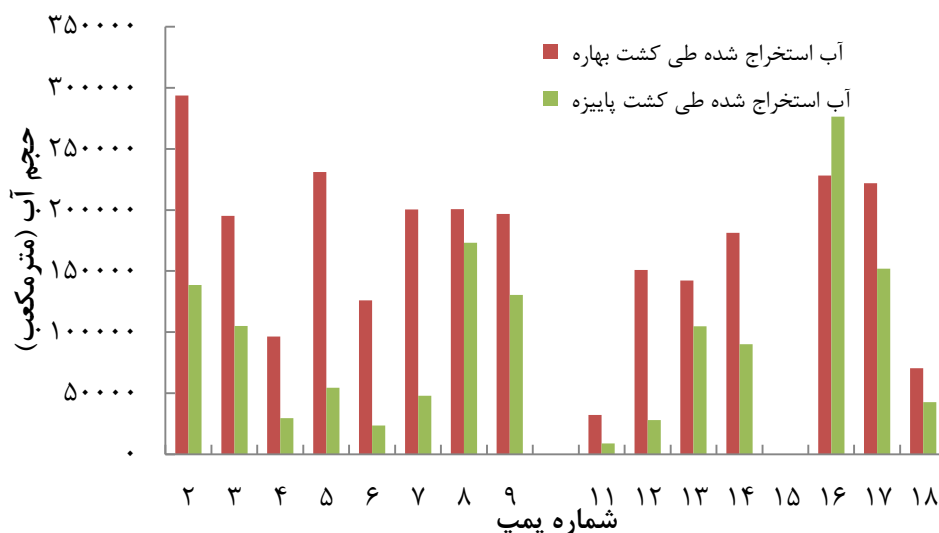
### اندازه‌گیری آب آبیاری

برای اندازه‌گیری آب آبیاری، لازم است با روشهای مختلف در قسمتهای مختلف مزارع، به صورت پیوسته دبی جریان آب و در نهایت حجم آب آبیاری، اندازه‌گیری شود. به عنوان مثال در مجموعه مزارع دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز تعداد ۱۸ پمپ وجود داشت که هرکدام از این پمپها یک یا چند قطعه از اراضی موجود در مجموعه را آبیاری می‌کردند. در صورتی که پمپها مجهز به کنتورهای حجمی بودند، این کار براحتی صورت می‌گرفت، ولی متأسفانه به علت هزینه بالای کنتور، هنوز نصب نشده‌اند. به طور کلی در این مجموعه ۳۶ قطعه مزرعه به مساحت ۸۲۵ هکتار وجود دارد که توسط پمپهای موجود آبیاری می‌شوند. در برخی موارد کانال انتقال و یا حوضچه تخلیه چند پمپ مشترک هستند که عملاً امکان تفکیک آب تکتک پمپها میسر نمی‌شود و به ناچار هرچند پمپ مشترک در یک گروه قرار گرفته و مزارع آنها نیز در یک گروه قرار داده شده‌اند. به منظور اندازه‌گیری دبی چاه‌هایی که دارای حوضچه بودند از روش حجم-زمان استفاده شده‌است. برای اندازه‌گیری دبی چاه‌هایی که فاقد حوضچه بوده‌اند از سازه فلوم گلوبند استفاده شده بود.

با قرائت ماهیانه برق مصرفی در هر چاه، امکان محاسبه حجم کل آب پمپاژ شده از هر چاه (شکل ۱۰) در دوره رشد به شرح زیر قابل محاسبه می‌گردید:

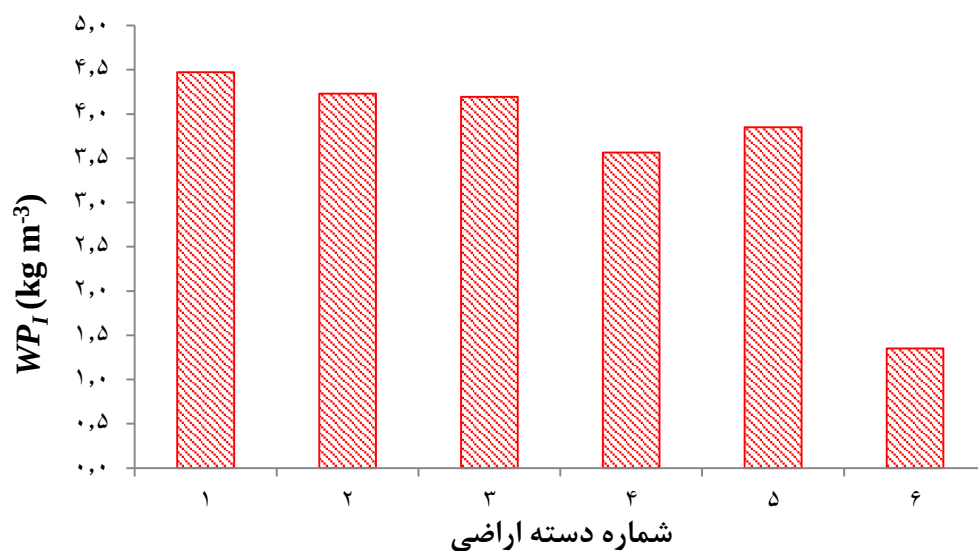
$$V_T = \frac{KWh_T}{KWh_I} \quad (5)$$

که در آن  $V_T$  حجم کل آب پمپاژ شده در ماه و  $KWh_T$  کل کیلووات ساعت برق مصرفی ماهانه و  $KWh_I$  مقدار واسنجی شده کیلووات ساعت لازم برای پمپاژ واحد حجم آب در هرچاه می باشد.

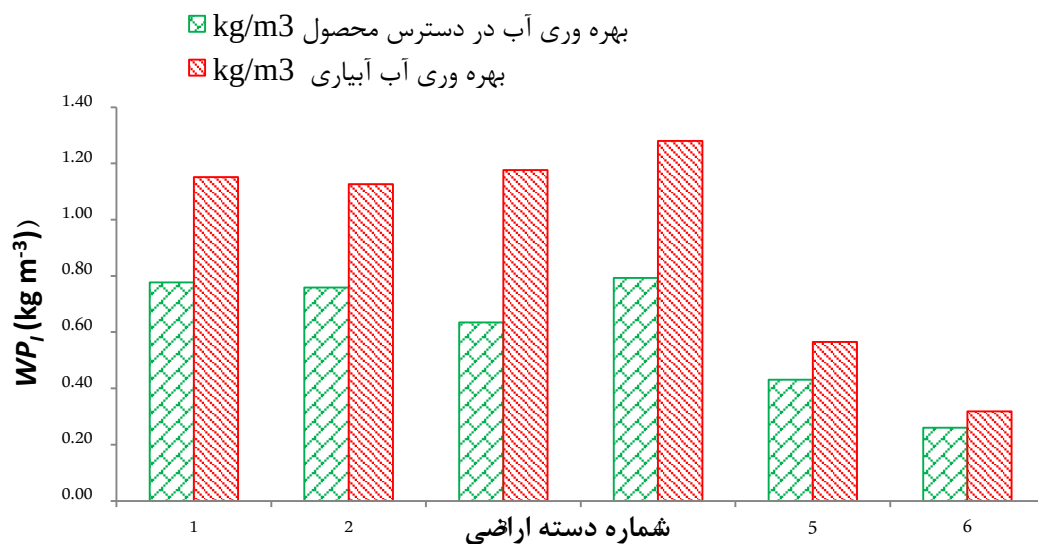


## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شکل ۱۰- حجم آب پمپاژ شده از هریک از چاه‌های مجموعه در طی دوره کشت ذرت بهاره و گندم پاییزه مطابق شکل (۱۱) در کشت بهاره ذرت علوفه‌ای، با توجه به اندک بودن بارندگی و تأمین تقریباً تمام آب موردنیاز گیاه از طریق آبیاری در طی فصل کشت، بی ۱/۳ تا ۴/۵ کیلوگرم محصول بر مترمکعب بود. تقریباً تمامی بارش‌های رخ داده در سال زراعی موردنظر در طی مدت رشد گیاه گندم بود و حجم آبیاری، بارندگی و نیز محصول تولیدی از هر گروه از قطعات اندازه‌گیری شد. مطابق شکل (۱۲) میزان بهره‌وری محاسبه شده بین ۱/۲۷ تا ۱/۲۸ کیلوگرم محصول بر مترمکعب در سیستم آبیاری سطحی و حدود ۰/۲۶ - ۰/۴۲ کیلوگرم در متر مکعب در آبیاری بارانی بود (شماره‌های ۴ تا ۶).



شکل ۱۱- بهره‌وری آب آبیاری ( $WP_I$ ) در کشت ذرت علوفه‌ای بهاره در همه گروه‌های مزارع



شکل ۱۲- بهره‌وری آب آبیاری ( $WP_I$ ) در کشت گندم پاییزه آذر در همه گروه‌های مزارع با و بدون احتساب بارندگی

## نتیجه گیری

پژوهش‌های انجام شده گویای این است که الگوریتم METRIC و استفاده از تصاویر لندست از دقت بالایی در برآورد تبخیر-تعرق واقعی برخوردار است. اندازه‌گیری تبخیر-تعرق واقعی در سطوح وسیع با استفاده از روش‌های نقطه‌ای مانند لایسمتر و ادی کواریانس امکان پذیر نمی‌باشد. به همین دلیل استفاده از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور، مانند مدل متریک توصیه می‌شود. در این بررسی با استفاده از مدل متریک و تصاویر لندست ۸ مقدار تبخیر-تعرق در طول فصل رشد گندم زمستانه در گریبایگان فسا و اراضی دانشکده کشاورزی و مرکبات در کازرون برآورد گردید. دقت مدل METRIC در برآورد تبخیر-تعرق واقعی مناسب است و با اندازه‌گیری محصولات تولیدی، آب آبیاری و بارش می‌توان با دقت مناسبی مقادیر بهره‌وری آب تبخیر-تعرق، بهره‌وری آب آبیاری و راندمان آبیاری را برآورد نمود.

## منابع

- Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Wright, J. L., Bastiaanssen, W., Robison, C. W. (2007). Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)—Applications. *Journal of Irrigation Drainage Engineering* , 133(4), 395-406.
- Jamshidi, S., Zand-parsa, S., Pakparvar, M., & Niyogi, D. (2019). Evaluation of Evapotranspiration over a Semiarid Region Using Multiresolution Data Sources. *Journal of Hydrometeorology*, 20(5), 947-964.
- Jamshidi, S., Sh. Zand-Parsa, A. A. Kamgar-Haghighi, A.R. Shahsavar, and D. Niyogi: 2020. Evapotranspiration, Single and dual crop coefficients, and physiological responses of citrus trees (Washington Navel Orange) under a Semi-arid climate. *Agricultural Water Management*. 227, 105838.
- Kamali, M. I., & Nazari, R. (2018). Determination of maize water requirement using remote sensing data and SEBAL algorithm. *Agricultural Water Management*, 209, 197-205.
- Kijne, J. W., Barker, R., & Molden, D. J. (2003). Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. CAB International, Wallingford, UK: xi-ixx.
- Sci. USA **2008**, 105, 18215–18220.
- Ward, F.A.; Pulido-Velazquez, M. Water conservation in irrigation can increase water use. *Proc. Natl. Acad.*
- Wichelns, D. (2014). Do Estimates of Water Productivity Enhance Understanding of Farm-Level Water Management?, *Water* , 6, 778-795.
- Zhou, Q., Zhang, Y., and Wu, F. 2021. Evaluation of the most proper management scale on water use efficiency and water productivity: A case study of the Heihe River Basin, China. *Agricultural Water Management*, 246, 106671.
- Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigate wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management* 69(2): 115-133.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

جمشیدی س، زندپارسا ش، دیداری ش. ۱۳۹۶. کاربرد سنجش از دور در تشخیص جرایم آب با برآورد تبخیر-تعرق واقعی و آب مصرفی باغات مرکبات کازرون. مجموعه مقالات همایش ملی بحران آب، جرائم و آسیب‌ها؛ از علت‌شناسی تا پیشگیری، مهرماه ۱۳۹۶. ص: ۲۲۸-۲۳۹.

حیدری، ن. ج. ۱۳۹۴. تعیین و ارزیابی شاخص کارایی مصرف آب پتانسیل و مزیت نسبی کشت محصولات زراعی و باغی عمده فاریاب در حوضه آبریز کرخه. گزارش پژوهش نهایی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

زندپارسا ش، پرویزی س، سپاس خواه ع ر، مهید م. ۱۳۹۵. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی‌شده رطوبت خاک، ماده خشک و عملکرد دانه گندم زمستانه رقم شیراز با استفاده از مدل‌های WSM و AquaCrop. علوم آب و خاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی- جلد ۲۰ شماره ۷۷ ص: ۵۹-۷۰.

سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۸۳. نگرشی دوباره بر پژوهش‌های بازده آبیاری در ایران. مجموعه مقالات روش‌های پیشگیری از اتلاف منابع ملی، ۲۱-۱۹ خردادماه ۱۳۸۳، تهران، صفحات ۶۲-۵۳.

عباسی ف، ناصری ا، سهراب ف، عباسی ن. (۱۳۹۴). تحلیلی بر راندمان و بهره‌وری مصرف در بخش کشاورزی. هم‌اندیشی میزان منابع آب موجود در کشور و تخصیص آب در بخش کشاورزی: تعامل و تفاهم‌ها. فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، گروه کشاورزی. ۲۹ مهر ۱۳۹۴.

کشاورز. ع و ک. صادق زاده. ۱۳۷۹. مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. نشریه شماره ۳.

نی ریزی، س؛ و حلمی فخردادود ر. ۱۳۸۲. مقایسه کارایی مصرف آب در چند نقطه خراسان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ص: ۴۰۳-۳۹۱.

### تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط زیست: چشم انداز و سیاست‌های لازم

افشین سلطانی، اسکندر زند، سید مجید عالیمقام، علیرضا نه‌بندانی، حسین بارانی، الیاس سلطانی، بنیامین ترابی، ابراهیم زینلی، شهرزاد میرکریمی و رامتین جولایی، تکتم خسرویان، احسان حبیب‌پور کاشفی، صفورا جعفرنوده، امیر دادرسی، ثریا قاسمی، سمانه رهبان، شبیم پور شیرازی، عبدالرضا بهره‌مند، امیراحمد دهقانی، فرشید اشراقی، محمود بهمنی، داریوش قتاح طالقانی، کریم احمدی، مریم محمدرضایی، شیدا گلی، امید الستی، رقیه السادات حسینی، محبوبه زاهد، حسنا فیاضی، حسین کمری، راحله عرب عامری، زهرا محمدزاده، سمانه محمدی، صالح کرامت، نعیمه سوسرای، محبوبه آشاور و ماح احمدی و رضا تقدیسی نقاب، حمید رحیمیان مشهدی، تقی قورچی، بهروز دستار، فرهاد خرمالی، حسین دهقانی سانچ، بهنام کامکار، توماس آر سینکلر، مارتین کی ون ایترسام، وینسنت وادز و مارلوس پی لون

### چکیده

ابهامات و نگرانی‌های جدی در ارتباط با امنیت غذایی در کشور وجود دارد. موضوعاتی مثل افزایش جمعیت، خشکسالی و تغییر اقلیم بر این ابهامات و نگرانی‌ها افزوده‌است به‌ویژه این که منابع آب و زمین در کشور محدود است و مدیریت مصرف نهاده‌ها (مثل انرژی) و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از ضروریات می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه کمک به جهت‌گیری‌های صحیح در فعالیت‌های کشاورزی و امنیت غذایی با ارزیابی کمی همبست آب-زمین-غذا-محیط زیست بود. بدین منظور، در این مطالعه سیستمی (سیستم ارزیابی یکپارچه آب، زمین، غذا و محیط زیست: SEA<sup>۴۰</sup>) برای توصیف کمی و ارزیابی یکپارچه همبست آب-زمین-غذا-محیط زیست در سطح کشوری تهیه شد و با آن وضعیت کنونی و آینده تولید و تقاضا برای غذا در کشور بررسی

<sup>۴۰</sup> System for integrated Assessment of water, land, food and environment (SEA)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

گردید. مهم‌ترین چالش‌های پیش رو عبارتند از: افزایش جمعیت و تامین غذای آن‌ها، تغییر اقلیم، لزوم کاهش برداشت آب برای کشاورزی و محدودیت‌ها در اراضی موجود مثل نامستعد بودن، شوری، پایین بودن ماده آلی خاک‌ها و تغییر کاربری اراضی مستعد کشاورزی به غیر کشاورزی. مهم‌ترین ظرفیت‌ها عبارتند از مدیریت تقاضا از طریق تغییر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات، فشرده سازی اکولوژیک و تغییر الگوی کشت. بر اساس چالش‌ها و ظرفیت‌ها، این مطالعه دو برنامه راهبردی برای حرکت صحیح در محدوده افق ۲۰۳۰ ارائه نموده است. در صورت اجرای این برنامه‌ها با کشاورزی سر و کار خواهیم داشت که در آن بهره‌برداری از آب برای کشاورزی به هزینه مقداری کاهش خودکفایی در حد پایدار تعدیل شده است. تولید و خودکفایی در محصولات با آب مجازی بالا (مثل محصولات دامی یا علوفه‌ای، گیاهان قندی، دانه‌های روغنی تابستانه و برنج) کاهش می‌یابد که در نتیجه واردات آن‌ها باید بیشتر شود و در مقابل تولید و صادرات محصولاتی با آب مجازی پایین مثل سیب‌زمینی، صیفی-سبزی، میوه‌جات و حبوبات افزایش پیدا می‌کند. در بهترین برنامه که اجرای آن تاکنون در این سرزمین تجربه نشده است، حفظ خودکفایی در شرایطی که استفاده از آب و خاک در مرز ایمن و پایدار باشد، در حد کنونی مقدور است و نه بیشتر، اما خودکفایی در گندم در حد کنونی حفظ شده یا افزایش می‌یابد. با اجرای این برنامه‌ها تراز تجاری بخش کشاورزی که در حال حاضر منفی است، همچنان منفی باقی خواهد ماند اگرچه با اجرای برنامه دوم شرایط تا حدودی بهبود می‌یابد. اجرای این برنامه‌ها مستلزم کوچک شدن سطح زیر کشت آبی است که در نتیجه آن اشتغال در بخش کشاورزی نیز کوچکتر می‌شود. در صورت عدم اجرای این برنامه‌ها و اقدامات توصیه شده این گزارش، ممکن است پیامدهای زیانبار ناشی از بهره‌کشی از منابع آب و خاک از مرزهای برگشت‌پذیر عبور کنند و اکوسیستم‌های طبیعی که پشتیبان نظام تولید بوده و می‌توانند منبع درآمد جایگزین برای کشاورزان باشد (مثل بوم‌گردی) از بین رفته باشند. در این صورت احتمالاً در آینده باید هزینه بیشتری برای مهار طبعات آن‌ها صرف نمود (برای نمونه ایجاد ستادهای احیا دریاچه ارومیه و مبارزه با ریزگردها) و یا به روش‌های غیر متعارف و پرهزینه (مثل انتقال آب دریای خزر) روی آورد.

### مقدمه

امنیت غذایی<sup>۴۱</sup> وقتی تأمین می‌شود که "همه مردم در همه وقت به صورت فیزیکی و اقتصادی به غذای کافی، سالم و مغذی برای تأمین نیازهای روزانه خود برای یک زندگی سالم و فعال دسترسی داشته باشند" (FAO, ۲۰۰۲). امنیت غذایی دارای چهار جزء یا مولفه است که عبارت‌اند از (کسمن، ۲۰۱۲):

(۱) فراهمی و پایداری عرضه مواد غذایی<sup>۴۲</sup>،

(۲) دسترسی شامل استطاعت مالی، سیاست‌ها و عوامل بازار<sup>۴۳</sup>،

(۳) ارزش غذایی و ایمنی غذایی<sup>۴۴</sup>، و

(۴) پایداری محیط‌زیست<sup>۴۵</sup>

بنابراین، امنیت غذایی یک مفهوم چند وجهی است که نمی‌توان آن را در قالب یک عدد خلاصه نمود و لازم است جنبه‌های مختلف آن بررسی گردد. از میان مولفه‌های امنیت غذایی، مولفه اول بیش از بقیه مولفه‌ها با بهره‌برداری از منابع محیطی مثل آب و زمین و نهاده‌ها مثل کود و انرژی مرتبط است. برای مثال، بخش اعظم مصرف آب در کشاورزی با این مولفه مرتبط است. همچنین

<sup>۴۱</sup> Food security

<sup>۴۲</sup> Availability and stability of supply

<sup>۴۳</sup> Access, affordability, policies and markets

<sup>۴۴</sup> Nutrition and food safety

<sup>۴۵</sup> Environmental sustainability

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

این مولفه پیچیدگی و گستردگی زیادی دارد، افرادی زیادی درگیر آن هستند و مدیریت آن به راحتی سایر اجزا نیست. باید توجه داشت که امنیت غذایی مساوی با خودکفایی غذایی<sup>۴۶</sup> نیست. اما، خودکفایی یکی از شاخص‌های مهمی است که به ارزیابی کمی روش‌های مختلف مرتبط با تولید و یا تقاضا برای مواد غذایی، کمک می‌کند.

در ایران توجه به امنیت غذایی در کلیه اسناد بالادستی مشاهده می‌شود. ایران با جمعیتی بیش از ۸۰ میلیون نفر در منطقه‌ای ناپایدار به لحاظ ژئوپولیتیکی، یعنی خاورمیانه، قرار گرفته‌است. بارندگی کم و نامنظم، زمین‌های قابل کشت محدود و منابع آب به شدت محدود از خصوصیات ذاتی این سرزمین هستند. طی ۵۰ سال گذشته جمعیت کشور از حدود ۳۰ میلیون نفر به بیش از ۸۰ میلیون نفر افزایش یافته‌است. در طی همین زمان کشاورزی نیز گسترش یافته و هم فشرده شده‌است. پیش‌بینی می‌شود جمعیت کشور در ۲۰۵۰ از مرز ۱۰۰ میلیون نفر عبور کند (چشم انداز جمعیت جهانی: WPP، ۲۰۱۹). تامین غذای کافی و سالم برای این جمعیت یک چالش مهم خواهد بود، به‌ویژه این که به‌نظر می‌رسد منابع زمین و آب بیشتری در کشور وجود ندارد، با خشکسالی و تغییر اقلیم هم روبه‌رو هستیم، کوچک بودن مزارع و تحریم‌ها سرمایه‌گذاری در بخش کشاورزی را بسیار محدود ساخته است، اثرات منفی اضافه برداشت آب برای کشاورزی (نابودی گسترده تنوع زیستی، خشک شدن احجام آبی، پایین افتادن سطح ایستابی، طوفان‌های گرد و غبار، فرونشست زمین، و ...) در همه جا به چشم می‌خورد و مدیریت مصرف سوخت و انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز باید به اجرا گذاشته شود.

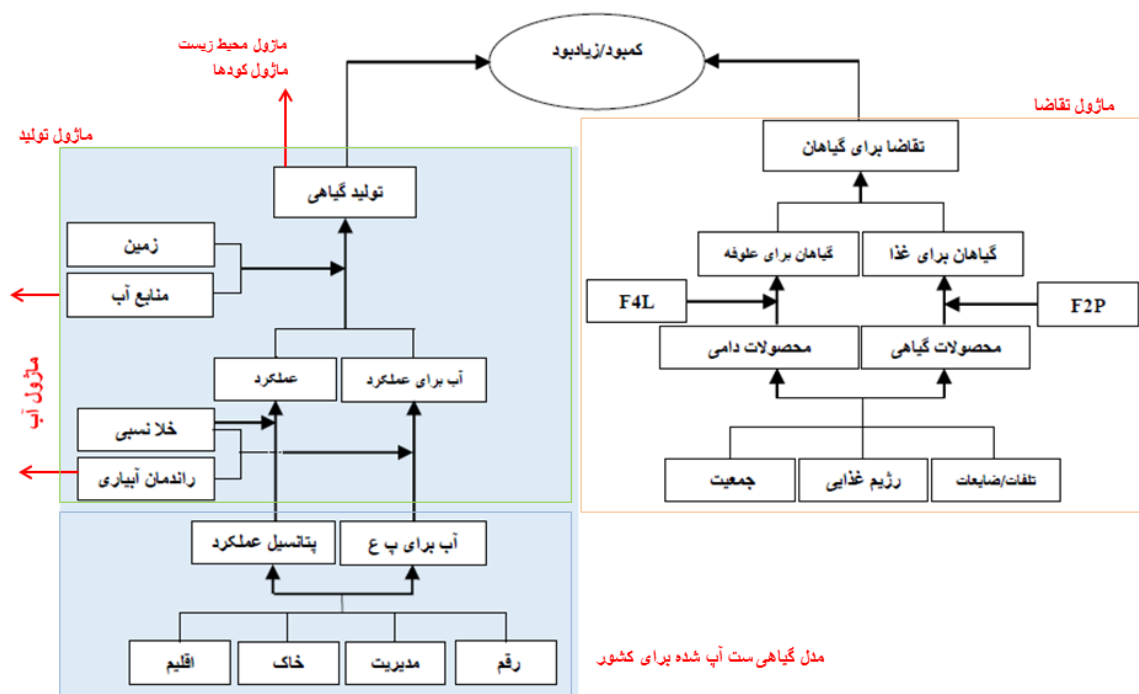
هدف اصلی این مطالعه تهیه مدلی برای همبست آب-زمین-غذا-محیط‌زیست به منظور ارزیابی جنبه‌های مختلف تولید و تقاضا برای غذا بود. هدف دیگر از این مطالعه بهره‌گیری از سیستم مذکور با روش سناریو آنالیز و تحلیل کمی وضعیت امنیت غذایی و آب در کشور تا افق ۲۰۵۰ و ارایه سیاست‌ها و راهبردهای مناسب برای بخش کشاورزی بود.

### روش‌ها

در این مطالعه سیستمی (سیستم ارزیابی یکپارچه آب، زمین، غذا و محیط زیست: SEA) برای توصیف کمی و ارزیابی یکپارچه همبست آب-زمین-غذا-محیط زیست در سطح کشوری تهیه شد تا با آن وضعیت کنونی و آینده تولید و تقاضا برای غذا در کشور بررسی گردد (شکل ۱). این سیستم متشکل از یک مدل شبیه‌سازی گیاهی و تعدادی ماژول می‌باشد. تقاضا برای محصولات گیاهی برای تغذیه مردم کشور به صورت مستقیم یا غیرمستقیم (از طریق فرآورده‌های دامی)، به عنوان تابعی از جمعیت، رژیم غذایی و تلفات-ضایعات به‌دست می‌آید. تقاضا برای محصولات یا فرآورده‌های دامی مثل گوشت، شیر و تخم مرغ، به معادل‌های گیاهی یا محصولات گیاهی که برای تولید آن‌ها مورد نیاز هستند، تبدیل می‌شوند. تولید محصولات گیاهی در سطح استانی به عنوان تابعی از پتانسیل عملکرد گونه‌های گیاهی مورد کاشت، خلا عملکرد نسبی (خلا نسبی بین پتانسیل عملکرد و عملکرد کشاورزان)، راندمان آبیاری کل (در شرایط کشت آبی) و منابع زمین و آب قابل‌دسترس در استان محاسبه می‌گردد. تولید و نیاز آبی بیش از ۳۵ گونه گیاهی مهم برآورد می‌شود و سایر گیاهان کشاورزی کشور نیز در دو دسته "سایر زراعی و سبزیجات" و "سایر باغبانی" در مدل لحاظ شدند. سیستم دارای ماژول‌هایی برای برآورد توزیع آب بین گیاهان در هر استان، برآورد نیازهای کودی گیاهان و برآورد نیازهای سوخت، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گیاهی و نیز منابع و نهاده‌های لازم (آب، زمین، کودها، انرژی) برای تامین تقاضا تحت سناریوهای مختلف می‌باشد. ارزیابی مدل شبیه‌سازی گیاهی و ماژول‌ها نشان داد که دارای کارکرد قابل‌قبول تا رضایت‌بخش هستند. برای تهیه سیستم اطلاعات متنوع و گسترده‌ای از بخش‌های مرتبط جمع‌آوری و استفاده گردید. این اطلاعات تصویری از وضعیت کنونی به‌دست می‌دهند.

<sup>۴۶</sup> Food self-sufficiency

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۱. فلوجارت سیستم SEA شامل مدل شبیه سازی گیاهی و ماژول های آن

### نتایج

وضعیت کنونی (۱۳۹۲-۱۳۹۶):

سالانه به ۱۵۲ میلیون تن (برحسب وزن تر) محصولات کشاورزی شامل گیاهی، علوفه مرتعی و دامی برای جمعیت ۸۰ میلیونی کشور نیاز است که بخش بزرگی از آن (۸۷ درصد) از طریق تولید داخلی تامین می گردد. نیاز کشور به محصولات گیاهی که بخش اعظم منابع صرف تولید آن ها در مزارع، باغات و گلخانه ها می شود، ۱۲۹ میلیون تن در سال است که ۸۵ درصد آن (۱۰۹ میلیون تن در سال) در داخل کشور تولید می شود. در مقایسه نظیر به نظیر نیاز به محصولات گیاهی و تولید آن ها (برای تغذیه مستقیم و غیر مستقیم از طریق پرورش دام)، میزان کمبود تولیدات ۳۴ میلیون تن در سال و میزان مازاد تولید ۱۴ میلیون تن در سال (وزن تر درب مزرعه) است. سالیانه کمی بیش از ۳۰ میلیون تن از محصولات کشاورزی تولید شده در داخل کشور (۳۰ درصد از کل تولید محصولات کشاورزی داخل کشور) به دلیل تلفات-ضایعات از دسترس خارج می شود که معادل هدر رفت ۲۴ درصد از کل سطح زیر کشت و ۳۲ درصد از کل آب اختصاصی بخش کشاورزی است و معادل غذای ۱۸ میلیون نفر در کشور می باشد.

آب اختصاصی به کشاورزی ۸۶ میلیارد متر مکعب در سال است که با راندمان آبیاری کل ۳۸ درصد مصرف می شود<sup>۴۷</sup>. توزیع منابع آب بین مصارف کشاورزی در سطح کشور به این قرار برآورد گردید: درختان میوه ۳۲ درصد، گیاهان با مصرف علوفه (شامل جو و ذرت) ۲۴ درصد، گندم ۱۱ درصد، برنج ۱۱ درصد، سبزی-سبزی ۷ درصد، دانه های روغنی ۳ درصد، سیب زمینی ۲ درصد، حبوبات ۱ درصد و سایر مصارف کشاورزی (دام، آبزیان، گیاهان تزئینی) ۵ درصد. وزارت نیرو حجم آب قابل برنامه ریزی

<sup>۴۷</sup> اختصاص آب بر اساس اطلاعات وزارت نیرو که مرجع رسمی اطلاعات و تخصیص آب است، می باشد. بر اساس اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، برداشت آب برای کشاورزی کمتر و حدود ۷۵ میلیارد متر مکعب در سال است. در صورتی که این برآورد را مد نظر قرار دهیم، برآورد راندمان آبیاری کل به ۴۳ درصد افزایش پیدا می کند. بنابراین، این اختلاف به راندمان آبیاری کل منتقل می گردد. در هر حال، استفاده از هر یک از برآوردهای وزارت نیرو با جهاد کشاورزی تأثیری بر نتیجه گیری های این مطالعه ندارد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

برای کشاورزی را ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال تعیین کرده است. این امر حاکی از آن است که ۲۸ درصد اختصاص فعلی اضافه برداشت بوده، موجب تخریب محیط زیست می شود و باید تعدیل گردد. برآورد این مطالعه این است که حجم آب قابل بهره بردای پایدار برای کشاورزی سالانه ۳۹ تا ۴۱ میلیارد متر مکعب است. بنابراین، اضافه برداشت آب برای کشاورزی بیش از نیمی از اختصاص فعلی را تشکیل می دهد.

کل سطح زیر کشت کشور ۱۴/۳ میلیون هکتار است (سال های برداشت ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶) که ۵/۹۰ میلیون هکتار آن دیم و ۸/۴۱ میلیون هکتار آن آبی می باشد<sup>۴۸</sup>. بیش از ۹۰ درصد تولیدات گیاهی کشور در کشت آبی صورت می گیرد. در مجموع همه گیاهان مورد کشت در کشور، خلا عملکرد نسبی ۶۰ درصد برآورد گردید، بدین معنی که عملکردهای فعلی تنها ۴۰ درصد پتانسیل عملکردها می باشند. افزایش سطح زیر کشت برای افزایش تولید غیر ممکن به نظر می رسد چون بخش قابل توجهی از اراضی فعلی در دسته نامناسب یا خیلی ضعیف برای کشاورزی قرار دارند، یا دچار تنش شوری هستند و مهمتر این که برای به زیر کشت بردن اراضی جدید آب وجود ندارد. نتایج نشان داد که مصرف کودها در کشور کمتر از حد لازم می باشد و برای نیتروژن ۳۷ درصد، فسفر ۵۲ درصد و پتاسیم ۹۳ درصد خلا کودی وجود دارد که احتمالاً یکی از دلایل اصلی پایین افتادن ماده آلی خاک های کشاورزی کشور است.

از نقطه نظر امنیت غذایی و اجزای آن، در نگاه اول به لحاظ تولید غذا (جز اول امنیت غذایی) شرایط کشور مناسب به نظر می رسد چون بیش از ۸۰ درصد محصولات کشاورزی مورد تقاضا در داخل تولید می گردد. اما، بخش قابل توجهی از تولید کشاورزی حاصل اضافه برداشت آب بوده و ناپایدار است. از نظر دسترسی خانوار و استطاعت مالی (جز دوم)، متوسط سرانه هزینه برای غذا در خانوارهای شهری در ۲۵ استان و در خانوارهای روستایی در ۲۸ استان (از ۳۱ استان) کمتر حد لازم (۳۲۱ هزار تومان بر اساس قیمت خرده فروشی در سال ۱۳۹۸) می باشد حاکی از این که وضعیت نامناسبی از نظر این جز وجود دارد. از نظر کیفیت غذا (جز سوم)، رژیم غذایی فعلی ایرانیان، منطبق بر استانداردهای سازمان بهداشت جهانی برای ترکیب و محدودیت های مواد غذایی اصلی می باشد ولی مصرف قند و شکر معادل ۱۰ درصد انرژی کل است که باید کمتر از ۱۰ درصد باشد. احتمال دارد تداوم و یا تشدید تحریم ها مصرف قند و شکر را که ماده خوراکی ارزان قیمتی است، افزایش دهد. از نظر پایداری (جز چهارم) چون بهره برداری از منابع آب و زمین در کشور از مرزهای ایمن برای پایداری عبور کرده است، می توان گفت وضعیت قابل قبولی حاکم نیست.

### چالش ها:

مهمترین چالش ها عبارتند از: افزایش جمعیت و تامین غذای آن ها، تغییر اقلیم، لزوم کاهش برداشت آب برای کشاورزی (مصوبه شماره ۱۵۸۹۶۹/ت/۵۵۰۹۲ هیئت وزیران به تاریخ ۱۳۹۶/۱۲/۰۶) و محدودیت ها در اراضی موجود مثل نامستعد بودن، شوری، پایین بودن ماده آلی خاک ها و تغییر کاربری اراضی مستعد کشاورزی به غیر کشاورزی. پیش بینی می شود به طور متوسط جمعیت کشور تا ۲۰۳۰ حدود ۱۳ میلیون نفر و تا ۲۰۵۰ حدود ۲۳ میلیون نفر افزایش پیدا کند و به ترتیب به ۹۳ و ۱۰۳ میلیون نفر برسد. بر اساس رژیم غذایی فعلی و تلفات-ضایعات کنونی در کشور، نیاز به محصولات گیاهی در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۱۶ و ۲۹ درصد افزایش می یابد. چنانچه رژیم مطلوب توصیه شده وزارت بهداشت مبنا قرار گیرد، افزایش نیاز یا تقاضا به ترتیب ۲۶ و ۴۱ درصد پیش بینی می شود.

<sup>۴۸</sup> بر اساس نتایج طرح آماربرداری زراعت سال ۱۳۹۷، مساحت اراضی زیر کشت آبی و دیم به ترتیب ۴/۵ و ۶/۵ میلیون هکتار و مساحت اراضی آیش آبی و دیم به ترتیب ۱/۷ و ۲/۸ میلیون هکتار و جمع کل اراضی ۱۵/۵ میلیون هکتار بوده است. به این رقم باید ۲/۶ میلیون هکتار اراضی باغی (۲/۲ میلیون هکتار آبی و مابقی دیم) را نیز اضافه کرد. توجه شود که به دلیل کشت دو محصول در سال و آیش گذاری، آمار سطح زیر کشت و اراضی دارای اختلاف هستند.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شبیه‌سازی‌ها نشان داد نتیجه خالص تغییر اقلیم بر تولیدات گیاهی در ۲۰۵۰ با فرض مدیریت و الگوی کشت فعلی باعث ۹ درصد کاهش در تولیدات گیاهی در شرایط کشت آبی و ۱۶ درصد افزایش تولیدات گیاهی در شرایط کشت دیم خواهد شد. کاهش تولیدات مرتعی ناشی از تغییر اقلیم (تا ۵ درصد در ۲۰۳۰ و تا ۷ درصد در ۲۰۵۰) قابل تحمل پیش‌بینی می‌شود و احتمالاً با اجرای اقدامات احیا و بهبود مراتع قابل پیش‌گیری خواهد بود. اما، نباید انتظار داشت که مراتع بتوانند پاسخگوی افزایش تقاضا در آینده باشند. تغییر اقلیم در ۲۰۵۰ بسته به این که صادرات آبریان در حد فعلی مد نظر باشد یا خیر، نیاز آبی برای مزارع پرورش آبریان را از ۲/۹۹ فعلی به ۳/۷۹ تا ۴/۴۷ میلیارد متر مکعب در سال افزایش می‌دهد که به‌نظر می‌رسد با صرفه‌جویی‌ها در این بخش یا سایر بخش‌ها قابل تامین خواهد بود.

بزرگترین چالش پیش‌رو، کمبود آب است. نتایج نشان داد در صورتی که اختصاص آب به کشاورزی در مرز پایداری تنظیم شود، در شرایط اقلیمی فعلی و با مدیریت و الگوی کشت کنونی، سطح زیر کشت و تولید گیاهی در کشت آبی ۵۶ درصد کاهش می‌یابد (جدول ۱)، تولیدات قابل صادرات به خارج از کشور به صفر می‌رسد، کمبود تولیدات گیاهی به دو برابر افزایش پیدا می‌کند، خودکفایی برای تولیدات گیاهی از ۸۵ درصد فعلی به ۴۲ درصد (برای جمعیت ۸۰ میلیون نفری) تنزل پیدا می‌کند. همچنین، به‌طور تقریبی ۲ میلیون شغل در بخش کشاورزی از دست خواهد رفت. در افق ۲۰۵۰ با فرض عدم اقدام برای افزایش تولید و یا مدیریت تقاضا به معنی تنزل خودکفایی در تولیدات گیاهی به ۳۴ درصد خواهد بود. یک سؤال مهم این است که در این شرایط به لحاظ بیوفیزیکی چه ظرفیت‌های وجود دارد و تا چه اندازه می‌توان تولید را افزایش و تقاضا را مدیریت نمود طوری که فاصله تقاضا و تولید کمتر شود؟

جدول ۱ - درصد تغییر در سطح زیر کشت آبی، تولیدات گیاهی در شرایط کشت آبی و تولیدات گیاهی در کشت آبی و دیم در صورتی که منابع آب کشاورزی از مقدار کنونی به حد پایدار کاهش یافته باشد (یعنی از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال). محاسبات با کمک سیستم SEA تحت شرایط اقلیمی کنونی انجام شده است.

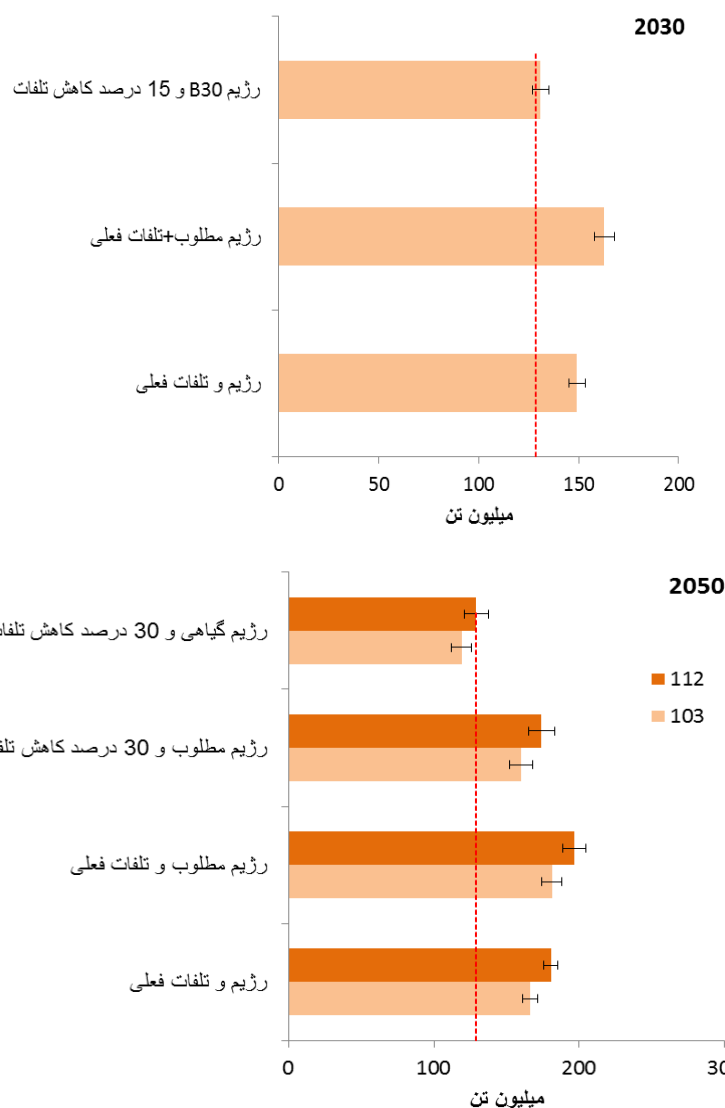
| اقدام انجام شده                                              | سطح زیر کشت | تولید در کشت آبی | کل تولید |
|--------------------------------------------------------------|-------------|------------------|----------|
| بدون اقدام                                                   | -۵۶         | -۵۶              | -۵۰      |
| کاهش خلا از ۶۰ درصد کنونی به ۴۰ درصد کاهش می‌یابد            | -۶۶         | -۴۹              | -۳۹      |
| افزایش راندمان آبیاری از ۳۸ درصد کنونی به ۵۵ درصد            | -۳۷         | -۳۶              | -۳۲      |
| ترکیب کاهش خلا و افزایش راندمان آبیاری                       | -۵۰         | -۲۶              | -۱۸      |
| ترکیب کاهش خلا، افزایش راندمان آبیاری و تغییر الگوی کشت فعلی | -۳۹         | -۱               | +۳       |
| به الگوی ۲                                                   |             |                  |          |

### ظرفیت‌ها:

یکی از ظرفیت‌ها برای اقدام، مدیریت تقاضا از طریق تغییر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات است. بر اساس یافته‌های این مطالعه، در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ جایگزینی رژیم غذایی فعلی با رژیم‌های غذایی سالم که سهم فرآورده‌های گیاهی با آب‌بری کمتر در آن‌ها بیشتر باشد توأم با کاهش تلفات-ضایعات (۱۵ درصد در افق ۲۰۳۰ و ۳۰ درصد در افق ۲۰۵۰) این امکان را می‌دهد که تقاضا برای محصولات گیاهی با وجود افزایش جمعیت در حد تقاضای فعلی باقی‌بماند. اما، چنان‌چه رژیم غذایی مطلوب توصیه شده وزارت بهداشت و تلفات-ضایعات کنونی مبنا قرار گیرد، به تولیدات گیاهی و در نتیجه منابع و نهاده‌های بیشتری نیاز خواهد

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بود (شکل ۲). بر اساس نتایج این مطالعه رژیم غذایی مطلوب مورد توصیه وزرات بهداشت منطبق با شرایط اکولوژیک و محدودیت- های منابع آب کشور نیست. بنابراین، یکی از اولویت‌ها باید بازنگری این رژیم غذایی و جایگزینی آن باشد.

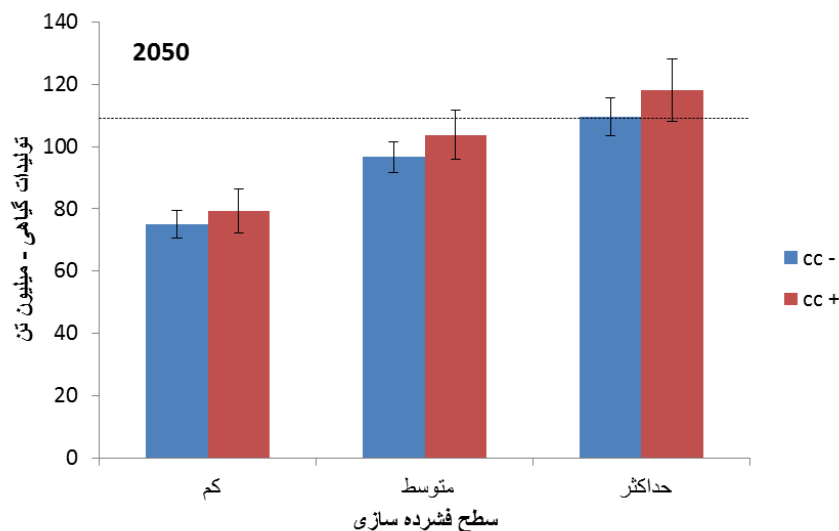
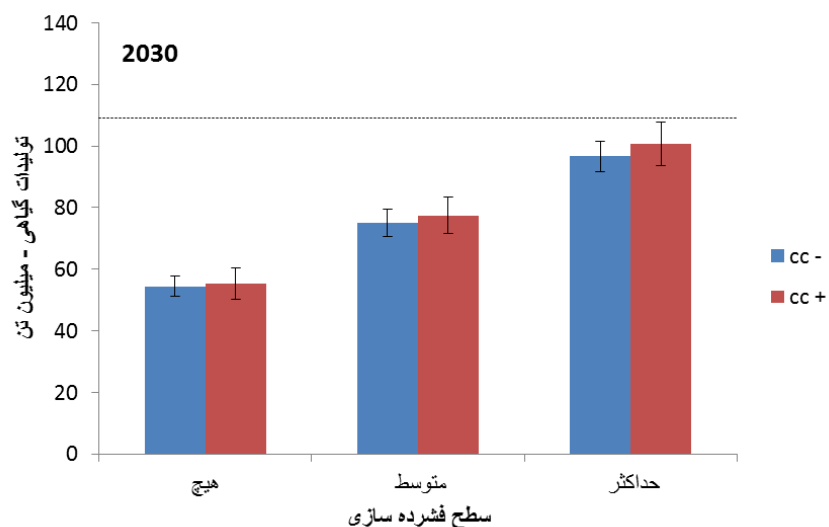


شکل ۲ - تاثیر رژیم غذایی و کاهش تلفات-ضایعات بر نیاز به محصولات گیاهی برای تغذیه جمعیت کشور در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰. جمعیت کشور در ۲۰۳۰ معادل ۹۳ میلیون نفر یعنی حد متوسط پیش‌بینی شده لحاظ شده است و برای ۲۰۵۰ معادل ۱۰۳ و ۱۱۲ میلیون نفر لحاظ شده است که حد متوسط و حد بالای پیش‌بینی شده برای این مقطع زمانی هستند. خطوط عمودی نیاز به محصولات گیاهی در مقطع زمانی پایه (۲۰۱۵) را نشان می‌دهند که برابر ۱۲۸/۷ میلیون تن در سال است. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته است.

یک ظرفیت دیگر فشرده سازی است. فشرده سازی یعنی افزایش بهره‌وری و تولید بیشتر از هر واحد منابع یا نهاده‌های به کاررفته در کشاورزی. این مهم با کاهش خلا عملکرد و افزایش راندمان آبیاری قابل پیگیری می‌باشد (جدول ۱). پیش‌بینی شد چنانچه بدون اقدام به فشرده سازی، اختصاص آب به کشاورزی در حد پایدار تعدیل شود، خودکفایی در افق ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ به دلیل کاهش تولیدات گیاهی و افزایش جمعیت به ترتیب به ۳۷ و ۳۳ درصد تنزل می‌یابد. با توجه نرخ‌های منطقی افزایش عملکرد و بهبود

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

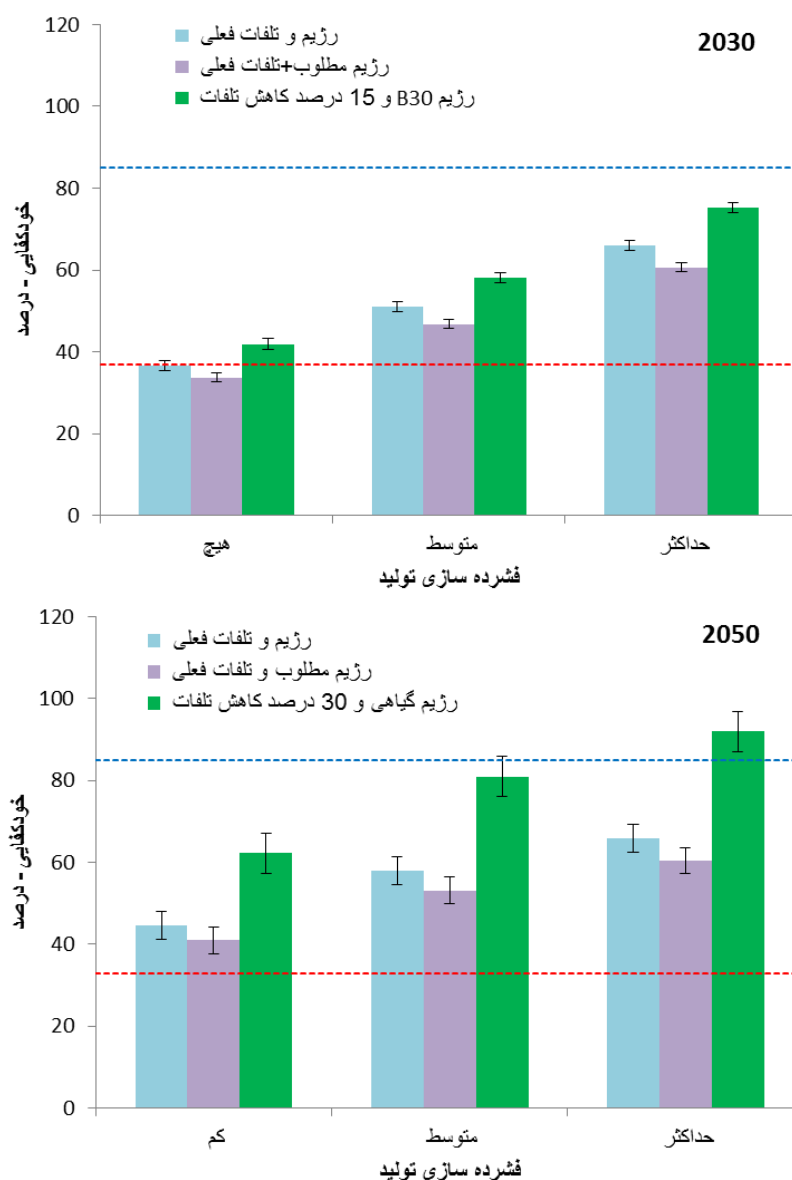
راندمان آبیاری، برای هر یک از افق‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ سناریوهای فشرده‌سازی مختلفی تعریف و بررسی شدند (شکل ۳). سناریوهای فشرده‌سازی کم، متوسط و زیاد به ترتیب مستلزم افزایش عملکرد حدود ۱، ۱/۵ و ۳ درصد در سال و افزایش راندمان آبیاری ۰/۶، ۱ و ۱/۵ درصد در سال خواهند بود. پیش‌بینی شد در افق ۲۰۳۰ و با منابع آب پایدار، سناریوهای فشرده‌سازی متوسط و زیاد، بسته به سناریوی مدیریت تقاضا، خودکفایی را از ۳۷ درصد در حالت بدون اقدام به ترتیب به ۴۷ تا ۵۸ درصد و ۶۱ تا ۷۵ درصد خواهند رساند. در افق زمانی ۲۰۵۰، خودکفایی از ۳۳ درصد در حالت بدون اقدام به ۴۱ تا ۶۲ درصد در فشرده‌سازی کم، به ۵۳ تا ۸۱ درصد در فشرده‌سازی متوسط و به ۶۰ تا ۹۲ درصد در فشرده‌سازی زیاد قابل افزایش است که دامنه تغییر به مدیریت تقاضا ارتباط دارد (شکل ۴). نتیجه‌گیری شد که اجرای فشرده‌سازی وضعیت تامین غذا و خودکفایی را بهبود می‌بخشد ولی خودکفایی کامل در حال حاضر و آینده، جز به هزینه اضافه برداشت آب و ناپایداری و تخریب اکوسیستم‌های طبیعی و کشاورزی، غیر ممکن خواهد بود. در صورت موفقیت در فشرده‌سازی، می‌توان همزمان با کاهش اختصاص آب به کشاورزی و تنظیم آن در حد پایدار، تولیدات کشور را در حدی نزدیک به سطح فعلی حفظ نمود و نباید انتظار افزایش تولید فراتر از تولید کنونی را داشت. در صورت عدم کنترل و تعدیل منابع آب کشاورزی، بهتر است برنامه‌های افزایش راندمان آبیاری مورد تجدید نظر قرار گیرد چون باعث خشکی بیشتر محیط‌زیست می‌شوند.



## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شکل ۳- تاثیر سناریوهای مختلف فشرده سازی بر تولیدات گیاهی کشور با ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال منابع آب آبی در ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ برای دو حالت که تاثیر تغییر اقلیم لحاظ نشده (CC-) یا شده (CC+) باشد. خط عمودی تولید گیاهی جاری با ۸۶ میلیارد متر مکعب آب آبی را مشخص می کند. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته است.

یک سوال مهم این است که آیا تلاش ها برای کاهش تقاضا و افزایش تولید به لحاظ اقتصادی دارای صرفه هست؟ بررسی نسبت فایده به هزینه برای اجرای گزینه های فشرده سازی و مدیریت تقاضا نشان داد این نسبت برای افزایش راندمان آبیاری ۲/۲۴، برای رفع کامل خلا قابل مدیریت ۱/۲۳، برای تغییر رژیم غذایی ۲/۵۳ و برای کاهش تلفات-ضایعات ۱/۵۹ می باشد. اما، در حالت ترکیب اقدامات، این نسبت برای ترکیب رفع خلا و افزایش راندمان آبیاری ۲/۳۰ و برای ترکیب کاهش تلفات-ضایعات و تغییر رژیم غذایی ۲/۰۱ می باشد. بنابراین، می توان نتیجه گرفت که حرکت در راستای اجرای گزینه ها به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است و بهترین نتایج از ترکیب اقدامات فشرده سازی و مدیریت تقاضا حاصل خواهد شد.



## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شکل ۴ - تاثیر ترکیبی سناریوهای تقاضا و تولید بر خودکفایی در ۲۰۳۰ یا ۲۰۵۰. خطوط افقی به ترتیب از بالا به پایین عبارتند از خودکفایی در شرایط کنونی (۲۰۱۵) و خودکفایی در شرایطی که با مدیریت فعلی تولید و تقاضا وارد ۲۰۳۰ یا ۲۰۵۰ بشویم. محاسبات با سیستم SEA صورت گرفته است.

تغییر الگوی کشت ظرفیت دیگری است. نتایج این مطالعه نشان داد که با بهینه سازی الگوی کشت می توان کاهش منابع آب کشاورزی در قدم اول از ۸۶ به ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال (قابل برنامه ریزی وزارت نیرو) و در قدم آخر از ۸۶ به ۳۹ میلیارد متر مکعب در سال (حد پایداری) را مدیریت نمود طوری که همزمان بازده اقتصادی کشاورزان نسبت به حال حاضر افزایش یابد و میزان کاهش در سطح زیر کشت آبی، تولیدات کشاورزی و خودکفایی کمتر شود (جدول ۱). در الگوهای بهینه شده کشت گیاهان با آب مجازی کمتر (مثل سیب زمینی، صیفی-سبزی، میوه جات و حبوبات)، توسعه کشت پاییزه به جای بهاره در برخی محصولات و توسعه کشت های گلخانه ای جایگزین کشت هایی با آب مجازی بالا (مثل محصولات علوفه ای، گیاهان قندی و دانه های روغنی تابستانه و برنج) شده اند. ترکیب بهینه سازی الگوی کشت و فشرده سازی ظرفیت بزرگتری را برای انطباق با شرایط چالشی آینده ایجاد می کند.

### برنامه های راهبردی پیشنهادی:

این مطالعه دو برنامه راهبردی برای حرکت صحیح در محدوده افق ۲۰۳۰ ارائه می کند (جدول ۲). در برنامه اول فرض شد برداشت آب برای کشاورزی در حد رسمی اعلام شده توسط وزارت نیرو (یعنی ۶۲ میلیارد متر مکعب در سال برای کشاورزی و ۵۹ میلیارد متر مکعب در سال برای تولید گیاهی) تنظیم شده است ولی اقدامات برای فشرده سازی به بار ننشسته و عملکردها (یا خلا عملکردها) و راندمان آبیاری در حد فعلی هستند، اما الگوی کشت در شرایط کشت آبی برای سازگاری با کاهش آب تغییر یافته است. این برنامه را می توان گام نخست برای حرکت در جهت صحیح تلقی کرد. در این برنامه، به دلیل ۲۷ درصد کاهش در منابع آب برای آبیاری، سطح زیر کشت آبی ۱۸ درصد کاهش می یابد و استفاده از نهاده ها و انتشار گازهای گلخانه ای نیز کاهش پیدا می کند. همچنین ۱۷ درصد کاهش در تولیدات گیاهی در شرایط آبی و ۱۳ درصد کاهش در کل تولیدات گیاهی وجود خواهد داشت ولی بازده اقتصادی افزایش می یابد (۱۵ درصد). اگر سال وقوع این سناریو ۲۰۳۰ باشد و رژیم غذایی و تلفات-ضایعات تغییر نکرده باشد، خودکفایی از رقم ۸۵ درصد فعلی به ۶۳ درصد افت پیدا می کند. در صورت پیاده سازی رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت و تلفات-ضایعات فعلی، خودکفایی به ۵۸ درصد کاهش می یابد و در صورت مقداری کاهش در اقلام غذایی آب بر در رژیم غذایی همراه با ۱۵ درصد کاهش تلفات-ضایعات، خودکفایی به ۷۲ درصد خواهد رسید. این مقدار کاهش خودکفایی در مقایسه با اثرات مثبت کاهش اضافه برداشت آب و نیز بازده مثبت اقتصادی الگوی کشت مربوطه، برای کشور قابل تحمل خواهد بود. پیاده سازی این برنامه در سطح کشور از طریق مکانیسم های اقتصادی-اجتماعی نظیر قیمت گذاری، خرید تضمینی، وام، بهره بانکی، بیمه، تعرفه صادرات و واردات و نظیر این ها ممکن خواهد بود.

در برنامه دوم فرض شد برداشت آب برای کشاورزی در حد پایدار تنظیم شده است ولی اقدامات موثر برای فشرده سازی نیز به طور همزمان صورت گرفته است طوری که خلا عملکرد نسبی کشور از ۶۰ درصد فعلی به ۴۰ درصد کاهش یافته و راندمان آبیاری کشور از ۳۸ درصد به ۵۵ درصد ارتقا پیدا کرده است. در این سناریو اگرچه اختصاص آب به کشاورزی ۵۵ درصد کاهش می یابد ولی به دلیل اقدامات مرتبط با تغییر الگوی کشت و فشرده سازی، تولیدات گیاهی در شرایط آبی فقط ۳ درصد کاهش یافته در صورتی که کل تولیدات گیاهی دیم و آبی ۴ درصد افزایش می یابد و بازده اقتصادی ۴۰ درصد بیشتر می گردد. چنانچه این برنامه در افق ۲۰۳۰ اجرا شود، کاهش خودکفایی با رژیم غذایی و تلفات-ضایعات فعلی فقط ۱۱ درصد خواهد بود (از ۸۵ به ۷۵ درصد)، در صورت پیاده سازی رژیم غذایی مطلوب وزارت بهداشت و تلفات-ضایعات فعلی، ۱۸ درصد کاهش می یابد (از ۸۵ به ۶۹ درصد)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

و در صورت مقداری کاهش در اقلام غذایی آب‌بر در رژیم غذایی همراه با ۱۵ درصد کاهش تلفات-ضایعات، خودکفایی در حد کنونی (۸۶ درصد) حفظ خواهد شد. نیاز به کودها در این برنامه مشابه شرایط فعلی است ولی مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

جدول ۲ - تصویری از آینده مطلوب کشاورزی کشور با ارایه دو برنامه و مقایسه آن‌ها با وضعیت فعلی از نظر میزان استفاده از منابع آب و زمین، کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم، انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید گیاهی، میزان تولیدات گیاهی، بازده اقتصادی ناخالص و خودکفایی. محاسبه خودکفایی برای وضعیت فعلی برای زمان حاضر (۲۰۱۵ با جمعیت ۸۰ میلیون نفر) صورت گرفته است ولی برای برنامه‌های ۱ و ۲ برای سال ۲۰۳۰ (جمعیت ۹۳ میلیون نفر) و بر اساس سه سناریوی مدیریت تقاضا محاسبه شده است. توجه شود که در برنامه ۲ تولیدات گیاهی در شرایط دیم نیز در اثر فشرده‌سازی افزایش می‌یابد. محاسبات با کمک سیستم SEA صورت گرفته است.

| شاخص                                                          | میزان تغییرات |          |                  |          | درصد تغییر |  |
|---------------------------------------------------------------|---------------|----------|------------------|----------|------------|--|
|                                                               | فعلی          | برنامه ۱ | برنامه ۲         | برنامه ۱ | برنامه ۲   |  |
| سال مبنا                                                      | ۲۰۱۵          | ۲۰۳۰     | ۲۰۳۰             | -        | -          |  |
| آب (میلیارد متر مکعب) *                                       | ۸۱/۷۵         | ۵۹/۴۵    | ۳۶/۵۷            | -۲۷      | -۵۵        |  |
| سطح فشرده سازی                                                | فعلی          | فعلی     | زیاد در افق ۲۰۳۰ | -        | -          |  |
| الگوی کشت                                                     | فعلی          | الگوی ۱  | الگوی ۲          | -        | -          |  |
| سطح زیر کشت آبی (هزار هکتار)                                  | ۸۴۰۹          | ۶۹۰۷     | ۵۱۵۸             | -۱۸      | -۳۹        |  |
| کود نیتروژن (هزار تن)                                         | ۹۹۹           | ۸۸۵      | ۱۱۳۱             | -۱۱      | ۱۳         |  |
| کود فسفر (هزار تن)                                            | ۱۴۹           | ۱۲۳      | ۱۴۹              | -۱۷      | ۰          |  |
| کود پتاسیم (هزار تن)                                          | ۷۶۰           | ۶۴۱      | ۷۷۹              | -۱۶      | ۲          |  |
| انرژی (میلیون مگاژول)                                         | ۴۴۱۸۶۳        | ۳۴۱۶۶۶   | ۲۷۱۷۴۱           | -۲۳      | -۳۹        |  |
| سوخت (میلیون لیتر)                                            | ۳۲۶۸          | ۲۶۷۹     | ۲۰۹۵             | -۱۸      | -۳۶        |  |
| الکتریسیته (میلیون کیلو وات ساعت)                             | ۱۸۳۶۸         | ۱۳۱۵۸    | ۸۶۱۴             | -۲۸      | -۵۳        |  |
| انتشار گازهای گلخانه‌ای میلیون کیلو گرم معادل CO <sub>2</sub> | ۳۲۴۹۰         | ۲۵۷۱۶    | ۲۱۰۴۵            | -۲۱      | -۳۵        |  |
| تولیدات گیاهی در کشت آبی (میلیون تن)                          | ۹۱            | ۷۷       | ۹۰               | -۱۵      | -۱         |  |
| کل تولیدات گیاهی در کشت آبی و دیم (میلیون تن)                 | ۱۰۹           | ۹۵       | ۱۱۳              | -۱۳      | ۴          |  |
| بازده برنامه‌ای کشت آبی (هزار میلیارد ریال)                   | ۱۷۳           | ۱۹۰      | ۲۳۰              | ۹        | ۳۳         |  |
| واردات (میلیون دلار)                                          | ۱۴۴۶۸         | ۲۵۲۵۴    | ۲۲۵۴۷            | ۷۵       | ۵۶         |  |
| صادرات (میلیون دلار)                                          | ۱۲۲۵۱         | ۶۶۶۶     | ۱۷۷۱۱            | -۴۶      | ۴۵         |  |
| جمعیت کشور                                                    | ۸۰            | ۹۳       | ۹۳               | ۱۶       | ۱۶         |  |
| تقاضا ۱ (رژیم غذایی و تلفات فعلی - میلیون تن)**               | ۱۲۸/۷         | ۱۴۹/۳    | ۱۴۹/۳            | ۱۶       | ۱۶         |  |
| تقاضا ۲ (رژیم غذایی مطلوب و تلفات فعلی - میلیون تن)           | -             | ۱۶۲/۷    | ۱۶۲/۷            | ۲۶       | ۲۶         |  |
| تقاضا ۳ (رژیم B30 و ۱۵ درصد کاهش تلفات - میلیون تن)           | -             | ۱۳۱/۰    | ۱۳۱/۰            | ۲        | ۲          |  |
| خودکفایی بر اساس تقاضای ۱ (درصد)                              | ۸۵            | ۶۳       | ۷۵               | -۲۵      | -۱۱        |  |

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

|      |      |    |    |   |                                   |
|------|------|----|----|---|-----------------------------------|
| ۱۸ - | ۳۱ - | ۶۹ | ۵۸ | - | خود کفایی بر اساس تقاضای ۲ (درصد) |
| ۱    | ۱۵ - | ۸۶ | ۷۲ | - | خود کفایی بر اساس تقاضای ۳ (درصد) |

\* ۹۵ درصد آب اختصاصی به کشاورزی صرف تولید گیاهی می شود.

\*\* تقاضا برای محصولات گیاهی بر حسب میلیون تن درب مزرعه برای تغذیه مستقیم یا غیر مستقیم از طریق پرورش دام.

در صورت اجرای این برنامه ها با کشاورزی سر و کار خواهیم داشت که در آن بهره برداری از آب برای کشاورزی به هزینه مقداری کاهش خود کفایی در حد پایدار تعدیل شده است. تولید و خود کفایی در محصولات با آب مجازی بالا (مثل محصولات دامی یا علوفه ای، گیاهان قندی، دانه های روغنی تابستانه و برنج) کاهش می یابد که در نتیجه واردات آن ها باید بیشتر شود و در مقابل تولید و صادرات محصولاتی با آب مجازی پایین مثل سیب زمینی، صیفی - سبزی، میوه جات و حبوبات افزایش پیدا می کند. در بهترین برنامه که اجرای آن تاکنون در این سرزمین تجربه نشده است، حفظ خود کفایی در شرایطی که استفاده از آب و خاک در مرز ایمن و پایدار باشد، در حد کنونی مقدور است و نه بیشتر، اما خود کفایی در گندم در حد کنونی حفظ شده یا افزایش می یابد. با اجرای این برنامه ها تراز تجاری بخش کشاورزی که در حال حاضر منفی است، همچنان منفی باقی خواهد ماند اگر چه با اجرای برنامه دوم شرایط تا حدودی بهبود می یابد. اجرای این برنامه ها مستلزم کوچک شدن سطح زیر کشت آبی است که در نتیجه آن اشتغال در بخش کشاورزی نیز کوچکتر می شود. هزینه های این دو در طول دوره اجرای برنامه ها باید دیده شود.

در صورت عدم اجرای این برنامه ها و اقدامات توصیه شده این گزارش، ممکن است پیامدهای زیانبار ناشی از بهره کشی از منابع آب و خاک از مرزهای برگشت پذیر عبور کنند و اکوسیستم های طبیعی که پشتیبان نظام تولید بوده و می توانند منبع درآمد جایگزین برای کشاورزان باشد (مثل بوم گردی) از بین رفته باشند. در این صورت احتمالاً در آینده باید هزینه بیشتری برای مهار طبعات آن ها صرف نمود (برای نمونه ایجاد ستادهای احیا دریاچه ارومیه و مبارزه با ریزگردها) و یا به روش های غیر متعارف و پرهزینه (مثل انتقال آب دریای خزر) روی آورد. اگر چه در شرایط فعلی و وجود تحریم ها امیدی به اجرای چنین برنامه هایی نیست ولی لازم است مطالعات تکمیلی صورت گیرد تا بعد از مساعد شدن شرایط به اجرا گذاشته شوند.

### گزاره های سیاستی پیشنهادی:

- در اسناد بالادستی باید به محدودیت های بیوفیزیکی کشور در تهیه سیاست ها و راهبردها توجه شود. نمونه بارز، هدف - گذاری برای دستیابی به خود کفایی است، که منطبق بر این محدودیت ها نیست.
- کلیه برنامه های مرتبط با کشاورزی باید با رعایت مرزهای پایدار استفاده از منابع زیر بنایی (مثل آب، زمین) تهیه و اجرا شوند. نتیجه اضافه برداشت کنونی آب برای کشاورزی، ناپایداری محیط زیست و کشاورزی در آینده خواهد بود.
- مسئله اصلی مدیران کشاورزی باید این باشد که "چگونه می توان خسارات ناشی از سازگاری به کم آبی بر تولید، خود کفایی و امنیت غذایی را به حداقل رساند" نه این که "چگونه می توان تولید را افزایش داد و به خود کفایی دست یافت".
- مدیران و محققان کشاورزی و منابع طبیعی باید انتظارات از کشاورزی و ظرفیت های آن را تعدیل کنند.
- در سیاست های افزایش جمعیت باید به آمادگی و زمینه چینی برای افزایش واردات غذا توجه شود.
- برای مدیریت در حوزه های آب، کشاورزی، غذا و محیط زیست از تجربیات متخصصان بین المللی استفاده شود.
- منابع آب و نیز زمین و نحوه بهره برداری از آن ها باید تحت کنترل قرار گیرند چون پیش شرط موفقیت همه برنامه های مرتبط با آب - کشاورزی - غذا است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

- وظیفه صیانت از منابع آب و نیز وظیفه فراهم سازی و تامین آب برای بخش های مختلف که در یک جا جمع شده اند باید جدا شوند و ساختار دیگری جایگزین شود که در آن واحد مدیریت آب از استان به آبخیز تغییر یافته باشد.
- باید برای شکستن تحریم ها اقدام شود. تداوم تحریم ها، اجرای برنامه های لازم برای امنیت غذایی توام با حفظ محیط زیست را مشکل یا ناممکن خواهد ساخت.
- برای اطمینان از امنیت غذایی توام با حفظ محیط زیست، باید برنامه های تحول ساز تهیه گردد.
- گسترش کشاورزی و ایجاد واحدهای جدید مبتنی بر کشت آبی باید متوقف شود، نسبت به کوچک سازی ولی فشرده سازی اقدام گردد.
- مدیریت تقاضا (تغییر رژیم غذایی به سمت مصرف بیشتر مواد گیاهی و کاهش تلفات-ضایعات) در حصول امنیت غذایی نباید دست کم گرفته شود. تاثیر برنامه های مدیریت تقاضا در حد برنامه های افزایش تولید می باشد اگر چه هزینه آن ها کمتر است.

بسته های برنامه ای نیز در راستای سیاست ها، پیشنهاد شده اند که عبارتند از: (۱) فشرده سازی اکولوژیک، (۲) تغییر الگوی کشت، (۳) چاره جویی برای اراضی آبی غیر قابل آبیاری، (۴) جبران آسیب های کوچک سازی سطح زیر کشت، (۵) گسترش خاک ورزی و کشاورزی حفاظتی، (۶) افزایش کارایی سیستم های دامی و سیستم های دامی جایگزین، (۷) تحول در تولید محصولات باغبانی، (۸) کاهش تلفات-ضایعات، (۹) تغییر رژیم غذایی به سمت استفاده کمتر از محصولات دامی و آب بر، و (۱۱) تحقیقات درباره تکنولوژی های جدید. باید توجه داشت که در پیاده سازی برنامه ها هنوز موانع و محدودیت های بی شمار وجود دارد که باید رفع شوند.

### منابع

سلطانی، ا.، اسکندر زند، سید مجید عالیمقام، علیرضا نه بندان، حسین بارانی، الیاس سلطانی، بنیامین ترابی، ابراهیم زینلی، شهرزاد میر کریمی، رامین جولایی، تکتم خسرویان، احسان حبیب پور کاشفی، صفورا جافرنوده، امیر دادرسی، ثریا قاسمی، سمانه رهبان، شبنم پورشیرازی، عبدالرضا بهره مند، امیراحمد دهقانی، فرشید اشراقی، محمود بهمنی، داریوش فتاح طالقانی، کریم احمدی، مریم محمدرضایی، شیدا گلی، امید الستی، رقیه السادات حسینی، محبوبه زاهد، حسنا فیاضی، حسین کمری، راحله عرب عامری، زهرا محمدزاده، سمانه محمدی، صالح کرامت، نعیمه سوسرایی، محبوبه آشناور و مادح احمدی و رضا تقدیسی نقاب، حمید رحیمیان مشهدی، تقی قورچی، بهروز دستار، فرهاد خرمالی، حسین دهقانی سانچ، بهنام کامکار، توماس آر سینکلر، مارتین کی ون ایترسام، وینست وادز و مارلوس پی لون. ۱۳۹۸. تحلیل امنیت غذایی کشور تا ۲۰۵۰ با مدل سازی همبست آب، زمین، غذا و محیط زیست: چشم انداز و سیاست های لازم. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گزارش طرح تحقیقاتی.

Cassman, K.G., 2012. What do we need to know about global food security? Glob. Food Sec. 2, 81–82.

FAO, 2002. Report of the World Food Summit: Five Years Later. FAO, Rome.

WPP, 2019. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects, Online Edition.

## واکاوی ظرفیت‌ها و محدودیت‌های تحقق مدیریت جامع آبخیزها (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حبله‌رود، گورسفید)

واحدبردی شیخ<sup>۱</sup>، امیر سعدالدین<sup>۱</sup>، حمید عبداللهیان<sup>۲</sup>، آرش زارع<sup>۳</sup>، امید اسدی نلیوان<sup>۴</sup>، احسان الوندی<sup>۴</sup>، غلامرضا خسروی<sup>۴</sup>

۱- دانشیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (sheikh@gau.ac.ir)

۲- استاد دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- دانش آموخته دکتری گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

### چکیده

این تحقیق در راستای ضرورت مرور سیستماتیک تجربیات به دست آمده در طول ۱۷ سال اجرای طرح مدیریت پایدار منابع آب‌وخاک توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و دفتر عمران سازمان ملل متحد در حوزه آبخیز حبله‌رود به اجرا درآمده است. این مطالعه نتیجه همکاری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و طرح کلان ملی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور برای ارزیابی و مستندسازی تجربیات و درس آموخته‌های طرح مدیریت پایدار منابع آب‌وخاک حبله‌رود با هدف کلی استخراج الگوی مدل مدیریت مشارکتی و جامع حوزه آبخیز حبله‌رود و تعمیم آن به یک مدل ملی مدیریت جامع و مشارکتی آبخیزها در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور انجام شده است. در استخراج الگوی مدل مدیریت پایدار منابع آب‌وخاک حبله‌رود، از نظرات و تجربیات افراد بسیاری از جمله کارشناسان و مدیران سابق و کنونی طرح مدیریت پایدار منابع آب‌وخاک حبله‌رود، آبخیزنشینان و متخصصان دانشگاهی با تخصص‌های گوناگون بهره گرفته شده است. در نهایت الگوی مدیریت مشارکتی برای زیرحوضه گورسفید به عنوان حوضه پایلوت ارائه گردید. توجه به نقش ذینفعان مختلف در موارد متعدد و نیز اطلاع‌رسانی گسترده و بهنگام نتایج هر مرحله به جوامع محلی و سایر ذینفعان و تضمین تحقق مشارکت فعال و مستمر آن‌ها، تجزیه و تحلیل کلیه ذینفعان، اعم از اثرگذار یا اثرپذیر و تحلیل شبکه‌های سازمانی و اجتماعی و جلب مشارکت فعال ذینفعان در تحلیل مشکلات و راه‌حل‌ها، تعیین اهداف اصلی، چشم‌انداز و مأموریت‌ها، تعیین اولویت‌ها و وزن‌دهی شاخص‌ها، تعیین گزینه‌های مدیریتی برتر، پایش اثرات و ارزشیابی عملکرد اقدامات مدیریتی، و اخذ بازخورد و توجه به رویکرد مدیریت تطبیقی از ویژگی‌های مهم چارچوب ارائه شده است.

**واژگان کلیدی:** حبله‌رود، مدیریت جامع حوزه آبخیز، مدیریت پایدار منابع آب‌وخاک، مدیریت مشارکتی

### مقدمه

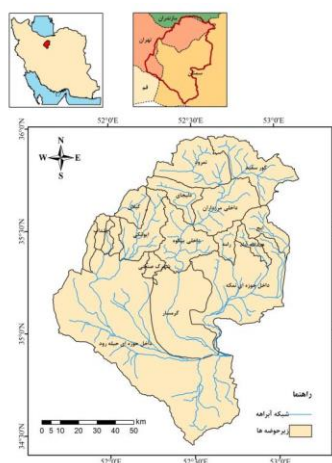
منابع طبیعی کشور با تهدیدات جدی تغییرات اقلیم، خشک‌سالی، کمبود آب، آلودگی (آب، خاک، هوا)، فرسایش شدید خاک، بیابان‌زایی، تغییرات مدیریت اراضی همچون جنگل‌تراشی‌ها، تخریب مراتع، اقدامات کشاورزی نامناسب و غیراصولی و توسعه ناپایدار به‌ویژه در اراضی شیب‌دار و مناطق کوهستانی روبرو است. اوضاع منابع طبیعی حوزه آبخیز حبله‌رود نیز از تک‌تک این پدیده‌های شوم مستثنی نیست. چشم‌انداز، اهداف آرمانی، اهداف عملیاتی تبیین شده و راهکارهای پیشنهادی در این تحقیق، مسیر صریح راهبردی مدیریت منابع طبیعی در حوزه آبخیز حبله‌رود (گورسفید) را تعیین می‌کنند و ذیمدخلان و ذینفعان منطقه‌ای یا محلی می‌توانند با توجه به ترجیحات و شرایط موجود جهت نیل به یکی یا تعدادی از اهداف عملیاتی تبیین شده از بین راهکارهای پیشنهادی، اقدامات و فعالیت‌هایی را به‌صورت مشارکتی برنامه‌ریزی و اجرا نمایند. در حقیقت با تبیین نقشه راه کلی و تهیه و تدوین یک راهبرد یا سیستم مدیریتی عملیاتی، برنامه‌ریزی‌های محلی به دنبال بهبود وضعیت منابع طبیعی منطقه خواهند بود. برای بررسی و رفع مشکلات در مقیاس حوزه آبخیز، ضرورت دارد در چارچوب یک مدل جامع عمل نمود و به مدیریت حوضه در یک نگاه سیستمی پرداخته شود (سعدالدین و همکاران، ۱۳۹۶). بدین خاطر ارائه یک چارچوب مفهومی به منظور ارزیابی و مدیریت حوزه آبخیز ضرورت دارد. در این تحقیق برای تدوین برنامه مدیریت جامع حوضه آبخیز حبله‌رود

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

(گورسفید)، از چارچوب مفهومی مدیریت جامع حوزه آبخیز (IWM) تدوین شده در طرح کلان ملی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز کشور استفاده شده است. این چارچوب مفهومی بر اساس شرایط و نیازهای حوزه‌های آبخیز کشور به شکل بومی با مشارکت جمعی از متخصصان آبخیزداری کشور در ارتباط با طرح کلان ملی مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و نیز اخذ بازخورد و نظرات تکمیلی از همکاران مرکز ارزیابی و مدیریت جامع آبخیزها در دانشگاه ملی استرالیا، دانشگاه کا فسکاری ایتالیا، مرکز تحقیقات یولیش آلمان و نیز دانشگاه ادیس- کوآن استرالیا تهیه و ارائه شده است (سعدالدین و همکاران، ۱۳۹۷). نظر به اینکه مساحت حوزه رودخانه حبله رود بالغ بر ۱/۲ میلیون هکتار می‌باشد با استفاده از یک رویکرد مبتنی بر ۱۹ شاخص متنوع، زیرحوضه‌های مهم حوزه رودخانه حبله‌رود اولویت‌بندی شدند و حوزه آبخیز گورسفید بعنوان زیرحوضه اولویت دار انتخاب شد و برنامه مدیریت جامع برای آن زیرحوضه تدوین گردید.

### مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز حبله‌رود با وسعت حدود ۱/۲۷ میلیون هکتار در محدوده جغرافیایی  $51^{\circ} 39' 52''$  تا  $53^{\circ} 8' 46''$  طول شرقی و  $34^{\circ} 26' 54''$  تا  $35^{\circ} 57' 31''$  عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این حوزه از نظر تقسیمات سیاسی در استان‌های تهران و سمنان قرار گرفته و شهرستان فیروزکوه و قسمتی از شهرستان دماوند را در استان تهران و قسمتهایی از شهرستان گرمسار، سرخه، آرادان و ایوانکی در استان سمنان را پوشش می‌دهد. حداکثر ارتفاع حوزه حبله‌رود ۴۰۵۷ متر از سطح دریا (در قله کوه سفیدآب در شمال غربی حوزه) و حداقل ارتفاع آن ۷۳۳ متر (در خروجی حوزه) است. ارتفاع متوسط حوزه حبله‌رود ۱۴۳۴ متر و شیب متوسط وزنی آن ۸/۵ درصد می‌باشد. حوزه حبله‌رود دارای ۶۴۳ آبادی و ۷ شهر است. از ۲۳۲ آبادی بالای ۵ نفر ۸۴ آبادی در شهرستان گرمسار، ۶۵ آبادی در شهرستان فیروزکوه، ۴۷ آبادی در شهرستان دماوند، ۲۴ آبادی در شهرستان ورامین، ۸ آبادی در شهرستان سمنان و ۴ آبادی در شهرستان پاکدشت قرار دارند.



شکل ۰- موقعیت جغرافیایی آبخیز حبله‌رود

مراحل تدوین برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز گورسفید مطابق چارچوب مفهومی مورد استفاده (شکل ۲) عبارتند از:

### گام اول: تحلیل سیستم و شناسایی ساختار مشکلات

در این گام بمنظور شناخت اجمالی ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی و زیست- فیزیکی حوزه ابتدا بازدیدهای میدانی و مصاحبه‌های چهره به چهره با ذینفعان و ذیمدخلان حوزه صورت گرفت و سپس مطالعات کتابخانه‌ای با تحلیل آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی، تصاویر ماهواره‌ای و مرور مطالعات گذشته انجام شد. جهت تجزیه و تحلیل ذینفعان از ماتریس علاقه - قدرت استفاده شد. جهت بررسی پایداری و سلامت حوزه آبخیز حبله‌رود و زیر حوزه گورسفید از روش شاخص پایداری آبخیز (WSI) استفاده گردید. شاخص پایداری آبخیز با بکارگیری مدل علی- معلولی (فشار- وضعیت- واکنش) از

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

معدود شاخص‌هایی است که مختص آبخیز طراحی شده است که در قالب چهار زیرشاخص هیدرولوژی (کیفی و کمی)، محیط‌زیست، حیات و سیاست‌گذاری به ارزیابی پایداری آبخیز می‌پردازد. تحلیل شبکه اجتماعی نیز با استفاده از روش گراف انجام گردید. همچنین در این گام محرک‌ها، فشارها، وضعیت و اثرات ناشی از آن‌ها در چارچوب DPSIR شناسایی شدند. شایان ذکر است که استفاده از رویکرد DPSIR، اولویت‌بندی فشارها و نیز اقدامات مدیریتی و همچنین تدقیق مدل مفهومی حوضه را تسهیل نمود.

**گام دوم: ترسیم چارچوب مدل مفهومی:** چارچوب مدل مفهومی می‌تواند در قالب روابط علت و معلولی، ساختار سیستم مورد مطالعه را در سطح قابل قبولی از جزئیات و درعین‌حال به شکل ساده شده نمایش دهد (Kragt, 2009). ساخت مدل مفهومی حوضه آبخیز مورد مطالعه مبتنی بر اهداف و مقیاس‌های زمانی و مکانی، همچنین لحاظ کردن نیازها و نگرانی‌های ذینفعان انجام شد. مراحل تهیه چارچوب مدل مفهومی شامل شناسایی متغیرها و عوامل مؤثر در تخریب و مدیریت حوضه و ترسیم ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم بین آن‌ها در قالب یک دیاگرام بود (Ticehurst و همکاران، 2007). مدل مفهومی حوضه در دو سطح کمی (تفصیلی) و کیفی (ساده شده) تهیه گردید. شایان توجه است که نتایج قالب علت و معلولی بدست آمده از رویکرد DPSIR، مبنای تهیه مدل مفهومی حوضه بود. برای این منظور ابتدا با مشارکت ذینفعان اهداف آرمانی، چشم انداز و مأموریت تبیین شدند. برای تبیین اهداف (بلند-مدت، میان-مدت و کوتاه-مدت) و تدوین برنامه عملیاتی از رویکرد چهارچوب منطقی (LFA) استفاده شد. در این رویکرد برای تبیین و تحلیل اهداف، ابتدا درخت مشکلات حوضه ترسیم گردید. سپس، متناظر با هر مشکل، هدفی مطلوب تعیین و برای تحقق آن هدف مطلوب (آرمانی)، اهداف جزئی، خروجی‌ها (دستاوردها) و فعالیت‌ها، از درخت اهداف استخراج شدند.

**گام سوم: ارائه و توسعه راه‌حل‌ها:** شناسایی و ارائه راه‌حل‌های ممکن با مشارکت فعال جوامع محلی و کارشناسان و با توجه به سناریوهای مختلف محتمل برای آینده (کاربری اراضی، جمعیت، اقلیمی و سیاستی) صورت گرفت. سناریوها و راه‌حل‌های مختلف در توسعه سامانه پشتیبان تصمیم مستقیماً مورد استفاده قرار می‌گیرند و متقابلاً کاربران سامانه مذکور می‌توانند از بین سناریوها و راه‌حل‌های مختلف بر اساس انتخاب خودشان، ذیل هر سناریو، راه‌حل‌های مختلف را برگزینند و نتایج و اثرات آن‌ها را به کمک سامانه پشتیبان تصمیم مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند. نظر به اینکه رویکرد مورد استفاده در تدوین برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز حبله رود یک رویکرد مشارکتی بود برای جلب مشارکت حداکثری و جلوگیری از طرد ذینفعان مؤثر در مراحل اولیه فرآیند، ترجیح داده شد تمام راهکارها و سناریوهای مرتبط با اهداف برنامه که از سوی تک تک ذینفعان پیشنهاد می‌شدند، لیست شدند تا انگیزه کافی در اکثریت ذینفعان برای ادامه مسیر توسعه و تدوین برنامه ایجاد شود.

**گام چهارم: مدل‌سازی برای انتخاب راه‌حل‌ها:** در تحقیق حاضر از رویکرد مدل‌سازی mdSS استفاده گردید. نرم افزار mdSS یک محیط مدل‌سازی است، که به منظور توسعه سامانه‌های پشتیبان تصمیم محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اجرای یک پروژه در نرم افزار mdSS شامل مراحل چهار گانه تبیین مدل مفهومی، طراحی، انتخاب و تصمیم‌گیری گروهی می‌باشد. مدل مفهومی مورد استفاده در این محیط مدل‌سازی از نوع DPSIR است که در گام اول تبیین شد. در این مرحله همچنین معیارها و شاخص‌های ارزیابی اثرات راهکارهای مختلف بر هر یک از مولفه‌های فشار، وضعیت و اثرات مدل DPSIR تبیین شدند. در مرحله طراحی با توجه به معیارهای ارزیابی انتخابی و راهکارهای منتخب ارائه شده در مرحله قبل، ماتریس تجزیه و تحلیل تشکیل گردید. در سطرهای این ماتریس معیارهای ارزیابی انتخابی و در ستون‌های ماتریس راهکارهای منتخب قرار می‌گیرند. معیارهای ارزیابی اثربخشی مورد استفاده در این مطالعه به روش بارش مغزی و با مشارکت نمایندگان ذینفعان طی یک کارگاه آموزشی برگزار شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان استخراج شدند و در این کارگاه راهکارهای مختلف از نظر این معیارها و شاخص‌ها امتیاز دهی شدند. برای مرحله اولویت‌بندی و انتخاب راهکارها از سه روش تصمیم‌گیری چند معیاره SAW، TOPSIS و ELECTRE تعبیه شده در محیط mdSS استفاده گردید. برای این منظور ابتدا دسته راهکارها (استراتژی‌ها) اولویت‌بندی شدند و سپس تک تک راهکارها بصورت جداگانه اولویت‌بندی شدند. شایان ذکر است در این مرحله نیز به منظور وزن‌دهی به معیارها و شاخص‌ها، علاوه بر حضور نمایندگان جوامع محلی، مشارکت حداکثری مدیران و کارشناسان تمام نهادهای ذیربط بسیار کلیدی است. در غیر این‌صورت ممکن است وزن واقعی معیارها و شاخص‌ها استخراج

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

نشده و در نتایج اولویت‌بندی راهکارها اربابی ایجاد می‌شود. شایان توجه است به منظور افزایش ادراک سیستم و یادگیری و نیز تسهیل در فرایند تصمیم‌گیری ذینفعان، از سامانه پشتیبان تصمیم استفاده خواهد شد. این سامانه شامل پایگاه داده‌ای، پایگاه مدل‌ها، واسط کاربر گرافیکی و ابزار تصمیم‌گیری (MCDM) است.

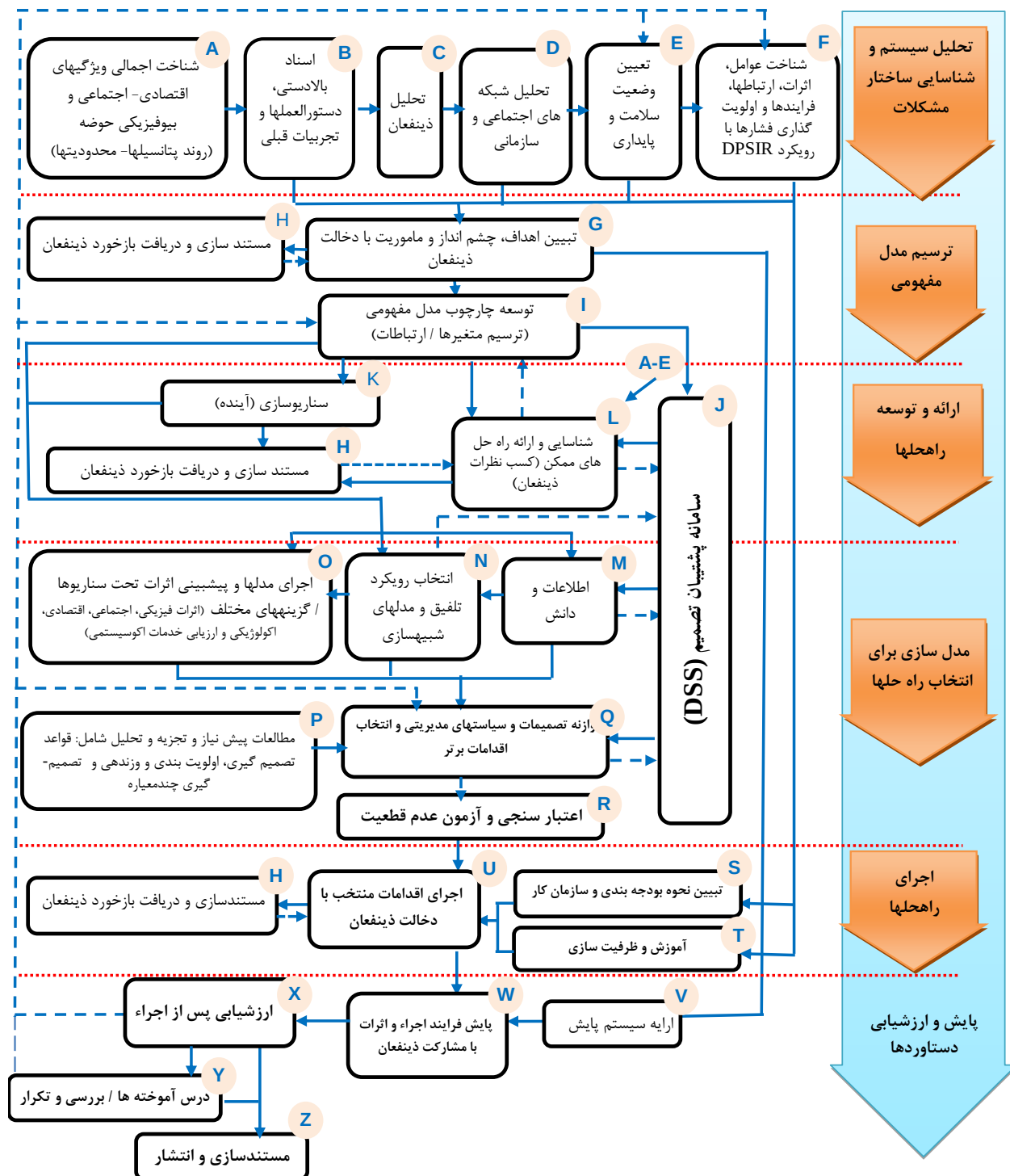
**گام پنجم: اجرای راه‌حل‌ها:** در این گام در ادامه موازنه تصمیمات و انتخاب اقدامات برتر، نحوه بودجه‌بندی و سازمان کار به منظور اجرای مشارکتی اقدامات منتخب تبیین خواهد شد. همچنین مستندسازی و دریافت بازخورد ذینفعان در این گام مورد تأکید است. با توجه به اینکه مدیریت جامع حوزه آبخیز نیازمند اجرای راهکارهای متنوعی جهت نیل به وضعیت پایدار می‌باشد هماهنگی و همکاری نهادهای متعدد برای پذیرش مسئولیت اجرا و تامین بودجه اجرای اقدامات بصورت مشارکت بین سازمانی ضروری است. همانطور که در گام قبلی توضیح داده شد، در تهیه و تدوین برنامه مدیریت جامع حوزه آبخیز گورسفید، همکاری همه جانبه نهادهای ذیربط تحقق نیافت. بنابراین، اگرچه راهکارهای منتخب در گام قبلی، بر آمده از رعایت نظام مند گامهای چارچوب مفهومی مدیریت جامع حوزه آبخیز طراحی شده در این تحقیق و با مشارکت حداکثری جوامع ذینفع درون حوزه آبخیز و تعداد اندکی از نهادهای اجرایی محلی می‌باشد، اما ممکن است تعارضاتی بین اهداف و مأموریت های نهادهای مختلف و همچنین بین منافع بالادست و پائین دست ایجاد کنند که بایستی قبل از اجرا مورد بازبینی قرار گیرند.

**گام ششم: پایش و ارزشیابی دستاوردها:** در این گام سیستم پایش به منظور پایش فرایند اجرا و نیز پایش مشارکتی اثرات گزینه‌های مدیریتی ارائه خواهد شد. همچنین ارزشیابی پس از اجرای اقدامات مدیریتی منتخب همراه با ارائه درس آموخته‌ها از دیگر موارد تأکید شده در این گام است. اخذ بازخورد و بازنگری با رویکرد مدیریت تطبیقی از نکات برجسته این گام می‌باشد. در این راستا، بازخورد از این گام به گام‌های اول، دوم و چهارم لحاظ شده است. در شکل ۲ چارچوب مفهومی مدیریت جامع حوزه آبخیز (IWM) ارائه شده است. در تحقیق حاضر، معیارها و شاخص‌های علمی متنوعی برای ارزیابی وضعیت آبخیز و ارزشیابی اثربخشی اقدامات معرفی شدند. اگرچه در تعریف این معیارها و شاخص‌ها، به شرایط کلی وضعیت داده ای و اطلاعاتی حوزه‌های آبخیز کشور توجه شده است و لیست نسبتاً جامعی از شاخص‌های قابل پایش معرفی شده است اما پیشنهاد می‌شود جهت تحقق پایش و ارزشیابی موثر اقدامات، نسبت به تدوین برنامه‌های عملیاتی پایش و تجهیز آبخیزهای بالادست قبل از شروع طرح های آبخیزداری اقدام شود تا شرایط پایش قبل، حین و بعد از اجرای طرح ها و پروژه‌ها فراهم شود.

### مراحل انتخاب زیرحوضه پایلوت

از آنجا که توسعه و پیاده‌سازی مدل مدیریت جامع مشارکتی برای کل حوزه آبخیز حبله‌رود به دلیل وسعت زیاد حوضه و تنوع شرایط بیوفیزیکی و اقتصادی-اجتماعی بسیار پیچیده و دشوار است تصمیم گرفته شد این مدل ابتدا برای یکی از زیرحوضه‌های حبله‌رود، به عنوان پایلوت ارائه شود تا بر مبنای نتایج و تجارب کسب شده بتوان بعدها مدلی برای کل حوضه ارائه داد. ابتدا بر اساس بررسی‌های قبلی در مطالعات آمایش سرزمین حوضه حبله‌رود (ماهینی و همکاران، ۱۳۹۲)، شش زیرحوضه به عنوان گزینه‌های مناسب اولیه انتخاب شدند. سپس برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های منتخب اولیه، شاخص‌های مختلفی تدوین و با نظر کارشناسان محلی امتیازدهی و اولویت‌بندی انجام شدند که در نهایت زیرحوضه گورسفید به عنوان پایلوت نهایی انتخاب شد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۲- مدل مفهومی مدیریت جامع حوزه آبخیز

### نتایج و بحث

حوضه رودخانه حبله‌رود سامانه‌ای طبیعی متأثر از فعالیت‌های انسانی است. در نگاهی سیستمی به حوضه مذکور توجه به نیروهای پیشران، اجزاء و متغیرهای سیستم، ارتباط بین متغیرها و تعامل بین آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در بستر تفکر سیستمی، توجه به پویایی سیستم در گذر زمان، برای تحقق اهداف تعیین شده ضروری است. از موارد قوت روش‌شناسی این پروژه، به‌کارگیری مؤثر رویکرد DPSIR برای تحلیل ساختار مدار سیستم حوضه حبله رود است. این رویکرد تحقق ارزیابی جامع را تسهیل کرده و به ارزیاب و مدیر حوضه به طور مؤثری کمک می‌کند تا با نگاه فرایندی و سیستمی بتواند شبکه نیروهای

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

پیشران، فشارهای وارده به سیستم، تغییرات در وضعیت سیستم از ابعاد مختلف و اثرات ایجاد شده را ترسیم و تدقیق نماید و در یک فضای علی- معلولی قادر باشد راه‌حل‌های مداخله‌ای را برای تعادل بخشی به سیستم ارائه نماید. رویکرد DPSIR نیز با برگزاری کارگاه در دو سطح کل حوضه حبله رود و زیر حوضه پایلوت مورد استفاده قرار گرفت. شایان ذکر است در این پروژه، حوضه رودخانه حبله رود با مساحت حدود ۱۰۲ میلیون هکتار به عنوان واحد هدف‌گذاری شاخص محور، واحد برنامه‌ریزی و کاری لحاظ شده است و ارتباط بالادست-پایین دست، ارتباط کمی و کیفی آب‌های سطحی و زیرزمینی و ارتباط دینفعان در فضای برنامه‌ریزی سیستم حبله رود مورد توجه بوده است تا تحقق مدیریت جامع امکان‌پذیر شود. درعین حال، برای ارائه مدل طرح‌ریزی برنامه‌های اجرایی برای مداخله در محیط در راستای برنامه اقدام حوضه حبله رود در مقیاس زیر حوضه‌ها، زیر حوضه پایلوت گورسفید مورد توجه قرار گرفت. توجه به مقیاس مکانی (کل سیستم و زیر حوضه‌های حبله رود) در ارزیابی و مدیریت جامع از اهمیت خاصی برخوردار است که به روشنی در این پروژه به آن پرداخته شده است. در این تحقیق، برای انتخاب راه‌حل‌های برتر از میان راه‌حل‌های محتمل، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره نظیر SAW, ELECTRE, TOPSIS مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این روش‌ها با توجه به ماهیت و جهات متفاوت اثرات ناشی از اقدامات مختلف مدیریتی و لحاظ کردن وزن نظیر اثرات، امکان انتخاب گزینه‌های برتر را برای حوضه حبله رود فراهم کرده است. برای تسهیل ادراک سیستم حوضه و عوامل مؤثر بر آن، شناخت بهتر راه‌حل‌های محتمل و بررسی اثرات مختلف راه‌حل‌های مورد بررسی و نیز انتخاب راه‌حل‌های برتر در یک محیط ترسیمی و قابل فهم و با یک واسطه کاربر آسان، برای حوضه حبله رود، سامانه پشتیبان تصمیم با کمک زیر ساخت mDSS ارائه شده است. ابزار ارائه شده فرایند ارتباط و مشارکت کلیه دینفعان و ذی‌مدخلان اعم از کاربران متخصص و غیر آن را تسهیل می‌نماید و برای تحقق ارزیابی و مدیریت جامع از اهمیت زیادی برخوردار است و پیشنهاد می‌شود از معماری ابزار ارائه شده در این پروژه در موارد مشابه استفاده شود. امکان تحلیل حساسیت و نیز فراهم کردن فضای تصمیم‌گروهی از دیگر مزایای نسخه پشتیبان تصمیم ارائه شده در گزارش پروژه است که می‌تواند استواری فرایند تصمیم‌گیری را ارتقاء بخشد.

### ویژگی‌های کلیدی برنامه مدیریت جامع پیشنهادی

از جنبه‌های مهم چارچوب ارائه شده، توجه به نقش و نظر دینفعان مختلف در موارد متعدد و نیز اطلاع‌رسانی گسترده و بهنگام نتایج هر مرحله به جوامع محلی و سایر دینفعان می‌باشد که تحقق مشارکت فعال و مستمر آن‌ها را تضمین می‌کند. از دیگر ویژگی‌های چارچوب مفهومی ارائه شده این است که در یک نگاه سیستمی صرفاً به مشکلات و معلول نپرداخته بلکه به نیروهای پیشران و علل وقوع مشکلات تمرکز دارد.

شاخص محور بودن و تحلیل‌های کمی وضعیت سلامت و پایداری آبخیزها از جنبه‌های بسیار مهم این چارچوب می‌باشد. تجزیه و تحلیل کلیه دینفعان، اعم از اثرگذار یا اثرپذیر و تحلیل شبکه‌های سازمانی و اجتماعی و جلب مشارکت فعال دینفعان در تحلیل مشکلات و راه‌حل‌ها، تعیین اهداف اصلی، چشم‌انداز و مأموریت‌ها، تعیین اولویت‌ها و وزن‌دهی شاخص‌ها، تعیین گزینه‌های مدیریتی برتر، پایش اثرات و ارزشیابی عملکرد اقدامات مدیریتی، و اخذ بازخورد و توجه به رویکرد مدیریت تطبیقی از دیگر نکات برجسته چارچوب مفهومی ارائه شده، محسوب می‌شوند.

استفاده از سامانه پشتیبان تصمیم، باعث تسهیل کمی سازی اثربخشی، اولویت‌بندی و انتخاب استراتژی‌ها و راهکارهای مؤثر در مدیریت جامع حوضه آبخیز می‌گردد.

### یافته‌ها و درس‌آموخته‌ها

علیرغم تلاش‌های گسترده در قالب طرح بین‌المللی مدیریت پایدار منابع آب و خاک حبله رود در طول دو دهه گذشته، وضعیت محیطی و شرایط اقتصادی - اجتماعی حوضه رودخانه حبله رود مناسب نمی‌باشد. تغییرات نامناسب کاربری اراضی نه تنها کاسته شده بلکه افزایش هم یافته است. روند نزولی شدید در آبدهی رودخانه حبله رود و همچنین افت شدید تراز ایستابی در دو آبخوان بزرگ حوضه یعنی دشت گرمسار و ایوانکی وجود دارد. تحلیل شبکه اجتماعی حوضه نشان می‌دهد که نسبت به گذشته چگالی شبکه کاهش یافته است. این کاهش در چگالی بیانگر از بین رفتن ارتباطات اجتماعی بین بروکرهاست. نکته قابل توجه این است که ارتباطات درون ماژول‌ها کاهش کمتری نسبت به کاهش ارتباطات بین ماژول‌ها دارد. روستاهایی که داخل ماژول قرار دارند، به دلیل ارتباطاتی همچون مسیر مشترک، فعالیت اقتصادی یا فرهنگی مشترک، اندکی از ارتباطات خود را حفظ نموده‌اند. ارتباط مابین روستاهای ماژول‌های مختلف به دلیل عدم توجه به ضرورت پایداری مشارکت و ارتباطات کمرنگ‌تر

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

گشته است. نتایج ارزیابی وضعیت پایداری حوضه با شاخص WSI نشان داد که وضعیت حوضه رودخانه حبله رود و زیرحوضه گورسفید ناپایدار می باشد.

استفاده از رویکرد DPSIR نشان داد که علیرغم تنوع نسبتاً گسترده در نیروهای پیشران، عوامل فشار، وضعیت، اثرات و راهکارها، امکان تحلیل ریشه ای عوامل و اثرات و اتخاذ نظام مند راهکارهای مدیریتی برای بهبود شرایط موجود و تحقق اهداف، چشم انداز و مأموریت های تبیین شده برای حوضه آبخیز وجود دارد.

مردم آمادگی مشارکت و همکاری خوبی با برنامه ها و پروژه های مدیریت آب و خاک دارند بویژه زمانی که به نیازمندی های آنها توجه شود و به دانش، آدب و رسوم آنها احترام گذارده شود. بنابراین قبل از ورود به حوزه آبخیز و جوامع روستایی بایستی هماهنگی کامل با دستگاه های متولی ذی ربط صورت گیرد و پیش نویس اولیه برنامه ها و اهداف و آرمان طرح با دخالت تمام این نهادهای ذی ربط تدوین شود و با هماهنگی و به صورت تیمی وارد روستا شده و فرآیند اصلی برنامه ریزی طرح با دخالت ذینفعان و ساکنان آغاز شود. اگر به دغدغه های اصلی مردم توجه نشود موفقیت در اجرای پروژه هایی که دغدغه اصلی مردم نیستند خیلی کم خواهد بود.

بدلیل گستردگی و تنوع ویژگی ها، مسائل و مشکلات، ذینفعان و ذیمدخلان، اهداف و راهکارها تدوین یک برنامه راهبردی برای یک حوضه آبخیز بدون استفاده از یک رویکرد برنامه ریزی جامع میسر نمی باشد. برای تدوین برنامه راهبردی حوضه آبخیز حبله رود و برنامه عملیاتی زیرحوضه گورسفید از رویکرد چهارچوب منطقی (LFA) استفاده گردید.

بدلیل تنوع بسیار زیاد راهکارهای پیشنهادی، دسته بندی آنها در قالب راهبردهای کلیدی ضروری است. راهکارهای پیشنهادی برای حوزه آبخیز گورسفید به چهار دسته راهبرد مهندسی و مدیریت زمین، ظرفیت سازی و آگاهی افزایی، حاکمیتی (نظارتی - سیاستگذاری) و برنامه ریزی سرزمین تقسیم و اولویت بندی شدند. دسته راهبرد برنامه ریزی سرزمین و دسته راهبرد مهندسی و مدیریت زمین برترتیب بعنوان اولویت اول و اولویت آخر انتخاب شده بودند. اما بدلیل محسوس بودن تیپ پروژه های سازه ای مهندسی برای ذینفعان محلی و عدم ملموس بودن راهکارها و پروژه های از تیپ برنامه ریزی سرزمین برای آنها و همچنین عدم مشارکت حداکثری کارشناسان و نمایندگان نهادهای متولی ذی ربط در تدوین برنامه عملیاتی حوضه، اکثر پروژه های عملیاتی برای حوزه آبخیز گورسفید از نوع راهکارهای دسته راهبرد مهندسی و مدیریت زمین انتخاب شدند. بنابراین ضمن ضرورت انکارناپذیر حضور و همکاری نهادهای متولی ذی ربط، اجرای برنامه های ظرفیت سازی و آگاهی افزایی در ذینفعان محلی برای تصمیم گیری و تشخیص صحیح اولویت ها و انتخاب اقدامات پروژه ای مناسب ضروری است.

سخن آخر اینکه ارائه نتایج صرفاً اجرایی اولویت اول تحقیق حاضر نبوده است و در واقع تمرکز جدی این مطالعه بر ارائه آکادمیک متدولوژی و ابزار تصمیم گیری و نیز ارائه نمونه کار در دسترس برای کاربران مختلف و تست و تکمیل آن بوده است. لذا برای نیل به نتایج اجرایی دقیقتر، به کارگیری روش معرفی شده با رجوع به ذینفعان و ذی مدخلان با تنوع و گستردگی بیشتر مورد توصیه می باشد. بعلاوه، ضرورت دارد توجه شود که مدیریت مشارکتی نیازمند برنامه ریزی، طراحی و مدیریت دقیقی می باشد و صرفاً ارائه متدولوژی و ابزار کافی نیست و تربیت و آموزش کارشناسان قابل و مطلع از اهمیت زیادی برخوردار بوده و برای پیاده کردن متدولوژی و به کارگیری ابزارها برای تحقق مدیریت جامع آبخیزها در حال و آینده توجه به افزایش ظرفیت های کارشناسی بایستی در سرلوحه اقدامات قرار گیرد.

### منابع

۱. سعدالدین، ا.، اونیق، م.، شیخ، و.، نجفی نژاد، ع.، صادقی، ح.ر.، زارع گاریزی، آ.، ۱۳۹۷. حکمرانی و برنامه ریزی حوضه رودخانه/ آبخیز. ترویج و توسعه آبخیزداری ۶ (۲۲): ۳۹-۴۳.
۲. سعدالدین، ا.، شهابی، م.، بای، م.، ۱۳۹۶. ارزیابی و مدیریت جامع آبخیزها اصول و رویکردهای مدل سازی و تصمیم گیری. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۹۴ ص.
۳. شیخ، و.، مصطفی زاده، ر.، ۱۳۹۲. راهنمای مدیریت پروژه های آبخیزداری (ترجمه). انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۴۳۰ ص.

4. Gheorghe, A.V., R. Mock and W. Kroger. 2000. Risk assessment of regional 142 Systems. Reliability Engineering & System Safety, vol. 70, no. 2, pp. 141-156.
5. Kragt, M.E., 2009. A beginners guide to Bayesian network modeling for integrated catchment management. Landscape Logic. Hobart, 22p.
6. Parhizkar, A., A. Ghafarie Gilandeh. 2006. GIS analysis and multi-criteria decision. Samt Publications. 597 pp.
7. Altonen, K., & Sivonen, R. (2009). "Response strategic to stakeholder pressures in global projects". International Journal of Project Management 27(2), 131-14.
8. Aaltonen, A. (2012). "Stakeholder management in international projects". Department of Industrial Engineering and Management.
9. Siering, J., & Svensson, A. (2012). "Managing External Stakeholder Relationships in PPP Projects - A Multidimensional Approach".
10. Copeland, H., Tessman, S., Girvetz, E., Roberts, L., Enquist, C., Orabona, A., et al. (2010). A geospatial assessment on the distribution, condition, and vulnerability of Wyoming's wetlands. Ecological Indicators, 869-879.
11. EPA. 2014a. Alabama and Mobile Bay Basin integrated assessment of watershed health. May 2014, EPA 841-R-14-002. The Cadmus Group, Inc. for U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/healthywatersheds>. 50 p.
12. Galey, P.J. 2006. Watershed health factors assessment Rogue Basin Coordinating Council. 99p. Available at: [http://www.oregon.gov/OWEB/docs/pubs/rest\\_priorities/whfa\\_5-4-06final.pdf](http://www.oregon.gov/OWEB/docs/pubs/rest_priorities/whfa_5-4-06final.pdf).
13. Li, Zh., Xu, D., Guo, X. 2014. Remote sensing of ecosystem health: opportunities, challenges, and future perspectives. Sensors, 14, 21117-21139; doi:10.3390/s141121117.
14. Lu, Y., Wang, R., Zhang, Y., Su, H., Wang, P., Jenkins, A., Ferrier, R.C., Bailey, M., Squire, G. 2015. Ecosystem health towards sustainability. Ecosystem Health and Sustainability, 1(1): 2. <http://dx.doi.org/10.1890/EHS14-0013.1>.

**Analysis of potentials and limitations to attain an integrated management of watersheds (Case study: Goorsefid subwatershed of Hablrerud river basin)**

Vahedberdi Sheikh<sup>1</sup>, Amir Sadoddin<sup>1</sup>, Hamid Abdollahian<sup>2</sup>, Arash Zare<sup>3</sup>, Omid Asadi Nalivan<sup>4</sup>, Ehsan Alvandi<sup>4</sup>, Gholamreza Khosrvai<sup>4</sup>

- 1- Associate Prof., Watershed Management Dept., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran ([sheikh@gau.ac.ir](mailto:sheikh@gau.ac.ir))
- 2- Full Prof., Social Science Dept., University of Tehran, Tehran, Iran
- 3- Assistant Prof., Watershed Management Dept., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
- 4- PhD Graduate, Watershed Management Dept., Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

### Abstract

This research has been carried out to systematically review the experiences gained during 17 years of implementing the Sustainable Management of Land and Water Resources (SMLWR) in the Hablerud river basin by collaboration of the Iranian Forset, Range and Watershed Mangement Organization and UNDP. This study is has been conducted by collaboration of the Iranian Forset, Range and Watershed Mangement Organization and the National Megaproject of Integrated Watershed Mangement to evaluate and document the experiences and the lessons learned by the SMLWR with a main aim of formulating a template model of participatory integrated watershed management (IWM) for the Hablerud river basin and generalizing it as a national template of IWM for aird and semiarid watersheds. To this end, the viewpoints and experiences of the formerly and currently involved experts and officials in the SMLWR project, watershed inhabitants, and academics with various backgrounds were elicited. Finally, a template of participatory management approach for the Goorsefid subwatered was developed as a pilot. Due to the importance of the involvement of watershed's stakeholders in all steps of the IWM development, the representatives of major stakeholders were involved in all the steps of identification of problems and solutions, defining vision, mission, aims, objectives and evaluation criteria and indices, prioritization of selection of management activities and monitoring and evaluation of the outputs and outcomes.

**Keywords:** Hablerud, IWM, SMLWR, Participatory management

میکرو/نانوپلاستیک‌ها، آلاینده‌های نوظهور در خاک

امیر فتوت<sup>۱</sup>، سمانه عبدالرحیمی<sup>۲</sup>، زهرا چوبینه<sup>۳</sup>

۱- استاد، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، afotovat@um.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

### چکیده

ورود آلاینده‌های مختلف به محیط‌زیست از منابع گوناگون باعث پیامدهای منفی بر سلامت انسان، گیاه، حیوان و زیست‌بوم می‌گردد. با پیشرفت صنعت پلیمر و تولید محصولات پلاستیکی و همچنین دفع و بازیافت نامناسب آن‌ها مشکلات قابل توجهی برای محیط‌زیست ایجاد شده‌است. میکروپلاستیک‌ها (>۵ میلی‌متر) و نانوپلاستیک‌ها (۱۰۰-۱ نانومتر) به عنوان آلاینده‌های نوظهور شناخته شده و به عنوان یکی از مهمترین چالش‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شوند. این ذرات پلاستیکی از راه‌های مختلف از جمله کاربرد لجن‌فاضلاب، کودهای آلی، مالچ‌های پلاستیکی و همچنین مدیریت نامناسب زباله‌ها، به اکوسیستم‌های خاکی وارد می‌شوند و بر خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی خاک اثر می‌گذارند. هدف از این مطالعه، مرور اطلاعاتی در مورد نحوه تشکیل و منابع ورود ذرات میکرو/نانوپلاستیک‌ها به محیط‌زیست همچنین بررسی پیامدهای آن‌ها بر سلامت اکوسیستم، گیاه و خاک و همچنین بیان چالش‌ها و موانع پیش‌رو در مطالعاتشان می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** میکروپلاستیک، نانوپلاستیک، محیط‌زیست

### مقدمه

توسعه هر کشور در جهان با پارامترهای متعددی از جمله: صنعت و کشاورزی مرتبط است (Mileusnić et al. (2014). محیط‌زیست به طور جدی توسط چندین آلاینده مانند: یون‌های معدنی، آلاینده‌های آلی، ترکیبات آلی فلزی، ایزوتوپ‌های رادیواکتیو، آلاینده‌های گازی و نانوذرات آلوده شده است (Walker et al. (2012). در چند دهه گذشته تولید پلیمرهای مختلف پلاستیکی بسیار افزایش یافته است تا نیازهای روزافزون ما را در بخش‌های مختلف از جمله بسته‌بندی، خودرو، محصولات الکترونیکی، وسایل پزشکی، ساخت و سازها و مصارف خانگی و غیره تأمین کند (Maity and Pramanick (2020). در دهه ۱۹۵۰، تولید جهانی پلاستیک ۱/۵ میلیون تن تخمین زده شد که در سال ۲۰۱۷ به ۳۵۰ میلیون تن رسیده است (Geyer et al. (2017). Plastic Europe (2018).

### اهمیت آلودگی پلاستیک

استفاده از پلیمرها در جنبه های مختلف زندگی ما اجتناب ناپذیر است و با پیشرفت علم پلیمر و فناوری روز نمی توان کاربرد پلاستیک ها را انکار کرد. اما تولید نمایی، پایداری طولانی مدت (تخریب ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ سال طول می کشد)، ماهیت به سختی تجزیه پذیر زیست محیطی و سرانجام تعامل با زیست زنده، مسائل نظارت و پتانسیل سمیت زیست محیطی آن ها را مطرح کرده است. از این رو آلودگی پلاستیک به یک نگرانی جهانی برای سلامت اکوسیستم و حفظ تنوع زیستی تبدیل شده است. غلظت پلاستیک ها در محیط های خاکی چند برابر محیط های آبی است (Maity and Pramanick (2020). دارا بودن خصوصیات منحصر به فردی همچون وزن و هزینه کم، خصوصیات شیمیایی پایدار، مقاومت در برابر سایش و ضدزنگ بودن، باعث شده که تقاضا و استفاده از محصولات پلاستیکی در جهان روبه افزایش باشد و در حال حاضر، آلودگی پلاستیکی به عنوان یکی از مهمترین چالش های زیست محیطی در نظر گرفته شود (Shen et al. (2019).

### انواع پلاستیک ها و تعاریف میکرو و نانوپلاستیک

تعداد زیادی پلیمر وجود دارد که بسته به ساختار شیمیایی آن ها کم و بیش در معرض انواع مختلف فرآیندهای تخریب قرار دارند (Kyrikou and Briassoulis (2007 بسیاری از آلاینده های پلیمری رایج مانند پلی اتیلن (PE)<sup>۴۹</sup>، پلی پروپیلن (PP)<sup>۵۰</sup>، پلی استر (PS)<sup>۵۱</sup>، پلی وینیل کلرید (PVC)<sup>۵۲</sup>، به سبب استحکام کربنی که دارند، در برابر تخریب هیدرولیتیک و آنزیمی مقاوم هستند (Ng et al. (2018. به هر ذره پلاستیکی که طول بزرگترین بعد آن از ۵ میلی متر کوچکتر باشد، میکروپلاستیک گفته می شود (NOVAA<sup>۵۳</sup> (2009. اندازه نانوپلاستیک ها هنوز مورد بحث است. برخی نانوپلاستیک ها را ذراتی با اندازه ۱ تا ۱۰۰ نانومتر پیشنهاد می دهند (European Commission (2011 در حالیکه، طیف وسیعی از مطالعات اندازه نانوذرات را ۱ تا ۱۰۰۰ نانومتر در نظر گرفتند (Gigault et al. (2018).

### منابع ورود پلاستیک به خاک

میکرو/ نانوپلاستیک ها یا به صورت مستقیم و به عنوان مواد اولیه (مثل رنگ های منتقل شده به آب، کاربردهای پزشکی، الکترونیک، پوشش ها، چسب ها و غیره) و یا به طور غیرمستقیم به عنوان میکروپلاستیک های ثانویه و نانوپلاستیک های تولید شده توسط خرد شدن بقایای پلاستیکی بزرگتر، وارد محیط زیست می شوند همچنین منابع مستقیم ورود این ذرات به خاک در کشاورزی شامل مالچ های پلاستیکی و پوشش های گلخانه ای و بهبوددهنده های خاک (به عنوان مثال فوم پلی اورتان) است. منابع غیرمستقیم شامل زباله های عمومی و استفاده از فاضلاب تصفیه شده و زیست جامدات<sup>۵۴</sup> است (Duis et al. (2016. در مطالعه Fang et al. (2021 گزارش شد که هنگام چاپ اسناد با استفاده از چاپگر لیزری در واقع در حال چاپ میکروپلاستیک ها روی کاغذ هستیم، زیرا پلاستیک ها ترکیب اصلی مخلوط پودر تونر هستند. علاوه بر این کاربردهای پزشکی، مانند حامل های دارو، مبتنی بر استفاده از نانوذرات پلیمری و کپسول های نانو، ممکن است بیش از حد به ورود این مواد به محیط کمک کند (Pohlmann et al. (2013).

### نگاهی به روند مطالعات انجام شده در محیط های مختلف

میکروپلاستیک ها در محیط های مختلفی از جمله محیط های دریایی، خاکی و اتمسفر یافت می شوند (De Souza Machado et al. (2018a. در بین آلاینده های پلاستیکی، بیشترین مطالعه بر روی میکروپلاستیک ها انجام شده است (Wright et al. (2013. در مطالعات آلودگی پلاستیک، خاک ها در مقایسه با اقیانوس ها و محیط های آبی تا حد زیادی نادیده گرفته شده اند (Rillig et

<sup>49</sup> Polyethylene

<sup>50</sup> Polypropylene

<sup>51</sup> Polystyrene

<sup>52</sup> Polyvinyl chloride

<sup>53</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration

<sup>54</sup> Biosolid

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

al. (2012) به گونه‌ای که بیش از ۹۰ درصد مطالعات میکروپلاستیک‌ها مربوط به محیط‌های آبی است. در حالیکه بخش عمده‌ی آلودگی میکروپلاستیکی در اقیانوس‌ها از منابع زمینی نشأت می‌گیرد (Xu et al. (2020

نتایج پژوهش (Akdogan and Guven, 2019) نشان داد که بیشترین مطالعات در زمینه میکروپلاستیک‌ها در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷، در محیط‌های آبی (دریا، اقیانوس، دهانه رود و دریاچه) بوده و سهم خاک در مقالات منتشر شده در این زمینه بسیار کم بوده است همچنین در این پژوهش نتیجه گرفته شد که بیشتر مطالعات بر روی وقوع و مشخصه‌یابی ذرات میکروپلاستیک بوده و مطالعات در زمینه جذب و اثراتشان بر روی موجودات زنده و سرنوشت و حمل و نقل آن‌ها در درجه بعدی اهمیت قرار داشتند. ما نیز در مروری مشابه با این پژوهش، در مقالات منتشر شده در پایگاه داده Science direct، مشاهده کردیم که از سال ۲۰۱۴ تاکنون مطالعات روند افزایشی داشته است و به طور کلی سهم مطالعات مرتبط با سرنوشت، منابع و شناسایی این ذرات پلاستیکی در محیط‌های طبیعی بیشتر از سایرین است. این درحالی است که از سال ۲۰۱۷ موضوع تاثیر همزمان این ذرات با آلاینده‌ها در محیط بیشتر مورد توجه قرار گرفت در سال ۲۰۱۹ بیشتر مطالعات به این موضوع پرداخته بودند و بیشتر مطالعات روی ذرات در اندازه‌ی نانو (نانوپلاستیک‌ها) انجام شد و همچنین مطالعاتی در جهت حذف این ذرات از محیط‌های آبی صورت گرفت. مطالعات در زمینه‌ی میکروپلاستیک‌های ثانویه و فرآیندهای زمان‌گذری<sup>۵۵</sup> در سال ۲۰۲۰ قوت گرفت و در سال ۲۰۲۱ تاکنون، نگاه ویژه‌ای به اثرات حضور میکرو/نانوپلاستیک‌ها در خاک، گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاکزی، نسبت به سال‌های گذشته شده است. به طور خلاصه تمرکز مطالعات حال حاضر بیشتر بر روی شناخت اثرات دقیق‌تر این ذرات پلاستیکی، تعامل با سایر آلاینده‌ها و انجام مطالعاتی نزدیک به شرایط واقعی محیط است. نمونه‌ای از مطالعات آزمایشگاهی بر ذرات میکروپلاستیک در محیط‌های مختلف و همچنین یافته‌های کلیدی این پژوهش‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- نمونه‌هایی از مطالعات مبتنی بر آزمایشگاه روی میکروپلاستیک‌ها

| منبع                   | محیط مورد مطالعه   | نوع پلیمر مورد مطالعه | یافته کلیدی مطالعه                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Holmes et al., 2014    | Marine (estuarine) | HDPE                  | با افزایش pH در آب رودخانه، جذب $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ و $\text{Pb}^{2+}$ افزایش یافت، جذب $\text{Cr}^{6+}$ کاهش یافته و جذب مس نسبتاً ثابت بود<br>جذب فلزات سنگین بر روی میکروپلاستیک‌های زمان‌گذری شده بیشتر بود                                         |
| Brennecke et al., 2016 | Sea water          | PS, PVC               | جذب روی و مس بر روی میکروپلاستیک PVC بیشتر از PS بود<br>مس سریعتر از روی بر روی PVC جذب شد                                                                                                                                                                                                 |
| Wang and Wang., 2017   | Freshwater         | PE, PS, and PVC       | در مقایسه با رسوب طبیعی، میکروپلاستیک‌ها ظرفیت بالاتری را برای PAH (Phenanthrene) نشان می‌دهند<br>$\text{PE} > \text{PS} > \text{PVC}$                                                                                                                                                     |
| Yu et al., 2020        | Marine             | PE, PS, and PVC       | ظرفیت جذب تتراسایکلین روی میکروپلاستیک‌ها: $\text{PE} > \text{PS} > \text{PVC}$<br>مقدار جذب تتراسایکلین با اندازه ذرات PE رابطه منفی دارد<br>$\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ فرآیند جذب را بهبود می‌دهد، اما $\text{Cu}^{2+}$ آن را ضعیف می‌کند |
| Yu et al., 2020        | Soil               | PE                    | کاهش فراهمی زیستی Cu، Cr و Ni در خاک<br>میکروپلاستیک‌ها در بخش‌های مختلف خاکدانه‌ای از نظر اندازه تاثیرات متفاوتی بر روی فلزات سنگین نشان دادند                                                                                                                                            |

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

|                        |      |     |                                                                                                                                                     |
|------------------------|------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abbasi et al.,<br>2020 | Soil | PET | ذرات PET می‌توانند به عنوان یک حامل در انتقال فلزات سنگین به منطقه ریزوسفر عمل کنند<br>میزان جذب $Pb^{2+}$ در PET کمتر از $Cd^{2+}$ و $Zn^{2+}$ بود |
|------------------------|------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### رفتار پلاستیک‌ها در خاک

بسیاری از پلاستیک‌هایی که معمولاً در خاک یا روی آن‌ها قرار می‌گیرند، در معرض اکسیداسیون نوری و حرارتی و همچنین سایش و خرد شدن مکانیکی و تخریب زیستی قرار می‌گیرند. تخریب اکسیداسیون نوری و حرارتی باعث تحریک، ترک خوردن و ضعیف شدن پلاستیک‌ها با گذشت زمان می‌شود. بنابراین مواد وقتی در معرض نیروهای ساینده یا مکانیکی قرار بگیرند، بیشتر در معرض تکه‌تکه شدن می‌باشند (Ng et al. (2018). تکه‌تکه شدن و تخریب طبیعی پلاستیک‌ها، به ویژه برای آن‌هایی که در خاک دفن شده‌اند، یک روند بسیار کند است. زیرا در طی فرآیند زمان‌گذاری حرکت ذرات پلاستیک در محیط، از طریق پروفیل خاک و به صورت عمودی پیش‌بینی می‌شود (Ng et al. (2018). کرم‌های خاکی (Rillig et al. (2017) و همچنین روش‌های کشاورزی مانند شخم به انتقال عمودی آن‌ها کمک می‌کند. این مکان زیرسطحی به دلیل داشتن شرایط بی‌هوازی از روند تخریب اکسیداسیونی جلوگیری می‌کند، بنابراین پلاستیک‌ها معمولاً می‌توانند برای مدت زمان طولانی در خاک باقی بمانند. فرآیند زمان‌گذاری می‌تواند با افزایش حضور گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن (به عنوان مثال، کربونیل)، کاهش وزن مولکولی و ایجاد یک سطح ناهموار، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی سطح آن‌ها را تغییر دهد (Song et al. (2017). در پژوهشی Mao et al. (2020) گزارش کردند که با افزایش فرآیند زمان‌گذاری با اشعه UV، منافذ بیشتر و بزرگتری در سطح ذرات پلی‌استایرن (PS) پدیدار شد. همچنین نتایج مطالعه Luo et al. (2020) نشان داد که در طول زمان‌گذاری سطح ویژه میکروپلاستیک پلی‌اتیلن افزایش یافت که این ممکن است به دلیل تکه‌تکه شدن ذرات میکروپلاستیک در اثر اشعه UV و همچنین ظهور ترک‌ها و منافذ زیاد بر روی سطح آن باشد که به تبع آن دسترسی نور و اکسیژن را به لایه‌های داخلی تسهیل می‌کند، همچنین در این مطالعه مشاهده شد که افزایش روند زمان‌گذاری باعث تغییر رنگ میکروپلاستیک هم خواهد شد که این پدیده توسط فرآیند اکسیداسیون کنترل می‌شود. میزان بروز این فرآیندهای زمان‌گذاری بستگی زیادی به شرایط محیطی مانند دما، شدت، زمان، گونه‌های میکروبی خاک<sup>۵۶</sup> و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها دارد (Liu et al. (2018).

### تأثیر پلاستیک‌ها بر برخی خصوصیات خاک

میکروپلاستیک‌ها بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک و رشد گیاه تأثیر می‌گذارند و همچنین اثرات زیست‌محیطی نامطلوبی بر جانوران خاک دارند. این تأثیرات به غلظت، اندازه و شکل میکروپلاستیک‌ها و همچنین بافت خاک بستگی دارد. علاوه بر این میکروپلاستیک‌ها توانایی جذب آلاینده‌های آلی و معدنی را دارند و احتمالاً بر توزیع این مواد در خاک تأثیرگذار هستند. (Zhu et al. (2019).

### تأثیر پلاستیک‌ها بر خصوصیات فیزیکی خاک

چندین پژوهش اطلاعات محدودی در مورد تأثیر میکروپلاستیک‌ها بر خصوصیات فیزیکی خاک ارائه داده‌اند. میکروپلاستیک‌ها به دلیل چگالی کم، معمولاً باعث کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شوند، با این حال، ممکن است نوع میکروپلاستیک بر فضای منافذ و برهمکنش ذرات در خاک تأثیر داشته باشد، همچنین میکروپلاستیک‌ها می‌توانند بر خاکدانه‌سازی، ظرفیت نگهداشت آب و آب قابل دسترس تأثیر بگذارند، اما نوع اثرات به نوع و غلظت میکروپلاستیک‌ها بستگی دارد (De Souza Machado et al. (2018b). الیاف پلی‌استر بیشترین تغییرات را در پارامترهای بیوفیزیکی خاک به عنوان مثال: وزن مخصوص ظاهری خاک، ظرفیت نگهداری آب و ساختار خاک ایجاد کرده‌اند. شکل الیاف ممکن است نشان‌دهنده پتانسیل بالاتری برای تغییر خواص بیوفیزیکی خاک باشد زیرا ساختارهای خطی با ذرات غیرخطی که بخش عمده‌ای از توده خاک را تشکیل می‌دهند تفاوت اساسی دارد. میکروپلاستیک‌ها با شکلی شبیه به سایر ذرات طبیعی خاک تفاوت‌های کوچکتری از تیمار کنترل ایجاد

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

می‌کنند (De Souza Machado et al. 2019). ترکیبی از خواص پلاستیکی و شکل ذرات، به این معنی است که الیاف پلی‌استر انعطاف‌پذیرتر بوده و بنابراین نسبت به نمونه‌های پلی‌اکریلیک به طور موثرتر و یکنواخت‌تری در داخل خاک ترکیب می‌شوند. به نوبه خود، این باعث می‌شود که ذرات خاک با الیاف پلی‌استر به طور موثرتری درگیر شوند. بعلاوه، حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک به دلیل تاثیر بر پایداری خاکدانه ممکن است بر فرسایش نیز (Rillig and Lehmann 2020) تاثیرگذار باشد. تاثیر پلاستیک‌ها بر خصوصیات بیولوژیکی خاک

میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به عنوان یک زیستگاه جدید زیست‌محیطی برای میکروارگانیسم‌هایی که در خط اتصال خاک-پلاستیک زندگی می‌کنند به عنوان مثال: (میکروپلاستیک‌ها<sup>۵۷</sup>) عمل کرده و اجازه ایجاد جوامع میکروبی منحصر به فردی را بدهند (Zhou et al. 2021)، علاوه بر ایجاد لکه‌های داغ میکروبی<sup>۵۸</sup>، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند تأثیرات متفاوتی بر جوامع میکروبی خاک و فعالیت‌های آنزیمی داشته باشند، به عنوان مثال، سبب فعال‌سازی (De Souza Machado et al. 2019)، سرکوب (Fei et al. 2020) شده و یا تأثیری نگذارند (Zang et al. 2020). نتایج متفاوت مشاهده شده در مورد فعالیت‌های میکروبی و ساختارهای جمعیت‌های خاک را می‌توان با ترکیب شیمیایی، سطح ویژه و آگریزی مختلف میکروپلاستیک‌ها و همچنین ساختارها و ویژگی‌های خاک (به عنوان مثال، pH، ثبات کل خاک، تخلخل و میزان آب) توضیح داد (Yu et al. 2020). در پژوهش انجام شده توسط (Lozano et al. 2021b)، نوع پلیمر، یک متغیر کلیدی برای میکروپلاستیک بود که تغییرات فعالیت میکروبی را توضیح می‌داد به صورتیکه قطعات PP و فیلم‌های PE، پلیمرهایی بودند که فعالیت میکروبی را بیشتر کاهش دادند. حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک بر فعالیت آنزیم‌های اوره‌آز و فسفاتاز اثر منفی گذاشت (Yang et al. 2018)، در حالیکه میکروپلاستیک‌های PE و PVC بر آنزیم‌های فسفاتاز اسیدی و اوره‌آز خاک اثر مثبت داشتند که یکی از دلایل افزایش فعالیت این دو آنزیم می‌تواند وابستگی فعالیت آن‌ها به رطوبت خاک و اثر میکروپلاستیک‌ها در حفظ طولانی‌تر آب خاک باشد (Fei et al. 2020). میکروپلاستیک‌ها به عنوان ناقل و منبع (sink) آلاینده‌های سمی در محیط اطراف خود عمل کرده و باعث سمیت سلولی شده و به طور مستقیم از رشد گیاه جلوگیری کنند (Zhou et al. 2021). علاوه بر این، میکروپلاستیک‌ها می‌توانند به طور غیرمستقیم بر رشد گیاه تاثیرگذار باشند. به عنوان مثال، میکروالیاف، وزن مخصوص ظاهری خاک را کاهش داده و تهویه خاک را افزایش می‌دهند (De Souza Machado et al. 2018b) که در نتیجه می‌تواند مقاومت نفوذ ریشه را کاهش و رشد آن را افزایش دهد (Rillig et al. 2019a).

انتظار می‌رود، میکروپلاستیک‌ها به علت وزن مولکولی زیاد یا اندازه بزرگ (نسبت به دیواره سلولی) توسط گیاهان جذب نشوند و دیواره‌ی سلولی غنی از سلولز گیاه مانع نفوذ آن‌ها شود (Teuten et al. 2009)، اما با این حال هنگامی که میکروپلاستیک‌ها به نانوذرات (> ۰.۱ میکرومتر) تبدیل می‌شوند، می‌توانند از غشاهای بیولوژیکی عبور کرده و وارد سلول‌های گیاهی شوند. نتایج پژوهش (Li et al. 2020) نشان داد که دانه های ۰/۲ میکرومتری از جنس پلی‌استایرن از راه آپوپلاستیک از فضای بین‌سلولی عبور کرده و در دیواره سلولی ریشه و سیستم آوندی گیاه کاهو مشاهده شدند و همچنین به سبب تخریب به وسیله سیستم آوندی به ساقه‌ها و برگ‌ها منتقل شدند. از طرف دیگر (Zhao et al. 2021) نشان دادند که میکروپلاستیک‌های PE در اندازه ۲۳ میکرومتر فقط به سطح ریشه چسبیده و به علت اندازه بزرگ آن‌ها نسبت به منافذ ریشه، وارد ریشه کاهو نمی‌شوند.

### تاثیر پلاستیک‌ها بر خصوصیات شیمیایی خاک

از جمله اثرات میکروپلاستیک‌ها بر خصوصیات شیمیایی خاک می‌توان به تغییرات در مقدار کربن (Rillig and Lemhmann 2020)، نسبت C/N (Qi et al. 2020)، pH (Wang et al. 2020) و قابلیت هدایت الکتریکی (Qi et al. 2020) اشاره کرد. گزارش شده‌است که حضور میکروپلاستیک‌ها در خاک سبب کاهش کربن آلی محلول و pH می‌شود که اثر مستقیم این دو عامل بر گونه‌های شیمیایی عناصر، نشان‌دهنده‌ی اثر احتمالی میکروپلاستیک‌ها بر توزیع گونه‌های فلزات سنگین در محلول خاک است (Yu et al. 2020). پژوهش انجام گرفته توسط (Gao et al. 2021)، مشخص نمود که میکروپلاستیک‌های به شکل

<sup>57</sup>Microplastisphere

<sup>58</sup> Microbial hotspots

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

فوم<sup>۵۹</sup> و قطعه<sup>۶۰</sup>، pH خاک را افزایش داده‌اند که این می‌تواند به علت افزایش تهویه و تخلخل خاک در نتیجه‌ی افزودن میکروپلاستیک‌ها به خاک باشد (De Souza Machado et al. (2019)؛ Lozano et al. (2021). همچنین آبشویی ترکیبات شیمیایی میکروپلاستیک‌ها به خاک می‌تواند جمعیت میکروبی خاک و به دنبال آن pH را تغییر دهد (Gao et al. (2021). در حضور همزمان کادمیم و میکروپلاستیک HDPE<sup>۶۱</sup> و همچنین حضور همزمان میکروپلاستیک PS و کادمیم، pH خاک افزایش یافت که این افزایش به تغییرات در جوامع میکروبی و گیاه در اثر حضور میکروپلاستیک‌ها نسبت داده شده است (Wang et al. (2020). میکروپلاستیک‌ها منبع کربن مخصوصا کربن با منشأ فسیلی هستند و وقتی در خاک قرار می‌گیرند، به عنوان مخزن کربن در نظر گرفته می‌شوند (Rilling and Lemhmann (2020). Qi et al. (2020) در بررسی اثر بقایای مالچ‌های کشاورزی به صورت میکرو و ماکرو به جنس HDPE و پلاستیک زیست‌تخریب‌پذیر در کشت گندم، دریافتند که نسبت C/N در خاک در حضور میکروپلاستیک‌ها افزایش پیدا می‌کند و بیشترین مقدار مربوط به تیمار میکروپلاستیک PE بوده است (Qi et al. (2020).

### تعامل ذرات پلاستیک با سایر آلاینده‌ها در محیط

در شرایط واقعی محیط خاک، ذرات پلاستیک به خصوص ذراتی که تحت تاثیر فرآیند زمان‌گذاری بوده‌اند تمایل زیادی به جذب سطحی آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی و نانومواد دارند. جذب سطحی آلاینده‌ها به وسیله میکروپلاستیک‌ها به شدت وابسته به خصوصیات میکروپلاستیک‌ها مانند نوع، سطح ویژه، تخلخل، تعداد مکان‌های جذب و آگریزی آن‌ها است. فلزات سنگین می‌توانند از طریق برهمکنش الکترواستاتیک، کمپلکس شدن سطحی و رسوب، در سطح میکروپلاستیک‌ها جذب سطحی شوند (Ren et al. (2021). اندازه بقایای پلاستیکی در مقیاس نانو باعث می‌شود ناقلین کارآمد بسیاری از آلاینده‌ها و به ویژه فلزات باشند (Davranche et al. (2019). نانوپلاستیک‌ها، اندازه‌ای در ابعاد نانو دارند و پلی‌دیسپرس با ساختار باز و شکل ناهمگن و نامتقارن هستند. آن‌ها دارای یک سطح باردار ناهمگن و توانایی هم‌آوری در شرایط فیزیکی شیمیایی محیط را دارند (Gigault et al. (2018). که این ویژگی‌های اشاره شده در بالا، ذرات نانوپلاستیک را به عنوان جاذب‌های مورد توجه برای آلاینده‌ها و به ویژه فلزات کمیاب تبدیل می‌کند. (Davranche et al. (2019) در مطالعه خود شواهدی را نشان داد که نانوپلاستیک‌ها، در شرایط طبیعی در اثر قرار گرفتن در معرض تخریب مکانیکی و به ویژه اکسید شدن توسط اشعه ماوراء بنفش، ایجاد می‌شوند، از این‌رو قادر به جذب  $Pb^{2+}$  هستند، به نظر می‌رسد جذب  $Pb^{2+}$  توسط فعل و انفعالات شیمیایی و فیزیکی با نانوپلاستیک کنترل می‌شود و به شدت به pH وابسته است. افزایش زیاد جذب در  $pH > 4$  که مربوط به پروتون‌زدایی مکان‌های کربوکسیلیک است، اثبات شد. این مشاهدات نشان می‌دهد که  $Pb^{2+}$  می‌تواند از طریق کمپلکس‌های درون‌کره‌ای<sup>۶۲</sup> به محل‌های اتصال اکسیژن سطح نانوپلاستیک متصل شود، که منجر به یک فرآیند جذب ناهمگن می‌شود. به میزان کمتر، به نظر می‌رسد جذب به یک انتشار درون‌ذره  $Pb^{2+}$  بستگی دارد که توسط مدل‌سازی و نتایج تحلیلی مشهود است.

### عوامل موثر بر رفتار میکرو/نانوپلاستیک‌ها در خاک

ویژگی‌های مختلفی از قبیل نوع پلیمر، اندازه، شکل، زمان انکوباسیون و غلظت‌های آزمایش شده بر میزان سمیت ذرات پلاستیکی تاثیر گذار می‌باشد (Wang et al. (2019)؛ Qiao et al. (2019). همچنین عوامل دیگر مانند pH، شوری، قدرت یونی، بافت خاک و غلظت کاتیون فلزی می‌توانند در جذب آلاینده‌ها به میکروپلاستیک‌ها نقش داشته باشند (Ren et al. (2021). نتایج بدست آمده از پژوهش (Huang et al. (2021) نشان داد که با کاهش pH توانایی جذب آلاینده آلی تیلوسین (tylosin) به میکروپلاستیک PS ضعیف می‌شود. در محلول با  $pH < 3$  (اسیدی قوی)، فراوانی یون هیدروژن ( $H^+$ ) و یون هیدرونیوم ( $H_3O^+$ ) ممکن است برای جایگاه‌های جذب با آلاینده رقابت کند در نتیجه سبب محدودیت فرآیند جذب شود درحالی‌که با افزایش pH، در محلول، تیلوسین عمدتا به صورت مولکولی و کادمیم به فرم  $Cd(OH)^+$  و  $Cd(OH)_2$  وجود دارد و به سبب رقابت کم، جذب تیلوسین افزایش می‌یابد. pH در توزیع گونه  $Pb^{2+}$  و بار سطح میکروپلاستیک اثرگذار است به طوریکه در  $pH > pH_0$ ، سطح میکروپلاستیک‌ها

<sup>59</sup> Foam

<sup>60</sup> Fragment

<sup>61</sup> High Density Poly Ethylene

<sup>62</sup> Inner Sphere

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

دارای بار منفی می‌شود و تمایل بیشتری به جذب کاتیون دارند. جذب سطحی  $Pb^{2+}$  به میکروپلاستیک‌های PVC، PE و PS با افزایش pH از ۲ به ۶، افزایش می‌یابد (Lin et al. (2021). جذب سطحی سرب به PE در شوری کم، افزایش و در شوری زیاد، کاهش می‌یابد (Holmes et al. (2014). ممکن است بین بار منفی نمک و بار مثبت سرب برهمکنش الکترواستاتیکی رخ دهد (Torres et al. (2007). مکانیسم‌های کاهش جذب با افزایش شوری شامل رقابت بین یون‌ها برای مکان‌های جذب (Liu et al. (2018) و نیروهای الکترواستاتیک (Li et al. (2018) است. مواد آلی محلول (DOM) معمولاً سبب کاهش جذب می‌شود چون می‌تواند به آلاینده‌ها متصل و با سطوح میکروپلاستیک رقابت کند (Xu et al. (2018b). تاثیر DOM بر آلاینده‌های غیرقطبی بیشتر از آلاینده‌های قطبی است (Tourinho et al. (2019).

### چالش‌های موجود در زمینه میکرو/نانوپلاستیک‌ها در خاک

آلودگی میکرو/نانوپلاستیک، موضوعی جدید در علوم خاک است و در نتیجه روش‌های نمونه‌گیری، استخراج، تحلیلی و حتی واحدهای توصیفی استانداردسازی نشده‌اند (Xu et al. (2019). براساس مطالعات قبلی (Piehl et al. (2018). با توجه به اختلاف در عمق نمونه‌برداری، روش استخراج و واحد ارائه شده در میان مطالعات مختلف، مقایسه دقیق آلودگی میکروپلاستیک در مناطق و انواع مختلف خاک دشوار است. به علاوه، برای نانوپلاستیک‌ها هنوز تعریف روشنی ارائه نشده است (Koelmans et al. (2015) و طبقه‌بندی این ذرات غالباً بر اساس تعاریفی است که برای مواد غیرپلیمری استفاده می‌شود. ارزیابی سرنوشت نانوذرات در محیط به دلیل اندازه آن‌ها ذاتاً دشوار است (Mattsson et al. (2015b). تاکنون در هیچ مقاله‌ای شناسایی نانوپلاستیک‌ها در محیط طبیعی گزارش نشده است که یک دلیل آن می‌تواند دامنه اندازه کوچک آن‌ها باشد و اینکه هنوز فناوری‌های شناسایی چنین ذرات ریزی در مقیاس بزرگ توسعه نیافته است (Pico et al. (2019). از دیگر دلایل می‌توان به این مسئله اشاره کرد که پیش‌بینی نحوه تجمع یا انتقال نانوپلاستیک‌ها در محیط طبیعی دشوار است (Nature Nanotechnology (2019). یک مشکل عمده در کاربرد پلیمر، تکه تکه شدن ذرات است، در گذشته برای درک تکامل اندازه ذرات در طی آسیاب به ویژه در مدل‌سازی کاهش اندازه مواد معدنی تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است (Liang et al. (2000) با این حال عملکرد یک فرآیند آسیاب بستگی زیادی به مواد آسیاب شده دارد مثلاً رفتار مواد دارویی، غذایی و پلیمرها با مواد معدنی متفاوت است و در این رابطه مطالعات بسیار کمی در مورد آسیاب پلیمر به ویژه در تولید پودرهای پلیمر ریز انجام شده است (Rajalingam et al. (1993). کمبود داده‌های مربوط به اثر آلودگی برای میکرو/نانوپلاستیک‌ها در خاک و همچنین، استفاده بیشتر از ذرات پلاستیکی اولیه در تحقیقات و وجود تفاوت بین این نوع ذرات پلاستیکی در محیط واقعی؛ اهمیت بررسی تاثیر ذرات پلاستیکی ثانویه را دوچندان می‌کند.

### نتیجه‌گیری

این مقاله پیشرفت‌های تحقیق در ویژگی‌های ذرات میکرو و نانوپلاستیک‌ها، سرنوشت و خطرات اکولوژیکی این ذرات را در محیط‌های مختلف به ویژه در خاک بررسی کرده و مروری بر پیشرفت‌های اخیر در میکروپلاستیک‌ها در اکوسیستم‌های زمینی را ارائه می‌دهد. مطالعات در سال‌های اخیر بیشتر در محیط‌های آبی بوده و مقالات منتشر شده کمتری در محیط خاک و اکوسیستم‌های مربوط به آن وجود دارد. هرچند که در سال‌های اخیر دانش در زمینه میکروپلاستیک‌ها در محیط خاک در حال پیشرفت است و در طی این سال‌ها مطالعات مختلفی در ارتباط با این آلاینده‌های پلاستیکی در حال افزایش است و روند مطالعات غالباً در جهت شناخت اثرات مختلفی است که حضور همزمان این ذرات و سایر آلاینده‌ها رقم خواهد زد، با این حال هنوز مطالعات، به دلیل ناهمگن بودن محیط خاک، با چالش‌هایی روبرو بوده است. به بیان دیگر هنوز کمبود اطلاعات در مورد آلودگی میکروپلاستیک در جنبه‌های مختلف از جمله روش‌های اندازه‌گیری و نمونه‌برداری آن‌ها در خاک، انتقال این ذرات در خاک، نزدیک کردن شرایط آزمایشگاهی به شرایط واقعی، تاثیر انواع پلیمرها و دامنه اندازه آنها، تاثیر محدوده غلظتی، درجه زمان‌گذاری مختلف و مطالعه روی میکرو و نانوپلاستیک‌های ثانویه، سرنوشت و پیامدهای اکولوژیکی میکروپلاستیک‌ها، تاثیر این ذرات بر ویژگی‌های خاک و گیاهان مختلف، موضوع سایش و خردایش و تبدیل آن‌ها به ذرات اندازه نانو، پژوهش درباره

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شیمی تعامل فلزات سنگین و پلاستیک‌ها و مطالعات خطرسنجی<sup>۶۳</sup> برای تعیین حدمجاز آن‌ها در محیط‌های مختلف به ویژه خاک وجود دارد. بنابراین برای انجام پژوهش‌های بیشتر در این زمینه و تعیین پیامدهای آن‌ها در محیط خاک نیاز به غلبه بر برخی از محدودیت‌های جدی موجود در مطالعات مربوطه وجود دارد.

فهرست منابع

- 1- Arthur, C., Baker, J. and Bamford, H. (eds). (2009). Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris., *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-30*.
- 2- Akdogan, Z., Guven, B. (2019). Microplastics in the Environment: A Critical Review of Current Understanding and Identification of Future Research Needs. *Environmental Pollution*, 254, 113011.
- 3- Abbasi, S., Moore, F., Keshavarzi, B., Hopke, P.K., Naidu, R., Rahman, M., Oleszczuk, P., Karimi, J. (2020). PET-microplastics as a vector for heavy metals in a simulated plant rhizosphere zone. *Science of The Total Environment*, 744, 140-984.
- 4- Bosker, T., Bouwman, L. J., Brun, N. R., Behrens, P., Vijver, M. G. (2019). Microplastics accumulate on pores in seed capsule and delay germination and root growth of the terrestrial vascular plant *Lepidium sativum*. *Chemosphere*. 226, 774-781.
- 5- Brodhagen, M., Goldberger, J.R., Hayes, D.G., Inglis, D.A., Marsh, T.L., Miles, C. (2017). Policy considerations for limiting unintended residual plastic in agricultural soils. *Environment Science Pollution*. 69, 81-84.
- 6- Brennecke, D.; Duarte, B.; Paiva, F.; Caçador, I.; Canning-Clode, J. (2016). Microplastics as vector for heavy metal contamination from the marine environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*., 178, 189-195.
- 7- Davranche, M., Veclin, C., Pierson-Wickmann, A. C., El Hadri, H., Grassl, B., Rowenczyk, L., Dia, A., Ter Halle, A., Blanco, F., Reynaud, S., ult, J. (2019). Are nanoplastics able to bind significant amount of metals? The lead example. *Environmental Pollution*, 249, 940-948.
- 8- De Souza Machado, A.A., Kloe, S W., Zarfl, C., Hempel, S., Rillig, M.C. (2018a). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*. 24, 1405-1416.
- 9- De Souza Machado, A.A., Lau, C.W., Till, J., Kloas, K., Lehmann, A., Becker, R., Rillig, M.C. (2018b). Impacts of microplastics on the soil biophysical environment. *Environmental Science and Technology*, 52, 9656-9665.
- 10- De Souza Machado, A.A., Lau, C.W., Kloas, W., Bergmann, J., Bachelier, J.B., Faltin, E., Becker, R., Görlich, A.S., Rillig, M.C. (2019). Microplastics can change soil properties and affect plant performance. *Environmental Science and Technology*, 53, 6044-6052.
- 11- Duis, K., Coors, A. (2016). Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. *Environmental Sciences Europe*, 28, 1-25.
- 12- European Commission. (2011). Commission Recommendation of 18 October 2011 on the Definition of Nanomaterial
- 13- Fang, Ch., Sobhani, Z., Zhang, D., Zhang, X., T. Gibson, Ch., Tang, Y., Luo, Y., Megharaj, M., Naidu, R. (2021). Capture and characterisation of microplastics printed on paper via laser printer's toners. *Chemosphere*, 281, 130864.
- 14- Fei, Y., Huang, S., Zhang, H., Tong, Y., Wen, D., Xia, X., Wang, H., Luo, Y., Barcelo, D. (2020). Response of soil enzyme activities and bacterial communities to the accumulation of microplastics in an acid cropped soil. *Science of the Total Environment*, 707, 135634.
- 15- Gao, M., Liu, Y., Dong, Y., Song, Z. (2021). Effect of polyethylene particles on dibutyl phthalate toxicity in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123422.
- 16- Geyer, R., Jenna, R., Jambeck, J.R., Law, K.L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made, *Science Advances*. 3, 1700782.

- 17- Gigault, J., Halle, A. T., Baudrimont, M., Pascal, P.-Y., Gauffre, F., Phi, T. L., Reynaud, S. (2018). Current opinion: What is a nanoplastic? *Environmental Pollution*, 235, 1030–1034
- 18- Holmes, L.A., Turner, A., and Thompson, R.C. (2014). Interactions between trace metals and plastic production pellets under estuarine conditions. *Marine Chemistry*. 167: 25-32.
- 19- Huang, D., Xu, Y., Yu, X., Ouyang, Z., and Guo, X. (2021). Effect of cadmium on the sorption of tylosin by polystyrene microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 207, 111255.
- 20- Koelmans, A.A., Diepens, N.J., Velzeboer, I., Besseling, E., Quik, J.T.K., van de Meent, D. (2015b). Guidance for the prognostic risk assessment of nanomaterials in aquatic ecosystems. *Science of the Total Environment*. 535, 141–149
- 21- Kyrikou, I., Briassoulis, D. (2007). Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. *J. Polymers and the Environment*. 15, 125–150.
- 22- Li, J., Zhang, K., Zhang, H. (2018). Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environmental Pollution*. 237, 460–467.
- 23- Li, L.Z., Luo, Y.M., Li, R.J., Zhou, Q., Peijnenburg, W.J.G.M., Yin, N., Yang, J., Tu, C., Zhang, Y.C. (2020). Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Nature Sustainability is a Transformative Journal*. 3, 929–937.
- 24- Li, W., Wufuer, R., Duo, J., Wang, S., Luo, Y., Zhang, D., Pan, X. (2020). Microplastics in agricultural soils: Extraction and characterization after different periods of polythene film mulching in an arid region. *Science of the Total Environment*. 749, 141420.
- 25- Li, L., Yang, J., Zhou, Q., Peijnenburg, W. J. G. M., Luo, Y. (2020). Uptake of Microplastics and Their Effects on Plants. *Microplastics in Terrestrial Environments*. The Handbook of Environmental Chemistry, 95, 279-298.
- 26- Liang, S. B., Shi, Q. C., Zhu, C. (2000). Proceeding of international Conference on fine powder processing, (V. M. Puri, Ed.) Penn state University, 3-7.
- 27- Lin, Z., Hu, Y., Yuan, Y., Hu, B., and Wang, B. (2021). Comparative analysis of kinetics and mechanisms for Pb(II) sorption onto three kinds of microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 208, 111451.
- 28- Liu, X., Zheng, M., Wang, L., Ke, R., Lou, Y., Zhang, X., Dong, X., Zhang, Y. (2018). Sorption behaviors of tris-(2,3-dibromopropyl) isocyanurate and hexabromocyclododecanes on polypropylene microplastics. *Marine Pollution Bulletin*. 135, 581-586.
- 29- Lozano, Y.M., Lehnert, T., Linck, L.T., Lehmann, A., Rillig, M.C. (2021b). Microplastic shape, polymer type, and concentration affect soil properties and plant biomass. *Frontiers in Plant Science*. 12, 169.
- 30- Luo, H., Zhao, Y., Li, Y., Xiang, Y., He, D., Pan, X. (2020) Aging of microplastics affects their surface properties, thermal decomposition, additives leaching and interactions in simulated fluids. *Science of The Total Environment*. 714, 136-862.
- 31- Maity, S and Pramanick, K. (2020). Perspectives and challenges of micro/nano plastics induced toxicity with special reference to phytotoxicity. *Global Change Biology*. 26, 3241-3250.
- 32- Mao, R., Lang, M., Yu, X., Wu, R., Yang, X., Guo, X. (2020). Aging mechanism of microplastics with UV irradiation and its effects on the adsorption of heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*. 393, 122515.
- 33- Mattsson, K., Hansson, L.A., Cedervall, T. (2015b). Nano-plastics in the aquatic environment. *Environ. Science: Processes & Impacts* 17, 1712–1721.
- 34- Mileusnić. M., Mapani. B. S., Kamona. A. F., Ružičić. S., Mapaure. I., & Chimwamurombe. P. M. (2014). Assessment of agricultural soil contamination by

- potentially toxic metals dispersed from improperly disposed tailings, Kombat mine, Namibia. *Journal of Geochemical Exploration*. 144, 409–420.
- 35- Nature Nanotechnology. (2019). Nanoplastic should be better understood. 14, 299.
- 36- Ng. Ee-L., Lwanga. E.H., Eldridge. S.M. Johnston. P., Hu. H-W., Geissen. V., Chen. D. (2018). An overview of microplastic and nanoplastic pollution in agroecosystems. *Science of the Total Environment*. 627, 1377- 1388.
- 37- Pico. Y., Alfarhan. A., Barcelo. D. (2019). Nano and microplastic analysis: focus on their occurrence in freshwater ecosystems and remediation technologies, *Trends in Analytical Chemistry*. 113, 409 425.
- 38- Piehl, S., Leibner, A., Loder, M. G. J., Dris, R., Bogner, C., & Laforsch, C. (2018). Identification and quantification of macro- and microplastics on an agricultural farmland. *Scientific Reports*, 8, 17950.
- 39- Plastic Europe, Plastics – the Facts (2018). An analysis of European plastics production, demand and waste Data.
- 40- Pohlmann, A.R., Fonseca, F.N., Paese, K., Detoni, C.B., Coradini, K., Beck, R.C., et al. (2013). Poly ( $\epsilon$ -caprolactone) microcapsules and nanocapsules in drug delivery. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 10, 623–638.
- 41- Qi, Y., Ossowicki, A., Yang, X., Huerta Lwanga, E., Dini-Andreote, F., Geissen, V., Garbeva, P. (2020). Effects of plastic mulch film residues on wheat rhizosphere and soil properties. *Journal of Hazardous Materials*. 387, 121711.
- 42- Qiao, R.X., Sheng, C., Lu, Y.F., Zhang, Y., Ren, H.Q., Lemos, B. (2019). Microplastics induce intestinal inflammation, oxidative stress and disorders of metabolome and microbiome in zebrafish. *Science of total environment*. 662, 246-253.
- 43- Rajalingam, P., Sharpe, J., Baker, W. E. (1993). *Rubber Chemistry and Technology*. 66, 647-664.
- 44- Ren, Z., Gui, X., Xu, X., Zhao, L., Qiu, H., Cao, X. (2021). Microplastics in the soil-groundwater environment: Aging, migration, and co-transport of contaminants – A critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 419, 126455.
- 45- Rillig, Matthias C. (2012). Microplastic in terrestrial ecosystems and the soil? *Environmental Science & Technology*. 46, 6453-6454.
- 46- Rillig, M.C., Ziersch, L., Hempel, S. (2017). Microplastic transport in soil by earthworms. *Scientific Reports*. 7, 1362.
- 47- Rilling, M., Lemhmann, A. (2020). Microplastic in terrestrial ecosystems. *Science*. 368, 1430-1431.
- 48- Shen, M., Zhang, Y., Zhu, Y., Song, B., Zeng, G., Hu, D., Wen, X., Ren, X. (2019). Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: a review. *Environmental Pollution*. 252, 511-521.
- 49- Song, Y. K., Hong, S. H., Jang, M., Han, G. M., Jung, S. W., & Shim, W. J. (2017). Combined effects of UV exposure duration and mechanical abrasion on microplastic fragmentation by polymer type. *Environmental Science & Technology*, 51, 4368-4376.
- 50- Teuten, E.L., Saquing, J.M., Knappe, D.R.U., Barlaz, M.A., Jonsson, S., Björn, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C., Galloway, T.S., Yamashita, R., Ochi, D., Watanuki, Y., Moore, C., Viet, P.H., Tana, T.S., Prudente, M., Boonyatumanond, R., Zakaria, M.P., Akkhavong, K., Ogata, Y., Hirai, H., Iwasa, S., Mizukawa, K., Hagino, Y., Imamura, A., Saha, M., Takada, H. (2009). Transport and release of

- chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philos. Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*. 364, 2027–2045.
- 51- Tourinho, P. S., Kočí, V., Loureiro, S., Van, G., and Cornelis, A.M. (2019). Partitioning of chemical contaminants to microplastics: Sorption mechanisms, environmental distribution and effects on toxicity and bioaccumulation. *Environmental Pollution*. 252, 1246-1256.
- 52- Torres, M.F., Gonz'alez, J.M., Rojas, M.R., Müller, A.J., S'aez, A.E., L'of, D., Schill'en, K. (2007). Effect of ionic strength on the rheological behavior of aqueous cetyltrimethylammonium p-toluene sulfonate solutions. *The Journal of Colloid and Interface Science*. 307, 221–228.
- 53- Walker, C.H., R.M. Sibly, S.P. Hopkin, D.B.P., (2012). In: Principles of Ecotoxicology; Group, T. And F., Ed.; 4th Edition, CRC Press.
- 54- Wang, W.; Wang, J. (2017). Different partition of polycyclic aromatic hydrocarbon on environmental particulates in freshwater: Microplastics in comparison to natural sediment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*., 147, 648-655.
- 55- Wang, J., Liu, X., Li, Y., Powell, T., Wang, X., Wang, G., Zhang, P. (2019). Microplastics a contaminant in soil environment: a mini-review. *Science of total environment*. 691, 848-857.
- 56- Wang, F., Zhang, X., Zhang, S., Zhang, S., Sun, Y. (2020). Interactions of microplastics and cadmium on plant growth and arbuscular mycorrhizal fungal communities in an agricultural soil. *Chemosphere*. 254, 126791.
- 57- Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution*., 178, 483-492.
- 58- Xu, B., Liu, F., Brookes, P.C., Xu, J. (2018b). Microplastics play a minor role in tetra- cycline sorption in the presence of dissolved organic matter. *Environmental Pollution*. 240, 87e94.
- 59- Xu, C., Zhang, B., Gu, C., Shen, C., Yin, S., Aamir, M., Li, F. (2020). Are we underestimating the sources of microplastic pollution in terrestrial environment?. *Journal of Hazardous Materials*. 400, 123228.
- 60- Xu. B., Liu. F., Cryder. Z., Huang. D., Lu. Z., He. Y., Wang. H., Lu. Z., Brookes. P. C., Tang. C., Gan. J., Xu. J. (2019). Microplastics in the soil environment: Occurrence, risks, interactions and fate – A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 5021. 2175-2222.
- 61- Yang, X., Bento, C.P., Chen, H., Zhang, H., Xue, S., Lwanga, E.H., et al. (2018). Influence of microplastic addition on glyphosate decay and soil microbial activities in Chinese loess soil. *Environmental Pollution*. 242, 338-347.
- 62- Yu, Q., Hu, X., Yang, B., Zhang, G., Wang, J., Ling, W. (2020). Distribution, abundance and risks of microplastics in the environment. *Chemosphere* 249, 126059.
- 63- Yu, F., Yang, CH., Huang, G., Zhou, T., Zhao, Y and Ma, J. (2020). Interfacial interaction between diverse microplastics and tetracycline by adsorption in an aqueous solution. *Science of the Total Environment*. 721, 137-729.
- 64- Yu, H., Hou, J., Dang, Q., Cui, D., Xi, B., Tan, W. (2020). Decrease in bioavailability of soil heavy metals caused by the presence of microplastics varies across aggregate levels. *Journal of Hazardous Materials*. 395, 122-690.
- 65- Zang, H., Zhou, J., Marshall, M.R., Chadwick, D.R., Wen, Y., Jones, D.L. (2020). Microplastics in the agroecosystem: are they an emerging threat to the plant-soil system? *Soil Biology & Biochemistry*. 148, 107926.
- 66- Zhao, T., Lozano, Y. M., Rillig, M. C. (2021). Microplastics Increase Soil pH and Decrease Microbial Activities as a Function of Microplastic Shape, Polymer Type, and Exposure Time. *Frontiers in Environmental Science*. 9, 1-14.

- 67- Zhou, J., Gui, H., Banfield, C.C., Wen, Y., Zang, H.D., Dippold, M.A., Charlton, A., Jones, D.L. (2021). The microplastisphere: biodegradable microplastics addition alters soil microbial community structure and function. *Soil Biology & Biochemistry*. 156, 108211.
- 68- Zhu, F., Zhu, C., Wang, C., Gu, C. (2019). Occurrence and ecological impacts of microplastics in soil systems: a review. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*. 102, 741- 749.

## Micro/Nanoplastics, Emerging Pollutants in Soils

Amir Fotovat<sup>1</sup>, Samaneh Abduolrahimi<sup>2</sup>, Zahra Choubineh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad ([afotovat@um.ac.ir](mailto:afotovat@um.ac.ir))

<sup>2</sup>PhD Students, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

<sup>3</sup>M.Sc. Students, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad

### Abstract

The entry of various pollutants into the environment from various sources has negative consequences on human, plant, animal and ecological health. With the development of the polymer industry and plastic products, as well as their improper disposal and recycling, remarkable problems have occurred for the environment. Microplastics (<5 mm) and nanoplastics (1-100 nm) are known as emerging pollutants and are considered as one of the most important environmental challenges. These plastic particles enter the soil ecosystems through a variety of sources, including application of sewage sludge, organic fertilizers, plastic mulch, atmospheric deposition and improper waste management affecting the physical, biological, and chemical properties of soils. The aim of this article is to review the literature on the formation and sources of micro/nanoplastic particles of the environment, as well as environmental components. Challenges related to micro/noplastics research will also be their interactions with addressed.

**Keywords:** Environment, Microplastics, Nanoplastics

## نقش گیاه در تفسیر رابطه متقابل تنش شوری-کود

### پیمان کشاورز

دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران؛ [P.Keshavarz@areeo.ac.ir](mailto:P.Keshavarz@areeo.ac.ir)

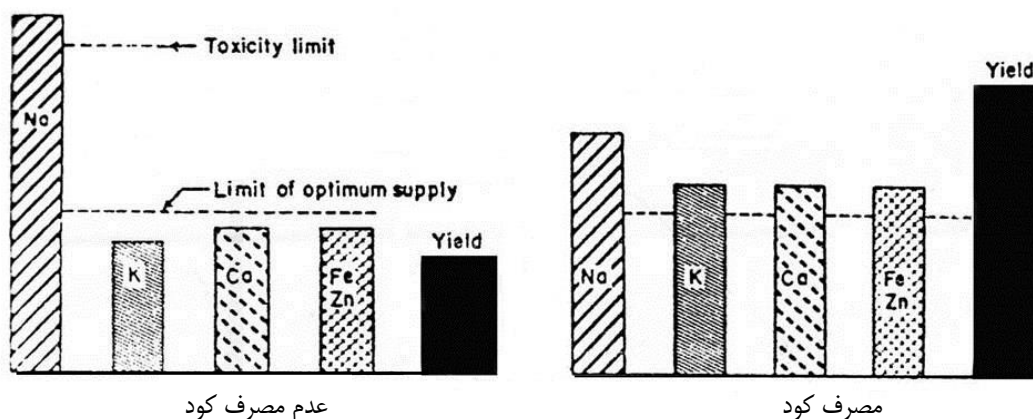
### چکیده

پیشرفت‌های عمده‌ای در رابطه با مدیریت تولید محصول در شرایط شور حاصل شده است. با وجود این تفسیر اطلاعات مربوط به مصرف کود در خاک‌های شور با پیچیدگی‌های زیادی همراه است. گیاهان تحت تنش شوری با کاهش آب قابل استفاده، سمیت یونی (سدیم و کلر) و کاهش قابلیت دسترسی عناصر غذایی ضروری مواجه هستند. این شرایط موجب می‌شود تا زنجیره‌ای از واکنش‌های شیمیایی و بیوشیمیایی در مسیر جذب عناصر غذایی از خاک تا انتقال در گیاه رخ داده و سبب گردد تا میزان نیاز به مصرف کودهای شیمیایی در شرایط شور کاهش و یا افزایش یابد. بر خلاف مطالعات اولیه اثر متقابل کود-شوری که نشان می‌داد مصرف کود تنها به سطح تنش شوری بستگی دارد، یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که اثر بخشی کود تنها به شوری محلول خاک وابسته نبوده و به سطح تحمل گیاه به شوری نیز بستگی دارد. براین اساس واکنش کلی گیاه به مصرف کود در شرایط شور تنها در صورتی مثبت خواهد بود که گونه و یا رقم گیاهی، متحمل به شوری باشد اما در مورد گونه و رقم گیاهی حساس به شوری، مصرف کود در شرایطی موثر خواهد بود که شوری خاک حداکثر کمتر از ۱/۵ برابر آستانه تحمل به شوری گیاه باشد.

**واژگان کلیدی:** آستانه تحمل، ارقام گیاهی، شوری خاک، عناصر غذایی، کوددهی

یکی از عوامل مهم محدود کننده رشد گیاهان در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان شوری خاک و آب است (Irshad et al. 2002). در ایران آخرین بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۶/۸ میلیون هکتار از کل اراضی کشاورزی را (حدود ۴۰ درصد) خاک‌های شور تشکیل می‌دهد (مومنی، ۱۳۸۹). از بین تنش‌های محیطی کاهش عملکرد گیاهان در اثر دمای بالا ۱۵ درصد، دمای پایین ۴۰ درصد، تنش خشکی ۱۷ درصد و تنش شوری ۲۰ درصد برآورد شده است (Ashraf and Harris 2005). در ایران درجه بندی شوری خاک بر اساس استانداردهای ارائه شده در راهنمای تشخیص و به‌سازی خاک‌های شور و سدیمی (Richards 1954) صورت گرفته است به طوری که شوری خاک بر مبنای مقدار کل املاح محلول خاک از طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک تعیین و متناسب با شدت حساسیت و عکس العمل گیاهان زراعی و باغی به شوری، درجه بندی انجام شده است. خاک شور به خاک‌هایی اطلاق می‌شود که بیش از ۱/۰ درصد نمک داشته باشند. به بیان دیگر شوری به شرایطی در خاک اطلاق می‌شود که هدایت الکتریکی آن چهار دسی‌زیمنس بر متر یا بیشتر باشد، که تقریباً معادل ۴۰ میلی مولار کلرید سدیم است و ۲/۰ مگاپاسکال فشار اسمزی ایجاد می‌کند. با وجود این تعریف مذکور کامل نیست، چون شوری مفهومی وابسته به گیاه نیز می‌باشد. به عبارت دیگر طبق تعریف شوری به غلظتی از املاح محلول در آب یا خاک گفته می‌شود که برای رشد و نمو گیاه محدودیت ایجاد کند (Niemann and Shannon 1976; Hale and Orcutt 1987). شوری از طریق افزایش مکش اسمزی خاک و سمیت یون‌های ویژه موجب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود. ویژگی‌های محیط شور، با فعالیت اندک یونهای غذایی، نسبت زیاد سدیم به کلسیم، سدیم به پتاسیم، منیزیم به کلسیم و کلر به نیتрат، ناهنجاریهای تغذیه‌ای و کاهش رشد و کیفیت محصول مشخص می‌شود. این در حالی است که بیشتر گیاهان گلیکوفیت (شیرین‌رست) بوده و تحت شرایط شوری کم در خاک تکامل یافته‌اند. از این رو سازوکارهای جذب، انتقال و استفاده عناصر غذایی معدنی گیاهان در خاکهای غیرشور توسعه یافته است. از این رو افزایش غلظت املاح محلول با کاهش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک مانع تغذیه طبیعی گیاهان خواهد شد. با وجود این گیاهان در غلظت‌های متوسط املاح محلول خاک سعی دارند تا از ورود یون‌های مضر و ناخواسته جلوگیری کنند. ولی با افزایش شوری خاک، جذب یون‌های سدیم و کلر به سرعت افزایش می‌یابد. در واقع جذب لوکس این یون‌ها برای گیاهان ضروری است تا با افزایش فشار اسمزی خارج ریشه گیاه مقابله نمایند. نتیجه این عمل به کاهش جذب برخی عناصر غذایی و کمبود آن در گیاه می‌انجامد (شکل ۱). از این رو ممکن است عناصر غذایی در حد کفایت در خاک وجود داشته باشند، ولی به دلیل اثر رقابتی یون‌های مضر به میزان کافی قابل جذب نباشند (Abrol et al. 1988). در هر حال حضور هم زمان نمک و عناصر غذایی در ناحیه ریشه در جذب یون‌ها و نیز ترکیب شیمیایی گیاهان مؤثر بوده و اثرات کمکی و یا رقابتی یون‌ها و املاح محلول با یکدیگر می‌تواند شدت این اعمال را افزایش و یا کاهش دهد (کشاورز، ۱۳۸۸). با وجود این نتایج مطالعات انجام شده در رابطه با مصرف کود در شرایط شور بسیار متناقض است. در ایران، نخستین پژوهش‌ها نشان داد که مصرف کودهای شیمیایی به دلیل افزایش شوری خاک تأثیر منفی بر رشد گیاهان در محیط‌های شور دارد. اگرچه ادامه پژوهش‌ها خلاف آن را ثابت کرد اما بررسی‌ها نشان می‌دهد که نتایج بدست آمده خیلی روشن نبوده و در کاربرد آن همواره چالش‌هایی وجود دارد (کشاورز و همکاران، ۱۳۸۴).

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۱- اثر کلی مصرف کود در اصلاح عدم تعادل عناصر غذایی در شرایط شور (Finck, 1977)  
(ستون ها نشان دهنده غلظت عنصر در اندام هوایی گیاه است)

بر این اساس هدف بسیاری از مطالعات در رابطه متقابل تنش شوری- کود آن بوده که مصرف کود در چه محدوده‌ای از شوری خاک، رشد گیاهان را افزایش می‌دهد؟ و آیا در این مسیر رفتار عناصر غذایی با یکدیگر فرق دارد؟ بنابراین هدف از مقاله حاضر تبیین عوامل موثر در رابطه متقابل تنش شوری- کود و تفسیر آن بوده است.

### واکنش گیاه به شوری

یکی از شاخص‌های تعیین پتانسیل تولید یک گیاه در شرایط شور افزون بر عملکرد مطلق، میزان تحمل آن به شوری می‌باشد. از نظر تعریف تحمل به شوری عبارت است از میزان رشد و عملکرد یک گیاه در شرایط شور در مقایسه با رشد و عملکرد همان گیاه در شرایط غیر شور (حکم آبادی و صداقت حور، ۱۳۸۲). براین اساس در صورتی که  $Y_m$  عملکرد در شرایط غیر شور و  $Y$  عملکرد در شرایط شور باشد، عملکرد نسبی محصول برابر است با:

$$Y_r = Y/Y_m \quad (1)$$

برای تعیین تحمل گیاه به شوری می‌توان روی یک محور مختصات، عملکرد نسبی محصول را به عنوان تابعی از شوری متوسط ناحیه ریشه گیاه رسم و با استفاده از مدل‌های ریاضی مربوطه نسبت به محاسبه کمی تحمل گیاه به شوری اقدام نمود (Maas Van Genuchten and Hoffman 1984; Homaee et al. and Hoffman 1977). اولین مدل به شکل خطی و دو تکه به صورت زیر ارائه گردید (Maas and Hoffman 1977).

$$\begin{aligned} Y_r &= 1 & 0 < C < C_t \\ Y_r &= 1 - b(C - C_t) & C_t < C < C_0 \\ Y_r &= 0 & C > C_0 \end{aligned} \quad (2)$$

در معادله (۲)  $C_t$  آستانه تحمل شوری (بیشترین میزان شوری عصاره اشباع خاک در منطقه ریشه بدون کاهش عملکرد)،  $b$  درصد کاهش محصول به ازای افزایش هر واحد شوری بیش از آستانه تحمل (شیب خط)،  $C$  میانگین شوری عصاره اشباع خاک در منطقه ریشه،  $C_0$  کمترین میزان  $C$  در شرایطی که  $Y_r = 0$  است. این رابطه نشان می‌دهد اکثر گیاهان شوری را تا یک حد معین (آستانه) تحمل نموده و بعد از آن با افزایش شوری مقدار عملکرد به صورت خطی کاهش می‌یابد. این مدل اساس

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

تهیه فهرست تحمل به شوری بیشتر گیاهان قرارگرفته است. با وجود این، به دلیل بعضی نقاط ضعف در این مدل Van Hoffman و Genuchten (۱۹۸۴) مدل غیر خطی را پیشنهاد نمودند.

$$Y_r = 1/[1 + (C + C_{50})^P] \quad (۳)$$

در معادله (۳)  $Y_r$  عملکرد نسبی محصول،  $C_{50}$  میانگین شوری خاک است که عملکرد محصول ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و  $P$  پارامتری است که شیب منحنی را تعیین می‌کند. اگرچه در این روابط (تحمل به شوری) مقدار محصول تابعی از غلظت املاح محلول در ناحیه رشد ریشه در شرایط شور بیان شده است، اما می‌بایست به شرایط محیطی رشد گیاه و ویژگی‌های خاک نیز توجه نمود، زیرا عملکرد گیاه به هر یک از این عوامل نیز بستگی خواهد داشت (همایی، ۱۳۸۱؛ رنجبر و بناکار، ۱۳۸۹). براساس این مطالعات دامنه تحمل گیاهان نسبت به شوری بسیار متفاوت است به طوری که می‌تواند تا ۱۰ برابر تغییر کند. داده‌های تحمل به شوری کاربرد زیادی در مقایسه نسبی تحمل گیاهان زراعی داشته و مدیریت کشت در خاک‌های شور را ممکن می‌سازد. از این‌رو مدیریت موفقیت آمیز سامانه‌های زراعی در شرایط شور بستگی زیادی به میزان تحمل گیاه کشت شده به شوری دارد (Ulery et al. 1998).

### عوامل موثر بر تحمل گیاه به شوری

از آنجاکه حدود آستانه تحمل گیاهان تابعی از شرایط محیطی (گیاه، اقلیم و خاک) است، منطقی است که تحمل گیاه در شرایط گوناگون تغییر کند. این موضوع موجب می‌شود تا واکنش گیاه نسبت به یک شوری معین به‌طور معمول قابل پیش‌بینی نباشد. یافته‌های جدید نشان می‌دهد که مفهوم حدود ثابت آستانه تحمل به شوری در هر گونه گیاهی نیاز به بازنگری دارد، چون آستانه تحمل گیاهان به شوری تحت شرایطی بدست آمده که هیچ عامل محدود کننده دیگری به جز شوری وجود نداشته است. چنین حالتی به طور معمول وجود ندارد چون همراه با شوری عوامل محدود کننده دیگری نیز وجود خواهند داشت. این عوامل می‌توانند در تحمل گیاهان به شوری اثر مثبت و یا منفی داشته باشند. در تحمل گیاهان مختلف نسبت به شوری سه عامل مهم دخالت دارند که عبارتند از عوامل گیاهی، شرایط آب و هوایی و عوامل مربوط به خاک (Maas and Hoffman 1977).

#### عوامل گیاهی

آستانه تحمل به شوری گیاهان بسته به تفاوت‌های ژنتیکی آنها متفاوت است. افزون بر این با افزایش شوری پس از آستانه تحمل به شوری، عملکرد گیاه با شیبی شروع به کاهش می‌کند. در نتیجه بایستی علاوه بر آستانه تحمل به شوری به شیب کاهش عملکرد نسبی نیز توجه داشت. مرحله رشد گیاه نیز از عوامل مؤثر بر تحمل شوری است. گیاهانی مثل جو، برنج، گندم و ذرت در مراحل اولیه رشد نسبت به شوری حساس بوده اما پس از آن در مقابل شوری تحمل نشان می‌دهند. البته منظور از مراحل اولیه مرحله گیاهچه‌ای است چون بیشتر گیاهان به استثنای مواردی مانند چغندر قند و آفتابگردان در مرحله جوانه زدن تحمل زیادی از خود نشان می‌دهند. در مراحل بعد از گیاهچه‌ای به تدریج تحمل گیاه نسبت به شوری افزایش می‌یابد. ولی گیاهی مثل برنج در مرحله گلدهی نیز نسبت به نمک حساس است.

#### عوامل آب و هوایی

حساسیت اکثر گیاهان زراعی نسبت به شوری در شرایط گرم و خشک بیشتر از نواحی سرد و مرطوب است. این موضوع سبب می‌گردد تا حدود تحمل گیاه به شوری در منطقه سرد نسبت به منطقه گرم تغییر کند.

#### عوامل خاکی

درصد رطوبت خاک و فاصله بین دو آبیاری از عوامل موثر بر تحمل گیاه نسبت به شوری است. هر چه خاک خشک تر باشد، پتانسیل اسمزی و ماتریک خاک پایین تر خواهد بود و برای جلوگیری از اثرات نامطلوب آن لازم است که فاصله بین آبیاری‌ها را کوتاه‌تر گرفت. سطح حاصلخیزی خاک و افزودن عناصر غذایی بسته به سطح تنش شوری اثرات گوناگونی بر میزان تحمل گیاه

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

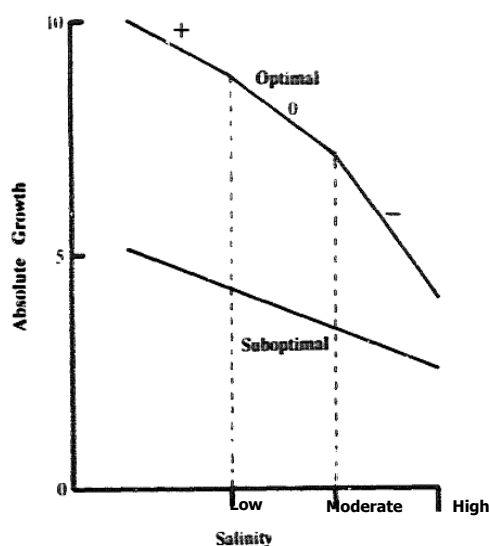
به شوری خواهد داشت (Grattan and Grieve, 1992; Hu and Schmidhalter, 2005). یکی از ویژگی‌هایی که نقش عمده‌ای در حاصلخیزی خاک دارد مقدار کربن آلی خاک است. با افزایش شوری مقدار کربن آلی خاک کاهش یافته و از تاثیر آن در حاصلخیزی خاک کاسته می‌گردد. بنابراین استفاده از کودهای آلی در خاک‌های شور از جهات مختلف، اثرات مثبتی را در این شرایط برای خاک و گیاه به همراه دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد افزایش کربن آلی خاک تاثیر بیشتری بر افزایش عملکرد دانه گندم در شرایط شور نسبت به شرایط غیر شور دارد (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۲). استفاده از مواد آلی پوسیده (کود حیوانی) چنانچه با خاک مخلوط گردد، موجب بالابردن ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود، همچنین ریختن مواد آلی (بقایای گیاهی) در سطح زمین، مانع تابش مستقیم نور خورشید به خاک و تبخیر زیاد آب می‌گردد. در نتیجه این دو عمل تاثیر غلظت املاح بر گیاه کمتر می‌گردد. از طرف دیگر استفاده از مواد آلی در خاک شور می‌تواند کاهش فعالیت میکروبی خاک را که در اثر زیادی نمک بوجود آمده، جبران و فعالیت بیوشیمیایی عناصر غذایی را در خاک افزایش دهد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۲). یافته‌های جدید همچنین نشان می‌دهد استفاده از مواد محرک رشد نظیر اسید هیومیک، اسید آمینه و جلبک دریایی نیز موجب افزایش تحمل گیاهان به شوری می‌شود (نورقلی پور و همکاران، ۱۴۰۰).

### مصرف کود، شوری و تفاوت های ژنتیکی گیاهان

تنش شوری با تغییر و تبدیل بیوشیمیایی بعضی عناصر غذایی در خاک موجب اختلال در تغذیه بهینه گیاهان می‌شود (Rietz 2011; and Haynes, 2003; Jannike et al. 2006; Yuan et al. 2007; Abbaspour et al, 2008; Fageria et al. 2011). شوری، حلالیت فسفر و قابلیت جذب آن را از خاک کاهش می‌دهد؛ کمبود پتاسیم، کلسیم و روی را در گیاه تشدید کرده و جذب نیتروژن را کاهش می‌دهد. براین اساس یکی از راهکارهای مقابله با تنش شوری بهبود حاصلخیزی خاک با مصرف بهینه کود است. با وجود این مصرف کود در شرایط شور همیشه اثربخش نبوده و در مواردی حتی موجب کاهش تحمل به شوری و عملکرد گیاه می‌شود. در بیشتر مطالعات تنش شوری- کود، دو عامل شوری و کمبود عناصر غذایی به عنوان عوامل محدود کننده رشد گیاه مد نظر بوده‌اند. در واقع فرض بر آن بوده که رشد (عملکرد) توسط شوری و یا کمبود عناصر غذایی به عنوان محدودکننده اصلی کنترل می‌گردد. با وجود این مشکلی که در تفسیر نتایج مطالعات شوری - تغذیه گیاهی با این فرض به وجود خواهد آمد آن است که مصرف کود تنها تحت تاثیر یک متغیر (شوری خاک) تعریف شده که مقدار آن از سطوح پایین (بدون محدودیت) تا محدودیت شدید افزایش می‌یابد (Grattan and Grieve, 1998). شکل (۲) رابطه متقابل شوری و مصرف کود را بر مبنای اینکه کدام عامل، محدود کننده اصلی رشد گیاه است نشان می‌دهد (Champognol, 1979). به طور معمول وقتی عامل محدودکننده اول از بین برود، رشد گیاه نسبت به عامل محدودکننده بعدی بیشتر خواهد بود. از این رو در تنش شوری کم، کمبود عناصر غذایی بیش از شوری خاک رشد گیاه را محدود می‌نماید، بنابراین اثر متقابل مثبتی بین مصرف کود و شوری وجود خواهد داشت. در این حالت مصرف کود منجر به افزایش عملکرد و تحمل گیاه به شوری می‌شود (بخش اول منحنی). در شرایط شوری متوسط، کمبود عنصر غذایی و تنش شوری به‌طور یکسان رشد گیاه را محدود نموده و در نتیجه ممکن است اثر متقابلی بین این دو عامل مشاهده نگردد (بخش میانی منحنی). در تنش شوری زیاد، عامل شوری بیش از کمبود عنصر غذایی رشد گیاه را محدود کرده و اثر متقابل منفی بین مصرف کود و شوری وجود خواهد داشت. در این شرایط مصرف کود موجب کاهش تحمل گیاه به شوری می‌شود (بخش انتهایی منحنی). این روابط نشان می‌دهد کاربرد کود برای گیاهانی که در خاک‌های شور کشت شده‌اند تا وقتی که تنش شوری در حد کم یا متوسط باشد مفید واقع خواهد بود. با وجود این چنین فرضیاتی برای مصرف کود نمی‌تواند صحیح و کامل باشد چون نوع گیاه (گونه و یا رقم) از نظر سطح تحمل به شوری در آن مشخص نشده است. این موضوع از آنجا اهمیت دارد که اثر بخشی کود تنها به شوری محلول خاک وابسته نیست، بلکه به سطح تحمل گیاه به شوری نیز بستگی دارد. بنابراین در استفاده از این روابط می‌بایست دقت نمود، در غیر این صورت ممکن است منجر به تفسیر و توصیه نادرست کود شود. در همین رابطه Okusanja و Ungar (۱۹۸۴) با مطالعه گیاهان شیرین‌رست و شوررست گزارش نمودند که مصرف عناصر غذایی در شرایط شور، رشد شوررست‌ها را به دلیل محدودکنندگی متوسط شوری افزایش داد اما تحت همین شرایط، رشد شیرین‌رست‌ها با مصرف عناصر غذایی، به دلیل محدودکنندگی شدید شوری زیاد نگردید. براین اساس بسته به سطح تنش شوری، مقدار کمبود عنصر غذایی در خاک و سطح تحمل گیاه به شوری ممکن است چهار حالت در رابطه با مصرف کود به وجود آید (۱) مصرف کود (نسبت به عدم مصرف کود) موجب افزایش تحمل به شوری شده و عملکرد مطلق هم

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

افزایش یابد؛ ۲) مصرف کود موجب کاهش تحمل به شوری شده اما عملکرد مطلق افزایش یابد؛ ۳) مصرف کود موجب کاهش تحمل به شوری شده و عملکرد مطلق هم کاهش یابد؛ و در آخر ۴) مصرف کود موجب افزایش تحمل به شوری شده اما عملکرد کاهش یابد (از نظر تجربی هیچگاه این شرایط رخ نمی دهد). این در حالی است که بخش مثبت و منفی شکل (۲) تنها حالت اول و دوم اثر متقابل مصرف کود را در شرایط شور نشان می دهد چون جدا از کاهش و یا افزایش تحمل گیاه به شوری، عملکرد مطلق در تمام سطوح شوری با مصرف کود بیشتر از بدون کود است. حال آنکه در بعضی گیاهان با شورتر شدن خاک، مصرف کود ضمن کاهش تحمل به شوری موجب عملکرد کمتر نیز می گردد. اما در چه گونه یا ارقام گیاهی ممکن است چنین وضعیتی به وجود آید؟ پاسخ، گونه و ارقام حساس به شوری بوده که پس از حد نهایی مجاز شوری خاک کود مصرف گردد.

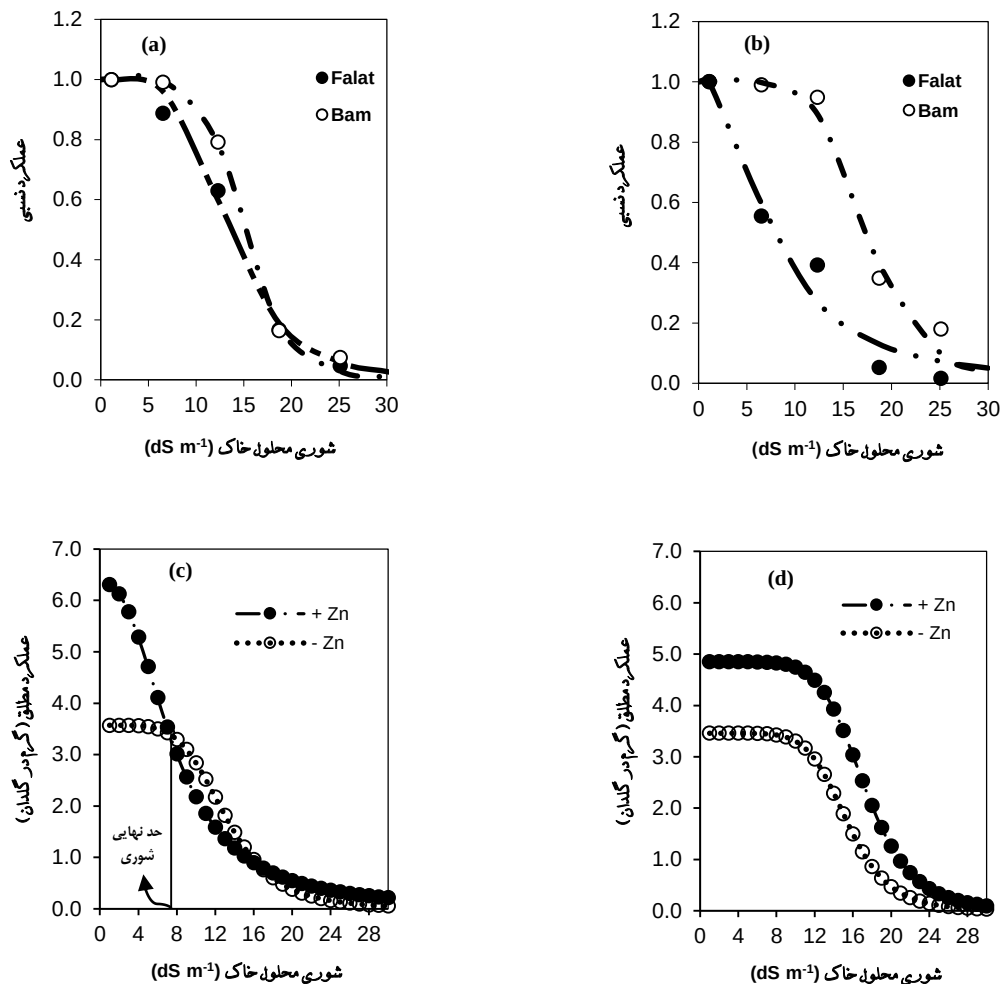


شکل ۲- اثر سطوح شوری کم، متوسط و زیاد با مصرف کود و بدون آن (شاهد) در رشد گیاه. (+) افزایش تحمل به شوری؛ (0) بدون تاثیر و (-) کاهش تحمل به شوری (Grattan and Grieve, 1992).

Saadat و Keshavarz (۲۰۱۶) در تعیین نقش متفاوت ارقام گیاهی بر رابطه تنش شوری- کود گزارش کردند که مصرف روی (Zn) تحمل به شوری گندم را در رقم فلات (حساس به شوری) کاهش و در رقم بم (متحمل به شوری) افزایش داده است (شکل ۳a و ۳b). این در حالی بود که آستانه تحمل به شوری گندم رقم فلات ۴/۷ دسی زیمنس بر متر و رقم بم ۷/۵ دسی زیمنس بر متر بود (شکل ۳). با وجود این، رابطه شوری خاک و عملکرد مطلق نشان داد که رقم حساس به شوری فلات تا محدوده ای از شوری خاک عملکرد بهتری با مصرف روی نسبت به عدم مصرف آن داشت اما با بالا رفتن شوری خاک از برتری این قابلیت کاسته شد و عدم مصرف روی برتری یافت (شکل ۳c). براین اساس وقتی گیاهی حساس به شوری است تا سطحی از شوری خاک که به آن حد نهایی مجاز شوری خاک (نه آستانه تحمل) گفته می شود مصرف کود مجاز خواهد بود. در حقیقت حد نهایی مجاز شوری خاک نقطه ای است که در آن اختلاف عملکرد مطلق با مصرف کود و بدون آن صفر شده است. این نقطه که با ترسیم یک خط عمود از اولین محل برخورد دو منحنی عملکرد مطلق در دو سطح کودی و بدون کود با شوری خاک بدست می آید به طور معمول بیشتر از آستانه تحمل گیاه به شوری است (شکل ۳c). از این رو اگرچه آستانه تحمل به شوری رقم فلات ۴/۷ دسی زیمنس بر متر بود اما حد نهایی شوری خاک نزدیک به ۸ دسی زیمنس بر متر (حدود ۱/۵ برابر آستانه تحمل) برآورد گردید. در مقابل رابطه شوری خاک و عملکرد مطلق رقم متحمل به شوری بم (حد تحمل به شوری آن ۷/۵ دسی زیمنس بر متر) نشان داد که در تمام محدوده شوری خاک مصرف روی نسبت به عدم مصرف آن برتری داشته و عملکرد بالاتری را سبب شده است (شکل ۳d). با این حال در بعضی منابع بدون توجه به حد تحمل ارقام گیاهی به شوری بیان شده ارقامی که در هر منطقه در شرایط غیرشور عملکرد بالاتری دارند، در شرایط شور نیز عملکرد بهتری خواهند داشت. این نتیجه گیری شاید تنها در محدوده شوری کم تا متوسط خاک صحیح باشد اما با افزایش شوری خاک این موضوع همانطور که نشان داده شد به ویژه برای ارقام حساس به شوری درست نمی باشد. اما سوالی که مطرح می شود این است که چنین نتیجه گیری در مورد مصرف

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

سایر عناصر غذایی نیز در شرایط شور صادق است؟ در پاسخ به این پرسش پژوهش دیگری در رابطه با اثر متقابل شوری و پتاسیم در دو رقم گندم فلات (حساس)

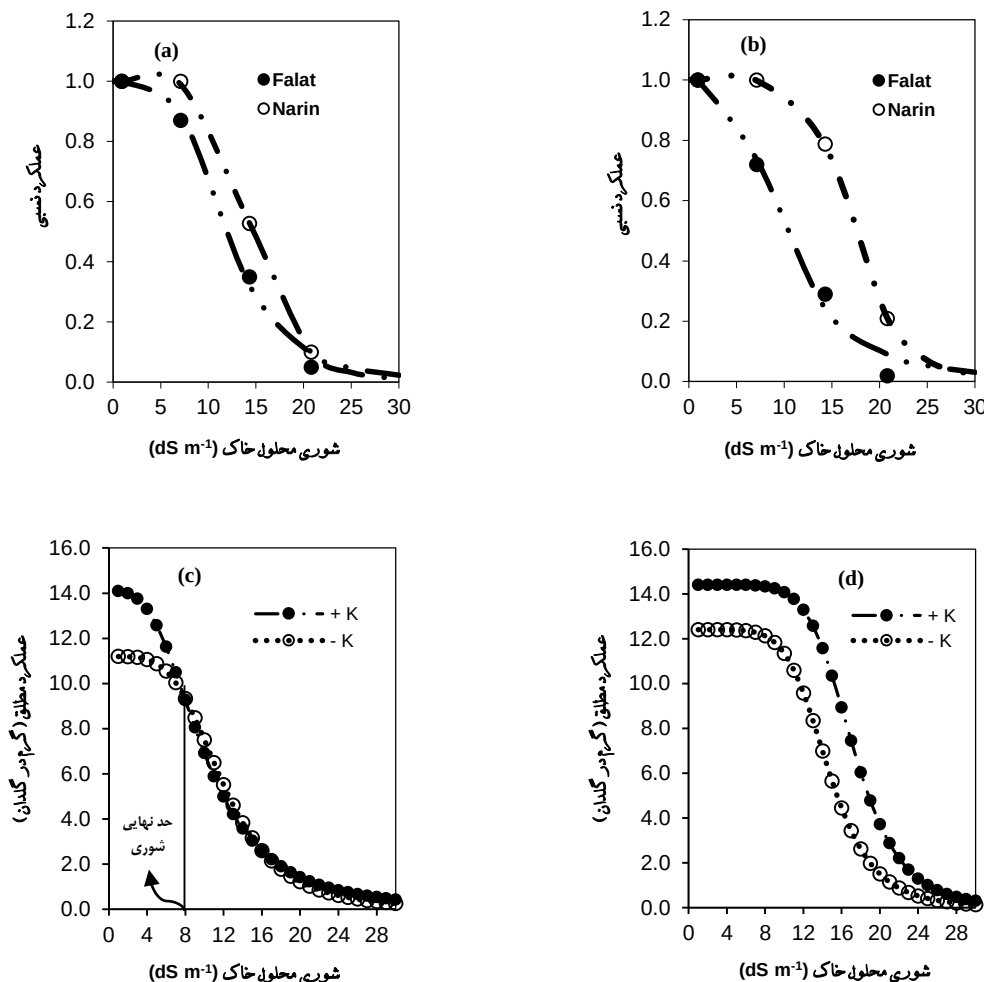


شکل ۳- رابطه شوری خاک با عملکرد نسبی و عملکرد مطلق گندم در دو رقم فلات و بم و دو سطح صفر (a) و ۱۰ میلی گرم روی در کیلوگرم (b). شکل های (c) و (d) به ترتیب مربوط به رقم فلات و بم است. (Keshavarz and Saadat, 2016).

به شوری) و نارین (متحمل به شوری) انجام گرفت (Keshavarz et al. 2021). نتایج این بررسی نشان داد که مصرف پتاسیم در رقم گندم نارین (متحمل شوری) موجب بهبود تحمل به شوری شده در حالی که در رقم گندم فلات (حساس به شوری) سبب کاهش آن گردید (شکل ۴a و ۴b). این در حالی بود که مصرف پتاسیم در رقم فلات تا حدود شوری ۸ دسی زیمنس بر متر (حد نهایی شوری خاک) عملکرد بالاتری را نسبت به شاهد (عدم مصرف پتاسیم) موجب شد اما با شورتر شدن خاک عدم مصرف پتاسیم برتری نشان داد (شکل ۴c). در مقابل در رقم نارین با توجه متحمل بودن آن به شوری مصرف پتاسیم در تمام سطوح شوری خاک عملکرد بالاتری نسبت به شاهد داشت (شکل ۴d). این مطالعات نشان می دهد که واکنش گیاه (حساس یا متحمل) نسبت به کود در شرایط شور با تغییر نوع عنصر غذایی از روی به پتاسیم تغییری نکرده و حد نهایی شوری خاک با مصرف پتاسیم نیز مشابه روی در رقم فلات حدود همان ۸ دسی زیمنس بر متر است. این بدان معنا است مصرف هر نوع عنصر غذایی در بالاتر از این سطح شوری در رقم فلات مجاز نمی باشد. بنابراین برای مصرف کود در شرایط شور تنها می بایست به سطح

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

تحمل به شوری گیاه و حد نهایی شوری خاک (برای ارقام حساس به شوری حدود ۱/۵ برابر آستانه تحمل به شوری گیاه) توجه نمود.



شکل ۴- رابطه شوری خاک با عملکرد نسبی و عملکرد مطلق گندم در دو رقم فلات و نارین و دو سطح صفر (a) و ۱۰۰ میلی گرم پتاسیم در کیلوگرم (b). شکل‌های (c) و (d) به ترتیب مربوط به رقم فلات و نارین است (Keshavarz et al. 2021).

### نتیجه گیری

بررسی‌های جدید نشان می‌دهد که تاثیر کود بر تحمل به شوری و بهبود عملکرد گیاه تنها به مقدار شوری خاک به صورت مطلق بستگی نداشته بلکه به سطح تحمل گیاه به شوری نیز وابسته است. با توسعه و تنوع ارقام گیاهی زراعی و بهبود کودپذیری آنها چنانچه سطح تحمل به شوری گیاه بالا باشد مصرف کود می‌تواند موجب بهبود عملکرد گیاه و تحمل بیشتر آن به شوری گردد. البته همیشه افزایش تحمل به شوری با افزایش عملکرد مطلق همسو نیست به طوری که در بعضی موارد مصرف کود ممکن است موجب کاهش تحمل گیاه به شوری شود اما عملکرد مطلق افزایش یابد. این موضوع بیشتر در مواقعی رخ می‌دهد که گیاه متحمل به شوری نبوده و شوری خاک کمتر از حد مجاز نهایی باشد. در مقابل چنانچه گیاه متحمل به شوری باشد افزایش عملکرد مطلق و تحمل گیاه به شوری با مصرف کود همسو خواهد بود. از اینرو واکنش گیاه به مصرف کود در شرایط شور تنها در صورتی مثبت خواهد بود که (۱) گونه و رقم گیاهی متحمل به شوری باشد؛ و (۲) حاصلخیزی خاک اندک باشد. این در حالی است که در مورد گونه و رقم گیاهی حساس به شوری مصرف کود در شرایطی موثر است که شوری خاک کمتر از حد نهایی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

مجاز (حداکثر ۱/۵ برابر آستانه تحمل به شوری گیاه) باشد (جداول ۱ و ۲). بدیهی است احتمال پاسخ اقتصادی به مصرف کود نیز باید در نظر گرفته شود.

جدول ۱- تفسیر تاثیر مصرف کود در شرایط شوری متفاوت خاک بر تحمل گونه و یا رقم گیاهی حساس و متحمل به شوری

| گونه و رقم گیاهی |              | کود      | شوری خاک             |
|------------------|--------------|----------|----------------------|
| متحمل به شوری    | حساس به شوری |          |                      |
| +                | +            | مصرف     | کمتر از آستانه تحمل  |
| -                | -            | عدم مصرف |                      |
| +                | -            | مصرف     | بیشتر از آستانه تحمل |
| -                | +            | عدم مصرف |                      |

جدول ۲- تفسیر تاثیر مصرف کود در شرایط شوری متفاوت خاک بر عملکرد گونه و یا رقم گیاهی حساس و متحمل به شوری

| گونه و رقم گیاهی |              | کود      | شوری خاک                       |
|------------------|--------------|----------|--------------------------------|
| متحمل به شوری    | حساس به شوری |          |                                |
| +                | +            | مصرف     | کمتر از ۱/۵ برابر آستانه تحمل  |
| -                | -            | عدم مصرف |                                |
| +                | -            | مصرف     | بیشتر از ۱/۵ برابر آستانه تحمل |
| -                | +            | عدم مصرف |                                |

### فهرست منابع

۱. حکم آبادی، ح.، صداقت حور، ش. (۱۳۸۲). شوری و زهکشی در کشاورزی. نشر آموزش کشاورزی. ۱۹۲ ص.
۲. رنجبر غ. ح.، بناکار م. ح. (۱۳۸۹). آستانه تحمل به شوری چهار رقم تجاری گندم. مجله پژوهش های خاک ۲۴ (۳): ۲۴۲-۲۳۷.
۳. کشاورز، پ.، ملکوتی، م.ج. همایی، م. (۱۳۸۴). مدیریت حاصلخیزی خاک های شور. در: خاک های ایران، تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری. ویراستار، بنایی، م. ح.، مومنی، ع. بای بوردی، م. ملکوتی، م. ج. انتشارات سنا. ۳۴۵-۳۷۱.
۴. کشاورز، پ. (۱۳۸۸). تعیین حد مجاز شوری خاک در پاسخ به استفاده عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف در گندم. گزارش نهایی پروژه شماره ۸۸/۷۵۴ مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
۵. کشاورز، پ.، زنگی آبادی، م. و عباس زاده، م. (۱۳۹۲). تاثیر میزان رس و شوری خاک بر رابطه کربن آلی خاک با عملکرد گندم. مجله پژوهش های خاک، جلد ۲۷ (۳). ۲۵۹-۲۷۱.
۶. ملکوتی، م. ج.، کشاورز، پ. سعادت، س. خلدبرین، ب. (۱۳۸۲). تغذیه گیاهان در شرایط شور. انتشارات معاونت باغبانی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران. ۲۳۳ ص.
۷. مومنی ع. (۱۳۸۹). پراکنش جغرافیایی و سطوح شوری منابع خاک ایران، مجله پژوهش های خاک (ویژه شوری-الف) ۲۴ (۳). ۲۰۳-۲۱۵.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

۸. نور قلی پور، ف.، میرزاپور، م. ه.، محمد نژاد، ی.، منتجبی، ن. (۱۴۰۰). اثر مواد محرک رشد گیاهی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کلزا در شرایط شور، گزارش نهایی موسسه تحقیقات خاک و آب (در حال تدوین).
۹. همایی، م. ۱۳۸۱. واکنش گیاهان به شوری. چاپ اول. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران. ۹۷۷ ص.

10. Abbaspour, A., Kalbasi, M., Hajrasuliha, S., Fotovat, A. (2008). Effect of organic matter and salinity on ethylenediaminetetraacetic acid-extractable and solution species of cadmium and lead in three agricultural soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39, 983-1005.
11. Abrol, I.P., Yadav, S.P., Massoud, F.L. (1988). Salt affected soils and their management. *FAO Soil Bulletin*. No. 39. Rome: FAO
12. Ashraf, M., Harris, P. (2005). Abiotic stresses: plant resistance through breeding and molecular approaches. CRC press.
13. Champagnol, F. (1979). Relationships between phosphate nutrition of plants and salt toxicity. *Phosphorus in Agriculture*, 76, 35-43.
14. Fageria, N.K., Gheyi, H.R., Moreira, A. (2011). Nutrient bioavailability in salt affected soils. *Journal of Plant Nutrition*, 34(7), 945-962.
15. Finck, A. (1977). Soil salinity and plant nutritional status. In: *International Conference on Managing Saline Water for Irrigation, Planning for the Future*, Lubbock, Tex.(USA. ICASALS.
16. Grattan, S.R., Grieve, C.M. (1992). Mineral nutrient acquisition and response by plants grown in saline environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 38, 275-300.
17. Grattan, S.R., Grieve, C.M. (1998). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 78(1), 127-157.
18. Hale, M.G., Orcutt, D.M. 1987. The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons.
19. Homaei, M., Feddes, R.A., Dirksen, C. (2002c). Simulation of root water uptake. III. Non-uniform transient combined salinity and water stress. *Agricultural Water Management*, 57, 127-144.
20. Hu, Y., Schmidhalter, U. (2005). Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 541-549.
21. Irshad, M., Honna, T., Eneji, A.E., Yamamoto, S. (2002). Wheat response to nitrogen source under saline conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 25(12), 2603-2612.
22. Jannike, W., Florian, W., Rainer, G.J. (2006). Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. *Geoderma*, 137, 100-108.
23. Keshavarz, P., Mirzapoor, M.H., Marjovi, A. (2021). Different threshold of salinity tolerance in wheat genotypes as affected by potassium. *Archives of Agronomy and Soil Science*, under review.
24. Keshavarz, P., Saadat, S. (2016). Assessment of salinity tolerance threshold for two wheat genotypes in response to zinc. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(2), 247-259.
25. Maas, E.V., Hoffman, G.J. (1977). Crop Salt Tolerance; Current Assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 103(2), 115-134.
26. Nieman, R., Shannon, M. (1976). Screening plants for salinity tolerance. Plant adaptation to mineral stress in problem soils Proceedings of a workshop held at the National Agricultural Library, Beltsville, Maryland, November 22-23, 359-367.
27. Okusanya, O.T., Ungar, I.A. (1984). The growth and mineral composition of three species of *Spergularia* as affected by salinity and nutrients at high salinity. *American Journal of Botany*, 71(3), 439-447.
28. Richards, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Vol. 78. LWW. 2.
29. Rietz, D.N., Haynes, R.J. (2003). Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 845-854.
30. Ulery, A.L., Teed, J.A., van Genuchten, M.T., Shannon, M.C. (1998). SALTDATA: A Database of Plant Yield Response to Salinity. *Agronomy Journal*, 90(4), 556-562.
31. Van Genuchten, M.Th., Hoffman, G.J. (1984). Analysis of crop salt tolerance data. In: Shainberg, I., Shalhevet, J. editors. *Soil salinity under irrigation, process and management*, New York: Springer-Verlag. p. 258-271.
32. Yuana, B.C., Lia, Z.Z., Liub, H., Gaob, M., Zhang, Y.Y. (2007). Microbial biomass and activity in salt affected soils under arid conditions. *Applied Soil Ecology*, 35, 319-328.

## Role of Plant in Interactive Effect of Salinity Stress- Fertilizer

Payman Keshavarz

Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran; P.Keshavarz@areeo.ac.ir

### Abstract

There have been many important advances in agriculture management in saline conditions. However, interpretation of data related to fertilizer use in saline soils is associated with many complexities. Under salinity stress crops are faced with less water available, ionic toxicity (sodium and chlorine) and decreasing availability of essential nutrients. These conditions cause a series of chemical and biochemical reactions in the path of nutrient uptake from soil to its transfer to plant; therefore, it can decrease or increase the need to use fertilizers in saline conditions. Unlike earlier studies, the fertilizer-salinity interaction showed that fertilizer application depends only on the level of salinity stress; recent findings show that the effectiveness of fertilizer not only depends on the salinity of the soil solution but also it related on the plant salinity tolerance. Accordingly, plant response to fertilizer application in saline conditions will be positive only if the plant species or cultivar is tolerant to salinity, but for salt sensitive plant species or cultivars, fertilizer will be effective if soil salinity is less than 1.5 times salinity tolerance threshold.

**Keywords:** Tolerance threshold, plant cultivars, soil salinity, nutrients, fertilization

## کیفیت خاک: چرا و چگونه؟

### یحیی کوچ

دانشیار گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

پست الکترونیکی: yahya.kooch@modares.ac.ir

### چکیده

کیفیت خاک نقش مهمی در ایجاد ارتباط بین تولید بالا و پایداری منابع اراضی دارد و می تواند بر کیفیت هوا، آب و محیط زیست اثرگذار باشد. ارزیابی کیفیت خاک، تعیین پتانسیل خاک از طریق ارزیابی ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی به منظور استفاده و دستیابی به تولید پایدار گیاهی و جانوری، هوا و آب پاک و در نهایت سلامت زندگی بشری می باشد. تا به حال روشهای متنوعی برای جمع آوری داده ها، اندازه گیری و ارزیابی کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته اند. از روشهای عمدتاً کیفی تا کاملاً کمی شامل کارت های نمره دهی، ارزیابی بصری خاک، بسته های مزرعه ای، آمایش خاک و تجزیه های آزمایشگاهی در تعیین کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته اند. در بین این روشها، امروزه تجزیه های آزمایشگاهی متداولترین روش است. در بررسی کیفیت خاک همه ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک مدنظر می باشند اما در هر حال از بین مجموعه این پارامترها امروزه بر کیفیت و کمیت مواد آلی و شاخص های زیستی خاک تاکید فراوان شده است که در این مقاله به بررسی این شاخص ها پرداخته خواهد شد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

واژگان کلیدی: سلامت خاک، شیوه‌ها و شاخص‌های ارزیابی، ماده آلی، بیولوژی خاک.

### مقدمه

خاکها منابع اساسی برای گیاهان و موجودات خاک به شمار می‌آیند. بیشتر عناصر غذایی و کربن در سطح خاک (مخصوص در ۱۰ سانتی متری بالایی) تجمع می‌یابند. بنابراین این لایه خاک برای تنظیم فرایندها و کارکردهای خاک مهم است. کیفیت خاک توانایی و ظرفیت خاک را در انجام کارکردهایی که برای سلامتی گیاهان، جانوران و انسان لازم و ضروری هستند را نشان می‌دهد. تعریف کیفیت خاک معمولاً به سه ویژگی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژی خاک بر می‌گردد. این ویژگی‌ها به طور قابل مشخصی بر رویش گیاهان، قابلیت در دسترس بودن عناصر غذایی خاک و کاهش تنشهای محیط زیستی خاک اثر می‌گذارند. خصوصیات فیزیکی خاک که به قابلیت ساختاری خاک مربوط می‌شوند بیشترین اهمیت را در کیفیت خاک دارند زیرا ساختار خاک عامل اولیه در بارخیزی خاک محسوب می‌شود. به علاوه مواد آلی خاک می‌تواند خصوصیات فیزیکی خاک نظیر پایداری خاک، ظرفیت نگهداری آب و جرم مخصوص ظاهری را افزایش دهد. مولفه اصلی برای اختلال در رشد گیاهی، فعالیت و ترکیب جوامع میکروبی خاک، موازنه آب خاک محسوب می‌شود. بنابراین مکانیسمهای شیمیایی خاک عامل مهمی در رویش گیاهی و فرایندهای زیستی خاک محسوب می‌شوند. خصوصیات زیستی خاک به طور معنی‌داری حاصل‌خیزی خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهند. این خصوصیات وابسته به ویژگیهای فیزیک و شیمیایی خاک هستند. شاخص‌های زیستی در ارتباط با کیفیت خاک بیشتر در مورد اندازه و تنوع بیومس میکروبی، تنفس خاک، قابلیت در دسترس بودن کربن و نیتروژن، فعالیت آنزیمهای خاک و بیوماس ماکروفون خاک ارزیابی و بررسی می‌شوند. میکروبهای خاک و فعالیت آنها برای ساختار خاک مانند توانایی در برابر فرسایش خاک و نفوذپذیری آب مفید هستند. همچنین میکروارگانیسمهای خاک نقش اساسی در چرخه عناصر غذایی خاک دارند. زیرا آنها قادرند مواد ارگانیک خاک را تجزیه کرده و تبدیل به مواد آلی قابل استفاده برای رویش گیاهی نمایند (Wunder et al. 2018).

### مفهوم کیفیت خاک

پیشینه بررسی کیفیت خاک به زمان تمدن‌های باستانی بر می‌گردد که در آن زمان نگهداری حاصل‌خیزی خاک در راستای فعالیتهای کشاورزی و الگوهای مختلف کشت بسیار با ارزش بود. با توجه به جایگاه کشاورزی در زندگی بشر، اگرچه بیشتر کارهایی که در مورد کیفیت خاک انجام شده است مربوط به کشاورزی بوده است ولی کیفیت خاک مفهوم گسترده‌تر دارد و فقط محدود به سیستم کشاورزی نمی‌شود. به نظر می‌رسد که کاملترین و جامعترین تعریفی که تاکنون از مفهوم کیفیت خاک وجود دارد توسط انجمن علوم خاک آمریکا ارائه شده است به این گونه که قابلیت یک خاک برای انجام عملکردهایی در اکوسیستمهای طبیعی و یا مدیریت شده، در راستای تداوم تولید گیاهی و جانوری، حفظ یا ارتقاء کیفیت آب و هوا و همچنین فراهم کردن سلامت انسانها و محیط زیست است. به دیگر سخن می‌توان گفت که کیفیت خاک، توانایی خاک برای فراهم کردن عملکردهایی است که برای انسانها و محیط زیست ضروری است.

این عملکردها را میتوان به طور کلی در پنج گروه زیر دسته‌بندی کرد:

چرخه عناصر: خاک در ذخیره‌سازی، کنترل و تنظیم چرخه عناصر نقش مهمی دارد. در این فرایند که یک فرایند بیوشیمیایی است، عناصر غذایی می‌توانند در دسترس گیاهان قرار گرفته و استفاده شوند، در خاک نگهداری شده و یا از دسترس خاک خارج شده و به هوا یا آب انتقال پیدا کنند.

در ارتباط با آب: خاک می‌تواند زهکشی، جریان و نگهداری آب و مواد محلول در آن شامل نیتروژن، فسفر و سایر ترکیبات غذایی محلول را تنظیم و کنترل نماید. با عملکرد مناسب خاک، تداوم تامین آب زیرزمینی برای استفاده گیاهان و جانداران تضمین می‌شود.

تنوع زیستی و زیستگاه: خاک بستری برای رویش و زیستن گیاهان، جانوران و همچنین میکروارگانیسمهای بیشمار است که تنوع آنها وابسته به گوناگونی ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و برهمکنش آنها با ویژگیهای زیستی است.

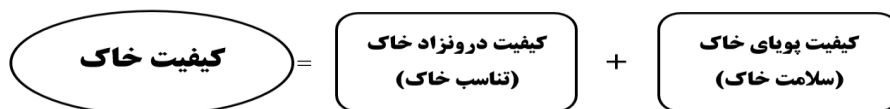
## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

فیلتر کردن و خنثی‌سازی: در عملکرد فیلتر، نوع خاک نقش مهمی در تامین کیفیت آب، هوا و دیگر منابع دارد. خاک می‌تواند ترکیبات سمی را خنثی کرده و عناصر اضافی را در خود نگهداری کند و از دسترس گیاهان و جانوران خارج سازد.

تامین پایداری فیزیکی: خاک این توانایی را دارد که ساختمان متخلخل خود را برای جریان آب و هوا حفظ کند و همچنین در مقابل فشارها ثبات داشته و یک بستر مناسب برای ریشه گیاهان باشد. برای انسان خاک یک بستر و جایگاه مناسب برای ایجاد زیستگاه و فراهم آوردن نیازهای اولیه است. اندازه گیری عملکردهای خاک به صورت مستقیم امکانپذیر نیست و برای اینکار از شاخص‌های ویژه‌ای استفاده می‌شود (آقباش و پوررضا، ۱۳۹۰). خاک دارای دو نوع کیفیت شامل کیفیت درونزاد (Inherent) و کیفیت پویا (Dynamic) است. کیفیت درونزاد یا ذاتی خاک مربوط به توانایی طبیعی خاک برای فراهم کردن عملکردهاست. برای مثال خاکهای شنی به دلیل زهکشی بالا، توانایی نگهداری آب آنها کمتر از خاکهای رسی است، یا خاکهای عمیق در مقایسه با خاکهایی سطحی که روی سنگ مادری هستند، گنجایش بیشتری برای گسترش ریشه گیاهان دارند. این ویژگی‌ها دایمی هستند و به آسانی تغییر نمی‌کنند. کیفیت درونزاد خاک برای مقایسه قابلیت‌های یک خاک معین با دیگر خاکها و به منظور بررسی پایداری خاک برای استفاده‌های ویژه‌ای بکار می‌رود. در بررسی تناسب اراضی، در نظر گرفتن کیفیت درونزاد خاک دارای اهمیت فراوانی است. کیفیت پویای خاک به پیامد مدیریت خاک بر تغییرات ویژگی‌های آن مربوط می‌شود. روشهای مدیریتی مختلف می‌تواند تغییر مقدار ماده آلی خاک، ساختمان خاک و گنجایش نگهداری آب و عناصر غذایی را در پی داشته باشد. یکی از اهداف پژوهش در موضوع کیفیت خاک این است که راهکارهای مناسبی برای مدیریت خاک پیدا شود به طوری که عملکردهای خاک بهبود یابد. این جنبه از کیفیت خاک بیشترین اهمیت را در بررسی‌ها و حفظ سلامت منابع خاک دارد. با توجه به عواملی که برای بررسی کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شود کیفیت خاک می‌تواند از نظر ویژگیهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی باشد. خیلی از عوامل فیزیکی و شیمیایی خاک مربوط به کیفیت درونزاد خاک و عوامل زیستی مربوط به کیفیت پویای خاک هستند. اگرچه برای بررسی کیفیت خاک بیشتر بر ویژگیهای زیستی خاک تاکید می‌شود ولی این نباید باعث کمرنگ شدن اهمیت ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک شود (Xu et al. 2013).

### ارتباط کیفیت خاک با سلامت خاک و سلامت انسان

سلامت خاک از جنبه‌های دیگر اصول کیفیت خاک برای مدیریت است که توسط دانشمندان مطرح شده است. برای اولین بار Doran و همکاران (۱۹۷۷) سلامت خاک را اینگونه تعریف کردند که سلامت خاک قابلیت پایداری خاک به عنوان یک سیستم است برای انجام عملکردها در داخل اکوسیستم و کاربریهای اراضی بطوری که پایداری باروری زیستی تضمین شده و کیفیت محیط هوا و آب افزایش یافته و سلامت گیاهان، جانوران و انسانها حفظ شود. از این دیدگاه، خاک به عنوان یک سیستم زنده در نظر گرفته می‌شود که از یک طرف همه عملکردهای ضروری فراهم کرده و از طرف دیگر شرایط بالفعل و روند چگونگی خاک و الگوی گیاهان را در برابر شرایط بالقوه در یک محدوده اقلیمی ویژه را قابل مقایسه می‌سازد. با وجود این تعاریف بسیاری از نویسندگان کیفیت خاک و سلامت خاک را مترادف هم می‌دانند. به طور کلی مفهوم تلفیقی کیفیت خاک و سلامت خاک شامل کیفیت درونزاد خاک (که به طور سنتی به آن تناسب خاک گفته می‌شود) و کیفیت پویای خاک یا سلامت خاک است. بنابراین سلامت خاک بیشتر مربوط به کیفیت پویای خاک است و تناسب خاک مربوط به کیفیت درونزاد خاک. از اینرو رابطه کیفیت خاک و سلامت خاک را می‌توان به شکل ۱ نشان داد:



شکل ۱- مفهوم تلفیقی کیفیت خاک، سلامت خاک (کیفیت پویای خاک) و تناسب خاک (کیفیت درونزاد خاک)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

خاک یک منبع محدود و متناهی است، به این معنی که از بین رفتن و تخریب آن طی طول عمر یک انسان قابل بازیابی نیست. خاک در هر جنبه‌ای از زندگی شامل غذا، آب، هوا و سلامت نقش دارد. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) تخمین می‌زند که تولید ۹۵ درصد غذای انسان‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم با خاک در ارتباط است. روش‌های کشاورزی وابسته به استفاده از علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها و کشت بیش از حد می‌توانند به ساختار خاک آسیب رسانده و باکتری‌های مفید خاک را از بین ببرند. شهرنشینی پوشش گیاهی خاک را از بین می‌برد، طی روند ساخت و ساز خاک را فشرده می‌کند، در زهکشی خاک تداخل ایجاد می‌کند و می‌تواند موجب شکل‌گیری رواناب‌های سطحی شود. فاضلاب، چرای بیش از حد و جنگل‌زدایی نیز تهدیدات جدی برای خاک ایجاد می‌کنند. معدن‌کاری می‌تواند به از بین رفتن پوشش سطحی و گسترش مواد شیمیایی سمی که خاک را آلوده می‌کنند، منجر شود. همچنین، برخی کارخانه‌ها گازها و ضایعات سمی را روانه اتمسفر، رودخانه‌ها و اقیانوس‌ها می‌کنند. در نهایت، مواد سمی می‌توانند وارد خاک شوند. سرب همچنان یکی از رایج‌ترین آلاینده‌های خاک است. برخی مواد شیمیایی قوی که کشاورزان استفاده می‌کنند می‌تواند مقدار مواد ارگانیک در خاک را کاهش دهد و به تدریج حاصل‌خیزی آن را از بین ببرد. به لطف محصولات دارویی و مراقبت شخصی و نفوذ آنها از طریق آب‌های زیرزمینی و اماکن دفن زباله به خاک به صورت پایدار، دسته‌ای جدید از آلاینده‌ها شکل گرفته است. گفته کارشناسان فائو، تماس، استنشاق یا خوردن رایج‌ترین روش‌هایی هستند که انسان آلودگی خاک را جذب می‌کند. شما می‌توانید ذرات خاک در هوا را استنشاق کنید. یکی از موارد مشکل‌ساز خوردن خاک آلوده است، به عنوان مثال، ممکن است ذره‌های کوچک خاک را همراه با غذای خود مصرف کنید. به طور خاص، کودکان که توجه کمتری به آنچه در دهان خود قرار می‌دهند، دارند، در معرض خطر بیشتری برای بلع خاک آلوده قرار دارند. اما کودکان بزرگ‌تر و بزرگسالان نیز می‌توانند خاک سمی را به طور تصادفی از محصولی که به خوبی تمیز نشده است، دریافت کنند. خاک قرار است که نخستین خط دفاعی ما در برابر آلاینده‌ها باشد. خاک می‌تواند وظیفه پالایش سموم را انجام دهد. اما زمانی که بار کاری اضافه بر خاک وارد می‌کنیم دیگر نباید انتظار پالایش کارآمد سموم را داشته باشیم. اگر میزان سموم بیش از ظرفیت خاک برای پالایش آنها شود، این آلاینده‌ها به بخش‌های دیگر محیط زیست، مانند زنجیره غذایی، نفوذ می‌کنند. در نهایت، آلودگی خاک به واسطه کاهش بازده و کیفیت محصول بر امنیت غذایی تاثیر می‌گذارد، به این معنی که موجودات زنده از جمله انسان‌ها به منابع غذایی سالم و ایمن کمتری دسترسی خواهند داشت. خاک آلوده به عناصر خطرناک مانند سرب، آفت‌کش‌ها یا محصولات دارویی، مانند مختل‌کننده‌های غدد درون‌ریز، می‌تواند خطر بیماری‌های مزمن از جمله مشکلات قلبی و سرطان را افزایش دهد. بنابر گزارشی که در سال ۲۰۱۲ توسط مراکز کنترل و پیشگیری از بیماری آمریکا منتشر شد، سرب به هر مقداری می‌تواند برای کودکان مضر باشد. آنتی‌بیوتیک‌ها نیز می‌توانند در خاک نفوذ کرده و به شکل‌گیری باکتری‌های مقاوم در برابر دارو کمک کنند. بنابر گزارشی که توسط مجمع جهانی اقتصاد منتشر شد، هر ساله ۷۰۰ هزار مرگ با باکتری‌های مقاوم در برابر آنتی‌بیوتیک‌ها پیوند خورده‌اند و کارشناسان انتظار دارند این آمار افزایش یابد (Song et al, 2016).

### شیوه‌ها و شاخص‌های ارزیابی کیفیت خاک

ارزیابی کیفیت خاک در سالهای اخیر پیشرفت قابل توجهی کرده است. در مقیاس جهانی به سبب اهمیت تغییرات محیط زیست، بهبود روشهای ارزیابی کیفیت خاک برای توسعه کشاورزی پایدار و نیز تشخیص پایداری مدیریت خاک و سامانه‌های کاربری زمین ضروری است. از این رو به دست آوردن روشها و شاخص‌های مناسب ارزیابی کیفیت خاک به علت تاثیر مهم آن بر نتیجه‌گیری و قضاوت نهایی در مورد وضعیت کیفیت و مدیریت خاک، از جمله مهم‌ترین مسائل مورد توجه است. تا به حال روشهای متنوعی برای جمع‌آوری داده‌ها، اندازه‌گیری و ارزیابی کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. از روشهای عمدتاً کیفی تا کاملاً کمی شامل کارت‌های نمردهی (Scorecards)، ارزیابی بصری خاک (Visual Soil Assessments)، بسته‌های مزرعه‌ای (Field kits)، آمایش خاک (Soil surveys) و تجزیه‌های آزمایشگاهی در تعیین کیفیت خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در بین این روشها، امروزه تجزیه‌های آزمایشگاهی متداولترین روش است، که برتری آنها، امکان استفاده آسان، انعطاف‌پذیری و کمی بودن ویژگی‌های موثر بر شاخص‌های مختلف کیفیت می‌باشد. پارامترهای موثر بر شاخص‌های کیفیت خاک به صورت فرایندها و ویژگی‌هایی از خاک تعریف می‌شوند که به تغییرات مدیریت خاک حساس هستند. این ویژگی‌ها می‌توانند مجموعه‌ای از خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، زیستی یا ترکیبی از آنها باشند (گرگی و همکاران، ۱۳۹۵).

### مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

تغییر پوشش اراضی علاوه بر تغییر میزان ماده آلی ورودی موجب تغییرات فیزیکی مانند تغییر در جرم مخصوص ظاهری، جرم مخصوص حقیقی، تخلخل، پایداری خاکدانه، بافت، رطوبت و حرارت خاک می‌گردد. با کاهش درصد ماده آلی، سبک شدن بافت و تخریب ساختمان خاک طی تغییر کاربری جنگل به اراضی کشاورزی، جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد، زیرا با عملیات خاک‌ورزی و به هم زدن خاک سطحی موجب کاهش ماده آلی و تخریب خاک می‌شود، در نتیجه خلل و فرج خاک کاهش می‌یابد. از طرفی با کاهش درصد لایه آلی، سبک شدن بافت و تخریب ساختمان خاک مشاهده گردید. واکنش خاک (pH) شاخص مناسبی برای تعیین وضعیت شیمیایی خاک و پتانسیل رویش گیاه می‌باشد. افزایش pH، اغلب با زیتوده میکروبی بیشتر و میزان بالاتری از تجزیه لاشبرگ، تنفس خاک و معدنی‌سازی خالص نیتروژن همراه است. نقش عناصر غذایی در اکوسیستم‌های جنگلی از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد. عناصر غذایی باید به صورت ترکیباتی قرار گیرند که به راحتی در دسترس گیاه باشد. دو نکته مهم که در تعیین یک عنصر غذایی گیاه در نظر گرفته می‌شوند: الف) ضرورت آن جهت تکمیل دوره و چرخه زندگی گیاه می‌باشد. ب) اثر مستقیم در تغذیه گیاه بدون توجه به اثرات آن در اصلاح برخی شرایط نامناسب خاک و محیط است. پتانسیم موجب سرعت بخشیدن به سنتز و تحریک کربوهیدرات‌ها و ضخیم شدن دیواره سلولی گیاه و مقاوم شدن آن در برابر امراض نقش دارد و فسفر در ساختمان سلولی نقش دارد و به منزله منبع انرژی عمومی در کلیه فعل و انفعالات بیوشیمیایی داخل سلول‌های زنده نقش ضروری و مهمی دارد. این عنصر در پایداری دیواره سلولی، توسعه سلول و فرایندهای داخلی، پایداری غشاهای سلولی، تعادل کاتیون و آنیون، فعال کننده برخی آنزیم‌ها و همچنین تنظیم فشار اسمزی نقش دارد. کمبود آن باعث تجزیه دیواره سلولی و خشکیدگی برگ‌ها می‌شود. منیزیم تنها جزء معدنی مولکول کلروفیل است. منیزیم در ساخته شدن روغن در گیاه دخالت داشته و باعث تنظیم جذب فسفر در گیاه می‌شود و نیز در تولید هیدروکربن‌ها و مواد قندی موثر است. منیزیم انتقال دهنده فسفر به دانه گیاهان است و همچنین فعال کننده آنزیم‌های دی‌هیدروژناز و دی‌کربوکسیلاز است و در تنفس سلولی اهمیت حیاتی دارد. این عنصر فعال کننده آنزیم‌ها و در اعمال اکسیداسیون و احیاء در گیاه نقش دارد و عامل جداسازی مولکول اکسیژن در فتوسنتز است. همچنین تغییر کاربری اراضی بر کاهش مواد مغذی خاک اثرگذار است (Chen et al. 2010).

### ماده آلی و لایه‌بندی آن

ماده آلی طیف گسترده‌ای از اجزاء زنده و غیرزنده و یکی از پیچیده‌ترین و ناهمگن‌ترین اجزای خاک است که نقش مهمی در خواص، عملکرد، نرخ بازگشت، تنظیم چرخه فسفر، گوگرد، ترکیب با یون‌های چند بنیانی، فراهم کردن زیستگاه جانوران و موجودات میکروبی، ثبات خاکدانه، گردش مواد، نگهداری و حفظ آب دارد به همین خاطر به عنوان یک ویژگی مهم کیفیت و یا سلامت خاک شناخته شده است. محتوی ماده آلی و پویایی آن در خاک، یک مشخصه ضروری برای ارزیابی تغییرات در مورد پوشش‌های مختلف اراضی است. درختان از طریق تأمین مقادیر مختلف مواد آلی با ترکیبات شیمیایی مختلف طی خزان با ایجاد لاشبرگ بر روی خاک تأثیر می‌گذارند، که تجزیه و فساد شاخ و برگ درختان در کف جنگل منجر به ایجاد تغییرات در خاک می‌شود. تغییر در مقدار لایه‌بندی ماده آلی منجر به تغییرات اساسی در جرم مخصوص ظاهری، پایداری خاکدانه، تخلخل، سرعت نفوذ، زیتوده میکروبی و میزان فعالیت آن در خاک و در نهایت چرخه مواد غذایی می‌شود. بسته به نوع و مقدار مواد آلی موجود در خاک، پاسخ و واکنش به تغییرات پوشش اراضی متفاوت است. امروزه از شاخص لایه‌بندی (Startification ratio) ماده آلی (مقدار ماده آلی در لایه سطحی تقسیم بر مقادیر آن مشخصه در لایه زیرسطحی)، بجای مقادیر مطلق آن، جهت ارزیابی کیفیت خاک تحت پوشش‌های مختلف اراضی استفاده می‌شود و به عنوان شاخصی از میزان ورودی ماده آلی به خاک به حساب می‌آید. در همین راستا، Rahman (2017) اشاره داشته است که هر نوع پوششی از اراضی (جنگلی، مرتعی و زراعی) منجر به افزایش نسبت لایه‌بندی ماده آلی خاک در مقایسه با اراضی لخت و بدون پوشش می‌شود. همچنین در پژوهشی، Gmach et al. (2018) اذعان داشتند که نسبت لایه‌بندی ماده آلی خاک تحت پوشش‌های طبیعی بیش از ۲ بوده، در حالی که این نسبت در سایر پوشش‌های اراضی (جنگل‌کاری، مرتع و کشاورزی) مقادیری کمتر از ۲ را نشان داده‌اند. همچنین Kalinina et al. (2019) در بررسی پژوهش خود به این نتیجه دست یافتند که با تبدیل مناطق تخریب یافته به جنگل‌کاری بر میزان لایه‌بندی ماده آلی افزوده می‌شود علاوه بر آن وجود لایه آلی موجب بهبود ساختمان خاک می‌گردد. از سوی دیگر Wertebach et al. (2017) در مطالعه خود به نتایجی مطابق با نتایج مطالعه حاضر دست یافتند که با تغییر اراضی از جنگل طبیعی به سایر کاربری‌ها از میزان لایه بندی ماده آلی کاسته می‌شود که این کاهش منجر به تغییر در فعالیت موجودات خاکزی می‌گردد. در واقع تغییر کاربری از جنگل طبیعی منجر به کاهش لایه‌بندی ماده آلی می‌شود و همین امر موجب کاهش رطوبت و فعالیت موجودات خاکزی می‌گردد.

### مشخصه‌های بیولوژی خاک

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

طیف وسیعی از موجودات زنده در اکوسیستم خاکی زندگی می‌کنند که نیازهای اکولوژیک متنوع و متفاوتی دارند. تعداد، تنوع و ترکیب نسبی موجودات خاکزی تابعی از خصوصیات خاک (رطوبت، تهویه، واکنش خاک و عناصر غذایی)، ویژگی‌های اقلیمی و پوشش گیاهی سطح خاک می‌باشد. به عبارت دیگر ویژگی‌های زیستی خاک که جزء ویژگی‌های پویا و دینامیک خاک می‌باشد، به نوعی بیانگر تطابق نیازهای موجودات خاکزی با شرایط موجود در خاک است. اکثر موجودات خاکزی به لحاظ تغذیه‌ای به گروه‌هایی تعلق دارند که برای فعالیت و بقا به وجود مواد آلی در خاک وابسته هستند (هتروتروف‌اند)، انواع اتوتروف که تولیدکننده مواد آلی بوده و بخش کوچکی از جانداران خاکزی را شامل می‌شوند، جز در شرایط خاص میزان ماده آلی تولیدی توسط آنها قابل توجه نیست. از طرفی مواد آلی با بهبود ویژگی‌های فیزیکی (افزایش تهویه، ظرفیت نگهداری آب در خاک) و شیمیایی (آزادسازی عناصر غذایی، جذب و ذخیره سازی عناصر) بر جمعیت و فعالیت موجودات خاکزی نقش مهمی ایفا می‌نماید. ویژگی‌های خاک و اقلیم علاوه بر تعداد میکروارگانیسم‌های خاکزی بر تنوع و ترکیب نسبی آنها نیز تأثیر بسزایی دارد. خاک حاصلخیز یکی از مهمترین اجزا ضروری یک اکوسیستم است، زیرا نشان دهنده شرایط مطلوب رویشگاه و فعالیت موجودات خاکزی می‌باشد. مواد آلی خاک موجب بهبود ظرفیت نگهداری مواد غذایی، ثبات خاکدانه‌ها، ذخیره کربن و ترسیب آن را دارند و تأمین کننده انرژی فعالیت‌های هتروتروفی در خاک هستند. همه موجودات خاکزی، به ویژه فون خاک نقش مهم و شناخته شده‌ای در تشکیل و پایداری ساختمان خاک دارند. بر اساس پژوهش Neirynck و همکاران (۲۰۰۰) موجودات خاکزی سالانه تقریباً ۱ تن در هکتار در تولید خاک سطحی کمک می‌کنند. مورچه‌ها، مورانه‌ها، کرم‌های خاکی و سخت بال‌پوشان که روی سطح خاک یا در لانه و حفراتی درون خاک زندگی می‌کنند و جز ماکروفون خاک و مهندسان اکوسیستم به شمار می‌آیند. موجودات خاکزی با توجه به اندازه و نوع به چند گروه تقسیم شده‌اند. گروه اول میکروفلورای خاک و در برگیرنده قارچ‌ها، باکتری‌ها و اکتینومیسیت‌ها می‌باشد. تنوع این موجودات برای حفظ کیفیت خاک بحرانی است، زیرا در بسیاری از کارکردهای مهم خاک نظیر چرخه کربن، چرخه نیتروژن، حفظ و تشکیل ساختمان خاک و تبدیل مواد آلی مشارکت دارند. میکروفون‌ها به گروه دیگری از موجودات خاکزی گفته می‌شوند که متوسط اندازه آن‌ها کمتر از ۲۰۰ میکرومتر بوده و در منافذ پر آب خاک زندگی می‌کنند، پروتوزوئرها در این گروه قرار می‌گیرند. مزوفون‌ها گروه دیگری هستند که اندازه آن‌ها ۰/۲ تا ۲ میلی‌متر بوده و در منافذ پر از هوای خاک زندگی می‌کنند، بندپایان کوچک (مثل کنه‌های خاکزی و پادمان) و نماتدها به این گروه تعلق دارند. ماکروفون‌ها در برگرفته فون بزرگ خاک هستند مورچه‌ها، مورانه‌ها، کرم‌های خاکی و سایر حشرات بزرگ که روی سطح خاک یا در لانه و حفراتی درون خاک زندگی می‌کنند، جزء ماکروفون‌های خاک به شمار می‌آیند. ماکروفون خاک بر خرد شدن، دانه‌بندی و ترکیب مواد آلی خاک موثر بوده و مسئول تغییرات فیزیکی و تغییر ماده آلی خاک نیز هستند. فون خاک می‌تواند نقش مهمی در قابلیت دسترسی آب و عناصر غذایی داشته باشد. نتایج مطالعه Ouedraogo و همکاران (۲۰۰۶) نشان داد که ماکروفون خاک باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک است. همچنین فعالیت کرم‌های خاکی باعث می‌شود نفوذ آب در خاک بهبود یابد نفوذ ریشه در خاک تسهیل شود، ترسیب کربن صورت گیرد (حمل مواد آلی سطحی به عمق خاک) و کیفیت ساختمان خاک بهبود یابد. به طور کلی فراوانی و تنوع جوامع موجودات خاکزی شاخص خوبی برای کیفیت خاک می‌باشد، زیرا موجودات نشان دهنده جنبه‌های متفاوتی از کیفیت خاک در ترکیب و فراوانی‌شان هستند.

### کیفیت خاک، تغییر اقلیم و گرمایش جهانی

در اتمسفر، گازهایی وجود دارند که به گازهای گلخانه‌ای (GHG) شهرت داشته و باعث ایجاد یک شبکه گرمایی در سطح زمین می‌شوند که با نام اثر گلخانه‌ای شناخته شده‌اند. چنانچه هیچ گازی در اتمسفر وجود نداشته باشد درجه حرارت جهانی زمین ۳۳ درجه کمتر از حالت فعلی خواهد بود. بنابراین با توجه به اینکه میانگین درجه حرارت جهانی کره زمین ۱۵ درجه سانتی‌گراد تصور گردد در این صورت در غیاب این گازها، میانگین درجه حرارت جهانی ۱۸- درجه سانتی‌گراد خواهد بود. بنابراین می‌توان دریافت که وجود اثر گلخانه‌ای برای پایداری شکل‌های مختلف حیات بر روی کره زمین ضروری می‌باشند. مستندات حاکی از آنست که غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر در حال افزایش است که منجر به افزایش گرمای جهانی زمین می‌شود. از اثرات تغییر اقلیم و افزایش گرمای جهانی می‌توان به کاهش خشکی‌ها از طریق ذوب یخ‌های قطبی و افزایش سطح و دمای اقیانوس‌ها و دریاها، وقوع بحران‌های شدید زیست‌محیطی از جمله تخریب اکوسیستم‌های طبیعی، کاهش تنوع زیستی، وقوع سیل، خشکسالی و بیابان‌زایی اشاره داشت. دی اکسید کربن ( $\text{CO}_2$ )، متان ( $\text{CH}_4$ ) و نیتروز اکسید ( $\text{N}_2\text{O}$ ) مهمترین گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شوند که تقریباً ۸۰ درصد گرمایش جهانی زمین را منجر می‌شوند. پتانسیل گرمایی جهانی (GWP)، گرمایش جمعی در طول زمان به دلیل خروج گازها، بین گازهای مختلف با توجه به قدرت جذب و همچنین نرخ ماندگاری آنها در اتمسفر متفاوت می‌باشد. مقدار GWP برای دی اکسید کربن برابر ۱ بوده درحالی که مقدار این مشخصه برای گازهای متان و نیتروز اکسید به ترتیب ۲۳ و ۲۹۶ برابر دی اکسید کربن می‌باشند. اما با توجه به حجم بیشتر تجمع دی اکسید کربن در اتمسفر، این گاز یکی از کلیدی‌ترین گازها در پدیده گرمایش جهانی کره زمین مطرح گردیده است. در بین گازهای مختلف دی اکسید کربن، ۶۳ درصد خروج GHG کل را شامل می‌شود در حالی که متان و نیتروز اکسید و سایر گازهای دیگر به

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

ترتیب ۲۴، ۱۰ و ۳ درصد بقیه را شامل می‌گردند. پژوهش‌های صورت گرفته حاکی از آنست که با تقویت چاهک‌های جذب گاز (Sink) و همچنین کاهش منابع تولید گاز (Source) می‌توان غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر را کاهش داد. پوشش‌های مختلف اراضی می‌توانند از هر دوی این طرق به کاهش خروج گازها به داخل اتمسفر کمک نمایند. در ابتدا پوشش‌های گیاهی مختلف می‌توانند باعث تجمع کربن در زیتوده‌شان و یا در خاک گردند. ثانیاً اینکه، زیتوده تولید شده می‌تواند به عنوان یک جایگزین سوخت مورد استفاده قرار گیرد. لذا این عوامل می‌توانند تأثیر بسزایی در تغییرپذیری جریان‌های گازی خاک در مقیاس جهانی داشته باشند. دی اکسید کربن یکی از گازهای مهم و به عنوان یک عامل اساسی در چرخه حیات موجودات زنده محسوب می‌گردد و همینطور در چرخه فتوسنتز ایفای نقش می‌کند. با این وجود انتشار بیش از حد این گاز در محیط زیست اثرات سوء را به دنبال دارد. خاک‌ها از منابع مهم جذب گاز دی اکسید کربن است. دخالت در رویشگاهها و تغییرات کیفیت خاک می‌تواند این تعادل را برهم زند. آنچه واضح است این است که میزان انتشار دی اکسید کربن در خاک کاملاً در ارتباط با دما می‌باشد، در واقع بین دما و میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در اکوسیستم‌ها ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده است که تنفس خاک ارتباط معناداری را با محتوی رطوبتی خاک دارد. در واقع وقتی که خاک اشباع می‌شود توانایی تحرک اکسیژن به پایین‌ترین حد می‌رسد و میکروارگانیسم‌ها از این اکسیژن تغذیه می‌کنند و به میزان دی اکسید کربن می‌افزایند. متان یکی از گازهای گلخانه‌ای بسیار مهم می‌باشد و تقریباً ۷۰٪ از انتشارات متان به فعالیت‌های انسانی مرتبط می‌شود. در حال حاضر اثرات این گاز بر اقلیم بسیار نگران‌کننده است. جذب متان در خاک‌ها کاملاً تحت تأثیر محتوی رطوبتی خاک است، به عبارت دیگر بیش‌ترین جذب متان در خاک‌ها در خاک مرطوب اتفاق می‌افتد. قدرت چاهک متان برای جذب آن تحت تأثیر رطوبت خاک و مصرف منظم متان است. اکوسیستم‌های خشکی بزرگترین منبع جهانی جذب متان است و نقش بسیار مهمی را در میزان غلظت اتمسفری گاز ذکر شده ایفا می‌کند. پوشش‌های گیاهی مختلف با توجه به دارا بودن کمیت‌ها و کیفیت‌های متفاوت از مواد آلی می‌توانند در تغییرپذیری کیفیت خاک و همچنین تغییرات جریان گاز متان بسیار موثر باشند. نیتروژن اکسید مسئول حدود ۶ درصد اثر گلخانه‌ای می‌باشد و توانایی آن در جذب اشعه مادون قرمز، ۳۰۰ برابر بیشتر از دی اکسید کربن می‌باشد. نیتروژن اکسید همانند دی اکسید کربن و متان از دیگر گازهای مهم موجود در اتمسفر می‌باشد. خاک‌ها معمولاً نیتروژن اکسید را طی عمل نیتروبیفیکاسیون و دنیتروبیفیکاسیون به درون جو منتشر می‌کند. میزان غلظت گاز نیتروژن اکسید در خاک اکوسیستم‌های مختلف بین ۰/۶ تا ۰/۸ گرم بر مترمربع در سال می‌باشد. نوع رویشگاه، شرایط توپوگرافی، بافت و منافذ خاک، رطوبت، دما، نیتروژن قابل انتقال بر میزان نیتروژن اکسید موجود در خاک اثرگذار است. افزایش محتوی رطوبتی خاک به علت اینکه شرایط بی‌هوازی ایجاد می‌کند بر میزان انتشار این گاز در اکوسیستم موثر است. حضور برهم‌خوردگی‌های طبیعی که به دنبال خود باز شدن سطح جنگل را در پی دارند بر میزان موجودی گازهای گلخانه‌ای به خصوص نیتروژن اکسید می‌افزایند، این تغییر در میزان موجودی سالانه نیتروژن اکسید به علت تغییر دمایی و رطوبتی در منطقه باز شده در اثر بادافتادگی است. علاوه بر موارد ذکر شده، نوع گونه‌های استقرار یافته در میکروتوپوگرافی حاصل از بادافتادگی بر کیفیت خاک، میزان جذب و انتشار نیتروژن اکسید اثرگذار است (ملایی‌دارابی، ۱۳۹۳).

### نتیجه‌گیری

روش‌های سنتی استفاده از زمین و مدیریت ضعیف تعداد زیادی از کشاورزان، بر ناکارآمدی سیستم کشاورزی کشور دامن می‌زند؛ بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی خشک ایران و تهدیدهای جدی در زمینه منابع آب و خاک، برنامه‌ریزی در زمینه حفظ و استفاده بهینه از منابع آب و خاک برای توسعه کشور امری حیاتی محسوب می‌شود. مجموعه عملیاتی همچون عدم دستکاری مکانیکی خاک، حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و رعایت تناوب زراعی برای بازسازی و حاصل‌خیزی خاک که اصطلاحاً کشاورزی حفاظتی نامیده می‌شود، فعالیت‌های مهمی هستند که می‌توانند ضمن تولید پایدار برای حفظ آب و خاک این کشور صورت گیرند. امروزه کشاورزی حفاظتی به علت مزایای مهمی که دارد، به‌تدریج جایگزین کشاورزی مرسوم می‌شود. به نظر می‌رسد در کشور و خاک‌های زراعی کشور ایران که اقلیم غالب مناطق خشک و نیمه‌خشک است، اجرای کشاورزی حفاظتی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر باشد.

### فهرست منابع

آقباش، ف. و پور رضا، م. (۱۳۹۹). شاخص‌های کیفیت خاک. انتشارات دانشگاه ملایر، ۱۹۴ صفحه.  
گرچی، 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، ۷۴(۳): ۷۷۵-۷۸۴.  
ملایی‌دارابی، س. (۱۳۹۳). پویایی جریان‌های گازی و کاتیون‌های بازی خاک در ارتباط با زمین‌نمای پیت و ماند یک توده جنگلی راش (مطالعه موردی: جنگل دارابکلا). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۸ صفحه.

- Chen, F. S., Zeng, D. H., Fahey, T. J., Liao, P. F. (2010). Organic carbon in soil physical fractions under different-aged plantations of Mongolian pine in semi-arid region of Northeast China. *Applied Soil Ecology*, 44 (1): 42-48.
- Gmach, M. R., Dias, B. O., Silva, C. A., Nóbrega, J. C. A., Lustosa-Filho, J. F., Siqueira-Neto, M. (2018). Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional*, 14: e00178.
- Kalinina, O., Cherkinsky, A., Chertov, O., Goryachkin, S., Kurganova, I., Küper, J., Kurganova, I., Lopes de Gerenyu, V., Lyuri, D., Rusakov, A., Kuzyakov, Y., Giani, L. (2019). Post agricultural restoration: Implications for dynamics of soil organic matter pools. *Catena*, 181: 104096.
- Neirynck, J., Mirtcheva, S., Sioen, G., Lust, N. (2000). Impact of *Tilia platyphyllos* Scop., *Fraxinus excelsior* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Quercus robur* L. and *Fagus sylvatica* L. on earthworm biomass and physico-chemical properties of a loamy topsoil. *Forest Ecology and Management*, 133 (3): 275-286.
- Rahman, M. H. (2017). Distribution and stratification of carbon in irrigated calcareous soil under rice-based cropping pattern in Bangladesh. *International Journal of Soil Science*, 12 (6): 120-127.
- Song, M., Li, X., Jing, S., Lei, L., Wang, J., Wan, S. (2016). Responses of soil nematodes to water and nitrogen additions in old-field grassland. *Applied Soil Ecology*, 102 (5): 53-60.
- Wertebach, T. M., Hölzel, N., Kämpf, I., Yurtaev, A., Tupitsin, S., Kiehl, K., Kamp, J., Kleinebecker, T. (2017). Soil carbon sequestration due to post-Soviet cropland abandonment: estimates from a large-scale soil organic carbon field inventory. *Global Change Biology*, 23 (9): 3729-3741.
- Wunder, S., Kaphengst, T., Frelih-Larsen, A. (2018). Implementing Land Degradation Neutrality (SDG 15.3) at National Level: General Approach, Indicator Selection and Experiences from Germany. *International Yearbook of Soil Law and Policy*, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68885-5\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68885-5_11).
- Xu, W., Liu, J., Liu, X., Kun, L. K., Zhang, D., Yan, J. (2013). Fine root production, turnover, and decomposition in a fast-growth *Eucalyptus urophylla* plantation in southern China. *Journal of Soils and Sediments*, 13 (3): 1150-1160.

### Soil quality: why and how?

Yahya Kooch

Associate Professor, Range Management Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University.

Email: yahya.kooch@modares.ac.ir

#### Abstract

Soil quality plays an important role in establishing the relationship between high production and sustainability of land resources and can affect air, water and environmental quality. Soil quality assessment is the determination of soil potential through the evaluation of physical, chemical and biological properties in order to use and achieve sustainable plant and animal production, clean air and water, and ultimately the health of human life. So far, various methods have been used for data collection, measurement and evaluation of soil quality. From mainly qualitative to very quantitative methods including scoring cards, visual assessment of soil, field packages, soil preparation and laboratory analyzes have been used to determine soil quality. Among these methods, laboratory analysis is the most common method today. In studying soil quality, all physical, chemical and biological properties of soil are considered, but in any case, among the set of these parameters, today the emphasis is on the quality and quantity of organic matter and soil biological indicators, which in this article these indicators will be addressed.

**Keywords:** Soil health, assessment methods and indicators, organic matter, soil biology.

بسمه تعالی

نقش حفاظت و مدیریت پایدار خاک در افزایش بهره‌وری آب و حفظ کمیت و کیفیت آن  
منوچهر گرجی- استاد دانشگاه تهران، و رئیس انجمن علوم خاک ایران

امام علی (ع) :

”کسی که آب و خاک داشته باشد ولی در فقر زندگی کند از رحمت خداوند به دور است.“

فرازهایی از سخنان مقام معظم رهبری در مورد اهمیت و جایگاه خاک

”قضیه‌ی خاک از قضیه‌ی آب مهم‌تر است؛ ما مشکل آب هم داریم، مشکل بزرگی هم هست، لکن برای تهیه‌ی آب راه‌های فراوانی وجود دارد؛ برای تهیه‌ی خاک حاصلخیز این راه‌ها دیگر وجود ندارد.“  
بیانات در دیدار مسئولان و فعالان حفظ منابع طبیعی، محیط زیست و فضای سبز

شهری ۱۳۹۳/۱۲/۱۷

### چکیده

بخش کشاورزی و تولید غذا در جهان بیشترین مصرف آب را به خود اختصاص داده است. سهم سرانه مصرف آب برای تامین غذای یک انسان حدود ۷۰ برابر مصرف آب آشامیدنی و مصارف خانگی همان فرد می‌باشد. برای رفع مشکلات کمبود آب در جهان، و بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، باید اقدامات اساسی در کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی صورت گیرد. راهکارهای مختلفی از جمله به کارگیری سامانه‌های تحت فشار و پیشرفته آبیاری، حفاظت و مدیریت پایدار خاک، استفاده از بذور اصلاح شده و گیاهان کم مصرف و مقاوم در مقابل کم‌آبی، و سایر اقدامات موثر می‌توانند برای ارتقاء بهره‌وری آب در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. متأسفانه موضوع حفاظت خاک و مدیریت پایدار این منبع اصلی تولید غذای بشر به شدت مورد غفلت و کم توجهی قرار گرفته است. مدیریت و بهینه سازی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی، و بوم‌شناختی خاک، نقش بی‌بدیلی در افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی و همچنین در حفاظت محیط زیست دارند. اجزای مدیریت پایدار خاک، اقداماتی از قبیل مهار فرسایش و تخریب (حفاظت خاک)، مدیریت متوازن حاصلخیزی، افزایش ماده آلی، کاهش خاک‌ورزی و دست‌خوردگی خاک، بهینه سازی بافت و ساختمان خاک، حفظ پوشش سطح زمین با استفاده از گیاهان زنده، بقایای محصول، و یا خاک‌پوش‌های طبیعی و مصنوعی، تسطیح و زهکشی مناسب اراضی، استقرار پوشش گیاهی و تناوب زراعی مناسب، و سایر جنبه‌های به زراعی و به نژادی را شامل می‌گردد. هریک از عملیات ذکر شده می‌توانند بسته به شرایط خاک و اقلیم، اثرات مناسبی بر حفظ کیفیت، کاهش هدر رفت و افزایش بهره‌وری آب داشته باشند. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که حفاظت و مدیریت پایدار خاک در مجموع افزایش حدود ۱۰۰ درصدی بهره‌وری آب در تولید محصولات کشاورزی را در پی خواهد داشت. این مقاله به صورت اجمالی به تبیین نقش اجزای مدیریت خاک در بهبود مصرف آب می‌پردازد و امیدواریم در آینده نزدیک به صورت مبسوط به این موضوع پرداخته شود.

### مقدمه :

بررسی وضعیت آب‌های موجود در کره زمین نشان می‌دهد که حدود ۹۷/۵ درصد آنها شور، و حدود ۲/۵ درصد شیرین هستند. قسمت عمده آب‌های شیرین نیز به صورت یخ و غیرقابل استفاده می‌باشند. فقط حدود ۰/۵ درصد آب‌های جهان، شیرین، مایع، و قابل بهره‌برداری هستند (مهدوی، محمد، ۱۳۹۵)، که رطوبت موجود در خاک، قسمت قابل توجهی از آن را تشکیل می‌دهد. در مناطق خشک و نیمه خشک، مشکل اصلی در کشاورزی، صنعت، و بسیاری از جنبه‌های زندگی انسان، کمبود آب و یا عدم دسترسی به آب کافی و با کیفیت مناسب می‌باشد. کشور ایران نیز در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرار گرفته و چالش‌های فراوانی در ارتباط با تامین، توزیع، و مصرف آب در مصارف شهری، صنعتی، و بویژه در بخش کشاورزی دارد. از نظر کیفی نیز آب باران، این نعمت الهی که به مقدار فراوان در اختیار ما قرار می‌گیرد، در اغلب موارد از کیفیت بسیار خوبی برخوردار است (به جز در مناطق دارای تاسیسات صنعتی فشرده و آلاینده، یا نواحی دارای گرد و غبار فراوان). حفظ کیفیت آب باران بستگی کامل به نوع و کیفیت خاک به عنوان اولین دریافت کننده باران دارد، که این نیز وابسته به چگونگی مدیریت حاکم بر اراضی می‌باشد. راهکار اساسی برای مدیریت آب و رفع کمبودها در کشور ما، برنامه ریزی برای کاهش مصرف، و افزایش بهره‌وری آب در بخش‌های مختلف از یک سو، و افزایش منابع قابل دسترس از سوی دیگر است. افزایش بهره‌وری آب و رفع کامل بحران در مناطق خشک و نیمه خشک، نمی‌تواند فقط از طریق ایجاد سامانه‌های آبیاری تحت فشار و پیشرفته صورت گیرد، بلکه این مهم باید به صورت جامع و با استفاده از علوم مختلف و کلیه امکانات و راهکارهای موجود پیگیری شود. با توجه به مصرف بیش از ۷۰٪ آب قابل بهره‌برداری کشور در کشاورزی، مقابله با چالش کمبود آب و زمینه سازی برای توسعه پایدار جامعه، به طور عمده مستلزم توجه کافی به فعالیت‌های کشاورزی، از جمله مدیریت خاک، بهینه سازی سامانه‌ها و روش‌های آبیاری، اصلاح نباتات، مدیریت محصول، توسعه اقدامات به‌زراعی، و مدیریت صحیح منابع طبیعی می‌باشد. غلبه بر مشکل کم آبی همچنین نیازمند توجه به مدیریت هدفمند صنایع، و بهینه سازی مصارف شهری و بهداشتی می‌باشد. مقدار مصرف آب در کشاورزی، درحقیقت نیاز عمده بشر به آب را شامل می‌گردد. برآوردها نشان می‌دهد که مصرف سرانه آب برای تولید غذای یک نفر حدود ۷۰ برابر مصرف آن فرد برای شرب و خانگی است (مرکز تحقیقات بین‌المللی آب استحکام، و مرکز تحقیقات بین‌المللی مدیریت آب<sup>۶۴</sup>، ۲۰۰۴). بنابر این راه حل مشکل کمبود آب باید عمدتاً در اصلاح مصرف در کشاورزی جستجو شود. در زمینه مصرف بهینه آب و افزایش بهره‌وری آن در کشاورزی، رهیافت‌های مختلفی وجود دارد که بعضی از آنها عبارتند از :

- بهره‌برداری بهینه از اراضی زراعی، باغی، مراتع، و جنگل‌ها و اجرای برنامه‌های مدیریت پایدار خاک در آنها.
- استفاده از سامانه‌های آبیاری پیشرفته از قبیل زیرسطحی، قطره‌ای، و سایر روش‌های آبیاری تحت فشار، و فناوری‌های نوین مربوطه.

<sup>۶۴</sup> Stockholm International Water Institute (SIWI), and International Water Management Institute (IWMI)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

- مدیریت و تنظیم بهینه عملیات آبیاری و مقدار آب مصرفی با توجه به ویژگی‌های خاک، نیاز آبی و خصوصیات فیزیولوژیکی محصولات، و در نظر گرفتن شرایط زمانی و مکانی.
- تولید بذور و نهال‌های اصلاح شده کم آبر و پرمحصول از طریق اصلاح نباتات و استفاده از علوم زیست فناوری.

با توجه به عدم توجه به اهمیت و نقش اساسی حفاظت و مدیریت پایدار خاک در حفظ کیفیت، کاهش تلفات، و افزایش بهره‌وری آب در کشور، در این نوشته، این موضوع مهم به طور اجمال مورد بحث قرار می‌گیرد. خصوصیات خاک و کیفیت آن، مهمترین عامل در جذب، ذخیره، و حفظ کیفیت آب است. توجه به حفاظت و مدیریت منابع خاک، ضمن افزایش کیفیت و توان تولیدی اراضی، اثرات قابل توجهی بر افزایش کمی منابع آب و ارتقاء کیفیت و بهره‌وری آنها دارد. یک خاک خوب مدیریت شده و تخریب نیافته می‌تواند با مصرف آب کمتر محصول بیشتر و با کیفیت‌تری را تولید نماید (جدول شماره ۱)، و باعث افزایش چشمگیر بهره‌وری آب در کشاورزی گردد (بوسیو و همکاران، ۲۰۰۸؛ اسمیت و همکاران، ۲۰۰۰).

جدول شماره ۱- نیاز آبی گندم (تبخیر و تعرق)، در سامانه‌های پر نهاده و کم نهاده کشاورزی

| تیمار           | کل زیست‌توده<br>(تن در هکتار) | تولید دانه<br>(تن در هکتار) | تبخیر و تعرق<br>(میلیمتر) | زیست‌توده/تبخیر و تعرق<br>(کیلوگرم/میلیمتر) | دانه/تبخیر و تعرق<br>(کیلوگرم/میلیمتر) |
|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------|
| گندم (کم نهاده) | ۱۰/۸                          | ۳/۴                         | ۴۰۴                       | ۲۶/۷                                        | ۸/۴                                    |
| گندم (پر نهاده) | ۱۵/۸                          | ۶/۴                         | ۴۳۹                       | ۳۵/۹                                        | ۱۴/۶                                   |

اسمیت و همکاران، ۲۰۰۰

### نقش خاک در چرخه آب و توزیع مناسب آن در طبیعت

یکی از وظایف و خدمات زیست‌محیطی خاک، جذب، ذخیره سازی، و توزیع مناسب آب در طبیعت است که در قالب اجزایی مانند رطوبت خاک، آب‌های زیرقشری، چشمه‌ها، منابع آب زیرزمینی، تامین قسمتی از دبی پایه رودخانه‌ها، و حفظ کیفیت آب در تالاب‌ها، دریاچه‌ها، و مخازن طبیعی و مصنوعی صورت می‌گیرد. انجام این وظیفه در حقیقت کمک به چرخه صحیح آب در طبیعت، حفظ آب و کاهش تلفات آن، کاهش اثرات خشک‌سالی، افزایش پوشش گیاهی، کاهش فرسایش و سایر مخاطرات، و ارائه خدمات متنوع اجتماعی، اقتصادی، و زیست‌محیطی می‌باشد. هرگونه تخریب منابع خاک، از جمله فرسایش، شور شدن، کاهش ماده آلی و حاصلخیزی، تغییر بی‌رویه کاربری اراضی، و سایر اقدامات نامناسب مدیریت خاک، تعادل موجود در طبیعت را به هم زده و ضمن هدررفت آب و کاهش بهره‌وری آن باعث خسارت‌های فراوان می‌گردد (بوسیو، ۲۰۱۰).

### نقش مدیریت خاک در افزایش بهره‌وری آب در اراضی دیم، جنگل‌ها، و مراتع

در مناطقی که فاقد منابع آبی مناسب برای آبیاری هستند و از میزان بارندگی مناسب نیز برخوردارند، کشاورزی و باغداری و دامداری به صورت دیم انجام می‌شود. در چنین شرایطی تنها راه‌های محدود افزایش بهره‌وری آب، باید در انجام اقدامات مناسب حفاظت و مدیریت بهینه خاک، و همچنین استفاده از بذور و نهال‌های اصلاح شده جستجو شود. حدود ۵۹٪ اراضی کشاورزی ایران را دیم‌زارها تشکیل می‌دهند. حفاظت خاک و کنترل فرسایش، و به کارگیری روش‌ها و اقدامات مدیریت پایدار خاک در این اراضی، اثرات مهمی در پایداری تولید محصول به همراه دارد (میرزا و همکاران، ۲۰۱۳)، و می‌تواند به افزایش قابل توجه بهره‌وری آب منجر شود. این موضوع در مورد اراضی منابع طبیعی نیز صادق است و اقدامات بهینه مدیریت و حفاظت خاک، و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب در مناطق جنگلی و مرتعی، می‌تواند با بهبود تولید زیست‌توده گیاهی، ارزش افزوده اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی چشمگیری را برای جامعه به ارمغان آورد.

### اثرات بهبود خصوصیات فیزیکی خاک

اصلاح ویژگی‌های فیزیکی خاک از طریق اقدامات مناسب حفاظتی و مدیریتی، باعث افزایش نفوذ آب به خاک، کاهش فرسایش و رواناب، کاهش تبخیر، نگهداری بیشتر رطوبت، افزایش مقدار آب قابل استفاده گیاه، تهویه مناسب و تامین اکسیژن برای ریشه‌ها و موجودات زنده، تنظیم دمای خاک، تقویت رشد نباتات، و بهبود تولیدات گیاهی و دامی، و در مجموع افزایش قابل توجه بهره‌وری آب در کشاورزی و منابع طبیعی می‌گردد.

### اثرات اصلاح ویژگی‌های شیمیایی خاک

در مدیریت پایدار خاک، فعل و انفعالات شیمیایی، از طریق اکسیداسیون و احیاء، تجزیه پسماندها و بقایای گیاهی و ترکیب مواد، تنظیم واکنش شیمیایی خاک، تبادلات کاتیونی و آنیونی، و سایر فرایندها، اثرات فراوانی در ایجاد شرایط شیمیایی مناسب و فراهمی عناصر غذایی برای افزایش تولید و سلامت محصولات دارند. انجام اقدامات مناسب برای بهبود این خصوصیات و فرایندها عامل مهمی در تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، تثبیت یا خنثی‌سازی عناصر سمی و آلاینده، افزایش بهره‌وری آب، و بهبود سلامت جامعه است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### اثرات مدیریت ریزجاندانان مفید خاکزی و افزایش تنوع زیستی خاک

موجودات زنده خاک ضمن تعامل فعال و اثرگذاری متقابل بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، آزاد سازی و قابل استفاده نمودن عناصر غذایی مورد نیاز محصولات، تسهیل جذب آب توسط ریشه، تولید آنزیم‌های تنظیم‌کننده و مواد محرک رشد گیاه، و استحاله یا تثبیت سموم و عناصر آلاینده، باعث تقویت و اکثش‌ها و فرایندهای مفید، کاهش مواد سمی و مضر، و افزایش سلامت خاک و گیاه و افزایش کمیت و کیفیت محصولات تولیدی و در نتیجه بهبود بهره‌وری آب می‌گردند.

توجه جدی به موارد ذکر شده و بررسی کلی آنها نشان می‌دهد که مدیریت پایدار خاک، بستر لازم برای حفظ یکپارچگی زیست‌بوم‌ها، پایداری کشاورزی، افزایش بازدهی مصرف آب و سایر نهادهای مصرفی، افزایش تولید محصولات و تضمین امنیت غذایی، بهبود کیفیت تولیدات گیاهی و دامی، سلامت گیاه، دام، و انسان، بهبود شرایط زیست‌محیطی، و بستر سازی برای توسعه پایدار، تامین رفاه، آرامش، و سعادت بشر می‌باشد. در این قسمت به‌طور اجمال به جنبه‌های مختلف مدیریت خاک و اجزای آن که بهره‌وری آب در کشاورزی را تحت تاثیر قرار می‌دهند می‌پردازیم.

### تعریف بهره‌وری آب<sup>۱۰</sup> یا کارایی مصرف آب<sup>۱۱</sup>

بهره‌وری آب در بعد زراعی عبارت است از نسبت مقدار محصول تولید شده به مقدار آب مصرفی، که با واحد کیلوگرم بر مترمکعب بیان می‌شود.

$$WUE = \frac{Y \text{ (کیلوگرم)}}{ET \text{ (متر مکعب)}} \quad \text{مقدار تولید محصول (کیلوگرم) بر مقدار مصرف آب (متر مکعب)}$$

از جنبه فیزیولوژی گیاهی نیز بهره‌وری آب با نسبت مقدار فتوسنتز به مقدار تعرق گیاه مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$WUE = \frac{P \text{ (مقدار فتوسنتز)}}{T \text{ (مقدار تعرق گیاه)}} \quad \text{بهره‌وری آب مصرفی گیاه}$$

فرمول اول در ارزیابی اقدامات به زراعی و مدیریت خاک، و فرمول دوم در زمینه اصلاح نباتات مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اجزای مختلف مدیریت پایدار خاک، نقش جدی در استحصال و ذخیره‌سازی آب، حفظ کیفیت، و بهینه‌سازی مصرف آن دارند. در ادامه به اختصار برخی از ابعاد مختلف مدیریت خاک و نقش آنها در افزایش بهره‌وری آب تشریح می‌گردد:

#### ۱- شناسایی و رده بندی خاک‌ها، ارزیابی و تعیین تناسب اراضی

اولین قدم در افزایش بهره‌وری آب، استفاده از خاک، متناسب با استعداد و توان بالقوه آن است که این مهم از طریق شناسایی انواع خاک‌ها و ارزیابی قابلیت و استعداد اراضی امکان‌پذیر است. از دیدگاه مدیریتی، در جهان بیش از ۱۰۰۰۰ نوع خاک مختلف با خصوصیات متفاوت وجود دارد که نیازمند صدها نوع اقدام خاص مدیریتی در ابعاد مختلف از جمله مقدار، زمان، و نحوه مصرف آب، کود دهی، خاک‌ورزی، الگوی کشت، و غیره می‌باشند. شناسایی منابع خاک، به عنوان قدم اول در مدیریت، و استفاده از اطلاعات کسب شده می‌تواند در چند زمینه راهگشا و مفید باشد:

#### الف- تعیین کاربری مناسب اراضی

تعیین کاربری اراضی بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک و نحوه حفاظت آن، می‌تواند بهره‌وری آب را کاهش دهد. به عنوان مثال تغییر کاربری‌های با پوشش گیاهی انبوه مانند جنگل، به کاربری زراعی و باغی، موجب تخریب خاک (کاهش عمق، فرسایش، هدر رفت ماده آلی، تخریب ساختمان و افزایش تراکم خاک) گردیده و در اثر کاهش نفوذپذیری و ذخیره کمتر آب در خاک، بهره‌وری آب کاهش و تلفات آن از طریق رواناب و بعضاً وقوع سیل‌های مخرب افزایش می‌یابد.

#### ب- تعیین الگوی کشت منطقه‌ای

محصول مناسب قابل کشت در هر منطقه، با استفاده از شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک آن انتخاب می‌شود. به عنوان مثال با انتخاب کاربری باغ یا زراعت در مناطق با محدودیت آب، باید محصولات مقاوم به تنش خشکی کشت شوند. رمز موفقیت این گیاهان، تامین نیاز آبی آنها در مراحل مختلف رشد با توجه به شرایط محدودیت آب می‌باشد. ویژگی‌های خاک و ظرفیت نگهداری آب آن، از جمله عوامل بسیار مهم در میزان تامین آب در مراحل مختلف رشد گیاه هستند که می‌توانند راهنمای بسیار مفیدی در تعیین الگوی کشت هر منطقه باشند.

#### ج- طراحی و اجرای سامانه‌های مختلف آبیاری

هرگونه عملیات مناسب و موفق آبیاری، حتی پیشرفته‌ترین روش‌های تحت فشار و زیر سطحی، مستلزم مطالعه دقیق و اطلاع کامل از ویژگی‌های خاک در مزرعه می‌باشد. در بسیاری از موارد، عدم توجه به خصوصیات خاک در

<sup>۱۰</sup>Water productivity

<sup>۱۱</sup>Water Use Efficiency ( WUE )

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

پروژه‌های آبیاری، موجب هدررفت رطوبت خاک، صدمه به محصولات، اتلاف منابع مالی، و عدم افزایش بهره‌وری آب مصرفی گردیده است.

۲- مدیریت آب خاک (افزایش نفوذپذیری، کاهش تبخیر، و افزایش ظرفیت نگهداشت آب خاک)  
درصد قابل توجهی از آب‌های جهان در قالب رطوبت جذب شده و ذخیره شده در خاک قابل دسترس و بهره‌برداری (جدول شماره ۲) (راتان لعل و همکاران، ۲۰۱۲)، که مقدار آن ۱۷۰۰۰ کیلومتر مکعب در سال تخمین زده شده است (اوکی و کانائو، ۲۰۰۶).  
بر اساس آمار طولانی مدت ارائه شده در منابع معتبر علمی (مهدوی، ۱۳۹۵)، از ۴۱۳ میلیارد مترمکعب نزولات متوسط سالانه ایران، حدود ۳۰۰ میلیارد مترمکعب آن صرف تبخیر و تعرق می‌گردد که با توجه به وجود اقلیم خشک و گرم در ایران، درصد قابل توجهی از آن به عنوان تلفات به حساب می‌آید. با عنایت به این‌که خاک‌ها اولین دریافت‌کنندگان باران و نزولات آسمانی هستند، در صورت حفاظت و مدیریت بهینه آنها، می‌توانند با بهبود ظرفیت نگهداری و ذخیره بیشتر آب، تلفات آن را تا حد زیادی کاهش دهند.

جدول شماره ۲- تخمین حجم ذخایر آب جهان

| مخزن                | میزان ذخیره (۱۰۰۰ کیلومتر مکعب) |
|---------------------|---------------------------------|
| دریاها              | ۱۳۳۸۰۰۰                         |
| یخچال‌ها و برف      | ۲۴۰۶۴                           |
| اراضی یخبندان دائمی | ۳۰۰                             |
| دریاچه‌ها           | ۱۷۵                             |
| تالاب‌ها            | ۱۷                              |
| خاک‌ها              | ۱۷                              |
| بخار آب             | ۱۳                              |
| رودخانه‌ها          | ۲                               |
| موجودات زنده        | ۱                               |
| جمع                 | ۱۳۶۲۵۸۹                         |

قابل توجه است که فقط ۱۰٪ کاهش هدررفت در این زمینه می‌تواند حدود ۳۰ میلیارد مترمکعب آب اضافی (نزدیک به حجم ذخیره کل سدهای کشور)، را به مصرف کشاورزی، و تولیدات گیاهی و تقویت پوشش گیاهی در مراتع و جنگل‌ها برساند.

افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک، با اقداماتی از قبیل حفاظت خاک و کنترل فرسایش، افزایش کربن آلی خاک، استفاده از خاک‌پوش‌ها و مواد اصلاح‌کننده، مدیریت و اصلاح بافت و ساختمان خاک، پیشگیری از تراکم خاک، حذف سخت‌لایه‌های محدودکننده، و سایر اقدامات مدیریتی، می‌تواند با کاهش تلفات، آب بیشتری را برای گیاه فراهم، و افزایش تولید محصول و ارتقاء بهره‌وری آب را محقق نماید (لعل و همکاران، ۲۰۱۲).

### ۳- تسطیح، تجهیز، و نوسازی اراضی و نقش آن در افزایش بهره‌وری آب

یکی از دلایل کم بودن بازده آبیاری، ناهمواری و نامناسب بودن سطح خاک است. در یک سطح ناهموار، توزیع یکنواخت آب غیرممکن می‌باشد. نقاط پست بیش از اندازه و نقاط مرتفع کمتر از اندازه آبیاری می‌شوند که هر دو برای تولید محصول مضر است. زمین‌های ناهموار از کودهای شیمیایی و ماشین‌های کشاورزی نیز به خوبی بهره‌مند نمی‌شوند. در چنین شرایطی برای رسیدن به یک سطح سبز مناسب باید آب، کود، و سایر نهاده‌ها بیش از اندازه مصرف شوند. تجهیز، نوسازی، و تسطیح اراضی زراعی، و بویژه نوع لیزری آن، به منظور بهبود مدیریت آبیاری مزرعه، زهکشی مناسب، و استفاده بهینه از نهاده‌های کشاورزی امری اجتناب‌ناپذیر است (جت و همکاران، ۲۰۰۶)، و فواید زیر را در پی دارد:

- ایجاد سطح خاک صافتر و کوتاه‌تر شدن زمان مورد نیاز برای آبیاری،
- توزیع یکنواخت آب در مزرعه، و امکان نفوذ آرام و یکنواخت آب در عمق خاک،
- تامین رطوبت یکنواخت در محیط ریشه گیاه،
- جوانه زنی بهینه بنور و رشد بهتر گیاه و افزایش تولید محصول،
- کاهش مصرف و هزینه نهاده‌های کشاورزی، مانند بذر، کود، و سوخت،

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

- تسهیل تردد در سطح مزرعه در عملیات مختلف،
  - تنظیم سرعت جریان آب، با طراحی شیب مناسب جهت کاهش فرسایش خاک،
  - بهینه سازی وضعیت زهکشی اراضی و خروج آب های اضافی از زمین.
  - کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آن،
- همچنین تجهیز و نوسازی اراضی باعث ایجاد زیربناهای لازم و آرایش هندسی مطلوب جهت کاهش ترندها، بهره‌داری از سامانه‌های پیشرفته آبیاری و اجرای بهینه سایر عملیات مدیریتی می‌گردد. جدول‌های شماره ۳ و ۴، افزایش بهره‌وری آب در اثر تسطیح اراضی در محصولات برنج، گندم، و نیشکر را نشان می‌دهند (تومار و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین در جدول شماره ۵، اثر تسطیح اراضی در افزایش بهره‌وری آب مصرفی گندم تا حدود ۴۰٪ در شیب‌های مختلف آمده است (داس<sup>۶۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

جدول شماره ۳- تاثیر روش‌های مختلف تسطیح اراضی بر زمان آبیاری و میزان مصرف و بهره‌وری آب در کشت برنج و گندم

| تیمارها     | زمان آبیاری<br>(ساعت در هکتار) |      | عمق آب آبیاری<br>(میلیمتر) |      | حجم آب مصرفی<br>(مترمکعب) |      | بهره‌وری آب<br>(کیلوگرم/ مترمکعب) |      |
|-------------|--------------------------------|------|----------------------------|------|---------------------------|------|-----------------------------------|------|
|             | گندم                           | برنج | گندم                       | برنج | گندم                      | برنج | گندم                              | برنج |
| تسطیح لیزری | ۳۶/۶                           | ۱۰۰  | ۷۰                         | ۵۵   | ۱۱۰۰۰                     | ۳۳۰۰ | ۰/۴۲                              | ۱/۴۸ |
| تسطیح سنتی  | ۴۷/۴                           | ۱۲۰  | ۸۲                         | ۶۳   | ۱۲۸۰۰                     | ۳۷۸۰ | ۰/۳۲                              | ۱/۱۷ |
| شاهد        | ۵۶/۷                           | ۱۴۰  | ۹۰                         | ۷۰   | ۱۴۰۰۰                     | ۴۲۰۰ | ۰/۲۶                              | ۰/۹۸ |

جدول شماره ۴- تولید نیشکر، زمان آبیاری، میزان مصرف و بهره‌وری آب در روش‌های مختلف تسطیح اراضی

| تیمارها     | زمان آبیاری<br>(ساعت در هکتار) |      | عمق آب آبیاری<br>(میلیمتر) |      | حجم آب مصرفی<br>(مترمکعب) |      | تولید محصول<br>(تن در هکتار) |      | بهره‌وری آب<br>(کیلوگرم/ مترمکعب) |      |
|-------------|--------------------------------|------|----------------------------|------|---------------------------|------|------------------------------|------|-----------------------------------|------|
|             | گندم                           | برنج | گندم                       | برنج | گندم                      | برنج | گندم                         | برنج | گندم                              | برنج |
| تسطیح لیزری | ۱۱۲/۴                          | ۸۰   | ۱۰۴۰۰                      | ۸۸/۶ | ۸/۵۰                      | ۶/۰۷ | ۱۱۲/۴                        | ۸۸/۶ | ۸/۵۰                              | ۶/۰۷ |
| تسطیح سنتی  | ۱۲۷/۸                          | ۹۵   | ۱۲۶۰۰                      | ۷۶/۵ | ۶/۰۷                      | ۴/۲۳ | ۱۲۷/۸                        | ۷۶/۵ | ۶/۰۷                              | ۴/۲۳ |
| شاهد        | ۱۴۲/۵                          | ۱۱۰  | ۱۵۳۰۰                      | ۶۴/۸ | ۴/۲۳                      |      | ۱۴۲/۵                        | ۶۴/۸ | ۴/۲۳                              |      |

جدول شماره ۵- اثر تیمارهای مختلف تسطیح اراضی با شیب‌های مختلف بر میزان مصرف و بهره‌وری آب در کشت گندم\*

| تیمارها                         | آب مصرفی آبیاری<br>مترمکعب در هکتار | صرفه‌جویی آب<br>مترمکعب / هکتار | بهره‌وری آب<br>کیلوگرم دانه /<br>مترمکعب | افزایش بهره‌وری آب<br>نسبت به شاهد(درصد) |
|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|
| شاهد (تسطیح سنتی)               | ۳۶۶۴                                | -                               | ۰/۸۰۲                                    | -                                        |
| تسطیح لیزری با شیب<br>۰/۰۵ درصد | ۳۴۳۴                                | ۲۳۰                             | ۰/۹۲۰                                    | ۱۴/۷۱                                    |
| تسطیح لیزری با شیب<br>۰/۱۵ درصد | ۳۰۹۹                                | ۵۶۵                             | ۱/۱۲۱                                    | ۳۹/۷۸                                    |
| تسطیح لیزری با شیب<br>۰/۳۰ درصد | ۲۸۷۷                                | ۷۸۷                             | ۱/۱۲۰                                    | ۳۹/۶۵                                    |

\* آمارها مربوط به میانگین دو سال زراعی ۲۰۱۳-۲۰۱۴ و ۲۰۱۴-۲۰۱۵ می‌باشند.

## عملیات تسطیح پاکستان

مهار فرسایش  
طریق تلفات آب،  
و عناصر غذایی،  
کاهش نفوذپذیری،  
نگهداری آب  
و امراض گیاهی،  
محصول، و تولید



## شکل شماره ۱- اراضی لیزری در

۴- حفاظت خاک و  
فرسایش خاک از  
هدر رفت مواد آلی  
کاهش عمق خاک،  
افت ظرفیت  
خاک، افزایش آفات  
کاهش تولید

رسوب و آلودگی، باعث کاهش بهره وری آب و تخریب کیفیت آن می‌گردد. اقدامات حفاظت خاک و مهار فرسایش، با جلوگیری از این نتایج سوء، باعث افزایش تولید محصول، کاهش تلفات آب، و افزایش بهره وری آن می‌گردد. این عملیات ضمن کاهش وقوع و شدت سیل‌های ویرانگر، از تخریب کیفیت آب و پر شدن مخازن سدها و منابع آبی از رسوب نیز جلوگیری می‌نماید. بر اساس اعلام وزارت نیرو، در هر سال ۷/۰٪ از حجم مخازن ذخیره سدهای کشور توسط این رسوبات پر شده و از گنجایش آبی آنها کاسته می‌شود. این کاهش ظرفیت حدود ۳۰۰ میلیون متر مکعب ذخیره آب است که می‌تواند حدود ۳۰ هزار هکتار از اراضی را تحت کشت آبی قرار دهد. بدین ترتیب به مرور زمان با کاهش حجم آب ذخیره سدها، مساحت قابل توجهی از اراضی کشاورزی تحت آبیاری، با کمبود آب روبرو گردیده و عمر مفید سدها نیز کاهش می‌یابد. رسوبات حاصل از فرسایش آبی همچنین یکی از مهمترین عوامل آلودگی و تخریب کیفیت آب هستند که خسارت‌های گوناگونی را در مصارف شهری، صنعتی، و آبی پروری به بار می‌آورند.

کمیته ملی تحقیقات اثر فرسایش بر توان تولیدی خاک در آمریکا، در بررسی‌های گسترده خود نتیجه‌گیری نمود که علت اصلی کاهش تولید محصول در اثر فرسایش خاک، کم شدن آب قابل استفاده گیاه می‌باشد (لعل و همکاران، ۱۹۸۷). کاهش ظرفیت نگهداری آب خاک می‌تواند به عواملی از قبیل کم شدن عمق خاک، کاهش ماده آلی و نفوذپذیری، و تخریب ساختمان خاک نسبت داده شود. با وقوع فرسایش، کاهش درصد آب قابل استفاده گیاه و هدررفت بیشتر آب، و همچنین تلفات عناصر غذایی خاک موجب افت بهره‌وری آب مصرفی می‌گردند. برآوردها نشان داده است که فرسایش و تخریب خاک در ۵۰ سال آینده می‌تواند تولید غذای جهان را تا ۳۰٪ کاهش دهد (کندال و پی‌منتل<sup>۶۹</sup>، ۱۹۹۴).

## ۵- افزایش مواد آلی خاک و مدیریت آن

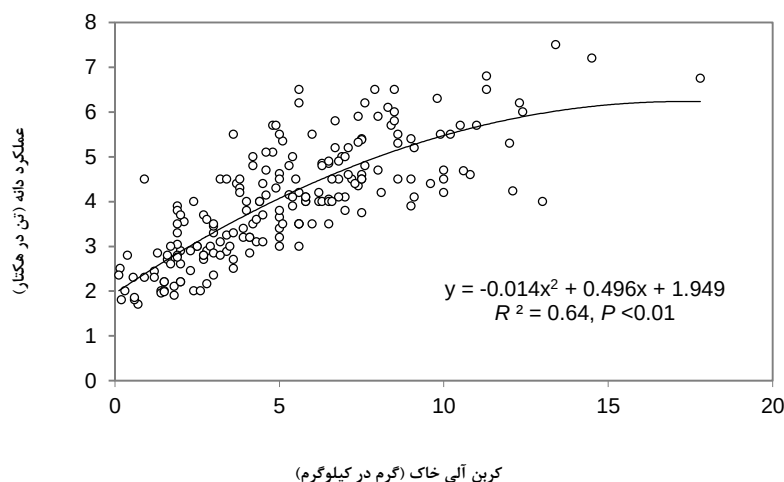
مقدار و کیفیت ماده آلی خاک یکی از تاثیرگذارترین و مهم‌ترین خصوصیات خاک است که با تقویت پایداری ساختمان، کاهش جرم مخصوص ظاهری و مقاومت مکانیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت، حفظ و تامین عناصر غذایی، و تقویت فعالیت‌های زیستی، اثرات چشمگیری بر ارتقاء بهره‌وری آب مصرفی دارد. در مناطق خشک و نیمه-خشک، اگر ماده آلی خاک به بیش از یک درصد افزایش یابد، بسیاری از مشکلات خاک و آب به طور معناداری کاهش می‌یابد. علاوه بر این با توجه به امکان فراهم نمودن نهاده‌های آلی با هزینه مناسب، و نیز مواجه نشدن با مشکلات زیست محیطی پس از کاربرد آن، می‌توان از ماده آلی به عنوان کلیدی برای بسیاری از مشکلات کشاورزی و محیط زیست نام برد.

اقدامات مختلف مدیریت بهینه خاک از قبیل عملیات خاک‌ورزی حفاظتی، استفاده مناسب از بقایای گیاهی، کشت گیاهان پوششی و مصرف کود سبز، افزودن کودهای آلی مانند کود حیوانی و کمپوست، کاشت محصولات با بقایای زیاد و بویژه گیاهان لگومینوز در تناوب زراعی، و کاربرد پسماندهای آلی (لجن فاضلاب اصلاح شده، زایدات و پساب‌های صنایع غذایی)، تاثیر قابل توجهی بر افزایش ماده آلی خاک دارند. افزایش مقدار کربن آلی خاک، به‌طور قطع با ارتقاء حاصلخیزی خاک، افزایش آب قابل استفاده گیاه، و کاهش آفات و بیماری‌های گیاهی، اثر انکارناپذیری بر افزایش تولید محصول و ارتقاء بهره‌وری آب بر جای می‌گذارد. بر اساس یافته‌های لعل (۲۰۰۶)، با افزایش هر یک درصد کربن آلی خاک میزان افزایش تولید در کشورهای در حال توسعه می‌تواند ۵۰-۳۰ میلیون تن در سال افزایش یابد. سایر پژوهش‌ها نیز نشان می‌دهند که به ازای افزایش هر تن کربن آلی خاک در هکتار عملکرد دانه گندم بین ۲۰ تا ۷۰ کیلوگرم در هکتار (لعل،

<sup>۶۹</sup> Kendall, & Pimentel

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

(۲۰۰۶)، ۶۴ کیلوگرم در هکتار ( دیاز زوریتا<sup>۷۰</sup> و همکاران، ۱۹۹۹) و ۳۸ کیلوگرم در هکتار (کانچی کریمات و سینگ<sup>۷۱</sup>، ۲۰۰۱) افزایش می‌یابد. بررسی‌های مشابه در ایران (استان خراسان رضوی)، نشان می‌دهد به طور میانگین به ازای افزایش هر گرم کربن آلی در کیلوگرم خاک، عملکرد دانه گندم به طور میانگین ۲۸۶ کیلوگرم در هکتار (۱۲۱-۳۰۵ کیلوگرم در هکتار) افزایش می‌یابد (شکل شماره ۲). به عبارت دیگر هر تن کربن آلی خاک در هکتار منجر به افزایش حدود ۹۵ کیلوگرم عملکرد دانه گندم می‌شود. به طور متوسط به ازای یک گرم در کیلوگرم (۰/۱ درصد یا ۳ تن در هکتار) افزایش کربن آلی خاک، حدود ۷۱۵ هزار تن به تولید گندم کشور افزوده خواهد شد که معادل ۷/۸ درصد کل تولید گندم آبی کشور می‌باشد (کشاورز و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل شماره ۲- رابطه بین کربن آلی خاک و عملکرد دانه گندم در ۲۰۲ مزرعه در استان خراسان رضوی

بعضی از محققین نیز بیان نموده‌اند که اگر مقدار ماده آلی خاک از ۱/۴ درصد به ۰/۹ درصد کاهش یابد، باعث افت تولید محصول در حد ۵۰٪ می‌گردد (لایبرت<sup>۷۲</sup>، ۱۹۹۵؛ ساندکویست<sup>۷۳</sup>، ۲۰۰۰). افزایش مواد آلی خاک‌ها باعث کاهش گازهای گلخانه‌ای می‌گردد که می‌تواند از تغییر اقلیم و گرمایش جهانی جلوگیری نماید و اثرات مفیدی بر مسائل آب و محیط زیست داشته باشد.

### ۶- عملیات خاک‌ورزی و شخم و شیار

عملیات خاک‌ورزی (شخم و شیار)، و کیفیت انجام آن می‌تواند اثرات بسیار متنوعی بر کیفیت خاک، صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها، جذب و نگهداری آب، افزایش تولید محصول، و نهایتاً افزایش بهره‌وری آب مصرفی داشته باشد. یکی از عوامل هدررفت رطوبت خاک، عملیات خاک‌ورزی جهت آماده سازی زمین برای کشت می‌باشد. روش‌های خاک‌ورزی رایج<sup>۷۴</sup> باعث به هم خوردگی زیاد خاک، اکسیده شدن مواد آلی، و افزایش تبخیر می‌شود. این نوع خاک‌ورزی، به علت عدم امکان مدیریت بقایای گیاهی در سطح خاک، و انتقال خاک مرطوب زیرین به سطح، باعث اتلاف بیشتر رطوبت ذخیره شده می‌گردد. همچنین افزایش زبری سطح خاک پس از عملیات خاک‌ورزی رایج، عامل کاهش راندمان آبیاری می‌باشد. در کشاورزی نوین جهان (کشاورزی پایدار و کشاورزی حفاظتی)، کاهش هرچه بیشتر دست‌خوردگی خاک، و استفاده از روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند بی‌خاک‌ورزی<sup>۷۵</sup>، و کم‌خاک‌ورزی<sup>۷۶</sup>، که خاک را چندان جابجا نمی‌کنند و فقط شیارهایی را برای کاشت بذر در سطح خاک ایجاد می‌نمایند، توصیه می‌گردد. سامانه‌های خاک‌ورزی حفاظتی، با کاهش دست‌خوردگی خاک و نگهداری بقایای گیاهی در سطح خاک، موجب افزایش نفوذ آب، تنظیم دمای خاک (کاهش دما در تابستان، و افزایش دما در زمستان و اوایل بهار)، افت تبخیر سطحی، و حفظ رطوبت خاک می‌شود. در این شرایط، گیاه مستقیماً در خاک مرطوب و در زیر بقایا کاشته می‌شود، بدون اینکه پوشش خاک از بین رفته باشد. با رعایت

<sup>۷۰</sup> Diaz-Zorita

<sup>۷۱</sup> Kanchikerimath & Singh

<sup>۷۲</sup> Libert

<sup>۷۳</sup> Sundquist

<sup>۷۴</sup> Conventional tillage-

<sup>۷۵</sup> No tillage-

<sup>۷۶</sup> Reduced tillage-

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

تنبات زراعی مناسب در کنار بی‌خاک‌ورزی، ضمن نفوذ ریشه عمیق بعضی از محصولات در لایه‌های زیرین خاک و انجام شخم زیستی<sup>۷۷</sup>، از رطوبت عمقی استفاده بیشتری شده و منجر به افزایش بهره‌وری آب موجود در خاک می‌گردد. کاهش دست‌خوردگی خاک در زمین‌های زراعی، پوشش سطحی را برای خاک فراهم می‌کند که به عنوان سدی در مقابل خروج رطوبت از خاک عمل نموده و از تبخیر سطحی کاسته و رشد علف‌های هرز را نیز کنترل می‌نماید. همچنین پوشش گیاهی با توجه به حفاظت سطح خاک در مقابل ضربه قطرات باران، ضمن جلوگیری از تشکیل سله سطحی، نفوذ آب را تسهیل می‌نماید. افزایش نفوذ و کاهش تبخیر باعث افزایش مقدار آب قابل استفاده گیاه و بهبود بهره‌وری آب خاک می‌گردد. در جدول شماره ۶، اثر تعدادی از انواع خاک‌ورزی‌های حفاظتی در صرفه جویی و افزایش بهره‌وری آب مصرفی آورده شده است (موجید و معین‌الدین، ۲۰۲۱).

| جدول شماره ۶ - اثرات مفید بعضی از انواع خاک‌ورزی در کاهش مصرف آب |                           |                                  |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| منبع                                                             | درصد صرفه جویی در مصرف آب | عملیات خاک‌ورزی                  |
| کهلون <sup>۷۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۶                              | ۲۳-۴۵٪                    | بی‌خاک‌ورزی                      |
| فاروق <sup>۷۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۷                              | ۵-۱۵٪                     | بی‌خاک‌ورزی                      |
| جت <sup>۸۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۹                                 | ۶/۱۰٪                     | خاک‌ورزی پشته‌ای (بسترهای دائمی) |
| جت و همکاران، ۲۰۱۹                                               | ۸/۲۱٪                     | بی‌خاک‌ورزی                      |
| محمد و همکاران، ۲۰۱۸                                             | ۳۰-۴۰٪                    | کشت مستقیم برنج (بی‌خاک‌ورزی)    |

ارزیابی تاثیر خاک‌ورزی حفاظتی در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آب دانشگاه تهران نیز بیانگر افزایش تولید محصول و بهره‌وری آب به میزان حداقل ۳۰ درصد نسبت به اراضی زراعی مشابه، و بهبود قابل توجه خصوصیات و کیفیت خاک می‌باشد (قهرمان پور و همکاران، ۱۳۹۵).

### ۷- مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه

برنامه کوددهی متوازن آلی، شیمیایی، و زیستی، و مدیریت بهینه حاصلخیزی، عاملی اساسی در حفظ باروری خاک است که بر اساس اعلام نظر فائو، می‌تواند موجب افزایش ۳۰ تا ۵۵ درصدی تولید محصول گردد. تجزیه و تحلیل دقیق وضعیت حاصلخیزی خاک، و آگاهی از نیازهای تغذیه‌ای گیاه در یک منطقه، موجب کاربرد اصولی و متوازن عناصر غذایی در خاک گردیده و با افزایش محصول و بهبود کیفیت تولیدات گیاهی، بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، فراهم نمودن شرایطی که در آن از عناصری که به طور ذاتی در خاک وجود دارند بیشتر استفاده شود، و نیز بهره‌برداری زیستی آنها می‌تواند اقدامی موثر در مدیریت حاصلخیزی خاک و بهبود تغذیه گیاه باشد. در این زمینه، ارکاسا<sup>۸۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱)، تحقیقاتی را در مورد اثر حاصلخیزی خاک بر تولید محصول ذرت و اجزای بیلان آبی، در مجموع بارندگی ۱۴۵۱ میلیمتر در فصل رشد، انجام دادند که خلاصه‌ای از نتایج آن در جدول‌های شماره ۷ و ۸ ارائه گردیده است. همچنین در شکل شماره ۳، تاثیر جدی مصرف کودها در افزایش تولید غلات، که بیش از ۸۰٪ غذای مردم جهان را تشکیل می‌دهند، نشان داده شده است (سینگ و همکاران، ۲۰۱۷).

| جدول شماره ۷- اثر حاصلخیزی خاک بر اجزای بیلان آبی (میلیمتر) |             |                |                    |
|-------------------------------------------------------------|-------------|----------------|--------------------|
| شرایط حاصلخیزی خاک                                          |             |                | اجزای بیلان آب     |
| ضعیف                                                        | نزدیک نرمال | غیرمحدود کننده |                    |
| ۴۴۶                                                         | ۲۸۵         | ۲۰۴            | تبخیر واقعی        |
| ۱۴۶                                                         | ۲۶۸         | ۳۵۵            | تعرق واقعی         |
| ۵۹۲                                                         | ۵۵۳         | ۵۵۹            | تبخیر و تعرق واقعی |
| ۲۵                                                          | ۴۸          | ۶۴             | درصد تعرق واقعی به |
|                                                             |             |                | تبخیر و تعرق واقعی |
| ۵۹۳                                                         | ۵۹۳         | ۵۹۳            | رواناب             |
| ۸۵۸                                                         | ۸۵۸         | ۸۵۸            | نفوذ               |

<sup>۷۷</sup> - Biological Tillage

<sup>۷۸</sup> - Kahlown

<sup>۷۹</sup> - Farooq

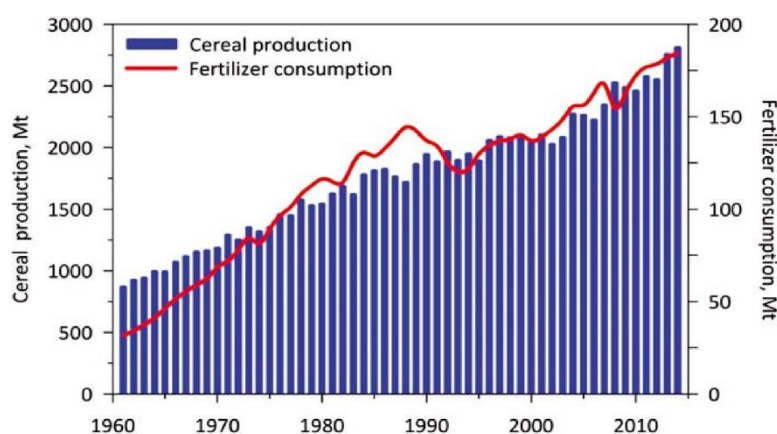
<sup>۸۰</sup> - Jat

<sup>۸۱</sup> - Erkossa

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

زهکشی ۲۷۶ ۳۱۱ ۳۰۴

| جدول شماره ۸- برآورد عملکرد ذرت و بهره‌وری آب در حالت‌های مختلف حاصلخیزی خاک |      |             |                |
|------------------------------------------------------------------------------|------|-------------|----------------|
| شرایط حاصلخیزی خاک                                                           | ضعیف | نزدیک نرمال | غیرمحدود کننده |
| تولید زیست‌توده (تن در هکتار)                                                | ۷/۵  | ۱۴/۳        | ۱۹/۲           |
| تولید دانه (تن در هکتار)                                                     | ۲/۵  | ۶/۴         | ۹/۲            |
| زیست‌توده تولیدی مربوط به آبیاری خوب (%)                                     | ۱۰۰  | ۱۰۰         | ۱۰۰            |
| زیتوده تولیدی مربوط به کود دهی خوب (%)                                       | ۳۹   | ۷۵          | ۱۰۰            |
| بهره‌وری آب در تولید زیست‌توده (کیلوگرم/ مترمکعب)                            | ۵/۱  | ۵/۳         | ۵/۴            |
| بهره‌وری آب در تولیددانه (کیلوگرم/ مترمکعب)                                  | ۱/۷  | ۲/۴         | ۲/۶            |



شکل شماره ۳ - تولید غلات و مصرف کود در جهان از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۴ [FAOSTAT(2017), IFA Statistics (2017)]

### ۸- مدیریت و اصلاح بافت و ساختمان خاک

بافت خاک، به علت تاثیر قابل توجه بر فرسایش‌پذیری خاک، نفوذپذیری و حرکت آب در خاک، بهبود زهکشی داخلی خاک، و تامین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، در بهره‌وری آب حائز اهمیت زیادی است. اگرچه در بعضی از شرایط اصلاح یا تغییر بافت خاک را از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌دانند ولی واقعیت این است که امروزه این اقدام در گلخانه‌ها، باغات، و زمین‌های کوچک کاملاً مقرون به صرفه است، و حتی در مناطق مختلفی در مزارع بزرگ نیز مورد استفاده قرار گرفته است. مدیریت و بهینه سازی بافت خاک، با بهبود خصوصیات فیزیکی آن، موجب افزایش نفوذ، کاهش تلفات ناشی از رواناب و تبخیر، افزایش ظرفیت نگهداری و آب قابل استفاده گیاه، تنظیم تهویه و دمای خاک می‌گردد، و با تقویت رشد گیاه، ارتقای بهره‌وری آب در کشاورزی را باعث می‌گردد.

ساختمان خاک نیز اثرات مهمی بر کارایی خاک و افزایش مقاومت آن در برابر فرسایش، حمایت از زندگی گیاهان و حیوانات، تامین پناهگاه و محیط زندگی برای ریزجانداران، حفظ کیفیت محیط زیست با تاکید ویژه بر چرخه کربن، تبادل گازها و عناصر غذایی، نفوذ، نگهداری، و حفظ کیفیت آب، دارد. ساختمان خاک در باروری آن و رشد گیاهان حائز اهمیت است و عوامل زیستی و فیزیکی متعددی پایداری آن را تحت تاثیر قرار می‌دهند. اصلاح ساختمان خاک با ایجاد فضای متخلخل و مستحکم مناسب، جوانه‌زنی و رشد ریشه گیاه، نفوذپذیری، حرکت و نگهداشت آب در خاک، مقاومت خاک در برابر انواع فرسایش، و فعالیت زیستی را بهبود بخشیده و به طور مستقیم و غیرمستقیم بر بهره‌وری آب تاثیرگذار است.

### ۹- مدیریت موجودات زنده خاک

زیست بوم خاک، بزرگترین منبع ذخیره ژنتیکی و تنوع گونه‌ای جانداران می‌باشد و موجودات زنده به طور فعال در فرایندهای تشکیل و کارکرد خاک موثرند. در چند گرم خاک حاصلخیز، بیش از جمعیت کره زمین (حدود هشت میلیارد)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

از انواع موجودات زنده ریز و درشت وجود دارند که با نگهداری عناصر غذایی، انتقال و تبدیل مواد و انرژی در محیط‌های خاکی، رفع آلودگی، و کمک به تامین آب برای گیاه، در بهبود بهره‌وری آب مصرفی و عناصر غذایی سهم زیادی دارند. موجودات زنده خاک، با تجزیه بقایای گیاهی و ایجاد مواد آلی پایدار، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی خاک از جمله ساختمان آن، نفوذ، زهکشی، و افزایش نگهداشت آب در خاک می‌شوند. همچنین این جانداران از طریق همزیستی با ریشه گیاهان، دسترسی ریشه گیاه به آب و عناصر غذایی را تسهیل می‌نمایند و بهره‌وری آب خاک را افزایش می‌دهند. افزایش کربن آلی خاک، کشت گیاهان لگومینوز، مصرف کودهای زیستی حاوی ریزجانداران تثبیت کننده ازت، و یا باکتری‌ها و قارچ‌های حل کننده عناصر غذایی مختلف، از روش‌های موثر در تقویت فعالیت‌های زیستی خاک می‌باشند. جدول شماره ۹، تاثیر حضور و فعالیت کرم‌های خاکی بر میزان نفوذپذیری خاک، را که ناشی از ایجاد کرم‌راه‌ها و تشکیل ساختمان مناسب می‌باشد نشان می‌دهد (لعل و همکاران، ۱۹۸۷).

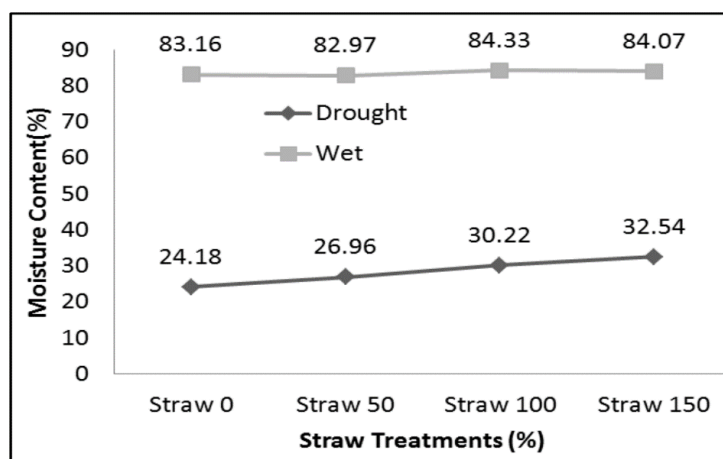
| جدول شماره ۹- اثر فعالیت‌های کرم خاکی بر میزان نفوذ تجمعی آب در خاک (سانتیمتر) |                   |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| زمان (دقیقه)                                                                   | خاک بدون کرم خاکی | خاک دارای کرم خاکی |
| ۱۰                                                                             | ۱۵                | ۲۰                 |
| ۲۰                                                                             | ۲۵                | ۳۸                 |
| ۳۰                                                                             | ۳۵                | ۵۲                 |
| ۴۵                                                                             | ۴۷                | ۶۵                 |
| ۶۰                                                                             | ۵۵                | ۷۸                 |
| ۹۰                                                                             | ۶۸                | ۹۵                 |
| ۱۲۰                                                                            | ۸۵                | ۱۱۵                |

### ۱۰- مدیریت بقایای گیاهی و استفاده از خاکپوش‌ها

کاه و کلش و شاخ و برگ محصولات قبلی، بهترین پوشش برای محافظت سطح خاک به حساب می‌آیند و فواید مدیریت صحیح آنها شامل حفاظت خاک در مقابل باران و جلوگیری از فرسایش، افزایش انعکاس نور خورشید، تنظیم دمای خاک (گرم نگه داشتن در زمستان و خنک نمودن در تابستان)، کاهش تبخیر، افزایش نفوذ آب، افزایش آب قابل استفاده گیاه، افزایش ماده آلی خاک، تامین مقداری از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان، مهیا نمودن شرایط برای فعالیت هرچه بیشتر موجودات زنده خاک، کاهش علف‌های هرز، فراهم نمودن شرایط رشد بهینه گیاه و تولید محصول بیشتر، و نهایتاً ارتقاء بهره‌وری آب مصرفی می‌باشند (شکل شماره ۴) (اکیلاپا و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از خاکپوش‌های مختلف طبیعی و مصنوعی مختلفی برای حفظ پوشش سطح زمین‌های کشاورزی مرسوم است که می‌تواند اثرات مفید ذکر شده را داشته باشد. پنگ<sup>۸۲</sup> و همکاران، در تحقیقات خود تاثیر خاکپوش پلاستیکی و خاکورزی‌های مختلف بر افزایش معنی‌دار تولید زیست‌توده و دانه گندم و ارتقاء بازدهی مصرف آب را نشان دادند (جدول شماره ۱۰).

شماره ۴- رابطه بین بقایای مقدار رطوبت خاک

شماره ۱۰- اثر انواع خاک- تعرق، تولید زیست توده و بازدهی مصرف آب مربوط



شکل گیاهی و

جدول ورزی بر دانه گندم و به آنها

| سال | نوع خاک‌ورزی | تعرق | تولید زیست‌توده | بازدهی مصرف آب | تولید دانه | بازدهی مصرف آب |
|-----|--------------|------|-----------------|----------------|------------|----------------|
|-----|--------------|------|-----------------|----------------|------------|----------------|

<sup>۸۲</sup> - Peng

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

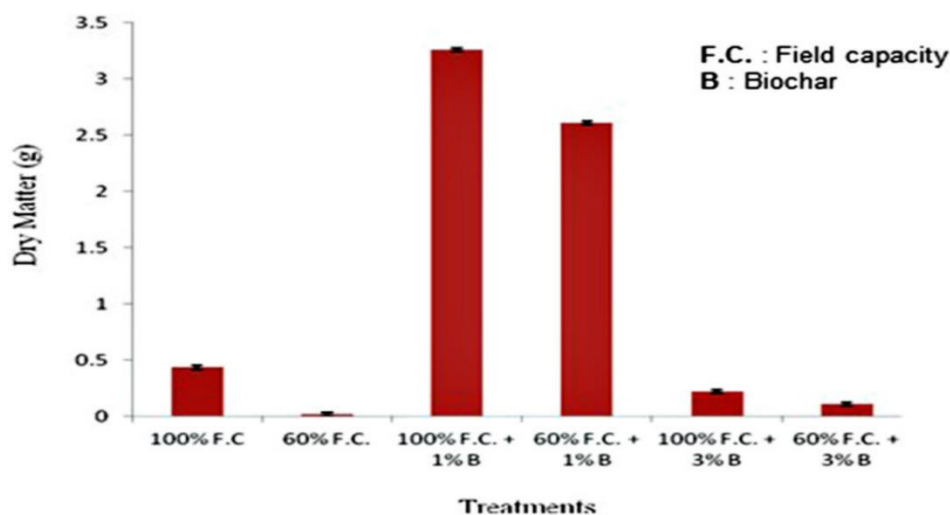
| میلیمتر | کیلوگرم در هکتار | کیلوگرم/هکتار-<br>میلیمتر | کیلوگرم در هکتار | کیلوگرم/هکتار-<br>میلیمتر | کیلوگرم در هکتار                    |
|---------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| ۱۱۷/۶c  | ۳۳۰۳c            | ۱۴/۵۸ b                   | ۱۴۶۰bc           | ۵/۴۸bc                    | خاکورزی رایج                        |
| ۱۶۴/۷b  | ۳۸۹۶b            | ۱۴/۹۱b                    | ۱۸۶۲a            | ۶/۷۸a                     | بی خاکورزی +<br>پوشش کاه و کلش      |
| ۱۲۳c    | ۳۰۰۳c            | ۱۲/۷۳c                    | ۱۴۱۶c            | ۵/۵۶c                     | بی خاکورزی                          |
| ۱۲۷/۹c  | ۳۳۶۸c            | ۱۴/۱۰bc                   | ۱۶۴۷b            | ۶/۲۸b                     | خاکورزی رایج<br>با کلش مخلوط<br>شده |
| ۱۹۲/۳a  | ۴۴۸۹a            | ۱۸/۱۶a                    | ۱۷۷۶ab           | ۶/۹۰ab                    | خاکورزی رایج +<br>خاکپوش<br>پلاستیک |
| ۲۰۶/۷a  | ۴۶۱۲a            | ۱۷/۷۷a                    | ۱۸۱۵ab           | ۶/۷۸ab                    | بی خاکورزی +<br>خاکپوش<br>پلاستیک   |

### ۱۱- استفاده از مواد اصلاح کننده خاک

یکی از روش‌های افزایش بهره‌وری آب به ویژه در خاک‌های با مشکل نفوذپذیری یا نگهداری آب، استفاده از مواد اصلاح کننده است. موادی مانند گچ، گوگرد و اسید سولفوریک، مشکلات فیزیکی خاک، از جمله نفوذپذیری خاک‌های سدیمی را اصلاح می‌نمایند. همچنین مواد نگهدارنده رطوبت مصنوعی یا طبیعی، مانند ابرجاذب‌ها (پلی اکریل آمید)، ذغال زیستی، لجن فاضلاب، و سایر پسماندهای آلی صنعتی، رطوبت بیشتری را برای گیاه تامین نموده و بهره‌وری آب را افزایش می‌دهند. مواد اصلاح کننده با تغییر خصوصیات شیمیایی از جمله اسیدیته خاک و فراهمی مواد غذایی نیز بهره‌وری آب را افزایش می‌دهند. در این زمینه، بتول و همکاران (۲۰۱۵)، اثر چشمگیر ذغال زیستی<sup>۸۳</sup> بر تولید توده زیستی یک گیاه خوراکی<sup>۸۴</sup> را نشان دادند (شکل شماره ۵). همچنین در جدول شماره ۱۱، اثر یک پلیمر مصنوعی بر افزایش تولید محصول طالبی در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای، و قطره‌ای زیر سطحی، و بهره‌وری آب مصرفی نشان داده شده است (زین‌الدین، ۲۰۲۱).

### شکل شماره ۵- تاثیر زغال زیستی بر تولید ماده خشک گیاهی

جدول شماره ۱۱- تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و مصرف پلیمر بر ویژگی‌های تولید محصول طالبی و بهره‌وری آب



### مصرفی

| آبیاری قطره‌ای زیر سطحی |                                |                              | آبیاری قطره‌ای  |                                |                              | تیمارها                      |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| وزن میوه<br>گرم         | بهره‌وری آب<br>کیلوگرم/مترمکعب | تولید طالبی<br>(تن در هکتار) | وزن میوه<br>گرم | بهره‌وری آب<br>کیلوگرم/مترمکعب | تولید طالبی<br>(تن در هکتار) |                              |
| ۹۹۰/۵a                  | ۲/۹c                           | ۲۸/۳a                        | ۱۰۶۵/۹a         | ۳/۰b                           | ۳۰/۵a                        | ۱۰۰٪ تبخیر و<br>تعرق پتانسیل |

<sup>۸۳</sup> Biochar

<sup>۸۴</sup> *Abelmoschus esculentus* L. Moench (Lady's Finger)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

|         |      |       |        |      |       |                             |
|---------|------|-------|--------|------|-------|-----------------------------|
| ۸۸۳/۵b  | ۴/۳b | ۲۵/۲b | ۸۲۷/۹b | ۳/۳b | ۲۳/۷b | ۷۵٪ تبخیر و<br>تعرق پتانسیل |
| ۸۰۸/۸c  | ۴/۷a | ۲۶/۱b | ۶۷۲/۵c | ۴/۳a | ۱۹/۱c | ۵۰٪ تبخیر و<br>تعرق پتانسیل |
| ۷۱۱/۸c  | ۳/۱c | ۲۰/۳c | ۷۸۸/۱b | ۲/۹b | ۲۲/۵b | بدون پلیمر                  |
| ۸۶۳/۵b  | ۳/۷b | ۲۴/۷b | ۷۹۹/۵b | ۳/۲b | ۲۲/۸b | ۲۰٪ پلیمر                   |
| ۱۱۰۷/۶a | ۵/۲a | ۳۴/۶a | ۹۷۸/۷a | ۴/۶a | ۲۸/۰a | ۴۰٪ پلیمر                   |

### ۱۲- سایر موارد

اقدامات دیگری از قبیل جلوگیری از تغییر کاربری اراضی، مدیریت آلودگی خاک و پاک سازی خاک های آلوده، اصلاح و اکثش شیمیایی خاک، اصلاح و به سازی اراضی مسئله دار و تخریب شده، و سایر اقدامات ابتکاری و نوآورانه در زمینه مدیریت و حفاظت خاک نیز می توانند اثرات بسزایی بر تولید محصول سالمتر و بیشتر، و افزایش بهره‌وری آب مصرفی کشاورزی در کوتاه مدت یا دراز مدت داشته باشند.

باتوجه به موارد ذکر شده، کاملاً مشهود است که توجه کافی به حفاظت و مدیریت پایدار خاک، ضمن کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد کشاورزان، می‌تواند تا حدود ۱۰۰٪ باعث افزایش تولید محصول و ارتقاء بهره‌وری آب در اراضی دیم و آبی گردد.

### راهکارهای اجرایی حفاظت و مدیریت پایدار خاک:

اجرای برنامه‌های زیر برای دستیابی به منافع مدیریت پایدار خاک و رفع مشکلات آب کشور ضروری است:

- ۱- اجرای دقیق قانون حفاظت از خاک و آیین نامه‌ها و دستورالعمل‌های مربوطه،
- ۲- برنامه شناسایی و طبقه‌بندی خاک‌ها، ارزیابی تناسب اراضی،
- ۳- برنامه افزایش ماده آلی و بهبود حاصلخیزی خاک،
- ۴- برنامه حفاظت خاک و مهار فرسایش و رسوب در اراضی کشاورزی و منابع طبیعی،
- ۵- برنامه ترویج و توسعه کشاورزی حفاظتی،
- ۶- برنامه مدیریت، اصلاح، و احیای اراضی فرسوده و حاشیه‌ای،
- ۷- برنامه پایش مستمر کیفیت منابع خاک در کشاورزی و منابع طبیعی.

### منابع مورد استفاده

قهرمان‌پور رامین، منوچهر گرجی، محسن فرحبخش، احمدعلی پوربابایی. ۱۳۹۵. تاثیر انواع سامانه‌های خاک‌ورزی بر کیفیت خاک (مطالعه موردی: خاکهای زراعی منطقه کوهین). پایاننامه کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک دانشگاه تهران.

کشاورز، پ.، زنگی آبادی، م. و عباس زاده، م. ۱۳۹۲. تاثیر میزان رس و شوری خاک بر رابطه کربن آلی خاک با عملکرد گندم. مجله پژوهش‌های خاک، جلد ۲۷، شماره ۳، صفحه ۲۷۱-۲۵۹.

مهدوی، محمد، هیدرولوژی کاربردی، جلد اول. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۵.

Akilapa. O. A. , L. O. Adebisi, C. O. Farayola. Effect of conservation agriculture on soil moisture content and biomass water productivity: Case study of crop residues as soil cover. International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR), Vol. 17, No. 2, p. 1-7, 2020.

Batool A, Taj S, Rashid A, Khalid A, Qadeer S, Saleem AR, and Ghufra MA (2015). Potential of soil amendments (Biochar and Gypsum) in increasing water use efficiency of *Abelmoschus esculentus* L. Moench. Frontiers of Plant Sci. 6:733. doi: 10.3389/fpls.2015.00733.

Bossio Deborah, Kim Geheb, William Critchley. Managing water by managing land: Addressing land degradation to improve water productivity and rural livelihoods. Agricultural Water Management, 97 (2010) 536-542.

**Bossio Deborah, Andrew Noble, David Molden and Vinay Nangia. Land Degradation and Water Productivity in Agricultural Landscapes. In** CAB International 2008. Conserving Land, Protecting Water (eds D. Bossio and K. Geheb).

Das. Amaresh, MD Lad and AL Chalodia. Effect of laser land leveling on nutrient uptake and yield of wheat, water saving and water productivity. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 2018; 7(2): 73-78.

- Diaz-Zorita M., D.E. Buschiazzo, and N. Peinemann. 1999. Soil organic matter and wheat productivity in the semi-arid Argentina Pampas. *Agronomy Journal*, 91:276–279.
- Erkossa Teklu, Seleshi Bekele Awulachew, Deneke Aster. Soil fertility effect on water productivity of maize in the upper blue Nile basin, Ethiopia. *Agricultural Science* Vol.2, No.3, 238-247 (2011). doi:10.4236/as.2011.23032 2 (2011), 238-247.
- Farooq, U.; Muhammad, S.; Erenstein, O. Adoption and Impacts of Zero-Tillage in the Rice–Wheat Zone of Irrigated Punjab, Pakistan; CIMMYT and the Rice-Wheat Consortium for Indo-Gangetic Plains: New Delhi, India, 2007; p. 69.
- Jat, R.K.; Singh, R.G.; Kumar, M.; Jat, M.L.; Parihar, C.M.; Bijarniya, D.; Sutaliya, J.M.; Jat, M.K.; Parihar, M.D.; Kakraliya, S.K.; et al. Ten years of conservation agriculture in a rice–maize rotation of Eastern Gangetic Plains of India: Yield trends, water productivity and economic profitability. *Field Crops Res.* 2019, 232, 1–10. [Cross Ref]
- Jat. M.L., Parvesh Chandna, Raj Gupta, S.K. Sharma, and M.A. Gill. Laser Land Leveling: A Precursor Technology for Resource Conservation. Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains. CG Block, National Agriculture Science Centre (NASC) Complex, DPS Marg, Pusa Campus, New Delhi 110 012, India. 2006.
- Kahlowan, M.A.; Azam, M.; Kemper, W.D. Soil management strategies for rice–wheat rotations in Pakistan’s Punjab. *J. Soil Water Conserv.* 2006, 61, 40–44.176.
- Kanchikerimath M., D. Singh. 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize–wheat–cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semi-arid region of India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 86:155–162.
- Kendall, H.W.; Pimentel, D. Constraints on the expansion of the global food supply. *Ambio* 1994, 23, 198–205.
- Soil water Lal. R. Soil water and agronomic production, in edited Book: Lal. Rattan, and B. A. Stewart. and agronomic productivity. CRC Press, Taylor & Francis group. 2012.
- Lal, R. 2006. Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands. *Land Degradation & Development*, 17:197-209.
- Lal. R. & William C. Moldenhauer (1987) Effects of soil erosion on crop productivity, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 5:4, 303-367, DOI: 10.1080/07352688709382244
- Libert, B. 1995. The Environmental Heritage of Soviet Agriculture, Oxon, UK, CAB International.
- Mirza B. Baig, Shabbir A. Shahid, and Gary S. Straquadine. Making rainfed agriculture sustainable through environmental friendly technologies in Pakistan: A review. *International Soil and Water Conservation Research*. Vol.1, No. 2, 2013, pp. 36 -52.
- Mohammad, A.; Sudhishri, S.; Das, T.K.; Singh, M.; Bhattacharyya, R.; Dass, A.; Khanna, M.; Sharma, V.K.; Dwivedi, N.; Kumar, M. Water balance in direct-seeded rice under conservation agriculture in north-western indo-gangetic plains of India. *Irrig. Sci.* 2018, 36, 381–393. [Cross Ref]
- Mojid, M.A.; Mainuddin, M. Water-Saving Agricultural Technologies: Regional Hydrology Outcomes and Knowledge Gaps in the Eastern Gangetic Plains—A Review. *Water* 2021, 13, 636. <https://doi.org/10.3390/w13050636>.
- Oki, T. and S. Kanae. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science* 313: 1068–1072.
- Peng. Zhengkai, Linlin Wang, Junhong Xie, Lingling Li, Jeffrey A. Coulter, Renzhi Zhang, Zhuzhu Luo, Jana Kholova, and Sunita Choudhary. Conservation Tillage Increases Water Use Efficiency of Spring Wheat by Optimizing Water Transfer in a Semi-Arid Environment. *Agronomy* 2019, 9, 583 doi:10.3390/agronomy9100583
- Singh, B.R., McLaughlin, M.J., Brevik, E.C. (eds) 2017: The Nexus of Soils, Plants, Animals Health. Catena- Schweizerbart, Stuttgart.
- SIWI (Stockholm International Water Institute), and IWMI (International Water Management Institute) (2004), Water- More Nutrition per Drop: Towards Sustainable Food Production and Consumption Patterns in a Rapidly Changing World. Background report for CSD12, New York, April 2004. SIWI, Stockholm, Sweden.
- Sundquist, B.: 2000, Topsoil Loss – Causes, Effects, and Implications: A Global Perspective, 4th ed., <<http://www.alltel.net/~bsundquist1/>> (10/8/2002).
- Tomar SS, YP Singh, RK Naresh, SS Dhaliwal, RS Gurjar, Ravi Yadav, Deepandra Sharma and Swati Tomar. Impacts of laser land levelling technology on yield, water productivity, soil health and

profitability under arable cropping in alluvial soil of north Madhya Pradesh. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 2020; 9(4): 1889-1898.  
Zeineldin F.I., Al-Molhim Y. (2021): Polymer and deficit irrigation influence on water use efficiency and yield of muskmelon under surface and subsurface drip irrigation. Soil & Water Res., 16: 191-203.  
<https://doi.org/10.17221/94/2020-SWR>.

## وضعیت پایداری حاصلخیزی خاک در ایران

فرهاد مشیری، محمد رضا بلالی، سید علی غفاری نژاد، سید مجید موسوی

اعضای هیئت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

### چکیده

پایداری حاصلخیزی خاک از ارکان اصلی در پایداری تولیدات کشاورزی محسوب می شود. بررسی وضعیت حاصلخیزی خاکهای کشاورزی کشور نشان دهنده کمبود کربن آلی، فسفر و پتاسیم به ترتیب در ۶۲، ۷۰ و ۲۸/۷ درصد از خاکها می باشد. کمبود عناصر کم مصرف به ویژه آهن و روی در بخش قابل توجه از خاکها مشاهده می شود. مطالعات بیان عناصر غذایی فسفر و پتاسیم بیانگر کاهش میزان این عناصر در خاکهای تحت کشت می باشد. کمبود عناصر غذایی خاک و بیان منفی آنها که نشان دهنده ناپایداری حاصلخیزی خاک های کشاورزی کشور می باشد، به صورت عدم تعادل عناصر غذایی در محصولات زراعی و باغی نمود یافته است. عدم انطباق میزان مصرف انواع کودها نسبت به میزان برآوردهای انجام شده از عوامل اصلی ناپایداری حاصلخیزی خاکها شناسایی شد. به منظور غلبه بر چالشهای فوق، الگوی مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه صورت استفاده هوشمندانه از ترکیب بهینه منابع آلی، معدنی و زیستی عناصر غذایی در کنار سازگاری با شرایط محیطی و محلی با هدف بهینه سازی استفاده از منابع ذاتی خاک در یک سیستم زراعی برای دستیابی به پایداری حاصلخیزی خاک، ارتقای کارایی استفاده از عناصر غذایی و تولید مطلوب بدون آسیب رساندن به زیست بوم خاک معرفی گردید.

**کلمه های کلیدی:** حاصلخیزی خاک؛ کشاورزی پایدار؛ مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه.

### ۱- مقدمه

به دلیل دشواری افزایش سطح زیر کشت و محدودیت منابع خاک حداکثر تلاش باید بر افزایش تولید در واحد سطح معطوف گردد که در این میان وضعیت حاصلخیزی خاک و تغذیه بهینه گیاه نقش بسزایی دارد. در برنامه پایداری تولید محصول، پایداری حاصلخیزی خاک از جمله ارکان اصلی می باشد. حاصلخیزی خاک را توان کیفی خاک برای تأمین عناصر غذایی به مقدار کافی و در توازن مطلوب برای رشد گیاهان یا محصولات معین تعریف نموده اند (ابطحی و همکاران، ۱۳۷۹). تا سالهای متمادی استفاده از کودهای شیمیایی برای حفظ حاصلخیزی خاک از ارکان اصلی مدیریت حاصلخیزی خاک به شمار می رفت. برای نیل به اهداف پایداری حاصلخیزی خاک، لزوم حفظ و افزایش کربن آلی و تنوع زیستی خاک سبب تغییر در الگوهای (پارادایمهای) مدیریت حاصلخیزی خاک شده است. چالش کاهش باروری خاک تنها ناشی از کمبود عناصر غذایی نیست، بلکه در اثر تخریب ویژگی های فیزیکی و بیولوژیکی خاک، انتخاب سیستم کشت نامناسب و برهمکنش با آفات و بیماری ها بوجود می آید. از طرف دیگر نواسان ها و تکانه های اقتصادی و افزایش قیمت نهاده های کودی در کوتاه مدت سبب کاهش مصرف کودها شده و احتمالاً کاهش تولید محصولات کشاورزی را به دنبال خواهد داشت. از این رو، در دستیابی به کشاورزی پایدار از طریق مدیریت جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه گام اول شناسائی وضعیت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه است و در گام دوم تنظیم سیاستها، اتخاذ رویکردها و به کارگیری روش های بهینه و تلفیقی مدیریت حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در پاسخ به چالش های موجود می باشد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### ۲- وضعیت کربن آلی و عناصر غذایی در خاک‌های کشاورزی کشور

در سالهای گذشته تحقیقاتی در مورد پراکنش وضعیت عناصر غذایی به منظور پایش وضعیت حاصلخیزی خاک‌های ایران انجام گرفته است (شهبازی، ۱۳۸۷؛ طهرانی، ۱۳۸۹؛ خادمی و همکاران، ۱۳۸۴؛ بلالی، ۱۳۸۴؛ رضایی، ۱۳۹۷). تمامی داده‌های مربوط به این مطالعات که در فاصله ۱۵ سال بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ انجام شده‌اند در یک بانک اطلاعاتی مشتمل بر ۳۴۰۰۰ نمونه خاک، در موسسه تحقیقات خاک و آب جمع‌آوری شده است. در ادامه نتایج این بانک اطلاعاتی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. این تحلیل‌ها در دو سطح استانی و منطقه‌ای انجام شده است. مناطق مختلف زراعی-زیستگاهی<sup>۸۵</sup> ایران (به عنوان معیار ارزیابی منطقه‌ای وضعیت عناصر غذایی خاک در نظر گرفته شده است که به شرح De Pauw et al. 2018) ذیل عبارتند از:

۱- منطقه مرکزی شامل استان‌های تهران، سمنان، قزوین، قم و مرکزی؛ ۲- منطقه سواحل دریای خزر شامل استان‌های گیلان، مازندران و گلستان؛ ۳- منطقه شمال غربی شامل استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، کردستان، آذربایجان غربی و زنجان؛ ۴- منطقه زاگرس مرکزی شامل استان‌های همدان، ایلام، کرمانشاه و لرستان؛ ۵- منطقه خوزستان شامل استان خوزستان؛ ۶- منطقه خشک مرکزی شامل استان‌های اصفهان و یزد؛ ۷- منطقه جنوبی زاگرس شامل استان‌های چهارمحال و بختیاری، فارس و کهکیلویه و بویراحمد؛ ۸- منطقه ساحلی جنوبی شامل استان‌های بوشهر و هرمزگان؛ ۹- منطقه خشک جنوبی شامل کرمان و سیستان و بلوچستان؛ ۱۰- منطقه خراسان شامل استان‌های خراسان جنوبی، رضوی و شمالی.

کربن آلی خاک به عنوان عاملی کلیدی در پایداری حاصلخیزی و باروری و خدمات رسانی زیست بوم خاک<sup>۸۶</sup> محسوب می‌شود و همکاران، ۲۰۱۳). با این وجود، میزان کربن آلی حدود ۶۲ درصد از خاک‌های ایران کمتر از یک درصد است و تنها ۱۴ Lal) درصد از خاک‌های ایران بیش از ۱/۵ درصد کربن آلی دارند (بلالی و همکاران، ۱۳۹۳). دلایل مختلفی را برای کم بودن میزان کربن آلی در خاک‌های ایران می‌توان ذکر کرد که مهمترین عامل مربوط به اقلیم خشک و نیمه خشک ایران می‌باشد. توزیع کمبود کربن آلی خاک در بین مناطق مختلف زراعی-زیستگاهی بیانگر این مطلب است که به جز مناطق شمالی و شمال غربی ایران کمبود کربن آلی در بیشتر خاکها به عنوان یک مساله اساسی قابل مشاهده است. در سواحل جنوبی و مناطق مرکزی ایران ایران به کمبود کربن آلی خاک به بیش از ۸۰ درصد می‌رسد. ارزیابی وضعیت کربن آلی در مناطق مختلف زراعی-زیستگاهی را با میزان کربن آلی خاک نشان می‌دهد (بلالی و غفاری نژاد، خوبی تاثیر اقلیم به ویژه بارندگی (ضریب همبستگی ۰/۹۱) (۱۳۹۸). افزون بر این، جوان بودن و عدم تکامل پروفیلی خاکها، کمبود بنیه غذایی و حاصلخیزی کم خاکها، تغییر کاربری اراضی، فرسایش (بویژه لایه سطحی خاک) و مدیریت نامناسب خاک، حذف بقایای گیاهی و عملیات زراعی در کمبود کربن آلی (Moshiri et al., 2017) خاک‌های ایران موثر است (

نتایج ارزیابی وضعیت فسفر نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن حد بحرانی ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر، حدود ۷۰ درصد به عبارت دیگر این ناحیه. خاک‌های ایران با مشکل کمبود روبرو هستند. بیشترین میانگین فسفر مربوط به ناحیه خزری است نسبت به سایر نواحی کشور مشکل کمتری از لحاظ فسفر قابل استفاده دارد (جدول ۱). کمترین میانگین فسفر مربوط به نواحی ساحلی جنوبی و منطقه خوزستان است و مصرف کودهای حاوی فسفر در این نواحی ارجحیت دارد. در این نواحی کمبود فسفر در نزدیک به ۹۰ درصد نمونه خاک‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

میزان پتاسیم قابل استفاده ۲۸/۷ درصد خاک‌های کشور کمتر از حد بحرانی ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. در بین نواحی مختلف زراعی-زیستگاهی ایران، بیشترین کمبود پتاسیم قابل استفاده به ترتیب در خاک‌های منطقه سواحل جنوبی، خوزستان

<sup>۸۵</sup> Agroecological zones

<sup>۸۶</sup> Soil ecological services

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

و سواحل خزری گزارش شده است. کمترین کمبود پتاسیم قابل استفاده در خاک‌های منطقه شمال غرب، مرکزی، زاگرس مرکزی و خراسان مشاهده می‌شود (جدول ۱).

بررسی وضعیت عنصر غذایی کم مصرف قابل استفاده در خاک‌های ایران نشان از کمبود متوسط تا شدید این عناصر به ویژه آهن و روی دارد (جدول ۱). محدوده غلظت بحرانی عناصر کم مصرف در خاک‌های ایران برای آهن، روی، منگنز، مس و بور به ترتیب ۵-۷، ۰/۷۵-۱، ۴-۶، ۰/۷۵-۱ و ۰/۷۵-۰/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم تعیین شده است (ملکوتی و غیبی، ۱۳۷۹). حد بحرانی بور برای گیاهان حساس به این عنصر در خاک‌های آهکی ۰/۳-۰/۵ می باشد (Ahmad et al. 2012). میزان آهن قابل استفاده حدود ۴۱ درصد خاک‌های کشور کمتر از ۵ میلی گرم در کیلوگرم و در شرایط کمبود می باشد. در بین نواحی مختلف زراعی-ایستگاهی ایران، بیشترین کمبود آهن در مناطق سواحل جنوبی، خراسان، زاگرس مرکزی و خوزستان مشاهده می‌شود. میزان منگنز قابل استفاده در حدود ۳۴ درصد از خاک‌های کشاورزی ایران در محدوده کمبود شدید تا متوسط قرار دارد. در این بین کمبود منگنز در حدود ۱۸ درصد خاک‌ها که کمتر از حد بحرانی ۴ میلی گرم قابل مشاهده است. بیشترین توزیع خاک‌های دچار کمبود منگنز در استان خوزستان قرار دارد. در بین عناصر کم مصرف، کمبود مس در خاک‌های ایران گستردگی زیادی ندارد. میزان مس قابل استفاده در ۲۵ درصد خاک‌ها کمتر از یک میلی گرم در کیلوگرم می باشد. احتمال کمبود مس تنها در ۱۴ درصد خاک‌های ایران، که مقدار مس قابل استفاده آنها کمتر از ۰/۷۵ میلی گرم در کیلوگرم می باشد، زیاد است. با این حال در بین مناطق مختلف زراعی-زیستگاهی ایران، کمبود مس در ۹۰ درصد خاک‌های منطقه سواحل جنوبی گزارش شده است. با بررسی ۲۷۹۱ نمونه خاک از مناطق مختلف ایران، میزان بور قابل استفاده در ۵ درصد از خاک‌های کشاورزی ایران کمتر از ۰/۲۵ میلی گرم در کیلوگرم، ۱۲ درصد بین ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم، ۱۵ درصد بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ و ۶۸ درصد بیش از ۰/۷۵ میلی گرم در کیلوگرم است. آنچه از اطلاعات مربوط به وضعیت بور برداشت می‌شود، این است که در اغلب خاک‌های مناطق مختلف کشور میزان بور موجود در خاک بیش از میزان مورد نیاز گیاه است و با توجه به محدوده باریک بین سمیت و کمبود این عنصر برای توصیه کودی مربوط به بور در هر منطقه باید به نوع محصول و ویژگی‌های خاک آن منطقه و نتیجه آزمون خاک توجه کرد.

جدول ۱- توزیع کمبود عناصر غذایی (درصد) در مناطق مختلف زراعی-زیستگاهی (AEZ) ایران (بلالی و غفاری، ۱۳۹۸)

| منطقه       | کربن آلی<br>(۱ درصد) | فسفر<br>(۱۵)* | پتاسیم<br>(۲۰۰) | آهن<br>(۵۰) | روی<br>(۰/۷۵) | منگنز<br>(۴/۰) | مس<br>(۰/۷۵) |
|-------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|---------------|----------------|--------------|
| مرکزی       | ۸۴/۰                 | ۶۴/۳          | ۱۸/۵            | ۴۰/۸        | ۳۷/۷          | ۷/۸            | ۱۲/۳         |
| سواحل خزر   | ۱۶/۱                 | ۵۴/۵          | ۴۹/۳            | ۴/۹         | ۳۱/۴          | ۱۶/۰           | ۵/۱          |
| شمال غرب    | ۵۶/۹                 | ۷۵/۹          | ۱۲/۰            | ۳۹/۶        | ۶۴/۶          | ۱۹/۶           | ۱۵/۱         |
| زاگرس مرکزی | ۴۲/۲                 | ۷۰/۷          | ۲۲/۴            | ۵۸/۵        | ۶۱/۷          | ۲۲/۵           | ۲۰/۵         |
| خوزستان     | ۸۳/۳                 | ۸۸/۱          | ۵۹/۹            | ۵۶/۰        | ۴۶/۷          | ۷۶/۵           | ۲۳/۴         |
| خشک شمالی   | ۸۶/۹                 | ۶۷/۵          | ۴۰/۸            | ۳۱/۵        | ۲۴/۵          | ۲۰/۷           | ۲۰/۶         |
| زاگرس جنوبی | ۶۲/۰                 | ۵۶/۸          | ۳۳/۰            | ۴۵/۲        | ۶۰/۹          | ۵/۵            | ۲۶/۷         |
| سواحل جنوبی | ۹۴/۰                 | ۹۳/۹          | ۷۸/۹            | ۹۵/۸        | ۳۰/۴          | ۸/۷            | ۹۱/۳         |
| خشک جنوبی   | ۸۹/۳                 | ۷۱/۸          | ۴۴/۱            | ۳۹/۵        | ۵۴/۴          | ۱۶/۳           | ۲۹/۵         |
| خراسان      | ۸۴/۳                 | ۷۳/۷          | ۲۵/۱            | ۶۰/۹        | ۶۳/۹          | ۷/۹            | ۱۹/۶         |
| میانگین     | ۶۲/۰                 | ۶۹/۶          | ۳۷/۳            | ۴۰/۹        | ۵۱/۰          | ۱۸/۲           | ۱۴/۰         |
| تعداد نمونه | ۲۳۷۰۰                | ۳۴۲۳۲         | ۳۴۳۰۷           | ۱۶۹۵۸       | ۱۶۹۶۱         | ۱۵۲۵۱          | ۱۴۹۲۷        |

بر حسب میلی گرم در کیلوگرم \* حد بحرانی عناصر غذایی

### ۳- بیلان عناصر غذایی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بیان عناصر غذایی در یک سامانه، تفاضل ورودی‌ها از خروجی‌های عناصر غذایی است (Tan et al., 2005). با در نظر گرفتن مقدار مصرف کودهای شیمیایی و آلی به عنوان ورودی مدل و میزان تولید و بقایای محصولات گندم، برنج، ذرت و جو به عنوان خروجی مدل وضعیت بیان نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در کشورهای توسعه یافته، در حال توسعه و کمتر توسعه یافته منفی گزارش نموده و بیان داشتند کشورهای در حال توسعه سهم بسیار بیش‌تری (۷۵ درصد) در تخلیه عناصر غذایی از خاک دارند. نتایج بررسی بیش از ۷۰ مقاله و ۳۱ گزارش در دهه ۷۰ و ۸۰ خورشیدی، نشان‌دهنده روند کاهشی پتاسیم قابل جذب خاک در غالب مناطق کشور می‌باشد (بلالی و همکاران، ۱۳۹۳). مقایسه روند تغییرات پتاسیم خاک در اراضی کشت نشده در مقایسه با مزارع با کشت و کار مداوم، نشان داد که پتاسیم قابل استفاده با ده سال کشت و کار، تا ۱۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش می‌یابد (بلالی و ملکوتی، ۱۳۷۷). گلستانی فرد و توفیقی (۱۳۸۷) بیان داشتند که ظرفیت تثبیت پتاسیم در ۶۶ درصد از اراضی شالیزاری گیلان و مازندران در حد متوسط تا زیاد می‌باشد که این امر تخلیه پتاسیم را در این اراضی نشان می‌دهد. این اثر در اراضی تحت کشت نیشکر نیز به خوبی نشان داده شده است. کشت متراکم نیشکر در منطقه خوزستان به دلیل برداشت مداوم پتاسیم توسط این محصول، بسته به مقدار و نوع کانی‌های رسی در خاک باعث کاهش پتاسیم قابل دسترس خاک‌ها شده است به گونه‌ای که به طور متوسط، ۳۰ درصد کود پتاسیمی اضافه شده به خاک‌های زیر کشت نیشکر تثبیت می‌شود (جعفرنژادی، ۱۳۷۶). میرزاشاهی (۱۳۹۵) در سه استان خوزستان، آذربایجان غربی و گلستان در سامانه زراعی فشرده تناوب گندم-ذرت در طول دو سال نشان داد که کاربرد کود سولفات پتاسیم با افزایش تولید سامانه زراعی همراه است. در تمام مناطق، بیان جزئی پتاسیم پس از دو سال منفی شده است. این امر نشان می‌دهد گیاه از ذخیره پتاسیم خاک استفاده کرده و با تداوم آن، کارایی کودهای پتاسیمی کاهش می‌یابد. بررسی داده‌های یازده ساله مصرف فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل در کرت ثابت با کشت تناوبی گندم-ذرت-چغندررند در ایستگاه تحقیقاتی زرگان استان فارس (خوگر، ۱۳۸۴)، نشان می‌دهد که با کاربرد فسفر توصیه شده در سطح کفایت (معادل ۹۰ کیلوگرم  $P_2O_5$  در هکتار)، بیان جزئی مثبت به میزان ۱۵۶/۵ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. کاربرد مقادیر کمتر از سطح کفایت منجر به بیان منفی فسفر و مقادیر بیش‌تر منجر به تجمع فسفر در خاک می‌گردد. اثر مصرف فسفر از منبع سوپرفسفات تریپل در کرت‌های ثابت در دو سال کشت تناوبی گندم-ذرت علوفه‌ای (۱۳۹۳-۱۳۹۱) در ۱۰ ایستگاه تحقیقاتی کشور، نشان‌دهنده اثر مثبت کاربرد فسفر در تولید کل سامانه زراعی بود (جدول ۲). با این حال، مصرف فسفر در بیش‌تر مکان‌های اجرا به جز داراب (فارس)، خوزستان و لرستان با بیان منفی فسفر همراه شده است. با وجود بیان منفی فسفر در اثر کاربرد کود فسفوری، مقدار فسفر قابل استفاده خاک افزایش نشان داد. این امر می‌تواند به دلیل پویایی فسفر قابل استفاده خاک و توان خاک در بازیافت فسفر قابل استفاده از فسفر کل خاک باشد. از طرف دیگر کشت گیاه بسته به نوع رقم می‌تواند فسفر بومی خاک را به شکل قابل استفاده در آورد (Gillespie and Pope, 1991) بنابراین فسفر قابل دسترس خاک به تنهایی نمی‌تواند نمایانگر افزایش یا کاهش ذخیره فسفر خاک باشد و در این رابطه بررسی روند تغییرات فسفر کل خاک ضروری است.

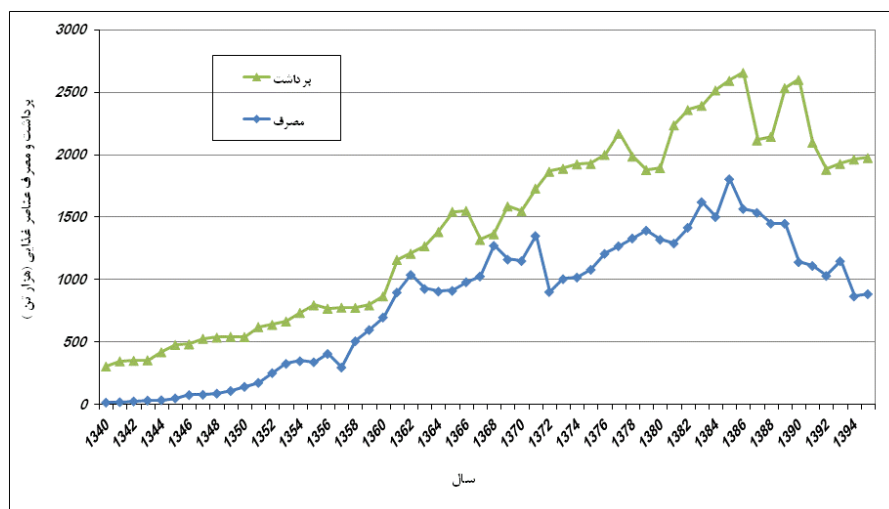
مقایسه اجمالی بین مقدار مصرف کود شیمیایی و میزان تولید محصولات کشاورزی در بیش از ۵۰ سال گذشته (۱۳۴۰-۱۳۹۷) در ایران حاکی از تخلیه خاک‌ها از عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عدم پایداری حاصلخیزی خاک می‌باشد (شکل ۱). برداشت عناصر غذایی از خاک و عدم جبران آن باعث شده تا خاک‌های کشاورزی دچار تخلیه بنیه غذایی گردند. تفاضل مقدار ورودی و خروجی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم نشان‌دهنده بیان جزئی منفی این عناصر در خاک‌های کشاورزی ایران می‌باشد (شکل ۲). بیش‌ترین بیان منفی به عنصر پتاسیم تعلق دارد. روند تخلیه پتاسیم به وسیله کشت محصولات مختلف در حال افزایش است به گونه‌ای که فاصله بین برداشت پتاسیم توسط محصولات و ورود این عنصر از منابع مختلف به خاک از ۴۵۸/۹ به ۷۰۷/۶ هزار تن در طول سه سال مورد بررسی افزایش یافته است. پس از پتاسیم، عنصر نیتروژن بیش‌ترین میزان تخلیه از خاک را نشان داد. میزان تخلیه فسفر کمتر از عناصر دیگر برآورد گردید. این بیان منفی عناصر می‌تواند به ناپایداری حاصلخیزی خاک و کاهش عملکرد محصولات زراعی و باغی به ویژه در کشاورزی فشرده منجر گردد. لذا پیشنهاد می‌گردد در توصیه‌های کودی به راهبردهای انباشت و نگهداشت توجه شود. به علاوه باید افزایش مصرف کودها و بهبود کارایی آنها در قالب مدیریت تلفیقی کود در برنامه‌های حاصلخیزی خاک لحاظ گردد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

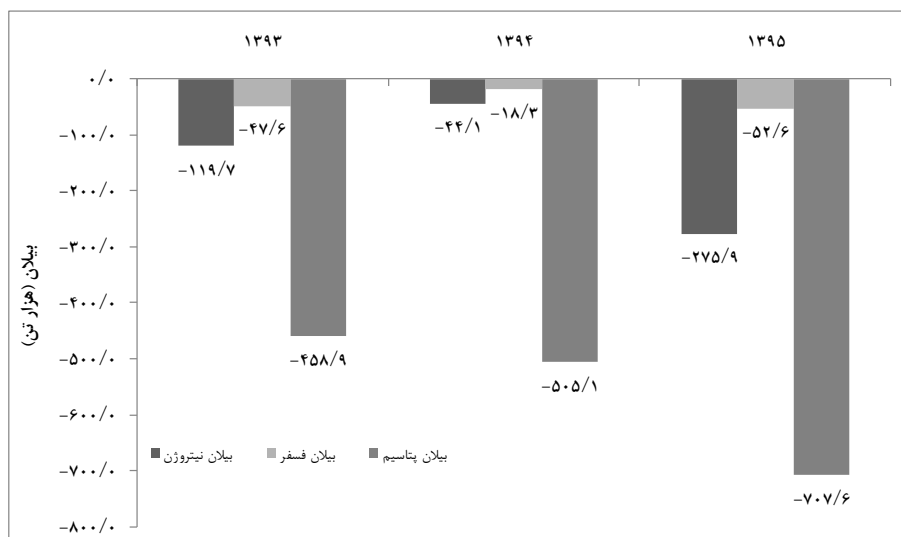
جدول ۲- بیلان فسفر پس از استقرار دو سال سامانه زراعی گندم-ذرت با مصرف کود فسفوری در سطح کفایت (مشیری و زاهدی فرد، ۱۳۹۸)

| آزمایش         | تولید بدون<br>مصرف فسفر £ | تولید با<br>مصرف<br>فسفر £ | سطح کفایت<br>فسفر مصرفی<br>(P2O5) | کل فسفر<br>مصرف شده<br>(P) | کل فسفر<br>برداشت شده<br>(P) | بیلان جزئی | فسفر قابل<br>استفاده اولیه | فسفر قابل<br>استفاده نهایی |
|----------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|
|                | تن در هکتار               | تن در هکتار                | کیلوگرم در هکتار                  | کیلوگرم در هکتار           | میلی گرم در کیلوگرم          |            |                            |                            |
| اصفهان         | ۱۶/۶                      | ۲۳/۲*                      | ۴۶                                | ۸۰/۴                       | ۱۰۵/۶                        | -۲۵/۲      | ۱۰/۸                       | ۱۱/۲                       |
| خراسان رضوی    | ۱۶/۸                      | ۲۵/۰*                      | ۷۰                                | ۱۲۰/۶                      | ۱۳۸/۳                        | -۱۷/۷      | ۶/۰                        | ۱۲/۵                       |
| فارس (داراب)   | ۱۶/۴                      | ۲۰/۲*                      | ۹۲                                | ۱۶۰/۸                      | ۶۸/۷                         | +۹۲/۱      | ۳/۶                        | بدون داده                  |
| فارس (زرقان)   | ۲۴/۲                      | ۲۹/۳*                      | ۹۲                                | ۱۶۰/۸                      | ۱۷۳/۱                        | -۱۲/۳      | ۸/۵                        | ۱۰/۷                       |
| البرز          | ۱۹/۶                      | ۲۴/۴*                      | ۷۰                                | ۱۲۰/۶                      | ۱۵۸/۶                        | -۳۸/۰      | ۷/۳                        | ۱۰/۵                       |
| آذربایجان غربی | ۱۶/۰                      | ۲۶/۰*                      | ۹۲                                | ۱۶۰/۸                      | ۲۱۱/۶                        | -۵۰/۸      | ۶/۸                        | ۱۴/۷                       |
| خوزستان        | ۱۷/۱                      | ۱۸/۶ns                     | ۹۲                                | ۱۶۰/۸                      | ۶۳/۳                         | +۹۷/۵      | ۴/۴                        | ۸/۰                        |
| لرستان         | ۱۷/۳                      | ۲۴/۶*                      | ۹۲                                | ۱۶۰/۸                      | ۸۳/۸                         | +۷۷/۰      | ۵/۰                        | ۹/۱                        |
| مازندران       | ۱۲/۹                      | ۲۴/۷*                      | ۴۶                                | ۷۰/۴                       | ۱۳۵/۲                        | -۶۴/۸      | ۹/۹                        | بدون داده                  |
| گلستان         | ۱۹/۹                      | ۲۳/۷ns                     | ۵۷                                | ۱۱۰/۶                      | ۲۰۵/۱                        | -۹۴/۵      | ۵/۴                        | ۱۱/۱                       |

£ کل تولید سیستم زراعی بر حسب گندم، \* و ns به ترتیب معنی داری و عدم معنی داری اختلاف بین تولید سیستم زراعی با و بدون مصرف فسفر در سطح پنج درصد،



شکل ۱- روند برداشت عناصر غذایی توسط محصولات زراعی و باغی و مصرف عناصر غذایی از طریق کودهای شیمیایی (برداشت عناصر غذایی با فرض ۲ درصد غلظت نیترژن، ۰/۴ درصد غلظت فسفر و ۱/۷۵ درصد غلظت پتاسیم در وزن خشک محصولات زراعی و باغی محاسبه شده است).



## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شکل ۲-بیلان جزئی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک های کشاورزی ایران

### ۴- تعادل تغذیه ای گیاهان زراعی و باغی

یکی از شاخص های مهم در ارزیابی وضعیت حاصلخیزی خاک، تعادل تغذیه ای گیاهان اعم از گیاهان زراعی و باغی می باشد. تعادل تغذیه ای یکی از عوامل مهم در تولید کمی و کیفی محصولات می باشد. بررسی وضعیت عناصر غذایی در محصولات زراعی شامل چغندر قند، گندم و ذرت و محصولات باغی شامل سیب، انگور، انار، پرتقال، زیتون و خیار گلخانه ای در دو دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ در موسسه تحقیقات خاک و آب نشانگر عدم تعادل برخی عناصر غذایی و کمبود آنها در محصولات مختلف می باشد (جدول ۳). عدم تعادل عناصر غذایی در محصولات زراعی و باغی می تواند متاثر از وضعیت عدم تعادل عناصر غذایی در خاک باشد. به علاوه مدیریت نامناسب کودی می تواند این عدم تعادل را تشدید نماید. از اینرو ضرورت ایجاب می کند که برای برطرف کردن این محدودیت های تغذیه ای توجه ویژه به ارتقای سطح حاصلخیزی خاک بویژه از نظر این عناصر غذایی، داشته باشیم.

جدول ۳- نتایج بررسی وضعیت تعادل عناصر غذایی در برخی محصولات زراعی

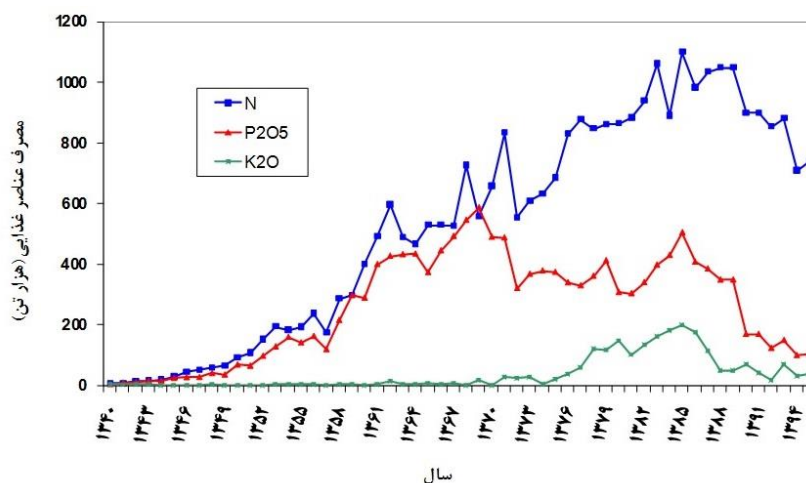
| منبع                                  | اولویت/محدودیت عناصر غذایی                             | تعداد<br>باغ/مزرعه | استان/منطقه                                                    | محصول     |       |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|-------|
| دریاشناس و رضایی، ۱۳۸۹                | کمبود مس و فسفر                                        | ۳۸۳                | خوزستان                                                        | چغندر قند | زراعی |
| مستشاری، ۱۳۹۳                         | منگنز، نیتروژن، آهن و فسفر                             | -                  | شهرستان قزوین                                                  | گندم      |       |
|                                       | روی و آهن                                              | -                  | شهرستان بوئین زهرا                                             |           |       |
|                                       | روی، فسفر، منگنز، آهن، نیتروژن، بور و مس               | -                  | شهرستان تاکستان                                                |           |       |
|                                       | بور و منگنز                                            | -                  | شهرستان آبیک                                                   |           |       |
| نورقلی پور (۱۴۰۰)                     | کمبود فسفر، روی، پتاسیم، آهن، منیزیم و مس              | ۵۶ مزرعه           | اهواز، دزفول، گلستان، کرمانشاه، آذربایجان شرقی، اصفهان، اردبیل | کلزا      |       |
| مستشاری، ۱۳۹۳                         | آهن                                                    | -                  | شهرستان قزوین                                                  | ذرت       |       |
|                                       | روی و آهن                                              | -                  | شهرستان بوئین زهرا                                             |           |       |
|                                       | نیتروژن، منگنز، روی، آهن و مس                          | -                  | شهرستان تاکستان                                                |           |       |
|                                       | آهن، بور، روی، مس و منگنز                              | -                  | شهرستان آبیک                                                   |           |       |
| اسماعیلی و همکاران، ۱۳۷۹              | کمبود آهن، پتاسیم، منگنز و فسفر                        | ۷۱                 | زنجان                                                          | سیب       | باغی  |
| بصیرت و همکاران (۱۴۰۰)، در حال انتشار | کمبود منگنز و روی و بیش بود بور و منیزیم               | ۴۰                 | آذربایجان غربی                                                 |           |       |
|                                       | کمبود فسفر و روی و بیش بود نیتروژن                     | ۴۰                 | اصفهان                                                         |           |       |
| گودرزی و حسینی فرهی، ۱۳۸۷             | تمام عناصر غذایی                                       | ۳۲                 | کهگیلویه و بویر احمد                                           | انگور     |       |
| مستشاری و همکاران، ۲۰۱۸               | کمبود فسفر، منیزیم، روی و مس                           | ۳۰                 | آذربایجان شرقی                                                 |           |       |
| مستشاری و همکاران، ۱۳۹۶               | منگنز، نیتروژن، مس و فسفر                              | ۳۰                 | قزوین                                                          |           |       |
| بصیرت و همکاران، ۱۳۹۷                 | کمبود پتاسیم، فسفر و منگنز                             | ۳۰                 | شرق مازندران                                                   | مرکبات    |       |
| رستگار و تدین، ۱۳۸۱                   | کمبود نیتروژن، پتاسیم، آهن و فسفر                      | ۳۹۹                | فارس                                                           |           |       |
| بصیرت و همکاران، ۱۳۹۷                 | کمبود نیتروژن، کلسیم و منگنز<br>بیش بود بور، آهن و روی | ۳۰                 | جنوب استان فارس                                                |           |       |
| مستشاری و همکاران، ۱۳۹۰               | کمبود کلسیم، منیزیم، نیتروژن، آهن                      | ۳۰                 | قزوین                                                          | زیتون     |       |
| طاهری و همکاران، ۱۳۹۸                 | کمبود پتاسیم، بور، روی، مس و نیتروژن                   | ۴۰                 | زنجان                                                          |           |       |
|                                       | کمبود روی، بور، نیتروژن و پتاسیم                       | ۴۰                 | گیلان                                                          |           |       |
|                                       | کمبود پتاسیم، مس، نیتروژن و فسفر                       | ۴۰                 | فارس                                                           |           |       |
|                                       | کمبود پتاسیم                                           | ۴۰                 | گلستان                                                         |           |       |

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

|                |            |     |                                                             |                             |
|----------------|------------|-----|-------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| انار           | یزد        | ۱۵۱ | کمبود روی                                                   | دریاشناس و دهقانی، ۱۳۸۱     |
| خیار گلخانه‌ای | یزد        |     | نیتروژن، فسفر و پتاسیم                                      | زارع مهرجردی، ۱۳۹۱          |
| خرما           | خوزستان    | ۴۰  | کمبود کلسیم، پتاسیم و فسفر<br>بیش‌بود غلظت آهن، منگنز و روی | بصیرت (۱۴۰۰)، در حال انتشار |
|                | هرمزگان    | ۴۰  | کمبود فسفر و پتاسیم                                         |                             |
|                | بوشهر      | ۴۰  | کمبود کلسیم و پتاسیم                                        |                             |
|                | جنوب کرمان | ۴۰  | کمبود کلسیم و پتاسیم و بیش‌بود بور                          |                             |

### ۵- نظام کود در کشور

به‌طور روشن می‌توان گفت که «کودها» در کنار ارقام گیاهی در کشاورزی ایران مهم‌ترین نقش را در افزایش تولید ایفا می‌نمایند (بلالی و همکاران، ۱۳۹۳). به بیان دیگر، به هیچ وجه برای تولید پایدار نمی‌توان از مصرف کودها صرف‌نظر نمود. در نظام پایدار کود، باید چهار رکن اصلی شامل نیازسنجی، تأمین، توزیع و مصرف کود به درستی ساماندهی گردد تا ضمن حفظ توان تولید منابع خاک، افزایش کمی و کیفی تولید محصولات کشاورزی، حفظ محیط زیست، قابلیت پذیرش اجتماعی و اقتصادی، بهبود کیفیت غذا (غذای سالم و مغذی) و توجه به سلامت انسان، موجبات دستیابی به توسعه پایدار را فراهم سازد. در امور مربوط به کود، ذیربطان متعددی دخیل هستند که بایستی در یک نظام پایدار از سطح ملی تا منطقه‌ای و محلی به‌طور هماهنگ مورد توجه قرار گیرند. روند مصرف عناصر غذایی در قالب انواع کودها در ایران در شکل (۳) آمده است. این داده‌ها حکایت از روند افزایشی مصرف کودها تا میانه دهه ۸۰ خورشیدی دارند. پس از آن، روند کاهشی در مصرف کودها وجود دارد، به گونه‌ای که میزان مصرف کود در سال ۱۳۹۵ برابر با ابتدای دهه ۷۰ می‌باشد. این کاهش در مصرف تمام عناصر اصلی به ویژه فسفر و پتاسیم مشاهده می‌شود.

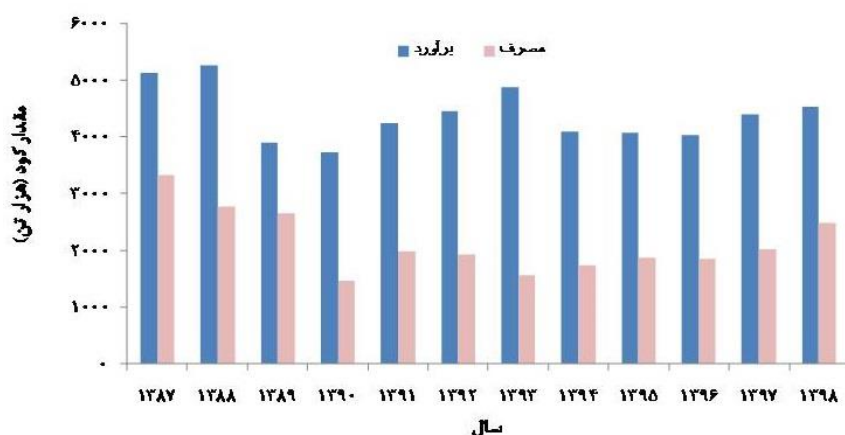


## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

برآورد انجام می‌شود. در این مدل سطح زیرکشت محصولات و عملکرد مورد انتظار، سطوح دچار کمبود هر یک از عناصر در خاک و همچنین توصیه‌های کودی برای محصولات مختلف از جدیدترین یافته‌ها استخراج می‌شود (طهرانی و همکاران، ۱۳۹۱). عدم تطابق مقدار کودهای مصرفی با مقدار کودهای برآورد شده، منجر به تشدید بیلان منفی عناصر غذایی و ناپایداری حاصلخیزی خاک خواهد شد. بنابراین مصرف عناصر غذایی معادل میزان برآورد شده می‌تواند خطر کاهش حاصلخیزی خاک را تا حد زیادی برطرف نماید (مشیری و زاهدی فرد، ۱۳۹۸).

جدول ۴- مقایسه میزان مصرف عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در کشورهای مختلف در سال ۲۰۱۸ (کیلوگرم در هکتار) JFA, ۲۰۲۱

| کشور          | سطح زیر کشت<br>(میلیون هکتار) | تولید در واحد سطح<br>(تن در هکتار) | مصرف عناصر غذایی |                                       |                           |     |
|---------------|-------------------------------|------------------------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------|-----|
|               |                               |                                    | نیتروژن (N)      | فسفر (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | پتاسیم (K <sub>2</sub> O) | جمع |
| استرالیا      | ۳۰/۹                          | ۲/۶۵                               | ۴۰               | ۳۱                                    | ۹                         | ۸۰  |
| بلژیک         | ۰/۹                           | ۱۴/۹                               | ۲۱۵              | ۲۲                                    | ۶۹                        | ۳۰۵ |
| چین           | ۱۳۵/۷                         | ۱۴/۲                               | ۱۷۲              | ۸۹                                    | ۶۹                        | ۳۲۹ |
| مصر           | ۳/۸                           | ۲۲/۱                               | ۳۲۵              | ۵۸                                    | ۳۳                        | ۴۱۵ |
| فرانسه        | ۱۹/۱                          | ۶/۹                                | ۱۱۲              | ۲۲                                    | ۲۴                        | ۱۵۸ |
| آلمان         | ۱۱/۹                          | ۷/۰                                | ۱۱۳              | ۱۷                                    | ۳۴                        | ۱۶۴ |
| هند           | ۱۶۹/۴                         | ۷/۱                                | ۱۰۴              | ۴۱                                    | ۱۶                        | ۱۶۱ |
| ایتالیا       | ۹/۲                           | ۵/۷                                | ۶۵               | ۱۸                                    | ۱۲                        | ۹۵  |
| ژاپن          | ۴/۴                           | ۹/۲                                | ۸۴               | ۷۶                                    | ۶۱                        | ۲۲۱ |
| پاکستان       | ۳۱/۳                          | ۴/۶                                | ۱۰۴              | ۳۷                                    | ۲                         | ۱۴۳ |
| کره جنوبی     | ۱/۶                           | ۱۴/۴                               | ۱۹۲              | ۸۶                                    | ۱۹۵                       | ۴۷۳ |
| آفریقای جنوبی | ۱۲/۴                          | ۴/۰                                | ۳۱               | ۲۰                                    | ۱۱                        | ۶۱  |
| اسپانیا       | ۱۶/۸                          | ۴/۵                                | ۶۳               | ۲۷                                    | ۲۳                        | ۱۱۲ |
| ترکیه         | ۲۳/۲                          | ۴/۹                                | ۶۷               | ۲۲                                    | ۵                         | ۹۴  |
| انگلستان      | ۶/۱                           | ۶/۵                                | ۱۷۱              | ۳۱                                    | ۴۴                        | ۲۴۵ |
| آمریکا        | ۱۶۰/۴                         | ۴/۵                                | ۷۰               | ۲۳                                    | ۲۶                        | ۱۲۰ |
| ایران         | ۱۶/۵                          | ۴/۲                                | ۵۸               | ۶                                     | ۲                         | ۶۶  |
| جهان          | ۱۴۰۸/۳                        | ۶/۹                                | ۷۲               | ۳۲                                    | ۲۵                        | ۱۳۲ |

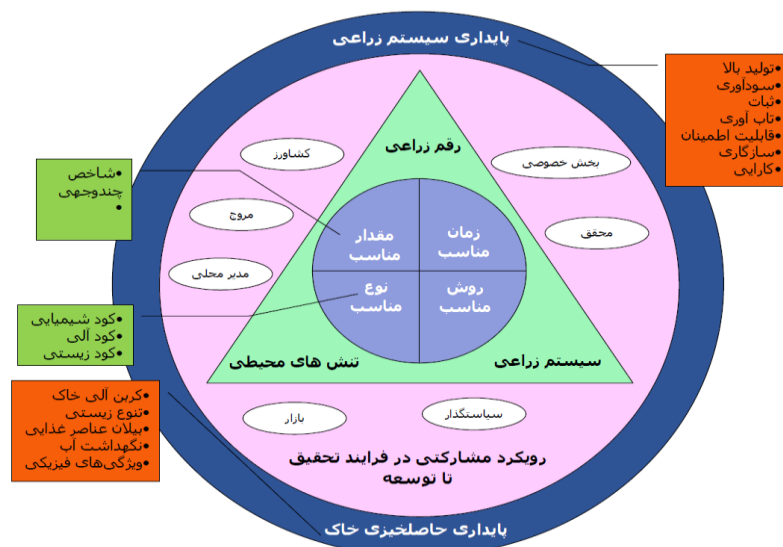


## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شکل ۴- مقایسه برآورد و مصرف کودهای شیمیایی برای تولید محصولات زراعی و باغی در ایران (۱۳۸۷-۱۳۹۸)

### ۶- مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه

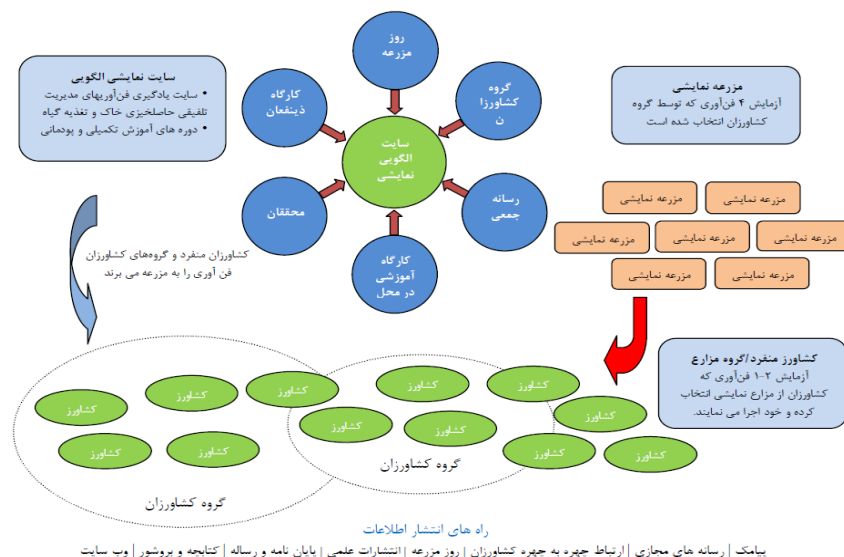
مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه برای غلبه بر چالشهای پیش گفته و همچنین تعدیل اثر تغییرات اقلیمی پیشنهاد شده است (مشیری و همکاران، ۱۳۹۸). اجزای مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه شامل رقم گیاهی، کودهای شیمیایی، آلی و زیستی، سیستم زراعی، شرایط اقلیمی و خاکی و شرایط اقتصادی و اجتماعی می‌باشند. برای دستیابی به بهترین مدیریت کوددهی در قالب مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه نحوه کارکرد چهار عامل اصلی کوددهی شامل نوع، زمان، مقدار و روش مصرف کودها با سایر اجزای مدیریت تلفیقی در شکل (۵) نشان داده شده است. سه گام شامل (۱) مشارکت کلیه ذی‌نفعان در فرایند طراحی، اولویت بندی، اجرا و نظارت، (۲) تطبیق مقدار، زمان و روش مصرف توأمان کودهای شیمیایی، آلی و زیستی با نیاز غذایی ارقام مختلف گیاهی در سیستم زراعی مستقر در محل و لحاظ تنش‌های محیطی و (۳) انتشار دانش و فناوری تلفیقی محلی در سایت‌های الگویی با مشارکت مروجین پهنه تولیدی و گروه کشاورزان داوطلب تا حصول دستاورد و اثربخشی در کل منطقه (شکل ۶) در عملیاتی نمودن مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران می‌بایست برداشته شود.



شکل ۱۴- چارچوب بهترین مدیریت کوددهی در راهبرد مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه

در یک نگاه کل‌نگر به اکوسیستم زراعی، برای دستیابی به پایداری حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه با هدف افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی و بهبود حاصلخیزی خاک به ویژه افزایش کربن آلی خاک، نیازمند تغییر نگرش از سطح مزرعه‌ای به سطح منطقه‌ای و لحاظ نمودن شاخص‌های پایداری در توصیه مصرف کودها (شیمیایی، آلی و زیستی) می‌باشیم. از طرف دیگر مدیریت بهینه تغذیه گیاه و افزایش کارایی استفاده از عناصر غذایی باید در یک سیستم زراعی و در قالب تناوب زراعی رایج باشد. برای داشتن یک سیستم کشاورزی پایدار، استفاده از نهاده‌هایی که جنبه‌های اکولوژیکی سیستم زراعی را بهبود بخشیده و مخاطرات زیست محیطی را کاهش دهند ضروری است. لذا انتخاب رویکرد مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه توصیه می‌شود؛ در این نوع مدیریت در یک مسیر تکاملی با مشارکت کلیه ذینفعان رقم گیاهی، کودهای شیمیایی، آلی و زیستی، سیستم زراعی، شرایط اقلیمی و خاکی و شرایط اقتصادی و اجتماعی مد نظر قرار می‌گیرد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



شکل ۶- تعمیم نتایج به منظور تسریع پذیرش مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه. تاکید بر اختصاص زمان کافی برای کشاورزان جهت خوگرفتن با فن آوری در گروه کشاورزان قبل از اجرای انفرادی آن

## ۸-منابع

- ۱- ابطی، ع. و همکاران. ۱۳۷۹. فرهنگ کشاورزی و منابع طبیعی (شامل تعریف و معادل فارسی واژه های علمی). جلد دهم خاکشناسی.
- ۲- اسماعیلی. م.، گلچین، ا.، و درودی، م.س. (۱۳۷۹). تعیین حد متعادل عناصر غذایی در سیب به روش DRIS. مجله علوم خاک و آب. ۲۶-۲۲ (۸): ۱۲
- ۳- بصیرت، م. (۱۴۰۰). تعیین حدود بحرانی عناصر غذایی تعیین حدود بحرانی عناصر معدنی ماکرو و میکرو در باغات سیب در استان های آذربایجان غربی (ارومیه، سلماس، مهاباد) و اصفهان (سمیرم) به منظور کوددهی مناسب. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران (در حال انتشار)
- ۴- بصیرت، م. (۱۴۰۰). تعیین حدود بحرانی عناصر معدنی ماکرو و میکرو در باغات خرما در استان های کرمان، بوشهر، خوزستان و هرمزگان به منظور کوددهی مناسب. گزارش نهایی، انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران (در حال انتشار).
- ۵- بصیرت، م.، حقیقت نیا، ح.، و موسوی، س.م. (۱۳۹۷). ارزیابی و تعیین وضعیت تغذیه ای باغات پرتقال رقم والنسیا در جنوب استان فارس. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۱۵۴-۱۴۳: ۳۲ (۱)
- ۶- بلالی، م. ر. ۱۳۸۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "تاثیر عناصر کم مصرف و اثر متقابل آنها بر افزایش تولید گندم آبی". مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ایران.
- ۷- بلالی، م. ر.، رضایی، ح. و مشیری، ف. (۱۳۹۳). وضعیت حاصلخیزی خاک های کشور و ضرورت ارتقای توان آن برای خدمات رسانی به تولیدات کشاورزی. ص. ۴۸-۱۷. در کتاب: خوازی، ک. و همکاران (نویسندگان). برنامه جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه ۱۴۰۱-۱۳۹۳. جلد اول. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران
- ۸- بلالی، م. ر.، وغفاری نژاد، س. ع. (۱۳۹۸). تحلیل وضعیت حاصلخیزی خاک کشور از دیدگاه مدیریت تلفیقی: چالشها و راهبردها. مجموعه مقالات شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران. ۸-۵ شهریور ۱۳۹۸. دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
- ۹- بلالی، م. و ملکوتی، م. (۱۳۷۷). بررسی تغییرات پتاسیم قابل جذب در خاکهای زراعی کشور. مجله علمی پژوهشی خاک و آب. ۱۲ (۴): ۵۶-۶۹.
- ۱۰- جعفرزاد، ع. (۱۳۷۶). بررسی اثرات پتاسیم و ریزمغذیها بر عملکرد کمی و کیفی نیشکر در خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- ۱۱- خادمی، ز.، مسیح آبادی، ح.، رضایی، ح.، طهرانی، م.م.، بازگان، ک.، بلالی، م.ر.، سپهر، ا.، فیض الله زاده اردبیلی، م.، اسدی، ف. و .... (۱۳۸۴). گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "شناسایی و انتخاب هدفمند مکانهای مطالعاتی در خاکهای تحت کشت گندم". نشریه شماره ۱۲۴۴، موسسه تحقیقات خاک و آب، تهران، ایران.
- ۱۲- خوگر، ز. (۱۳۸۴). بررسی چگونگی افزایش و تخلیه فسفر در خاک. گزارش نهایی پروژه. موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.
- ۱۳- دریاشناس، ع و دهقانی، ف. (۱۳۸۱). تعیین حد بهینه عناصر غذایی در انار استان یزد به روش DRIS. نشریه فنی شماره ۱۱۴۰ موسسه تحقیقات خاک و آب.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

- ۱۴- دریاشناس، ع. و دهقانی، ف. (۱۳۸۱). تعیین حد بهینه عناصر غذایی در انار استان یزد به روش DRIS. نشریه فنی شماره ۱۱۴۰ موسسه تحقیقات خاک و آب.
- ۱۵- دریاشناس، ع. و. رضایی، ح. (۱۳۸۹). تعیین نرم های استاندارد دریس (DRIS) برای چغندر قند پاییزه در استان خوزستان. مجله چغندر قند. ۲۶(۲): ۱۸۳-۲۰۴.
- ۱۶- رستگار، ح. و تدین، م.س. (۱۳۸۱). گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "تعیین حد بهینه عناصر غذایی در مرکبات جنوب کشور به روش DRIS. موسسه تحقیقات خاک و آب.
- ۱۷- زارع مهرجردی، م. ۱۳۹۱. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "تعیین شاخص های DOP و بررسی وضعیت نیتрат در میوه خیار گلخانه ای استان یزد". موسسه تحقیقات خاک و آب.
- ۱۸- شهبازی، ک. ۱۳۸۷. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "تهیه بانک اطلاعات مکاندار حاصلخیزی خاک در کشور". موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ایران.
- ۱۹- طاهری، م.، معاف پوریان، غ.، صلاحی فراهی، م.، آجیلی لاهیجی، ع. (۱۳۹۸). بررسی وضعیت تغذیه ای و ارتباط آن با صفات کمی و کیفی میوه در باغهای زیتون کشور. گزارش نهایی، انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. شماره نشریه، ۲۲۳۰.
- ۲۰- طهرانی، م. م. (۱۳۸۹). گزارش نهایی گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "تعیین پراکنش و توصیه عناصر غذایی در اراضی زیر کشت محصولات آبی شش استان کشور". مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کرج. ایران.
- ۲۱- طهرانی، م. م.، بلالی، م.، مشیری، ف.، و دریاشناس، ع.م. (۱۳۹۱). توصیه و برآورد کود در ایران: چالشها و راهکارها. مجله پژوهش های خاک. ۲۶ (۲)، ۱۴۴-۱۲۳.
- ۲۲- گلستانی فرد، ح.، توفیقی، ح. (۱۳۸۷). تثبیت پتاسیم در خاکهای شالیزار شمال ایران. علوم کشاورزی ایران. ۳۹(۱): ۱۸۵-۱۷۳.
- ۲۳- گودرزی، ک. و حسینی فرهی، م. (۱۳۸۷). ارزیابی تعادل تغذیه ای در تاکستان های استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از روش دریس. مجله علوم و فنون باغبانی ایران. ۵۸-۴۸ (۱): ۹.
- ۲۴- مستشاری، م. (۱۳۹۳). گزارش نهایی طرح تحقیقاتی "شناخت ناهنجاری های تغذیه ای و حد مطلوب عناصر غذایی در محصولات زراعی گندم و ذرت استان قزوین". موسسه تحقیقات خاک و آب.
- ۲۵- مستشاری، م.، خسروی نژاد، ا.، بصیرت، م. ۱۳۹۶. ارزیابی تعادل تغذیه ای در باغ های انگور به روش تشخیص چندگانه عناصر غذایی یا (CND)، پانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، اصفهان.
- ۲۶- مستشاری، م.، گلمحمدی، م.، پیله فروش، م. (۱۳۹۰). تعیین انحراف از حد بهینه عناصر پرمصرف و کم مصرف باغات زیتون در استان قزوین. هفتمین کنگره علوم باغبانی ایران. اصفهان.
- ۲۷- مشیری، ف.، بلالی، م.، ر.، رجالی، ف. (۱۳۹۸). چارچوب مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه در ایران. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۷-۵ شهریور، ۱۳۹۸، زنجان، ایران.
- ۲۸- مشیری، ف. و زاهدی فرد، ن. (۱۳۹۸). بیان عناصر غذایی در خاکهای کشاورزی ایران. شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، ۷-۵ شهریور، ۱۳۹۸، زنجان، ایران.
- ۲۹- ملکوتی، م. ج.، غیبی، م. ن. (۱۳۷۹). تعیین حد بحرانی عناصر غذایی موثر در خاک، گیاه و میوه. نشر آموزش کشاورزی.
- ۳۰- میرزاشاهی، ک. (۱۳۹۵). بررسی تاثیر منابع و مقادیر مختلف کودهای آلی در تامین پتاسیم مورد نیاز گیاه در تناوب گندم - ذرت. گزارش نهایی پروژه. موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج، ایران.
- ۳۱- نورقلی پور، ف. (۱۴۰۰). تغذیه تلفیقی کلزا در برخی از مزارع مناطق گرم و سرد کشور (پایلویت تغذیه کلزا). گزارش نهایی. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

- 32- Ahmad, W., Zia, M.H. Malhi, S.S., Niaz, A. and Saifullah. (2012). Boron Deficiency in Soils and Crops: A Review, Crop Plant, Dr Aakash Goyal (Ed.), ISBN: 978-953-51-0527-5, InTech, Available from <http://www.intechopen.com/books/crop-plant/boron-deficiency-in-soils-and-crops-a-review>.
- 33- De Pauw, E., Ghasemi Dehkordi, V.R., and A. Ghaffari. (2018). Agroecological Zones. In: Roostitalab M., Siadat H., Farshad A. (eds.) The Soils of Iran. World Soils Book Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69048-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69048-3_9)
- 34- Gillespie, A.R., and Pope, P.E. (1991). Consequences of rhizosphere acidification on delivery and uptake kinetics of soil phosphorus. Tree Physiology, 8, 195-204.
- 35- IFA, International Fertilizer Association. (2021). IFASTAT. <https://www.ifastat.org/>
- 36- Moshiri, F., Samavat, S. and Balali, M.R. (2017). Soil organic carbon: A key factor of sustainable agriculture in Iran. pp. 492-496. Proceedings of the global symposium on soil organic carbon. 21-23 March, 2017. FAO, Rome, Italy.
- 37- Mostashari, M., Khosravinejad, A., and Golmohammadi, M. (2018). Comparative Study of DOP and CND Methods for Leaf Nutritional Diagnosis of Vitis Vinifera in Iran. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 49(5):576-584.
- 38- Tan, Z.X., Lal, R., and Wiebe, K.D. (2005). Global soil nutrient depletion and yield reduction. Journal of Sustainable Agriculture, 26, 123-146.

## Sustainability of soil fertility in Iran

Farhad Moshiri, Mohammadreza Balali, Seyed Ali Ghaffarinejad, Seyed Majid Mousavi

Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

### Abstract

The sustainability of soil fertility is one of the main components in sustainable agriculture. The investigation of fertility status of agricultural soils in the country shows a deficiency of organic carbon, phosphorus and potassium in 62, 70 and 28.7% of soils, respectively. Deficiencies of micronutrients, especially iron and zinc, are observed in a considerable part of soils. The balance studies of phosphorus and potassium show a decrease in the amount of these elements in the cultivated soils. Deficiency of soil nutrients and their negative balance, which indicates the instability of the fertility of the country's agricultural soils, is manifested in the form of nutrients imbalance in crops and orchards. Non-compliance of fertilizer application rates with the estimations was identified as the main causes of soil fertility instability. In order to overcome the above challenges, the model of integrated management of soil fertility and plant nutrition was suggested which it is defined as the correct and suitable use of the optimal combination of organic, chemical and biological sources of nutrients along with adaptation to environmental and local conditions to optimize the use of inherent resources of soil in an agricultural system, to achieve soil fertility stability, improve the nutrient use efficiency and optimal production without harming the soil ecosystem.

**Keywords:** Soil fertility; Sustainable agriculture; Integrated soil fertility and plant nutrition management

## الگو و ترکیب کشت مبتنی بر آینده‌پژوهی

حسن معصومی

دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی و کارشناس ارشد مطالعات کشاورزی مهندسين مشاور یکم. کدپستی ۹۳۱۹۷-۱۴۱۶۷.  
پست الکترونیکی (Hassan.masoumi@yekom.com)

### چکیده

ایران به علت قرار گرفتن در کمربند میانی و ناحیه خشک تا نیمه خشک، جزء مناطق کم آب جهان بشمار می‌رود. این موضوع به همراه محدودیت‌های مربوط به استفاده از اراضی کشاورزی آبی-که بار اصلی تامین غذای کشور را بر عهده دارد-، امنیت غذایی جمعیت در حال رشد کشور را در افق ۲۰ ساله آینده، با چالش‌های جدی رو به رو خواهد کرد. مگر آن‌که با تغییر در استراتژی‌های بخش کشاورزی (به عنوان مهم‌ترین و بزرگ‌ترین مصرف کننده آب کشور) و اتخاذ راهکارهایی مانند اصلاح الگو و ترکیب کشت، موجبات ارتقاء بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی را فراهم آورد. در این بررسی که به روش اسنادی و کتابخانه‌ای صورت گرفته است، ضمن بررسی پیشینه و چالش‌های الگوی کشت کشور در شرایط موجود، به برخی از اهم عوامل موثر در تدوین الگوی کشت کشور در شرایط آینده نیز، اشاره شده است. بررسی پیشینه الگوی کشت کشور نشان داده است که نبود یک چارچوب نظام‌مند، مهمترین چالش تدوین و اجرای الگوی کشت در کشور بوده است. به عبارت دیگر، الگوهای موجود عمدتاً در یک چرخه تدریجی، بر حسب دانش بومی، خرده‌بازارهای محلی و سلیقه کشاورز و به ندرت با لحاظ ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شکل گرفته‌اند. با توجه به چالش‌ها و تهدیدهای موجود و ضرورت توجه به امنیت غذایی جامعه، لازم است الگوهای کشت در شرایط آینده، با توجه به رهیافت اکولوژیک، به همراه سیاست‌های تشویقی و حمایتی دولت در رواج این

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

الگوها، توجه به تکمیل زنجیره ارزش و فرهنگ سازی کاهش مصرف اقلیمی که در حال حاضر در سبد غذایی کشور بیشتر از نیازهای روزانه مصرف می شود، صورت پذیرد.

**واژگان کلیدی:** امنیت غذایی، بهره‌وری، پهنه‌بندی جغرافیایی.

### مقدمه

افزایش جمعیت و تلاش‌ها برای تامین غذا از یک طرف و تغییرات اقلیمی به خصوص خشکسالی‌ها که عمدتاً نیز در مناطق پرجمعیت جهان رخ داده است، فشار بر منابع آب و خاک را چند برابر نموده است. به گونه‌ای که در حال حاضر ظرفیت منابع آب در جهان روندی نزولی بخود گرفته و تدوام آن می‌تواند بحران‌های زیست‌محیطی و انسانی را در برخی مناطق به همراه داشته باشد (سبزواری و همکاران، ۱۳۹۹). در حال حاضر، ۲۶ کشور جهان با کمبود شدید آب روبه‌رو هستند که بیشتر این کشورها در آفریقا و خاورمیانه قرار دارند. با توجه به این که کشاورزی آبی همواره سهم اصلی را در تامین غذای انسان بر عهده داشته است، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵، با توجه به روند نزولی ظرفیت منابع آب در دنیا و افزایش جمعیت به حدود ۸ میلیارد نفر، تولید غذا از این اراضی و به تبع آن امنیت غذایی - به خصوص در کشورهای در حال توسعه<sup>۸۷</sup> - به شدت تهدید شود (کریم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). بر اساس پژوهش‌ها و مطالعات انجام شده، ایران به علت قرار گرفتن در کمربند میانی و ناحیه خشک تا نیمه‌خشک، جزء مناطق کم‌آب جهان بشمار می‌رود (ابراهیمی خوسفی و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی‌های موسسه بین‌المللی مدیریت آب نشان می‌دهد که کشور ایران در سال ۲۰۲۵ میلادی جزء کشورهای با بحران آب قرار خواهد داشت. پژوهش‌های محققان داخلی نیز، شاخص سرانه منابع آب تجدیدپذیر در ایران را نزولی نشان داده است. بر این اساس، مقدار این شاخص از ۵۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۴۴ به ۲۱۰۰ و ۱۸۶۰ مترمکعب در سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۸۵ رسیده و در سال ۱۴۰۴ نیز به کمتر از ۱۳۰۰ مترمکعب خواهد رسید (کشاورز و دهقانی سانچ، ۱۳۹۱). در حال حاضر این شاخص از کمتر از ۵۰۰ مترمکعب در مناطق مرکزی و شرقی تا بیش از ۴۰۰۰ مترمکعب در برخی از مناطق جنوب و غرب کشور متغیر برآورد شده است که نشان دهنده ورود اغلب مناطق کشور به مرحله تنش آبی بوده که در صورت تداوم روند فعلی افزایش جمعیت و مدیریت تقاضا و الگوی مصرف آب، به مرحله بحران نیز وارد خواهند شد (کیانی قلعه سرد و همکاران، ۱۳۹۸). بر اساس بررسی‌های کشاورز و دهقانی سانچ (۱۳۹۱)، از حدود ۳۷ میلیون هکتار اراضی مستعد کشاورزی کشور، به دلیل محدودیت منابع آب، فقط ۸/۷ میلیون هکتار آن فاریاب محسوب می‌شود. از طرف دیگر از ۹۲ میلیارد مترمکعب آب استحصال شده از منابع سطحی و زیرزمینی کشور، حدود ۸۴ میلیارد مترمکعب (حدود ۹۲ درصد) آن در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد. میزان برداشت از منابع تجدیدپذیر ظرف ۲۰ سال آینده، حداکثر تا ۱۱۴/۵ میلیارد مترمکعب (حدود ۱۷ درصد افزایش نسبت به میزان فعلی) قابل افزایش است که با احتساب حداقل ۷/۵ میلیارد مترمکعب مصرف شرب، ۲/۵ میلیارد مترمکعب مصرف صنعت و اختصاص حداقل ۴ میلیارد مترمکعب (۵ درصد منابع) به محیط‌زیست، حداکثر آب قابل تخصیصی به بخش کشاورزی از ۸۴ به حدود ۱۰۰ میلیارد مترمکعب (معادل ۱۹ درصد) خواهد رسید. این در حالی است که به‌رغم این افزایش ناچیز در منابع آب کشاورزی کشور تا در افق ۲۰ سال آینده، نیاز به افزایش تولید محصولات کشاورزی در حدود ۱۸۰ میلیون تن (رشد ۱۰۰ درصدی نسبت به وضع فعلی) خواهد بود که فراهم نمودن آن با توجه به محدودیت‌های دسترسی به منابع آب جدید جهت توسعه کشاورزی، بسیار دور از ذهن خواهد بود. با عنایت به موارد اشاره شده، هرگونه تلاش در صرفه‌جویی و استفاده بهینه از آب (ارتقاء بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی)، با هدف جبران کم‌آبی در بخش کشاورزی (به عنوان بزرگ‌ترین و مهم‌ترین مصرف کننده آب در کشور) و پایداری امنیت غذایی اجتناب-ناپذیر است (کاظمی‌کرانی و همکاران، ۱۳۹۸). یکی از راهکارهای ارتقاء بهره‌وری آب، تدوین یا اصلاح الگو و ترکیب کشتی است که در آن علاوه بر ملاحظات فنی، به مسایل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نیز توجه کافی شده باشد (معصومی و همکاران، ۱۳۹۸). در این مقاله، با توجه به تجربیات طولانی مهندسين مشاور یکم در زمینه تدوین الگو و ترکیب کشت، بهره‌وری و رقابت‌پذیری بخش کشاورزی در مناطق مختلف عرصه سرزمینی، سعی شده است ضمن ارائه نتایج برخی از این تجربیات که با

<sup>۸۷</sup> بیش از ۸۰ درصد افزایش جمعیت در کشورهای در حال توسعه صورت می‌گیرد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

رعایت ملاحظات مذکور تدوین شده است، به بررسی چالش‌های الگوی کشت کشور از جنبه‌های مختلف و راهکارهای بهبود آن پرداخته شود.

### ۲- مروری بر ادبیات موضوع مورد بررسی

**بهره‌وری مصرف آب کشاورزی** در تعریف کلان، بهره‌وری عبارت است از "نسبت ستانده به داده" یا به صورت دقیق‌تر، "حاصل ترکیب کارایی و اثربخشی" بهره‌وری مصرف آب در بخش کشاورزی (بهره‌وری فیزیکی) نیز عبارت است از، "مقدار محصول تولید شده به ازای واحد حجم آب" که بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب بیان شد. در ارزیابی اثربخشی آب در تولید گیاه، علاوه بر بهره‌وری فیزیکی، ارزش ماده تولیدی (بهره‌وری اقتصادی) نیز بسیار مهم است. بر اساس تعریف، بهره‌وری اقتصادی، درآمد حاصل از مصرف هر مترمکعب آب و یا مقدار پروتئین و کالری تولید شده به ازای مقدار مشخصی از آب، می‌باشد (دهقان و همکاران، ۱۳۸۸). به عنوان مثال، در مقدار مشخصی از آب، تولید زعفران (با ارزش اقتصادی بالا) بسیار کمتر از تولید سیب‌زمینی خواهد بود. یعنی بهره‌وری فیزیکی آب در زعفران به طور طبیعی کمتر از سیب‌زمینی است ولی نباید این عدد معیار تصمیم‌گیری شود چون ارزش اقتصادی زعفران بسیار بالاتر از سیب‌زمینی است. برای تعیین شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، در صورت کسر بهره‌وری، به جای تولید، سود خالص دریافتی (تفاوت ناشی از درآمد محصول و هزینه‌ها) قرار داده می‌شود (حمزه‌ای و بوذرجمهری، ۱۳۹۳). یکی از مهم‌ترین راهکارهای ارتقاء بهره‌وری (فیزیکی و اقتصادی) استفاده از الگوی کشت متناسب با رهیافت‌های بوم‌شناختی (فنی، اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی) است (کاظمی‌کرانی و همکاران، ۱۳۹۸). مطالعات متعددی در خصوص وضع موجود بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی و نیز راهکارهای ارتقاء آنها در ایران و جهان انجام شده است که در ادامه به برخی از مهم‌ترین آنها اشاره شده است:

کشاورز و دهقانی سانچ (۱۳۹۱) میانگین بهره‌وری آب در کشت آبی بر اساس میزان کل تولیدات کشاورزی (زراعت و باغبانی آبی) و کل آب مصرفی در بخش کشاورزی با صرف‌نظر از ترکیب محصولات زراعی و تفاوت ریزش‌های جوی در مناطق مختلف کشور را، حدود ۰/۷ کیلوگرم به ازای یک مترمکعب آب آبیاری اعلام نمودند. بر اساس بررسی‌های برنامه‌ریزی کلان آب و آبفای وزارت نیرو، بهره‌وری در بخش کشاورزی کشور بسیار پایین بوده به طوری که در تولید یک کیلوگرم محصول کشاورزی، حدود یک متر مکعب آب مصرف می‌شود، این در حالی است که در کشورهای پیشرفته ۲/۵ تا ۳ کیلوگرم محصول با استفاده هر مترمکعب آب تولید می‌شود. در این گزارش، بهره‌وری اقتصادی آب کشاورزی کشور حدود ۲۰ سنت به ازای هر متر مکعب آب اعلام شده که این عدد در کشورهای توسعه یافته بیش از یک دلار است. در نهایت نیز نتیجه‌گیری شده است که در کشور برای تولید مواد غذایی، ناچار به استفاده آب بیشتر هستیم که با افزایش بهره‌وری می‌توان مصرف آب را کاهش داد. بر اساس نظر کارشناسان شرکت مدیریت منابع آب، رتبه بهره‌وری آب کشور در دنیا ۱۰۲ و بسیار نگران‌کننده اعلام شده است. بر اساس این نظر، در ایران به ازای هر یک متر مکعب آب ۸۰۰ گرم ماده خشک کشاورزی تولید می‌شود در حالی که در اروپا این میزان سه کیلوگرم است. بر اساس برآورد نظری و همکاران (۱۳۹۷) متوسط شاخص کارایی مصرف آب مزرعه در کشور در دامنه ۱-۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب است. به عبارتی، در کشور برای تولید هر یک کیلوگرم محصول، حدود ۱/۲۵-۱/۰ مترمکعب آب مصرف می‌شود. وی در تحقیق خود نشان داد که مهم‌ترین فاکتور در ارتقاء کارایی مصرف آب، مدیریت زراعی بوده و مهارت و دانش فنی کشاورزی نقش کلیدی در این زمینه ایفا می‌نماید، به نحوی که حتی کاربرد سیستم‌های آبیاری مدرن نظیر آبیاری تحت فشار در شرایط عدم وجود مهارت و دانش کافی کشاورزی نمی‌تواند مقدار کارایی مصرف آب را نسبت به سیستم‌های آبیاری سطحی به طور موثری بهبود بخشد.

در تحقیقات (Mango et al., 2018)، نشان داده شد که اصلاح الگوی کشت و بهبود شیوه‌های مدیریتی آب و خاک در سال‌های اخیر سبب افزایش مقادیر بهره‌وری آب شده است. در ترکیه، متوسط دامنه تغییرات بهره‌وری آب ذرت بین ۱/۶۵ تا ۲/۵ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده و بیشترین مقدار به تیمارهای کم‌آبیاری تعلق داشته است (Zwart and Bastinaanssen, 2004). در تحقیقی (Cai and Rosegrant, 2003) روند تغییرات بهره‌وری آب را برای زراعت برنج و دیگر غلات طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۵ میلادی در مقیاس بین‌المللی مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج بدست آمده، روند افزایش بهره‌وری آب برنج در کشورهای در حال توسعه بیش از کشورهای توسعه یافته بوده و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ میلادی مقدار آن در هر دو سری کشورها

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

یکسان باشد ولی در مجموع، روند افزایش بهره‌وری آب برنج بسیار کند است و پیش‌بینی می‌شود مقدار فعلی ۰/۴۴ حداکثر به ۰/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب در سال ۲۰۲۵ میلادی برسد. بهره‌وری آب سایر غلات، دارای رشد افزایشی بیشتری است و پیش‌بینی می‌شود مقدار آن در کشورهای توسعه یافته از ۱ به ۱/۴ و در کشورهای در حال توسعه از ۰/۷ به ۱/۱ افزایش یابد.

**الگو و ترکیب کشت** در خصوص الگوی کشت تعاریف متعددی وجود دارد، اما جامع‌ترین آنها به صورت "تعیین یک نظام کشاورزی با مزیت اقتصادی پایدار مبتنی بر سیاست‌های کلان کشور، دانش بومی کشاورزان و بهره‌گیری بهینه از پتانسیل‌های منطقه‌ای با رعایت اصول اکوفیزیولوژیک تولید محصولات کشاورزی در راستای حفظ محیط زیست"، ارایه شده است (Manos et al., 2010). بر اساس این تعریف، الگوی کشت را می‌توان جانمایی صحیح تولید بر اساس پتانسیل‌های طبیعی، اصول اقتصادی و سیاست‌های استراتژیک کشور دانست. در کنار الگو، ترکیب کشت نیز نقش مهمی در بهره‌برداری پایدار از منابع و ارتقاء بهره‌وری دارد. بر اساس تعریف، ترکیب کشت نسبت تخصیص اراضی کشاورزی یک منطقه به انواع محصولات زراعی و باغی در یک فصل زراعی است. آنچه که در عرف به عنوان الگوی کشت مطرح است، برآیندی از مجموع الگو و ترکیب کشت است که با لحاظ نمودن سه هدف فنی، اقتصادی و استراتژیک تدوین شده و نشان می‌دهد که چه نوع محصولاتی با چه میزان، در چه مناطقی و در چه افق زمانی می‌بایست تولید شوند تا هم امنیت غذای جامعه تامین شود و هم پتانسیل منابع در دسترس و پایداری در بهره‌برداری از آنها، تامین گردد. محققان عقیده دارند که چون برنامه‌های الگوی کشت، تولید را به مکان‌های صحیح در بازه‌های زمانی مشخص منتسب می‌کند، به نوعی حرکت به سمت اجرای آمایش سرزمین در بخش کشاورزی بوده که دسترسی به تولید پایدار را در ازای بهره‌برداری و بهره‌وری مناسب از منابع پایه فراهم می‌نماید (وفابخش و همکاران، ۱۳۹۸). آنچه که از تعاریف بالا به وضوح قابل مشاهده است این است که، الگوی کشت، نظامی تک بعدی نبوده که بر اساس آن بتوان برنامه‌ای را به صورت قطعی و یکبار برای همیشه ابلاغ نمود. این مساله به‌خصوص در بنگاه‌های اقتصادی پرتنگ تر است. این بنگاه‌ها، قبل از هر چیز پیوسته بازار و تقاضا را برای محصولات مختلف رصد کرده و منابع تولید (سرمایه، آب، زمین، نیروی انسانی و ...) خود را بر اساس آنها مدیریت می‌کنند. شاید به همین دلیل است که کارشناسان، الگوی کشت را نظامی تشویقی و هدایت‌گر و نه ابلاغی دانسته که ماهیت دینامیک داشته و تابع اقتصاد و قیمت تمام شده کالای کشاورزی است (سایت خبرگزاری مهر، ۱۳۹۹). تدوین الگوی کشت با رعایت ملاحظات اشاره شده، می‌تواند مزایای زیر را به دنبال داشته باشد:

- پایداری استفاده از منابع پایه و ارتقاء ضریب بهره‌وری از آب و سایر نهاده‌ها در تولید محصولات کشاورزی؛
- ارتقاء امنیت غذایی و تضمین پایداری تولید؛
- حمایت موثر از تولید و صادرات با توجه به مزیت‌های نسبی و خلق مزیت‌های جدید؛
- حمایت موثر از سامان‌دهی فرآیند تولید و اصلاح نظام بازار محصولات کشاورزی با هدف بهبود رابطه‌ی مبادله‌ی بخش با سایر بخش‌ها؛

بررسی پیشینه برنامه‌های الگوی کشت در کشور نشان می‌دهد که این موضوع، همواره یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مسئولین مرتبط با وزارتخانه‌های کشاورزی و آب بوده است. شاید اولین برنامه رسمی الگوی کشت کشور مربوط به دهه ۱۳۵۰ خورشیدی باشد که با تهیه "برنامه جامع کشت سالانه کشور" آغاز و در ادامه در هر برهه‌های زمانی مختلف، متناسب با نیازهای موجود، با تغییرات و اصلاحاتی - که البته جامع و کامل نبوده است - دنبال شد (مردانی و همکاران، ۱۳۹۵). بر اساس نظر کارشناسان، الگوی کشت فعلی کشور متأثر از همین برنامه‌ها و اقدامات و عمدتاً بر پایه منابع آب و خاک موجود و در مواردی نیز بر پایه مزیت‌های اقتصادی بوده که با توجه به تغییرات اقلیمی و شرایط اقتصادی کشور و عدم رقابت‌پذیر بودن تولید برخی از محصولات، همواره با چالش‌هایی رو به رو شده است (سایت خبرگزاری مهر، ۱۳۹۹). با عنایت به این موضوعات، به نظر می‌رسد تغییر نگرش در تدوین الگوی کشت کشور به گونه‌ای که در آن مسایل فنی (انتخاب هدفمند محصولات در پهنه‌های جغرافیایی مختلف بر اساس مطالعات تناسب اراضی)، مدیریتی (زمان کاشت، ارقام مناسب، تناوب زراعی و ...)، مسایل اقتصادی (هزینه و درآمد، بازار، رقابت‌پذیری و ...)، اجتماعی (نظام بهره‌برداری، سطح آگاهی کشاورزان، مشارکت‌پذیری و ...)، منابع آب در دسترس (با توجه به قرار گرفتن کشور در کمربند خشک و نیمه خشک دنیا)، زیست‌محیطی (به منظور پایداری در تولید) و استراتژیک (امنیت غذایی و ...)، با هم لحاظ شود، ضروری است. این نگرش در حال حاضر در قالب برنامه‌ریزی‌های محلی در کشور در حال انجام است اما

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

می‌طلبند با بهره‌گیری از نتایج آنها و نیز اصلاح و تکمیل روش‌های بکار گرفته شده، در سطوح منطقه‌ای و ملی نیز مورد توجه قرار داده شوند. مطالعات مختلفی با رویکردهای نوین در خصوص الگوی کشت در ایران و دنیا انجام شده است که در ادامه به برخی از این نتایج آنها ارایه شده است:

معصومی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی با هدف ارتقاء بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب ناشی از اجرای الگوی کشت بهینه و رعایت مدیریت جامع آب، خاک و گیاه در محدوده مطالعاتی میان‌دوآب از حوضه بزرگ دریاچه ارومیه که با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی صورت گرفت نشان دادند که مجموعه اقدامات انجام شده، ضمن کاهش حدود ۳۵ درصدی مصرف آب کشاورزی، سبب ارتقاء ۴۰ درصدی بهره‌وری فیزیکی و ۲۵/۵ درصدی بهره‌وری اقتصادی آب خواهد شد. وفابخش و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه تطبیقی الگوی کشت و تناسب اراضی محصولات زراعی و باغی عمده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان دادند که بهینه‌سازی الگوی کشت با در نظر گرفتن تناسب اراضی و محدودیت‌های منطقه‌ای برای محصولات، باعث کاهش ۱۱/۷ درصدی در مصرف آب و افزایش ۲۷/۱ و ۴۳/۹ درصدی کل درآمد منطقه و شاخص بهره‌وری اقتصادی آب در مقایسه با الگوی کشت موجود گردید.

در تحقیقی (Mihammadi et al., 2016) الگوی کشت را با تأکید بر منافع اجتماعی در بهره‌برداری منطقی آب در تولید محصولات زراعی برای استان فارس انجام دادند. آنها گزارش کردند که در الگوی کشت بهینه با هدف حداکثرسازی منافع اجتماعی، محصولاتی مانند گندم آبی و دیم، ذرت دانه‌ای، هندوانه، خیار، عدس آبی و لوبیا از برنامه حذف شده و محصولات جو دیم، خربزه و پیاز به ترتیب با ۳۳۱۹۳، ۱۴۷۷ و ۴۳۱۲۶ هکتار وارد الگوی کشت می‌شوند. کریم زاده و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با هدف ارتقاء بهره‌وری آب و کارایی انرژی در انتخاب الگوی کشت در مزارع کوچک مقیاس در شهرستان چناران نشان دادند که تدوین الگوی کشت بهینه با استفاده از برنامه‌ریزی خطی باعث کاهش ۲۷ درصدی تقاضای آب، افزایش ۲/۸۸ برابری درآمد خالص و ارتقاء ۲۸ درصدی بهره‌وری انرژی در این اراضی شد. در تحقیقی (Joulaei et al., 2005) مدل برنامه‌ریزی چند منطقه‌ای را که توانایی تمایز منابع مشترک و غیر مشترک را داشت، در سه شهرستان استان فارس بکار گرفتند. نتایج نشان داد که با کاربرد این مدل می‌توان سود کل را نسبت به وضع موجود به میزان قابل توجهی افزایش داد. امینی فسخودی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی کسری چندهدفه، الگوی کشت بهینه را با اهداف حداکثرسازی سود خالص به آب مصرفی و حداکثرسازی اشتغال به آب مصرفی برای منطقه برآآن اصفهان انجام دادند. بر اساس نتایج بدست آمده، محصولات گندم، برنج و یونجه از ترکیب کشت حذف و سطح زیرکشت جو و ذرت علوفه‌ای افزایش و سطح زیر کشت پیاز کاهش یافت.

در تحقیقی (Sun et al., 2015) الگوی کشت منطقه هتائو در کشور چین را طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۶۰ بررسی و گزارش نمودند که با کشت محصولاتی نظیر آفتابگردان و هندوانه که سود اقتصادی بالاتری را نسبت به غلات تولید می‌کنند، بهره‌وری اقتصادی آب افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که تغییر الگوی کشت اثر قابل توجهی بر میزان بهره‌وری منطقه‌ای آب داشت. Li et al., (2017) با استفاده از مدل برنامه‌ریزی فازی چندهدفه نادقیق<sup>۸۸</sup> به تدوین الگوی بهینه زراعی شهر ووئی در استان گانسو<sup>۸۹</sup> چین پرداختند. بر اساس نتایج بدست آمده، با بهینه‌سازی الگوی کشت، سود اقتصادی ۱۶/۶۵-۷/۰۵ درصد، بهره‌وری آب ۳۳/۱۵-۲۸/۶۸ درصد و کارایی تولید آب ۴۷/۵۹ و ۳۹/۲۲ درصد افزایش و تبخیر و تعرق ۲۳/۱۰-۲۰/۹۶ درصد کاهش پیدا کرد. در این مدل همچنین، سطح زیرکشت گندم، ذرت، لوبیا و سبزیجات کاهش و سطح زیرکشت ذرت دانه‌ای، دانه‌های روغنی، خیار و انگور افزایش داشت.

### ۳- مواد و روش‌ها

این مقاله، به شیوه اسنادی و کتابخانه‌ای و بر اساس جمع‌بندی نظرات مسئولین، کارشناسان و متخصصین الگوی کشت کشور و نیز تجربیات طولانی مهندسين مشاور یکم در زمینه تدوین الگو و ترکیب کشت، بهره‌وری و رقابت‌پذیری بخش کشاورزی در مناطق مختلف عرصه سرزمینی، تهیه شده است. هدف از تهیه این مقاله، بررسی چالش‌های الگوی کشت کشور، رویکردهای نو

<sup>۸۸</sup>- Inexact multi-objective fuzzy programming model

<sup>۸۹</sup>- Wuwei (Gansu Province)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

در تدوین تدوین یا اصلاح الگوهای کشت آبی و نیز ارایه تجربیات مهندسين مشاور یکم در تدوین الگوهای کشت با رعایت رویکردهای نوین می‌باشد.

### • لیست برخی از تجربیات مهندسين مشاور یکم در ارتباط با تدوین الگوی کشت و بهره‌وری آب کشاورزی

- مطالعات تدقیق الگوی کشت استان‌های قم، سمنان، تهران و اصفهان؛
- مطالعات ارایه راهکارهای اجرایی نمودن مصوبه کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی زیرحوضه زرینه‌رود و سیمینه‌رود از حوضه بزرگ دریاچه ارومیه (مساحت اراضی کشاورزی حدود ۱۸۰ هزار هکتار)؛
- مطالعات فاز اول ارتقاء بهره‌وری و رقابت‌پذیری گندم در کشور؛
- مطالعات فاز دوم ارتقاء بهره‌وری و رقابت‌پذیری گندم در کشور: امکان‌سنجی توسعه زنجیره ارزش گندم در کشور؛
- مطالعات بازنگری الگوی کشت اراضی پایاب سد آیدوغموش استان آذربایجان شرقی؛
- مطالعات تناسب اراضی و تدوین الگوی کشت اراضی پایاب سد آزاد، گاران، زیویه، امیرآباد در شهرستان‌های سنندج، کامیارن و مریوان (استان کردستان)؛
- مطالعات مرحله دوم تدوین الگوی کشت جهت توسعه باغ در اراضی شیبدار شهرستانهای شاهرود و دامغان؛
- مطالعات تدوین الگوی کشت و طراحی روش‌های نوین آبیاری در دشت‌های رزن، قهاوند و فامنین (استان همدان)؛
- مطالعات توسعه کشاورزی و تدوین الگوی کشت در اراضی پایاب سد شهید سرداری تبریز؛
- مطالعات بازنگری الگوی کشت و طراحی شبکه آبیاری و زهکشی نخیلات پایین دست رودخانه جراحی (شهرستان شادگان)؛
- مطالعات توسعه کشاورزی و تدوین الگوی کشت در اراضی زیرسد رییس‌علی دلواری استان بوشهر؛
- مطالعات توسعه کشاورزی و تدوین الگوی کشت در اراضی پایاب سد جگین؛
- مطالعات طرح جامع توسعه کشاورزی و منابع طبیعی حوزه‌های آبخیز کویر سیاه‌کوه، ریگزیرین، کُر، سیوند، مُند، حله، کارون شمالی، زاینده‌رود؛
- مطالعات سنتز طرح‌های جامع توسعه کشاورزی و منابع طبیعی در استان‌های فارس، یزد و هرمزگان؛

### • روش‌شناسی بکار گرفته شده توسط مهندسين مشاور یکم در مطالعات تدوین الگوی کشت

جهت تدوین الگو و ترکیب کشت، سه گام شامل؛ "مطالعات وضع موجود کشاورزی و تناسب اراضی"، "انتخاب گونه‌های گیاهی قابل ورود به الگوی کشت و انتخاب محصول" و "تعیین سهم هریک از محصولات جهت کشت در منطقه" مد نظر قرار داده خواهد شد که جزئیات آن در نمودار ۱ ارایه شده است.

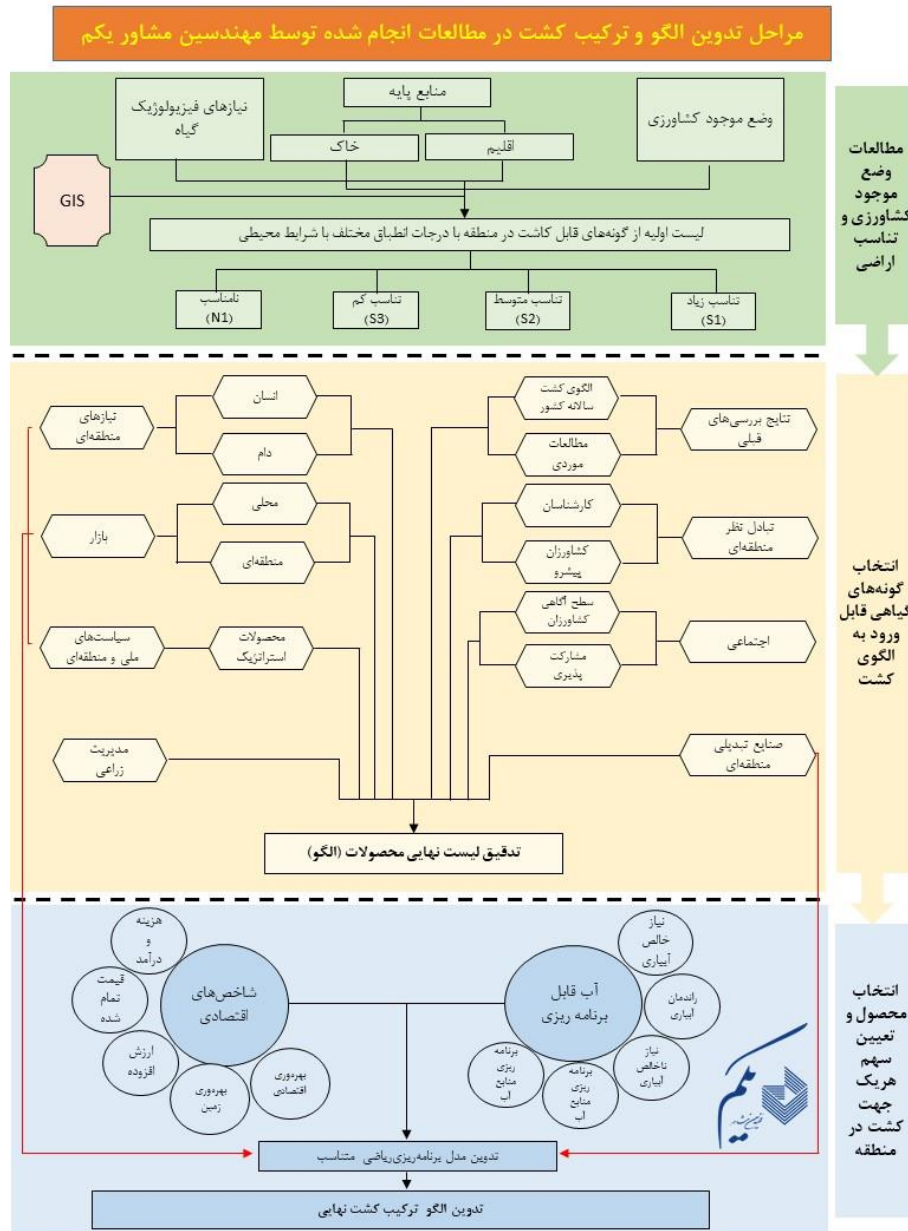
## ۴- نتایج برخی از مطالعات صورت گرفته توسط مهندسين مشاور یکم در خصوص الگوی کشت

### • مطالعات تدقیق الگوی کشت استان اصفهان

در این مطالعه با رعایت متدولوژی ارایه شده در نمودار ۱ و به منظور تامین سه هدف بیشینه‌سازی سود خالص کل، کمینه‌سازی مصرف آب آبیاری مورد استفاده و کمینه‌سازی مصرف کودها و سموم (شاخص حفظ محیط‌زیست)، با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چند هدفه، الگو و ترکیب کشت استان اصفهان به تفکیک شهرستان نسبت به سال پایه (۱۳۹۸) تدقیق شد. در این مطالعات، ابتدا نسبت به تهیه نقشه تناسب اراضی محصولات اقدام شد (نقشه ۱). بر اساس بررسی‌های انجام شده، دو محصول کم‌آبر جو علوفه‌ای و گلرنگ به الگوی کشت استان اضافه و شلتوک از این مجموع کنار رفته است. همچنین، علوفه‌های کم آبری چون سورگوم علوفه‌ای، کوشیا و خارشر در مناطقی که تناسب اراضی مناسب داشتند، به الگوی کشت شهرستان‌ها و

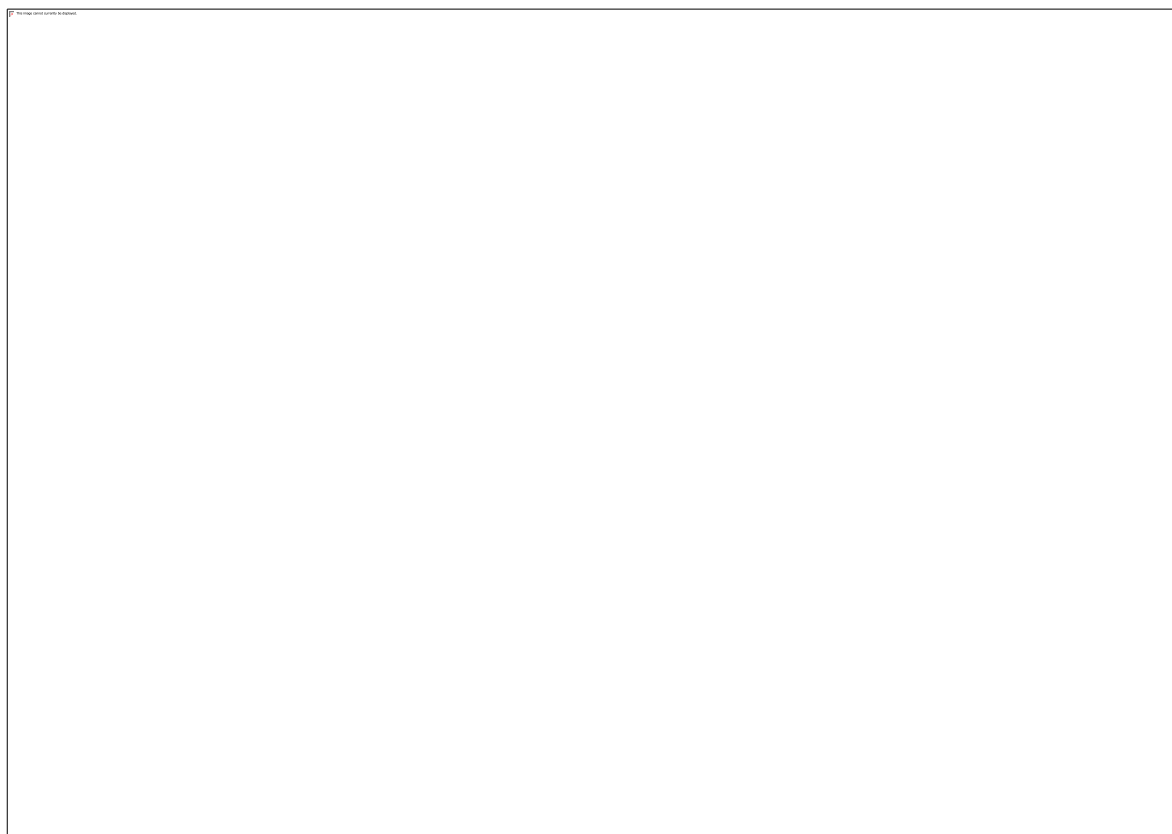
## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

در نهایت استان اضافه شد. کشت سبزی و صیفی در محیط گلخانه‌ای براساس ظرفیت‌های اعتباری و فنی اضافه و در عوض در فضای باز، کاهش یافت. به سطح محصولی مثل زعفران که ارزش اقتصادی قابل توجهی برای مناطق مستعد استان ایجاد می‌کند نیز اضافه گردید. سطح باغ‌ها تا حد ممکن حفظ و در مناطقی که آب قابل برنامه‌ریزی پایدار کمتر بود، باغ‌های درجه ۳ کاهش یافتند. سطح باغ‌ها تا حد ممکن حفظ و در مناطقی که آب قابل برنامه‌ریزی پایدار کمتر بود، باغ‌های درجه ۳ کاهش یافتند. البته پیش‌بینی شده که در همین مناطق با اصلاح باغ‌های درجه ۲، عملکرد آنها در وضع موجود افزایش یابد. سطح زیر کشت سایر گیاهان چندساله از جمله اسپرس، یونجه و گیاهان دارویی نیز به شکلی تنظیم شده که پایداری لازم را مبتنی بر شرایط بدبینانه سناریوی آبی کم آبی شدید داشته باشد (مهندسین مشاور یکم، ۱۴۰۰). خلاصه وضعیت شاخص‌های فنی و اقتصادی مطالعات انجام شده در وضع موجود و الگوی پیشنهادی در جدول ۱ و نمودار ۲ ارائه شده است.



نمودار ۱ گام‌های بکار گرفته شده توسط مهندسین مشاور یکم در مطالعات تدوین الگو و ترکیب کشت

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



نقشه ۱: نمونه‌ای از نتایج تناسب اراضی محصول یونجه در شهرستان خوانسار (استان اصفهان)

جدول ۱ مقایسه تغییرات الگوی کشت موجود و پیشنهادی استان اصفهان

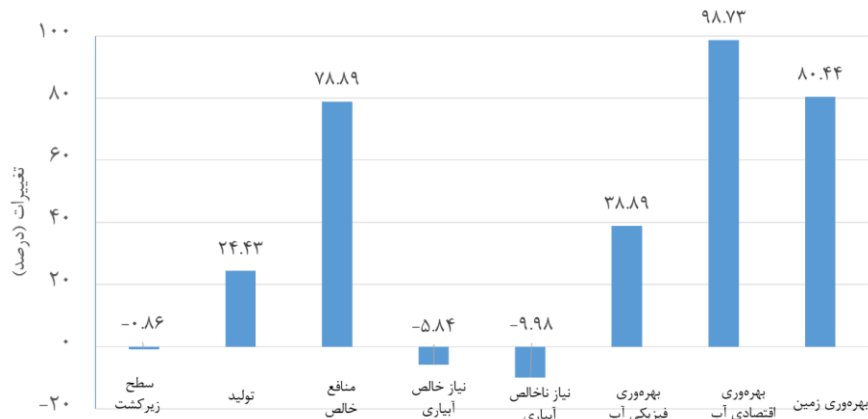
| گروه محصول | شرح محصول      | سطح زیر کشت (هکتار) |                | تغییرات الگوی پیشنهادی به موجود |       |
|------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------------------|-------|
|            |                | الگوی موجود         | الگوی پیشنهادی | هکتار                           | درصد  |
| غلات       | گندم           | ۶۳,۸۳۷              | ۵۶,۸۹۶         | (۶,۹۴۱)                         | -۱۰,۹ |
|            | جو             | ۴۷,۴۵۱              | ۴۵,۰۹۶         | (۲,۳۵۵)                         | -۵    |
|            | ارزن           | ۲,۰۵۴               | ۲,۳۵۸          | ۳۰۴                             | ۱۴,۸  |
|            | ذرت دانه ای    | ۱۰۰                 | ۹۱             | (۹)                             | -۹    |
|            | سورگوم دانه ای | ۷۵                  | ۶۳             | (۱۲)                            | -۱۶   |
| حبوبات     | شلتوک          | ۴,۴۰۹               | ۳,۷۳۳          | (۶۷۶)                           | -۱۵,۳ |
|            | عدس            | ۴۵۱                 | ۵۳۶            | ۸۵                              | ۱۸,۸  |
|            | ماش            | ۱۳۵                 | ۱۸۳            | ۴۸                              | ۳۵,۶  |
|            | نخود           | ۴۲۵                 | ۱,۰۱۲          | ۵۸۷                             | ۱۳۸,۱ |
|            | لوبیا          | ۲,۵۹۳               | ۵,۱۴۶          | ۲,۵۵۳                           | ۹۸,۵  |
| جالیز      | هندوانه        | ۱,۷۵۷               | ۴۱۸            | (۱,۳۳۹)                         | -۷۶,۲ |
|            | خربزه          | ۲,۸۳۶               | ۹۶۷            | (۱,۸۶۹)                         | -۶۵,۹ |
|            | طالبی و گرمک   | ۳,۶۴۵               | ۱,۳۵۳          | (۲,۲۹۲)                         | -۶۲,۹ |
|            | کدو            | ۵۲۶                 | ۶۳۸            | ۱۱۲                             | ۲۱,۳  |
|            | خیار           | ۱,۴۰۹               | ۶۲۹            | (۷۸۰)                           | -۵۵,۴ |
| سبزیجات    | گوجه فرنگی     | ۱,۵۷۸               | ۱,۱۴۳          | (۴۳۵)                           | -۲۷,۶ |
|            | بادمجان        | ۷۷۱                 | ۳۷۴            | (۳۹۷)                           | -۵۱,۵ |
|            | باقلا          | ۴۵۹                 | ۴۶۰            | ۱                               | ۰,۲   |
|            | پیاز           | ۴,۸۹۳               | ۵,۰۳۸          | ۱۴۵                             | ۳,۰   |
|            | لوبیا سبز      | ۲۹۵                 | ۲۳۱            | (۶۴)                            | -۲۱,۷ |
|            | سیر و موسیر    | ۱۳۵                 | ۶۸۲            | ۵۴۷                             | ۴۰۵,۲ |
|            | سیب زمینی      | ۱۶,۶۱۲              | ۱۲,۲۲۴         | (۴,۳۸۸)                         | -۲۶,۴ |
|            | سایر سبزیجات   | ۲,۹۸۴               | ۵,۶۹۴          | ۲,۷۱۰                           | ۹۰,۸  |

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

**ادامه جدول ۱ مقایسه تغییرات الگوی کشت موجود و پیشنهادی استان اصفهان**

| گروه محصول        | شرح محصول               | سطح زیر کشت (هکتار) |                | تغییرات الگوی پیشنهادی به موجود |
|-------------------|-------------------------|---------------------|----------------|---------------------------------|
|                   |                         | الگوی موجود         | الگوی پیشنهادی | هکتار                           |
| نباتات علوفه ای   | شیدر                    | ۱.۶۵۵               | ۹۲۹            | (۷۲۶)                           |
|                   | سورگوم علوفه ای         | ۷۲۱                 | ۳.۳۹۹          | ۲.۶۷۸                           |
|                   | ذرت علوفه ای            | ۱۷.۰۴۰              | ۱۴.۹۰۳         | (۲۰.۱۳۷)                        |
|                   | شلغم و چغندر علوفه ای   | ۱.۴۱۱               | ۱.۳۸۹          | (۲۲)                            |
|                   | سایر نباتات علوفه ای    | ۱.۳۷۲               | ۷۲۱            | (۶۵۱)                           |
|                   | فصلیل جو                | ۱.۳۴۲               | ۱۶.۳۱۶         | ۱۴.۹۷۴                          |
|                   | یونجه                   | ۳۱.۰۵۰              | ۲۱.۶۳۶         | (۹.۴۱۴)                         |
|                   | اسپرس                   | ۷.۷۶۴               | ۴.۲۶۸          | (۳.۴۹۶)                         |
|                   | کوشیا                   | ۰                   | ۱۵۲            | ۱۵۲                             |
|                   | خارشتر                  | ۰                   | ۹۷             | ۹۷                              |
| دانه های روغنی    | افتابگردان روغنی        | ۳۲                  | ۱۰۴            | ۷۲                              |
|                   | گلرنگ                   | ۸۱۲                 | ۳.۹۸۵          | ۳.۱۷۳                           |
|                   | کلزا                    | ۳۷۴                 | ۸۳۰            | ۴۵۶                             |
|                   | کنجد                    | ۲۱۲                 | ۳۷۹            | ۱۶۷                             |
| گیاهان صنعتی      | چغندر قند               | ۲.۴۳۴               | ۱.۹۰۷          | (۵۲۷)                           |
|                   | توتون و تنباکو          | ۶۳۶                 | ۴۹۹            | (۱۳۷)                           |
|                   | پنبه                    | ۱.۶۸۰               | ۱.۴۱۹          | (۲۶۱)                           |
|                   | روناس                   | ۳۰                  | ۳۸             | ۸                               |
|                   | کینوا                   | ۶                   | ۷۱۶            | ۷۱۰                             |
| سایر گیاهان زراعی | افتابگردان اجیلی        | ۱.۰۰۰               | ۸۱۶            | (۱۸۴)                           |
|                   | زیره                    | ۱۸۴                 | ۳۳۳            | ۱۴۹                             |
|                   | تخم کدو                 | ۸۷                  | ۳۰             | (۵۷)                            |
| جمع زراعی         |                         | ۲۲۹.۲۷۴             | ۲۱۹.۸۳۴        | (۹.۴۴۰)                         |
| میوه های هسته دار | آلبالو و گیلاس          | ۲.۱۴۱               | ۱.۵۱۵          | (۶۲۶)                           |
|                   | گوجه                    | ۱.۲۱۴               | ۱.۱۴۲          | (۷۲)                            |
|                   | آلو                     | ۵۸۰                 | ۴۷۰            | (۱۱۰)                           |
|                   | شفتالو                  | ۱۹                  | ۱۹             | ۰                               |
|                   | زردآلو                  | ۲.۲۸۷               | ۲.۰۰۷          | (۲۸۰)                           |
|                   | شلیل                    | ۱۰۵                 | ۶۶             | (۳۹)                            |
|                   | هلو                     | ۱.۷۱۱               | ۱.۵۰۹          | (۲۰۲)                           |
| میوه های دانه دار | سیب                     | ۲۰.۰۷۷              | ۲۰.۱۳۹         | ۶۲                              |
|                   | گلابی                   | ۸۷۹                 | ۵۲۷            | (۳۵۲)                           |
|                   | به                      | ۲.۴۰۳               | ۲.۱۷۶          | (۲۲۷)                           |
|                   | انار                    | ۷.۶۱۱               | ۶.۹۹۳          | (۶۱۸)                           |
|                   | انگور                   | ۶.۲۵۲               | ۷.۳۸۱          | ۱.۱۲۹                           |
|                   | انجیر                   | ۱۱۱                 | ۱۱۱            | ۰                               |
| سایر محصولات باغی | گردو                    | ۳.۸۸۵               | ۳.۹۹۴          | ۱۰۹                             |
|                   | فندق                    | ۲                   | ۲              | ۰                               |
|                   | بادام                   | ۷.۲۱۰               | ۶.۹۴۵          | (۲۶۵)                           |
|                   | پسته                    | ۸.۷۸۶               | ۱۳.۲۶۳         | ۴.۴۷۷                           |
|                   | خرما                    | ۳۶۷                 | ۳۶۷            | ۰                               |
|                   | گلستان (گل محمدی)       | ۳.۶۳۱               | ۴.۲۸۵          | ۶۵۴                             |
|                   | باغات مخلوط             | ۸۸۵                 | ۷۸۱            | (۱۰۴)                           |
|                   | خرمالو                  | ۴۹                  | ۴۶             | (۳)                             |
|                   | زیتون                   | ۷۴۱                 | ۹۳۳            | ۱۹۲                             |
|                   | زرشک                    | ۲۱                  | ۲۷             | ۶                               |
|                   | عناپ                    | ۸                   | ۵              | (۳)                             |
|                   | زعفران                  | ۱.۴۵۲               | ۲.۲۰۲          | ۷۵۰                             |
|                   | جمع باغی                | ۷۲.۴۲۶              | ۷۶.۹۰۵         | ۴.۴۷۹                           |
| گلخانه ای         | خیار گلخانه ای          | ۸۰۹                 | ۱.۰۶۶          | ۲۵۷                             |
|                   | فلفل گلخانه ای          | ۴۶۵                 | ۸۵۴            | ۳۸۹                             |
|                   | گوجه فرنگی گلخانه ای    | ۱۶۴                 | ۵۰۸            | ۳۴۴                             |
|                   | بادمجان گلخانه ای       | ۳۴                  | ۱۶۷            | ۱۳۳                             |
|                   | توت فرنگی گلخانه ای     | ۱۵                  | ۲۱             | ۶                               |
|                   | گیاهان دارویی گلخانه ای | ۱۰                  | ۲۷             | ۱۷                              |
|                   | سایر سبزیجات گلخانه ای  | ۳۶۹                 | ۷۴۹            | ۳۸۰                             |
|                   | سایر محصولات گلخانه ای  | ۱۷                  | ۹۷             | ۸۰                              |
| جمع گلخانه ای     |                         | ۱.۸۸۲               | ۳.۴۸۹          | ۱.۶۰۷                           |
| گیاهان دارویی     | سایر محصولات دارویی     | ۱.۹۶۶               | ۲.۷۰۶          | ۷۴۰                             |
| جمع استان         |                         | ۳۰۵.۵۴۸             | ۳۰۲.۹۳۴        | (۲.۶۱۴)                         |

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



### نمودار ۲ تغییرات شاخص‌های فنی-اقتصادی در الگوی کشت موجود و پیشنهادی استان اصفهان

- مطالعات ارائه راهکارهای اجرایی نمودن مصوبه کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی زیرحوضه زربینه‌رود و سیمینه‌رود از حوضه بزرگ دریاچه ارومیه

زیرحوضه آبریز سیمینه‌رود و زربینه‌رود با مساحتی معادل ۱۷۵۶۳ کیلومترمربع بزرگترین زیرحوضه آبریز دریاچه ارومیه است. قسمت عمده آن در استان آذربایجان غربی و بخش کوچکی از آن در استان‌های آذربایجان شرقی و کردستان واقع شده است. رودخانه‌های زربینه و سیمینه‌رود با پتانسیل آبدهی حدود ۳ میلیارد مترمکعب در سال، سهمی حدود ۵۰ درصدی از جریان‌های ورودی به دریاچه ارومیه را دارا می‌باشند که در سال‌های اخیر و با گسترش و توسعه انواع بهره‌برداری‌ها (به خصوص کشاورزی)، این رودخانه‌ها، کارکرد خود در زمینه تأمین بخش مهمی از حق‌آبه دریاچه ارومیه را از دست داده و جزو کانون‌های بروز بحران در دریاچه قلمداد شده‌اند. در این مطالعات که با جامعیت حدود ۱۵ موضوع تخصصی انجام گرفت، الگوی کشت با رعایت اصول اشاره شده در نمودار ۱ و با هدف بهینه‌سازی مصرف آب و نیز لحاظ نمودن محدودیت‌هایی نظیر عدم کاهش سطح زیرکشت، ارتقاء درآمد و یا حفظ آن حداقل در حد وضع موجود، عدم کاهش اشتغال به کمتر از ۹۰ درصد فعلی، حفظ ظرفیت صنایع تبدیلی، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی<sup>۹۰</sup> تعیین گردید. در الگوی کشت پیشنهادی، سهم محصولات پر آب‌بری مانند چغندرقد، پیاز و یونجه، متناسب با ظرفیت صنایع تبدیلی و تکمیلی واقع در استان و نیز لحاظ نمودن امنیت غذایی دام در محدوده‌های مطالعاتی این زیر حوضه تعدیل (کاهش) یافت. همچنین محصولاتمانند کلزا، سورگوم علوفه‌ای، حبوبات و زعفران پس از انجام مطالعات تناسب اراضی و تعیین کلاس‌های تناسب آنها، به برخی از محدوده‌های مطالعاتی این زیرحوضه وارد شدند. الگوی باغی غالب در این زیر حوضه، سیب بود که بررسی‌ها نشان دادند حدود ۲۰ درصد از آنها، درجه دو بودند که در عمل بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی پایینی داشتند. با توجه به مقاومت بالای اجتماعی در خصوص تغییر الگوی درختان سیب به گونه‌های کم‌آبر مانند بادام، گزینه اصلاح و نوسازی این باغات با هدف ارتقاء بهره‌وری در دستور کار قرار داده شد. بر اساس محاسبات صورت گرفته در صورت رعایت الگوی کشت پیشنهادی و تهمیداتی نظیر بهبود راندمان آبیاری و نیز مدیریت جامع آب و خاک گیاه، بدون این که مساحت اراضی کشاورزی کاهش یابد، میزان تولیدات بخش کشاورزی از ۱۹۰۰/۹۸ هزار تن در وضع موجود به ۲۰۹۴/۴۷ هزار تن (معادل ۱۰/۱۸ درصد) در شرایط آتی ارتقاء نشان داد. در عین حال، بازده هر مترمکعب آب مصرفی نیز از ۳۶۹۹ ریال بر مترمکعب در سال پایه با ۴۷ درصد افزایش به ۵۴۳۲۷ ریال بر مترمکعب رسید. ارزش افزوده هر متر مکعب آب مصرفی نیز از ۴۹۹۴ ریال بر مترمکعب در سال پایه با ۴۹ درصد افزایش به ۷۴۴۱ درصد ارتقاء خواهد یافت. در بخش آب نیز، مصرف خالص آب کشاورزی با ۱۹/۲۵ درصد کاهش از ۷۲۲/۴۴ میلیون مترمکعب در وضع موجود به ۵۴۰/۴۳ میلیون مترمکعب در شرایط آتی خواهد رسید. با احتساب افزایش راندمان آبیاری از ۴۱/۸ درصد به ۴۸/۹ درصد، مصارف ناخالص آب کشاورزی نیز با ۳۵/۹۳ درصد کاهش به ۱۵۳۶/۴۴ میلیون متر مکعب کاهش خواهد یافت (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۸). در

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

جداول ۳ و ۴ و نمودار ۳ نتایج محاسبات انجام شده، ارایه شده است.

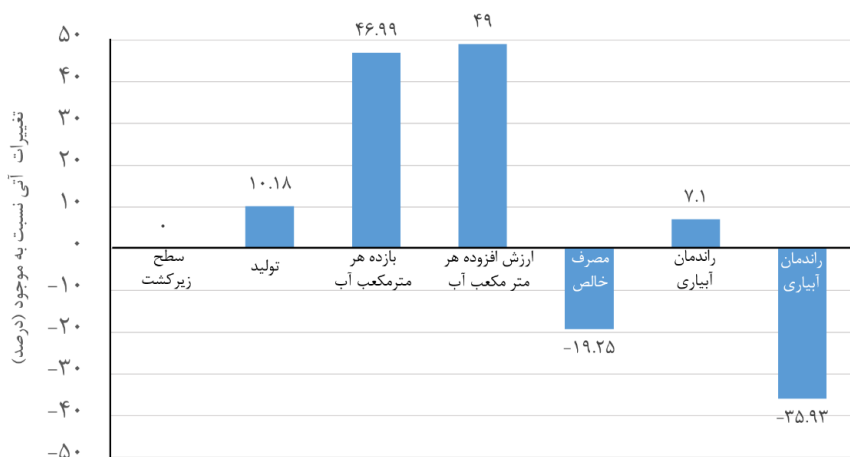
جدول ۳ تغییرات الگو و ترکیب کشت در محدوده‌های مطالعاتی زیرحوضه زرینه‌رود و سیمینه‌رود از حوضه بزرگ دریاچه ارومیه

| محصول             | شاهین دژ |          | میان‌دوآب |          | تکاب  |          | سقز    |          | بوکان  |          | مجموع   |          |
|-------------------|----------|----------|-----------|----------|-------|----------|--------|----------|--------|----------|---------|----------|
|                   | موجود    | پیشنهادی | موجود     | پیشنهادی | موجود | پیشنهادی | موجود  | پیشنهادی | موجود  | پیشنهادی | موجود   | پیشنهادی |
| گندم              | ۶۰۸۰     | ۵۰۹۳۵    | ۲۵۰۱۷۹    | ۲۴۰۱۳۹   | ۴۶۴   | ۴۱۲      | ۳۰۸۲۰  | ۲۰۵۴۲    | ۱۶۰۶۴۰ | ۱۲۰۸۵۵   | ۵۲۰۲۸۳  | ۴۵۰۸۸۳   |
| جو                | ۹۸۱      | ۱۰۳۲۷    | ۶۰۶۱۸     | ۷۰۹۵۸    | ۵۰    | ۳۳       | ۳۰۵۴۰  | ۱۰۳۰۷    | ۲۰۷۷۵  | ۳۰۳۵۱    | ۱۳۰۹۶۴  | ۱۳۰۹۷۶   |
| یونجه             | ۲۰۴۵۹    | ۱۰۵۸۱    | ۱۲۰۵۶۴    | ۹۰۴۸۴    | ۱۰۶۷۵ | ۸۶۳      | ۲۰۰۶۰  | ۱۰۴۹۶    | ۳۰۵۵۵  | ۲۰۷۵۹    | ۲۲۰۳۱۳  | ۱۶۰۱۸۳   |
| ذرت دانه ای       | ۰        | ۰        | ۶۹۲       | ۶۰۴      | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۶۹۲     | ۶۰۴      |
| چغندر قند         | ۹۷۰      | ۶۱۸      | ۶۰۲۶۹     | ۴۰۹۵۷    | ۰     | ۰        | ۵۸۰    | ۳۳۹      | ۳۰۱۰۰  | ۲۰۳۲۶    | ۱۰۰۹۱۹  | ۸۰۲۴۱    |
| سبزی و صیفی       | ۱۰۱۳۵    | ۱۴۰      | ۱۰۱۸۲     | ۰        | ۰     | ۰        | ۱۲۶    | ۱۲۶      | ۱۳۰    | ۰        | ۲۰۴۴۷   | ۲۶۶      |
| حبوبات            | ۶۳۲      | ۲۵۸      | ۱۰۲۲۳     | ۲۰۰      | ۹۷    | ۲۰۰      | ۸۴۵    | ۱۰۰۲۵    | ۱۰۴۹۶  | ۱۰۷۵۴    | ۴۰۰۲۲   | ۴۰۰۲۲    |
| سیب زمینی         | ۰        | ۰        | ۰         | ۴۰       | ۹۱۰   | ۰        | ۰      | ۰        | ۸۵     | ۰        | ۱۰۰۳۵   | ۰        |
| پیاز              | ۰        | ۸۹۴      | ۰         | ۰        | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۸۹۴     | ۰        |
| گوجه فرنگی        | ۰        | ۲۰۷۶۰    | ۰         | ۴۳       | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۲۷۵    | ۰        | ۳۰۰۳۵   | ۴۳       |
| آفتابگردان        | ۰        | ۰        | ۰         | ۰        | ۱۰۰۴۰ | ۰        | ۹۷۹    | ۰        | ۲۳۰    | ۱۰۱۴۴    | ۱۰۲۷۰   | ۲۰۱۲۳    |
| کلزا              | ۲۰۴۹۹    | ۰        | ۰         | ۵۰۴۰۲    | ۵۰۲   | ۵۰۲      | ۴۵۰    | ۲۰۶۰۲    | ۹۵     | ۲۰۶۹۶    | ۵۴۵     | ۱۳۰۷۰۱   |
| ذرت علوفه ای      | ۰        | ۰        | ۵۶۳       | ۱۱۵      | ۱۱۵   | ۰        | ۸۱۰    | ۰        | ۹۵۸    | ۰        | ۰       | ۲۰۴۴۶    |
| سورگوم علوفه ای   | ۰        | ۰        | ۱۰۷۵۹     | ۰        | ۰     | ۰        | ۹۱۵    | ۰        | ۰      | ۰        | ۰       | ۲۰۶۷۴    |
| خیار              | ۰        | ۰        | ۸۴        | ۰        | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۰       | ۸۴       |
| زعفران            | ۰        | ۰        | ۸۹۱       | ۱۰۴      | ۰     | ۱۰۴      | ۲۷۲    | ۰        | ۳۲۵    | ۰        | ۰       | ۱۰۵۹۲    |
| گل گاوزبان        | ۰        | ۰        | ۰         | ۰        | ۰     | ۰        | ۲۶۴    | ۰        | ۰      | ۰        | ۰       | ۲۶۴      |
| سایر              | ۹۴۹      | ۰        | ۰         | ۰        | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۹۴۹     | ۰        |
| جمع زراعت         | ۱۲۰۳۵۷   | ۱۲۰۳۵۷   | ۵۷۰۱۰۷    | ۵۷۰۱۰۷   | ۲۰۲۲۹ | ۲۰۲۲۹    | ۱۲۰۴۹۷ | ۱۲۰۴۹۷   | ۲۷۰۹۱۰ | ۲۷۰۹۱۰   | ۱۱۲۰۱۰۰ | ۱۱۲۰۱۰۰  |
| سیب               | ۳۰۲۳۲    | ۳۰۲۳۲    | ۱۶۰۲۵۱    | ۱۶۰۲۵۱   | ۳۰۰۴۰ | ۳۰۰۴۰    | ۹۱۰    | ۹۱۰      | ۳۰۱۴۰  | ۳۰۱۴۰    | ۲۶۰۵۷۳  | ۲۶۰۵۷۳   |
| انگور             | ۳۹۷      | ۳۹۷      | ۱۱۰۲۸۰    | ۱۱۰۲۸۰   | ۲۲۵   | ۲۲۵      | ۱۰۱۸۰  | ۱۰۱۸۰    | ۴۲۵    | ۴۲۵      | ۱۳۰۵۰۷  | ۱۳۰۵۰۷   |
| بادام             | ۰        | ۰        | ۴۰۸       | ۴۰۸      | ۱۴۰   | ۱۴۰      | ۵۹۸    | ۵۹۸      | ۱۳۷    | ۱۳۷      | ۱۰۲۸۳   | ۱۰۲۸۳    |
| خشکبار            | ۳۷۶      | ۳۷۶      | ۱۰۰۱۷     | ۱۰۰۱۷    | ۱۷۰   | ۱۷۰      | ۵۱۰    | ۵۱۰      | ۶۳۰    | ۶۳۰      | ۲۰۷۰۳   | ۲۰۷۰۳    |
| زردآلو            | ۰        | ۰        | ۶۴۹       | ۶۴۹      | ۲۷۳   | ۲۷۳      | ۵۴۰    | ۵۴۰      | ۱۵۵    | ۱۵۵      | ۱۰۶۱۷   | ۱۰۶۱۷    |
| گیلاس و آلبالو    | ۰        | ۰        | ۰         | ۰        | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۰       | ۰        |
| هلو، شلیل         | ۰        | ۰        | ۱۰۵۶۷     | ۱۰۵۶۷    | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۰       | ۰        |
| هسته دارها        | ۲۶۹      | ۲۶۹      | ۰         | ۰        | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۰       | ۰        |
| آلو و گوجه        | ۰        | ۰        | ۱۰۵۹۶     | ۱۰۵۹۶    | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۰       | ۰        |
| سایر باغ های میوه | ۰        | ۰        | ۴۳۵       | ۴۳۵      | ۰     | ۰        | ۰      | ۰        | ۰      | ۰        | ۰       | ۰        |
| غیر مثمر          | ۱۸۴      | ۱۸۴      | ۱۰۴۸۲     | ۱۰۴۸۲    | ۱۰۰   | ۱۰۰      | ۱۶     | ۱۶       | ۵۵۳    | ۵۵۳      | ۲۰۳۳۵   | ۲۰۳۳۵    |
| جمع باغ           | ۴۰۴۵۸    | ۴۰۴۵۸    | ۳۴۰۶۸۵    | ۳۴۰۶۸۵   | ۳۰۹۴۸ | ۳۰۹۴۸    | ۳۰۷۵۴  | ۳۰۷۵۴    | ۵۰۳۵۰  | ۵۰۳۵۰    | ۵۲۰۱۹۵  | ۵۲۰۱۹۵   |
| جمع زراعت و باغ   | ۱۶۰۸۱۵   | ۱۶۰۸۱۵   | ۹۱۰۷۹۲    | ۹۱۰۷۹۲   | ۶۰۱۷۷ | ۶۰۱۷۷    | ۱۶۰۲۵۱ | ۱۶۰۲۵۱   | ۳۳۰۲۶۰ | ۳۳۰۲۶۰   | ۱۶۴۰۲۹۵ | ۱۶۴۰۲۹۵  |

جدول ۴ تغییرات سطح زیر کشت، تولید، بازده و ارزش افزوده هر مترمکعب آب مصرفی در محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز زرینه‌رود و سیمینه‌رود

| پارامتر                                             | محدوده مطالعاتی |          |        |       |        |        | جمع     |
|-----------------------------------------------------|-----------------|----------|--------|-------|--------|--------|---------|
|                                                     | میان‌دوآب       | شاهین‌دژ | تکاب   | سقز   | بوکان  | جمع    |         |
| مساحت (هکتار)                                       | وضع موجود       | 95242    | 16815  | 6235  | 16978  | 34580  | 169850  |
|                                                     | آبی             | 95242    | 16815  | 6235  | 16978  | 34580  | 169850  |
| تولید (هزار تن)                                     | وضع موجود       | 1207.77  | 189.84 | 69.79 | 116.85 | 316.73 | 1900.98 |
|                                                     | آبی             | 1335.57  | 189.83 | 76.95 | 127.62 | 364.51 | 2094.47 |
| بازده هر متر مکعب آب مصرفی (ریال بر متر مکعب)       | وضع موجود       | 3420     | 3285   | 2803  | 3291   | 4830   | 3699    |
|                                                     | آبی             | 5118     | 4731   | 4753  | 5718   | 6459   | 5437    |
| ارزش افزوده هر متر مکعب آب مصرفی (ریال بر متر مکعب) | وضع موجود       | 4835     | 4777   | 4283  | 4430   | 5915   | 4994    |
|                                                     | آبی             | 6907     | 7166   | 6589  | 6464   | 8886   | 7441    |

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



نمودار ۳ تغییرات شاخص‌های فنی و اقتصادی در حوزه زبینه ورود و سیمینه رود

### ۵- آسیب‌شناسی الگوی کشت موجود و راهکارهای بهبود آن

#### • آسیب‌شناسی (چالش‌ها و تهدیدهای) الگوی کشت در ایران

در رویکرد جدید تعیین الگوی کشت، عوامل فنی، مدیریتی، اقتصادی، اجتماعی، میزان و ظرفیت قابل برنامه‌ریزی منابع پایه موجود (آب و خاک)، زیست‌محیطی و استراتژیک، می‌بایست به طور مستقیم و غیرمستقیم مد نظر قرار داده شوند. بررسی پیشینه الگوی کشت کشور نشان داده است که به‌رغم اهتمام و برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته، الگوهای پیشنهادی و اجرایی، عمدتاً بر پایه منابع آب و خاک موجود و بدون در نظر گرفتن ظرفیت‌های قابل برنامه‌ریزی آنها و ملاحظات زیست‌محیطی و یا اقتصادی و اجتماعی بوده است. شاید به زبان ساده‌تر بتوان گفت که، الگوی کشتی که در حال حاضر در کشور وجود دارد مبتنی بر ظرفیت‌های اکولوژیک، اقتصادی و اجتماعی نیست، چه اگر این گونه می‌بود، شور شدن خاک، افت سطح آب‌های زیرزمینی، بهره‌وری پایین، عدم رقابت‌پذیری محصولات در سطوح منطقه‌ای و فرمانطقه‌ای به این شدت، کشور را دچار بحران نمی‌نمود. نگاهی به الگوی کشت کشور در سنوات گذشته نشان می‌دهد که برخی از محصولات (به جز محصولات استراتژیک و تحت حمایت دولت مانند گندم و جو)، بدون در نظر گرفتن میزان انطباق نیازهای فیزیولوژیک آنها با شرایط محیطی مناطق مختلف (رویکرد فنی)، در اغلب مناطق کشور کشت می‌شوند. این محصولات که (مانند پیاز، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و ...)، اغلب به دلیل تقاضاهای مقطعی بازار در سال‌های مختلف به الگوی کشت مناطق مختلف - حتی پهنه‌های جغرافیایی غیرمستعد- وارد می‌شوند، ضمن برخورداری از عملکردهای پایین، هزینه تولید بالا و بهره‌وری فیزیکی پایین، به دلیل اشباع شدن بازار در زمان عرضه یکباره این محصولات و نبود زنجیره ارزش مناسب (انبار و صنایع تبدیلی)، از بهره‌وری اقتصادی بسیار پایینی نیز برخوردار می‌باشند. ضمن این که، کشت فراگیر این محصولات که اغلب آب‌بر نیز می‌باشند، به شدت تهدیدی برای پایداری در بهره‌برداری از منابع پایه (به خصوص آب) می‌شوند.

عدم توجه به نظام بهره‌برداری نیز یکی دیگر از چالش‌های برنامه‌های الگوی کشت در کشور است. در ایران با توجه به ساختار نظام بهره‌برداری (خرده مالکی) آن، الگوی کشت با معیشت و اشتغال کشاورزان گره خورده و تغییر و اصلاح آن عمدتاً زمان‌بر است. در برنامه‌های موجود نیز، مقیاس خرده مالکی به عنوان نقیصه و مانعی بزرگ همواره خودنمایی کرده است. این در حالی است که بنا به اظهار نماینده سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (فائو) در ایران، الگوی کشت در بسیاری از کشورهای در حال توسعه توسط کشاورزان خرده مالک اجرا می‌شود. البته پایداری در اجرای الگوی کشت تا حدود زیادی نیاز به تحولات و تغییرات اقتصادی و فرهنگی دارد. به عنوان مثال با ترویج محصولات اقتصادی که ضمن انطباق بالا با اقلیم یک منطقه، امکان کشت در مساحت‌های کوچک را نیز دارند و نیز مشوق‌ها و حمایت‌های دولتی از جمله خرید محصولات کشت‌شده با نرخ تضمین‌شده، کشاورزان به کاشت این محصولات تشویق خواهند شد. چنین نمونه‌هایی در حال حاضر در کشورهای چین و اندونزی نیز در حال اجرا است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

عدم توجه به مشارکت مردم (مسایل اجتماعی) نیز از دیگر چالش‌های الگوی کشت کشور است. از آنجایی که تاکنون در برنامه‌های مختلف الگوی کشت، به صورت ابلاغی و دستوری (از بالا به پایین) عمل شده و مسایل اجتماعی، فرهنگی و ترویجی در آنها جایگاه محکمی نداشته است، لذا مشارکت بهره‌برداران در پایین‌ترین سطح بوده و این برنامه‌ها هیچ‌گاه در کشور با توفیق همراه نبوده و اجرای آن نیز با ترس و واهمه از سوی مسئولین همراه است.

چنان‌که اشاره شد، عدم توجه به زنجیره ارزش نیز یکی دیگر از چالش‌های اجرای الگوی کشت در کشور است که جذابیت پذیرش و اجرای آن را برای کشاورزان کم می‌کند. این موضع یکی از ظرفیت‌های پنهان و مغفول بخش کشاورزی است که در صورت توجه صحیح به آنها به جهت ایجاد جذابیت‌های اقتصادی، ضمن کمک به اجرای برنامه‌های الگوی کشت موجب ارتقاء اشتغال‌زایی نیز خواهد شد.

یکی دیگر از موضوعاتی که در خصوص الگوی کشت کمتر به آن کمتر پرداخته شده است، اصلاح الگوی مصرف در مصرف کنندگان است. بر اساس بررسی‌های مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، در حال حاضر مصرف بر خی محصولات مانند گندم، برنج، سیب‌زمینی و انواع روغن در کشور بالاتر از حد استاندارد است که این موضوع سبب شده است این محصولات، به ناچار در الگوهای تدوین شده مناطق مختلف -حتی با پتانسیل‌های محیطی پایین- مورد تاکید باشند. در صورت تحقق امکان تغییر سبب غذایی مصرف‌کنندگان (که صد البته سخت و زمان‌بر نیز است)، طراحی الگوهای کشت با تاکید کمتری بر محصولات خاص انجام شده و از بروز فشار بیش از حدی بر منابع پایه (آب و خاک) کشور تا حدودی می‌کاهد. به عنوان مثال، کاهش چند درصدی مصرف گوشت در سبب غذایی سبب خواهد شد تا حضور محصولات علوفه‌ای آب‌بر در الگوی کشت تا حدودی کاهش یابد. به منظور تامین بخشی از کمبود پروتئین ناشی از کاهش مصرف گوشت، می‌توان اقدام به کشت غلات و حبوبات با نیازهای آبی کمتر کرد. در مثال دیگر، در صورت فرهنگ‌سازی به حضور بیشتر محصولات ماکارونی (گندم پایه) در سبب غذایی مصرف کنندگان، می‌توان بخشی از سطح زیرکشت برنج (با نیاز آبی بسیار بالا) را کاهش و به جای آن کشت گندم دوروم (با نیاز آبی به مراتب پایین‌تر از برنج) را توسعه داد.

با عنایت به موضوعات اشاره شده، می‌توان مهم‌ترین چالش‌های الگوی کشت در کشور را به طور خلاصه در عناوین زیر بیان نمود:

- عدم تعیین هدفمند محصولات بر اساس پهنه‌بندی جغرافیایی (عدم رعایت تناسب اراضی)؛
- کم‌رنگ بودن مسایل اجتماعی در انتخاب الگوهای کشت؛
- تصمیمات بخشی و دستگاهی متعدد در سطوح مختلف حاکمیتی و ناهماهنگی بین تصمیمات تاثیرگذار؛
- ناقص بودن یا ناکارآمدی سیاست‌های حمایتی دولت بر الگوهای کشت موجود به‌جز مواردی مثل کشت گندم؛
- نبود یک چارچوب نظام‌مند برای الگوهای کشت در کشور به‌گونه‌ای که الگوهای کشت موجود عمده‌تاً در یک چرخه تدریجی بر حسب دانش بومی، تقاضای بازار و سلیقه کشاورز شکل گرفته‌اند؛
- انتخاب و اختیار الگوی کشت بدون توجه به تاثیر آنها بر کیفیت و کمیت منابع آب و خاک، چه در کشاورزی خرد و چه در کشاورزی بزرگ مقیاس؛
- نادیده گرفتن عوامل مهمی چون ردپای آب در تدوین الگوی کشت؛
- وجود الگوهای کشت ناپایدار با بهره‌وری پایین عوامل تولید و مبتنی بر خرده بازارهای محلی؛
- عدم شکل‌گیری عرضه و تقاضا در کشور در یک چارچوب نظام‌مند. در نتیجه این امر تولید محصولات در یک چرخه صحیح تقاضا صورت نمی‌گیرد. درنهایت برخی محصولات بیش از نیاز یا کمتر از نیاز تولید شده و این باعث هدررفت منابع و سرمایه‌های ملی و به‌خصوص منابع آب می‌شود. این موضوع برای محصولاتی که در چرخه کشت فصلی هستند بیشتر تاثیرگذار است. مثال بسیار بارز آن پیاز و سیب‌زمینی است که در یک فصل به‌علت تولید بیش از حد، دورریز و امحا می‌شود و در یک‌سال به‌دلیل کمبود با افزایش قیمت بسیار زیاد مواجه می‌شود.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

- وجود فرهنگ مقدار مصرف خارج از چارچوب‌های استاندارد (مصرف بالاتر از حد مطلوب) برخی محصولات مانند گندم، برنج، سیب زمینی، انواع روغن و ... و ناچار تولید برخی از این محصولات در مناطقی با تناسب کم و در نتیجه بهره‌وری منابع تولید کم.

### • پیشنهادهایی در خصوص تدوین الگوهای کشت آبی

با توجه به چالش‌ها و تهدیدهای موجود و با توجه به تاکید رهبر معظم انقلاب اسلامی در قالب سند چشم‌انداز بیست ساله جمهوری اسلامی ایران در زمینه توجه ویژه به امنیت غذایی جامعه، لازم است برنامه‌ریزی‌های آبی در زمینه الگوهای کشت، با توجه به رهیافت‌های اکولوژیک (اصول فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی)، به همراه سیاست‌های تشویقی و حمایتی دولت در رواج این الگوها، توجه به تکمیل زنجیره ارزش و فرهنگ‌سازی کاهش مصرف اقلامی که در حال حاضر در سبد غذایی کشور بیشتر از نیازهای روزانه مصرف می‌شود، صورت پذیرد. در ادامه عناوین مهمترین عوامل موثر در تدوین الگوهای کشت آینده کشور، بر اساس دیدگاه متخصصان و کارشناسان زیربخش زراعت و باغ، ارائه شده است:

- انجام مطالعات الگوی کشت کشور با رهیافت اکولوژیک؛
- بکارگیری سیاست‌های تشویقی و حمایتی توسط دولت در راستای رواج الگوهای کشت اکولوژیک محور (متناسب با ظرفیت‌های منابع پایه) و با تاکید بر تولید محصولات استراتژیک در عرصه امنیت غذایی.
- توجه ویژه به تکمیل زنجیره ارزش (به خصوص صنایع تبدیلی و تکمیلی) با هدف ایجاد جذابیت‌های اقتصادی برای کشاورزان؛
- عدم اعمال تصمیمات ناگهانی به خصوص در زمینه تعرفه واردات و صادرات که موجی ایجاد جذابیت کاذب و یا از بین رفتن جذابیت تولید محصولات خاص در بین کشاورزان می‌گردد؛
- ترویج و فرهنگ‌سازی کاهش مصرف اقلامی که در حال حاضر در سبد غذایی کشور بیشتر از نیازهای روزانه مصرف می‌شود؛ از جمله برنج، نان، قند و شکر و تنظیم آنها مطابق استانداردهای تغذیه سالم.
- توسعه فعالیت‌های ترویجی در خصوص مزایای فنی، اقتصادی و زیست محیطی اصلاح الگوی کشت با هدف همراه کردن و مشارکت کشاورزان در اجرای الگوهای پیشنهادی؛

### ۶- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

با عنایت به موارد فوق مشخص می‌شود که صرف نظر از عوامل دخیل در مسایل فنی، به هیچ وجه نباید به مقوله برنامه‌ریزی الگوی کشت در آینده، بصورت انتزاعی و غیرمرتبط به جوامع و تمایل و خواست و امکانات بهره‌برداران نگریست. صرف فراهم بودن شرایط فنی استقرار الگوی کشت، تضمینی برای موفقیت تحقق اجرای آن در آینده وجود ندارد. تجربیات موجود در اراضی نوباد (دیم) که می‌بایست تحت شبکه آبیاری قرار گیرند، موید این نکته است که صرفاً با اتکاء به منابع تامین و توزیع آب و لحاظ پارامترهای فنی مرتبط به خاک و کشاورزی، نمی‌توان الگوی مناسب را پیشنهاد نمود. سطح دانش فنی کشاورزی، علایق جوامع محلی به تولید محصولات رایج، همچنین وجود بازارهای مناسب فروش و زیرساخت‌های انتقال محصول به بازار از عوامل مهم تاثیرگذار هستند. علاوه بر موارد فوق، ایجاد زمینه‌های همکاری‌های جمعی بهره‌برداران در استفاده از آب در قالب سازمان و تشکل‌های آبیاری بصورت داوطلبانه و رعایت الزامات استفاده از آب و سایر نهاده‌ها به نحوی که صورت‌بندی مناسب مشارکتی در جامعه برای پذیرش و بکارگیری الگوهای پیشنهادی شکل گیرد، از دیگر الزامات در استقرار الگوی مناسب با شاخصه‌های فنی مورد نظر است.

این الزام در اراضی آبی نیز مصداق دارد. تغییر الگوهای موجود با اهداف گوناگون مانند صرفه‌جویی در مصرف آب، در صورت عدم توجه به مسایل اقتصادی و معیشت کشاورزان منجر به مقاومت جوامع در برابر حذف و یا کاهش سطح محصولات پر آب‌بر، اما پربازده، درآمدزا و استراتژیک -مانند چغندر قند و یونجه- می‌شود. همانطور که در بخش پیشنهادها نیز اشاره شد، در این راستا لازم است با فنون تسهیل‌گری اجتماعی و مشارکتی، بهره‌برداران را داوطلبانه ملزم پذیرش الگوی مناسب در اراضی کشاورزی نمود. در این زمینه نقش مطالعات اجتماعی و اقدامات آموزشی، ترویجی و مشارکتی بسیار مهم و ضروری بوده که می‌بایست مورد تاکید ویژه قرار داده شود.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

نکته اساسی و پایانی این که، تدوین الگو و ترکیب کشت تنها با توجه به مسایل فنی و بدون لحاظ مسایل اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی (پایداری استفاده از منابع)، به هیچ عنوان قابلیت پذیرش و اجرا نخواهد داشت.

### ۷- تشکر و قدردانی

لازم است از راهنمایی‌های فنی آقایان مهندس سیدراشد علوی، مهندس میرشجاع چرخچیان و دکتر عادل ابراهیمی لویه (مدیر و کارشناس امور کشاورزی و اقتصادی و اجتماعی مهندسين مشاور یکم) کمال تشکر بعمل آید.

### منابع

- Cai, X., Rosegrant M.W. (2003). World Water Productivity: Current Situation and Future Options. CAB International 2003. 163-178.
- Joulaei R., Azar A., Chizari H. (2005). Several regional planning models and its application in agriculture, Case Study of Fars Province. Agriculture economics and development 13:87-125.
- Li, X., Kang, S., Niu, J., Du, T., Tong, L., Li, S., Ding, R. (2017). Applying uncertain programming model to improve regional farming economic benefits and water productivity. Agricultural Water Management 179: 352-365.
- Mango, N., Makate, C., Mapemba, L., Sopo, M. (2018). The role of crop diversification in improving household food security in central Malawi". *Agriculture & Food Security*. 7: 7.
- Manos B., J., Boumaris T., Voudouris K. (2010). A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. Journal of Environmental Management 91:1593-600.
- Mohammadi, H., Sargazi, A., Dehbashi, V., Poudineh, M. (2016). Optimization of cropping pattern with an emphasis on social benefits in the rational exploitation of water (A case study of Fars Province). Journal of Environmental Science and Technology 17: 107-115.
- Sun, S., Wu, P., Wang, Y., Zhao, X. (2015). Impact of changing cropping pattern on the regional agricultural water productivity. The Journal of Agricultural Science 153: 767-778.
- Zwart, S.J., Bastiaanssen, W.G.M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. Agricultural Water Management 69(2): 115-133.
- ابراهیمی خوسفی، ا. ابراهیمی، ز. عباسعلی، و. رضایی، ع. (۱۳۹۲). پیامدهای تغییر اقلیم بر کشاورزی و امنیت غذایی. نخستین کنفرانس بین‌المللی اکولوژی سیمای سرزمین. اصفهان. دانشگاه صنعتی اصفهان.
- امینی فسخودی، ع. نوری، س. ه. (۱۳۹۰). ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت سیستم‌های زراعی بر اساس بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب و خاک با استفاده از الگوهای غیرخطی برنامه‌ریزی ریاضی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک ۵ (۱۵). ۱۰۹-۹۹.
- حمزه‌ای، م. بوزرجمهری، خ. (۱۳۹۳). واکنش آثار و عوامل مؤثر بر گسترش الگوی کشت زعفران در شهرستان نیشابور (مطالعه موردی: دهستان اسحق آباد. نشریه علمی پژوهشی زراعت و فناوری زعفران ۲ (۴). ۲۷۷-۲۸۸.
- دهقان، ا. ذبیحی‌افروز، ر. حسینی‌ثابت، م. (۱۳۸۸). بهره‌وری محصولات زراعی در ازای مصرف آب در ایران و مقایسه آن با کشورهای جهان. انتشارات مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی، اقتصاد کشاورزی و توسعه روستایی: مدیریت امور پردازش یافته‌های تحقیقاتی.
- سایت خبرگزاری مهر ۱۳۹۹. مصاحبه با سرپرست معاونت زراعت و وزارت جهاد کشاورزی در خصوص جزئیات طرح الگوی کشت محصولات کشاورزی.
- سبزواری، ع. رجبی‌پور، ع. باقری، ن. (۱۳۹۹). تعیین الگوی کشت محصولات زراعی به عنوان راهکاری برای کاهش مخاطرات امنیت غذایی کشور. نشریه مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق) ۱ (۷). ۳۸-۲۳.
- کاظمی کرانی، ا. ثمره هاشمی، م. گلستانانی کرمانی، س. (۱۳۹۵). ارزیابی و انتخاب معیارهای بهینه الگوی کشت مبتنی بر توسعه پایدار. نشریه تحقیقات منابع آب ایران ۱ (۷). ۳۸-۲۳.
- کریم‌زاده، م. علیزاده، ا. انصاری، ح. قربانی، م. بنایان اول، م. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی بهره‌وری آب و کارایی انرژی در انتخاب الگوی کشت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران ۶ (۱۰). ۸۵۹-۸۴۹.
- کشاورز، ع. دهقانی‌سانج، ح. (۱۳۹۱). شاخص بهره‌وری آب و راهکار آتیه کشاورزی کشور.
- کیانی قلعه‌سرد، س. شهرکی، ج. اکبری، ا. سردار شاهرکی، ع. (۱۳۹۸). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران. نشریه مخاطرات محیط طبیعی ۲ (۸). ۴۰-۱۹.
- مردانی، م. نیکویی، ع. ضیائی، س. احمدپور، م. (۱۳۹۵). تدوین الگوی منطقهای کشت محصولات زراعی و باغی در استان اصفهان: رویکرد برنامه‌ریزی ساختاری چند هدفه. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی ۳۰ (۳). ۲۰۶-۱۸۸.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

- معصومی، ح. صفایی، ج. علوی، ر. (۱۳۹۸). ارتقاء بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب با اجرای الگوی کشت بهینه و رعایت مدیریت جامع آب، خاک و گیاه: (مطالعه موردی: محدوده مطالعاتی میان‌دوآب). اولین کنگره بین‌المللی و چهارمین کنگره لی آبیاری و زهکشی ایران. ارومیه. ایران.
- مهندسین مشاور یکم. (۱۳۹۸). مطالعات ارایه راهکارهای اجرایی نمودن مصوبه کاهش ۴۰ درصدی مصرف آب در بخش کشاورزی زیرحوضه زرینه‌رود و سیمینه‌رود از حوضه بزرگ دریاچه ارومیه. گزارش تلفیق.
- مهندسین مشاور یکم. (۱۴۰۰). مطالعات تدقیق الگوی کشت استان اصفهان. گزارش فنی-اقتصادی.
- نظری، ب. لیاقت، ع. نجفی علمدارلو، ح. فاضلی، م. جناب، م. فرح‌زاد، ن. سادات نائینی، م. احسانی، س. (۱۳۹۷). بررسی و تحلیل جامع شکاف بهره‌وری و تهیه راهنمای بهبود بهره‌وری آب کشاورزی با رویکرد توانمندسازی کشاورزان و پایداری در آبخوان‌ها. خلاصه مدیریتی گزارش طرح. مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب. (WP-86).
- وفاخش، ج. محمدزاده، آ. بازرگان، ک. نویدی، م.ن. (۱۳۹۸). مطالعه تطبیقی الگوی کشت و تناسب اراضی محصولات زراعی و باغی عمده در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. بوم‌شناسی کشاورزی ۳ (۱۱): ۸۰۵-۷۷۵.

### Cropping Pattern based on Future Study

Hassan Masoumi

Yekom Consulting Engineers. Ph.D of Crop Physiology and Supervisor of Agricultural studies. P.O.Box 14167-93197. Tehran, Iran

Email; Hassan.masoumi@yekom.com

#### Abstract

Due to its location in arid to semi-arid region, Iran is one of the least water-rich regions in the world. This, along with restrictions on the use of irrigated agricultural land, which is the country's main source of food supply, will pose serious challenges to the food security of the country's growing population over the next 20 years. Unless by changing in the strategies of the agricultural sector (as the most important and largest consumer of water in the country) and adopting strategies such as improving the cropping pattern, it will improve the physical and economic productivity of agricultural water. In this study, which has been done by documentary and library methods, while examining the background and challenges of the country's cropping pattern in the current situation, some of the most important factors influencing the development of the country's cropping pattern in the future are also mentioned. The study of the background of the country's cropping pattern has shown that the lack of a systematic framework has been the most important challenge in developing and implementing the cropping pattern in the country. In other words, the existing patterns have been formed mainly in a gradual cycle, based on indigenous knowledge, local markets and farmer tastes, and rarely on economic, social and environmental considerations. Given the existing challenges and threats and the need to pay attention to food security of society, it is necessary to develop cultivation patterns in the future, taking into account the ecological approach, along with incentive and supportive policies of the government in the spread of these patterns and creating a culture of reducing the consumption of products that are currently consumed in the country's food basket more than daily needs.

**Keywords;** Food security, Productivity, Geographical zoning.

### تهدیدات زیست محیطی و نقش عوامل زیستی در اکوسیستم‌ها

توسط: حبیب‌اله نادیان قمشه

استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان - [nadian\\_habib@yahoo.com](mailto:nadian_habib@yahoo.com)

دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

#### چکیده

تهدیدات زیست محیطی آثار زیان بار فعالیت های انسانی بر اکوسیستم‌هاست. بسیاری از آلاینده ها خواه مستقیم و خواه غیر مستقیم محیط زیست ما را تهدید میکنند. در اینجا فقط به دو تهدید شامل افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر و تجمع عناصر سنگین در منابع آبی و خاکی و پیامدهای آنها اشاره خواهد شد. نقش و مکانیزم گیاهان و ریزجاندان در کاهش اثرات مخرب این تهدید ها نیز بحث خواهد شد. قبل از عصر صنعتی شدن، غلظت دی‌اکسیدکربن در جو ثابت و در حدود ۲۸۰ پی‌پی‌ام بود ولی با توسعه و پیشرفت صنایع و استفاده فراوان از سوخت‌های فسیلی به تدریج غلظت دی‌اکسیدکربن به عنوان

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

فراوانترین گاز گلخانه‌ای افزایش یافت به نحوی غلظت این گاز در ماه اگوست ۲۰۲۱ به ۴۱۴ پی‌پی‌ام رسیده است. پیامدهای این افزایش شامل افزایش جهانی دمای کره زمین، تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌ها، بحرانهای آب و هوایی، تخریب اکوسیستم‌ها و تالاب‌ها و کاهش تولیدات کشاورزی می‌باشد که به تفصیل همراه با نقش جامعه زیستی بر این تهدیدها مورد بررسی قرار می‌گیرند. عناصر سنگین یکی دیگر از آلاینده‌های محیط زیست است که تحوه تاثیر آن بر محیط زیست و برهمکنش آنها با ریزجاندان و گیاهان مورد بحث قرار خواهد گرفت.

### مقدمه

امروزه با توجه به پیشرفت‌های شگرف صنعتی و دخالت‌های مستقیم و غیر مستقیم انسان در اکوسیستم‌های آبی، خاکی و جوی سلامت محیط زیست ما به شدت به مخاطره افتاده است. استفاده از سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و پیامدهای آن، استفاده از سموم در صنایع و کشاورزی مانند علف‌کشها، سموم مصرفی برای مبارزه با امراض و آفات گیاهان، وارد شدن عناصر سنگین در منابع آبی و خاکی ما و پیامدهای آن، استفاده فراوان از انواع پلیمرهای پلاستیکی، ورود پسماندها و پساب‌های صنعتی به محیط زیست و دیگر آلاینده‌ها از تهدیدهای خطرناک زیست محیطی می‌باشند. در اینجا از بین این آلاینده‌ها فقط به دو مورد مهم آن اشاره مختصر خواهد شد. آلاینده‌های زیست محیطی به مرزهای جغرافیایی محدود نمی‌شوند و لذا به همکاری و تلاشهای بین المللی جهت حفظ و سلامت محیط زیست نیاز می‌باشد. با توجه به پیامدهای مخرب رو به افزایش ناشی از مصرف فراوان سوخت‌های فسیلی، معاهده‌های بین المللی جهت مقابله با این خطرات منعقد شده است. از جمله معاهده کیوتو که در ۱۱ دسامبر سال ۱۹۹۷ در کیوتو ژاپن تشکیل و مقرر گردید تولید گازهای گلخانه‌ای خود را تا سال ۲۰۱۲ به میزان ۴/۲ درصد نسبت به سال پایه (۱۹۹۰) کاهش دهند. در توافق نامه آب و هوایی پاریس در دسامبر ۲۰۱۵ در پاریس ۱۹۵ کشور جهان توافق کردند تا میزان گازهای گلخانه‌ای خود را کاهش دهند. ولی روند افزایشی غلظت CO<sub>2</sub> جو همچنان ادامه دارد. البته اقداماتی جهت کاهش CO<sub>2</sub> جو صورت گرفته است. از جمله جمع آوری و متراکم کردن CO<sub>2</sub> از خروجی مراکز صنعتی و تزریق و مدفون نمودن آن به عمق دریا و یا به معادن زغال سنگ و چاه‌های نفت از کار افتاده.

بخش عظیمی از CO<sub>2</sub> جو توسط جامعه زیستی شامل گیاهان و ریزجاندانان خشکی و دریایی تثبیت میشود. حدود ۳۰ درصد دی اکسید کربن تولیدی ناشی از فعالیت‌های انسانی توسط اقیانوس‌ها جذب و تثبیت می‌شود. پمپ‌های بیولوژیکی در اقیانوسها شامل انواع پلانکتون‌ها CO<sub>2</sub> را جذب، تثبیت و سپس آنرا به اعماق دریا انتقال و در آنجا ته نشست می‌کنند. بیش از ۵۰۰ گیگاتن دی‌اکسیدکربن طی ۲۰۰ سال گذشته وارد اقیانوس‌ها شده است (Rackley, 2010).

افزایش غلظت عناصر سنگین در منابع خاکی و آبی بر اثر فعالیت‌هایی نظیر بهره برداری از معادن، صنایع فلزی و پتروشیمی، مصرف کودهای شیمیایی فسفاته، گسترش و ته‌نشست خاکستر آتشفشانها، مصرف علف‌کشها، آفات‌کشها و ورود این عناصر به زنجیره غذایی نگرانی‌های جدی را بوجود آورده است. عناصر سنگین به روشهای گوناگون مانند اختلال در وظایف ملکول‌های زیستی، ایجاد گونه‌های اکسپژن فعال (ROS) و همینطور اختلال در فعالیت‌های آنزیمی سبب آسیب‌های جدی به فعالیت‌های زیستی می‌شوند. به عنوان مثال فعالیت آنزیم مهم H-ATPase در غشاء پلاسمایی سلول شدیداً تحت تاثیر افزایش غلظت عناصر سنگین قرار می‌گیرد. یک مطالعه نشان می‌دهد زمانی که گیاهچه‌های خیار به مدت ۲ ساعت در معرض کادمیم قرار گرفت فعالیت آنزیم H-ATPase به شدت کاهش یافت (Janicka-Russak et al. 2008). اثر بازدارندگی فلز سنگین بر فعالیت آنزیم H-ATPase را نتیجه برهمکنش این عنصر با گروه‌های سولفیدریل در بخش فعال H-ATPase دانستند (Janicka-Russak et al. 2012). به دلیل اینکه اثرات فیزیولوژیک عناصر سمی نظیر کادمیم و سرب در گیاه شناخته نشده‌اند، ناقله‌های اختصاصی برای انتقال آنها احتمالاً وجود ندارند (Manara 2012). لذا این عناصر می‌توانند توسط ناقله‌های سایر عناصر به درون سلول وارد شوند. به عنوان مثال در گیاه *Arabidopsis thaliana* زمانی که گیاه با زیادی نیکل مواجه می‌شود بیان ژن انتقال آهن (AtIRT1) افزایش یافته و منجر به جذب و تجمع نیکل در این گیاه می‌شود (Manara 2012).

امروزه به منظور مقابله با عناصر سنگین به جای استفاده از روش‌های مرسوم (Conventional) که هم پرهزینه و هم ایجاد آلاینده‌های ثانویه می‌کنند از تکنولوژی‌های زیستی که کم هزینه تر و دوستدار محیط زیست هستند استفاده می‌شود. گیاهان و جامعه میکروبی خاک در مقابله با اثرات زیان آور عناصر سنگین با انجام ساز و کارهای مختلف تلاش میکنند تا این اثرات زیان آور را خنثی و یا کاهش دهند. گیاهان در مواجهه با عناصر سنگین، بر حسب نوع گیاه و خاک، نوع و غلظت عناصر سنگین جهت

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

مقابله با آنها رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. دسته‌ای از گیاهان عناصر سنگین را توسط ریشه جذب و از طریق آوندها به برگ‌ها منتقل و در آنجا انباشت می‌کنند به این گیاهان Phytoextraction گویند (Pajević et al, 2016). دسته‌ای دیگر عناصر سنگین را در ریشه و یا در خاک ریزوسفری تثبیت می‌کنند (Phytostabilization)، تثبیت به شیوه‌های متفاوت نظیر جذب سطحی، کمپلکس کردن، رسوب نمودن می‌باشد (Wang et al. 2017b). در گیاهان Phytovolatilization آلاینده‌های معدنی و آلی را به صورت ترکیبات تصعیدی به بیرون از گیاه انتشار می‌دهند. فایتوولاتیلیزیشن می‌تواند به دو صورت فایتوولاتیلیزیشن مستقیم و غیر مستقیم صورت گیرد (Limmer and Burken 2016). در گیاهان (Phytoderedation) ترکیبات سمی در اندام هوایی گیاه مورد تجزیه و تخریب قرار می‌گیرند و به مواد غیر سمی و یا کمتر سمی تبدیل می‌شوند.

جامعه میکروبی خاک به طور مستقل و یا در همکاری با گیاه و بعضاً همزیست با گیاه قادرند اثرات زیانبار عناصر سنگین را کاهش و یا خنثی نمایند (Chen et al. 2019). این موجودات با توجه به سطح ویژه زیاد، سرعت تکثیر فراوان، تنوع زیستی، متابولیسم قوی، قدرت تطابق پذیری زیاد و با بکار بردن ساز و کارهای مختلف (که بعداً به آنها اشاره خواهد شد) توانایی زیادی در تثبیت و کاهش اثرات مضر عناصر سنگین را دارند (Kumar and Dwivedi, 2021).

ذرات نانو به علت خصوصیات ذاتی آنها مثل واکنش پذیری بالا، تحرک و سطح ویژه زیاد و نیز کاربرد وسیع آنها در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. سلولهای زیستی در مواجهه با آلاینده‌ها دو نوع پاسخ مفید و موثر از خود نشان می‌دهند، یکی تولید آنزیم‌های تخریب کننده آلاینده و دیگری مقاومت در مقابل آنها. موجودات زنده که در سنتز ذرات نانو شرکت دارند به عنوان نانوکارخانه زیستی نیروی محرکه این سنتز را فراهم می‌کنند. در واقع، این موجودات ملکولهای زیستی هستند و پروتئین‌هایی را ترشح می‌کنند که بعداً منجر به احیاء یونهای فلزی و نهایتاً منجر به تولید نانو ذرات زیستی می‌شوند (Yadav, et al., 2017).

کاربرد نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی (nZVI) نسل جدیدی از فناوری پاکسازی محیط زیست است که می‌تواند برخلاف روشهای سنتی، راه حل اقتصادی برای برخی از مشکلات ناشی از آلاینده‌ها باشد. فناوری نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی و باکتری‌ها چشم انداز وسیعی را جهت حذف آلاینده‌های آبه‌ای زیرزمینی ایجاد نموده است. نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی به عنوان یک عامل احیاء کننده قوی قادر است آلاینده‌های غیر آلی، آلی و فلزات سنگین را از بین ببرند (Dong et al. 2018). برهمکنش برخی از باکتری‌ها با نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی در پالایش عناصر سنگین نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت.

### گازهای گلخانه‌ای، اثرات زیست محیطی و نقش عوامل زیستی بر آن

توسعه کشورها و صنعتی شدن آنها سبب شده تا استفاده از منابع انرژی به خصوص از منابع فسیلی افزایش روز افزون پیدا نماید و این امر گرفتاری‌های فراوانی را برای محیط زیست، انسان و سایر موجودات زنده فراهم آورده است. در جدول ۱ روند افزایشی میزان دی‌اکسیدکربن در جو را از اوایل دوره انقلاب صنعتی تا سال ۲۰۲۱ نشان می‌دهد. گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسیدکربن، متان، گروه گازهای فلوروکربن، سولفور هگزاکلرید و اوزون می‌باشد. دی‌اکسید کربن از نظر کمی بیشترین درصد را در جو دارا می‌باشد (جدول ۲). بنابراین سهم این گاز در افزایش گرم شدن کره زمین و پیامدهای ناشی از آن بیش از سایر گازهاست.

جدول ۱- روند افزایشی میزان دی‌اکسیدکربن (ppm) در جو در سال‌های مختلف میلادی

| سال             | ۲۰۲۱ | ۲۰۲۰ | ۲۰۱۹ | ۲۰۱۸ | ۲۰۱۷ | ۱۹۹۰ | ۱۹۷۰ | ۱۹۵۰ | ۱۹۳۰ | ۱۹۱۰ | ۱۸۹۰ | ۱۸۷۰ | ۱۸۵۰ |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CO <sub>2</sub> | ۴۱۴  | ۴۱۲  | ۴۰۸  | ۴۰۵  | ۴۰۳  | ۳۵۵  | ۳۲۲  | ۳۱۴  | ۳۰۸  | ۳۰۲  | ۲۹۹  | ۲۹۴  | ۲۸۸  |

آخرین گزارش از ایستگاه ثبت داده های علمی Mauna Loa در هاوایی غلظت دی‌اکسیدکربن ۴۱۴ پی‌پی‌ام در ماه اگوست ۲۰۲۱ ثبت شده است. ملاحظه می‌شود شیب افزایش دی اکسید کربن از سال‌های ۲۰۰۰ به بعد شدت گرفته است. علاوه بر غلظت گاز گلخانه‌ای، میزان ظرفیت گرمایشی آن بسیار مهمتر است. بر طبق جدول ۲، اگر چه میزان CO<sub>2</sub> از همه گازها بیشتر است اما خوشبختانه ضریب گرمایشی این گاز از دیگر گازهای گلخانه‌ای کمتر است.

جدول ۲- غلظت و ظرفیت گرمایشی گازهای گلخانه‌ای (IPCC, 2014)

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

| نوع گاز گلخانه‌ای                                                | غلظت      | ظرفیت گرمایشی (GWP) |
|------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------|
| دی اکسید کربن                                                    | 414 ppm   | ۱                   |
| متان                                                             | 1.89 ppm  | ۲۱                  |
| کلروفلوروکربن، هیدروفلورو کربن، پرفلورو کربن، سولفور هگزافلوراید | 0.224 ppb | ۱۴۰-۲۳۹۰۰           |
| اکسید نیترو                                                      | 0.34 ppm  | ۳۱۰                 |

### تلاش‌های بین‌المللی برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن

به منظور کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای و مقابله با تغییرات جوی در ۱۱ دسامبر سال ۱۹۹۷ در کیوتو ژاپن (معاهده کیوتو) کشورها موافقت نمودند تا تولید گازهای گلخانه‌ای خود را تا سال ۲۰۱۲ به میزان ۲/۵ درصد کاهش دهند. بر طبق جدول ۱ ملاحظه می‌شود که نه تنها کاهشی صورت نگرفت بلکه افزایش نیز یافت. در توافق‌نامه اقلیمی پاریس در دسامبر ۲۰۱۵، ۱۹۵ کشور جهان توافق کردند تا میزان تولید CO<sub>2</sub> خود را کاهش دهند. ولی متأسفانه این افزایش همچنان ادامه دارد.

### اثرات و پیامدهای ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای

بر اساس گزارش سالیانه آب و هوایی NOAA ۲۰۲۰ (National Oceanic and Atmospheric) متوسط افزایش دمای سطحی (خشکی و اقیانوس‌ها) از انقلاب صنعتی تا سال ۲۰۲۰ برابر با ۱/۱ درجه سلسیوس بوده است. متوسط افزایش دمای جهانی از انقلاب صنعتی برای هر ده سال ۰/۸ درجه سلسیوس بوده ولی طی ۴۰ سال گذشته این میانگین افزایش و برای هر ده سال ۰/۱۸ درجه سلسیوس گزارش شده است.

**بحران در تولیدات غذایی:** پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۸۰ به سبب افزایش جمعیت و افزایش متوسط دمای جهانی به بیش از ۳ درجه سلسیوس ۲۵ الی ۶۰ درصد افراد با خطر گرسنگی مواجه می‌شوند که نیمی از این جمعیت در آفریقا و غرب آسیا می‌باشد. با افزایش بیشتر دمای جهانی و کاهش شدید عملکرد گیاهان زراعی در تمام مناطق فاجعه بار می‌شود.

**بحران در منابع آبی:** هم‌اکنون بحران آب در بعضی از مناطق شروع شده است و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۸۰ بیش از یک میلیارد نفر از افراد با کمبود آب (بیشتر در آفریقا و آسیای غربی) مواجه شوند.

**بحران در اکوسیستم‌ها:** در حال حاضر بسیاری از اکوسیستم‌های مرجانی و همینطور تالاب‌ها بطور غیر قابل برگشتی تخریب شده‌اند و با افزایش میانگین جهانی دما به کمی بستر از ۳ درجه سلسیوس، بخشی از جنگل‌های بارانی آمازون تخریب می‌شود. همچنین حدود ۲۰ الی ۵۰ درصد گونه‌ها با محدودیت مواجه میشوند.

**تغییرات آب و هوایی غیر قابل برگشت:** در حال حاضر بحران‌های آب و هوایی شروع شده است و با افزایش غلظت بیشتر دی‌اکسیدکربن جو و دما شاهد شدت گرفتن این بحران‌ها مانند بروز سونامی‌ها، خشک سالی، سیلاب‌ها، ظ.فاها، بالا آمدن سطح آب دریا ها به علت ذوب یخچال‌ها، افزایش شدید ریسک تغییرات آب و هوایی در مقیاس بزرگ نظیر از بین رفتن و تخریب Atlantic THC (Thermohaline circulation) و صفحات یخ غرب آتلانتیک.

### کاهش دی‌اکسیدکربن جو

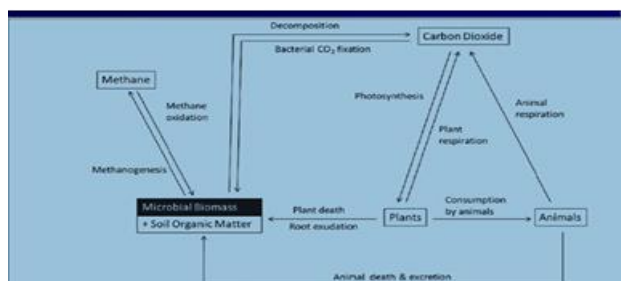
هر چند انتشار CO<sub>2</sub> با شدت ادامه دارد با وجود این، بعضی از اقدامات در حال انجام (غیر زیستی و زیستی) به تثبیت بیشتر کربن در لیتوسفر و هیدروسفر کمک می‌کند. در بعضی از کشورها، CO<sub>2</sub> تولیدی از خروجی‌ها کارخانجات خود را جمع‌آوری و به صورت ذیل در دریا یا معادن زغال سنگ از کار افتاده مدفون می‌کنند: ۱- جمع‌آوری CO<sub>2</sub> از خروجی‌ها. ۲- متمرکزم کردن گاز به حدود ۱۰۰ بار. ۳- انتقال گاز فشرده شده به خطوط انتقال لوله یا کشتی. ۴- تزریق به عمق اقیانوس‌ها و یا اعماق زمین تا برای هزاران سال انبار شود. در نروژ طرح تزریق CO<sub>2</sub> به درون دریای نروژ با هزینه ۲/۴ میلیارد دلار در حال اجراست. تزریق CO<sub>2</sub> در اعماق چند کیلومتری به صورت محلول شدن (Dissolution type) و یا در اعماق بیشتر (کف اقیانوس) به صورت دریاچه (lake type)، صورت می‌گیرد. پروژه Weyburn در کانادا از سال ۲۰۰۰ شروع شده است. CO<sub>2</sub> برای این پروژه از داکتای شمالی

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

و از یک کارخانه تولید متان تامین میشود. پروژه In Salah در الجزایر نیز با ظرفیت ۱/۲ میلیون تن تزریق CO<sub>2</sub> در سال فعال است.

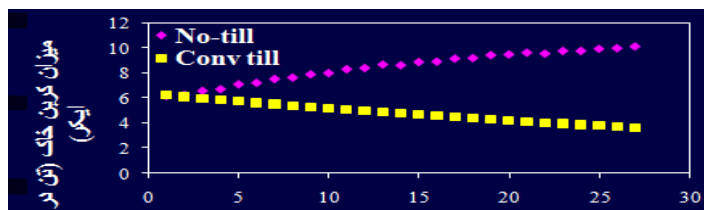
### تثبیت زیستی کربن (Biosequestration)

جانداران اعم از گیاهان و جامعه میکربی در اکوسیستم‌های خاکی و آبی قادرند CO<sub>2</sub> اتمسفری را طی فرایندهای مختلف بیوشیمیایی و آنزیمی به ترکیبات آلی مختلف تبدیل و به این طریق سبب تثبیت کربن در این محیط‌ها شوند. کربن آلی خاک که حاصل برهمکنش فرایندهای اکولوژیکی خاک می‌باشد می‌تواند تحت نوع مدیریت و فعالیت‌های انسان دچار کاهش یا افزایش شود.



شکل ۱- چرخه زمینی کربن و فرایندهای عمده آن با وساطت جامعه زیستی خاک

تشکیل و افزایش مواد آلی خاک از ۲ منظر ذخیره CO<sub>2</sub> اتمسفری و دوم بهبود خواصیات خاک که منجر به افزایش سطح سبزیگی و تثبیت بیشتر کربن در خاک می‌شود مهم است. با انجام اقدامات مدیریتی مختلف می‌توان تثبیت کربن در خاک را افزایش داد. به عنوان مثال در یک مطالعه ۲۷ ساله میزان کربن آلی خاک در کشت بدون خاک‌ورزی در مقایسه با تیمار خاک‌ورزی مرسوم افزایش معنی‌داری پیدا نمود (شکل ۲). سایر عوامل مدیریتی مثل رعایت تناوب زراعی، استفاده از گیاهان همزیست با میکروارگانیسم‌ها، عدم سوختن بقایای گیاهی، حفظ جامعه میکروبی خاک و ..... که به تثبیت بیشتر کربن کمک میکند باید بکار گرفته شود.



شکل ۲- مقایسه میزان کربن خاک در دو سیستم کشت با خاک‌ورزی مرسوم و بدون خاک‌ورزی طی یک دوره ۲۷ ساله

### تثبیت زیستی دی‌اکسیدکربن در دریاها و اقیانوسها

دریاها و اقیانوس‌ها منابع بزرگی برای تثبیت کربن هستند. تخمین زده می‌شود که ۳۹۰۰۰ گیگا تن کربن در اکوسیستم‌های آبی ذخیره شده است. این در حالی است که در خشکی‌ها و اتمسفر به ترتیب ۲۴۰۰ و ۷۵۰ گیگاتن کربن را در خود ذخیره دارند. حدود ۳۰ درصد دی‌اکسید کربن تولیدی ناشی از فعالیت‌های انسانی توسط اقیانوس‌ها تثبیت می‌شود. CO<sub>2</sub> جذب شده توسط انواع فیتوپلانکتون‌ها نظیر سیانوباکترها، انواع جلبک‌ها (جلبک‌ها سبز، جلبک‌های قهوه‌ای طلایی، دیاتوم‌ها) و نیز گیاهان آبی با حضور نور به کربن آلی تبدیل و به بیوماس میکروبی تبدیل می‌شوند. نیمی از کل فتوسنتز انجام شده بر روی زمین توسط فیتوپلانکتون‌ها صورت می‌گیرد (Baumert and Petzol, 2008). پلانکتون‌ها در هر گروه از جانداران (پروکاریوت‌ها و یوکاریوت‌ها) مانند گیاهان، جانوران، باکتری‌ها و آغازیان قرار می‌گیرند و در اعماق و سطح اکوسیستم‌های آبی وجود دارند. از مهمترین پلانکتون‌ها، فیتوپلانکتون‌ها و زوپلانکتون‌ها می‌باشند. به غیر از کربن آلی بیوماس شده، بقیه کربن آلی تولید شده در اجزاء ذیل وارد می‌شوند: بخش باقیمانده کربن آلی به صورت ذرات بسیار ریز (۰/۲-۰/۷ میکرومتر) شامل قطعات دیواره سلولی و غشاء پلاسمایی و متابولیت‌های میکروبی در آب باقی می‌ماند که به آن کربن آلی

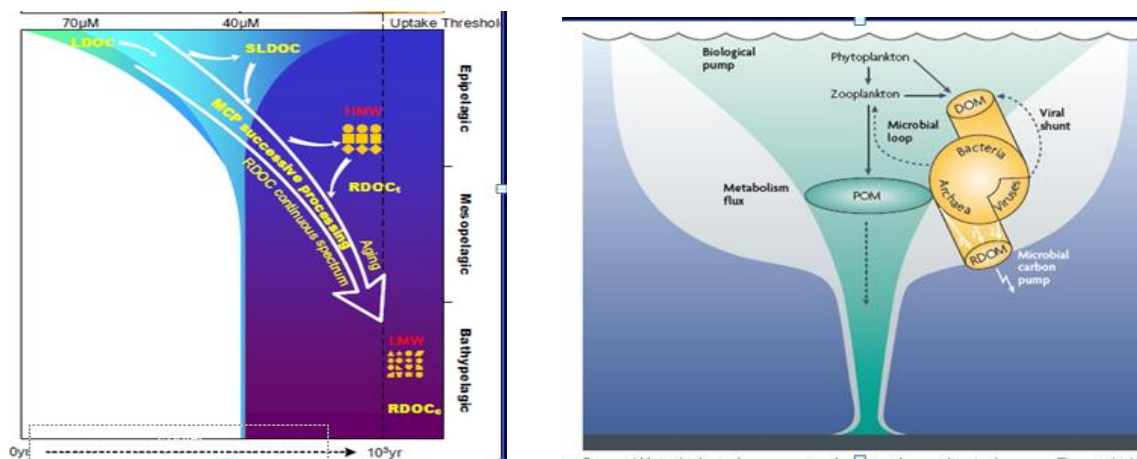
## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

حل شده یا Dissolved Organic Carbon (DOC) گفته می‌شود. DOC بر حسب ترکیب شیمیایی، میزان پایداری آن، غلظت و نوع عناصر غذایی و ترکیب جامعه میکروبی به صورت ذیل دسته بندی می‌شود:

کربن آلی ناپایدار (Labile dissolved organic carbon (LDOC)

کربن آلی نسبتاً ناپایدار (Semi labile dissolved organic carbon (SLDOC)

کربن آلی پایدار (Recalcitrant dissolved organic carbon (RDOC)



شکل ۳- انواع پلانکتونها به عنوان پمپ بیولوژیک در تثبیت زیستی CO<sub>2</sub> و تبدیل آنها به RDOC (سمت راست و چپ)

فیتوپلانکتون‌ها و سایر ریزجانداران آبی فتوسنتز کننده در سطوح آفتابگیر اقیانوس‌ها با جذب دی‌اکسیدکربن و تبدیل آن به مواد آلی و انتقال آنها به پائین به صورت یک پمپ بیولوژیکی عمل می‌کنند و سبب کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن جو می‌شوند. میزان تثبیت دی‌اکسیدکربن به کارایی پمپ‌های بیولوژیکی بستگی دارد. کارایی پمپ بیولوژیکی تابعی است از فیزیولوژی فیتوپلانکتون‌ها و ساختار اجتماعات آنها که هر دو توسط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اقیانوس‌ها کنترل می‌شود. لذا ذخیره بلند مدت کربن در اقیانوس‌ها عمدتاً از طریق این پمپ‌ها صورت می‌گیرد. ذرات آلی درشت‌تر از ۱۰۰ میکرون که در عمق ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ متری اقیانوس (Mesopelagic) قرار دارند (شکل ۳ سمت چپ) نقش مهمی را در تنظیم چرخه جهانی کربن بازی می‌کنند. این ذرات بخشی از پمپ بیولوژیکی کربن است که قادرند کربن را از قسمت سطحی آفتابگیر اقیانوس به قسمت عمیق اقیانوس انتقال و آنرا برای هزاران سال در آنجا تثبیت کنند.

در نتیجه فتوسنتز فیتوپلانکتون‌ها DOC و POC (ذرات ریز کربن آلی، Particulate Organic Carbon) از لایه آفتابگیر منطقه ابی‌پلاجنیک (۲۰۰-۰ متر) تشکیل می‌شود. فقط POC توسط سلول‌های میکروبی و زوپلانکتون‌ها به صورت اگروگیت (برف دریایی هم نامیده می‌شود) و اشکال دیگر تبدیل می‌شوند و سپس توسط زوپلانکتون‌ها و سایر آبیان به صورت حرکت عمودی به ناحیه مزوپلاجنیک در عمق ۲۰۰ الی ۱۰۰۰ متری (شکل ۳، سمت چپ) انتقال می‌یابند. بخشی از DOC در سطح اقیانوس‌ها باز یافت می‌شود ولی بخشی هم که مقاوم‌تر هستند به فوریت مینرالیزه نمی‌شوند و به صورت SLDOC (۱۵ الی ۲۰ درصد) در لایه‌های بالایی باقی می‌مانند (Basu and Mackey, 2018). انواع فیتوپلانکتون‌ها هر کدام اندازه و ترکیب دیواره سلولی متفاوتی دارند. به عنوان مثال فتواتوتروف‌های پیکوپلانکتون‌ها (۲ تا ۰/۲ میکرومتر) مانند سانوباکتریها *Prochlorococcus* spp.) و *Synechococcus* spp.) به علت ریز بودنشان و سرعت کم به عمق رفتنشان (نیم متر در روز) توانایی کمتری در انتقال کربن از سطح به عمق دارند، در حالی که فیتوپلانکتون‌های درشت‌تر نظیر دیاتوم‌ها (۲ تا ۵۰۰ میکرومتر) و سرعت بیشتر به عمق رفتنشان (۴/۰ تا ۳۵ متر در روز) کارایی بیشتری در انتقال کربن از سطح به عمق را دارند (Passow and Carlson, 2012). اقیانوس‌ها که سالانه ۱۱ گیگاتن کربن را از اتمسفر به دریا منتقل می‌کند بدون پمپ بیولوژیکی، میزان CO<sub>2</sub> اتمسفر می‌توانست ۴۰۰ پی‌پی‌ام از مقدار کنونی بیشتر باشد (Sanders, et al. 2014).

ارزیابی توانایی اقیانوس‌ها در تثبیت دی‌اکسیدکربن جوی یکی از چالش‌های کلیدی در اقیانوس‌شناسی است. بنابراین، مطالعات زیادی تا کنون برای توانایی انتقال دی‌اکسیدکربن از سطح به درون اقیانوس‌ها صورت گرفته شده است. از طرفی افزایش دی‌اکسیدکربن جو، سبب می‌شود تا دی‌اکسیدکربن بیشتری از جو، جهت برقراری تعادل، جذب اقیانوس‌ها شوند. بدین

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

ترتیب در اثر فعالیتهای انسانی و افزایش این گاز در جو بیش از ۵۰۰ گیگاتن دی‌اکسیدکربن طی ۲۰۰ سال گذشته وارد اقیانوس‌ها شده است (Rackley, 2010). بین میزان جذب دی‌اکسیدکربن جو و اقیانوس یک تعادل شیمیایی برقرار است. به موازات ورود دی‌اکسیدکربن به جو، انتشار این گاز از اقیانوسها و دریاها به جو نیز صورت می‌گیرد. چگونگی برتری یکی از این دو بر دیگری به عوامل متعددی بستگی دارد. حلالیت بیشتر دی‌اکسیدکربن و ورود آن به آب چند روش امکان پذیر است که شامل مصرف کودهای آهن و اوره، مخلوط شدن لایه‌ها بالایی و سطحی اقیانوس (دارای غلظت دی‌اکسیدکربن بیشتر و دمای بیشتر) با لایه‌های زیرین آب (دارای غلظت دی‌اکسیدکربن کمتر و دمای کمتر) در اثر تلاطم‌های دریایی. آهن و نیتروژن از عناصر لازم برای رشد و نمو گیاهان به خصوص برای فیتوپلانکتون‌های فتوسنتز کننده می‌باشند.

### نقش جامعه میکروبی خاک و گیاهان بر اثرات زیانبار عناصر سنگین

غلظت عناصر سنگین در خاک می‌تواند بستگی به نوع و میزان کانی‌های حاوی عناصر سنگین و نیز به میزان تخریب و رها سازی این عناصر در خاک یابد. علاوه بر این، فعالیت‌هایی نظیر سوزاندن سوخت‌های فسیلی، بهره برداری از معادن، صنایع فلزی و پتروشیمی، مصرف کودهای شیمیایی فسفاته، گسترش و تنه‌شست خاکستر آتشفشانها، مصرف علف‌کش‌ها، آفات‌کش‌ها، رها کردن پساب‌ها و پسماندهای کشاورزی و به خصوص صنعتی منابع عمده تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم‌های خاکی و آبی می‌باشند. یکی از راههایی که این عناصر سلامتی بشر را مورد تهدید قرار می‌دهند، ورود آن‌ها به زنجیره غذایی است. بعضی از فلزات سنگین نظیر روی، مس، آهن از عناصر مورد نیاز گیاه و سایر موجودات زنده می‌باشند و تنها در صورت غلظت زیاد می‌توانند اختلالات و مسمومیت‌هایی را سبب شوند. فلزاتی نظیر کادمیم، آرسینیک، سرب، جیوه و کرم نه تنها برای موجودات زنده لازم نیستند بلکه اثرات خطرناک‌تری برای جامعه زیستی ایجاد می‌کنند. بطور کلی فلزات سنگین به علت چگالی بالای آنها (بیش از  $5 \text{ gcm}^{-3}$ ) پس از ورود به سلول زنده پایدار باقی می‌مانند و می‌توانند به روشهای گوناگون مانند اختلال در وظایف ملکول‌های زیستی، اختلال از طریق جاگزین شدن عناصر سنگین به جای عناصر لازم در ساختمان آنزیم‌ها و همینطور ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) سبب آسیب‌های جدی به فعالیت‌های زیستی شوند. افزایش غلظت عناصر سنگین، تولید گونه‌های اکسیژن فعال در خلال احیای اکسیژن ملکولی را افزایش می‌دهند و این ترکیبات حد واسط خطرناک ( $\text{H O}^{\bullet}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2^{\bullet-}$ ) قادرند بسیاری از فرایندهای حیاتی گیاه مختل نمایند. عناصر سنگین نظیر کادمیم می‌تواند به طور مستقیم از طریق واکنش‌های فنتون و هابر-ویز و یا به طریق غیر مستقیم از طریق بازداشتن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان تولید گونه‌های اکسیژن فعال نمایند. در بافت‌های آسیب دیده‌ی ناشی از سمیت عناصر سنگین، غلظت پروتئین‌های کربنیل شده، مالون‌دی‌آلدئید و اتیلن افزایش می‌یابد (Dean and Davis, 1993). اثر مخرب عناصر سنگین بر فعالیت‌های آنزیمی گیاه به سبب تعویض عناصر ساختمانی آنزیم با این فلزات است. این جاگزینی به توقف و یا کاهش شدید فعالیت آنزیم منجر می‌شود. به عنوان مثال زمانی که کوبالت یا نیکل به جای منیزیم در ساختار آنزیم ریبولوز-۵،۱ بیسفسفات کربوکسیلاز/اکسیژناز قرار می‌گیرد فعالیت آن به شدت کاهش می‌یابد. این آنزیم در جذب میزان دی‌اکسید کربن در فرایند فتوسنتز نقش کلیدی بازی می‌کند. فعالیت آنزیم H-ATPase در غشاء پلاسمایی سلول نیز شدیداً تحت تاثیر افزایش غلظت عناصر سنگین قرار می‌گیرد. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد زمانی که گیاهچه‌های خیار به مدت ۲ ساعت در معرض کادمیم قرار گرفت فعالیت آنزیم H-ATPase به شدت کاهش یافت (Janicka-Russak, 2008). مس قویترین بازدارنده فعالیت آنزیم H-ATPase است. در یک مطالعه مشخص گردید زمانی که آنزیم H-ATPase در معرض ۵-۲ میلی مولار مس قرار گرفت ۵۰ درصد و زمانی که در معرض ۱۰-۵ میلی مولار مس قرار گرفت ۱۰۰ درصد از فعالیتش کاسته شد (Janicka-Russak, 2012). آنها اثر بازدارندگی مس بر فعالیت آنزیم H-ATPase را نتیجه برهمکنش این عنصر با گروه‌های سولفیدریل در بخش فعال H-ATPase دانستند. کوشش شده است که ژن‌های کد کننده فعالیت این آنزیم تحت تاثیر تنش‌های محیطی مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج نشان می‌دهد که بیان این ژن‌ها تحت تاثیر تنش‌های غیر زنده نظیر شوری، خشکی و دما و غلظت زیاد عناصر سنگین تغییر می‌کند. بسته به نوع گیاه، نوع تنش و مدت زمان اعمال تنش میزان تغییر در بیان این ژن‌ها متفاوت است. قرار گرفتن گیاهان در معرض غلظت زیاد عناصر سنگین با پتانسل احیایی بالا، سبب صدمات اکسایشی شدید می‌شوند. به دلیل اینکه وظایف فیزیولوژیک عناصر سمی نظیر کادمیم و سرب در گیاه شناخته نشده‌اند، ناقله‌های اختصاصی برای انتقال آنها احتمالاً وجود ندارند (Manara, 2012). لذا این عناصر می‌توانند توسط

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

ناقله‌های سایر عناصر به درون سلول وارد شوند. به عنوان مثال در گیاه *Arabidopsis thaliana* زمانی که گیاه با زیادی نیکل مواجه می‌شود بیان ژن انتقال آهن (*AtIRT1*) افزایش یافته و منجر به جذب و تجمع نیکل در این گیاه می‌شود (Manara, 2012). در یک مطالعه دیگر ملاحظه گردید زمانی که این گیاه تحت شرایط کمبود آهن قرار می‌گیرد افزایش بیان ژن فوق‌الذکر نه تنها به افزایش جذب آهن منجر می‌شود بلکه به افزایش انتقال و تجمع کاتیون‌های دو ظرفیتی دیگر نظیر کادمیم و روی نیز منجر می‌شود.

مقابله با عناصر سنگین به سبب سمیت زیاد آنها، پایداری و مقاومتشان در مقابل تجزیه و همینطور توزیع ساده و گسترده آنها در محیط زیست بسیار مشکل است. روشها و راهکارها جهت اصلاح محیط‌های آلوده به عناصر سنگین و دیگر آلاینده‌ها دائما در حال توسعه از تکنولوژی‌های مرسوم (Conventional) که هم پرهزینه هستند و هم ایجاد آلاینده‌های ثانویه می‌کنند به تکنولوژی‌های زیستی کم هزینه و سازگار با محیط زیست در تغییر است. در پالایش مرسوم که غیر زیستی است (فیزیکی-شیمیایی) جهت حذف و یا رسوب عناصر سنگین از فرایندهایی نظیر جذب سطحی، رسوب شیمیایی، فولکوله شدن، احیاء، فیلتراسیون غشایی و تبادل یونی استفاده می‌شود (Fu and Wang 2011). این روشها تنها زمانی که غلظت عناصر سنگین در محیط زیاد باشد (بیشتر از ۱۰۰ پی‌پی‌ام) قابل استفاده هستند. پالایش زیستی، به سبب سطح ویژه زیاد، سرعت تکثیر فراوان، تنوع زیستی، متابولیسم قوی، قدرت تطابق پذیری زیاد و کشت ساده جامعه میکروبی، از ویژگی‌های خاصی برخوردار هستند و طی سال‌های اخیر مورد توجه فراوان قرار گرفته‌اند. در واقع جامعه میکروبی خاک نه تنها قادر به جذب و تجمع عناصر سنگین هستند بلکه قادرند به شیوه‌های متعددی که به آنها اشاره خواهد شد اثرات سمی آنها را کاهش و یا بی اثر نمایند (Chen et al. 2019). هر چند اشکالاتی نظیر زمان بر بودن پالایش آنها، ناپایداری ژنتیکی و سهولت جهش آنها و عدم توانایی زیاد آنها در حذف آلاینده‌ها از معایب پالایش زیستی می‌باشد (Kumar and Dwivedi, 2021).

### پالایش زیستی (Bioremediation)

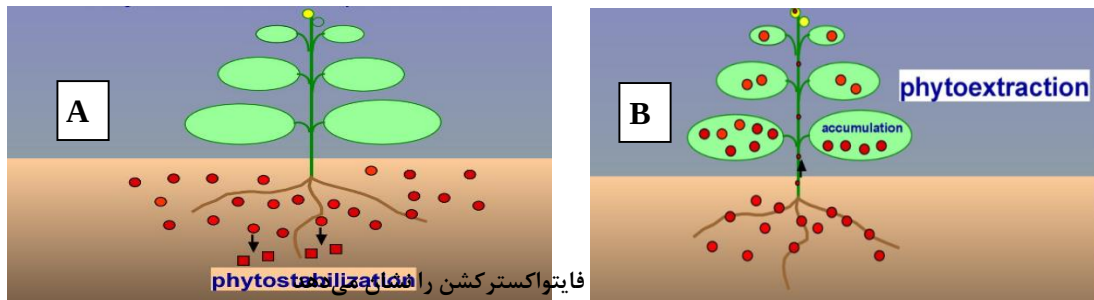
پالایش زیستی فرایندی است که طی آن سمیت‌زدایی عناصر سنگین توسط گیاه (گیاه پالایی، Phytoremediation) یا جامعه میکروبی عمدتاً قارچ‌ها (قارچ پالایی، Mycoremediation) و باکتری‌ها (باکتری پالایی، Bacterial remediation) صورت می‌گیرد. در این پالایش‌ها، میزان سمیت‌زدایی عناصر سنگین به مشخصات گیاه، نوع و میزان عناصر سنگین، نوع جامعه میکروبی و برهمکنش آنها متأثر از شرایط محیطی نظیر دما، پی‌اچ، بافت خاک، میزان مواد آلی خاک قرار می‌گیرد. در مجموع می‌توان گفت که تحت شرایط محیطی یکسان و نوع و میزان عنصر سنگین مشابه، توانایی قارچ‌ها از باکتری‌ها در سمیت‌زدایی عناصر سنگین بیشتر است (Kumar and Dwivedi, 2021). به منظور افزایش کارایی سمیت‌زدایی عناصر سنگین می‌توان ترکیبی از چند روش مختلف پالایشی (فیزیکی، شیمیایی و زیستی) همراه با زیست‌فناوری نانو استفاده نمود. در پالایش زیستی، گیاهان و دستجات میکروبی با ساز و کارهای مستقل و یا در همکاری با هم و عمدتاً به صورت هم افزایی جهت سمیت‌زدایی عناصر سنگین شرکت دارند.

### نقش گیاهان در کاهش سمیت عناصر سنگین خاک (Phytoremediation)

گیاه پالایی به پالایش کلیه آلاینده‌های معدنی (مانند عناصر سنگین) و آلاینده‌های آلی (مانند پلیمرهای نفتی، علف‌کش‌ها، سموم آفات و امراض و ....) که توسط گیاهان صورت می‌گیرد اطلاق می‌شود. در اینجا در گیاه پالایی فقط به عناصر سنگین اشاره می‌شود. گیاهان در مواجهه با عناصر سنگین، بر حسب نوع گیاه، شرایط خاک و نوع و غلظت عناصر سنگین جهت مقابله با آنها رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند. بعضی از گیاهان در مواجهه با عناصر سنگین آنها را توسط ریشه جذب و بوسیله آوندها در برگ‌ها انباشت می‌کنند. به این گیاهان Phytoextraction گویند (Pajević et al. 2016). هدف اصلی از پالایش خاک از عناصر سنگین باید از طریق این گیاهان صورت گیرد. این گیاهان باید سرعت رشد زیاد، تولید زیست‌توده فراوان و متحمل به عناصر سنگین باشند. لذا گیاهان ابرانباشت‌کننده (Hyperaccumulator) که شرایط بالا را داشته باشند و اساساً به نوعی فایتواکستراکشن هستند مناسب این کار هستند (Nedjimi, 2021). به عنوان مثال گیاه *Thlaspi caerulescens* که از خانواده براسیکاسه می‌باشد یک نمونه شاخص گیاه ابرانباشت‌میباشد. ۲۵ درصد خانواده براسیکاسه ابرانباشت‌کننده فلزات سنگین هستند. گیاه *T. caerulescens* ۰/۶ درصد ماده خشک خود، Cd را در اندام هوایی خود انباشت می‌کند. برای انباشت بیشتر

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

عناصر سنگین عواملی نظیر ترشح اسیدهای آلی، کلات کننده ها و نیز برهم کنش گیاه و جامعه میکروبی خاک لازم است. بعداً به نقش مثبت قارچ‌های AM در همزیستی با گیاهان فایتواکسترکشن اشاره خواهد شد.



**در گیاهان Phytostabilization**، با ساز و کارهای مختلف عناصر سنگین را در ریشه انباشت میکنند و یا در ریزوسفر رسوب و غیرمتحرک مینمایند و مانع از انتقال آنها به اندام‌های هوایی می‌شوند. در این نوع پالایش، عناصر سنگین به راه‌های متفاوت نظیر جذب سطحی، کمپلکس کردن، رسوب نمودن، همکاری با ریزجاندران خاک و یا ترکیبی از آنها به کاهش تحرک عناصر سنگین منجر می‌شود (Wang et al., 2017b) که ذیلاً اشاره می‌شود. این گیاهان باید دارای سیستم ریشه‌ای انبوه و نسبت اندام هوایی به ریشه کمی داشته باشند. در یک مطالعه در بین ده گیاه دارویی گیاه *Artemisia roxburghiana* از جنس درمنه بیشترین توانایی انباشت عناصر سرب و روی را در ریشه‌های خود و خاک داشتند (Lei and Duan 2008).

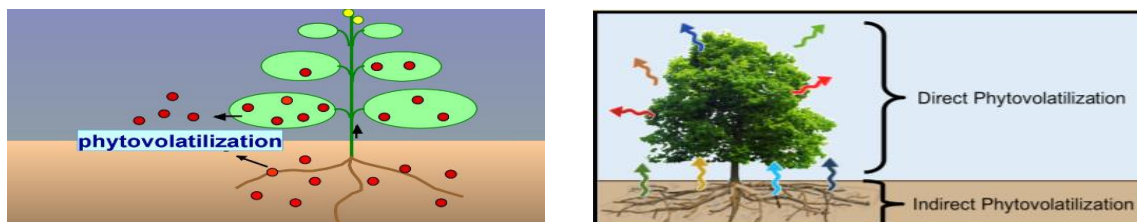
ترکیباتی که ریشه گیاه به اطراف خود ترشح می‌کند دارای وظایف متعددی از جمله ترکیب با عناصر سنگین و تشکیل کمپلکس‌های آلی-معدنی است. به عنوان مثال ترشحاتی نظیر اسیدهای آلی و یا اسیدهای آمینه قادرند با عناصر سنگین ترکیب و از جذب آنها توسط گیاه کاسته شوند. این ترکیبات ممکن است در خاک تشکیل (سمیت زدایی خارجی) و یا در بافت‌های گیاهی به صورت ترکیبات غیر سمی (سمیت زدایی داخلی) تجمع پیدا کنند (Hall, 2001). عناصر سنگین نیز قادرند به پروتئین‌های دیواره سلول‌های اپیدرمی متصل شوند. اگر چه دیواره سلولی ریشه در تماس مستقیم با این فلزات است ولی جذب سطحی این فلزات با محدودیت‌هایی همراه است (Hall, 2001).

در صورتی که غلظت عناصر سنگین در سلول گیاهی از حد معینی افزایش یابد و به حد سمیت برسد گیاهان برای سمیت زدایی ساز و کارهای متفاوتی را بکار می‌برند. یکی از این ساز و کارها سنتز ترکیبات آلی مختلفی است که قادر به کلاته کردن این عناصر و کاهش سمیت آنها می‌باشد. از این ترکیبات می‌توان به فیتوکلاتین‌ها، متالوتیونین‌ها و پلی‌آمین‌ها اشاره نمود. فیتوکلاتین‌ها با داشتن گروه‌های تیول سیستم‌های اتصال و کلات کردن فلزات را به خوبی دارا می‌باشند. ساختن این ترکیبات در گیاه با حضور عناصری نظیر Cd, Cu, Zn, Ag, Au, Hg, Pb افزایش می‌یابد. این ترکیبات در سیتوپلاسم ساخته می‌شوند و پس از کمپلکس شدن به واکوئل انتقال می‌یابند. این ترکیبات در افزایش مقاومت گیاه به عناصر سنگین نقش دارند ولی ممکن است در ابرناباشتی دخالتی نداشته باشند. در صورتی که گیاه توانایی تثبیت و تجمع عناصر سنگین را در واکوئل نداشته باشد ممکن است توانایی پمپ کردن این عناصر را به بیرون از اندام‌های خود داشته باشد و به این ترتیب از سمیت اجتناب کند. متالوتیونین‌ها مانند فیتوکلاتین‌ها شامل پپتیدهای سیستمی می‌باشند که قدرت اتصال و کلات کردن عناصر سنگین به خصوص As, Cd, Cu, Zn را دارا می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که زمانی که گیاه *آرابیدوپسیس تالیانا* در معرض مقادیر زیاد کادمیم و مس قرار گرفت بیان ژن MT فعال گردید و منجر به سنتز بیشتر متالوتیونین به منظور کلات نمودن کادمیم و مس در این گیاه گردید. بر اساس کارهای ملکولی انجام شده متالوتیونین‌ها نقش مهمی در افزایش مقاومت گیاه به عناصر سنگین دارند. سنتز بیشتر ترکیبات آلی نظیر پلی‌آمین‌ها و فرتین‌ها در گیاه مواجه با غلظت زیاد عناصر سنگین موجبات کلاته کردن و سمیت زدایی آنها را فراهم می‌نماید (Manara, 2012). در گیاهان، پلی‌آمین‌های عمده، اسپرمیدین (Spd)، اسپرمین (Spm) و پوترسین (Put) جهت رشد و نمو بسیار ضروری می‌باشند.

**در گیاهان Phytovolatilization**، آلاینده‌های معدنی و آلی طی واکنش‌های بیوشیمیایی مختلف آنها را به صورت ترکیبات تصعیدی به بیرون از گیاه انتشار می‌دهند. فایتوولاتیلیزیشن می‌تواند به دو صورت فایتوولاتیلیزیشن مستقیم و غیر مستقیم صورت گیرد (Limmer and Burken, 2016). در طریق مستقیم که بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته است آلاینده‌ها پس از جذب

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

و انتقال به اندام هوایی، مواد فرار حاصل از تغییرات شیمیایی از طریق برگها، شاخه‌ها و تنه گیاه به اتمسفر رها میشوند (شکل ۵). در فایتوولاتیلیزیشن غیر مستقیم، جریان آلاینده‌های متصاعد شونده در نتیجه فعالیت ریشه‌های گیاه از قسمت زیرین خاک افزایش می‌یابد. عواملی نظیر نفوذپذیری خاک، پائین بودن سطح آب زیر زمینی، انتقال شیمیایی از طریق بازتوزیع هیدرولیکی می‌تواند بر روی این افزایش تاثیر قابل توجه داشته باشد.

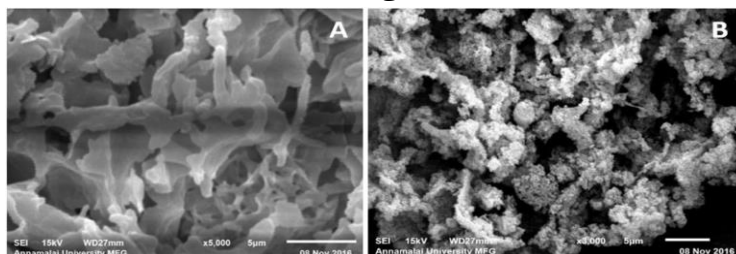


شکل ۵- گیاه فایتوولاتیلیزیشن را در حالت مستقیم و غیر مستقیم (سمت راست) نشان می‌دهد.

در گیاهان فایتودگرددیشن، ترکیبات سمی در اندام هوایی گیاه طی فرایندهای مختلف بیوشیمیایی تجزیه به مواد غیر سمی و یا کمتر سمی تبدیل می‌شوند.

### جذب سطحی عنصر سنگین به دیواره سلولی (Bioadsorption)

آنیون‌های آلی مانند گروه‌های هیدروکسیل، کربوکسیلیک و یا سولفونیل در دیواره سلولهای میکروبی مکانهایی با بار منفی را ایجاد می‌کنند که قادرند فلزات سنگین را جذب سطحی نمایند. جذب سطحی عنصر سنگین به ماتریکس زیستی به صورت فیزیکی (الکترواستاتیک)، به صورت شیمیایی (تعویض یونی) و یا تشکیل کلات منجر به تثبیت آن میشود. به عنوان مثال دیواره سلولهای قارچی از ترکیباتی مانند پروتئین، پلی‌ساکارید، پلی‌فسفات، پلی‌پتید، لیپید و کیتین ساخته شده است و لذا دارای مقدار زیادی از گروه‌های  $\text{COOH}$ ،  $\text{OH}$ ،  $\text{NH}_2$ ،  $\text{=NH}$ ،  $\text{SH}$ ،  $\text{O-CH}_3$  می‌باشد که مکان‌های جذب سطحی را فراهم میکند (Kang, et al. 2018). برای شناسایی این گروه‌های عاملی می‌توان از تکنیک طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR) استفاده نمود (Salvadori, et al., 2015). طیف سنجی مادون قرمز بر اساس جذب تابش و بررسی جهش‌های ارتعاشی مولکول‌های چند اتمی صورت می‌گیرد. Cr شش ظرفیتی با اتصال به گروه  $\text{OH}$  (-) دیواره سلولی قارچ/اسپرگیلوس نایجر عدد موجی (میانگین رزونانس) آن در ناحیه مادون قرمز طیف الکترومغناطیسی از  $3265 \text{ cm}^{-1}$  به  $3280 \text{ cm}^{-1}$  افزایش یافت که نشان دهنده شدت جذب کرم به گروه هیدروکسیل دیواره سلولی قارچ/اسپرگیلوس نایجر است و نتیجتاً توانایی بیشتر این گروه عاملی در سمیت زدایی عنصر کرم در مقایسه با گروه عاملی  $\text{COOH}$  که عدد موجی آن  $1618 \text{ cm}^{-1}$  در این قارچ می‌باشد. در شکل ۶ جذب سطحی Cr و Cd به باکتری (B) را نشان می‌دهد.



شکل ۶- میکروگراف اسکن میکروسکوپ الکترونیک باکتری *Cronobacter mytjensii* سویه (KSCAS2) قبل از (A) و بعد از جذب سطحی عناصر سنگین Cr و Cd (B) (Saranya, et al. 2018)

### تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS)

یکی از اثرات مخرب عناصر سنگین بر سلول‌های زیستی (گیاهان، جانوران و ریز جانداران) تولید گونه‌های اکسیژن فعال (Reactive oxygen species) می‌باشد. با افزایش غلظت عناصر سنگین، تولید گونه‌های اکسیژن فعال در خلال احیای اکسیژن ملکولی افزایش می‌یابد. این ترکیبات حد واسط خطرناک  $\text{H}_2\text{O}_2$ ،  $\text{H O}^\bullet$ ،  $\text{O}_2^{\bullet-}$  دارند در بسیاری از فرایندهای حیاتی اختلال ایجاد نمایند. عناصر سنگین نظیر کادمیم می‌تواند به طور مستقیم از طریق واکنش‌های فنتون و هابر-ویز تولید گونه‌های اکسیژن

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

فعال نمایند و یا به طریق غیر مستقیم از طریق بازداشتن آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در بافت‌های آسیب دیده‌ی ناشی از سمیت عناصر سنگین و افزایش غلظت پروتئین‌های کربنیل شده، مالون‌دی‌آلدئید و اتیلن (Dean and Davis, 1993) که در نهایت منجر به کاهش فعالیت‌های آنزیمی، کاهش جذب عناصر غذایی و به طور کلی اختلال در فعالیت‌های حیاتی می‌شود. تولید ROS و اثرات مخرب آن با حضور فراوان سرب، کادمیم و کرم (۶ ظرفیتی) در قارچ‌های *A. flavus* CR 700, *Fusarium solani*, *Trichoderma lixii* CR500, *Pleurotus ostreatus* HAU-2 گزارش شده است (Li et al. 2017).

در فوق به برخی از اثرات مخرب گونه‌های اکسیژن فعال که به آنها استرس‌های اکسایشی گفته می‌شود اشاره گردید. تولید این گونه‌ها پاسخ‌های دفاعی گیاه را بدنال دارد. بدین معنی که تولید گونه‌های اکسیژن فعال می‌تواند به عنوان عوامل سیگنال دهنده در گیاهان باعث تولید بیوملکول‌هایی نظیر فیتوکلاتین‌ها، متالوتیونین‌ها، گلوتاتیون پلی‌آمین‌ها و سایر ملکول‌های تیولیک شوند. این ترکیبات به عنوان عوامل کلات کننده فلزی آنها را به داخل سلول و به درون واکوئل انتقال و یا آنها را به بیرون از سلول پمپ می‌کنند (Banerjee et al. 2019). گلوآلین یک گلیکوپروتئین غیر محلول در آب است که علاوه بر کلاته کردن فلزات سنگین در خاک در تشکیل و پایداری خاکدانه‌های خاک نقش مهمی دارد. ضد اکساینده‌ها نه تنها مواد اکساینده را کاهش یا از بین می‌برند بلکه به عنوان حسگرهای کلیدی در وضعیت احیایی سلول نقش دارند. بعضی مواقع ملاحظه می‌شود که در یک ارگانیزم، جند تا ضد اکساینده به اتفاق نقش بهتری را در سمیت زدایی بازی می‌کنند. هم‌چنین ممکن است برحسب نوع فلز سنگین، ضد اکساینده‌ها در یک ارگانیزم متفاوت باشند. یکی دیگر از اقدامات حفاظتی سلول‌های زیستی در مقابله با گونه‌های اکسیژن فعال افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر سوپراکسید دیسموتاز، پراکسیداز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز می‌باشد.

### انتقال عناصر سنگین

عناصر سنگین ضمن آنکه قادرند در سطوح خارجی سلول‌های زیستی جذب شوند قادرند با ساز و کارهای مختلفی وارد سلول شوند و بخشی از آنها در واکوئل ذخیره و از دخالت در فعالیت‌های متابولیک سلولی دور نگه داشته شوند. این عناصر می‌تواند از طریق جذب فعال و یا غیر فعال جذب شوند. یکی از راه‌های جذب فعال عناصر سنگین از طریق ناقل‌ها (Transporters) می‌باشد. ناقل‌ها بسیار متنوع هستند. در قارچ‌ها برای هر نوع فلز سنگین ممکن است چند نوع ناقل وجود داشته باشد (Kumar and Dwivedi 2021). برای کادمیم ناقل وابسته به ATP، ABC شناخته شده است. ناقل ABC در تونوپلاست و غشای پلاسمایی تشخیص داده شده‌اند. کلونیزاسیون گیاه با قارچ AM استرس تحریک شده با فلزات سنگین را کاهش می‌دهد. ناقل مس (CTR) دارای سه دامنه غشایی است که در آن CTR1 و CTR3 ناقل‌های کارایی هستند که در غشاء پلاسمایی *Saccharomyces cerevisiae* وجود دارند و مس را از محیط جذب می‌کنند. ناقل CTR2 در غشاء واکوئلی این قارچ قرار دارد و مس را در واکوئل ذخیره می‌کند. چهار نوع ناقل در *Saccharomyces cerevisiae* در انتقال ZN شرکت دارند. Znt1p که روی را از محیطی که غلظتش کم است و Znt2p که روی را از محیطی که غلظتش زیاد است انتقال می‌دهد. Fet4p که در جذب و انتقال مس، روی و آهن شرکت دارد و ناقل چهارم Pho84p که در انتقال فسفر و روی دخالت دارد (Tangsombatvichit et al. 2015).

### نقش قارچ‌های میکوریزا-آربسکولار (AM) در کاهش سمیت عناصر سنگین

نتایج مطالعات نشان می‌دهد که اگرچه گیاه پالایی یک راه کار پایدار و کم هزینه در برداشت و یا تثبیت عناصر سنگین خاک است ولی این کاهش خیلی به کندی صورت می‌گیرد. لذا سعی شده است تا کارایی گیاه پالایی افزایش یابد. استفاده از قارچ‌های AM و برقراری ارتباط همزیستی آنها با گیاه نشان می‌دهد که این قارچ‌ها به فرایند پالایش خاک کمک می‌کنند. غیر متحرک شدن عناصر سنگین می‌تواند با وساطت قارچ AM در خاک و یا در اندام‌های قارچی گیاه (در ریشه‌های بیرونی قارچ) و یا در اندام‌های گیاه میزبان انجام گیرد. تثبیت عناصر سنگین می‌تواند توسط گلوآلین که یک گلیکوپروتئین غیر محلول در آب است و توسط ریشه‌های قارچ در خاک آزاد می‌شود نیز صورت گیرد. میزان آزاد شدن این ترکیب از قارچ بسته به نوع قارچ و گیاه میزبان، شرایط خاک و نوع و میزان عنصر سنگین متفاوت است (Hammer and Rillig, 2011).

قبلاً اشاره شد که پلی‌آمین‌ها ترکیبات آلی کوچکی هستند که در بافت‌های گیاهی تشکیل می‌شوند. این ترکیبات قادرند با عناصر سنگین در گیاه کمپلکس‌های آلی-معدنی ایجاد نمایند و به این ترتیب با کلاته شدن این عناصر اثر سوء آنها کاهش یابد.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

متالوتیونین‌ها نیز وظایف مشابه پلی‌آمین‌ها در گیاه دارند. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تشکیل پلی‌آمین‌ها و متالوتیونین‌ها در گیاهان همزیست با قارچ میکوریزا در خاکهای غنی از عناصر سنگین افزایش می‌یابد. به عنوان مثال، در یک مطالعه گیاه تبریزی (*Populus alba*) همزیست با دو گونه قارچ میکوریزا در دو خاک آلوده به غلظت زیاد عناصر سنگین (مس و روی) و بدون آلودگی به عناصر سنگین کشت داده شد. نتایج نشان داد که غلظت مس و روی در گیاه کشت داده شده در خاک آلوده، نسبت به خاک غیر آلوده، به خصوص در تیمارهای میکوریزایی، به طور معنی داری بیش تر بود (Cicatelli, et al., 2010). این افزایش در غلظت روی و مس گیاه مترادف با افزایش متالوتیونین (MT) و پلی‌آمین‌ها (اسپریدین سنتاز، SPDS ; آرجنین دی‌کربوکسیلاز، ADC) در گیاهان میکوریزایی در خاک آلوده، و نه در خاک غیر آلوده، بود. نتایج کارهای ملکولی نشان داد که کلونیزاسیون میکوریزایی منجر به افزایش بیان ژن‌های PaSPDS2، PaADC، PaSPDS1، PaMT3، PaMT2، PaMT1 و (ژن‌های دخیل در سنتز متالوتیونین و پلی‌آمین‌ها) در خاک آلوده شد، ولی این افزایش در گیاهان رشد کرده در خاک غیر آلوده مشاهده نشد.

می‌توان گفت که نحوه تاثیر قارچ میکوریزا در انباشت و یا تثبیت و غیر متحرک کردن عناصر سنگین از خواست و رفتار فیزیولوژیک گیاه میزبان پیروی می‌کند. به عبارت دیگر اگر گیاه میزبان در مواجهه با عناصر سنگین Phytoextraction است قارچ میکوریزا به انباشت بیشتر عناصر سنگین در گیاه اقدام می‌کند و اگر گیاه میزبان Phytostabilization است اقدامات حفاظتی قارچ میکوریزا در جهت تثبیت کردن عناصر سمی خواهد بود. به عنوان مثال در یک مطالعه با مصرف ۱۰۰ میلی گرم آرسینیک، گیاه *Pteris vittata* (یک گیاه ابرانباشت) همزیست با قارچ میکوریزا ۸۸ میلی گرم آرسینیک در اندامهای هوایی خود انباشت نمود ولی گیاه شاهد فقط ۶۰/۴ میلی گرم آرسینیک را جذب و انتقال داد (Leung, et al., 2006).

از اثرات مثبت دیگر قارچهای AM در کاهش سمیت عناصر سنگین افزایش سنتز و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر سوپراکسید دیسموتاز جهت خنثی نمودن گونه‌های اکسیژن فعال است. تحت غلظت زیاد عناصر سنگین، قارچ‌های میکوریزا علاوه بر افزایش فعالیت آنزیمهای ضد اکسایند با افزایش ترکیبات کلات کننده عناصر سنگین نظیر فیتوکلانتین‌ها، متالوتیونین‌ها و پلی‌آمین‌ها اثرات گونه‌های اکسیژن فعال را نیز کاهش می‌دهند.

### نقش ذرات نانو در کاهش آلاینده‌ها

ذرات نانو عمدتاً در اندازه‌های ۱ الی ۱۰۰ نانومتر به علت خصوصیات ذاتی آنها مثل واکنش پذیری بالا، تحرک و سطح ویژه زیاد و نیز کاربرد وسیع آنها در ده‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. سنتز زیستی نانوذرات (از طریق قارچ‌ها، باکتری‌ها، جلبک‌ها، گیاهان و ....) به دلیل عدم سمیت آنها و سازگار با محیط زیست جایگزین پایداری برای سنتز فیزیوشیمیایی آنها هستند. سلولهای زیستی در مواجهه با آلاینده‌ها دو نوع پاسخ مفید از خود نشان می‌دهند، یکی تولید آنزیم‌های تخریب کننده آلاینده و دیگری مقاومت در مقابل آنها. موجودات زنده که در سنتز ذرات نانو شرکت دارند به عنوان نانوکارخانه زیستی نیروی محرکه این سنتز را فراهم می‌کنند. در واقع، این موجودات ملکولهای زیستی هستند و پروتئین‌هایی را ترشح میکنند که بعداً منجر به احیاء یونهای فلزی و نهایتاً منجر به تولید نانو ذرات زیستی می‌شوند (Yadav, et al., 2017). طی سالهای اخیر، استفاده بالقوه از نانو ذرات زیستی مختلف در پالایش محیط زیست، صنایع غذایی، زیست فناوری و نیز در پزشکی توسعه یافته است. نانو ذرات زیستی اکسید منگنز (Bio-MnOx)، نانوکریستال‌های پلادیوم، نانو ذرات گونه‌های آهن چند نمونه از این نوع نانو ذرات زیستی هستند. برخی از فلزات سنگین، حتی در غلظت‌های پایین، برای میکروب‌ها بسیار مهم هستند، زیرا کوفاکتورهای ضروری برای آنزیم‌ها و متالوپروتئین‌ها را ارائه می‌دهند. درپالایش آلاینده‌ها از طریق نانو ذرات زیستی، از ملکول‌های زیستی به عنوان عوامل احیا کننده استفاده می‌شود، حال آنکه در روشهای غیرزیستی از عوامل شیمیایی احیاء کننده نظیر هیدرازین و سدیم بروهیدرات استفاده می‌شود. لذا پالایش از طریق نانوذرات زیستی بسیار ارزانترست تا روش‌های غیرزیستی. ضمن آنکه در روش‌های نانو ذرات زیستی، برخلاف روش‌های شیمیایی، آلاینده‌های ثانویه ایجاد نمی‌شود.

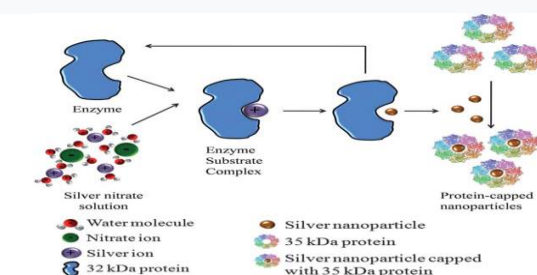
جوامع میکروبی قادرند از طریق فرایندهای درون سلولی (Intracellular) و یا برون سلولی (Extracellular) اقدام به سنتز نانو ذرات زیستی نمایند. در فرایند درون سلولی، یونهای فلزی با بار مثبت جذب سطوح بار منفی دیواره سلول میکروبی می‌شوند. جریان سیتوپلاسمی عناصر سنگین از طریق اندوسیتوز (Endocytosis)، ناقلها و کانال‌های یونی، تسهیل می‌شوند. سپس ماشین

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

آنزیمی غشاء سلولی عناصر سمی را به نانوذرات غیرسمی تبدیل میکند. در فرایند برون سلولی، آنزیمهایی نظیر نیترات ردکتاز که توسط سلول میکروبی سنتز می‌شود عناصر را به نانوذرات فلزی تبدیل می‌نماید (Menon et al., 2017). برحسب شرایط محیطی و نوع سلول میکروبی سنتز نانو ذرات زیستی متفاوت خواهد بود. به عنوان مثال باکتریها قادرند از طریق متحرک نمودن، رسوب دادن و یا غیر متحرک نمودن عناصر، آنها را به نانو ذرات تبدیل نمایند. در یک مطالعه ملاحظه گردید که باکتریهای *Pseudomonas stutzeri* AG259 جدا شده از معادن نقره قادرند با احیاء نمودن نقره از محلول نیترات نقره آنرا به صورت نانو ذرات نقره درسلول میکروبی انباشت نمایند (Klaus et al., 1999)، حال آنکه باکتریهای *Bacillus subtilis* جدا شده از ریزوسفر خاک قادر به سنتز زیستی نانوذرات اکسید آهن بودند (Sundaram et al., 2012). استفاده از باکتری‌ها به عنوان منبعی از آنزیم‌ها که قادرند با کاتالیز نمودن واکنش‌های خاصی نانو ذرات غیر الی را سنتز کنند یک رویکرد جدید در تولید نانوذرات زیستی می‌باشند. استفاده از آنزیم‌ها، آنزیم‌های میکروبی، ویتامین‌ها، پلی‌ساکاریدها، پلیمرهای زیستی تخریب پذیر و سیستم‌های زیستی یک استراژی مناسب در سنتز نانوذرات است.

### نقش پروتئین‌های قارچی

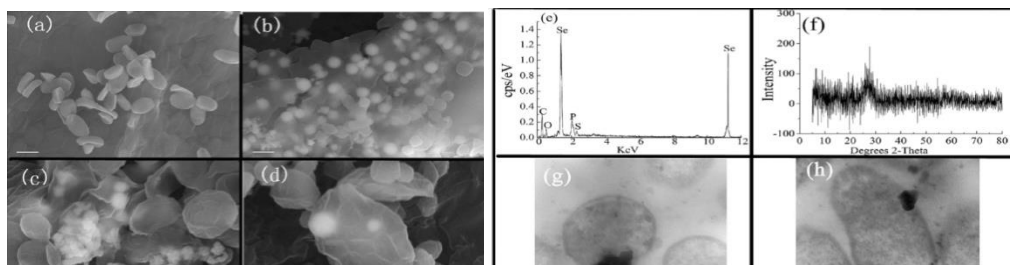
به خوبی مشخص شده است که قارچها قادر به ترشح مقدار زیادی پروتئین‌هایی هستند که نقش عمده‌ای در سیکل زندگی آنها بازی میکند. عمده این پروتئین‌ها شامل آنزیم‌های هیدرولیتیک نظیر آمیلازها، سلولازها و پروتئازها هستند. در این مطالعات، بیشتر بر روی پروتئین‌هایی که در مسیرهای متابولیک شرکت دارند متمرکز شده است. در قارچ *Aspergillus flavus* NJP08 حضور دو پروتئین با وزن ملکولی ۳۵ و ۳۲ کیلو دالتون مسئول تولید نانو ذرات نقره هستند (شکل)، حال آنکه در قارچ *Fusarium oxysporum* دو پروتئین برون سلولی با وزن ملکولی ۲۴ و ۲۸ کیلو دالتون مسئول تولید نانو ذرات زیرکونیوم می‌باشند (Bansal et al., 2004). در واقع فرایند سنتز طی دو مرحله صورت می‌گیرد: مرحله اول احیاء توده نقره و در مرحله دوم محصور شدن و پوشاندن نقره نانو است. در مرحله اول پروتئین ۳۲ کیلو دالتون که میتواند ردوکتاز خاص احیاء نقره ترشح شده توسط جدایه قارچ باشد و در مرحله دوم نقره نانو به پروتئین ۳۵ کیلو دالتون متصل و پایدار میگردد (Jain et al., 2011). از آنجایی که ذرات نانو تشکیل شده در بیرون سلول به عنوان اجزاء غیر ضروری سلول محسوب میشوند آنها می‌توانند مستقیماً مورد استفاده قرار گیرند. با انجام آنالیز FTIR و اسپکتروسکوپی UV، پروتئین‌ها به عنوان عامل ثبات در نانو ذرات نقره مشخص گردیدند (Jain et al., 2011).



شکل ۷- ساز و کار نقش پروتئین‌های برون سلولی در سنتز ذرات نانو نقره

### حذف زیستی جیوه از خاک

اصلاح زیستی خاک آلوده به جیوه از طریق نانو ذرات سلنیوم سنتز شده توسط *Citrobacter freundii* Y9 اخیراً گزارش شده است (Wang et al., 2017). با حضور جیوه و سلنیوم، HgSe غیر فعال تشکیل می‌شود که سمیت خیلی کمتری دارد و از نظر شیمیایی بی‌اثر است. علاوه براین، نانو سلنیوم می‌تواند جیوه را در خاک تحت هر شرایط هواری و بی‌هواری به دام اندازد. بنابراین، استفاده از نانو سلنیوم برای غیر متحرک کردن جیوه یک راه موثر برای پالایش زیستی چنین خاکهای آلوده‌ای می‌باشد. ویژگی‌های اندازه گیری شده در شکل ذیل دیده می‌شود.



## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شکل ۸- ویژگی‌های سلنیوم تولید شده توسط *C. freundii* -a تصاویر اسکن میکروسکپ الکترونیک (SEM) *C. freundii* ، b-d میکروگراف‌های اسکن میکروسکپ الکترونیک *C. freundii* که برای ۵ روز در سلنیت یک میلی مولار رشد کرده اند. e - طیف شناسگر پراکندگی انرژی (EDS)، f - الگوی XRD و g-h ، میکروگراف‌های انتقال الکترون (TEM) *C. freundii* که برای ۵ روز در سلنیت یک میلی مولار رشد کرده است (Wang et al., 2017).

### کاربرد نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی (nZVI)

کاربرد نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی (nZVI) نسل جدیدی از فناوری پاکسازی محیط زیست است که میتواند برخلاف روشهای سنتی، راه حل اقتصادی برای برخی از مشکلات ناشی از آلایندهها باشد. فناوری نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی و باکتری‌های غیرهوازی چشم انداز وسیعی را جهت حذف آلاینده‌های آبهای زیرزمینی ایجاد نموده است. سه دسته از باکتری‌های غیر هوازی که با نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی برهمکنش می‌دهند عبارتند از: باکتریهای تنفس کننده اورگانوهالید (OHRB)، باکتری‌های احیاء کننده سولفات (SRB) و باکتری‌های احیاء کننده آهن (IRB) که عموماً برای پالایش زیستی غیر هوازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. بطور کلی می‌توان گفت نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی قادرند شرایط مناسب رشد و فعالیت باکتری‌های غیر هوازی را ایجاد نمایند. OHRB و SRB می‌توانند هالیدهای آلی را به طور هم‌افزایی تجزیه کرده و فلزات سنگین را با nZVI حذف کنند و IRB می‌تواند nZVI غیرفعال را با احیاء اکسیدهای آهن در سطح nZVI فعال کند.

نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی به عنوان یک عامل احیاء کننده قوی قادر است آلاینده‌های غیر آلی، آلی و فلزات سنگین را از بین ببرد (Dong et al., 2018). برای پالایش آبهای زیرزمینی، با استفاده از روش *In situ*، ذرات nZVI را می‌توان مستقیماً به سطح زیرین تزریق نمود. این ذرات به سبب سطح ویژه و واکنش پذیری زیاد قادرند آلاینده‌های هدف را از بین ببرند. با وجود این، نانو ذرات آهن ممکن است به هم متصل و تشکیل ذرات درشت‌تری بدهند، در این صورت سطح ویژه و واکنش پذیری آنها کاهش می‌یابد (Dong et al., 2019).

در خلال فرایند پالایش، باکتری‌های بی‌هوازی در سطح زیرین رشد می‌کنند و با انجام فرایندهای بیوشیمیایی منابع کربن آلی و متابولیسم آنها باعث سمیت‌زدایی می‌شوند. در سالهای اخیر برهمکنش nZVI و باکتری‌های بی‌هوازی به عنوان یک رویکرد مهم و امیدوار کننده در پالایش آبهای زیر زمینی مورد توجه قرار گرفته است. در واقع، خوردگی nZVI می‌تواند پتانسیل اکسیداسیون و احیاء را کاهش دهد که این می‌تواند شرایط احیایی مناسبی را برای رشد باکتری‌های بی‌هوازی فراهم سازد. از طرف دیگر، هیدروژن تولید شده از خوردگی nZVI قادر است الکترون‌ها را برای باکتری‌های هیدروژن‌تروف فراهم سازد. علاوه بر این، سیستم یکپارچه و توانمند nZVI و باکتری‌های بی‌هوازی قادر است آلاینده‌ها را کاملاً از بین ببرد و یا به مواد غیر سمی یا بی‌ضرر تبدیل نمایند.

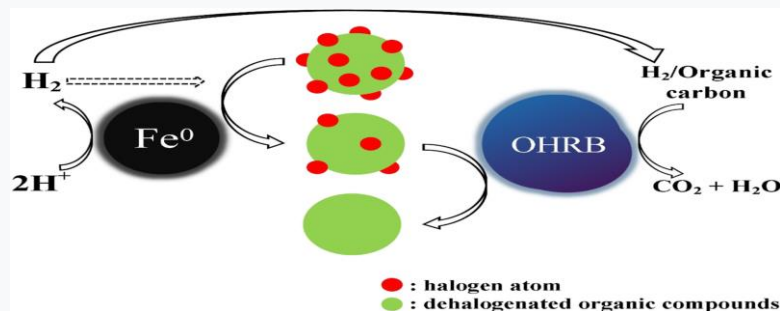
### اثرات همراه شدن nZVI و OHRB

نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی (nZVI) به عنوان یک احیاء کننده قوی جهت تخریب هیدروکربن‌های هالوژن‌دار در سطح وسیعی بکاربرده میشوند. در خلال این تخریب شیمیایی، nZVI اکسید و به بون فرو تبدیل و ترکیبات آلی هالوژنه احیاء و به ترکیبات آلکان (پارافین هم نامیده می‌شوند) تبدیل میشوند (Xue et al., 2017). اگرچه nZVI توانایی و سرعت زیادی در تخریب شیمیایی ترکیبات آلی بشدت هالوژنه شده را دارد، ولی این توانایی تخریب ترکیبات آلی کمتر هالوژنه شده به شدت کاهش می‌یابد. این باعث ایجاد محدودیت در استفاده از nZVI برای تخریب ترکیبات آلی هالوژنه میشود. با وجود این، باکتری *Dehalococcoides sp.* می‌تواند این ضعف را جبران نماید. در واقع این سویه‌ها در حذف هالوژن از ترکیبات آلی کمتر هالوژنه شده بسیار موثر و کارا می‌باشند. بنابراین آیین باکتریها به اتفاق nZVI می‌توانند در تخریب ترکیبات آلی به شدت هالوژنه شده شرکت نمایند. علاوه بر این حضور nZVI میتواند شرایط مناسب احیایی را برای این باکتری‌ها فراهم سازد. ضمناً هیدروژن تولید شده از nZVI می‌تواند دهنده الکترون برای این باکترها باشند.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

### سازوکارهای وارد در سیستم پالایش OHRB-nZVI

جهت تامین الکترون‌های لازم در سیستم پالایش یکپارچه OHRB-nZVI سه طریق اصلی وجود دارد (شکل ۹): اول، nZVI می‌تواند الکترون‌های لازم را برای احیاء هالوژن‌های آلی فراهم کند. ساز و کار اصلی این احیاء که توسط nZVI صورت می‌گیرد حذف-بتا ( $\beta$ -elimination) می‌باشد. یکی از اتم‌هایی که حذف می‌شود معمولاً پروتون است. دوم، هیدروژن تولید شده توسط nZVI همچنین می‌تواند الکترون تولید کند. علاوه بر این، بعضی از سوی‌های دهالوکوکوئیدها (Dehalococcoide) می‌توانند لاکتات را به عنوان یک مخزن کربن بکار ببرند و لاکتات می‌تواند در متابولیسم باکتری هیدروژن تولید کنند. سوم، سوی‌های دهالوکوکوئیدها که قادرند الکترون‌های لازم را با احیاء نمودن هالوژن‌های آلی از طریق اکسیداسیون کربن آلی و تبدیل آن به آب و دی اکسید کربن، فراهم نمایند (Dong et al., 2019).



شکل ۹ - ساز و کار تخریب هیدروکربن‌های هالوژن دار در سیستم باکتری و نانو آهن صفر ظرفیتی

### قارچهای میکوریزا آربسکولار و نانوذرات آهن صفر ظرفیتی

در یک مطالعه (Cheng, et. al., 2021)، نقش نانوآهن صفر ظرفیتی (nZVI) و قارچ میکوریزا آربسکولار (*Acaulospora mellea* ZZ) در میزان جذب کادمیم، سرب و روی توسط سورگوم شیرین ارزیابی شد. تلقیح میکوریزایی بطور معنی داری غلظت کادمیم، سرب و روی را در گیاه و نیز میزان DTPA-Cd, DTPA-Pb, DTPA-Zn را در خاک کاهش داد که نشانگر آن است که قارچ AM توانسته است عناصر سنگین را ایموبلایز کند. در غلظت کم نانوآهن صفر ظرفیتی (۱۰۰ پی پی ام)، قارچ میکوریزا و nZVI اثرات هم‌افزایی در ایموبیلیزاسیون فلزات سنگین داشتند.

### و کلام آخر

- امروزه با توجه به دخالت‌های فاجعه بار انسان در محیط زیست و آلوده نمودن اکوسیستم‌های آبی و خاکی و اینکه آلاینده‌های زیست محیطی به مرزهای جغرافیایی محدود نمی‌شوند و اثرات مخرب آنها بر انسان و سایر موجودات زنده مشکلات بسیار فراوانی را بوجود آورده است، تلاش‌های بین‌المللی فراوانی در سایه تحقیقات گسترده جهت از بین بردن یا کاهش این تهدیدها هر چند به صورت غیر جدی در حال انجام است ولی مدیون برنامه‌ریزی‌های مدون و اراده قوی برای اجرای این برنامه هاست. اقدامات چند جانبه ذیل به منظور حفظ و سلامت محیط زیست امری است لازم و اجتناب ناپذیر:
- افزایش توانایی جامعه میکروبی و گیاهی جهت کاهش و پالایش آلودگی‌ها از طریق افزایش جمعیت، تنوع آنها و نیز انتخاب و تکثیر گونه‌ها و سویه‌های برتر از طریق ابزارهای زیست فناوری.
- استفاده از انرژی‌های پاک و کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی.
- افزایش تلاش‌های بین‌المللی در کاهش آلاینده‌ها و پایداری کشورها به تعهدات بین‌المللی.

### Abstract

Environmental threats are harmful after-effects of the human activities to our ecosystems. Many pollutants, both direct and indirect, threaten our environmental health. Only two environmental threats are pointed out here, including increased greenhouse gas concentrations and accumulation of heavy metals in water and soil resources

and their consequences on environment. The role and mechanisms of plants and micro-organisms in reducing the Before the industrial era, the concentration of carbon dioxide destructive effects of these threats will also be discussed. dioxide in the atmosphere was constant at about 280 ppm. However, with the development of industries and the extensive use of fossil fuels, the concentration of carbon dioxide gradually increased. The concentration of carbon dioxide, as the most abundant greenhouse gas, increased so that the concentration of this gas in August 2021 The consequences of this increase include global warming, climate change, droughts, climate reached 414 ppm. crises, ecosystems degradation, and declining agricultural productions that will be pointed out in interaction with Heavy metals are another environmental pollutant whose impact on the environment .plant and microorganisms and their interaction with microorganisms and plants will be discussed.

## References:

- Banerjee, S., Misra, A., Chaudhury, S., Dam, B. (2019). A *Bacillus* strain TCL isolated from Jharia coalmine with remarkable stress responses, chromium reduction capability and bioremediation potential. *Journal of Hazard Mater*, 367, 215–223.
- Bansal, V., Rautaray, D., Ahmad, A. Sastry, M. (2004). Biosynthesis of zirconiananoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*. *Journal of Materials Chemistry*, 14, 3303–3305.
- Jain, N., Bhargava, A., Majumdar, S., Tarafdar, J. C., Panwar, J. (2011). Extracellular biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using *Aspergillus flavus* NJP08: A mechanism perspective. *The Royal Society of Chemistry*, 3, 635–641.
- Basu, S., Mackey, K. R. M. (2018). Phytoplankton as Key Mediators of the biological carbon pump: Their responses to a changing climate. *Sustainability*, 10, 1-18.
- Baumert, H. Z., Petzoldt, T. (2008). The role of temperature, cellular quota and nutrient concentrations for photosynthesis, growth and light-dark acclimation in phytoplankton. *Limnological*, 38, 313–326.
- Cicatelli, A., Lingua, G., Todeschini, V., Biondi, S., Patrizia Torrigiani, P., Castiglione, S. (2010). Arbuscular mycorrhizal fungi restore normal growth in a white poplar clone grown on heavy metal-contaminated soil, and this is associated with upregulation of foliar metallothionein and polyamine biosynthetic gene expression. *Annals of Botany*, 106, 791–802.
- Chen, S. H., Cheow, Y. L., Ng, S. L., Ting, A. S. Y. (2019). Mechanisms for metal removal established via electron microscopy and spectroscopy: a case study on metal tolerant fungi *Penicillium simplicissimum*. *Journal of Hazard Materials*, 362, 394–402.
- Cheng, P., Zhang, S., Wang, Q., Feng, X., Zhang, S., Sun, Y., Wang, F. (2021). Contribution of Nano-Zero-Valent Iron and Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil. *Nanomaterials*, 11 (15), 1264. <https://doi.org/10.3390/nano11051264>.
- Dean, R. T., Davis, M. (1993). Reactive species and their accumulation on radical-damaged proteins. *Trends and Biological Sciences*, 18, 437–441.
- Dong, H., Jiang, Z., Deng, J., Zhang, C., Cheng, Y., Hou, K., Zhang, L., Tang, L., Zeng, G. (2018). Physicochemical transformation of Fe/Ni bimetallic nanoparticles during aging in simulated groundwater and the consequent effect on contaminant removal. *Water Resources*, 129, 51–57.
- Dong, H., Li, L., Lu, Y., Cheng, Y., Wang, Y., Ning, Q., Wang, B., Zhang, L., Zeng, G. (2019). Integration of nanoscale zero-valent iron and functional anaerobic bacteria for groundwater remediation: A review. *Environment International*, 124, 265–277.
- Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407–418.
- Hall, J. L. (2001). Cellular mechanisms heavy metals detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53, 1-11.
- Hammer, E. C., Rillig, M. C. (2011). The Influence of different stresses on glomalin levels in an arbuscular mycorrhizal fungus- salinity increases glomalin content. *Public Library of Science*, Open-access. 6(21), e28426. doi:10.1371/journal.pone.0028426.
- Jain, N., Bhargava, A., Majumdar, S., Tarafdar, J. C., Panwar, J. (2011). Extracellular biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using *Aspergillus flavus* NJP08: A mechanism perspective. *The Royal Society of Chemistry*, 3, 635–641.
- Janicka-Russak, M., Kaba1a, K., Burzynski, M., and K1obus, G. (2008). Response of plasma membrane H<sup>+</sup>-ATPase to heavy metal stress in *Cucumis sativus* roots. *Journal of Experimental Botany*, 59, 3721–3728.
- Janicka-Russak, M., Kaba1a, K., Burzynski, M. (2012). Different effect of cadmium and copper on H<sup>+</sup>-ATPase activity in plasma membrane vesicles from *Cucumis sativus* roots. *Journal of Experimental Botany*, 63, 4133–4142.
- Kang, X., Kirui, A., Muszyński, A., Widanage, M.C.D., Chen, A., Azadi, P., Wang, P., Mentink-Vigier, F., Wang, T. (2018). Molecular architecture of fungal cell walls revealed by solid-state NMR. *Nature Communications*, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05199-0>.

- Klaus, T., Joerger, R., Olsson, E., Granqvist, C. G. (1999). Silver-based crystalline nanoparticles, microbially fabricated. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(24), 13611–13614.
- Kumar, V., Dwivedi, S. K. (2021). Mycoremediation of heavy metals: processes, mechanisms, and affecting factors. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 10375–10412.
- Lei, D., Duan, C. (2008). Restoration potential of pioneer plants growing on lead-zinc mine tailings in Lanping, southwest China. *Journal of Environmental Science*, 20, 1202–9.
- Li, L., Maher, K., Navarre-Sitchler, A., Jenny Druhan, J. (2017). Expanding the role of reactive transport models in critical zone processes. *Earth-Science Reviews*, 165, 280–301.
- Limmer, M., Burken, J. (2016). Phytovolatilization of organic contaminants. *Environmental Science and Technology*, 50, 6632–6643, DOI: 10.1021/acs.est.5b04113.
- Leung, H. M., Ye, Z. H., Wong, M. H. (2006). Interactions of mycorrhizal fungi with *Pteris vittata* (as hyperaccumulator) in as-contaminated soils. *Environment Pollution* 139, 1–8.
- Manara, A. (2012). Plant responses to heavy metals. In: *Plants and heavy metals*. Furini, A. (ed.). Chapter 2, p 27–53, DOI: 10.1007/978-94-007-4441-7\_2, Springer.
- Menon, S., Rajeshkumar, S., Kumar, V. (2017). A review on biogenic synthesis of gold nanoparticles, characterization, and its applications. *Resource-Efficient Technologies* 3(4), 516–527.
- Nedjimi, B. (2021). Phytoremediation: a sustainable environmental technology for heavy metals decontamination. *SN Applied Sciences*, 3(286), <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04301-4>.
- Pajević, S., Boričev, M., Nikolić, N., Arsenov, D. D., Orlović, S., Župunski, M., (2016). Phytoextraction of heavy metals by fast-growing trees: A review, in: *Phytoremediation Management of Environmental Contamination*, 3, 29–64. <https://doi.org/10.1007/>
- Passow, U., Carlson, C.A. (2012). The biological pump in a high CO<sub>2</sub> world. *Marine Ecological Progress Series*, 470, 249–271.
- Rackley Stephen A (2010). Carbon capture and storage, In book, pp267–286. Doi: [10.1016/B978-1-85617-636-1.00012-2](https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-636-1.00012-2)
- Salvadori, M. R., Ando, R. A., Oller, N. C. A., Corrêa, B. (2015). Extra and intracellular synthesis of Nickel Oxide nanoparticles mediated by dead fungal biomass. *Public Library of Science*, 10(6):0129799. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129799>.
- Sanders, R., Henson, S. A., Koski, M., Christina, L. (2014). The biological carbon pump in the North Atlantic. *Progress in Oceanography*, 129, 200–218.
- Saranya, K., Arumugam Sundaramanickam, A., Shekhar, S., Meena, M., Subramaniyan, R., Sathishkumar, R., Thangavel Balasubramanian, T. (2018). Biosorption of multi-heavy metals by coral associated phosphate solubilising bacteria *Cronobacter muytjensii* KSCAS2. *Journal of Environmental Management*, 222, 396–401.
- Sundaram, P., Augustine, R., Kannan, M. (2012). Extracellular biosynthesis of iron oxide nanoparticles by *Bacillus subtilis* strains isolated from rhizosphere. *Biotechnological Bioprocess Engineering*, 17(4), 835–840.
- Tangsombatvichit, P., Semkiv, M. V., Sibirny, A. A., Jensen, L. T., Ratanakhanokchai, K., Soontorngun, N. (2015). Zinc cluster protein Znf1, a novel transcription factor of non-fermentative metabolism in *Saccharomyces cerevisiae*. *Federation of European, Microbiological Societies of Yeast Research*, 15(2), 1–16.
- Wang, R., Wang, S., Tai, Y., Tao, R., Dai, Y., Guo, J., Yang, Y., Duan, S. (2017). Biogenic manganese oxides generated by green algae *Desmodesmus sp.* WR1 to improve bisphenol A removal. *Journal of Hazard Mater* 339, 310–319.
- Wang, L., Ji, B., Hu, Y., Liu, R., Sun, W. (2017b). A review on in situ phytoremediation of mine tailings. *Chemosphere* 184, 594–600. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.06.025.
- Xue, L., Feng, X., Xu, Y., Li, X., Zhu, M., Xu, J., He, Y. (2017). The dechlorination of pentachlorophenol under a sulfate and iron reduction co-occurring anaerobic environment. *Chemosphere*, 182, 166–173.
- Yadav, K. K., Singh, J. K., Gupta, N., Kumar, V. (2017). A review of nanobioremediation technologies for environmental cleanup: a novel biological approach. *Journal of Materials and Environmental Science* 8, 740–757.

## تجربیات اندازه‌گیری و مدل‌سازی فرسایش خاک در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان

عبدالواحد خالدي درويشان<sup>۱</sup>، فاطمه صديقي<sup>۲</sup>، نسرین اعظمي<sup>۳</sup>، بيٲا محمودي<sup>۳</sup>، الهه فتحي دره‌نيچه<sup>۳</sup>، حميد خدامرادي<sup>۳</sup>،

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

محسن خورسند<sup>۱</sup>، جلال فرجی<sup>۲</sup>، محمد دریکوندی<sup>۳</sup>، محمد امجدی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار (نویسنده مسئول)، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

پست الکترونیکی: [a.khaledi@modares.ac.ir](mailto:a.khaledi@modares.ac.ir)

۲- دانش آموخته دکتری و پژوهشگر پسادکتری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

### چکیده

خاک به عنوان یک منبع مهم در تغذیه اجتماعات انسانی، یکی از ارزشمندترین منابع در هر کشور و یکی از نقاط مورد هدف در مدیریت کشاورزی و منابع طبیعی است. علاوه بر این، فرسایش خاک با آسیب‌های درون و برون منطقه‌ای، پایداری اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی را به خطر می‌اندازد. ناکافی بودن داده‌های اندازه‌گیری فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از کشورها و نیاز روزافزون به این داده‌ها، استفاده از مدل‌های فرسایش و رسوب را اجتناب‌ناپذیر کرده است. آبخیزهای آزمایشی و زیرآبخیزهای زوجی بیش از نیم قرن است که در کشورهای مختلف برای پژوهش و پیش‌بینی عملکرد روش‌های حفاظت خاک و آب و در دهه‌های اخیر، برای اهداف آموزشی، پژوهشی و ترویجی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان در جنوب استان کردستان واقع شده و به عنوان معرف منطقه وسیعی از غرب ایران انتخاب شده است. در سال‌های اخیر، اندازه‌گیری و برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب در تعدادی از پژوهش‌ها در این آبخیز انجام شده است. برخی از مهمترین نتایج این پژوهش‌ها شامل اندازه‌گیری‌های هدررفت خاک در میخ‌ها و کرت‌های فرسایش و داده‌های مشاهداتی رسوب در خروجی زیرآبخیزهای زوجی و کل آبخیز، اندازه‌گیری رسوب در مخازن بندهای رسوب‌گیر، برآورد فرسایش خاک، تولید و تحویل رسوب با استفاده از مدل‌های تجربی و سزیم-۱۳۷، تحلیل شاخص اتصال رسوب و در نهایت شاخص‌های کیفیت رسوب بستر در این نوشتار ارائه شده است. علاوه بر این، رویکردها و اهداف پژوهش‌های آینده مورد تأکید قرار گرفته است.

**کلمات کلیدی:** آبخیزهای آزمایشی، آبخیزهای معرف، اتصال رسوبی، سزیم-۱۳۷، InVEST، نسبت تحویل رسوب.

### ۱- مقدمه

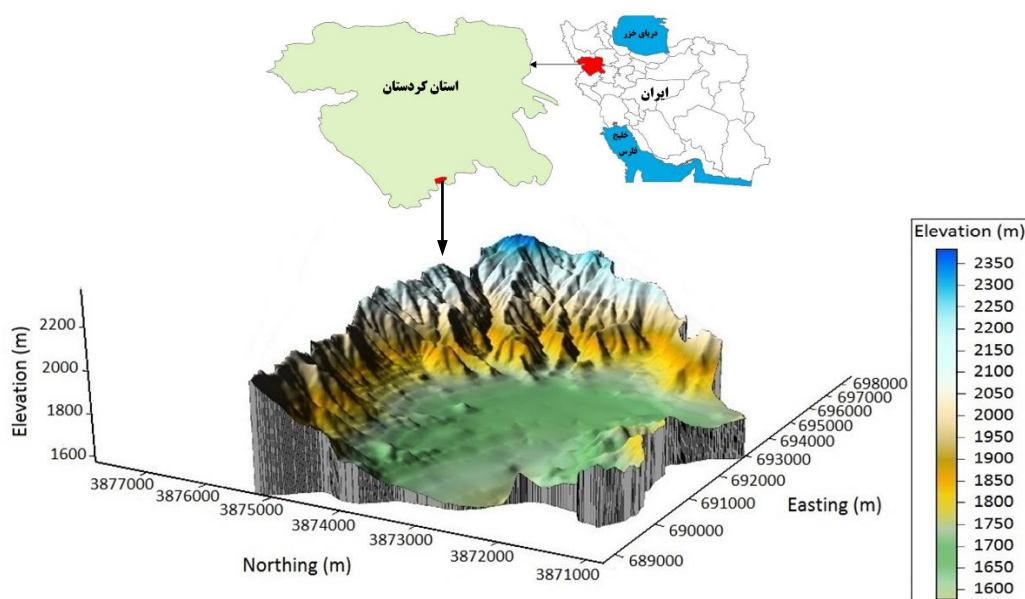
آبخیزهای آزمایشی از بیش از نیم قرن پیش در کشورهای مختلف برای توسعه روش‌هایی برای پیش‌بینی عملکرد روش‌های حفاظت خاک و آب استفاده شده است (Dymond، ۲۰۱۶؛ Kelly و Glymph، ۱۹۶۵؛ Moran و همکاران، ۲۰۰۸؛ Osterkamp، ۲۰۰۸؛ Rothacher، ۱۹۶۶). اگرچه اخیراً به دلیل برخی ایرادات و انتقادات سهم آبخیزهای تجربی در علم هیدرولوژی و مدیریت آبخیزداری کاهش پیدا کرده است، اما در دهه‌های اخیر، این آبخیزها کماکان برای اهداف آموزشی، پژوهشی و ترویجی نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. منتقدان به عنوان معایب به هزینه آبخیزهای تجربی، عدم برخورداری از ویژگی معرف بودن آنها، مشکل در به کارگیری نتایج در سایر مناطق و عدم ایجاد پیشرفت در دانش اولیه در مورد فرآیندهای هیدرولوژی اشاره می‌کنند (Hewlett و همکاران، ۱۹۶۹). با این حال بسیاری از پژوهش‌گران فرسایش خاک در سراسر جهان آبخیزهای آزمایشی و ایستگاه‌های اندازه‌گیری دبی آب و غلظت رسوب در مقیاس‌های مختلف از جمله در خروجی کرت، دامنه، زیرآبخیز و حتی کل آبخیز را از ضروریات پژوهش در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب می‌دانند. نه تنها فرسایش خاک، بلکه کیفیت آب نیز یکی از مهمترین متغیرهایی است که تحت تأثیر سناریوهای حفاظت خاک و آب اجرا شده در آبخیزهای تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است (Cho و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین Li و همکاران (۲۰۱۳) اهداف علمی و پژوهشی مهمی را برای آبخیزهای آزمایشی برشمرده‌اند که یکی از مهم‌ترین آنها امکان تعمیم نتایج اندازه‌گیری‌ها، برآوردها و تحلیل‌های انجام شده در این آبخیزها توسط پژوهش‌گران به کل آبخیزهای مشابه در یک منطقه است. این موضوع مهم‌ترین هدف انتخاب، تجهیز و تمرکز مطالعات و پژوهش‌های حفاظت خاک و آب در آبخیزهای معرف است. حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان یکی از آبخیزهای معرف ایران در غرب کشور است، جایی که کوه‌های زاگرس در ترکیب با شرایط اقتصادی و اجتماعی مناظری بی‌نظیر و منحصر به فرد ایجاد

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

کرده است. پوشش قابل توجه زمین‌های دیم، با انجام شخم و عملیات خاکورزی موازی با جهت شیب اصلی، میزان فرسایش خاک را در این منطقه افزایش داده و لذا پژوهش‌های فرسایش خاک در این منطقه از شرایط خاصی برخوردار است. بیش از ۱۵ سال تمرکز مطالعات در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان به دلیل همین نیاز و شرایط خاص بوده است. روش‌های اصلی اندازه‌گیری فرسایش و ارزیابی اقدامات حفاظت خاک و آب در آبخیزها به طور کلی از سه رویکرد اصلی شامل کرت، آبخیزهای زوجی و آبخیزهای تک‌منبع پیروی کرده‌اند (Striffler, ۱۹۶۵) و دو مورد از این رویکردها شامل کرت‌های فرسایش و زیرآبخیزهای زوجی در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان استفاده شده است.

### ۲- منطقه مورد مطالعه

سابقه انتخاب و تجهیز آبخیزهای آزمایشی در ایران برای اهداف مختلف آموزشی، پژوهشی و ترویجی به بیش از چهار دهه پیش برمی‌گردد. آبخیز خامسان یکی از آبخیزهای معرف زوجی و نمایشی است که حدود ۱۵ سال پیش توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری ایران انتخاب و تجهیز شده است. شکل ۱ موقعیت مکانی حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان را در استان کردستان و ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان در استان کردستان و ایران

دو زیرآبخیز در جنوب غربی آبخیز با حداکثر شباهت‌های ممکن در شرایط طبیعی و انسانی از جمله مساحت، توپوگرافی (شیب و جهت و ارتفاع)، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به عنوان زیرآبخیزهای زوجی (شاهد و نمونه) انتخاب شده‌اند. تنها تفاوت قابل توجه بین شاهد و زیرآبخیز نمونه پروژه‌های حفاظت خاک است که برای مطالعه تأثیر اقدامات بر رواناب، فرسایش خاک و تولید رسوب اجرا شده است. برای این منظور، هر دو زیرآبخیزهای شاهد و نمونه به ایستگاه هواشناسی با استاندارد اقلیم‌شناسی و دیگر ایستگاه‌های اندازه‌گیری شامل میخ‌ها و کرت‌های فرسایش، ایستگاه هیدرومتری از نوع فلوم سانتاریتا با ظرفیت ۵ متر مکعب در ثانیه مجهز شده است. یک ایستگاه باران‌نگاری پلویو نیز در ارتفاع متوسط آبخیزهای زوجی قرار گرفته است تا گرادیان تغییرات بارش با ارتفاع در آبخیز با دقت بیشتری قابل مطالعه باشد. حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان با مساحت ۴۳۳۶ هکتار در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان کامیاران در استان کردستان و در حد واسط ۴۷° ۴۵' ۴۷" تا ۴۴° ۴۷' ۱۰" طول شرقی و ۵۷° ۵۱' ۳۴" تا ۳۵° ۱' ۲۹" عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). در این آبخیز سه روستا به نام‌های خامسان، سنگ‌سفید و سیف‌آباد وجود دارد. بیشینه، کمینه و متوسط ارتفاع در آن به ترتیب ۲۳۸۵، ۱۵۷۶ و ۱۸۴۰ متر از

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

سطح دریا و متوسط شیب آن ۲۵/۱۱ درصد است. متوسط بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۳۴۵/۲ میلی‌متر و ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است (خورسند و همکاران، ۱۳۹۵).

### ۳- پژوهش‌های مرتبط با فرسایش خاک و تولید رسوب

#### ۳-۱- اندازه‌گیری‌ها، برآوردها و تحلیل‌ها

اندازه‌گیری رسوبات در کرت‌ها و نیز خروجی آبخیز معرف زوجی خامسان و زیرآبخیزهای نمونه و شاهد توسط اداره کل منابع طبیعی استان کردستان و همچنین برخی دانشگاه‌ها (پایان‌نامه‌ها و رساله‌های دانشجویی) انجام شده است. نتایج رسوب‌دهی مشاهداتی برای دو مقیاس زیرآبخیز شاهد و کل حوزه آبخیز خامسان در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج رسوب مشاهداتی در خروجی زیرآبخیز شاهد و کل آبخیز معرف زوجی خامسان

| مقیاس مکانی     | مقیاس زمانی | رسوب معلق مشاهداتی در خروجی آبخیز<br>(تن در هکتار در سال) | رسوب کل مشاهداتی با لحاظ ۲۰ درصد بار بستر<br>(تن در هکتار در سال) |
|-----------------|-------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| کل آبخیز خامسان | ۲۰۱۶-۲۰۱۵   | ۰/۳۳                                                      | ۰/۳۹                                                              |
| زیرآبخیز شاهد   | ۲۰۰۹        | ۱/۴۵                                                      | ۱/۷۴                                                              |
|                 | ۲۰۱۰        | ۲/۶۲                                                      | ۳/۱۴                                                              |
|                 | ۲۰۱۱        | ۱/۳۲                                                      | ۱/۵۸                                                              |
|                 | ۲۰۱۸        | ۱/۸۷                                                      | ۲/۲۴                                                              |

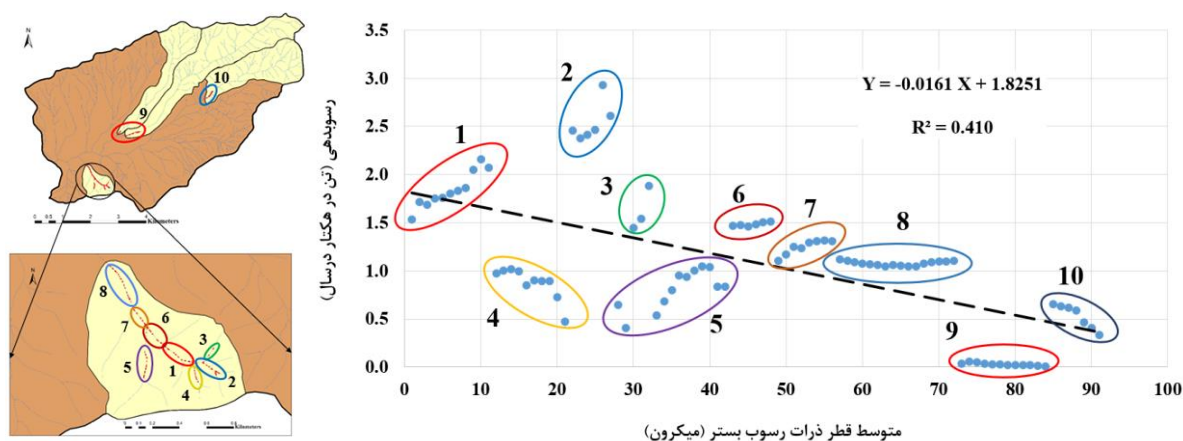
رسوب‌دهی در کل حوزه آبخیز خامسان بر اساس یک سال نمونه‌برداری رسوب و همچنین متوسط رسوب‌دهی در زیرآبخیز شماره ۱۵ (شاهد) در چهار سال اندازه‌گیری رسوب بر اساس جدول ۲ به ترتیب ۰/۳۹ و ۲/۱۷۵ تن در هکتار در سال محاسبه شده است (خورسند و همکاران، ۱۳۹۵). رسوب اندازه‌گیری شده در زیرآبخیز شاهد و همچنین در کل حوزه آبخیز خامسان به روش سزیم-۱۳۷ در محدوده دو برابر مقادیر رسوب مشاهداتی است. علاوه بر اختلاف روش اندازه‌گیری رسوب، نکته مهم اختلاف مقیاس زمانی اندازه‌گیری است که برای روش سزیم-۱۳۷ میانگین بلند مدت (حدود ۶۵ سال) است در حالی که رسوب مشاهداتی کل حوزه آبخیز مربوط به سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ (۱۶-۲۰۱۵) (خورسند و همکاران، ۱۳۹۵) و در مورد زیرآبخیز شاهد مربوط به چهار سال (۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸) است.

علاوه بر این کم بودن رسوب‌دهی کل حوزه آبخیز نسبت به زیرآبخیز شاهد و دیگر زیرآبخیزها، ناحیه داخلی حوزه آبخیز است. در حقیقت توسعه روستای خامسان و هم‌چنین مناطق با کاربری‌های کشاورزی آبی و باغ در بخش‌های میانی حوزه آبخیز خامسان است که بر اساس نتایج پژوهش‌های انجام شده در این حوزه آبخیز به‌عنوان مناطقی با پتانسیل تله‌اندازی رسوب محسوب می‌شوند. در حالی که در زیرآبخیز شماره ۱۵ به دلیل مساحت کم مناطق تله‌انداز رسوب به نسبت کل حوزه آبخیز بسیار کمتر است و این یافته نشان‌دهنده و موکد اهمیت مخازن رسوب در یک سامانه آبخیز است (de Vente و همکاران، ۲۰۰۷؛ Stout و همکاران، ۲۰۱۴). هرچه مساحت آبخیز کوچک‌تر باشد سطوح موثر در توزیع مجدد رسوب کمتر و لذا تحویل رسوب به سامانه حمل و همچنین رسوب خروجی بیشتر شده و این موضوع توسط پژوهش‌گران پیشین (به عنوان مثال Walling و Webb، ۱۹۸۳؛ Ferro و Minacapilli، ۱۹۹۵؛ Fang و همکاران، ۲۰۰۸؛ Porto و همکاران، ۲۰۱۳؛ Zhang و همکاران، ۲۰۱۳؛ Wu و همکاران، ۲۰۱۸؛ Wang و همکاران، ۲۰۱۶) نیز مورد تأکید قرار گرفته است.

همچنین نتایج هدررفت خاک در کرت‌ها در مقیاس‌های مختلف زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه) با نتایج متوسط فرسایش خاک در مقیاس‌های متناظر حاصل از میخ‌های فرسایش مستقر در کنار کرت‌ها مقایسه شده و به نوعی نسبت تحویل رسوب کرت در مقیاس‌های زمانی محاسبه شد (دریکوندی و همکاران، ۱۳۹۷)؛ چراکه نسبت تحویل رسوب حتی در مقیاس کرت فقط در مقیاس زمانی سالانه برابر واحد فرض می‌شود. اگرچه این نسبت بیش از هر عامل دیگر به سطح وابسته است و هر قدر آن سطح بزرگ‌تر باشد بخش بیشتری از فرسایش قبل از رسیدن به خروجی تحت تأثیر فرآیند بازتوزیع قرار می‌گیرد و نسبت تحویل رسوب کاهش می‌یابد، اما در سطح‌های کوچک کرت‌ها نیز عملاً هیچ‌گاه این نسبت برابر واحد (۱۰۰ درصد) نیست. دلیل آن

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

بازتوزیع بخشی از بار رسوب قبل از رسیدن به نقطه خروجی کرت است. در تحلیل این موضوع توجه به اثر متقابل مقیاس‌های مکانی و زمانی بسیار مهم است. با افزایش مساحت امکان تله‌اندازی رسوب قبل از رسیدن به خروجی بیش‌تر می‌شود، در حالی‌که با افزایش زمان فرصت انتقال بخش بیشتری از بار رسوب به خروجی مهیا می‌شود (خالدی درویشان و همکاران، ۱۴۰۰ الف). اندازه‌گیری رسوب در مخازن بندهای رسوب‌گیر نیز در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان انجام شده است (فتحی دره‌نیچه، ۱۳۹۸). به منظور اندازه‌گیری حجم رسوبات مخازن تعداد ۹۵ بند رسوب‌گیر، اندازه‌گیری‌های میدانی شامل عرض بالا و پایین و طول حجم مرده برای هر مخزن انجام شد. حجم رسوبات ته‌نشین شده در پشت هر بند رسوب‌گیر با استفاده از روش هندسی محاسبه و با توجه به جرم مخصوص اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به جرم رسوبات تبدیل شد. در مرحله بعد، برای هر یک از مقادیر اندازه‌گیری شده بار بستر، مقدار معادل بار معلق با استفاده از نمودار Karaushev بدست آمد و در نهایت بار رسوبی کل برای آبخیزهای بالادست هر بند رسوب‌گیر محاسبه شد. همچنین، برای به دست آوردن کل تولید رسوب برای هر بند، نتایج بندهای بالادست نیز در نظر گرفته شد. سرانجام، با تقسیم جرم رسوب اندازه‌گیری شده به مساحت بالادست هر بند و با توجه به تعداد سال‌های پس از ساخت هر بند، متوسط تولید رسوب سالانه برای آبخیز بالادست هر بند رسوب‌گیر بر حسب تن در هکتار در سال بدست آمد. نتایج نشان داد که حداقل، حداکثر و متوسط تولید رسوب آبخیزهای بالادست بندهای رسوب‌گیر به ترتیب ۰/۰۱، ۲/۹۳ و ۱/۱۲ تن در هکتار در سال بود. توزیع اندازه رسوبات مخازن در همه ۹۵ بند رسوب‌گیر در آبخیز اندازه‌گیری و تحلیل شده است. نتایج نشان داد که بین رسوب‌دهی آبخیز بالادست هر بند رسوب‌گیر و میانگین قطر ذرات رسوبات پشت بند رابطه جالبی وجود دارد (شکل ۲). همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، میزان رسوب در ناحیه بالادست برای هر بند رسوب‌گیر با افزایش میانگین قطر ذرات رسوبات بستر کاهش می‌یابد. اما عامل اصلی مؤثر بر اندازه ذرات رسوبات بستر که در پشت بندهای رسوب‌گیر رسوب کرده‌اند فاصله از بالادست است. با افزایش فاصله از بالادست، قطر ذرات نیز افزایش می‌یابد. این به دلیل ظرفیت و شایستگی جریان است که در جریان‌ها با رتبه‌های بالاتر افزایش می‌یابد.



شکل ۲- رابطه تولید رسوب و میانگین قطر ذرات رسوبات مخازن بندهای رسوب‌گیر در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان

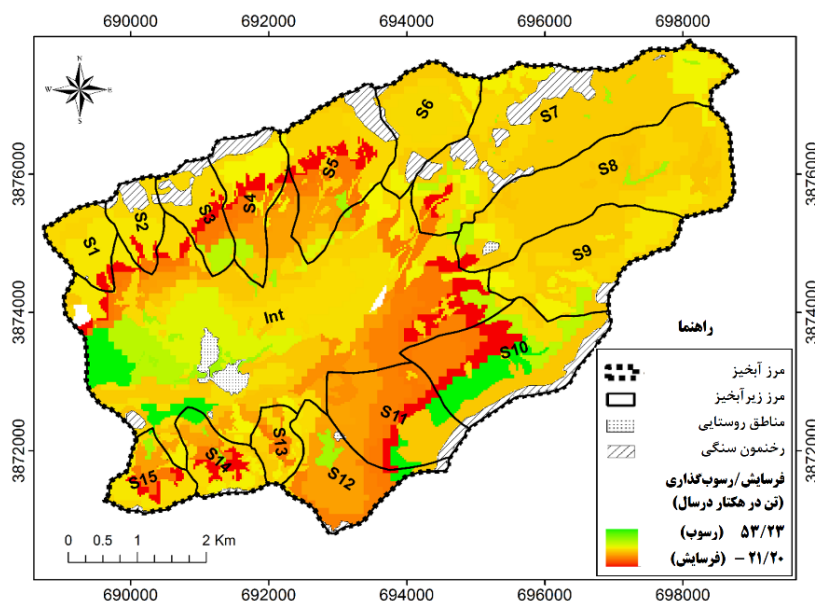
علی‌رغم تلاش برای اندازه‌گیری رسوبات معلق و بستر، نیاز فزاینده به داده‌های فرسایش خاک و رسوب به ویژه داده‌ها و نقشه‌های توزیعی، استفاده از مدل‌های فرسایش و رسوب را اجتناب‌ناپذیر کرده است (Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۸). بنابراین به عنوان اولین تلاش، حداکثر جریان خروجی و شدت فرسایش خاک برای حوزه آبخیز معرف خامسان با استفاده از مدل IntErO برآورد شده و با میزان رسوب اندازه‌گیری شده آبخیز مقایسه شد و در نهایت برآوردهای مدل IntErO در حوزه آبخیز خامسان مورد تأیید قرار گرفت. نتایج نشان داد که اوج جریان ۲۷/۵۰ متر مکعب در ثانیه با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بود. فرسایش خالص خاک از کل آبخیز ۱۲۲۶۳/۴۴ متر مکعب در سال و یا به طور ویژه ۲/۸۳ متر مکعب در هکتار در سال بود. بر اساس نتایج مدل IntErO مشخص شد که فرسایش سطحی در این حوزه آبخیز فرسایش غالب است (Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۸). سپس از مدل RUSLE برای برآورد هدررفت ماهانه، فصلی و سالیانه خاک به تفکیک برای همه زیرآبخیزها

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

استفاده شده و با توجه به ارائه نقشه توزیعی فرسایش در مدل RUSLE، برآورد هدررفت خاک سالانه مدل با اندازه‌گیری‌های فرسایش خاک با استفاده از میخ‌ها و کرت‌های فرسایش در دامنه‌های متناظر مقایسه شد. بر اساس نتایج مدل RUSLE فرسایش خاک حدود ۱۸ تن در هکتار در سال برآورد شد، در حالی که نتایج میدان‌های میخ فرسایش و کرت‌های فرسایش به دلیل مشکل بودن تعمیم از نقطه و سطح دامنه به مقیاس حوزه آبخیز، بسیار کم‌تخمین بودند. تعمیم نتایج آنها تنها با در نظر گرفتن نسبت مساحت، نمی‌تواند برآورد مناسبی از فرسایش کل آبخیز به دست دهد.

در ادامه از مدل WaTEM/SEDEM برای تهیه نقشه توزیعی فرسایش خاک و همچنین انتقال رسوب استفاده شد (فرجی، ۱۳۹۷؛ خالدی درویشان و همکاران، ۱۴۰۰ ب). WaTEM/SEDEM ترکیبی از دو مدل WaTEM و SEDEM است که در دانشگاه لوون بلژیک ارائه شده است (Van Oost و همکاران، ۲۰۰۰؛ Van Rompaey و همکاران، ۲۰۰۱؛ Verstraeten و همکاران، ۲۰۰۲). در برآورد ظرفیت انتقال رسوب در زیر مدل SEDEM، ضریب ظرفیت انتقال رسوب (Ktc) مهمترین امکان برای واسنجی مدل WaTEM/SEDEM است. در همین راستا از داده‌های اندازه‌گیری رسوب در خروجی آبخیز خامسان به مدت یک سال طبق مطالعه Bezak و همکاران (۲۰۱۵) برای واسنجی مدل استفاده شد. ضریب ظرفیت انتقال رسوب می‌تواند برای شرایط مختلف توپوگرافی و کاربری زمین از ۷۵ تا ۲۵۰ متغیر باشد. بنابراین، با در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای این ضریب از طریق روش آزمایش و خطا و بر اساس داده‌های مشاهداتی، مقدار بهینه برای این ضریب در آبخیز خامسان انتخاب شد. نتایج نشان داد که هدررفت خاک در بخش‌های مختلف حوزه آبخیز بین صفر تا ۵۸/۲۳ و میانگین ۱۱/۵۸ تن در هکتار در سال متغیر است. نتایج برآورد ظرفیت انتقال رسوب سالانه با استفاده از WaTEM/SEDEM نیز نشان داد ظرفیت انتقال رسوب سالانه ۱/۷۲ تا ۱۳/۶۶ تن در هکتار در سال با متوسط ۲/۵۴ تن در هکتار در سال است. بنابراین میانگین SDR برای کل آبخیز ۱۹/۳۵ درصد بوده است.

در مراحل بعدی پژوهش‌های فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان از روش سزیم-۱۳۷ برای مطالعه میانگین هدررفت خاک و بودجه‌بندی رسوب استفاده شده است (صدیقی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Sedighi و همکاران، ۲۰۲۰). نقشه توزیعی فرسایش/رسوب‌گذاری در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان در شکل ۳ و نمودار بودجه رسوب بر مبنای کاربری‌ها/پوشش‌های اراضی در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان در شکل ۴ ارائه شده است.

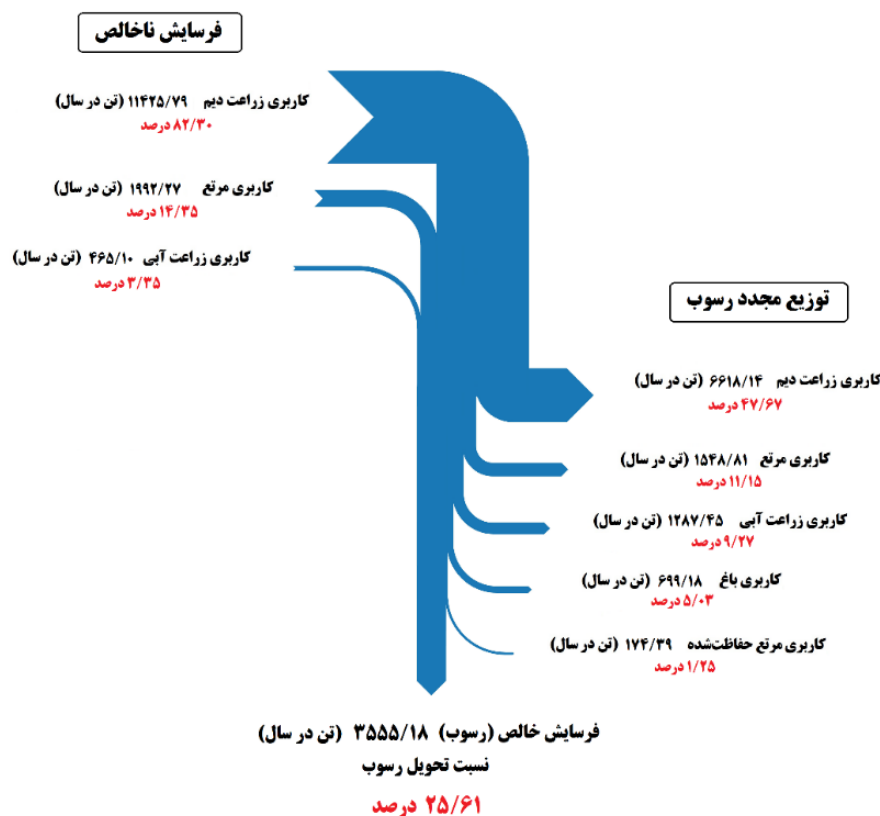


شکل ۳- نقشه توزیعی فرسایش/رسوب‌گذاری در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان (اعداد منفی نشان‌دهنده فرسایش و اعداد مثبت نشان‌دهنده رسوب‌گذاری هستند)

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، بیشترین و کمترین مقدار فرسایش به ترتیب در کاربری اراضی کشاورزی دیم به میزان ۱۴۲۵/۷۹ تن در سال (۸۲/۳۰ درصد) و کاربری اراضی کشاورزی آبی به میزان ۴۶۵/۱۰ تن در سال (۳/۳۵ درصد) رخ داده

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

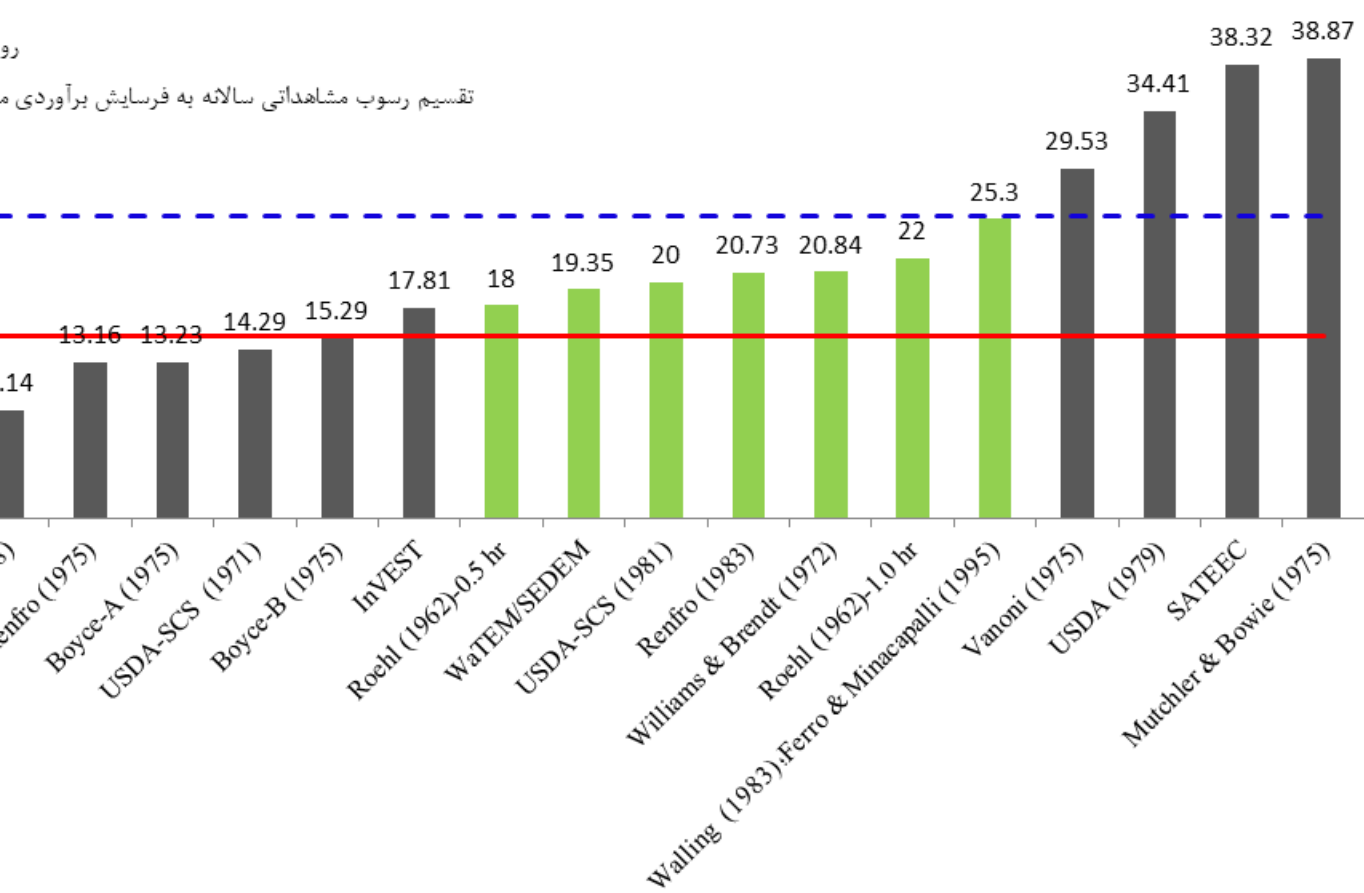
است. همچنین در کاربری اراضی کشاورزی دیم با میزان ۶۶۱۸/۱۴ تن در سال (۴۷/۶۷ درصد) بیشترین و در مرتع حفاظت شده با میزان ۱۷۴/۳۹ تن در سال (۱/۲۵ درصد) کمترین توزیع مجدد رسوب رخ داده است.



شکل ۴- نمودار بودجه رسوب بر مبنای کاربری/پوشش‌های اراضی در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان

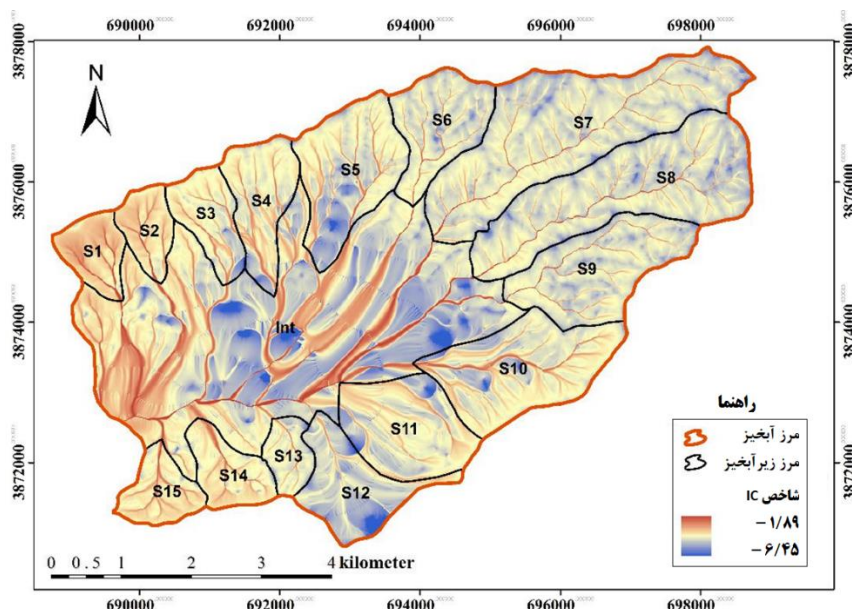
در مرحله بعدی تحقیق، به منظور ارزیابی روش‌های برآورد SDR، مدل‌های تجربی مبتنی بر متغیرهای سهل‌الوصول، مدل شاخص سرویس جنگل امریکا و مدل‌های کامپیوتری SATEEC و InVEST در حوزه آبخیز خامسان مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت (اعظمی، ۱۳۹۸). سپس، نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف تخمین SDR با استفاده از آزمون‌های آماری مناسب مقایسه شد. البته نتایج روش سزیم-۱۳۷ و همچنین نسبت رسوب مشاهده شده به فرسایش حاصل از مدل RUSLE نیز که در مطالعات قبلی انجام شد نشان داد که محدوده قابل قبول برای SDR در مقیاس کل آبخیز معرف زوجی خامسان حدود ۲۵-۱۵ درصد می‌باشد. لذا در بین روش‌های مورد مطالعه روش‌های InVEST، Roehl، WaTEM/SEDEM، USDA-SCS، Renfro، Walling، Williams & Brendt و Ferro & Minacapalli برآوردهایی در محدوده ۱۵ تا ۲۵ درصد ارائه داده‌اند و لذا در حوزه آبخیز مورد مطالعه از عملکرد بهتری برخوردار بوده‌اند و به عنوان مدل‌های مناسب برای تخمین نسبت تحویل رسوب در آبخیز مورد مطالعه و آبخیزهای مشابه معرفی می‌شوند. همچنین نتایج اجرای مدل‌های مورد بررسی در مقیاس زیرآبخیز بر تفاوت بین عملکرد مدل‌های مختلف در دو مقیاس زیرآبخیز و آبخیز تأکید کرد. نتایج کلیه روش‌های مورد استفاده برای برآورد SDR در مقایسه با روش سزیم-۱۳۷ و نسبت رسوب مشاهده شده به فرسایش حاصل از مدل RUSLE در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان در شکل ۵ ارائه شده است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



### روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب سالانه

شکل ۵- نتایج کلیه روش‌های مورد استفاده برای برآورد SDR در مقایسه با روش سزیم-۱۳۷ و نسبت رسوب مشاهده شده به فرسایش حاصل از مدل RUSLE در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسانشاخص اتصال (IC) با بررسی ویژگی‌های مکانی و الگوهای اتصال در یک آبخیز، شناسایی منبع رسوب و مسیرهای انتقال رسوب را امکان‌پذیر می‌کند (Cavalli و Crema, ۲۰۱۸). بدین منظور در مراحل بعدی پژوهش، نقشه توزیعی شاخص اتصال رسوب در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان با استفاده از نرم افزار SedInConnect تهیه شد (محمودی، ۱۳۹۸). سپس ارتباط بین شاخص اتصال رسوب و SDR حاصل از مدل WaTEM/SEDEM و روش سزیم-۱۳۷ در مطالعات قبلی در مقیاس زیرآبخیز و کل آبخیز مورد بررسی قرار گرفت. میانگین مقادیر شاخص اتصال رسوب در طبقات مختلف شیب و ارتفاع و همچنین کاربری‌های مختلف اراضی محاسبه شد. بر اساس نتایج تحلیل‌های آماری، همبستگی بین شاخص اتصال رسوب و SDR برآوردی مدل WaTEM/SEDEM و همچنین روش سزیم-۱۳۷ مثبت و معنی‌دار بود. نقشه شاخص اتصال حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- نقشه شاخص اتصال رسوب در حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان

نتایج نشان داد که اتصال رسوب در آبراهه‌ها و تپه‌های غربی و شمال غربی حوزه آبخیز بیشتر است. علاوه بر زاویه شیب نسبتاً زیاد برای دامنه‌ها، دلیل آن نزدیک بودن این مناطق به شبکه هیدروگرافی و حمل سریع رسوب به خروجی حوزه آبخیز است که باعث افزایش پتانسیل انتقال رسوب می‌شود. در حالی که در برخی از قسمت‌های ناحیه داخلی حوضه، شیب بسیار کمتر از دامنه‌های اطراف است، که منجر به اتصال رسوب کمتر در این مناطق نسبت به سایر نقاط آبخیز می‌شود که مشابه نتایج پژوهش‌گران قبلی است (Calsamiglia و همکاران، ۲۰۱۸؛ Gay و همکاران، ۲۰۱۶؛ Mishra و همکاران، ۲۰۱۹). در مرحله بعد توزیع مکانی و منشأ فلزات سنگین همراه با رسوبات بستر رودخانه و شاخص‌های کیفیت رسوب در حوزه آبخیز معرف خامسان انجام شد (امجدی، ۱۳۹۹). از نظر شاخص عامل آلودگی تنها عناصر کادمیم، آرسنیک و روی در درجه آلودگی متوسط قرار دارند. قابل تمامی فلزات سنگین از نظر شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده درجه بسیار پایین آلودگی را نمایش می‌دهند. تمامی نمونه‌ها از نظر شاخص بار آلودگی زیر عدد یک قرار دارند که نشان‌دهنده عدم آلودگی نمونه‌های رسوب بستر است. نتایج محاسبه شاخص تجمع زمینی برای نمونه‌های رسوب بستر نیز نشان داد که منطقه مورد مطالعه از نظر شاخص تجمع زمینی نسبت به اکثر فلزات سنگین غیرآلوده است. در این میان تنها فلز آرسنیک در برخی مقطع عموماً در ارتباط با عاون سنگ آلودگی متوسط تا شدید دارد. همچنین مقادیر کمینه و بیشینه شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی در رسوبات بستر حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان به ترتیب متعلق به فلز کادمیم و روی بوده است.

### ۳-۲- ارزیابی عملکرد اقدامات حفاظت خاک و آب

یکی از اهداف اصلی انتخاب و تجهیز حوزه‌های آبخیز معرف زوجی ارزیابی عملکرد روش‌های حفاظت خاک و آب است. اندازه‌گیری رواناب و هدررفت خاک در کرت‌های استاندارد مستقر در زیرحوضه‌های نمونه و شاهد حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان توسط پژوهش‌گران مختلف انجام و تحلیل شده است. در یکی از این پژوهش‌ها رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک حاصل از ۵۲ رگبار طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۳ بررسی شد و پژوهش‌گران بر تاثیر معنی‌دار قرق در کرت‌های مستقر در زیرآبخیز نمونه نسبت به زیرآبخیز شاهد تاکید کردند (خالدی درویشان و همکاران، ۱۳۹۶). نمونه‌ای از تحلیل‌های آماری انجام شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- شاخص‌های آماری متغیرهای حجم و ضریب رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک در زیرآبخیزهای نمونه و شاهد

| متغیر | زیرحوضه | میانگین | خطای استاندارد میانگین | درصد تغییرات در قرق (%) |
|-------|---------|---------|------------------------|-------------------------|
|-------|---------|---------|------------------------|-------------------------|

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

|       |      |       |       |                                 |
|-------|------|-------|-------|---------------------------------|
| ۱۵/۶۸ | ۱/۰۵ | ۳۴/۷۸ | نمونه | حجم رواناب کرت (L)              |
| ---   | ۱/۱۸ | ۴۱/۲۵ | شاهد  |                                 |
| ۶/۱۳  | ۰/۱۸ | ۳/۵۲  | نمونه | ضریب رواناب کرت (%)             |
| ---   | ۰/۲۱ | ۳/۷۵  | شاهد  |                                 |
| ۱۶/۶۷ | ۰/۰۵ | ۰/۶۵  | نمونه | غلظت رسوب ( $\text{g L}^{-1}$ ) |
| ---   | ۰/۰۶ | ۰/۷۸  | شاهد  |                                 |
| ۲۴/۳۷ | ۲/۰۲ | ۲۴/۱۵ | نمونه | هدررفت خاک از کرت (g)           |
| ---   | ۲/۶۷ | ۳۱/۹۳ | شاهد  |                                 |

نتایج نشان‌دهنده اثر کاهنده معنی‌دار تیمار قرق بر حجم رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک در مقیاس کرت بود. به عبارت دیگر قرق منجر به کاهش ۱۵/۶۸، ۶/۱۳، ۱۶/۶۷، ۲۴/۳۷ و ۲۱/۴۳ درصدی به ترتیب در حجم و ضریب رواناب، غلظت رسوب، هدررفت خاک و رسوب‌دهی رگبار شد (Khaledi Darvishan و همکاران، ۲۰۱۶). بر اساس نتایج، می‌توان نشان داد که تیمار قرق، به دلیل افزایش تراکم و پوشش گیاهی، باعث افزایش نفوذ و کاهش قابل توجه رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک شده است.

بانکت‌بندی یکی دیگر از روش‌های حفاظت خاک و آب است که از ۱۸ سال قبل در حدود ۲۸ درصد از مناطق مرتعی در زیرآبخیز نمونه انجام شده است. بنابراین، عملکرد بانکت‌بندی همراه با قرق در کاهش فرسایش خاک دامنه‌های مرتعی با استفاده از روش سریم-۱۳۷ ارزیابی شد. متوسط فرسایش ویژه در نقاط اندازه‌گیری در دامنه‌های مرتعی بدون بانکت‌بندی و با بانکت‌بندی به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۲۲ تن در هکتار در سال به دست آمد. ذکر این نکته بسیار مهم است که متوسط فرسایش سالانه خاک در ۶۵ سال گذشته برآورد شده است، در حالی که تنها ۱۸ سال از اقدامات حفاظت خاک و آب و به ویژه بانکت‌بندی می‌گذرد، اما با این حال تأثیر اقدامات حفاظتی در کاهش فرسایش قابل توجه بود (خدامرادی، ۱۳۹۷؛ صدیقی و همکاران، ۱۳۹۸).

### ۴- رهیافت‌ها و اهداف برای پژوهش‌های آینده

علاوه بر تأکید بر تداوم همه اندازه‌گیری‌ها در تمام ایستگاه‌های اندازه‌گیری از جمله ایستگاه اقلیم‌شناسی، میخ‌ها و کرت‌های فرسایش، نمونه‌گیری رواناب و رسوب در خروجی زیرآبخیزهای نمونه و شاهد و کل حوزه آبخیز معرف زوجی خامسان، توصیه می‌شود اندازه‌گیری‌ها و شکاف‌های پژوهشی زیر نیز پوشش داده شود:

- اندازه‌گیری میزان رطوبت خاک و نفوذ
- مطالعه تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر همه ورودی‌های مهم چرخه هیدرولوژی و کاربری اراضی
- تهیه مدل رقومی ارتفاع (DEM) و مدل رقومی زمین (DTM) با دقت بیشتر (در حد متر و یا حتی دسی‌متر) با استفاده از پهپادها و روش‌های فتوگرامتری برای کاربرد در مطالعات
- مطالعه حرکت‌های توده‌ای، فرسایش کناری آبراهه و آب‌کندی و سهم آنها در تولید رسوب
- افزودن نقاط نمونه‌برداری اضافی برای کاربری‌های مختلف برای بهبود نتایج روش سریم-۱۳۷

### اهداف اصلی مد نظر در پژوهش‌های آینده به شرح زیر است:

- افزایش آگاهی در مورد رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک و همچنین دقت بیلان آب
- افزایش آگاهی در مورد فرسایش خاک و توزیع مجدد رسوب در شرایط آینده
- افزایش دقت و کارایی نقشه‌های پایه مورد استفاده برای تهیه نقشه شاخص اتصال، تجمع جریان، عامل توپوگرافی و سایر نقشه‌های شاخص‌های هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی
- افزایش جزئیات و دقت بودجه‌بندی رسوب حوضه
- بهبود دقت نقشه فرسایش خاک و توزیع مجدد رسوب به ویژه در بررسی اثر انحنای دامنه‌ها

### ۵- منابع

- ۱- اعظمی، ن. ۱۳۹۸. ارزیابی روش‌های برآورد نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز معرف خامسان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲- امجدی، م. ۱۳۹۹. شناسایی توزیع مکانی و منشأیابی فلزات سنگین در حوزه آبخیز معرف خامسان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- خالدی درویشان، ع.، صادقی، س.ج.ر.، همایی، م.، عرب‌خدری، م. ۱۴۰۰ الف. سهم‌بندی رسوب در کرت‌های آزمایشگاهی با شبیه‌سازی بارام، پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۴(۲): ۱۵-۳۱.
- ۴- خالدی درویشان، ع.، فرجی، ج.، غلامی، ل.، خورسند، م. ۱۴۰۰ ب. تغییرات مکانی-زمانی فرسایش خاک در حوزه آبخیز معرف خامسان با استفاده از مدل RUSLE. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۳(۳): ۵۳۴-۵۴۷.
- ۵- خالدی درویشان، ع.، هادی قورقی، ج.، کاتبی‌کرد، آ.، محمدامینی، ه.، غلامی، ل.، کرم‌زاده، ا.، بهمنی، ع.، سعیدی، ف. ۱۳۹۶. اثر قرق بر رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک در کرت‌های فرسایش در حوزه آبخیز معرف خامسان در استان کردستان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۴(۶): ۲۴۳-۲۵۵.
- ۶- خدامرادی، ج. ۱۳۹۷. تغییرپذیری مکانی عملکرد اقدامات آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک در حوزه آبخیز معرف خامسان با استفاده از روش سزیم-۱۳۷. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۷- خورسند، م.، خالدی درویشان، ع.، غلامعلی فرد، م. ۱۳۹۵. مقایسه نتایج برآورد هدررفت سالانه مدل RUSLE با داده‌های به‌دست‌آمده از میخ‌ها و کرت‌های فرسایش در حوضه آبخیز معرف خامسان. اکوهیدرولوژی، ۳(۴): ۶۶۹-۶۸۰.
- ۸- دریکوندی، م.، خالدی درویشان، ع.، چپی، ک. ۱۳۹۷. اندازه‌گیری فرسایش خاک در بازه‌های مختلف زمانی در حوضه آبخیز معرف خامسان با استفاده از میخ‌های فرسایش، اکوهیدرولوژی، ۲(۵): ۶۷۵-۶۸۵.
- ۹- صدیقی، ف.، خالدی درویشان، ع.، زارع، م.ر. ۱۳۹۸. ارزیابی عملکرد اقدامات آبخیزداری در حوزه آبخیز معرف خامسان با استفاده از اجزای بودجه رسوب. چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. ۷ ص.
- ۱۰- صدیقی، ف.، خالدی درویشان، ع.، زارع، م.ر. ۱۳۹۹. ارزیابی تأثیر شیب بر فرسایش و جابه‌جایی رسوب برآوردشده با روش سزیم-۱۳۷ در آبخیز معرف خامسان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۳(۳): ۲-۱۹.
- ۱۱- فتحی دره‌نیچه، ا. ۱۳۹۸. تحلیل مقایسه‌ای نتایج رسوب‌سنجی مخازن بندهای اصلاحی، سزیم-۱۳۷ و مدل WaTEM/SEDEM در حوزه آبخیز معرف خامسان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۲- فرجی، ج. ۱۳۹۷. برآورد تغییرات مکانی نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز معرف خامسان با استفاده از WaTEM/SEDEM. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۳- محمودی، ب. ۱۳۹۸. تحلیل ارتباط نسبت تحویل رسوب و شاخص اتصال ساختاری رسوب در حوزه آبخیز معرف خامسان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- 14- Bezak N. Rusjan S. Petan S. Sodnik J. Mikoš M. 2015. Estimation of soil loss by the WATEM/SEDEM model using an automatic parameter estimation procedure. Environmental Earth Sciences, 74(6): 5245-5261.
- 15- Calsamiglia A. Fortesa J. García- Comendador J. Lucas- Borja M.E. Calvo- Cases A. Estrany J. 2018. Spatial patterns of sediment connectivity in terraced lands: Anthropogenic controls of catchment sensitivity. Land Degradation & Development, 29(4): 1198-1210.
- 16- Cavalli M. Trevisani S. Comiti F. Marchi L. 2013. Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments. Geomorphology, 188: 31-41.
- 17- Cho J. Vellidis G. Bosch D.D. Lowrance R. Strickland T. 2010. Water quality effects of simulated conservation practice scenarios in the Little River Experimental Watershed. Journal of Soil and Water Conservation, 65(6): 463-473.
- 18- Crema S. and Cavalli M. 2018. SedInConnect: A stand-alone, free and open source tool for the assessment of sediment connectivity. Computers & Geosciences, 111: 39-45.

- 19- De Vente, J., Poesen, J., Arabkhedri, M., Verstraeten, G., 2007. The Sediment Delivery Problem Revisited. *Progress in Physical Geography*, 31(2): 155–178.
- 20- Dymond S.F. 2016. Caspar Creek Experimental Watersheds Experiment Three Study Plan: The influence of forest stand density reduction on watershed processes in the South Fork. Postdoctoral Research Hydrologist, USDA Forest Service Pacific Southwest Research Station 1731 Research Park Drive Davis, CA 95618.
- 21- Fang, H.Y., Cai, Q.G. Li, Q.Y., 2008. A Review of the Relationship Between Specific Sediment Yield and Drainage Area. *Progress in Geography*, 27(6): 63–69.
- 22- Ferro, V., Minacapilli, M., 1995. Sediment Delivery Processes at Basin Scale. *Hydrological Sciences Journal*, 40: 703–716.
- 23- Gay A. Cerdan O. Mardhel V. Desmet M. 2016. Application of an index of sediment connectivity in a lowland area. *Journal of Soils and Sediments*, 16(1): 280–293.
- 24- Hewlett J.D. Lull H.W. Reinhart K.G. 1969. In defense of experimental watersheds. *Water Resources Research*, 5(1): 306–316.
- 25- Kelly L.L. Glymph L.M. 1965. Experimental watersheds and hydrologic research. IASH, Sym. of Budapest, Representative and Experimental Areas. IASH Pub 66: 5–11.
- 26- Khaledi Darvishan A. Derikvandi M. Aliramaee R. Khorsand M. Spalevic V. Gholami L. Vujacic D. 2018. Efficiency of IntErO Model to Predict Soil Erosion Intensity and Sediment Yield in Khamsan Representative Watershed (West of Iran). *Agrofor*, 3(2): 22–31.
- 27- Khaledi Darvishan A. Gholami L. Hadi Ghorghi J. Spalević V. Katebi Kord A. Mohamad Amini H. 2016. Effect of exclosure on runoff, sediment concentration and soil loss in erosion plots. *Agrofor*, 1(1): 49–57.
- 28- Li X. Cheng G. Liu S. Xiao Q. Ma M. Jin R. Che T. Liu Q. Wang W. Qi Y. Wen J. 2013. Heihe watershed allied telemetry experimental research (HiWATER): Scientific objectives and experimental design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(8): 1145–1160.
- 29- Mishra K. Sinha R. Jain V. Nepal S. Uddin K. 2019. Towards the assessment of sediment connectivity in a large Himalayan river basin. *Science of the Total Environment*, 661: 251–265.
- 30- Moran M.S. Emmerich W.E. Goodrich D.C. Heilman P. Holifield Collins C.D. Keefer T.O. Nearing M.A. Nichols M.H. Renard K.G. Scott R.L. Smith J.R. 2008. Preface to special section on fifty years of research and data collection: US Department of Agriculture Walnut Gulch Experimental Watershed. *Water Resources Research*, 44(5): W05S01.
- 31- Osterkamp W.R. 2008. Geology, soils, and geomorphology of the Walnut Gulch experimental watershed, tombstone, Arizona. *Journal of the Arizona-Nevada Academy of Science*, 40(2): 136–155.
- 32- Porto, P., Walling, D.E., Callegari, G., 2013. Using Cs-137 and Pbex-210 Measurements to Investigate the Sediment Budget of A Small Forested Catchment in Southern Italy. *Hydrological Processes*, 27: 795–806.
- 33- Rothacher J. 1966. Experimental watersheds used as a research tool by the Forest Service. In Unit Source Watershed Conference (1965: St. Louis, Mo.). US Forest Service.
- 34- Sedighi, F., Khaledi Darvishan, A., Zare, M.R., 2021. Effect of Watershed Geomorphological Characteristics on Sediment Redistribution. *Geomorphology*, 375: 107559.
- 35- Stout, J.C., Belmont, P., Schottler, S.P., Willenbring, J.K., 2014. Identifying Sediment Sources and Sinks in the Root River, Southeastern Minnesota. *Annals of the Association of American Geographers*, 104(1): 20–39.
- 36- Striffler W.D. 1965. The selection of experimental watersheds and methods in disturbed forest areas. In Anonymous, Symposium of Budapest. International Association of Surface Hydrologists, Budapest, Hungary, 464–473.
- 37- Van Oost K. Govers G. Desmet P. 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*. 15(6): 577–589.
- 38- Van Rompaey A.J. Verstraeten G. Van Oost K. Govers G. Poesen J. 2001. Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11): 1221–1236.
- 39- Verstraeten G. Van Oost K. Van Rompaey A. Poesen J. Govers G. 2002. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. *Soil Use and Management*, 18(4): 386–394.

- 40- Walling, D.E., Webb, B.W., Gregory, K.J. 1983. Patterns of sediment yield. In: Gregory, K.J. (Ed.), Background to Palaeohydrology, John Wiley & Sons.
- 41- Wang, W., Wang, L.L. and Fan, D.M., 2016. Scale effects on sediment transport in small cascading dammed Loess Hilly-Gully watershed. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 30(8): 108–112.
- 42- Wu, L., Liu, X., Ma, X.Y., 2018. Research Progress on the Watershed Sediment Delivery Ratio. *International Journal of Environmental Studies*, 75(4): 565–579.
- 43- Zhang, X.M., Cao, W.H., Wu, S.H., Qin, W., 2013. Dependence of Sediment Delivery Ratio on Scale and Its Fractal Characteristics. *Journal of Hydrologic Engineering*, 44(10): 1225–1232.

### **Experiences of Measuring and Modeling Soil Erosion in Khamsan Representative Paired Watershed**

A. Khaledi Darvishan<sup>\*1</sup>, F. Sedighi<sup>2</sup>, N. Azami<sup>3</sup>, B. Mahmoudi<sup>3</sup>, E. Fathi Dareh Nijeh<sup>3</sup>, H. Khodamoradi<sup>3</sup>, M. Khorsand<sup>3</sup>, J. Faraji<sup>3</sup>, M. Derikvandi<sup>3</sup>, M. Amjadi<sup>3</sup>

1- Associate Professor (Corresponding Author), Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Email: [a.khaledi@modares.ac.ir](mailto:a.khaledi@modares.ac.ir)

2- Former Ph.D. Student and Postdoctoral Researcher, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

3- Former M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran.

**Abstract**

Soil as an important resource in the nutrition of human communities, is one of the most valuable resources in any country and is one of the target points in agricultural and natural resources management. In addition, soil erosion with intra- and extra-regional damage endangers economic, social, political, and environmental sustainability. Insufficient data on measuring soil erosion and sediment yield in many countries and the growing need for this data has made the use of erosion and sediment yield models inevitable. Experimental watersheds and paired subwatersheds have been used for more than half a century in various countries to research and predict the performance of soil and water conservation methods, and in recent decades, for educational, research and promotional purposes. The Khamesan representative paired watershed is located in the south of Kurdistan province and has been selected as the representative of a large area of western Iran. In recent years, measurement and estimation of soil erosion and sediment yield have been performed in a number of researches in this watershed. Some of the most important results of these researches include soil loss measurements in erosion pins and plots and observed sediment data at the outlet of paired subwatersheds as well as the whole watershed, sediment measurements in checkdam reservoirs, estimation of soil erosion and sediment yield and delivery using experimental models and  $^{137}\text{Cs}$ , sediment connectivity index analysis and finally bed sediment quality indices are presented in this paper. In addition, the approaches and goals of future researches are emphasized.

**Key words:**  $^{137}\text{Cs}$ , Experimental Watersheds, InVEST, Representative Watersheds, Sediment Connectivity, Sediment Delivery Ratio.

سیر تحول مطالعات اجتماعی شبکه های آبیاری و زهکشی

از پروژه محور به مسئله محور

محمدصادق سرزعیم

درس آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷۲)

کارشناس مهندسی مشاور آب خاک تهران

ساخت شبکه های آبیاری و زهکشی یکی از مهمترین فعالیت های ۵ دهه اخیر بخش آب کشاورزی است که با سرمایه گذاری سنگین چندین هزار میلیاردی برای کشور همراه بوده است. هزاران هکتار از اراضی زیر شبکه های سنتی و اراضی دیم به شبکه های آبیاری و زهکشی مدرن مجهز شده اند. شبکه اصلی توسط وزارت نیرو ساخته شده و وزارت کشاورزی مجری احداث شبکه فرعی است.

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

اگرچه تجربیات مهندسی دوره ساخت شبکه ها ارزشمند بوده ، اما تجربه حاصل از مسایل و مشکلات اقتصادی و اجتماعی برای برنامه ریزان ، مجریان و مهندسان دست اندر کار به مراتب ذی قیمت و گرانسنگ تر است.

بطور اصولی در گذشته در بخش کشاورزی سطح بالایی از همکاری و همیاری (نظام بنه ها ، رسم واره و لایروبی انهار و...) در جوامع کشاورزی ایران مرسوم بوده ، اما با تحول سریع اجتماعی در جامعه کشاورزی، رقابت و تلاش برای بهره مندی بیشتر از منابع مالی دولت برای ساخت پروژه های تامین آب و شبکه های مدرن آبیاری و زهکشی جایگزین همکاری و همیاری شد. درخواست های مکرر کشاورزان از نمایندگان و شکل گیری الگویی از انتخابات بر اساس میزان تعهد نامزد های نمایندگی برای ساخت سد و یا شبکه آبیاری و زهکشی از نتایج بارز آن است و البته مدیران دولتی نیز به آن دامن زدند.

تا قبل از دهه ۸۰ برای انجام مطالعات اجتماعی شرح خدمات مشخص و استاندارد تدوین نشده بود، بلکه مشاوران و کارفرمایان به فراخور تشخیص شرح خدمات مورد توافق را تهیه می کردند. در شرح خدمات های اولیه دهه ۵۰ و ۶۰ اغلب فقط بررسی توزیع سنی ، رشد جمعیت، وسعت خانوار، نوع اشتغال ، بررسی وضع مالکیت ها ، نظام و الگوی بهره برداری، نیروی کار ماشینی موجود بطور محدود مسایل اصلی مورد مطالعه بودند.

با اتمام ساخت و به بهره برداری رسیدن پروژه ها بتدریج مشکلات نظام بهره برداری و اجتماعی پروژه ها آشکار شد. عدم رضایت کشاورزان از ظرفیت کانال ها ، نظام و نحوه توزیع آب در شبکه ، دستکاری برخی اجزای مکانیکی توسط بهره برداران ، عدم آشنایی اپراترهای بهره بردار ، تخریب برخی از سازه ، نیاز به مرمت و نگهداری و بالاخره عدم پرداخت حقابه از سوی کشاورزان بیشترین موارد گزارش شده است. در هر صورت نگاه مهندسان برای حل مشکلات همچنان فنی بوده و یکی از مهمترین راه حل های پیشنهادی استفاده از خطوط لوله به جای کانال روباز برای جلوگیری از دسترسی کشاورزان به تاسیسات شبکه بود.

با ورود به دهه ۷۰ و افزایش مشکلات کم کم مشخص شد که چالش های گزارش شده از شبکه ها در حال افزایش است و راه حل کاربردی قابل توجهی برای این مشکلات یافت نشده و شیوه های مهندسی و فنی برخورد با مشکلات راه به جایی نه برده است .

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

پس از این مرحله بتدریج کارشناسان مهندسين مشاور فعال در حوزه مدیریت آب و دانشگاهیان در نشست های علمی موضوع های جدیدی را وارد مقوله طراحی و بهره برداری از شبکه های آبیاری نمودند. موضوع هایی از قبیل :

کارگاه مشورتی ، اعتماد اجتماعی ، مشارکت (Participation) ، مشارکت اجتماعی ، مشارکت در فرآیند تصمیم گیری، خبرگان کشاورزی و آبیاری ، ، مشارکت جمعی برای مشروعیت بخشی به تصمیم های جمعی.

بنابراین مهندسان مشاور و کارفرما وارد مرحله تازه از مطالعات و شیوه های برقراری ارتباط با جامعه کشاورزی شدند که قبلاً سابقه نداشت. موضوع نظام های بهره برداری ، استفاده از تجربیات افراد خبره بومی و بکار گیری عرف های بومی و بر این اساس شکل گیری شکل های اجتماعی برای مدیریت آب وارد حیطه کاری مهندسان مشاور شد. تا قبل از این در واقع مهندسان بخش آب با تفکر پروژه محور مجموعه از سازه ها و شبکه آبیاری را برای بهره برداری بهینه از منابع آب و فقط با توجه به عوامل فیزیکی محیط طراحی و بر زیست بوم منطقه سوار می کردند. مشکلات این شیوه فقط پس از اجرا قابل ارزیابی بود. زیرا در شیوه پروژه محور تاثیر اجرای طرح بر رفتار آبی بهره برداران یا کشاورزان و ذی نفعان قابل پیش بینی نیست.

از اواسط دهه ۸۰ با اوج گیری تحولات جدید اجتماعی در جهان بحث های جهانی شدن و نگرانی از کمبود آب و امنیت غذایی، برخی تجربیات جهانی مدیریت آب وارد فضای بحث های کارشناسی در داخل کشور شد، به علاوه بر پایه درس آموخته ها از نتایج پروژه های اجرا شده مطالعات مهندسان مشاور دچار دگرگونی کامل از حیث شیوه و اسلوب کار گردید. در واقع نگاه تفکر سیستمی و یکپارچه دیدن زیست بوم مورد مطالعه برای اجرای پروژه وارد مبانی مطالعات اجتماعی پروژه های آب شد.

- اولین تحول در باره موقعیت مطالعات رخ داد به این معنی که محل مطالعات از دفتر مهندس مشاور به جامعه هدف یعنی روستا یا صحرا منتقل شد.
- دومین تحول در تیم مطالعات صورت گرفت تسهیلگر اجتماعی جایگزین مهندسان فنی شد.
- اما سومین و مهمترین تحول در شیوه مطالعات بوجود آمد :

## هفدهمین کنگره علوم خاک ایران و چهارمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

شیوه طراحی پروژه از توصیه های فنی و بر مبنای رویکرد تکنولوژیک با شیوه جدید بر اساس زمینه های بومی ، نیازهای مبتنی بر اعلام نظر جامعه هدف و ایجاد پایداری زیست بوم ها ( شیوه مسئله محور) جایگزین شد.

در دهه اخیر با ورود واژگان جدید به ادبیات مطالعات اجتماعی بطور کلی روند تازه در مطالعات پروژه های آبی شکل گرفته است. رویکرد مطالعات یکپارچه منابع آب و خاک (IWRM) به عنوان دستاورد تجربه جهانی در پروژه های آب که عمدتاً با چالش تراژدی منابع مشترک روبرو هستند شیوه یا ابزاری است برای حل ابر چالش های آب که بر استفاده از تخصص های میان رشته ای کارشناسان اصرار دارد. ، انجام مطالعات یکپارچه منابع آب و خاک و سایر منابع با نگرش همه جانبه به موضوع شیوه مسئله محور شناخته می شود. در واقع مطالعات اجتماعی از حالت ساکن مبتنی بر دریافت اطلاعات فیزیکی و طراحی پروژه خارج شده و به شکل پویا و دینامیک درآمده است .

اما سوال مهم و اساسی این است که چگونه میتوانیم از فرآیند های ابزار مطالعات یکپارچه منابع آب (IWRM) در مطالعات شبکه های آبیاری و زهکشی و سایر پروژه های منابع طبیعی بهره ببریم؟