برآورد رطوبت سطحی خاک با استفاده از روش‌های داده کاوی و داده‌های ماهواره سنتینل-۲

آزاده صداقت[۱]؛ محمودشعبانپور شهرستانی[۲]؛ علی اکبر نوروزی[۳]؛ علیرضا فلاح نصرت آباد[۴]؛ حسین بیات[۵]

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، ایران؛ (Azadehsedaghat65@gmail.com)
۲- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، ایران
۳- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۴- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۵- گروه علوم و مهندسی خاک؛ دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده:

رطوبت سطحی خاک متغیر مهمی است که نقش حیاتی در مدیریت منابع آب و خاک دارد. برآورد این پارامتر یکی از کاربردهای مهم سنجش از دور به حساب می‌آید. هدف از این پژوهش ارائه مدلی برای برآورد میزان رطوبت سطحی خاک با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ است. در این مطالعه به بررسی ارتباط میان شاخص‌های طیفی خاک با رطوبت سطحی خاک، با استفاده از تکنیک داده کاوی[۱] پرداخته، و مدلی برای تخمین رطوبت خاک ارائه خواهد شد. روش رندم فارست رطوبت خاک را نسبت به روش رگرسیون با دقت بیشتری برآورد کرده است. PTF_4 که شامل ورودی‌هایی مانند خصوصیات پایه‌ایی به‌همراه شاخص‌های طیفی رطوبت (NMDI و WRI) در هر دو روش رگرسیون (MLR) و رندم فارست (RF) نتایج خوبی داشته است. بنابراین رندم فارست با ایجاد رابطه‌ای خوب میان رطوبت خاک و ورودی‌ها، مدلی با دقت بالاتری نسبت به روش رگرسیون ارائه می‌دهد. در نتیجه شاخص‌های طیفی تخمین‌گرهای خوبی برای برآورد رطوبت خاک می‌باشند.

کلمات کلیدی: سنجش ازدور، شاخص‌های طیفی، رطوبت سطحی خاک، ماهواره سنتینل-۲.

مقدمه

بررسی توزیع مکانی رطوبت سطحی خاک (SM) یک پیش نیاز برای تحقیق و مدیریت کشاورزی و محیط زیست می‌باشد. اما استخراج اطلاعات رطوبت خاک سطحی در مناطق ناهموار یک چالش بزرگی است (Luo et al., 2019) و رطوبت خاک، به‌شدت در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متنوع و مقدار آن در هر منطقه نسبت به زمان و مکان تغییر می‌کند (رسونبام و همکارام، ۲۰۱۲). رطوبت خاک در بسیاری از فرآیندهای فیزیکی مربوط به کشاورزی، هیدرولوژی و یا هواشناسی یک پارامتر حیاتی است و اغلب عامل محدود کننده می‌باشد. متاسفانه، این پارامتر به‌طور واضح در سطح زمین قابل مشاهده نمی‌باشند، بنابراین اطلاعات زیادی در مورد تغییرات مکانی و زمانی رطوبت در هر منطقه وجود ندارد. رطوبت خاک از شیوه‌های مختلفی محاسبه می‌شود. جستجو برای یافتن روش‌های نوین و سریع برای برآورد رطوبت سطحی خاک باعث افزایش تحقیقات اخیر در استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور برای اندازه‌گیری و نظارت بر رطوبت سطحی خاک در مقیاس بزرگ شده است (بایوپ و همکاران، ۲۰۰۷). مشکلات موجود در این زمینه محققان را بر آن داشته است تا به دنبال ابزارهای مدل‌سازی داده محور مانند شبکه عصبی (ANN)[۲]، رگرسیون چند متغیره (MLR)[۳] ماشین های بردار پشتیبان (SVM)[۴]، رندم فارست (RF)[۵] برای تخمین رطوبت خاک باشند. یکی از مزایای اصلی رویکرد یادگیری ماشین در پیش بینی SM، این است که می‌تواند تخمین هایی با وضوح متناسب با داده‌های سنجش از دور ارائه دهد (زمان و همکاران،

[1] . Data Mining
[2] . Artificial Neural Networks
[3] . Multiple linear regression (MLR)
[4] . Support Vector Machines
[5] . Random Forest

۲۰۱۲). روش‌های یادگیری ماشین برای تخمین SM با استفاده از داده‌های سنجش از دور در مناطق نیمه خشک به‌طور موثر استفاده شده است (بوسبی و همکاران، ۲۰۱۸). ژائو و همکاران (۲۰۱۷) مدل جدیدی را برای تخمین SM بر اساس مدل RF ایجاد کردند. برای بررسی صحت مدل پیشنهادی از سری زمانی داده‌های راداری استفاده شد. آنها گزارش دادند که RF قادر به تخمین تغییرات مکانی و زمانی SM بوده و با دقت بالا SM را تخمین زده است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) رطوبت خاک سطحی را با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و داده‌های سنجش از دور پیش‌بینی کردند. بوسبی و همکاران (۲۰۱۸) رطوبت سطح خاک را با استفاده از داده‌های ماهواره سنتیتل ۱ و ۲و ماشین های بردار پشتیبان پیش‌بینی و مشاهده کردند که دقت رطوبت سطح خاک بدست آمده از داده‌های سنجش از دور بالا و مقدار خطای میانگین مربع ریشه (RMSE) کمتر از ۵۰٪ می‌باشد. تحقیقات کمی در زمینه ایجاد توابع انتقالی جهت مدلسازی رطوبت سطحی خاک انجام شده است. هدف از این تحقیق این است که شاخص‌های طیفی موثر در تخمین رطوبت سطحی خاک را با ایجاد توابع انتقالی با روش‌های به روز که قابلیت اعتبار بالایی دارند معرفی نماییم. در این مطالعه ابتدا شاخصهای طیفی جدید استخراج شده با داده‌های ماهواره Sentinel2 با رطوبت سطحی خاک ارزیابی شده و سپس با استفاده از ترکیب شاخص‌های طیفی، که هرکدام از اطلاعات طیفی محدوده‌های باندی متفاوت بهره می‌برند، با خصوصیات پایه‌ایی خاک (رس، سیلت/ شن و جرم مخصوص ظاهری خاک)، با روش‌های رگرسیون و رندم فارست، مدل‌های جدیدی جهت تخمین رطوبت سطحی خاک ارائه داده می‌شود.

مبانی و روش

در این تحقیق به تعداد ۱۲۴ نمونه از سه منطقه ایران به‌صورت تصادفی از سطح خاک (۰ تا ۱۵سانتی‌متر) نمونه‌برداری شده است. منطقه اول (۳۰ نمونه) در شرق استان تهران به نام پارک جنگلی تلو، منطقه دوم (۲۵ نمونه) از توابع شهرستان ایوانکی در استان سمنان، منطقه سوم (۶۹ نمونه) از منطقه بروجرد (استان لرستان) می‌باشد. براساس طبقه‌بندی تاکسونومی خاک‌های محدود مطالعاتی (هرسه منطقه) در دو رده Entisols و Inceptisols قرار دارد. پوشش گیاهی منطقه تلو جنگلی و مرتعی، در ایوانکی پوشش مرتعی و در بروجرد پوشش دیم گندم و جو می‌باشد.

در این تحقیق رطوبت حجمی (لوبل و انسر، ۲۰۰۲)، بافت خاک (گی و ار، ۲۰۰۲)و جرم مخصوص ظاهری (گروسمن و رینش، ۲۰۰۲)اندازه‌گیری شد. داده‌های سنتینل ۲ از سایت کوپرنیکوس (https://scihub.copernicus.eu/) دانلود شده است. تحصیحات مورد نیاز تصاویر و محاسبهٔ شاخص‌های طیفی با نرم افزار SNAP.8 و خروجی تصاویر با ArcMap 10.7 انجام شد. از شاخص‌های طیفی گیاهی (IPVI، RVI و DVI) و رطوبت (NMDI و WRI) به‌همراه خصوصیات پایه‌ایی (رس (C)، نسبت سیلت به شن (Si/Sa)و جرم مخصوص ظاهری (BD)) خاک برای ایجاد توابع انتقالی جهت تخمین رطوبت سطحی خاک استفاده شده است. در این تحقیق ابتدا آزمون نرمال بودن کولموگروف-اسمیرنوف با استفاده از نرم افزار Mini Tab بر روی تمام متغیرها انجام شد (ریان وهمکاران، 1976). در این تحقیق از دو روش، رگرسیون (MLR) با نرم افزار DataFit و روش رندم فارست (RF) با نرم افزار STATISTICA12 انجام شد. از ۱۲۴ نمونه مورد استفاده شده در این تحقیق، دو سوم نمونه (۸۰) برای آموزش(Train) و یک سوم نمونه (۴۴) برای آزمون (Test) بهره‌گیری شد. از آماره‌های AIC، RMSE و R^2 جهت قابلیت اعتماد مدل‌ها استفاده شد. جدول ۱، ورودی‌های مدل را نشان می‌دهد.

جدول۱- ورودی‌های توابع انتقالی ایجاد شده

PTF_s	ورودی‌ها	PTF_s	ورودی‌ها
PTF1	C+Si/Sa	PTF3	C+Si/Sa+BD+IPVI[6]+RVI[7]+DVI[8]
PTF2	C+Si/Sa+BD	PTF4	C+Si/Sa+BD+NMDI[9]+WRI[10]

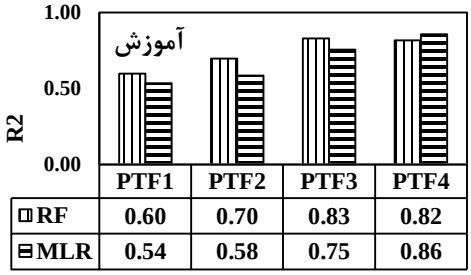
بحث و نتایج

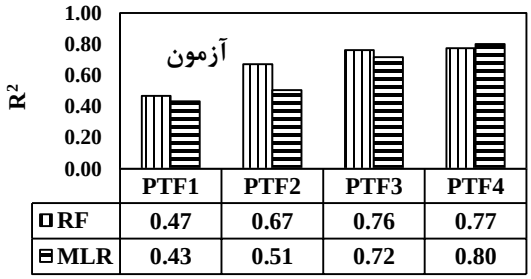
در این تحقیق همه شاخص‌های طیفی با رطوبت سطحی خاک همبستگی در سطح احتمال یک درصد داشتند (نتایج همبستگی نشان داده نشده است). مدل‌های که از روش رگرسیون بدست آمده است در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول۲- مدل‌های ایجاد شده برای برآورد رطوبت سطحی خاک

PTF_s	مدل های رگرسیونی	RMSE	R^2
1[a]	SM[b]= ۰/٤٨-۰/۰۱*C – ۰/۰٤*Si/Sa	۰/۰۹۸	۰/٤۳
2	SM= exp (- ۰/۱۵*C – ۰/۳* Si/Sa -۱/۵۳*BD + ۲/۷۹)	۰/۰٤۸	۰/۵۱
4	SM= exp (-۰/۱۲*C -۰/۲۵* Si/Sa -۱/۲۸*BD-۰/۵۹*IPVI – ۰/۰٦*RVI+۲/۸۷*DVI +۲/۱۱)	۰/۰۳۹	۰/۷۱
6	SM= exp (-۰/۱۳*C – ۰/۲۷* Si/Sa – ۱/٤۹*BD – ۰/۱۲*NMDI- ۰/۹۳*WRI + ۲/۷۲)	۰/۰۳۷	۰/۸۰

در هر مدل، از ویژگی‌های پایه‌ایی خاک که جزء متغیرهای قابل دسترس هستند (قربانیان و میلان، ۲۰۱۰)، استفاده شده است. از طرفی رطوبت خاک عمدتا به بافت و ساختمان خاک وابسته هستند (هیلل، ۱۹۹۸)، بنابراین جهت افزایش دقت مدل خصوصیات پایه‌ایی خاک به‌طور ثابت در همه مدل‌ها آمده است. با افزایش BD در مرحله دوم (PTF_2)، در هر دو مرحله آموزش و آزمون R^2 افزایش، RMSE و AIC کاهش پیدا کرده است و برآورد رطوبت بهبود معنی‌دار پیدا کرده است. در شکل ۱، نتایج روش رگرسیون و RF آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود از مرحله یک تا مرحله ۴، با افزایش ورودی‌ها مقدار R^2 افزایش یافته و آماره AIC منفی‌تر و مقادیر RMSE کمتر شده است، که این موضوع نشان دهندۀ دقت بالای مدل‌های ایجاد شده در این تحقیق می‌باشد (ادب و همکاران، ۲۰۲۰).





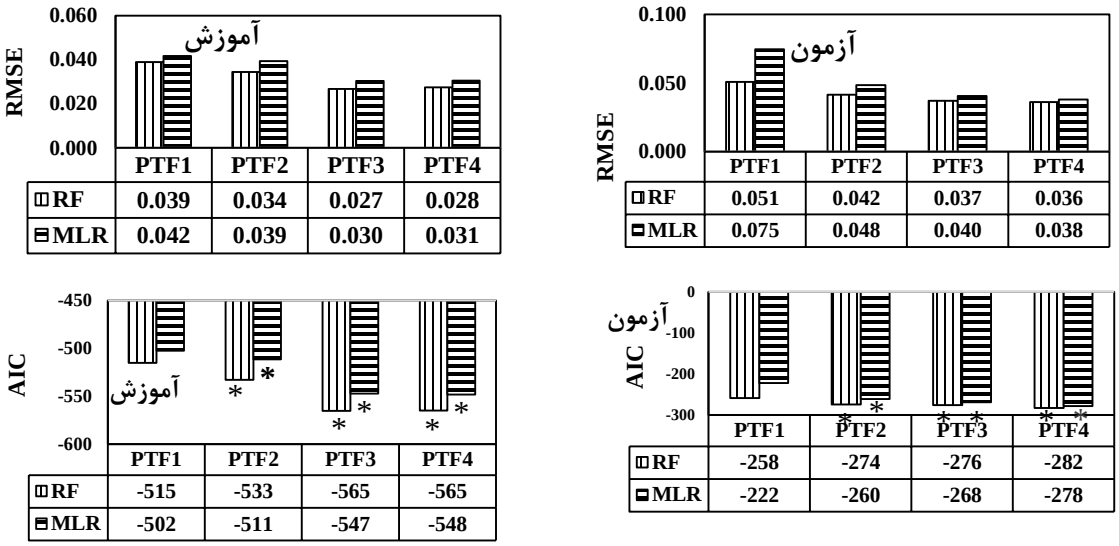
6. **I**nfrared **P**ercentage **V**egetation **I**ndex

7. **R**atio **V**egetation **I**ndex

8. **D**ifference **V**egetation **I**ndex

9. **N**ormalized **N**ulti-band **D**rought **I**ndex

10. **W**ater **R**atio **I**ndex

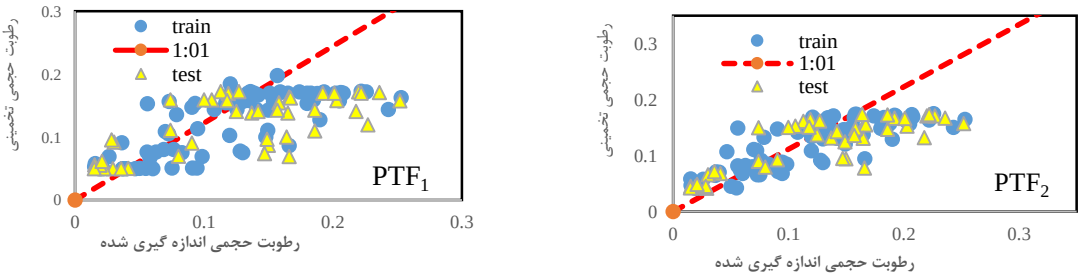


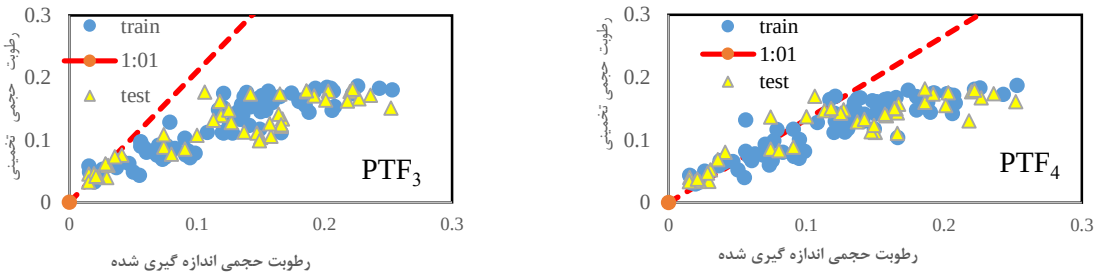
شکل ۱- نتایج رگرسیون و رندم فارست برای برآورد رطوبت سطحی خاک

***علامت ستاره به معنی، معنی‌دار بودن مدل براساس آماره آکایک در سطح احتمال ۵ درصد است.**

در PTF_3 از شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی که مربوط به تراکم پوشش گیاهی IPVI، RVI و DVI می‌باشند، استفاده شده است. با توجه به شکل۱، در هر دو روش رگرسیون و رندم فارست و در هر دو مرحله آموزش و آزمون رطوبت خاک را به‌طور معنی‌داری بهبود یافته است. در این مرحله مقادیر AIC و RMSE روش رندم فارست در هر دو مرحله آموزش و آزمون نسبت به روش رگرسیون پایین‌تر و مقادیر R^2 بالاتر است. در PTF_4 از خصوصیات پایه‌ایی به‌همراه شاخص‌های رطوبتی مانند NMDI و WRI استفاده شده است. در این مرحله هم، در دو روش رگرسیون و رندم فارست در هر دو مرحله آموزش و آزمون رطوبت خاک را به‌طور معنی‌داری بهبود یافته است. در این مرحله هم مانند PTF_3، مقادیر AIC و RMSE روش رندم فارست در هر دو مرحله آموزش و آزمون نسبت به روش رگرسیون پایین‌تر و مقادیر R^2 بالاتر است که نشان دهندهٔ این است که نتایج روش رندم فارست نسبت به رگرسیون قابل اعتمادتر و تعمیم پذیرتر می‌باشد. در این تحقیق شاخص‌های طیفی همبستگی قوی با رطوبت سطحی خاک داشته است. همه شاخص‌های طیفی از ترکیب باندهای مرئی و فروسرخ که شامل باندهای ۸ و ۱۱ ماهواره سنتینل-۲ می‌باشد، تشکیل شده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳). اما آنچه در اینجا حائز اهمیت می‌باشد این است که رابطه تنگاتنگی بین طول موج‌ها در محدودهٔ باندهای مرئی و فرو سرخ با رطوبت خاک وجود دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳). احتمالا به دلیل همین رابطه نزدیک رطوبت خاک با طول موج‌ها، شاخص‌های طیفی تخمین رطوبت خاک را بهبود داده‌اند.

شکل ۲، مقادیر اندازه‌گیری در برابر تخمینی روش رندم فارست را نشان می‌دهد. در این تحقیق جهت کوتاه کردن متن، فقط از گراف ۱:۱ روش رندم فارست که نتایج آن بهتر از روش رگرسیون می‌باشد، آورده شده است.





شکل۲- مقادیر اندازه‌گیری در برابر تخمینی رطوبت خاک با روش رندم فارست

همانطور که در شکل ۲، مشاهده می‌شود پراکندگی داده‌ها حول خط ۱:۱ از PTF_1 به PTF_4 کم شده است. در PTF_4 بیشترین نزدیکی داده‌ها به خط ۱:۱ مشاهده می‌شود و این موضوع دقت بالای مدل مرحله ۴ که از شاخص های طیفی رطوبت (NMDI و WRI) به همراه خصوصیات پایه‌ایی خاک استفاده شده است را ثابت می‌کند. بنابراین باتوجه به نتایج این تحقیق و نتایج دیگر محققان (چن و همکاران، ۲۰۲۰؛ راستگو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ادب و همکاران، ۲۰۲۰) الگوریتم رندم فارست در تخمین رطوبت خاک رابطه‌ایی خوبی بین رطوبت خاک و متغیرهای ورودی ایجاد می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج و مقایسه دقت‌های محاسبه شده در این پژوهش می‌توان گفت، دقت روش رندم فارست از روش رگرسیون برای برآورد رطوبت سطحی خاک با استفاده از شاخص‌های طیفی حاصل از تصاویر سنتینل-۲ بهتر بوده است. توان تفکیک طیفی این سنجنده از محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه را در بر می‌گیرد. محدوده طیفی مرئی تا مادون قرمز نزدیک، از باندهای بسیار کارا و حساس به رطوبت سطحی خاک می‌باشند که به‌همراه شاخص‌های طیفی گیاهی برای برآورد رطوبت خاک استفاده می‌شوند. دراین تحقیق مشاهده شده نتایج شاخص‌های طیفی به‌همراه خصوصیات پایه‌ای خاک با روش رندم فارست بسیار بهتر از روش رگرسیون بوده است. در نهایت پیشنهاد می شود از تصویر سنتینل ۲ به تنهایی برای برآورد رطوبت سطح خاک استفاده نشود بلکه به‌همراه خصوصیات پایه‌ایی خاک و شاخص‌های طیفی دیگر با روش‌های معتبر ماشین‌های یادگیری در مدلسازی رطوبت خاک بکار رود، که باعث بهبود دقت مدل می‌شوند.

منابع

Adab, H., Morbidelli, R., Saltalippi, C., Moradian, M., and Ghalhari, G. A. F. (2020). Machine Learning to Estimate Surface Soil Moisture from Remote Sensing Data. Water, 12(11), 3223.

Baup F, Mougin E, De Rosnay P, Timouk F, Chênerie I. Surface soil moisture estimation over the AMMA Sahelian site in Mali using ENVISAT/ASAR data. Remote Sensing of Environment, 109(4):473-81, 2007.

Bousbih, S.; Zribi, M.; El Hajj, M.; Baghdadi, N.; Lili-Chabaane, Z.; Gao, Q.; Fanise, P. Soil Moisture and Irrigation Mapping in A Semi-Arid Region, Based on the Synergetic Use of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data. Remote Sens. 2018, 10, 1953.

Chen, Q., Miao, F., Wang, H., Xu, Z. X., Tang, Z., Yang, L., & Qi, S. (2020). Downscaling of satellite remote sensing soil moisture products over the Tibetan Plateau based on the random forest algorithm: Preliminary results. Earth and Space Science, 7(6), e2020EA001265.

Gee, G. W., and D.Or. 2002. Particle- Size Analysis. In: Warren ,.D. (ed) Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Inc. pp .225-295.

Ghanbarian-Alavijeh, B., & Millán, H. (2010). Point pedotransfer functions for estimating soil water retention curve. *International Agrophysics*, *24*(3), 243-251.

Grossman, R. B., and T. G. Reinsch. 2002. Bulk density and linear extensibility. In: Warren, A.D. (ed) Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Inc. 201-228.
Hillel, D., 1998. Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, And Environmental Considerations. Academic Press.
Jung, C., Lee, Y., Cho, Y., Kim, S., 2017. A study of spatial soil moisture estimation using a multiple linear regression model and MODIS Land surface temperature data corrected by conditional merging. Remote Sens. 9, 870.
Luo, W., Xu, X., Liu, W., Liu, M., Li, Z., Peng, T.,Xu, Ch., Zhang., Y and Zhang, R. (2019). UAV based soil moisture remote sensing in a karst mountainous catchment. *Catena*, *174*, 478-489.
Rastgou, M., Bayat, H., Mansoorizadeh, M. and Gregory, A.S., 2020. Estimating the soil water retention curve: Comparison of multiple nonlinear regression approach and random forest data mining technique. Computers and Electronics in Agriculture, 174, p.105502.
Rosenbaum, U., Bogena, H.R., Herbst, M., Huisman, J.A., Peterson, T.J., Weuthen, A., Western, A. W., and vereecken, H. (2012). Seasonal and event dynamics of spatial soil moisture patterns at the small catchment scale, water Resources Research, Vol. 48, W10544: 1-22.
Ryan, T.A., Joiner, B.L., and B.F.Ryan. 1976. Minitab student handbook Minitab Inc., State College, PA, USA.
Zaman, B.; McKee, M.; Neale, C.M.U. Fusion of remotely sensed data for soil moisture estimation using relevance vector and support vector machines. *Int. J. Remote Sens.* 2012, *33*, 6516–6552
Zhang, N., Hong, Y., Qin, Q., & Liu, L. (2013). VSDI: a visible and shortwave infrared drought index for monitoring soil and vegetation moisture based on optical remote sensing. *International journal of remote sensing*, *34*(13), 4585-4609.
Zhao,W., Li, A., Huang, P., Juelin, H., Xianming,M., 2017. Surface soil moisture relationship model construction based on random forest method. 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE, pp. 2019–2022.

Estimation of soil surface moisture using data mining methods and Sentinel-2 satellite data

Azadeh Sedaghat[1], Mahmoud Shabanpour Shahrestani[2], Ali Akbar Nourouzi[2], Alireza Fallah Nosratabad[3] and Hossein Bayat[4]

1- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran (Azadehsedaghat65@gmail.com)
2- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Guilan, Rasht, Iran
3- Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), AREEO, Tehran, Iran
4- Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
5- Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Soil surface moisture is an important variable that plays a vital role in soil and water resource management. Estimation of this parameter is one of the important applications of remote sensing. The purpose of this study is to develop a model for estimating soil surface moisture using sentinel-2 satellite data. This study investigated the relationship between soil spectral indices and soil moisture using machine learning methods, and a model for estimating soil moisture is presented. Random Forest (RF)method estimates soil moisture more accurately than regression method. PTF_4 that includes inputs such as basic characteristics with moisture spectral indices (NMDI and WRI), has performed well in both regression (MLR) and Random Forest (RF) methods. Therefore, Random Forrest provides a more accurate model than regression by establishing a strong correlation between soil moisture and input. As a result, spectral indices are good estimators for estimating soil moisture

Keywords: Remote sensing, spectral indices, soil surface moisture, Sentinel-2 satellite.

تحلیل تغییرات کاربری اراضی شهرستان ساری با استفاده از روش‌های سنجش از دور

خدیجه جوان[1*]، سحر مهرران[2]

۱- نویسنده مسئول، استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ایران. Kh.javan@urmia.ac.ir

۲- کارشناس ارشد برنامه ریزی آمایش سرزمین، دانشگاه ارومیه، ایران.

چکیده

رشد جمعیت، افزایش سطح رفاه، گسترش تکنولوژی و استفاده غیر اصولی از زمین در دهه‌های اخیر تغییرات زیادی را بر اراضی تحمیل کرده است. لذا برنامه‌ریزی برای مدیریت این تغییرات مستلزم مطالعه تغییرات کاربری اراضی است. تحقیق حاضر با هدف آشکار سازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان ساری با استفاده از تصاویر سنجنده‌های ETM و OLI ماهواره لندست به روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال انجام شد. این تحقیق از نظر روش توصیفی و تحلیلی بوده و جمع آوری اطلاعات نیز با روش اسنادی انجام شده است. نتایج تحقیقات نشان داد که بیشترین تغییرات طی سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ مربوط به کاربری کشاورزی بوده و ضریب کاپا به ترتیب ۸۷٪ و ۸۰٪ برای سال‌های ۲۰۲۰ و۲۰۰۱ بدست امد که نشان‌دهنده کارایی بالایی این روش برای استخراج کاربری اراضی می‌باشد.

واژگان کلیدی: تغییرات کاربری اراضی، حداکثر احتمال، سنجش از دور، طبقه بندی نظارت شده.

مقدمه

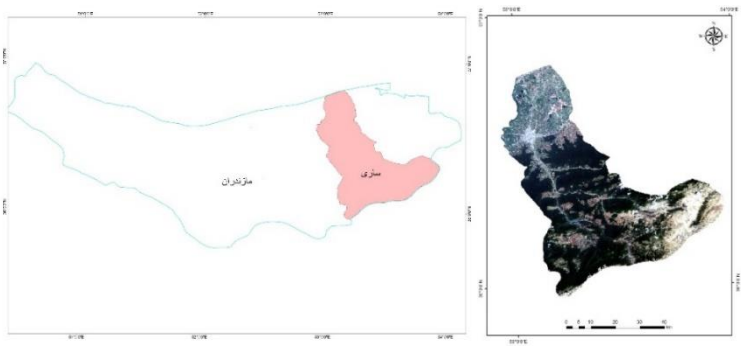
کاربری اراضی شهری و چگونگی پراکنش فضایی- مکانی آن، یکی از عوامل مهم جهت استفاده مطلوب و بهینه از فضاهای شهری است. سرعت رشد شهرنشینی موجب تغییرات چشمگیری در شیوه‌ی استفاده از اراضی شده است. این رشد و گسترش، نه تنها موجب تخریب فضاهای پیرامون می‌شود، بلکه شهر را از شکل متقارن خود خارج می‌کند (Hosseini et al, 2010). این تغییرات که غالباً در اثر فعالیتهای انسانی روی می‌دهد به دلیل نبود برنامه‌های اصولی، بی‌توجهی به توسعه پایدار، نداشتن مدیریت پایدار و بدون در نظرگرفتن محدودیت‌های زیست محیطی می‌باشد (خاکپور و همکاران، ۱۳۸۶). در واقع رشد جمعیت در شهرها و نحوه پراکنش آنها در مناطق شهری همراه با رشد مناطق صنعتی و عدم وجود برنامه مدون در ساخت و سازهای شهری منجر به تبدیل زمین‌های کشاورزی مولد به اراضی غیرقابل نفوذ شده است (Rahman et al, 2010). به منظورحفظ جنگل‌ها و مراتع، مدیریت و توسعه این منابع ارزشمند، شناخت و مطالعه مستمر آنها ضروری است . اطلاع از تغییرکاربری اراضی جهت بررسی عوامل و علل آنها در یک دوره زمانی می‌تواند مورد توجه برنامه‌ریزان و مدیران باشد. روش‌های مختلفی برای مطالعات تغییرات کاربری اراضی وجود دارد. یکی از آنها استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور است. تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا مفیدترین ابزار برای مطالعه تغییرات کاربری‌ها در شهرهای بزرگ و حومه آن‌ها هستند (Gadrani et al, 2018). داده‌های ماهواره‌ای یکی از سریع‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌های در اختیار محققان جهت تهیهٔ نقشه کاربری اراضی می‌باشد. به طور کلی می‌توان روشهای طبقه‌بندی را به صورت کلی به دو روش نظارت شده و نظارت نشده تقسیم‌بندی نمود که می‌توان به روش‌های حداکثر احتمال، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان اشاره نمود. روش حداکثر احتمال شباهت یکی از کاراترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر میباشد. در اکثر تحقیقات و مطالعات این روش به عنوان دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است.

در زمینه بررسی تغییرات کاربری اراضی مطالعات زیادی صورت گرفته است. Elagouz et al (2019) در تشخیص تغییر کاربری زمین در دلتای نیل مصر با استفاده از سنجش از دور به این نتیجه رسیدند که منطقه کشاورزی بیشترین رشد را در طول دوره از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۰ (۳۰۵۲۹۶,۱ هکتار) ثبت کرده است در حالی‌که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ حدود ۱۷۰,۵۷۸ هکتار افزایش یافته است. Gadrani et al (2018) در تحلیل و ارزیابی تغییرات کاربری زمین از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۶ از تصاویر سنجش از دور و GIS استفاده کردند. پس از طبقه‌بندی تصاویر لندست ۵ و ۸ مشخص شد که ۵ طبقه متفاوت از کاربری و نواحی اطراف آن وجود دارد. بنابراین، داده‌های موجود در مورد تغییرات کاربری و نواحی اطراف آن می‌تواند ورودی مهمی به تصمیم‌گیری برای مدیریت محیطی و برنامه‌ریزی برای آینده باشد. خسروی و میریعقوب زاده (۱۳۹۷) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در حوزه آبخیز باراندوزچای در آذربایجان غربی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که داده‌های سنجش از دور، به دلیل قابل تکرار بودن و دید وسیع و یکپارچه، می‌توانند نقش اساسی در بررسی تغییرات و مدیریت تطبیقی کاربری‌ها داشته باشند. هدف اصلی از پردازش تصاویر ماهوارهای، تهیه نقشه‌های موضوعی و کارآمد است، لذا انتخاب الگوریتم طبقه‌بندی، نقش مهمی در مدلسازی کاربری اراضی ایفا می‌کند، علاوه بر این آگاهی از چگونگی و محل تغییر در کاربری‌ها نمی‌تواند به تنهایی بازگوی تغییر در منطقه باشد بلکه اطلاع از سرعت و دلیل تغییرات می‌تواند بیانگر دید کلی از تغییرات باشد که به وسیله آن می‌توان به تغییرات کاربری‌های آتی دست یافت (چرام و مجدی نسب، ۱۳۹۹). تحقیق حاضر در صدد آشکارسازی تغییرات در منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی ۱۹ ساله و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در جهت برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح اراضی می‌باشد. شهرستان ساری با کاربری‌های مختلف کشاورزی، آبی و انسان‌ساخت به دلیل تغییرات به وجود آمده در کاربری‌ها، وجود تصاویر ماهواره‌ای مربوط به دوره‌های مختلف و اطلاعات قابل دسترس، برای مطالعه و بررسی انتخاب شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

شهرستان ساری با مساحت ۳۶۸۵ کیلومترمربع بزرگترین شهرستان استان مازندران است که در شرق این استان قرار دارد و از ۶ بخش مرکزی، رودپی شمالی، رودپی، چهاردانگه، دودانگه، کلیجان رستاق تشکیل شده‌است. شهرستان ساری از شمال به دریای مازندران، از شرق به شهرستان‌های نکا و میاندورود، از جنوب به استان سمنان و از غرب به شهرستان‌های قائمشهر، سوادکوه، جویبار و سوادکوه شمالی محدود می‌شود. این شهرستان از پرجمعیت‌ترین شهرستان‌های شمال کشور است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۹).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

مشخصات و باندهای تصاویر مورد استفاده

در این مطالعه از داده‌های سنجنده‌های چند طیفی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ از ماهواره لندست ۷ و ۸ با پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد استفاده شده است. جدول ۱ مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که چون هدف این مطالعه، بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان ساری است، داده‌ها به انتخاب شد که تقریبا تاریخ تصاویر به هم نزدیک باشد. در این تحقیق برای پردازش تصاویر و پایش تغییرات از نرم‌افزار ENVI5.3 استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات تصویر مورد استفاده

ردیف	ماهواره	سنجنده	منبع	تاریخ
۱	Landsat-7	ETM	usgs	2001/6/25
۲	Landsat-8	OLI	usgs	2020/6/8

روش طبقه بندی و پردازش تصاویر

در این تحقیق از دو تصویر لندست (ETM) و (OLI) در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱ استفاده شد. از آنجا که تصاویر سطح اول ماهواره‌ی لندست به صورت خودکار زمین‌مرجع می‌شوند لذا از انجام تصحیح هندسی صرف نظر گردید. جهت بهبود سازی تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی، به تصحیح تصاویر و رفع خطاهای رادیومتریکی و اتمسفری پرداخته شد. برای رفع خطاهای اتمسفریک از تصحیح فلش استفاده شد. با انجام پیش پردازش‌های اولیه، با استفاده از اسناد کتابخانه‌ای و داده‌های Google Earth، تعداد ۳ طبقه کاربری شامل کشاورزی، انسان ساخت و آبی شناسایی شد. سپس با استفاده از روش حداکثر احتمال، طبقه‌بندی انجام شد. در این روش که از سایر روش‌های موجود دقیق‌تر است، میزان واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه محاسبه می‌شود (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳). برای اعتبار سنجی نتایج طبقه‌بندی‌ها از ضریب کاپا استفاده شده است. میزان ضریب کاپا بین ۰ تا ۱ متغیر است. کاپای یک نشان‌دهنده طبقه‌بندی کاملا صحیح و کاپای صفر نشانگر طبقه‌بندی کاملا تصادفی است. طبقه‌بندی میزان مقبولیت ضریب کاپا که توسط لندیس و کوچ (۱۹۷۷) ارائه شده است، کاربرد گسترده ای دارد و در جدول ۲ ارائه شده است (Cunningham, 2009). نتایج ضریب کاپا برای سال ۲۰۰۱ حدود ۸۰ درصد و برای سال ۲۰۲۰، ۸۷ درصد می‌باشد که نشان از مقبولیت قابل قبول تصاویر دارد.

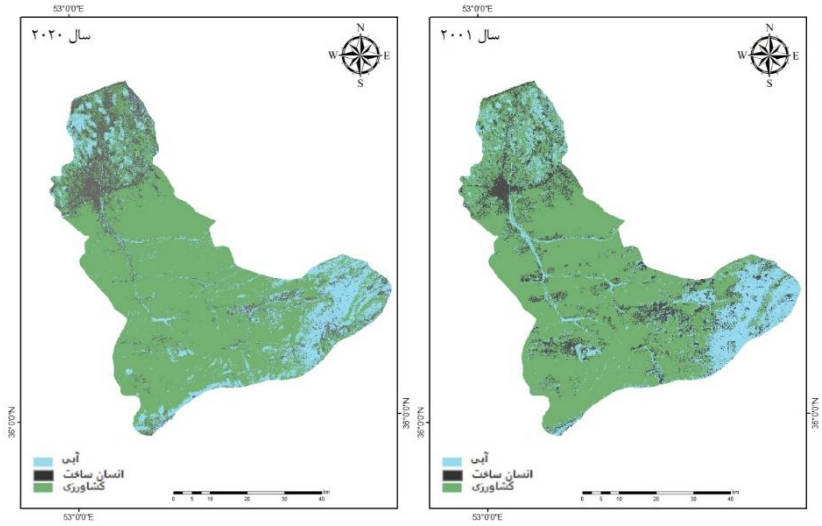
جدول ۲- میزان مقبولیت ضریب کاپا

ضریب کاپا (درصد)	میزان مقبولیت
۰-۲۰	کم
۲۱-۴۰	متوسط
۴۱-۶۰	مناسب
۶۱-۸۰	قابل قبول
۸۱-۱۰۰	عالی

نتایج و بحث

مطابق جدول ۳، بیشترین مساحت در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۰ متعلق به کاربری کشاورزی است. کاربری کشاورزی طی بازه ۱۹ ساله کاهش چشمگیری پیدا کرده است. علت این امر آن است که بسیاری از زمین‌داران (که شغل غالب آنها کشاورزی بوده است) با فروش زمین‌های خود و تبدیل آن به ویلا و مراکز رفاهی اقدام به کسب سود نموده و دیگر تمایل چندانی به شغل‌های پرزحمت و کم‌سود حوزه کشاورزی نشان نمی‌دهند (مهدی‌زاده، ۱۳۹۵). کاربری آبی روند نزولی داشته

و از ۶۸۴٫۳ به ۶۲۷٫۹ کیلومترمربع رسیده است. علت این امر نیز آن است که بسیاری از چشمه‌ها به‌دنبال استفاده بی‌رویه، روبه نابودی هستند و از طرفی با افزایش محسوس دما و کاهش بارش در سال‌های اخیر بر شدت آن افزوده است (اذعانی، ۱۳۸۹). در مقابل کاربری انسان‌ساخت روند صعودی داشته و از ۴۲۸٫۱ کیلومترمربع به ۴۴۹٫۶ افزایش پیدا کرده که علت این امر افزایش قیمت اراضی مسکونی، صنعتی و تجاری و همچنین پایین بودن درآمد حاصل از تولید محصولات کشاورزی می‌باشد، بنابراین کشاورزان با تغییر کاربری اراضی به دنبال بهبود و یا افزایش سطح درآمدی خود می‌باشند (امیرنژاد، ۱۳۹۲).



شکل ۲- نقشه طبقه بندی کاربری اراضی در شهرستان ساری در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۰

جدول ۳- مساحت کاربری های مختلف در سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۱

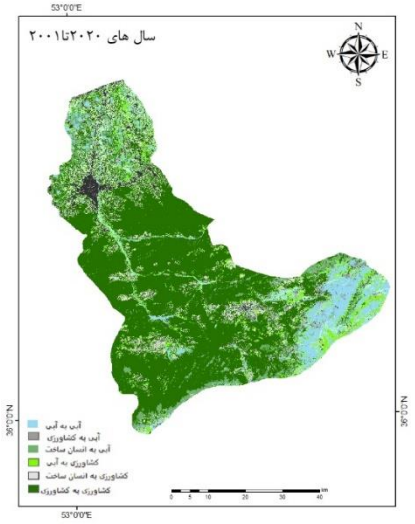
نوع کاربری	سال۲۰۰۱	سال۲۰۲۰
آبی	۶۲۷٫۹	۶۸۴٫۳
انسان ساخت	۴۲۸٫۱	۴۴۹٫۶
کشاورزی	۲۶۲۹	۲۵۵۱٫۱
مجموع	۳۶۸۵	۳۶۸۵

نتایج تغییرات متقابل سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ در شکل ۳ و جدول ۴ نشان دهنده آن است بیشترین تغییرات از کاربری کشاورزی به کاربری انسان ساخت است که معادل ۲۳۳٫۴۱ کیلومتر مربع می‌باشد. همانطور که قبلا هم بیان شد علت این امر این بود که بسیاری از زمین‌داران با فروش زمین‌های خود اقدام به کسب سود نموده و تمایل چندانی به شغل‌های حوزه کشاورزی نشان نمی‌دهند. حدود ۲۳۰٫۹۱ کیلومتر مربع از کاربری کشاورزی به کاربری آبی تغییر یافته است که علت این امر را می‌توان وجود اراضی کشاورزی این منطقه بر دامنه‌های شیب‌دار دانست، زیرا با گذر زمان مواد حاصل‌خیز این اراضی به آسانی شسته شده و به مرور زمان بازده خود را از دست داده و رها می‌شوند (شنانی هویزه و زارعی، ۱۳۹۵). حدود ۹۴٫۸۱ کیلومترمربع نیز از کاربری آبی به کاربری انسان ساخت تغییر یافته که علت این امر ساخت مراکز تفریحی و توریستی می‌باشد.

جدول ۴- مساحت هر یک از طبقات تغییر یافته

سال ۲۰۰۱	سال ۲۰۲۰	کیلومتر مربع

آبی	انسان ساخت	۹۴,۸۱
کشاورزی	آبی	۲۳۰,۹۱
کشاورزی	انسان ساخت	۲۳۳,۴۱



شکل ۳- نقشه تغییرات متقابل سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۱

نتیجه‌گیری

اطلاع از نسبت کاربری‌ها و نحوه تغییرات آن درگذر زمان یکی از دلایل مهم در امر برنامه‌ریزی و سیاست است. به همین دلیل در این پژوهش طبقه‌بندی کاربری‌ها و بررسی تغییرات حادث شده در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ در شهرستان ساری مورد ارزیابی قرار گرفت. محل نمونه های تعلیمی براساس تصاویر زمینی و نرم‌افزار گوگل ارث که پراکنش مناسبی درمنطقه داشتند تعیین گردید. با توجه به تعداد کاربری‌ها، در هر کاربری بیش از ۵۰ نمونه تعلیمی انتخاب گردید. سپس با استفاده از روش حداکثر احتمال به ۳ طبقه (کشاورزی، انسان ساخت،آبی) طبقه بندی شد و از دستورتغییرات تدریجی برای آشکارسازی تغییرات استفاده گردید. نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین کاربری تغییر یافته در سطح این شهرستان مربوط به کاربری کشاورزی است که به اراضی انسان ساخت تبدیل گشته است که نشان‌دهنده تخریب اراضی کشاورزی و تبدیل آن به مراکز تفریحی و ویلاها است؛ و همچنین تغییر کاربری کشاورزی به کاربری آبی می باشد که علت این امر را می‌توان وجود اکثر اراضی کشاورزی این منطقه بر دامنه‌های شیب‌دار دانست.

فهرست منابع

اذعانی، ا. عراقی نژاد، ش. شیفته صومعه، ب. (۱۳۹۸). بررسی اثر اقلیم بر منابع آبی استان مازندران. اولین همایش ملی مدیریت منابع آبی اراضی ساحلی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

احمدپور، ا. سلیمانی، ک. شکری، م. قربانی، ج. (۱۳۹۳). مقایسه میزان کارآیی سه روش رایج طبقه بندی نظارت شده داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه پوشش گیاهی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۳). ۸۹-۷۷.

امیرنژاد، ح. (۱۳۹۲). بررسی عوامل موثر بر تمایل کشاورزان جهت تغییر کاربری اراضی در استان مازندران. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۵(۴). ۱۰۶-۸۷.

چرام، ن. مجدی نسب، ر. (۱۳۹۹). بررسی تغییرات کاربری اراضی کلانشهر اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۰. ششمین کنفرانس بین المللی علوم کشاورزی، محیط زیست، توسعه شهری و روستایی.

خاکپور، ب. ولایتی، س. کیانژاد، ق. (۱۳۸۶). الگوی تغییر کاربری اراضی شهر بابل طی سال‌های ۷۸-۱۳۶۲. جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. ۵(۹). ۶۴-۴۵.

خسروی، س. میریعقوب‌زاده، م. (۱۳۹۷). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: حوزه آبخیز باراندوزچای استان آذربایجان غربی). سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. اردبیل.

شنانی هویزه، س. زراعی، ح. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات کاربری اراضی طی دو دهه دوره زمانی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ابوالعباس). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۷(۱۴). ۲۴۴-۲۳۷.

مرکز آمار ایران. (۱۳۹۹). سالنامه آماری استان مازندران.

Cunningham, M. (2009). More than just the kappa coefficient: a program to fully characterize inter-rater reliability between two raters. In SAS global forum (Vol. 2009, p. 242).

Elagouz, M. H., Abou-Shleel, S. M., Belal, A. A., El-Mohandes, M. A. O. (2020). Detection of land use/cover change in Egyptian Nile Delta using remote sensing. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 23(1), 57-62.

Hosseini, A., Shabanifard, M., Rashidi, M., Saiydzade, M. R. (2010). Distribution and determining of urban sprawl in Kerman with emphasis on Kariz Water System. Physics International, 1(1), 9-15.

Gadrani, L., Lominadze, G., Tsitsagi, M. (2018). F assessment of landuse/landcover (LULC) change of Tbilisi and surrounding area using remote sensing (RS) and GIS. Annals of Agrarian Science, 16(2), 163-169.

Rahman, A., Kumar, S., Fazal, S., Siddiqui, M. A. (2012). Assessment of land use/land cover change in the North-West District of Delhi using remote sensing and GIS techniques. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 40(4), 689-697.

Ebrahimipak, N., Tafteh, A., AsadiKapourchal, S., Egdernezhad, A. (2020). Evaluation of production functions to estimate potato yield in different irrigation treatments. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(6), 1721-1732.

Analysis of land use changes in Sari city using remote sensing methods

Khadijeh Javan[1*], Sahar Mehrran[2]

1- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Geography, Urmia University, Iran.

2- MSc in geography, Department of geography, Urmia University, Iran.

Abstract

Population growth, rising prosperity, the spread of technology, and unprincipled land use have changed land in recent decades. Therefore, planning to manage these changes requires the study of land use changes. The present study was conducted with the aim of detecting land use changes in Sari city using Landsat ETM and OLI images using the maximum likelihood classification method. This research is descriptive and analytical and data is collected by documentary method. The results showed that the most changes during the years 2001 to 2020 were related to agricultural use and the kappa coefficient was 87% and 80% for 2020 and 2001, respectively, Which indicates the high efficiency of this method for land use extraction.

Keywords: Land use Changes, Maximum Likelihood, Remote Sensing, SupervisedClassification.

پهنه بندی تبخیر تعرق پتانسیل گندم در سطح کشور با استفاده از روش های زمین آمار

آناهیتا جباری[1]، نیازعلی ابراهیمی پاک[2]، آرش تافته[3]، عزیز مجیدی[4]، سینا ملاح [5]

۱ و ۴- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران، a.jabbari@areeo.ac.ir

۲- دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۵- محقق بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده

کمبود آب محدودیت بسیار مهمی در توسعه کشاورزی در بسیاری از نقاط دنیا محسوب می شود بنابراین واضح است که مدیریت بهینه منابع موجود از مهمترین ابعاد چالش های امروز مدیریتی می باشد. بنابراین آگاهی از بیلان آبی حوضه های آبریز و پارامتر های مربوط به آن مهمترین پیش نیاز این مدیریت بهینه به شمار می آید. تبخیر و تعرق پتانسیل به عنوان مهمترین پارامتر این معادله در ایستگاه های هواشناسی کشور و با داده های اندازه گیری شده قابل محاسبه است. اما آنچه که اهمیت دارد این است که در محل هایی که ایستگاه هواشناسی وجود ندارد مقدار یک پارامتر چگونه باید محاسبه شود. روش های زمین آماری به عنوان یکی از روش های محبوب درون یابی این مشکل را حل کرده اند. در این مطالعه با استفاده از روش کریجینگ پس از نمونه برداری از جامعه و ساخت یک نمونه نرمال اقدام به ساخت نقشه پهنه بندی شد. ضریب رگرسیون ۰/۶۱ و مقدار NRMSE زیر ۱۰ درصد نشان از کارکرد خوب روش کریجینگ در تخمین پارامتر در سطح پهنه وسیع کشوری دارد.

واژگان کلیدی: تبخیر تعرق پتانسیل، گندم، زمین آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی

مقدمه

تبخیر و تعرق مهم ترین طریق مصرف یا هدر رفت آب در یک حوضه آبریز است که پایش و بررسی تغییرات آن در دوره های زمانی معین می تواند ضمن نشان دادن میزان آب مصرفی، در مدیریت آب در مقیاس حوضه و تعیین میزان آب مورد نیاز جهت تخصیص به هر کاربری اراضی مفید واقع شود (سالاریان و همکاران، ۱۳۹۳). تبخیر و تعرق پتانسیل[1] (ETp) طبق تعریف روزنبرگ[2] عبارتست از تبخیر از یک سطح گسترده پوشیده از یک گیاه سبز کوتاه که به طور کامل روی سطح زمین سایه انداخته است، در مقابل جریان آب مقاومت ندارد و یا مقاومت کمی دارد و همواره آب مورد نیاز آن تامین می گردد. تبخیر و تعرق پتانسیل نمی تواند در بهترین حالت از تبخیر آب در همان شرایط اقلیمی بیشتر باشد (Shelton, 2009). در واقع تبخیر و تعرق پتانسیل عبارت از جریان بخار آب تحت شرایط ایده آلی از پوشش زمین توسط گیاهان با ارتفاع یکنواخت و با موجودیت کافی آب است (Hasiotis et al., 2007).

دو عامل مهم در توسعه کشاورزی نقش بازی می کنند، آب و زمین. کمبود آب عامل بسیار مهمتری در بسیاری از نقاط دنیا محسوب می شود بنابراین واضح است که مدیریت بهینه منابع موجود از مهمترین ابعاد چالش های امروز

[1] potential evapotranspiration
[2] Rosenberg

مدیریتی می باشد. یکی از مهمترین فاکتورهای کلیدی مدیریت منابع آگاهی از بیلان آبی حوضه ها و به عبارتی ورودی و خروجی حوضه هاست، تبخیر و تعرق مهمترین جزء خروجی معادله بیلان در این معادله نقش اساسی بازی می کند. این شاخص در ایستگاه های هواشناسی اندازه گیری می شود اما با توجه به اهمیت آن و در نظر گرفتن این موضوع که شبکه ایستگاه های هواشناسی کشور در بسیاری از مناطق پوشش مناسبی ندارند دانستن این شاخص در مناطقی که اندازه گیری مستقیمی برای آن وجود ندارد معضلی جدی است که در این شرایط باید از روش های درون یابی بهره برد. با این تکنیک در سطح زمین می توان داده های نقطه ای را به داده های پهنه ای تبدیل کرده و در هر نقطه ای مقدار شاخص مورد نظر را استخراج نمود. در این صورت می توان با تخمین خوبی که هزینه های تحقیق را نیز بسیار کاهش می دهد به این داده ها دست یافت. از آنجایی که وجود داده در هر نقطه علاوه بر این که امکان پذیر نیست، با هزینه های فراوانی (مثلا ساخت ایستگاه هواشناسی) همراه است، ایجاد نقشه های پهنه بندی به کمک مدل های مختلف درون یابی امری بسیار الزامی در این راستا می باشد. مهمترین هدف مطالعه حاضر ارائه نقشه پهنه بندی این داده به نحوی است که بتوان تخمین مناسبی از مقدار ETp به دست آورد.

به فرایند برآورد ارزش های کمی، برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم (که به نام پیمونگاه، نمونه و یا مشاهده) موسومند درون یابی (interpolation) می گویند. این فرایند به دلیل محدودیت داده های نقطه ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه های هم ارزش انجام می گیرد. به عنوان مثال می توان مقدار یک کمیت اندازه گیری نشده را در به کمک نقاط مجاور که مقدار آنها اندازه گیری شده است، برآورد نمود. این کار معمولا برای یک شبکه یا گره یا تمامی سلول های یک پهنه انجام می شود. بنابراین درون یابی به معنای تبدیل داده های نقطه ای به داده های پهنه ای می باشد (Chang, 2006). روش مورد استفاده برای این درون یابی در این مطالعه روش زمین آمار به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشد.

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به عنوان یک ابزار قدرتمند نقش مهمی در بسیاری از زمینه های دانش و فناوری عصر حاضر ایفا می کند. از جمله کاربردهای این نرم افزار قابلیت تحلیل ها و پیش بینی های زمین آماری می باشد. تحلیل های زمین آماری مربوط به اطلاعات مکانی[1]به دلایلی همچون هزینه های بالای اندازه گیری داده ها یا عدم امکان دسترسی به تمامی اطلاعات یک جامعه مکانی می تواند نقش مهمی در مطالعات علمی و طرح های اجرایی داشته باشد. شالوده زمین آمار به کارگیری مدل های درون یابی متناسب با اهداف و نوع متغیرها با استفاده از اطلاعات معلوم نقاط نمونه گیری شده از یک منطقه می باشد که اطلاعات سایر نقاط نامعلوم آن منطقه را پیش بینی می نماید. انواع روش های درون یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت های زیادی برای تخمین صحیح و دقیق متغیرهای پیوسته مکانی داشته و می توانند در حیطه های مختلف، برای تخمین پراکنش عوامل زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی، تحقیقی، بهداشتی، آموزشی، حقوقی، و سایر مطالعات بکار گرفته شوند.

طی سال‌های اخیر، ابزارهای رو به رشد و قدرتمند و همه‌جانبه زمین‌آماری برای کاربردهای گوناگون علوم زمینی توسعه‌یافته‌اند. زمین‌آمار روشی است برای ترکیب مختصات زمانی و مکانی مشاهدات در پردازش داده‌ها (Houlding, 2000). این موضوع دیسیپلین نسبتاً جدیدی بوده که از دهه ۱۹۶۰ و ابتدا با تلاش‌های مهندسین معدن بنا نهاده شد چراکه با مشکل ارزیابی مخازن قابل احیا دست‌به‌گریبان بودند. کاربردهای زمین‌آمار از شکل اولیه اصلی خود در مهندسی معدن به سایر علوم نیز گسترش یافت: علوم خاک، اقیانوس شناسی، هیدروژئولوژی، کشاورزی، علوم زیست‌محیطی، و در همین اواخر در علوم پزشکی (Berke, 2004). پایه های علم زمین آمار بر اساس تئوری های آمار کلاسیک و احتمالات در اوایل قرن بیستم بنا بناده شد. افرادی همچون Weiner، Kolmogorov، Matern و Gangin از اولین دانشمندان فعال این عرصه بودند. فیشر در طول ۱۰ سال (از ۱۹۲۴)، انقلابی بزرگ در آمار کشاورزی به وجود

[1]Spatial

آورد، وی در سال ۱۹۲۵ در کتاب خود این موضوع را به صورت گسترده تری بیان می کند. به طوری که می توان گفت وی اثرات فضایی را در مطالعات خود این موضوع را به صورت گسترده تری بیان می کند. واژه زمین آمار[1] برای اولین بار توسط هارت[2] در یک متن جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفت (۱۹۵۴). زمین آمار کاربردی به شکل کنونی خود در دهه هفتاد میلادی توسط Krige و Sichel که مهندسان معدن آفریقای جنوبی تبار بودند و همچنین Matheron از فرانسه مطرح گردید (سال ۱۹۶۳ میلادی برای تخمین ذخایر مواد معدنی در یک منطقه با داده های توزیعی).

در برآورد مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل نیز مطالعات فراوانی در سطح کشور و در جهان انجام شده است که اغلب آنها در یک منطقه خاص بوده است و جامعیت مطالعه فعلی را دارا نمی باشند. اما نتایج ارزشمندی در خصوص کاربرد روابط زمین آماری ایجاد نموده اند. کریمی جعفری و اسلامیان در مطالعه خود در خصوص ارزیابی روش‌های زمین‌آمار در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل، از داده‌های هواشناسی ۱۵ ساله‌ی ۱۸ ایستگاه هواشناسی در داخل و اطراف مرز استان کرمان استفاده کردند. داده‌های به‌دست‌آمده به همراه مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از نرم‌افزار ARC-GIS بازخوانی گردید. از روش‌های مختلف زمین‌آمار ازجمله کریجینگ ساده و کریجینگ معمولی با استفاده از مدل‌های کروی، نمایی و گوسی و روش وزن دهی عکس فاصله با توان‌های وزن دهی ۱، ۲ و۳ برای تخمین تبخیر تعرق پتانسیل استفاده شد و درنهایت نتایج نشان دادند که روش کریجینگ معمولی با مدل گوسی و روش کریجینگ ساده با مدل گوسی به ترتیب توانایی تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل را دارا می‌باشند (جعفری و اسلامیان، ۱۳۹۰). نظری فر و همکارانش در ۱۳۸۶ در تحقیقی برای بررسی تغییرات منطقه‌ای تبخیر و تعرق پتانسیل در استان همدان، روش کریجینگ در مقیاس ماهانه و روش وزن دهی عکس فاصله در مقیاس سالانه را پیشنهاد کردند (نظری فر و همکاران، ۱۳۸۶). تافته و همکاران در استان خوزستان با استفاده از اطلاعات هواشناسی موجود در استان، تبخیر-تعرق مرجع و نیاز آبی گیاه گندم در پایلوت های اجرایی تعیین و در نهایت روش های مختلف پهنه بندی مانند روش رگرسیونی، روش وزنی عکس فاصله و روش کوکریجینگ را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد روش کوکریجینگ با ضریب همبستگی ۰/۸۲ و شاخص توافق ۰/۶۶ کمترین خطا را در برآورد نیاز آبی گندم نسبت به سایر روش های مورد استفاده داشت (تافته و همکاران، ۱۳۹۹).

مواد و روش‌ها

تحلیل تغییرات در متغیرهای هواشناسی برای درک سیستم های اقلیمی و حداقل کردن آثار سوء تغییرات اقلیمی بسیار اهمیت دارد. یکی از مهمترین داده های اقلیمی که دانستن آن در پهنه های جغرافیایی حائز اهمیت می باشد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهان می باشد. یکی از مهمترین راهکارها در تحلیل های هواشناختی درون یابی داده های مکانی است. زمین آمار راهی را برای توصیف پیوستگی مکانی داده ها که یکی از ویژگی های بنیادی فرآیندهای طبیعی است فراهم می آورد. مساله اساسی از این جا نشات می گیرد که علی رغم اهمیت داده های تبخیر تعرق، اندازه گیری آنها به صورت همه گیر در همه نقاط ممکن نبوده و این مقادیر تنها در ایستگاه های هواشناسی می توانند اندازه گیری شده و یا مورد محاسبه قرار گیرند. بنابراین روش های درون یابی فرصت مناسبی را برای تخمین این مقادیر برای بقیه نقاط نمونه برداری نشده در نزدیکی و یا محوطه تخمین ایجاد می کنند. فرایند درون یابی به دلیل محدودیت داده های نقطه ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه های هم ارزش انجام می گیرد. درون یابی به شیوه های جبری و زمین آماری هر دو به یک دلیل اصلی ضرورت دارند: دسترسی به داده (تخمین

[1] geostatistical
[2] Hart

مقدار) در نقاط فاقد داده برای داده های زمینی. آمار کلاسیک این امکان را فراهم نمی کند اما در زمین آمار با ارتباط روش های آمار کلاسیک به پیوستگی مکانی این نیاز به خوبی رفع شده است.

مطالعه حاضر در پهنه کشوری یکی از جامع ترین مطالعات پهنه بندی زمین آماری در خصوص داده های تبخیر و تعرق پتانسیل گندم می باشد. در این مطالعه ۴۱۵ ایستگاه هواشناسی در سراسر کشور به عنوان جامعه آماری موجود مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. از داده های ثبت شده در همه این ایستگاه ها و به روش فائو ۵۶ اصلاح شده مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل برای گیاه گندم مورد محاسبه قرار گرفته است. با استفاده از روش کریجینگ که در اغلب مطالعات برتری آن نسبت به سایر روش ها مشخص شده است اقدام به درون یابی زمین آماری در پهنه کشور شد. در این راستا از امکانات فراوانی که سیستم اطلاعات جغرافیایی در اختیار قرار می دهد استفاده شد. به این ترتیب که برای درون یابی و ایجاد نقشه های پهنه بندی از الحاقیه ArcGIS Geostatistical Analyst در محیط نرم افزار Arc GIS استفاده شد. ابزار آنالیز زمین آماری نرم افزار Arc GIS مجموعه ابزارهایی را برای مدل سازی و پیش بینی متغیرها با استفاده از مدل های دترمینیستیک و روش های زمین آماری فراهم می آورد. ابزارهایی که در این مجموعه گردآوری شده اند، کاملا با محیط مدل سازی GIS تلفیق گردیده، و این امکان را برای کاربران حرفه ای پدید می آورند تا مدل های درون یابی را تولید نموده و کیفیت آنها را قبل از استفاده در هر گونه تحلیل بعدی، ارزیابی نمایند. خروجی های مدل تهیه شده توسط این ابزار را می توان در ساختار Model Builder و یا محیط پایتون، و یا سایر الحاقیه های این نرم افزار همچون ابزار آنالیز مکانی (ArcGIS Spatial Analyst Extension) و یا ابزار آنالیز سه بعدی (ArcGIS 3D Analyst Extention) به کار برد. ویزارد زمین آمار امکان دسترسی به یک سری از ابزارهای درون یابی را فراهم می کند که به دو دسته کلی قطعی و زمین آماری تقسیم میشوند. در روش های زمین آماری فرض بر این است که حداقل تعدادی از تغییرات مکانی مشاهده شده در فرآیندهای طبیعی را می توان توسط مدل های توابع تصادفی، با گنجاندن مدل های تغییر نما که پیوستگی مکانی را نشان می دهند، مدل سازی نمود. روش های زمین آماری را می توان برای توصیف و مدل سازی پیوستگی مکانی بین متغیرها (با استفاده از تغییر نما) و تخمین مقدار متغیر مجهول در مکان هایی که مقداری برای آنها در دست نیست، استفاده نمود و عدم قطعیت مرتبط با این روش ها را تعیین نمود. ویزارد زمین آمار روش های مختلفی را برای تخمین متغیر ارائه می دهند که عبارتند از : کریجینگ معمولی[۱]، کریجینگ ساده[۲]، کریجینگ عمومی[۳]، کریجینگ ایندیکاتور[۴]، کریجینگ منفصل[۵]، درون یابی ناحیه ای[۶]، بایسین تجربی[۷].

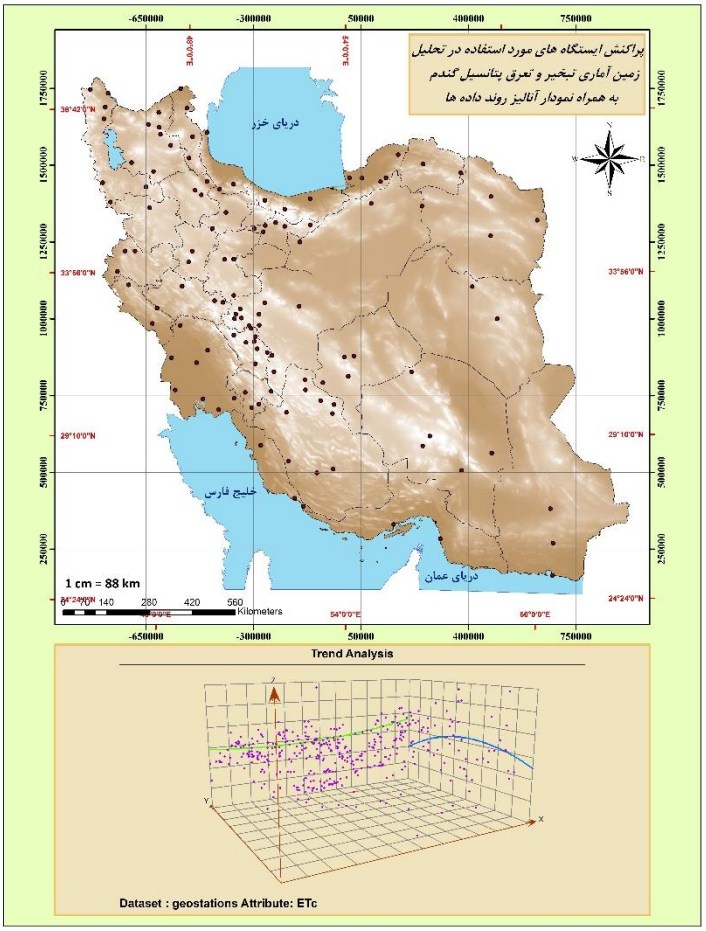
روش های کریجینگ بر اساس روش های ریاضیاتی و آماری استوار هستند. افزودن یک مدل آماری شامل احتمالات این روش را از روش های قطعی (دترمینیستیک) مجزا می سازد. در کریجینگ (که نام خود را از مهندس معدن آفریقایی جنوبی دانی کریج[۸]به یادگار دارد)، به همراه پیش بینی ها، احتمالاتی نیز مورد محاسبه قرار میگیرند، به این معنی که مقادیر به طور دقیق از مدل آماری قابل پیش بینی نمی باشند. روش های کریجینگ بر مفهوم خود همبستگی تکیه کرده اند. همبستگی اغلب به صوت تمایل دو متغیر برای ایجاد رابطه مستقیم یا معکوس تعریف می شود. اما گاهی در خود یک متغیر نیز همبستگی وجود دارد که به این نوع همبستگی خود همبستگی گفته می شود. یعنی مقادیر یک متغیر اگر در فواصل کمتری نسبت به هم قرار گیرند همبستگی (شباهت) بیشتری به هم دارند. بنابراین خود همبستگی تابعی از فاصله است. این در واقع تعریف اصلی زمین آمار است. آمار کلاسیک مشاهدات را

[1] Ordinary Kriging
[2] Simple Kriging
[3] Universal Kriging
[4] Indicator Kriging
[5] Disjunctive Kriging
[6] Areal Interpolation
[7] Emprical Bayesian Kriging
[8] Danie Krige

مستقل و غیر وابسته در نظر میگرد، یعنی هیچ همبستگی ای بین مشاهدات وجود ندارد. در زمین آمار، اطلاعات موجود در خصوص مکان های جغرافیایی به کاربر اجازه می دهد که فواصل بین مشاهدات را محاسبه نموده و خود همبستگی را به عنوان تابعی از فاصله مدل سازی نماید. ضمنا باید در نظر داشت که متغیر خود همبسته به طور کلی با زمان هم متغیر است که به این مفهوم روند گفته می شود.

نتایج و بحث

با بررسی اولیه داده ها در الحاقیه Geostatistical Analyst، نرمال بودن داده ها باید تایید شود (کورتوسیس نزدیک ۳ و چولگی نزدیک صفر)، بنابراین پیش شرط اولیه استفاده از روش های کریجینگ و به طور کلی ارائه ضریب رگرسیون نرمال بودن داده ها است که باید مورد بررسی قرار گیرد. در مورد نرمال بودن داده ها در این افزونه نمی توان مطمئن شد. بنابراین در نرم افزار spss تست کلوموگروف اسمرینوف برای داده ها (بیش از ۳۰ جفت داده وجود دارد) اعمال شد و نتایج حاکی از عدم نرمالیته شدید داده ها داشت که با حذف داده های پرت و حتی حذف جفت داده های پرت از سمی واریوگرام داده ها در نرم افزار GS^{+} نیز نرمال بودن داده ها محقق نشد. استفاده از برخی از تبدیلات مانند تبدیل لگاریتمی و تبدیل Box Cox



شکل ۱- نقشه پراکنش ایستگاه های نمونه و نمودار آنالیز روند داده ها

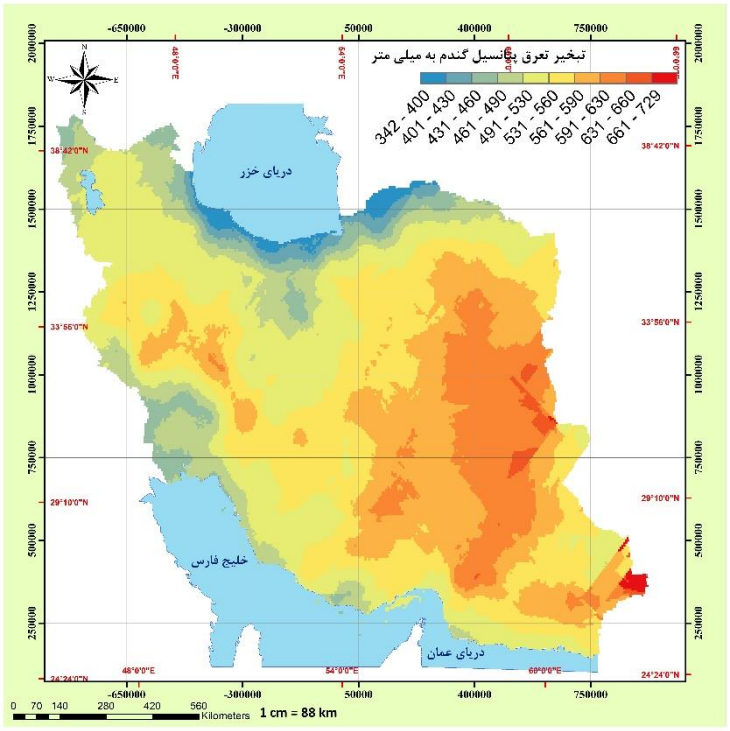
در الحاقیه زمین آمار ممکن است بتواند داده ها را نرمال کند که با اعمال تبدیلات روی داده ها و تست مجدد آنها در spss نرمال بودن آنها احراز نشد.

بنابراین ۴۱۵ داده موجود مورد بررسی قرار گرفتند و معلوم شد که تعداد ایستگاه هایی که داده های بزرگ را برداشت می کنند پایین است و به عبارتی پراکنش ایستگاه ها برای ارائه تصویر درست از شرایط متوسط کشور درست نیست، بدین معنی که تعداد اعداد واقع شده در بازوی چپ هیستوگرام فراوانی داده ها در اکثریت بوده (به واسطه ساخت ایستگاه بیشتر یعنی نمونه برداری غلط) و داده ها دارای چولگی چپ می باشند. پس برای ارائه شرایط واقعی تر از کل کشور و حذف اثر نمونه برداری غلط و همچنین آنرمال شدن داده ها ناشی از همین نمونه برداری اشتباه، به دلیل وجود همبستگی بالای داده های ارتفاع هر ایستگاه با مقدار تبخیر تعرق پتانسیل گندم در هر ایستگاه اقدام به تقسیم داده ها در سه طبقه ارتفاعی شد. نمونه برداری مجدد از جامعه به تعداد ۱۲۳ مورد بر اساس جدول مورگان انجام شد به همراه این اصلاح که طبقات بالای ارتفاعی که تعداد ایستگاه بسیار محدود تر است به جای نمونه برداری مورد تمام شماری قرار گرفتند. در نهایت ۱۲۳ ایستگاه دارای توزیع نرمال وارد محاسبات زمین آماری شدند.

با بررسی روند کلی داده ها می توان گفت روند تغییر داده ها شدید نیست و روند آرامی در تغییرات به چشم میخورد. روند در راستای محور y به صورت قوسی بوده و با حرکت از شمال کشور به طرف جنوب کشور روند خطی نمی باشد. در مرکز کشور مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل نسبت به شمال و جنوب کشور افزایش نامحسوسی نشان می دهد. با حرکت از غرب به شرق کشور روند نامحسوس افزایشی در داده ها دیده می شود (شکل ۱). به دلیل وجود متغیرهای کمکی همچون داده های تبخیر تعرق مرجع و ارتفاع در هر ایستگاه از روش کوکریجینگ و مدل نمایی سمی واریوگرام که برتری آن در نرم افزار GS^+ قابل بررسی است، نقشه های پهنه بندی و همچنین عدم قطعیت تخمین تبخیر تعرق پتانسیل گندم در سطح کشور استخراج شد.

نتیجه گیری

در نهایت NRMSE مقدار مناسبی برابر ۸ درصد به دست آمد. مقدار RMS برابر ۴۳/۵ و معادله خط رگرسیون نیز در افزونه زمین آمار استخراج شد. این معادله یکبار دیگر در spss صحت سنجی شده و به وسیله آزمون ANOVA مورد ارزیابی قرار گرفت که آیا ضریب همبستگی معادله قابل اتکای معنی دار می باشد یا خیر، که نتایج نشان از قابل اتکا بودن ضریب رگرسیون به دست آمده میداد. مقدار این ضریب برای مطالعه حاضر برابر ۰/۶۱ به دست آمد.



شکل ۲- نقشه پهنه بندی تبخیر و تعرق پتانسیل گندم در سطح کشور

با توجه به پهنه عظیم مورد مطالعه در سطح کشوری و با توجه به مقدار مناسب NRMSE و همچنین ضریب رگرسیون استخراجی از نمونه نرمال شده، میتوان گفت تخمین مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گندم در مکان های بدون ایستگاه توسط روش های زمین آماری به خوبی قابل انجام است. به شرطی که اصول آماری حاکم بر مبنای مطالعات به خوبی احصا گردد می توان با تکیه بر این روش ها نقشه های پهنه بندی را با درجات بالای همبستگی ارائه داد. معادله خط رگرسیون برابر $Y= 0.61X+201.05$ می باشد. مقدار میانگین تبخیر تعرق پتانسیل پیش بینی شده در سطح کشور برابر ۵۳۴ است که با میانگین داده های مشاهداتی (۵۱۴) قرابت خوبی دارد. همچنین حداکثر و حداقل پیش بینی به دست آمده از روش کوکریجینگ در سطح کشور (به ترتیب ۷۲۸ و ۳۴۱ میلی متر نیز با کران های بالا و پایین مقادیر مشاهداتی (۷۵۰ و ۳۲۲) تناسب بسیار مناسبی نشان می دهد.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می دانند از مجموعه تیم علمی طرح نیاز آب در موسسه تحقیقات خاک و آب کشور به خاطر تامین داده های اولیه مورد نیاز برای ایستگاه های مورد مطالعه در این تحقیق تشکر نمایند.

منابع

تافته، آ.، دواتگر، ن.، و ملاح، س. (۱۳۹۹). بررسی امکان پهنه بندی تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه گندم با استفاده از روش های مختلف پهنه بندی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۰(۴)، ۲۴۰-۲۲۹.

سالاریان، م.، نجفی، م.، داوری، ک.، اسلامیان، س. س.، و حیدری، م. (۱۳۹۳). مناسبترین روش برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل در شرایط کمبود داده هواشناسی در ماههای گرم و سرد سال (مطالعه موردی شهرستان اصفهان). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۸). ۷۳-۶۲.

کریمی جعفری، م.، و اسلامیان، س. (۱۳۹۰). ارزیابی روش های زمین آمار در تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل. اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، کرج.

نظری فر، م. ه.، سیفی، ک.، و مومنی، ر. (۱۳۸۶). مشخصات نویسندگان مقاله ارزیابی روشهای زمین آماری و تیسن در برآورد تغییرات منطقه ای تبخیر و تعرق پتانسیل (مطالعه موردی استان همدان). نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.

Berke, O. (2004). Exploratory disease mapping: kriging the spatial risk function from regional count data. International Journal of Health Geographics, 3(1), 1-11.

Chang, K. T. (2006). Introduction to geographic information systems: McGraw-Hill Higher Education. Boston. 464p.

Hasiotis, S. T., Kraus, M. J., & Demko, T. M. (2007). Climatic controls on continental trace fossils. In Trace Fossils (pp. 172-195). Elsevier.

Houlding, S. (2000). Practical geostatistics: modeling and spatial analysis. Manual: Springer Science & Business Media. 179 p.

Shelton, M. L. (2009). Hydroclimatology: perspectives and applications. Cambridge University Press. 426P.

Zoning of potential evapotranspiration of wheat in the country using geostatistical methods

Anahita Jabbari[1], NiazAli Ebrahimi Pak[2], Arash Tafteh[3], Aziz majidi[4], Sina Mallah[5]

1,4: Assistant Professor of Soil and Water Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran. Email: a.jabbari@areeo.ac.ir

2: Associate professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3: Assistant professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

5: Researcher of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Abstract

Text Water scarcity is an important limitation for agricultural development in many parts of the world, so it is obvious that the optimized management of acceptable water resources is one of the most critical management challenges these days. So the knowledge of water balance in watersheds is the most important prerequisite for this optimal management. Potential evapotranspiration as the most crucial part of this equation is measured in meteorological stations through measured parameters. But the noticeable point is that how the parameter should be measured in areas without stations. The Geostatistical methods as favorite interpolation methods solve the problem. In the current study after sampling and making a Normal distributed sample and by the use of kriging method, the zoning maps are presented. The regression coefficient of 0.61 and NRMSE below 10 percent illustrates the acceptable functionality of Kriging method through the large area of the country.

Keywords: Potential evapotranspiration, Wheat, Geostatistics, Geographic Information System.

ارزیابی دقت داده‌های تبخیر–تعرق محصول GLDAS با استفاده از روش فائو–پنمن– مانتیث در حوضه آبریز زاینده‌رود

مریم امین فنک[۱]، سید مجید میرلطیفی[۲]، علی شمس‌الدینی[۳]

۲- دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس و mirlat_m@modares.ac.ir

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس و Maryam.aminfanak@modares.ac.ir

۳- استادیار، گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس و ali.shamsoddini@modares.ac.ir

چکیده

یکی از مولفه‌های موثر در چرخه هیدرولوژی تبخیر-تعرق است که نقش قابل ملاحظه‌ای در اقلیم منطقه‌ای و جهانی دارد. تاکنون روش‌های سنجش از دور مختلفی برای محاسبه تبخیر-تعرق ارائه شده‌اند. یکی از این روش‌ها استفاده از محصولات تبخیر-تعرق می‌باشد که توسط پایگاه‌های جهانی در دسترس کاربران قرار می‌گیرند. هدف از این پژوهش اعتبارسنجی محصول تبخیر-تعرق GLDAS برای سال‌های پربارش، نرمال و کم‌بارش در حوضه آبریز زاینده‌رود است. تبخیر-تعرق مرجع با گام زمانی ماهانه توسط معادله فائو-پنمن مانتیث برای دوره آماری مورد نظر در سه ایستگاه کبوترآباد، اصفهان و کوهرنگ محاسبه گردید. سپس مقادیر تبخیر-تعرق از محصول GLDAS نیز استخراج گردید. نتایج حاکی از این مطالعه بیش برآورد را در میزان تبخیر-تعرق به دست آمده از محصول GLDAS در مقایسه با معادله فائو-پنمن-مانتیث نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، سنجش از دور، محصول تبخیر-تعرق

مقدمه

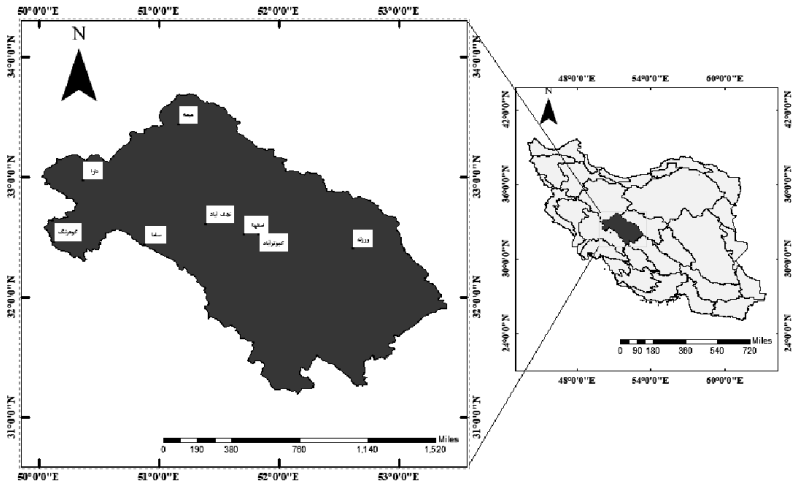
مقدار آبی که طی دو فرآیند تبخیر و تعرق، از خاک، پوشش گیاهی و توده‌های آبی خارج شده و به اتمسفر وارد می‌شود، نقش مهمی در مطالعات مرتبط با بیلان آب دارد (Asadzadeh et al. 2017). تخمین تبخیر-تعرق در سطح وسیع، یکی از اطلاعات ضروری جهت برنامه‌ریزی تخصیص منابع آب می‌باشد. یکی از مولفه‌های مهم در بحث بیلان آب، تبخیر-تعرق است که روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری و برآورد آن وجود دارد (مقبلی دامنه و ثنایی نژاد، ۱۳۹۷). تاکنون بیش از ۵۰ روش تخمین تبخیر-تعرق در قالب روش‌های ترکیبی، آیرودینامیک و تجربی ارائه شده است که اغلب با توجه به داده‌های هواشناسی نتایج متفاوتی ارائه می‌دهند (اسمعیل‌پور، ۱۳۸۶). از آن جا که این روش‌ها عمدتا شامل اندازه‌گیری به صورت نقطه‌ای بوده و نیازمند داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی زیاد می‌باشند، دارای محدودیت هستند. روش‌های مذکور دقیق‌ترین روش برای برآورد تبخیر-تعرق روی یک منطقه می‌باشند، اما بعضی از روش‌ها به دلیل نیاز به انواع اندازه‌گیری‌های سطح زمین و پارامترهای آن، نمی‌توانند مستقیما به یک مقیاس بزرگ

گسترش پیدا کنند (Asadzadeh et al., 2017). یکی از اساسی‌ترین مشکلاتی که محققان در اکثر نقاط جهان با رو به رو هستند، دسترسی به داده‌های جوی و زمینی مانند بارش، دما، رطوبت و دمای خاک می‌باشد. همچنین تراکم پایین ایستگاه‌های هواشناسی در نواحی کوهستانی و بیابانی به دلیل محدودیت‌های اقتصادی و یا جغرافیایی، استفاده از داده‌های این ایستگاه‌ها را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با محدودیت مواجه کرده است (Gairola et al., 2015). از این رو در سال‌های اخیر داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های سنجش از دور و مدل‌سازی مورد توجه بیشتر محققان قرار گرفته است (میری و همکاران، ۱۳۹۵). چرا که با پیشرفت تکنولوژی سنجش از دور، امکان برآورد تبخیر-تعرق واقعی وتبخیر-تعرق مرجع در یک سطح وسیع فراهم شده است. تکنولوژی سنجش از دور می‌تواند یک پوشش مکانی بزرگ و پیوسته را در عرض چند دقیقه فراهم کند (Rango, 1994). استفاده از محصولات تبخیر-تعرق پایگاه‌های جهانی از جمله روش‌های تخمین تبخیر-تعرق با استفاده از سنجش از دور می‌باشند که اطلاعات مربوط به تبخیر-تعرق را در سطوح وسیع و بازه‌های زمانی مختلف در اختیار کاربران قرار می‌دهند. از این رو در طی سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه اعتبارسنجی محصول جهانی GLDAS صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره شده است. میری و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی محصول جهانی GLDAS در سطح ایران پرداختند. در این مطالعه داده‌های متوسط دمای ماهانه ۶۶ ایستگاه هواشناسی با پراکنش مناسب در سطح ایران و نیز داده‌های مدل GLDAS با دقت مکانی ۲۸ کیلومتر از سایت‌های مربوطه دریافت و پردازش شد نتایج نشان داد که داده‌های این مدل در سطح ایران از دقت بسیار مناسبی برخوردار است و میزان خطای این مدل در برآورد متوسط دمای ایستگاه‌های مورد بررسی بسیار اندک و قابل چشم‌پوشی است (میری و همکاران، ۱۳۹۵). در تحقیقی دیگر به مقایسه و ارزیابی محصولات تبخیر-تعرق شامل GLDAS در سراسر چین پرداخته شد (Bai and Liu, 2018). ارزیابی‌ها در مقیاس سایت به وسیله ۸ ایستگاه هواشناسی و در مقیاس حوضه توسط ۲۲ رودخانه در دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۳ انجام شد. در این تحقیق از دو معیار عملکرد شامل ضریب تعیین، اریب برای ارزیابی محصولات تبخیر-تعرق استفاده شد. روند تخمین سالانه تبخیر-تعرق حاصل از محصول GLDAS، ۰,۴۴۹ میلی‌متر در سال بود. همچنین میانگین سالانه تبخیر-تعرق در سراسر کشور برای محصول GLDAS، ۴۴۳/۴ میلی‌متر در سال بود میانگین مقادیر ضریب تعیین برای محصول GLDAS، ۰/۷۷ بود و مقادیر BIAS برای این محصول ۲۲/۵ درصد به دست آمد. طی مطالعه‌ای دیگر، فرجی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی مدل جهانی GLDAS با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای حاصل از لایسیمتر در استان قزوین پرداختند. در این مطالعه، سه سال ۷۹-۸۰، ۸۰-۸۱ و ۸۱-۸۲ به ترتیب به عنوان سال خشک، نرمال و تر انتخاب شدند. نتایج بررسی داده‌های تبخیر-تعرق مدل GLDAS و لایسیمتر نشان داد که همبستگی بالایی بین این دو سری داده وجود دارد(فرجی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به اینکه حوضه آبریز زاینده رود در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده است، برآورد تبخیر-تعرق مرجع به عنوان یکی از پارامترهای مهم بیلان آب در این حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو در این مطالعه به ارزیابی دقت محصول تبخیر-تعرق GLDAS با استفاده از روش فائو-پنمن مانتیث پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

حوضه آبریز زاینده رود با مساحتی معادل ۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ′02 ˚50 تا ′24 °53 طول شرقی و ′12 ˚31 تا ′42 ˚33 عرض شمالی قرار گرفته است. این حوضه، یک حوضه کاملا بسته است که خروجی به دریا ندارد و در مرکز فلات ایران واقع شده است. رودخانه اصلی این حوضه با مسیری غربی-شرقی از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و به باتلاق گاوخونی ختم می‌شود. حدود ۹۰/۹ درصد حوضه آبریز زاینده‌رود در استان اصفهان،۲/۳ درصد در استان یزد، ۳/۴ درصد در استان فارس و ۳/۴

درصد در استان چهار محال و بختیاری قرار دارد (شکل ۱). تغییرات آب و هوا در این حوضه بسیار چشمگیر است. به طوری که میانگین بارش سالانه در ناحیه چلگرد در سمت غرب حوضه در حدود ۱۳۰۰ میلی‌متر بوده، درحالی‌که در محدوده تالاب گاوخونی میزان بارش از ۱۰۰ میلی‌متر در سال تجاوز نمی‌کند.



شکل۱- موقعیت حوضه آبریز زاینده رود.

معرفی مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی (GLDAS)

مدل جهانی همسان سازی داده‌های زمینی (GLDAS) به طور مشترک توسط دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA[1])، مرکز فضایی پروازهای گودارد (CSFC[2])، سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی (NOAA[3]) و مرکز بین‌المللی پیش‌بینی محیط زیست (NCEP[4]) آمریکا در زمینه تبخیر-تعرق و بیلان آب توسعه داده شده است(فرجی و همکاران، ۱۳۹۶). قدرت تفکیک مکانی این محصول بیست‌وهشت کیلومتر(۰,۲۵ درجه) و داده‌های آن به صورت سه ساعته و ماهانه و سالانه در دسترس کاربران قرار می‌گیرد. در حال حاضر داده‌های این سیستم از چهار مدل سطحی شامل CLM، Noah، Mosaic و VIC حاصل می‌شوند.

دریافت و پردازش داده‌ها

در اولین گام اقدام به جمع‌آوری داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه گردید. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق دمای حداقل و حداکثر، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، میانگین سرعت باد و بارش بودند. علت بهره‌گیری از این پارامترها به روش محاسبه تبخیر-تعرق مرجع که معادله فائو-پنمن مانتیث می‌باشد، مرتبط است. داده‌های تبخیر-تعرق (Potential Evaporation Rate) از محصول GLDAS-Noah با قدرت تفکیک مکانی 0.25 درجه برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶، ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ به صورت ماهانه با فرمت Netcdf دریافت شد. به منظور تبدیل فرمت Netcdf به TIF از ابزار Make

[1] The National Aeronautics and space Administration.
[2] Goddard space flight center.
[3] The National Oceanic and Atmospheric Administration.
[4] The National Center for Environmental Prediction.

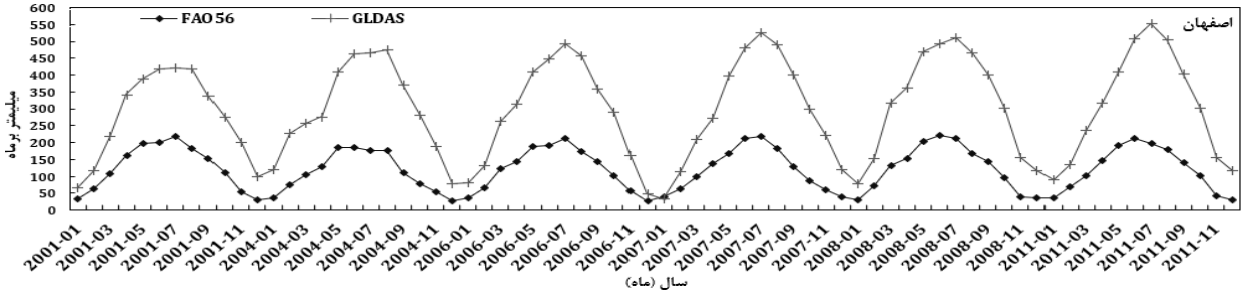
Netcdf Raster Layer در محیط ARCGIS نسخه ۱۰,۴,۱ استفاده شد. جهت ارزیابی آماری نتایج تبخیر-تعرق حاصل از محصولات تبخیر-تعرق و داده‌های مشاهداتی از ضرایب آماری همچون ضریب تعیین، خطای میانگین مربعات ریشه[1]، میانگین خطای اریبی[2] استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در حوضه آبریز زاینده رود.

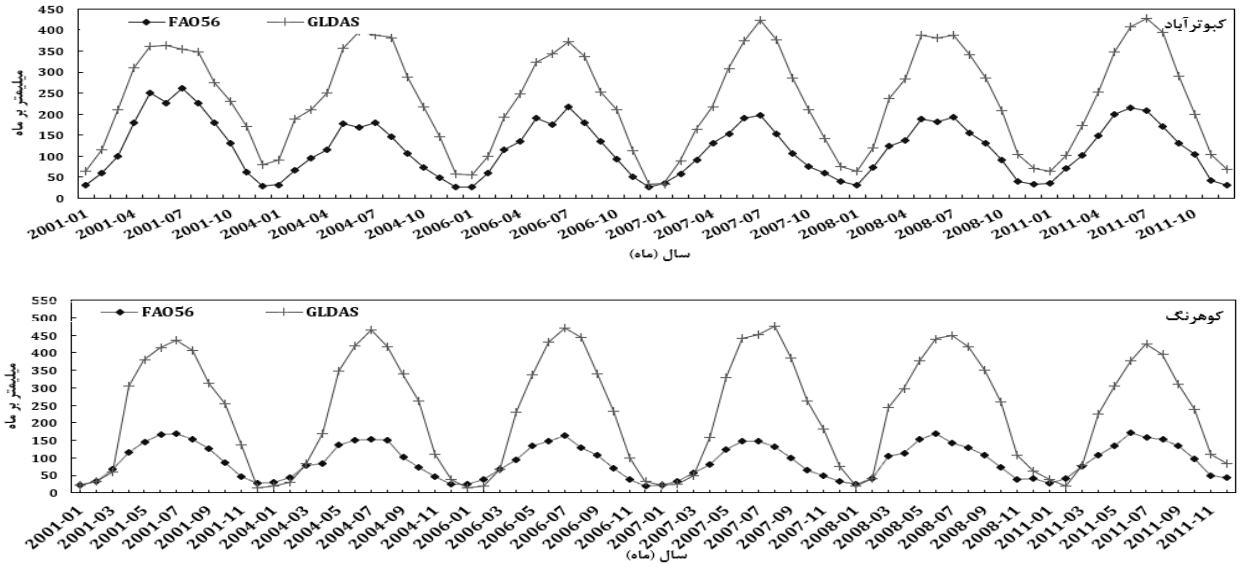
ایستگاه سینوپتیک	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
کبوترآباد	۵۱/۸۳	۳۲/۵۲	۱۵۴۲/۵
اصفهان	۵۱/۷۱	۳۲/۵۲	۱۵۵۰/۴
کوهرنگ	۵۰/۱۳	۳۲/۴۶	۲۳۶۵

نتایج و بحث

شکل ۱ نشان‌دهنده روند تغییرات ماهانه تبخیر-تعرق حاصل از روش فائو-پنمن مانتیث و مدل GLDAS-Noah بر حسب میلی‌متر در ماه طی سال‌های پربارش، نرمال و کم‌بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک می‌باشد. مقادیر شاخص‌های سنجش خطا برای هر یک از ایستگاه‌های سنوپتیک طی دوره مطالعاتی در جدول ۲ نشان داده شده است و دیده می‌شود که تفاوت زیادی بین داده‌های محاسبه شده توسط روش فائو- پنمن-مانتیث و مدل GLDAS-Noah وجود دارد. مدل GLDAS-Noah نیز همانند روش فائو-پنمن-مانتیث از معادله پنمن-مانتیث به منظور برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل استفاده می‌کند با این تفاوت که در مدل GLDAS-Noah همه مقاومت‌ها به غیر از مقاومت آیرودینامیک صفر در نظر گرفته می‌شود. در حالیکه در روش فائو-پنمن-مانتیث مقدار مقاومت سطحی[3] برابر ۷۰ ثانیه بر متر فرض می‌شود. این محصول روند روش فائو-پنمن-مانتیث را به خوبی پیش‌بینی می‌کند اما مثبت و زیاد بودن مقدار میانگین خطای اریبی بیش برآورد را در تخمین‌های این مدل یادآور می‌شود. این بیش برآورد بیشتر در ماه‌های اوج نیاز آبی گیاه صورت می‌گیرد. مقایسه نتایج تبخیر-تعرق دلالت بر آن دارد که در ماه‌های آوریل تا نوامبر، مقادیر تبخیر-تعرق پایگاه GLDAS حدود دو تا سه برابر داده‌های تبخیر-تعرق روش فائو-پنمن-مانتیث است. سان و همکاران (۲۰۲۱) خروجی‌های سه مدل محصول تبخیر-تعرق GLDAS شامل VIC، Noah و CLSM را با داده‌های تبخیر-تعرق ایستگاه‌های ادی کواریانس مقایسه نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که هر سه مدل دارای روند سازگاری با تبخیر-تعرق مشاهداتی در همه ایستگاه‌های هواشناسی هستند. همچنین نتایج نشان داد که مدل‌های Noah و CLSM با توجه به مثبت بودن میانگین خطای اریبی مقدار تبخیر-تعرق را بیشتر برآورد می‌کنند.



[1] Root Mean Square Error
[2] BIAS
[3] Surface resistance



شکل ۲- سری زمانی تبخیر-تعرق حاصل روش فائو -پنمن مانتیث و مدل GLDAS (ایستگاه‌های اصفهان، کبوترآباد و کوهرنگ).

جدول۲ - ضرایب آماری مقایسه تخمین تبخیر-تعرق توسط GLDAS در ایستگاه‌های سینوپتیک کبوترآباد، کوهرنگ و اصفهان.

ایستگاه	ضریب تعیین	خطای میانگین مربعات ریشه (میلی‌متر در ماه)	میانگین خطای اریبی (میلی‌متر در ماه)	معادله رگرسیونی
کبوترآباد	0.87	131.5	115.8	Y=1.703X+32.97
کوهرنگ	0.88	185.8	144.6	Y=3.125X-49.22
اصفهان	0.9	156.4	177.5	Y=2.206X+31.52

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تبخیر-تعرق توسط مدل GLDAS-Noah و روش فائو-پنمن-مانتیث به دست آمد.استفاده از مدل GLDAS کمک می‌کند که در مدت زمان کوتاه تبخیر-تعرق پتانسیل را برای حوضه‌های وسیع و مناطقی که داده‌های هواشناسی آن‌ها در دسترس نیست برآورد نمود. نتایج نشان داد که با توجه به مقادیر ضرایب آماری مدل GLDAS دقت مناسبی در برآورد مقادیر تبخیر-تعرق معادله فائو-پنمن مانتیث نداشته است. در آخر پیشنهاد می‌شود کارایی و دقت این محصول در سایر اقلیم‌ها مورد بحث و بررسی قرار گیرد.

منابع

اسمعیل‌پور، م. (۱۳۸۶). ارزیابی بیلان آب برای استفاده کشاورزی در حوضه جنوبی رود ارس. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

فرجی، ز، کاویانی، ع و شکیبا، ع. (۱۳۹۶). ارزیابی داده‌های تبخیرتعرق، بارش و دمای هوای حاصل از مدل سطح زمین (GLDAS) با استفاده از داده‌های مشاهداتی در استان قزوین. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۴(۳): ۲۸۳-۲۹۷.

مقبلی دامنه، م و ثنایی نژاد، ح. (۱۳۹۷). برآورد تبخیرتعرق پتانسیل در منطقه فریمان با استفاده از روش پریستلی-تیلور و تکنیک سنجش از دور. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۷۲-۸۴.

میری، م، عزیزی، ق، محمدی، ح و پورهاشمی. م. (۱۳۹۵). معرفی و ارزیابی مدل جهانی همسان سازی داده‌های زمینی با داده‌های مشاهده‌ای در ایران. فصل‌نامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر). ۲۶(۱۰۴): ۵-۱۷.

Asadzadeh F., Kaki M. and Shakiba S. (2017). Trends analysis of reference evaporation in the synoptic sites of Kurdistan province using spearmans test. Iran water Resources Research 13(1):216-222.

Gairola R.M., Prakash S. and Pal P.K. (2015). Improved rainfall estimation over the Indian monsoon region by synergistic use of Kalpana-1 and rain gauge data. Atmospheric Science. 51-61.

Idso S.B., Jackson R.D. and Reginato R.j. (1975). Estimating evaporation: a technique adaptable to remote sensing. Science. 189(4207):991-992.

Peng B. and Liu X. (2018). Intercomparison and evaluation of three global high-resolution evapotranspiration products across china. Journal of Hydrology. 566:743-755.

Rango A. (1994). Application of remote sensing methods to hydrology and water resources. Hydrological Sciences Journal. 39(4): 309-320.

Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovish J., Bosilovich M., Entin J.k., Walker J.P., Lohmann D. and Toll D. (2004). The global land data assimilation system. Bulletin of the American Meteorological Society. 85(3): 381-394.

Sun, R., Duan, Q. and Wang, j. (2021). Understanding the spatial patterns of evapotranspiration estimates from land surface models over china. Journal of hydrology, 595, 126021.

Evaluation of the accuracy of GLDAS product evapotranspiration data using FAO-Penman- Monteith method in the Zayandehrood catchment area

Maryam Aminfanak, Seyed Majid Mirlatifi, Ali Shamsodini

1- Associate Professor, Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, mirlat_m@modares.ac.ir

2- graduate student, Department of Water Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Maryam.aminfanak@modares.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Remote Sensing, Tarbiat Modares University, ali.shamsoddini@modares.ac.ir

Abstract

One of the effective components in the hydrological cycle is evapotranspiration, which plays a significant role in the regional and global climate. So far, various remote sensing methods have been proposed to calculate evapotranspiration. One of these methods is the use of evapotranspiration products that are available to users by global databases. The purpose of this study is to evaluated the accuracy of the GLDAS evapotranspiration product for Wet, normal and dry years in the Zayandehrood catchment. For this purpose, the reference evapotranspiration with a monthly time step was calculated by the FAO-Penman-Mantith equation for the study period in the three weather stations of Kabutarabad, Isfahan and Koohrang. Then evapotranspiration values were extracted from GLDAS product.

The results of this study indicated overestimation of the evapotranspiration rate obtained from GLDAS product compared with the FAO-Penman-Mantith equation.

Keywords: evapotranspiration product, remote sensing, Validation

ارزیابی تناسب اراضی برای توسعه آبیاری قطره‌ای و بارانی با استفاده از سیستم استنتاج فازی و روش پارامتریک

فرزانه نجفی آقامیرلو[۱]*، فرزین شهبازی[۲]، علی‌اصغر جعفرزاده[۳] و رضا حسن‌پور[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز، *ایمیل نویسنده مسئول: farzanehnajafi43@gmail.com

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز

۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز

۴- دانش‌آموخته دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تبریز

چکیده

در این تحقیق از دو روش سیستم استنتاج فازی و پارامتریک برای ارزیابی تناسب اراضی برای کاربرد سامانه‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی در سطحی به مساحت ۹۰۰۰ هکتار در منطقه جنوب شهرستان اهر در استان آذربایجان شرقی استفاده گردید. بر اساس روش پارامتریک، حدود ۳ درصد از اراضی برای آبیاری بارانی در کلاس S1 (عالی) قرار گرفت. همچنین حدود ۷۰ درصد پهنه‌های مطالعاتی برای آبیاری بارانی و قطره‌ای در کلاس S2 (مناسب) و حدود ۲۵ درصد نیز در کلاس S3 (نسبتاً مناسب) قرار گرفتند. با استناد به نقشه‌های تهیه شده حدود ۵۰۰۰ هکتار از اراضی مورد مطالعه و حاشیه رودخانه اهرچای دارای کلاس مناسب برای آبیاری قطره‌ای (S2) می‌باشد. نتایج نشان داد که تفاوت عمده‌ای بین روش پارامتریک و فازی از لحاظ شناسایی اراضی عالی (S1) وجود دارد. به طوری که در ارزیابی اراضی عالی (S1) روش بارانی بیشترین مناطق را نسبت به روش قطره‌ای به خود اختصاص داد. علاوه بر این در روش فازی، تغییر کیفیت زمین‌هایی با کلاس S3 به زمین‌هایی با کیفیت S1 قابل توجه می‌باشد. با در نظر گرفتن تغییرات تدریجی پارامترهای خاک در ارزیابی به روش فازی، باعث دقت بیشتر این روش نسبت به روش پارامتریک می‌گردد.

کلمات کلیدی: اهر، سامانه‌های آبیاری، سامانه اطلاعات جغرافیایی، روش پارامتریک و فازی

مقدمه

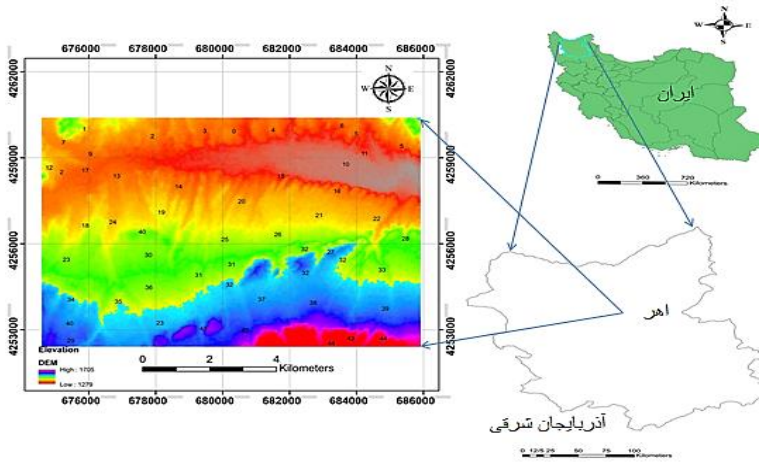
امروزه با توجه به افزایش جمعیت و بالا رفتن سطح استاندارد های زندگی تقاضا برای مواد غذایی بیشتر گردیده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب مهم‌ترین عامل محدود کننده در پیشبرد اهداف کشاورزی به شمار می‌رود. انتخاب سامانه‌های مناسب آبیاری می‌تواند یک راهکار برای ارتقای بهره‌وری از منابع آب به‌شمار آید (مادح خاکسار و همکاران، ۱۳۸۸). منابع آبی موجود در صورت عدم رعایت اصولی مصرف نیازهای موجود را تأمین نخواهد کرد، لذا استراتژی‌های مدیریتی برای نیل به امنیت غذایی و افزایش تولید در واحد سطح ضروری می‌باشد (Griffiths, 1975). درچند سال اخیر سیستم‌های استنتاج فازی در جهت تحلیل فرایندهای پیچیده، بسیارقدرتمند عمل کرده است و امروزه یکی از روش‌های کارآمد در زمینه پیشبینی و مدل سازی می‌باشد (Akbarzadeh *et al*., 2009). سیستم فازی قادر به استفاده از زبان بشری بوده و می تواند از تجربیات بشری و افراد متخصص استفاده کند (Koorehpazan, 2008). توانایی مجموعه‌های فازی انتقال تدریجی از عدم عضویت به عضویت و برعکس با کمک تابع عضویت است. تابع عضویت درجه عضویت المان‌های مختلف را به یک مجموعه نشان می‌دهد و مقداری بین صفر و یک را می‌گیرد (Koorehpazan, 2008). Wang and Hall (۱۹۹۰) طی مطالعاتی روش فازی و استفاده ازتوابع عضویت را پیشنهاد

نمود که بعدها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، بسط و گسترش یافتند (Wang and Hall, 1990). با توجه به اینکه تغییر اقلیم در سال‌های اخیر به عنوان یک چالش عمده در ایران و دنیا مطرح می‌باشد (Shahbazi and De la Rosa, 2010). لذا توسعه سامانه‌های نوین آبیاری همزمان با مطالعات علمی امری ضروری محسوب می‌شود. Sys و همکاران (۱۹۹۱) دستورالعملی به‌عنوان سیستم ارزیابی پارامتریک برای انواع سامانه‌های آبیاری پیشنهاد دادند که بنیان اصلی آن را خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ویژگی‌های زمین‌نما تشکیل داده است. درتحقیقی دیگر توسط آزاد و همکاران (۱۳۹۶) برای بررسی سامانه‌های مختلف آبیاری در دشت میاندواب با استفاده از سیستم استناج فازی نشان دادند که حدود ۴۶/۱۱ درصد از مساحت کل دشت در رابطه با اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای مناسب می‌باشد. استفاده از منطق فازی که از توانایی توابع عضویت پیوسته متغیرهای ورودی نشات می‌گیرد و تلفیق پارامترهای مؤثر بر ارزیابی سامانه‌های آبیاری درروش پارامتریک با توابع عضویت منطق فازی، می‌توان ارزیابی زمین های زراعی برای انتخاب سامانه مناسب آبیاری را با دقت بیشتری انجام داد که این موضوع در پژوهش حاضر مورد بررسی قرار می گیرد. هدف عمده این مطالعه، استفاده از قابلیت های روش منطق فازی برای ارزیابی تناسب اراضی منطقه مورد مطالعه و مقایسه نتایج آن با روش پارامتریک، برای کاربرد دو سامانه آبیاری بارانی و قطره ای در بخشی از اراضی دشت اهر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های پایه‌ای خاک درفازی سازی پارامترهای مؤثر در ارزیابی اراضی به روش پارامتریک

تحقیق حاضر در اراضی جنوب شهرستان اهر در به وسعت ۹۰۰۰ هکتار انجام گرفت. منطقه مورد مطالعه در محدوده طول شرقی ″۰۰ ′۰۰ °۴۷ تا ″۳۰ ′۰۷ °۴۷ و عرض شمالی ″۳۰ ′۲۳ °۳۸ تا ″۳۰ ′۲۸ °۳۸ واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارش ۱۵ ساله اخیر منطقه نیز ۲۹۴/۱ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه

داده‌های اولیه مورد نیاز این تحقیق مشتمل بر نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی ۱۸۰ نمونه خاک برگرفته از ۴۴ خاکرخ می‌باشد. مقادیر برای عمق یک متری در جدول ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاکرخ های مورد مطالعه در عمق یک متری (شهبازی، ۱۳۸۷)

خصوصیت خاک	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
سنگریزه ریز (درصد)	۰/۳۷	۳۱/۳۹	۹/۵	۷/۲۷	۷۶
سنگریزه درشت (درصد)	۲	۴۸/۷۴	۲۹/۳۴	۸/۸۴	۳۰
هدایت الکتریکی (دسی‌زمنس‌برمتر)	۳/۶	۵۲/۵	۱۶/۹۵	۷/۸	۴۰
آهک (درصد)	۰/۶	۷/۳	۱/۳۷	۱/۳۴	۹۸
گچ (درصد)	۰/۰۱	۱/۴	۰/۱۳	۰/۰۸	۶۱
عمق (سانتی‌متر)	۵۲	۱۹۰	۱۴۰/۶۳	۵/۶۴	۴

به منظورارزیابی تناسب اراضی برای سامانه‌های مختلف آبیاری از روش پارامتریک استفاده شده است. پارامترهای مؤثر در این روش را با استفاده از توابع مختلف فازی سازی و خصوصیات خاک درجه بندی گردید. درنهایت شاخص ظرفیت برای آبیاری [۱] که توسط Sys و همکاران (۱۹۹۳) و Dengiz (2006) ارائه گردید و از رابطه ۱ به‌دست می‌آید:

$$Ci = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \frac{D}{100} \times \frac{E}{100} \times \frac{F}{100} \times \frac{G}{100} \qquad (۱)$$

که در رابطه فوق Ci نشان دهنده شاخص ظرفیت برای آبیاری و حروف A الی G به ترتیب نشان دهنده درجه بافت خاک، درجه عمق خاک، درجه وضعیت آهک، درجه وضعیت گچ، درجه شوری و یا قلیائیت، درجه زهکشی و درجه شیب می‌باشد. تناسب اراضی برای انواع سامانه‌های مختلف آبیاری در ۵ کلاس طبقه‌بندی می‌شود (جدول ۲).

جدول۲- تعیین کلاس تناسب اراضی برای آبیاری با استفاده از شاخص ظرفیت آبیاری (Sys *et al.*, 1993)

شاخص قابلیت آبیاری	تعریف	نشانه کلاس
بیشتر از ۸۰	اراضی عالی	S1
۶۰-۸۰	اراضی مناسب	S2
۴۵-۶۰	اراضی نسبتاًمناسب	S3
۳۰-۴۵	اراضی تقریباً نامناسب	N1
کمتر از ۳۰	اراضی نامناسب	N2

بدین‌منظور پارامترهای مؤثر در ارزیابی روش پارامتریک در محیط GIS تهیه شده و در نهایت واحدهای نقشه ترسیم می‌شوند (Shahbazi *et al.*, 2013). پس از محاسبه برای فازی سازی کلیه پارامترهای مؤثر بر اساس دامنه تغییرات آن به توابع عضویت بین صفر و یک نسبت داده شدند امتیاز تعلق گرفته برای هر عامل بر اساس توابع عضویت هریک از عوامل، بسته به نوع آبیاری، در جدول ۳ نشان داده شده است. پس از محاسبه امتیازها نقشه نهایی از عملیات‌های هم‌پوشانی و استخراج در محیط GIS استخراج گردید.

$$\mu(x) = (x\mu\left(\prod_{i=1}^{n}\mu_i(x)\right)^{1-\lambda}) \times (1-\prod_{i=1}^{n}\mu_i(x))^{\lambda} \qquad (۲)$$

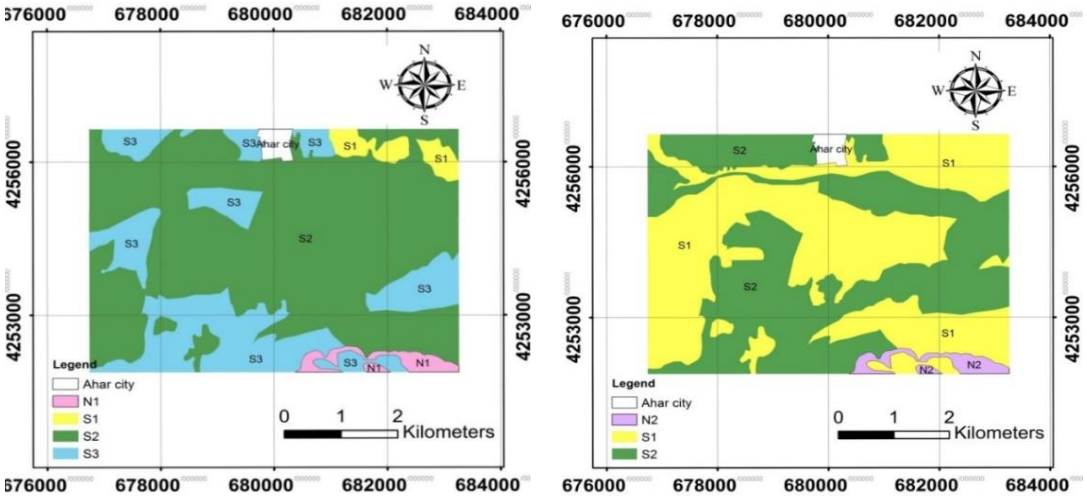
[۱]. Capability of irrigation

جدول۳- فازی سازی پارامترهای مؤثر وتعیین توابع عضویت عوامل در انتخاب سامانه آبیاری (Burrough, 1998)

عامل مؤثر	روش آبیاری	مقادیر فازی عامل: {کلاس عامل}
شیب خاک (٪)	قطره‌ای	{۰،۳}:۱ ، {۳،۵}:۱،{ ۵،۸}:۰/۹ ،{۸،۱۶}:۰/۸ ،{۱۶،۳۰}:۰/۶ ،{>۳۰}:۰/۴
	بارانی	{۰،۳}:۱،{۳،۱۶}:۰/۹ ،{۱۶،۳۰}:۰/۵۵ ،{>۳۰}:۰/۳۵
درجه زهکشی	قطره‌ای	{مناسب}:۱،{متوسط}:۱ ،{زهکشی ناقص}:۰/۸ ،{زهکشی ضعیف}:۰/۷ ،{زهکشی خیلی ضعیف}:۰/۵
	بارانی	{مناسب}:۱ ،{متوسط}:۰/۹ ،{زهکشی ناقص}:۰/۷۵ ،{زهکشی ضعیف}:۰/۶۵ ،{زهکشی خیلی ضعیف }:۰/۴۵
بافت خاک	قطره‌ای	{رسی}:۰/۸۵ ،{سیلتی- رسی}:۰/۸۵ ،{رسی- لوم}:۱ ،{سیلتی- لوم}:۰/۹ ،{سیلتی- رسی- لوم}:۰/۹۵
	بارانی	{رسی}:۰/۸۵ ،{سیلتی- رسی}:۰/۸۵ ،{رسی- لوم}:۱ ،{سیلتی- لوم}:۰/۹ ،{سیلتی- رسی- لوم}:۰/۹۵
کربنات کلسیم (٪)	قطره‌ای	{>۰/۳}:۰/۹ ،{۰/۱۰،۳}:۰/۹۵ ،{۱۰،۲۵}:۰/۹۵ ،{۲۵،۵۰}:۰/۸ ،{ >۵۰}:۰/۷
	بارانی	{>۰/۳}:۰/۹ ،{۰/۱۰،۳}:۰/۹۵ ،{۱۰،۲۵}:۱ ،{۲۵،۵۰}:۰/۹ ،{ >۵۰}:۰/۸
شوری خاک (dS/m)	قطره‌ای	{۴>}:۱ ،{۴،۸}:۰/۹۵ ،{۸،۱۶}:۰/۸۵ ،{۱۶،۳۰}:۰/۷۵ ،{۳۰<}:۰/۶۵
	بارانی	{۴>}:۱ ،{۴،۸}:۰/۹۵ ،{۸،۱۶}:۰/۸۵ ،{۱۶،۳۰}:۰/۷۵ ،{۳۰<}:۰/۶۵
عمق خاک (cm)	قطره‌ای	{۲۰>}:۰/۳۵ ،{۲۰،۵۰}:۰/۷ ،{۵۰،۸۰}:۰/۹ ،{۱۰۰،۸۰}:۰/۱ ،{۱۰۰<}:۱
	بارانی	{۲۰>}:۰/۳ ،{۲۰،۵۰}:۰/۶۵ ،{۵۰،۸۰}:۰/۸۵ ،{۱۰۰،۸۰}:۰/۹۵ ،{۱۰۰<}:۱
شاخص تناسب اراضی	قطره‌ای و بارانی	{تناسب بالا}:>۰/۸ ،{ نسبتاً مناسب}:۰/۸-۰/۶ ،{تا حدودی مناسب}:۰/۵۹-۰/۴۵
		{نامناسب در شرایط فعلی}:۰/۴۴-۰/۳ ،{نامناسب}:<۰/۲۹

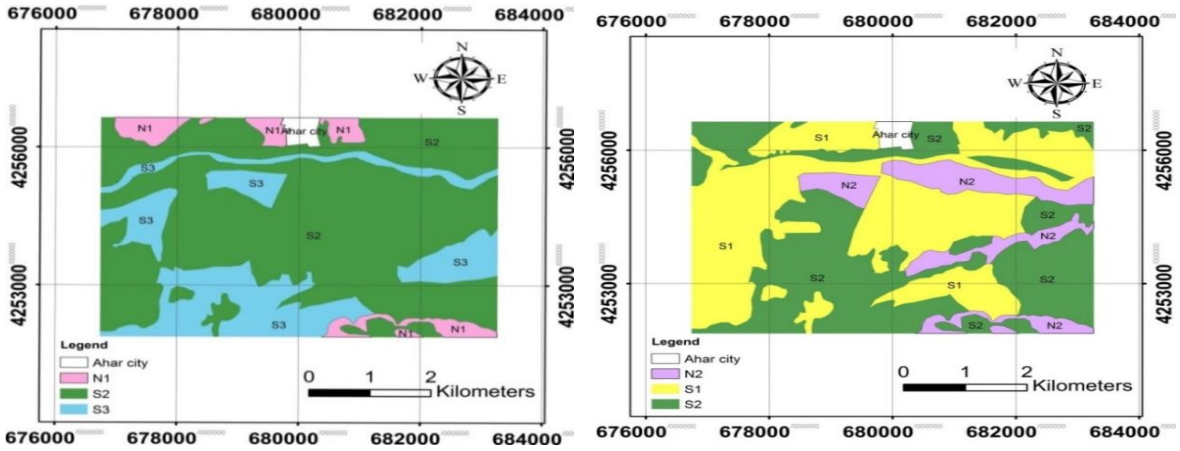
نتایج و بحث

نتایج ارزیابی تناسب اراضی برای آبیاری بارانی براساس سیستم استنتاج فازی در شکل ۲ نشان داده شده است. با استناد به نقشه تهیه شده برای آبیاری بارانی ۵۱ درصد ازمنطقه دارای قابلیت عالی ۴۸ درصد از منطقه دارای کلاس تناسب مناسب و ۲ درصد از اراضی، دارای تناسب نامناسب می‌باشد. مقایسه نتایج روش فازی با پارامتریک تفاوت عمده این دو روش را در شناسایی اراضی تناسب عالی نشان می‌دهد. مطابق شکل ۲ در ارزیابی تناسب اراضی به روش پارامتریک، مناطق عالی مستعد آبیاری بارانی را برابر ۳درصد کل منطقه محاسبه کرده و نشان دهنده اختلاف ۴۸ درصدی با روش سیستم استنتاج فازی دارد. همچنین ۷۰ درصد پهنه‌های مطالعاتی برای آبیاری بارانی در کلاس S2 و حدود ۲۵درصد نیز در کلاس S3 قرار می‌گیرند. برای مناطق نامناسب در شرایط فعلی (N1) مساحتی به ترتیب حدود ۲درصد برای آبیاری بارانی تعلق گرفت. در تشخیص اراضی نامناسب برای توسعه سامانه بارانی هر دو روش نتایج مشابهی را داشتند.



شکل ۲- ارزیابی تناسب اراضی بر اساس سیستم استنتاج فازی (سمت راست) و روش پارامتریک (سمت چپ)

نتایج ارزیابی تناسب اراضی برای توسعه روش آبیاری قطره‌ای به روش سیستم استنتاج فازی در شکل ۳ نشان داده شده است، ۴۵درصد از منطقه دارای تناسب عالی ۴۳ درصد از منطقه دارای تناسب مناسب و ۱۲ درصد از منطقه دارای تناسب نامناسب تعیین گردید. درشکل ۳ نتایج پهنه‌بندی تناسب اراضی به روش پارامتریک نشان داده شده است. براین اساس ۷۰ درصد پهنه‌های مطالعاتی برای آبیاری قطره‌ای در کلاسS2، ۲۵ درصد در کلاس S3 و در حدود ۵ درصد از مناطق نامناسب برای توسعه سامانه آبیاری قطره‌ای تعیین گردید. مقایسه نتایج دو روش نشان داد بطوریکه در روش پرامتریک بر خلاف روش سیستم فازی تناسب عالی (S1) جهت توسعه سیستم قطره‌ای تشخیص داده نشده است و در عوض در روش سیستم فازی تناسب S3 تعیین نگردیده است. روش پارامتریک تناسب S2 را ۲۷ درصد بیشتراز روش فازی تعیین کرده است. در تشخیص تناسب نامناسب هم تفاوت‌هایی در نتایج دو روش قابل مشاهده است.



شکل ۳- ارزیابی تناسب اراضی بر اساس سیستم استنتاج فازی (سمت راست) و روش پارامتریک (سمت چپ)

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی در روش فازی علاوه بر این تغییر کیفیت زمین هایی با کیفیت S3 به زمین هایی با کیفیت S1 قابل توجه می‌باشد. همچنین برای بررسی دقت مدل‌سازی از پارامتر R^2 (ضریب تبین) استفاده گردیده است. ضریب تبین برای سامانه قطره ای ۰/۹۷۰ و برای سامانه بارانی ۰/۹۷۷ به‌دست آمد که نشان دهنده همبستگی بالا در روش مدل‌سازی فازی می‌باشد. نتایج نشان داد که استفاده از منطق فازی در ارزیابی پارامتریک جنوب شهرستان اهر باعث دقت بیشتر در انتخاب اراضی شده و می‌توان مساحت آنها با دقت بیشتری برآورد گردید.

منابع مورد استفاده

آزاد، ن. رضایی آباجلو، ال . بهمنش، ج. (۱۳۹۶). مکان یابی مناطق مستعد اجرای سیستمهای آبیاری سطحی و تحت فشار با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی در دشت میاندوآب، مجله علمی پژوهشی علوم مهندسی آبیاری، جلد ۴۱، شماره ۴، تابستان ۹۷، ص ۱۳۲-۱۱۹.

شهبازی، ف. (۱۳۸۷). بررسی کاربرد سیستم تصمیم‌گیری میکرولیز به‌عنوان روشی نوین در ارزیابی تناسب اراضی بخشی از اراضی جنوب شهرستان اهر، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

مادح خاکسار، س. آینه‌بند، الف. معزی، ع الف. یزدی پور، ع الف. (۱۳۸۸). ارزیابی تناسب اراضی برای دو روش آبیاری سطحی و تحت فشار در دشت گرگر خوزستان، مجله پژوهش در علوم زراعی، شماره ۵، ص ۲۷ تا ۳۵.

Akbarzadeh, A., Mehrjardi, R.T., Rouhipour, H., Gorji, M and Rahimi, H.G . (2009). Estimating of soil erosion covered with rolled erosion control systems using rainfall simulator (neuro-fuzzy and artificial neural network approaches). Journal of Applied Science Research. 5 (5), PP. 505–51.

Burrough p and Mcdonnell R. (1998). Principles of geographical information system. Oxford University Prees:333p.

Dengiz O. (2006). Comparison of different irrigation methods based on the parametric evaluation approach. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 30: 21- 29.

Griffiths E. (1975). Classification of land for irrigation in New Zealand. NZ Soil Bureau Scientific Report 22, DSIR New Zealand.

Koorehpazan A. (2008). Principles of Fuzzy Set Theory and its Applications in Modeling Water Engineering Issues. . First edition, Amirkabir university. (In Persian)

Shahbazi F and De la Rosa D. (2010). Towards a new agriculture for the climate change era in west Asia, Iran, in: Simard, S.W. and Austin, M.E. (Eds.), Climate Change and Variability, SCIYO, Croatia. pp. 337-364.

Shahbazi, F., Aliasgharzad, N., Ebrahimzad, S.A and Najafi, N. (2013). Geostatistical analysis for predicting soil biological maps under different scenarios of land use. European Journal Soil Biology, 55: 20-27.

Sys, C., Van Ranst, E and Debaveye, J. (1991). Land Evaluation. Part 1: Principles in land Evaluation and Crop Productions. Agric. Pub. No: 7, Brussels, Belgium. 274 pp.

Sys, C., Van Ranst., E and Debaveye., J. (1993). Land Evaluation. Part 3: Crop requirements. General Administration for Development cooperation, Agric. Pub. No: 7, Brussels, Belgium. 199pp.

Wang F and Hall G.B. (1990). Fuzzy information representation and Processing in conventional GIS software: database design and application. International Journal of Geographic Information Sciences. 4(3), pp.261–283.

Land suitability evaluation for development of drip and sprinkler irrigation using fuzzy logic system and parametric method

Farzaneh Najafi Aghamirlou[1], Farzin Shahbazi[2], Ali Asghar Jafarzadeh[3] and Reza Hassanpour[4]

1. M.Sc. Graduate, Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3. Professor, Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4. Ph.D. Graduate, Department of Soil Science and Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

In this study, two methods of fuzzy logic system and parametric were used to evaluate land suitability for application of drip and sprinkler irrigation systems in an area of 9000 hectares in the southern region of Ahar city in East Azerbaijan province. According to the parametric method, about 3% of the lands for sprinkler irrigation were in class S1 (highly suitable). Also, about 70% of the study areas for sprinkler and drip irrigation were in class S2 (moderately suitable) and about 25% in class S3 (marginally suitable). According to the prepared maps, about 5000 hectares of the studied lands and Aharchay riverside have a suitable class (S2) for drip irrigation. The results showed that there is a significant difference between the parametric and fuzzy methods in terms of identifying the highly suitable (S1) so that in the evaluation of the highly suitable (S1) the sprinkler method allocated more areas than the drip method. In addition, in the fuzzy method, the change in the quality of fields with S3 class to fields with S1 quality is significant. Considering the gradual changes of soil parameters in fuzzy evaluation, this method is more accurate than the parametric method.

Keywords: Ahar, GIS, Irrigation system, parametric and fuzzy method

تعیین بهترین تابع انتقالی برای برآورد حدهای ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم در مقیاس ملی

آرش تافته*[۱]، ناصر دواتگر[۲]، نیازعلی ابراهیمی پاک[۲]

۱ -نویسنده مسئول، استادیار،بخش آبیاری و فیزیک خاک،مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
Email: arash_tafteh@yahoo.com،

۲ -دانشیار ،بخش آبیاری و فیزیک خاک،مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده

بررسی توابع انتقالی و صحت سنجی آن ها برای بکارگیری در تعیین پارامترهای ضروری از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه سه روش ساکستون (۲۰۰۶)، سپاسخواه و تافته (۲۰۱۱) و روش همبستگی چند متغیره مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش همبستگی چند متغیره در تعیین ظرفیت زراعی خاک با میانگین ریشه مربعات خطای ۹/۲۳ درصد و میانگین ریشه مربعات خطای نرمال ۳۰ درصد و شاخص توافق ۰/۷۲ دارای بهترین عملکرد در تخمین ظرفیت زراعی خاک در مقیاس ملی بود. همچنین این روش در تعیین نقطه پژمردگی دائم خاک با میانگین ریشه مربعات خطای ۴/۰۲ درصد و میانگین ریشه مربعات خطای نرمال ۳۰ درصد و شاخص توافق ۰/۸۲ دارای بهترین عملکرد در تخمین نقطه پژمردگی دائم خاک در مقیاس ملی بود. در مرتبه دوم روش ساسکتون با میانگین ریشه مربعات خطای نرمال ۳۷ درصد در تعیین ظرفیت زراعی و با میانگین ریشه مربعات خطای نرمال ۴۰ درصد در تعیین نقطه پژمردگی دائم قرار گرفت. با توجه به پراکنش داده ها خطای حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد در تخمین این پارامتر ها امری طبیعی است و بنابراین می توان از این دو روش در محاسبات و مدیریت کلان اطلاعات خاک استفاده نمود.

کلمات کلیدی: ظرفیت زراعی ، نقطه پژمردگی دائم، توابع انتقالی.

مقدمه

پروژه‌های مهندسی مدیریت آب مانند هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز، تامین آب شرب و کشاورزی و زهکشی آب خاک به مقدار زیاد وابسته به استفاده از خواص هیدرولیک خاک هستند. موفقیت یا شکست همه پروژه‌ها بستگی به مشخصه‌های آب در نیم‌رخ خاک دارد. ارزیابی اولیه مهندسی اغلب تکیه بر داده‌های موجود خاک دارد و سپس لازم است با داده‌های ویژه مکان تکمیل شود، هر چند این آنالیزها گران و کمتر منتشر می‌شوند. درصد بزرگی از بارش در خاک نفوذ می‌کنند، در نتیجه همه روش‌های هیدرولوژی مستلزم ارزیابی شدت نفوذ در خاک، ظرفیت نگهداری آب در خاک و انتقال آن هستند. آب نفوذ یافته در خاک منبع مهمی برای تولید محصول در کشاورزی است. نیم‌رخ خاک به صورت موقت منبع ذخیره مهمی در چرخه آب، خاک، گیاه و اتمسفر است. عرضه محصول و بازار آن در این شرایط به مقدار زیاد بستگی به ارزیابی صحیح و به موقع این چرخه دارد، زیرا قابلیت دسترسی روزانه آب در خاک می‌تواند تاثیر زیادی در محصول گیاهان داشته باشد. طراحی و اجرای سیستم‌های آبیاری برای تامین آب گیاه به مقدار زیاد بستگی به مشخصه‌های موضعی آب خاک دارد. در مقایسه با کشاورزی دیم، نیاز آبی و عرضه آن در گیاهان زراعی و باغی آبی در صورت شناخت مشخصه‌های خاک بیشتر قابل مدیریت است. سیستم‌های مدیریت آبیاری علاوه بر تکیه بر طراحی و بهره‌برداری صحیح به شناخت ظرفیت نگهداری آب در خاک و نیازهای گیاه وابسته است. فقدان داده کافی از آب خاک یا مکانیسم کاربرد آن در هر مرحله از رشد گیاه می‌تواند منجر به تلفات محصول شود. سیستم‌های زهکشی گران و اغلب نیازمند طراحی مهندسی موثر بر پایه هیدرولوژی، توپوگرافی و مشخصه‌های هیدرولیکی خاک در موقعیت مزرعه است. همچنانکه طراحی سیستم‌های آبیاری نیز نیازمند داده‌های خواص هیدرولیکی خاک است، اما اندازه‌گیری این خواص زمان‌بر، سخت و پر هزینه

هستند. راولز و همکاران (۲۰۰۷) اعلام نمودند که در ایالات متحده امریکا میلیون‌ها دلار برای تعیین و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های هیدرولیکی خاک هزینه می‌شود.

در کشور ایران تعداد بسیار زیادی از ویژگی‌های هیدرولیکی خاک اندازه‌گیری می‌شود که به صورت پراکنده در بخش خصوصی (مهندسین مشاور)، مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی کشور موجود است. برای جلوگیری از هدررفت سرمایه، جلوگیری از اندازه‌گیری مجدد ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در برخی مناطق بسط یک مجموعه توابع انتقالی در مقیاس ناحیه‌ای و ملی ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش ها

با توجه به محدودیت اطلاعات در بانک موسسه تحقیقات خاک و آب و با توجه به نتایج بررسی شده توسط سپاسخواه و تافته (۲۰۱۱) جهت استفاده از داده های سهل الوصول در تعیین بعد فراکتالی از رابطه زیر استفاده خواهد شد:

$$D = 3 - 0.118\left(-\ln\left(\frac{Cl}{100}\right) + \left(\frac{Si + Sa}{100}\right)\right) \quad ۱$$

سپس با استفاده از رابطه تایلر و ویت کرفت(۱۹۹۰) منحنی مشخصه آب در خاک تولید خواهد شد:

$$\theta = \theta_s\left(\frac{h}{h_0}\right)^{D-3} \quad ۲$$

با استفاده از این روش منحنی مشخصه آب در خاک تولید و نقاط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از آن استخراج شده و نتایج آن با نتایج اندازه گیری مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین بر اساس داده ها یک معادله رگرسیونی چند متغیره نیز بر داده ها تولید شد که آن نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت ارزیابی بهتر روش بین المللی ساکستون (۲۰۰۶) نیز با استفاده های از داده های موجود ارزیابی شد. ایشان رابطه ۳ را برای تعیین حد ظرفیت زراعی بیان نموده اند.

$$FC = \theta_{33t} + 1.283 \times {\theta_{33t}}^2 - 0.374 \times \theta_{33t} - 0.015 \quad ۳$$

که در آن FC حد ظرفیت زراعی، θ_{33t} رطوبت حل اولیه ظرفیت زراعی است که از رابطه ۴ بدست می آید.

$$\theta_{33t} = -0.251 \times S + 0.195 \times C + 0.011 \times OM + 0.006 \times (S \times OM) - 0.027 \times (C \times OM) + 0.452 \times (S \times C) + 0.299 \quad ۴$$

که در آن S مقدار شن خاک بر حسب اعشار، C مقدار رس خاک بر حسب اعشار، OM مقدار ماده آلی بر حسب بر حسب درصد وزنی می باشد. اگر در داده ها ارگانیک کربن (OC) موجود بود می توان با ضرب آن در ۱/۷۲۴ آن را به ماده آلی (OM) تبدیل کرد. برای تعیین مقدار نقطه پژمردگی دائم از رابطه ۵ استفاده می شود.

$$PWP = \theta_{1500t} + 0.14 \times \theta_{1500t} - 0.02 \quad ۵$$

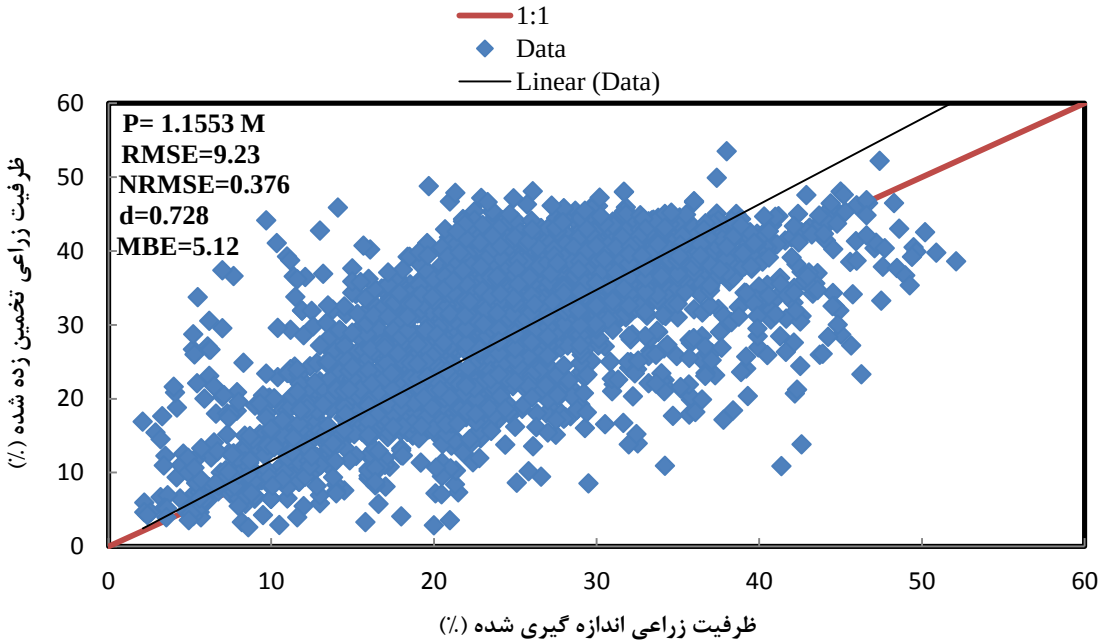
که در آن PWP نقطه پژمردگی دائم بر حسب اعشار ، θ_{1500t} رطوبت حل اولیه نقطه پژمردگی دائم بر حسب اعشار است که از رابطه ۶ بدست می آید.

$$\theta_{1500t} = -0.024 \times S + 0.487 \times C + 0.006 \times OM + 0.005 \times (S \times OM) - 0.013 \times (C \times OM) + 0.068 \times (S \times C) + 0.031 \quad ۶$$

جهت بررسی دقت تخمین مدل از شاخص های آماری مانند شاخص توافق (d) ، شاخص RMSE و NRMSE استفاده شد.

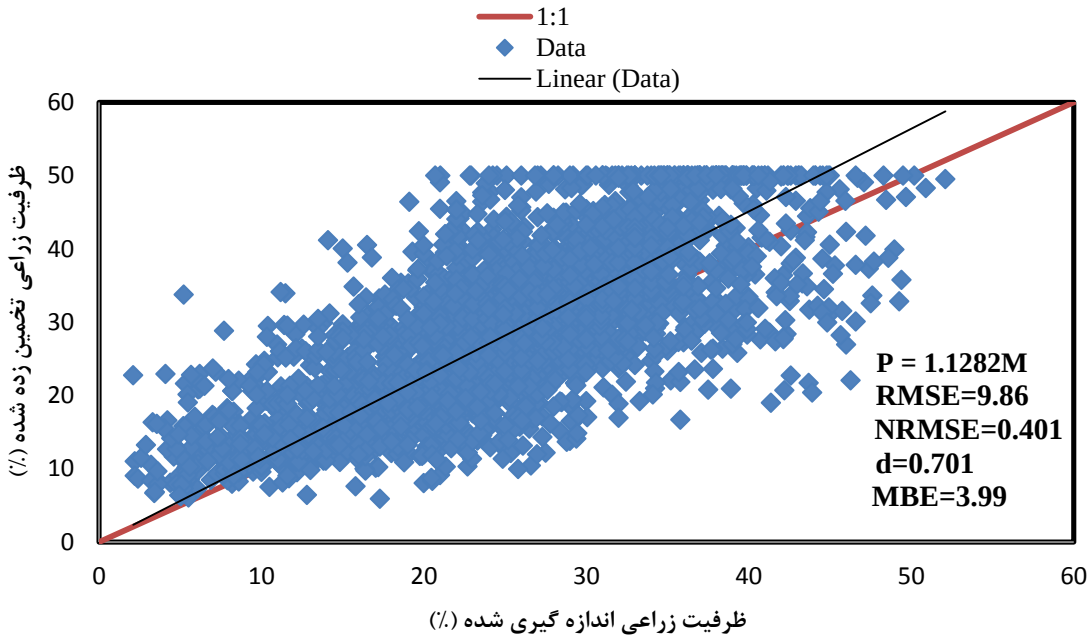
نتایج و بحث

بر اساس جمع آوری اطلاعات و آنالیز صحت تعداد ۲۹۶۸ داده ظرفیت زراعی در کل کشور جمع آوری شد که دارای اطلاعات بافت خاک و مقدار کربن آلی بودند. بر اساس روش ساکستون داده های خاک تعریف و مقادیر ظرفیت زراعی تخمین زده شد که نتایج آن در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که این روش در تعیین ظرفیت زراعی در سطح ملی حدود ۳۷ درصد خطا دارد و به طور متوسط ۵ درصد بیش برآوردی در تخمین آن مشاهده می گردد.



شکل ۱- نتایج بدست آمده از روش ساکتون (۲۰۰۶) در تعیین ظرفیت زراعی (FC)

روش دوم که در این ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت روش سپاسخواه و تافته (۲۰۱۱) بود که نتایج آن در شکل ۲ ارائه شده است:

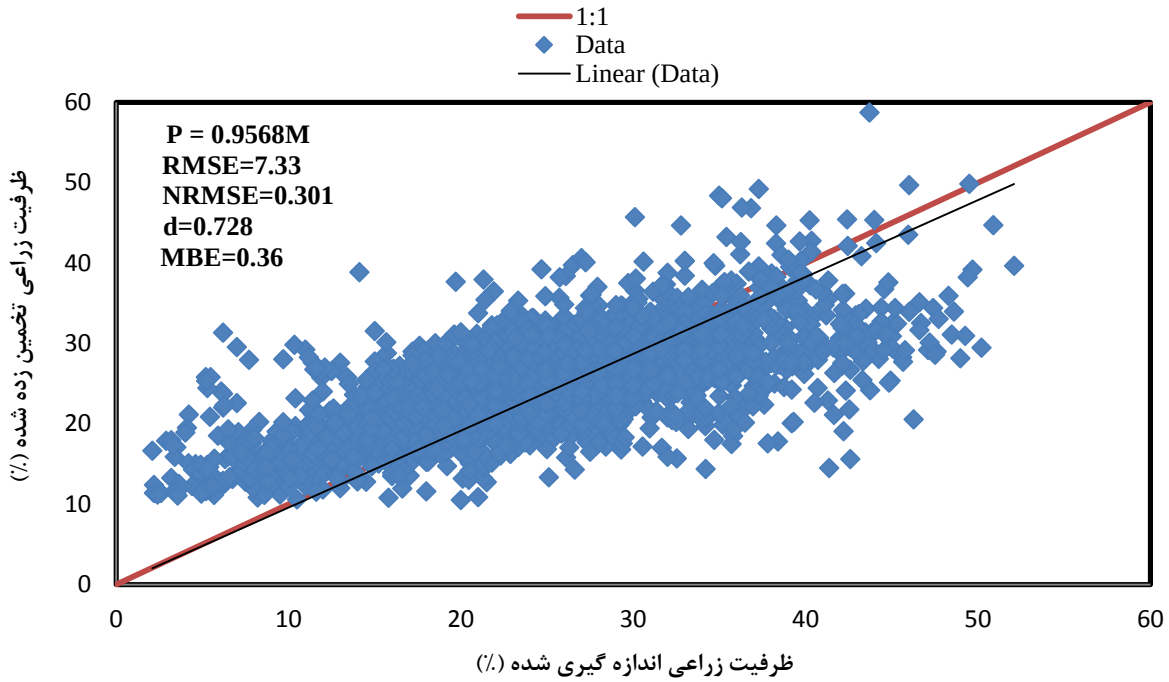


شکل ۲- نتایج بدست آمده از روش سپاسخواه و تافته (۲۰۱۱) در تعیین ظرفیت زراعی (FC)

نتایج نشان می دهد که این روش در تعیین ظرفیت زراعی در سطح ملی حدود ۴۰ درصد خطا دارد و به طور متوسط ۴ درصد بیش برآوردی در تخمین آن مشاهده می گردد.روش سوم که در این ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت روش رگرسون چند متغیره بود که به صورت رابطه ۷ بدست آمد:

$$FC= -0.7378\times Sand+0.02703\times Silt+0.256734\times Clay+4.128081\times OC+17.36353 \quad (۷)$$

نتایج نشان می دهد که رابطه بدست آمده معنی دار بوده و نیاز است با مقادیر اندازه گیری شده مورد مقایسه قرار گیرد. در این راستا به بررسی نتایج آن و مقایسه آن با داده های اندازه گیری شده پرداخته شد که نتایج ان در شکل ۳ ارائه شده است:



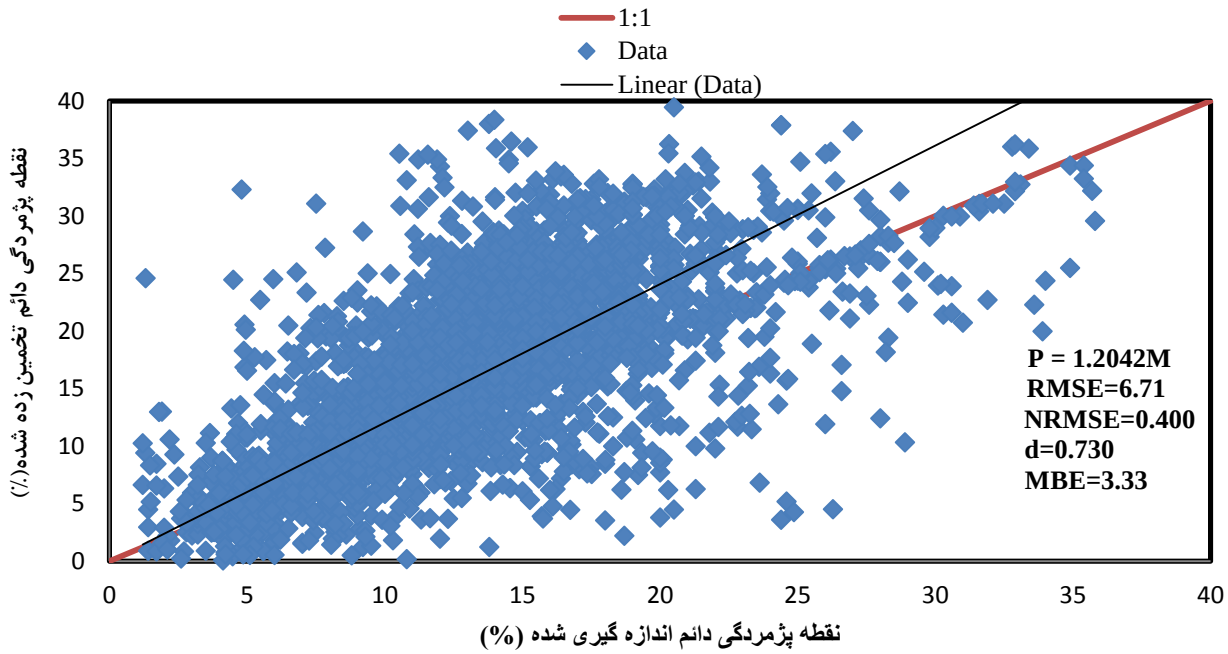
شکل ۳- نتایج بدست آمده از روش رگرسیون چند متغیره در تعیین ظرفیت زراعی (FC)

نتایج نشان می دهد که این روش در تعیین ظرفیت زراعی در سطح ملی حدود ۳۰ درصد خطا دارد و به طور متوسط ۰/۴ درصد بیش برآوردی در تخمین آن مشاهده می گردد. بر اساس جمع آوری اطلاعات و آنالیز صحت تعداد ۲۹۶۸ داده نقطه پژمردگی دائم در کل کشور جمع آوری شد که دارای اطلاعات بافت خاک و مقدار کربن آلی بودند. بر اساس روش ساکستون داده های خاک تعریف و مقادیر نقطه پژمردگی دائم تخمین زده شد که نتایج آن در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که این روش در تعیین ظرفیت زراعی در سطح ملی حدود ۵۰ درصد خطا دارد و به طور متوسط ۳/۳ درصد بیش برآوردی در تخمین آن مشاهده می گردد. روش دوم که در این ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت روش سپاسخواه و تافته (۲۰۱۱) بود که نتایج آن در شکل ۵ ارائه شد.

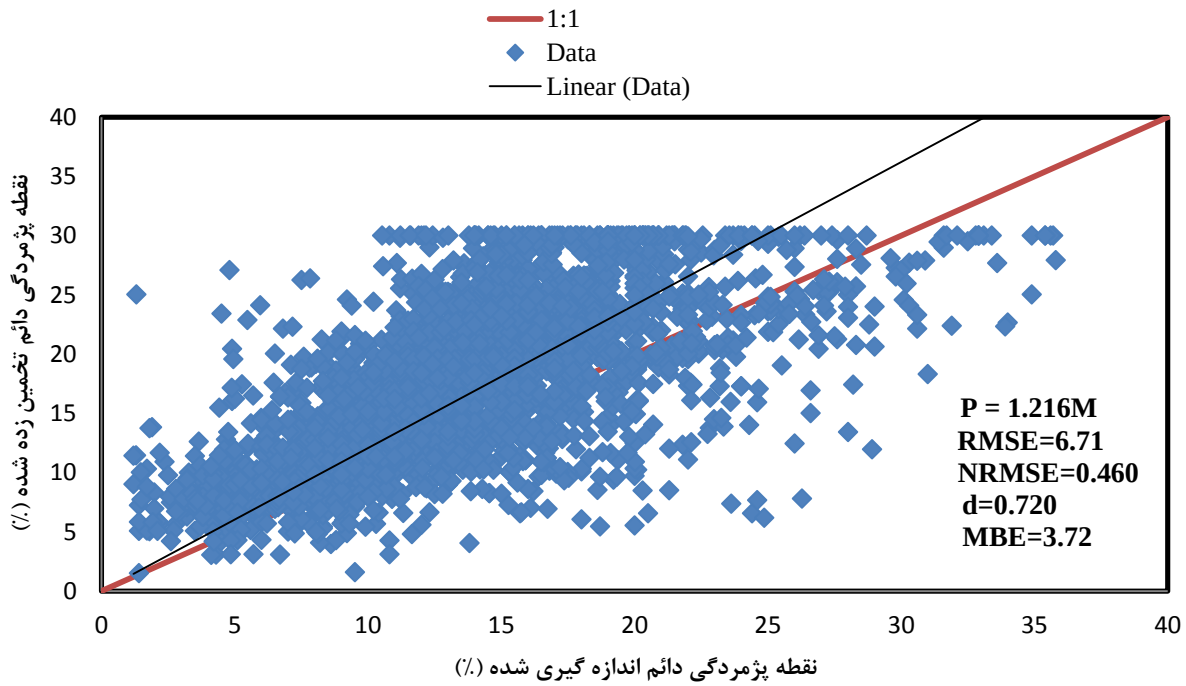
نتایج نشان می دهد که این روش در تعیین ظرفیت زراعی در سطح ملی حدود ۶۱ درصد خطا دارد و به طور متوسط ۶/۲ درصد بیش برآوردی در تخمین آن مشاهده می‌گردد. روش سوم که در این ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت روش رگرسون چند متغیره بود که به صورت رابطه ۸ بدست آمد:

$$PWP= -0.01167\times Sand+0.009938\times Silt+0.255304\times Clay+2.258526\times OC+5.420857 \quad (۸)$$

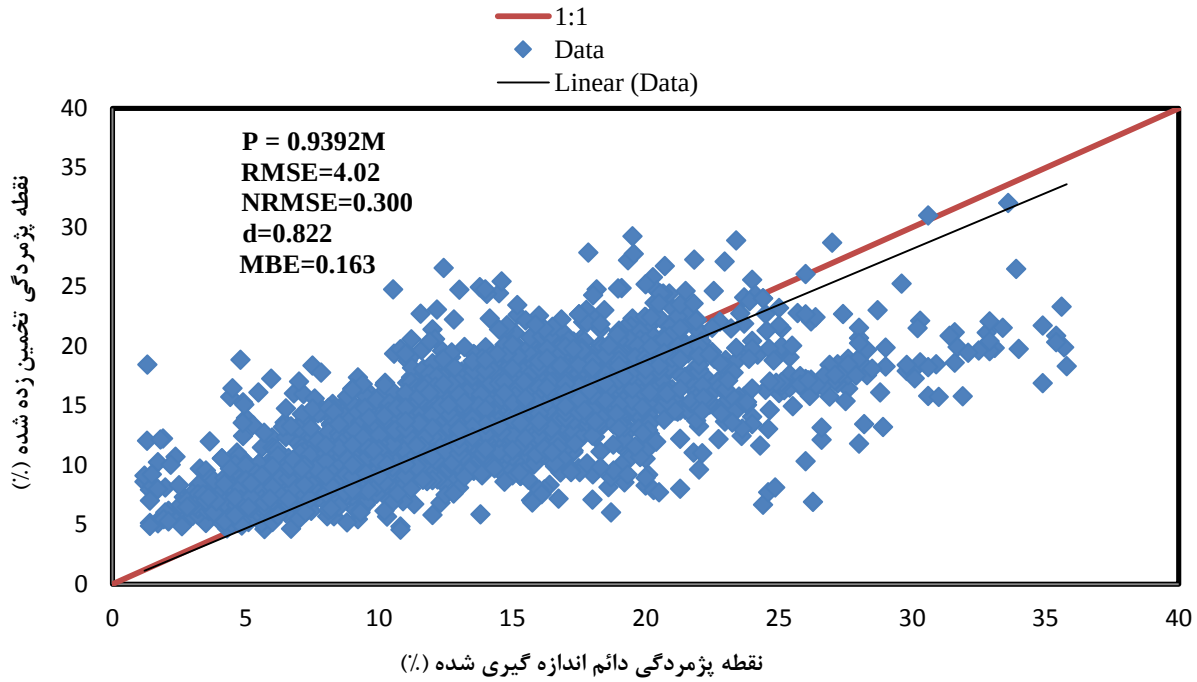
نتایج نشان می دهد که رابطه بدست آمده معنی دار بوده و نیاز است با مقادیر اندازه گیری شده مورد مقایسه قرار گیرد. در این راستا به بررسی نتایج آن و مقایسه آن با داده های اندازه‌گیری شده پرداخته شد که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شد.



شکل ۴- نتایج بدست آمده از روش ساکتون (۲۰۰۶) در تعیین نقطه پژمردگی دائم (PWP)



شکل ۵- نتایج بدست آمده از روش سپاسخواه و تافته (۲۰۱۱) در تعیین نقطه پژمردگی دائم (PWP)



شکل ۶- نتایج بدست آمده از روش رگرسیون چند متغیره در در تعیین نقطه پژمردگی دائم (PWP)

نتایج نشان می دهد که این روش در تعیین نقطه پژمردگی دائم در سطح ملی حدود ۳۰ درصد خطا دارد و به طور متوسط ۰/۱۶ درصد بیش برآوردی در تخمین آن مشاهده می گردد.

نتیجه گیری

برای نتیجه گیری بهتر نتایج سه روش تخمین ظرفیت زراعی در جدول ۱ ارائه شد:

جدول ۱ – مقایسه روش های مورد بررسی در تعیین ظرفیت زراعی خاک در مقیاس ملی

روش	RMSE	NRMSE	d	MBE
ساکستون (۲۰۰۶)	9.23	0.37	0.72	5.12
سپاسخواه و تافته (۲۰۱۱)	9.86	0.40	0.70	3.99
رگرسیون چند متغیره	7.33	0.30	0.72	0.36

نتایج نشان می دهد در رتبه اول روش رگرسیون چند متغیره و در رتبه دوم روش ساکستون قرار می گیرد. از این رو استفاده از روش ساکستون بدلیل مقبولیت جهانی آن و استاندارد بودن معادلات آن قابل توصیه می باشد. از طرف دیگر نتایج سه روش تخمین نقطه پژمردگی دائم در جدول ۲ ارائه شد:

جدول ۲ – مقایسه روش های مورد بررسی در تعیین نقطه پژمردگی دائم خاک در مقیاس ملی

روش	RMSE	NRMSE	d	MBE
ساکستون (۲۰۰۶)	6.71	0.40	0.73	3.33
سپاسخواه و تافته (۲۰۱۱)	6.93	0.46	0.72	3.72
رگرسیون چند متغیره	4.02	0.30	0.82	0.16

نتایج نشان می دهد در رتبه اول روش رگرسیون چند متغیره و در رتبه دوم روش ساکستون قرار می گیرد. از این رو استفاده از روش ساکستون بدلیل مقبولیت جهانی آن و استاندارد بودن معادلات آن قابل توصیه می باشد.

منابع مورد استفاده

Rawls , W. J., A. Nemes, Y. A. Pachepsky, K. E. Saxton. 2007. Using the nrcs national soils information system (NASIS) to provide soil hydraulic properties for engineering applications. Transactions of the ASABE. Vol. 50(5): 1715-1718

Saxton, K. E., and W. J. Rawls. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1569-1578.

Sepaskhah, A. R and ATafteh. 2011. Pedotransfer function forestimation of soil-specific surface area using soil fractaldimension of improved particle-size distribution[J]. Archivesof Agronomy and Soil Science, 2013, 59(1): 93-103.

Tyler, S. W. and S. W. Wheatcraft. 1990. Fractal processes in soil water retetion. Water Resour. Res. 26: 1047-1054.

Determining the best transfer function for estimating FC and PWP on national scale

Arash Tafteh*[1]., Naser Davatgar,[2]., Niazali Ebrahimipak[2]

1- Assistant professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Email: arash_tafteh@yahoo.com

2- Associated professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Abstract

The study of Pedotransfer functions and their validation is of great importance for use in determining the necessary parameters. In this study, three methods of Saxton (2006), Sepaskhah and Tafteh (2011) and multivariate correlation method were investigated. The results showed that the multivariate correlation method in determining the soil field capacity with the mean square root of error was 9.23% and the mean square root of normal error was 30% and the agreement index was 0.72 with the best performance in estimating soil crop capacity on a national scale. Also, this method had the best performance in estimating the permanent soil wilting point in the national scale in determining the permanent soil wilting point with an average square root of error of 4.02% and the average square root of normal error of 30% and the agreement index of 0.82. In the second stage, Saskatoon method with a mean square root of normal error of 37% in determining field capacity and with a mean square root of normal error of 40% in determining the point of permanent wilting. According to the data distribution, an error of about 30 to 40% in estimating these parameters is normal and therefore these two methods can be used in calculations and macro information of soil information.

Key words: Field capacity, permanent wilting point, Pedotransfer function.

معرفی حسگر نوری (اُپتیک) پایش رطوبت خاک و قابلیت‌های آن در شرایط شور

محمدحسن رحیمیان*[1]، سید سعید آزادفر[2]، فرهاد دهقانی[1]، حسن غلامی[3] و حسین بیرامی[1]

۱ - استادیار و عضو هیئت علمی مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران (mhrahimian@gmail.com)

۲ - مشمول مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران

۳ - دانشجوی کارشناسی ارشد رشته علوم و مهندسی آب، دانشگاه اردکان

چکیده:

این پژوهش به معرفی نوع متفاوتی از سنسورهای اندازه‌گیری و پایش رطوبت خاک تحت عنوان حسگرهای نوری (اُپتیک) پرداخته است. این حسگرها پس از اندازه‌گیری بازتاب‌های ساطع شده توسط خاک در محدوده طول موج مشخص، قادر به برآورد رطوبت حجمی خاک می‌باشند. همچنین، به منظور بررسی و معرفی قابلیت‌های این سنسور در شرایط شور، پژوهشی در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری به منظور بررسی اثرات شوری بر دقت سنسورهای مذکور انجام شد. بدین منظور ۴ سطح شوری آب آبیاری از ۲ تا ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر جهت ایجاد محیط کنترل شده خاک مرطوب استفاده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین دقت حسگر مذکور در شوری ۲ دسی زیمنس بر متر اتفاق افتاده است. همچنین، برای سطوح شوری ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر نیز اگرچه دقت سنسورها نسبت به شرایط غیرشور کاهش یافته، اما می‌توان از خطاهای موجود چشمپوشی کرد و این حسگر را برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در شوری‌های مذکور مناسب دانست. در مجموع و با توجه به نتایج کسب شده، حسگر مذکور برای پایش رطوبت خاکهایی که با شوری‌های کمتر از ۱۰ دسی زیمنس بر متر آبیاری می‌شوند، قابل توصیه بوده و به نظر می‌رسد که کارایی لازم برای برنامه‌ریزی آبیاری را داشته باشد.

کلمات کلیدی: سنجنده (حسگر)، شوری، رطوبت حجمی خاک، واسنجی.

مقدمه:

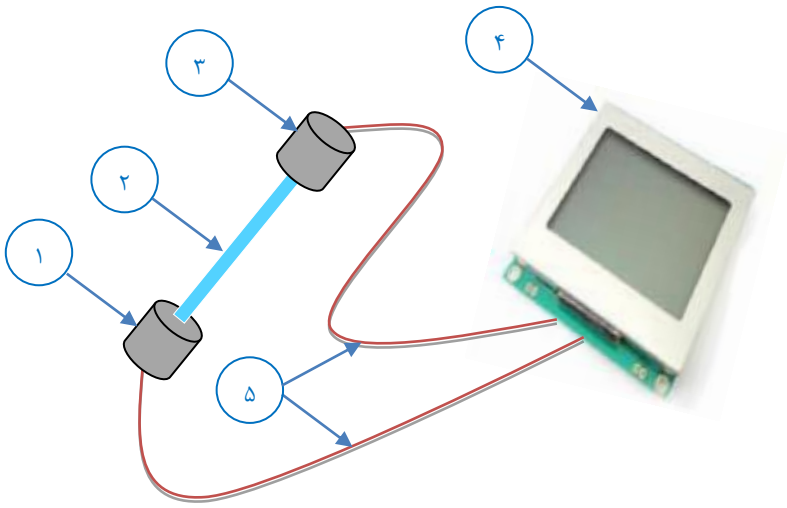
اندازه گیری رطوبت حجمی خاک در علوم کشاورزی، هیدرولوژی و خاکشناسی بسیار حایز اهمیت است (George, 2006) و استفاده از حسگرهای دقیق رطوبتی خاک، مزایای بسیاری از جمله کاهش هزینه، افزایش بهره وری و نتیجه گیری به موقع نسبت به روش های اندازه گیری مرسوم را دارا می باشند (مهاجران و همکاران،۱۳۹۵). سیستم‌های هوشمند آبیاری نیز مبتنی بر کاربرد حسگرهای رطوبتی خاک بوده و می‌توانند بیشترین کارایی مصرف آب در مزرعه را با حفظ رطوبت خاک در سطح بهینه فراهم کنند. بدیهی است که ساخت، توسعه و گسترش کاربرد این سنسورها در سطح اراضی کشاورزی، گام مهمی در پایش و کنترل رطوبت خاک مزارع و در نهایت افزایش تولید محصولات کشاورزی در سطح کشور و ارتقای شاخص بهره وری خواهد بود (خورسندی و همکاران، ۱۳۹۰). در دهه‌های اخیر سنسورهای رطوبتی متعددی توسط شرکت‌های داخلی و مراکز دانش بنیان کشورمان ساخته شده و بخشی از آنها نیز وارد تولید انبوه شده و به بازار مصرف عرضه گردیده است. بدیهی است که در تمامی این موارد، انجام آزمایشات متعدد به منظور ارزیابی و تعیین دقت آنها قبل از توسعه و کاربرد این سنسورها در مزرعه ضروری بوده و بعضاً با دقت‌های بسیار بالایی انجام شده است. از طرفی دیگر، از آنجایی که منابع آب متعارف و غیرشور کشورمان محدود هستند و روز به روز از حجم آنها کاسته می شود، لذا استفاده از منابع آب شور در بخشهای مختلف نظیر کشاورزی غیرقابل اجتناب بوده و در مناطق با محدودیت منابع آب شیرین و وجود آب‌های شور، یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر به شمار می‌آید

(بناکار و همکاران، ۱۳۹۷). در بخش کشاورزی، آبیاری با آب شور سبب شور شدن تدریجی خاک و کاهش عملکرد گیاهان می شود (علیزاده، ۱۳۷۷). در این شرایط نیز یکی از متغیرهایی که می‌تواند به برنامه ریزی مناسبتر منابع آبی بخش کشاورزی در شرایط شور کمک نماید، رطوبت خاک است (انصاری و حسن پور، ۱۳۹۴)، بطوریکه پایش و کنترل مستمر رطوبت خاک در عرصه های زراعی و باغی ضمن بهینه سازی مصرف آب و کاهش مصرف آبهای شور برای آبیاری، میتواند به افزایش تولیدات کشاورزی در این عرصه ها نیز کمک زیادی نماید. اندازه گیری رطوبت خاک در شرایط آب و خاک شور به کمک ابزارها و سنسورهای پایش رطوبت همواره دارای چالشهایی بوده و هست؛ بطوریکه دقت و قابلیت این ابزارها در شرایط شور بعضاً کاهش یافته و یا موجب عدم کارآیی و بلااستفاده شدن آنها گردیده است. این پژوهش نیز در صدد است تا اقدام به معرفی و ارزیابی سنسوری نماید که اصول و طرز کار آن با سنسورهای تجاری و تحقیقاتی موجود در بازار اندکی متفاوت است. این سنسور از طریق ویژگی اپتیک و ثبت بازتابش امواج در محدوده طول موج معین، اقدام به سنجش رطوبت خاک مینماید .با نصب سنسور مذکور در شرایط مختلف رطوبت و شوری خاک، اقدام به ارزیابی و تعیین کارآیی آن شده است.

مواد و روش‌ها:

این تحقیق در آزمایشگاه مرکز ملی تحقیقات شوری واقع در یزد برای بررسی اثر شوری آب آبیاری بر دقت سنسورهای نوری (اپتیک) اندازه‌گیری رطوبت خاک طی سال ۹۹ – ۱۳۹۸ انجام شد. حسگرهای نوری مورد استفاده، بر پایه سنجنده‌های مورد استفاده در تکنیک‌های دورسنجی (از نوع فعال[1]) عمل می‌کنند که در آن‌ها، بازتابش ساطع شده از اجسام را در محدوده طول موج‌های مشخصی اندازه‌گیری می‌کنند. در شکل (۱) اجزاء تشکیل دهنده‌ی این سنسور نشان داده شده است.

الف- ترسیم



ب- توضیحات

۱- بدنه نگهدارنده منبع نوری به قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ میلیمتر
۲- میله شیشه‌ای به قطر ۶ و طول ۱۰۰ میلیمتر که به عنوان جاروبگر حسگر رطوبت عمل می‌کند.
۳- بدنه نگهدارنده آشکارساز به قطر ۲۵ و ارتفاع ۳۰ میلیمتر
۴- قرائت‌گر الکترونیکی با ابعاد موثر ۱۱۰*۱۱۰ میلیمترمربع
۵- کابل تغذیه و انتقال داده به طول ۱ متر

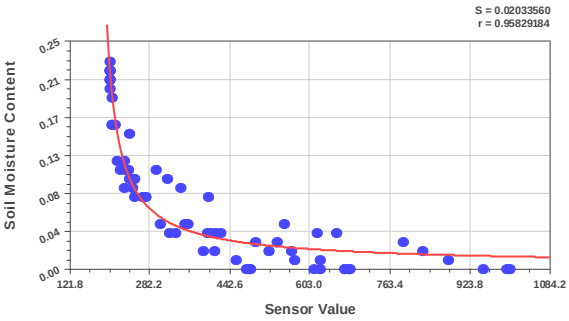
شکل ۱- مشخصات فنی حسگر مورد نظر برای اندازه‌گیری رطوبت خاک

[1] -Active

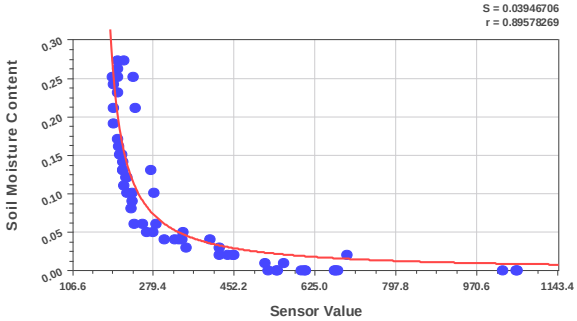
در این آزمایش ۴ تیمار شوری آب آبیاری (۲، ۶، ۱۰ و ۱۶ دسی زیمنس بر متر) با ۴ تکرار در نظر گرفته شده است. همه تیمارها در ۱۶ لایسیمتر مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. لایسیمترها شامل سطل ۴ لیتری با زهکش مناسب بودند که از خاک با بافت متوسط و از نوع لوم شنی (SL) پر شدند. در حین پر کردن لایسیمترها از خاک، سنسورها به صورت مورب در وسط لایسیمتر و در عمق ۱۵ سانتی‌متری نصب شده‌اند. قبل از شروع آزمایش، لایسیمترها چندین بار با شوری آب مورد نظر آبیاری شدند تا شوری خاک با توجه به شوری آب آبیاری پایدار شوند. سپس قرائت سنسورها و همچنین لایسیمترها در دو بازه زمانی متوالی به منظور تهیه داده‌های آموزش[۱] (جهت استخراج مدل مناسب) و داده‌های آزمون[۲] (جهت ارزیابی مدل و تعیین دقت آن) ، ۲۴ ساعت پس‌از آبیاری شروع و تا خشک شدن کامل خاک ادامه داشت. در پایان آزمایش، معادلات مناسب بین قرائت سنسورها و اندازه‌گیری رطوبت حجمی لایسیمترها توسط نرم‌افزار Curve Expert انجام و در سطوح مختلف شوری آب آبیاری، روابط بین قرائت سنسور و رطوبت حجمی خاک لایسیمترها استخراج شد. سپس دقت هر کدام از این رابطه‌ها در تخمین رطوبت حجمی خاک با استفاده از آماره‌های خطا از جمله میانگین خطای اریب[۳] (MBE)، ضریب همبستگی پیرسون[۴] (r) ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا[۵] ($RMSE$)، مقدار نسبی جذر میانگین مربعات خطا[۶] ($RRMSE$)، ضریب نش - ساتکلیف[۷] (NSE) مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث:

در شکل ۲ نتایج حاصل از برازش مناسبترین معادله بر قرائت‌های انجام شده حسگرها به منظور برآورد رطوبت حجمی خاک در شرایط مختلف شوری آب آبیاری توسط نرم‌افزار Curve Expert نمایش داده شده است.



الف- **شوری ۲ دسی زیمنس بر متر**



ب- شوری ۶ دسی زیمنس بر متر

[1] -Train

[2] -Test

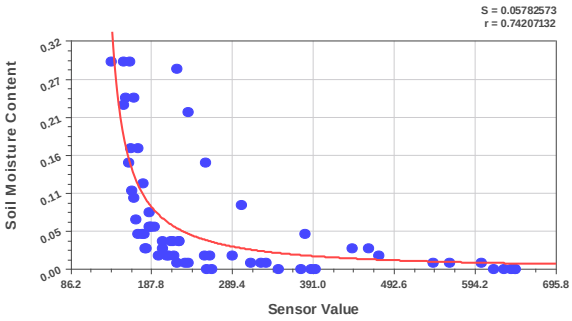
[3]- Mean Bias Error

[4]- Pearson Correlation Coefficient

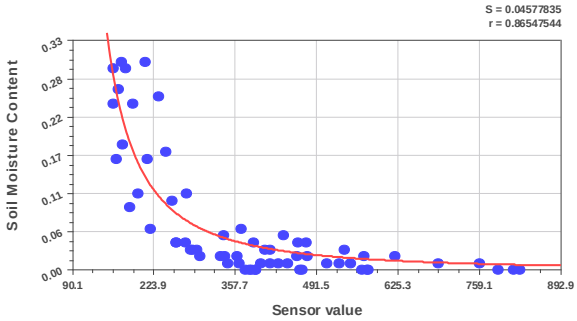
[5]-Root Mean Square Error

[6]-Relative Root Mean Square Error

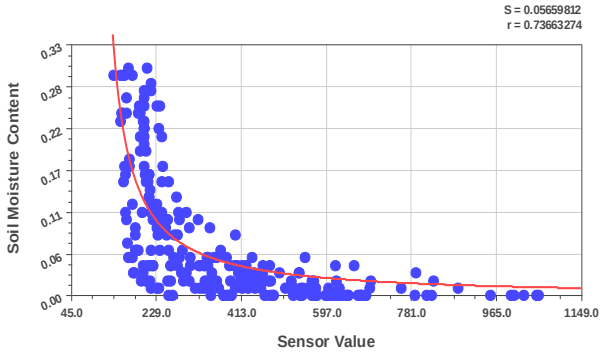
[7]-Nash-Sutcliffe Efficiency



د- شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر



ج- شوری ۱۰ دسی زیمنس بر متر



ه- محدوده شوری ۲ تا ۱۶ دسی زیمنس بر متر

شکل ۲- برازش مناسبترین معادله بر قرائت‌های انجام شده توسط حسگرها به منظور برآورد رطوبت حجمی خاک در شرایط مختلف شوری آب آبیاری

با توجه به نتایج بدست آمده شکل عمومی معادله قابل برازش بر داده‌های مذکور در تمامی سطوح شوری مورد آزمایش، بصورت $\theta_v = \frac{1}{(a+bS^c)}$ می‌باشد. در این معادله S عدد قرائت شده توسط حسگر، θ_v رطوبت حجمی خاک (اعشار) و ضرایب a، b و c ثابت‌های این معادله می‌باشند. به منظور بررسی دقت هر یک از این معادلات در برآورد رطوبت حجمی خاک در شرایط مختلف شوری آب آبیاری، مقایسه‌ای بین رطوبت حجمی خاک بدست آمده از سنسورها و مقادیر رطوبت خاک اندازه گیری شده به روش توزین خاک انجام شد.

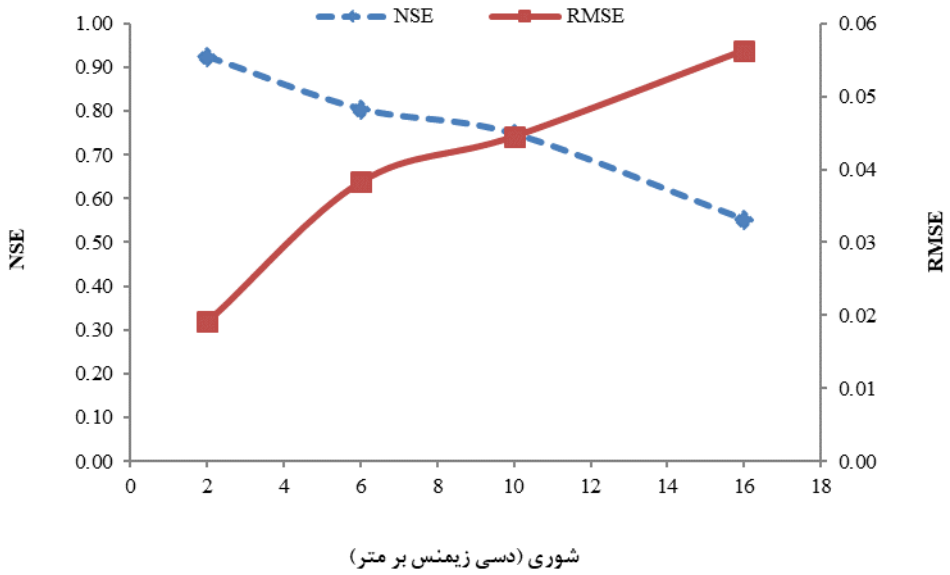
آماره‌های خطا بین مقادیر رطوبت حاصله از قرائت‌های حسگر در شرایط مختلف شوری آب آبیاری با مقادیر رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه در جدول ۲ ارائه گردیده است. با توجه به این جدول، بیشترین دقت حسگر مربوط به شوری ۲ دسی زیمنس بر متر بوده که با ضریب تبیین (R^2) ۰/۹۲، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۰/۰۲ و ضریب نش ساتکلیف (NSE) ۰/۹۲، بالاترین دقت را در بین تیمارهای آزمایشی دارا بوده است. برای سطوح شوری ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر نیز اگرچه دقت سنسورها کاهش یافته، اما خطاهای موجود قابل قبول بوده و این حسگر برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در شوری‌های مذکور نیز مناسب می‌باشد. در سطح شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر، دقت حسگرها به شدت کاهش یافته و ضریب نش - ساتکلیف (NSE) به مقدار غیر قابل قبول ۰/۵۵ تنزل پیدا کرده است.

جدول ۲- آماره‌های خطا بین مقادیر رطوبت حجمی خاک بدست آمده در آزمایشگاه با رطوبتهای قرائت شده توسط حسگر در شرایط مختلف شوری آب آبیاری

شوری آب آبیاری	آماره

dS/m	ضریب همبستگی پیرسون	ضریب تبیین	جذر میانگین مربعات خطا	مقدار نسبی جذر میانگین مربعات خطا	میانگین خطای اریبی	شاخص کارایی نش – ساتکلیف	میانگین قدرمطلق خطا	میانگین مجذور خطا
	r	R^2	RMSE	RRMSE	MBE	NSE	MAE	MSE
۲	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۰۲	۲۶/۱۴	۰/۰۰	۰/۹۲	۰/۰۲	۰/۰۰
۶	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۰۴	۴۲/۳۰	۰/۰۰	۰/۸۰	۰/۰۳	۰/۰۰
۱۰	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۰۴	۶۸/۰۶	۰/۰۱	۰/۷۵	۰/۰۳	۰/۰۰
۱۶	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۰۶	۸۳/۳۴	۰/۰۰	۰/۵۵	۰/۰۴	۰/۰۰
۲ تا ۱۶	۰/۸۷	۰/۷۵	۰/۰۴	۵۶/۶۸	۰/۰۰	۰/۷۵	۰/۰۳	۰/۰۰

در شکل (۳) کاهش دقت حسگرهای مورد مطالعه و روند افزایشی خطا در اثر افزایش شوری آب آبیاری با توجه به آماره‌های نش ساتکلیف (NSE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان داده شده است. بر این اساس، دقت این حسگر در محدوده شوری ۲ تا ۱۰ زینس بر متر مناسب بوده ولی در سطوح شوری بالاتر، به نظر می‌رسد که قرائت‌ها با خطای بالا و غیر قابل قبول همراه خواهند بود.



شکل ۳- تغییرات آماره‌های نش ساتکلیف (NSE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) حسگرهای مورد مطالعه در اثر افزایش شوری آب آبیاری

نتیجه‌گیری:

نتایج نشان داد که بیشترین دقت حسگر مذکور در شوری ۲ دسی زیمنس بر متر اتفاق افتاده است. ضریب تبیین (R^2) ۰/۹۲، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ۰/۰۲ و ضریب نش ساتکلیف (NSE) ۰/۹۲، نشان‌دهنده دقت بالای این حسگر در این تیمار نسبت به سایر تیمارهای آزمایش است. برای سطوح شوری ۶ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر نیز اگرچه دقت سنسورها نسبت به تیمار قبلی کاهش یافته، اما می‌توان از خطاهای موجود چشمپوشی کرد و این حسگر

را برای اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک در شوری‌های مذکور مناسب دانست. اما در سطح شوری ۱۶ دسی زیمنس بر متر، دقت حسگر به شدت کاهش یافته و ضریب نش – ساتکلیف (NSE) به مقدار غیرقابل قبول ۰/۵۵ تنزل پیدا کرده است. بنابراین، با توجه به اینکه در شوری‌های بالای آب آبیاری (بالاتر از ۱۰ دسی زیمنس بر متر)، امکان حصول دقت مناسب از معادله مربوطه برای این سطوح شوری وجود ندارد، پیشنهاد می‌گردد که از ضرایب معادله عمومی (ضرایب مربوط به شوری‌های ۲ تا ۱۶ دسی زیمنس بر متر) برای واسنجی قرائت‌های دستگاه و تبدیل آنها به رطوبت حجمی خاک استفاده شود. همچنین، انجام تحقیقات بیشتر بر روی این سنسور بویژه در شوری‌های بالاتر، در بافت‌های متفاوت خاک و در شرایط مختلف مزرعه‌ای از موارد پیشنهادی برای تداوم این پژوهش در آینده و کاربردی‌تر شدن این حسگر در عرصه‌های کشاورزی می‌باشد.

تشکر و قدردانی:

بدینوسیله از شرکت دانش‌بنیان پرتو الکترونیک پیشگام کویر بدلیل ارائه سنسور اپتیکی مورد نظر به مرکز ملی تحقیقات شوری جهت انجام پژوهش و ارزیابی کارایی آن در شرایط شور تشکر و قدردانی می‌گردد.

مراجع:

۱. انصاری. ح. و حسن پور، م. (۱۳۹۴). طراحی و ساخت دستگاه اندازه‌گیری داده‌های محیطی خاک به ویژه رطوبت. دما و شوری با نام تجاری REC-P55. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹ (۱). ۴۳ – ۳۲

۲. بناکار، م.ح.، رنجبر، غ.ح. و سلطانی، و. (۱۳۹۷). تاثیر روش های مختلف کاشت بر شوری خاک، عملکرد ریشه و کارایی مصرف آب روناس (Rubia tinctorum L.) در شرایط شور استان یزد. فصلنامه تنش های محیطی در علوم زراعی. ۱۱(۴). ۹۹۱ - ۹۸۱

۳. خورسندی، آ.، همت، ع.، معصومی، ا.ا. و امیرفتاحی، ر. (۱۳۹۰). طراحی، ساخت و ارزیابی حسگر خازنی اندازه گیر پیوسته رطوبت خاک بصورت بلادرنگ. مهندسی بیوسیستم ایران (علوم کشاورزی ایران). ۴۲ (۱). ۷-۱.

۴. رحمانی ثقیه، ج. و قائمی، ع. (۱۳۹۲). اثر شوری بر کاربرد حسگرهای هوشمند در تعیین رطوبت خاک. مدیریت آب و آبیاری. ۳(۲). ۱۴۶ – ۱۳۵

۵. علیزاده، ا. (۱۳۷۷). کیفیت آب در آبیاری، آستان قدس رضوی، ۹۶ ص.

۶. مهاجران، م.، گلزاریان، م.ر.، خجسته پور، م. و آق خانی، م.ح. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات در محتوای رطوبتی خاک با استفاده از اندازه گیری های هدایت الکتریکی ظاهری به روش القای الکترومغناطیسی. دهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران.

7. George, B. H. (2006). Comparison of techniques for measuring the water content of soil and other porous media. Department of agricultural chemistry and soil science. University of Sydney. Australia .

Introduction of an Optical Sensor for Monitoring of Soil Moisture and its Capabilities in Saline Condition

M.H. Rahimian[1]*, S.S. Azadfar[1], F. Dehqani[1], H. Gholami[2] and H. Beyrami[1]

1 - National Salinity Research Center (NSRC), Agricultural Research, Education and Extention Organization (AREEO), Yazd, Iran (mhrahimian@gmail.com)

2 - MSc. student of Irrigation and Drainage Engineering, Ardakan University, Ardakan, Iran.

Abstract:
The aim of this study is to introduce and evaluate optical sensors for measurement of soil moisture under saline condition. These sensors are based on the active proximal sensing techniques in which measure the reflections emitted by the objects in a specific range of the wavelength. In this study, four irrigation water salinity levels (between 2-16 $dS.m^{-1}$) were applied to the soil. The results showed that the highest accuracy of the sensors occurred at the salinity level of 2 $dS.m^{-1}$. In addition, declines in the accuracy of the sensors were observed for the salinities of 6 and 10 $dS.m^{-1}$, but were acceptable. Finally, according to the results of this study, these optical sensors seem that could be recommended for measurement of soil moisture and irrigation scheduling for salinities of less than 10 $dS.m^{-1}$.
Keywords: Calibration, Salinity, Sensor, Volumetric Soil Moisture.

استفاده از روش نوین برآورد رطوبت قابل استفاده در مدیریت آبیاری

زهرا غفاری[۱]، علی عطایی[۲]، مهدی اکبری[۳]

۱- مسئول آزمایشگاه موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج- ایران

۲- فارغ التحصیل دکتری دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی خاک

۳- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج- ایران

چکیده

متداول‌ترین معیار فراهمی آب خاک برای گیاه "آب قابل استفاده گیاه (PAW)" است که دسترسی یکنواخت آب را بین دو حد پتانسیل ماتریک (معادل رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای تا پژمردگی دائم)، فرض می‌کند. معیارهای جدیدتر فراهمی آب مانند "ظرفیت آب انتگرالی (IWC)"، محدودیت‌های ناشی از تهویه نامناسب، زهکشی سریع، مقاومت فروروی خاک و شوری را مدنظر قرار می‌دهد تا میزان آب قابل استفاده در خاک را به درستی برآورد نماید. در این پژوهش به منظور مقایسه کارایی دو معیار PAW و IWC، در یک باغ پسته تحت سامانه آبیاری قطره‌ای، با اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک، مقدار PAW و IWC محاسبه و با استفاده از آنها دو مدیریت آبیاری IR_{PAW} و IR_{IWC} تعیین گردید که به ترتیب دور آبیاری ۸ و ۱۲ روز و مدت آبیاری ۶ و ۱۲ ساعت به دست آمد. پس از کالیبراسیون مدل هایدروس برای شرایط باغ، توزیع شوری و جذب آب گیاه برای دو مدیریت آبیاری مدلسازی شد. نتایج نشان داد که در IR_{IWC} شوری خاک به مناطق دورتری از ریشه درخت رانده شده و ناحیه با سطوح شوری پایین که نقش موثری در جذب آب دارد گسترش می‌یابد. بنابراین IR_{IWC} در مقایسه با IR_{PAW} آب بیشتری در دسترس گیاه قرار می دهد.

کلمات کلیدی: ظرفیت آب انتگرالی، فراهمی آب خاک، مدل هایدروس

مقدمه

آب خاک افزون بر تأثیر مستقیم روی رشد و باردهی گیاهان، از طریق فراهمی، سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک (همانند تهویه و مقاومت فروروی) را که مؤثر بر رشد گیاه هستند نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. مفاهیم مختلفی جهت بیان تأمین آب مورد نیاز گیاه توسط خاک ارائه شده است که آب قابل استفاده گیاه (PAW[۱])، آب سهل الوصول، دامنه با حداقل محدودیت، ظرفیت آب انتگرالی (IWC[۲]) از جمله آن می باشد. PAW به عنوان ابتدایی‌ترین و کاربردی‌ترین مفهوم، تنها براساس انرژی آب خاک در بین دو دامنه رطوبتی تعریف شده است، اما مفاهیم جدیدتر از جمله IWC عوامل دیگری را مانند میزان اکسیژن خاک، توانایی ریشه گیاه برای فروروی در خاک، هدایت هیدرولیکی خاک و شوری، در فراهمی آب خاک دخیل کرده اند. اعتقاد بر این است که IWC رفتار پدیده‌های طبیعی در خاک را بهتر منعکس می‌کند و لذا می‌تواند جهت مدیریت مناسب آبیاری و دستیابی به حداکثر عملکرد مورد استفاده قرار گیرد(Mohammadi and Khataar, 2018)..

در سوی دیگر فراهمی آب خاک، مباحث جریان آب در خاک مطرح است که به توزیع رطوبت و جذب آب از خاک می‌پردازد. چگونگی جریان آب در خاک با حل عددی معادله ریچادرز و با در نظر گرفتن منابع مختلف ورود، خروج و ذخیره آب یک دید کلی از باز توزیع رطوبت در خاک ارائه می‌دهد که می‌تواند در مدیریت آبیاری بسیار مناسب باشد. مدل HYDRUS یکی از مدل‌های شبیه‌سازی است که جریان آب و املاح را در یک، دو و یا سه بُعد در شرایط اشباع و غیراشباع، با و بدون در نظر گرفتن جذب آب و املاح توسط ریشه گیاهان، و اعمال ضرایب سنتیکی مختلف برای واکنش‌های املاح در خاک، شبیه‌سازی می‌کند (Šimůnek *et al.*,

[۱] Plant available water

[۲] Integral water capacity

2012). مدل هایدروس دوبُعدی و سه‌بعدی در مطالعات پیشین شبیه‌سازی جریان آب در سامانه آبیاری قطره‌ای موفق عمل کرده است (Skaggs *et al.*, 2004; AbouLila *et al.*, 2012; Phogat *et al.*, 2012).

با توجه به نقش عوامل متعدد در فراهمی آب خاک برای گیاه و تلاش برای ساده‌سازی این مفاهیم در قالب‌های کاربردی از قبیل PAW و IWC، در این پژوهش سعی شد که ضمن تعیین مدیریت آبیاری بر اساس این دو مفهوم، چگونگی توزیع رطوبت و شوری خاک، میزان تعرق و جذب آب گیاه در این دو مدیریت با استفاده از نرم افزار هایدروس بررسی شود.

روش انجام کار

جهت بررسی و مقایسه دو مفهوم PAW و IWC، بعد از تعیین ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و هیدرولیکی خاک در یک باغ پسته در شهرستان شهریار تحت آبیاری قطره‌ایی، مدل هایدروس به شرایط مزرعه کالیبره شد و برای مدیریت آبیاری پیشنهادی مورد استفاده قرار گرفت. برای برآورد PAW و IWC، ابتدا مدل منحنی رطوبتی دورنر (Durner, 1994) (رابطه ۱) به داده‌های مکش رطوبت خاک به دست آمده از صفحات فشار و مدل توانی (رابطه ۲) به داده‌های مقاومت فروروی برازش یافت (جدول ۱).

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)\left(w_1[1 + (a_1 h)^{n_1}]^{\frac{1}{n_1}-1} + w_2[1 + (a_2 h)^{n_2}]^{\frac{1}{n_2}-1}\right) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$SR = ah^b \quad \text{(رابطه۲)}$$

که در این روابط θ رطوبت حجمی خاک ($cm^3\ cm^{-3}$)، h مکش ماتریک (cm)، θ_r و θ_s به ترتیب رطوبت باقیمانده و رطوبت اشباع خاک ($cm^3 cm^{-3}$)، a_1، n_1 و a_2، n_2 پارامترهای برازشی برای خم اول و خم دوم منحنی رطوبتی و w_1 و w_2 ضرایب وزنی مرتبط با سهم نسبی هر خم از منحنی رطوبتی در مدل دورنر و SR مقاومت فروروی خاک بر (MPa) و a ($MPa.cm^{-1}$) و b (بدون بعد) پارامتر-های برازش هستند. به منظور برازش داده‌ها به رابطه فوق از ابزار برازش منحنی[1] نرم‌افزار MATLAB استفاده شد.

جدول ۱- پارامترهای معادلات برازش یافته به منحنی رطوبتی و منحنی مقاومت فروروی خاک مورد مطالعه

عمق	کلاس بافتی	ضرایب منحنی رطوبتی دورنر									مدل توانی مقاومت فروروی		
		θ_s ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_r ($cm^3\ cm^{-3}$)	α1 cm^{-1}	α2 cm^{-1}	n1 -	n2 -	w1 -	w2 -	R^2	a	b	R^2
۰ – ۲۰	لوم شنی	۰/۴۷۳	۰/۰۴۰۲	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۲۵	۲/۷۸۴	۱/۶۴۶	۰/۲۲۳	۰/۷۷۷	۰/۹۹۹۷	۰/۰۲۹۴	۰/۴۴۶۱	۰/۹۴۴
۲۰ – ۴۰	لوم شنی	۰/۴۴۹	۰	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۵۱	۱/۸۷۵	۱/۳۳۰	۰/۳۲۱	۰/۶۹۷	۰/۹۹۱	۰/۱۲۷۴	۰/۳۱۳۱	۰/۹۴۳
۴۰ – ۶۰	لوم شنی	۰/۴۱۹	۰/۰۴۹	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۲۳	۲/۳۵۳	۱/۷۹۴	۰/۳۵۴	۰/۶۴۶	۰/۹۹۷	۰/۱۴۴۲	۰/۳۰۸۷	۰/۹۴۰
۶۰ - ۸۰	شن‌لومی	۰/۳۴	۰/۰۲۳	۰/۰۰۶۵	۰/۰۴۵۵	۱/۲۵۷	۱/۸۳۷	۰/۵۱۷	۰/۴۸۲	۰/۹۹۶	۰/۶۰۵	۰/۱۶۸۴	۰/۸۱۰

در ادامه PAW با مد نظر قرار دادن رطوبت نظیر مکش ظرفیت زراعی (FC) برای حد بالائی و نقطه پژمردگی دائم (PWP) برای حد پائینی، (رابطه ۳) برای هر لایه خاک محاسبه شد (Asgarzadeh *et al.*, 2010; Hosseini *et al.*, 2016):

$$PAW = \int_{FC}^{PWP} C(h)dh \quad \text{(رابطه ۳)}$$

که در آن $C(h)$ گنجایش رطوبت نقطه‌ای (cm^{-1}) یا همان مشتق تابع منحنی رطوبتی در θ مشخص می‌باشد. باتوجه به بافت سبک خاک برای FC مکش ۱۰۰ سانتی‌متر و برای PWP مکش ۱۵۰۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. از آنجایی که فقط بخشی از آب موجود در دامنه مکش ۱۰۰ تا ۱۵۰۰۰ برای گیاه قابل استفاده است، ضریب حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی (MAD) برابر با ۰/۴نیز در محاسبه PAW اعمال شد. (Allen *et al.*, 1998).

[1] Curve fitting tool

مقدار IWC نیز برای هر لایه خاک بر اساس رابطه گرانولت از ادغام توابع وزنی عوامل محدود کننده با تغییرات تدریجی رطوبت خاک محاسبه گردید (Asgarzadeh *et al*., 2010):

$$IWC = \sum_{i=1}^{n} \int_{h_i}^{h_f} \prod_{j=1}^{m} \omega_j(h)\, C(h)\, dh \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

h_i تا h_f ابتدا و انتهای محدوده مکشی است که در آن یک یا چند عامل محدود کننده (m) وجود دارد و عامل محدود کننده j از طریق ضریب ω اثر خود را اعمال می‌نماید. n تعداد محدوده مکش‌ها، C(h) مقدار گنجایش رطوبت نقطه‌ای (cm^{-1})، یا همان شیب منحنی مشخصه رطوبتی خاک ($|d\theta/dh|$) می‌باشد. برای محدودیت‌های زهکشی سریع، تهویه، هدایت هیدرولیکی کم، مقاومت فروروی از روابط ارائه شده توسط Asgarzadeh et al., 2010 و Groenevelt et al., 2001 و برای اعمال محدودیت شوری از رابطه Mohammadi and Khataar,2018 استفاده شد.

پس از محاسبه فراهمی آب برای هر لایه از پروفیل خاک، عمق و حجم آب قابل استفاده در کل پروفیل به دست آمد. سپس با تقسیم عمق آب قابل استفاده به میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، دور آبیاری، و با تقسیم حجم آب قابل استفاده به دبی قطره چکان زمان آبیاری محاسبه شد. در نهایت دو رژیم آبیاری مختلف یکی بر اساس PAW (IR_{PAW}) و دیگری بر اساس IWC (IR_{IWC}) برای باغ مذکور تعریف گردید. به منظور مقایسه اثر دو مدیریت آبیاری اتخاذ شده بر چگونگی جذب آب توسط گیاه و همچنین توزیع املاح در خاک، مقدار تعرق گیاه و در نهایت جذب آب ریشه، از مدل HYDRUS-2D استفاده شد. پارامترهای هیدرولیکی مورد نیاز برای حل معادلات جریان آب طبق توابع ترکیبی منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی خاک ارائه شده توسط ونگنوختن- معلم، پارامترهای توزیع ریشه طبق تابع Vrugt et al.2001 پاسخ گیاه به تنش آب و شوری طبق تابع ضرب‌پذیر ونگنوختن، و پارامترهای انتقال املاح طبق تابع حرکت توده‌ای - پخشیدگی برای انتقال یک نمک غیرواکنش‌پذیر در محیط همسان و یکنواخت، تعیین و وارد مدل گردید. برای مرزهای عمودی شرایط بدون جریان، برای مرز پایینی شرایط مرزی زهکشی آزاد، برای مرز بالایی شرایط مرزی اتمسفری (تبخیر و تعرق و بارندگی) و برای نقطه قرارگیری قطره‌چکان در هنگام وجود جریان مقدار جریان ثابت محاسبه و در مدل اعمال گردید.

نتایج و بحث

فراهمی آب خاک

مقدار رطوبت FC، PWP و PAW، دور و مدت آبیاری محاسبه شده با آن در جدول ۳ ارائه شده است. سطح خیس شده در سامانه آبیاری قطره‌ای پیاده شده در مزرعه یک مستطیل به ابعاد ۱۲۰ × ۲۰۰ (فاصله بین درختان در دو برابر فاصله قطره‌چکان از تنه درخت در دو جهت) است که آب مورد نیاز توسط ۳/۲ قطره‌چکان (فاصله قطره چکان ۷۵ و فاصله بین درختان در ردیف ۱۲۰ سانتی‌متر بود) با دبی ۸ لیتر در ساعت تأمین می‌شود. بر این اساس دور آبیاری هر $\underline{7}$ روز یکبار و مدت آبیاری ۶ ساعت محاسبه گردید.

جدول ۳- مقادیر رطوبت FC، PWP، PAW و عمق آب قابل استفاده گیاه و دور و مدت آبیاری محاسبه شده

عمق	θ_{FC} ($cm^3\ cm^{-3}$)	θ_{FPWP} ($cm^3\ cm^{-3}$)	PAW ($cm^3\ cm^{-3}$)	عمق آب قابل استفاده* (cm)	دور آبیاری (روز)	مدت آبیاری قطره‌ای (ساعت)
۲۰ - ۰	۰/۳۰۹	۰/۰۶۵	۰/۲۴۴	۱/۹۴۸	۷/۱	۶
۴۰ - ۲۰	۰/۳۱۷	۰/۰۹	۰/۲۲۷	۱/۸۱۸		
۶۰ - ۴۰	۰/۲۹۱	۰/۰۷۶	۰/۲۱۵	۱/۷۲۴		
۸۰ - ۶۰	۰/۲۱۴	۰/۰۷۳	۰/۱۴۱	۱/۱۳		

* با در نظر گرفتن درصد تخلیه مجاز برابر با ۰/۴ محاسبه شده است.

برای محاسبه IWC، کل دامنه مکش خاک به اجزای کوچکتر دارای محدودیت‌های شناخته شده تفکیک شد و با استفاده از ضرایب مربوطه در هریک از دامنه‌ها، مقدار فراهمی آب در هر محدوده و جمع کل به دست آمد (جدول ۴)

جدول ۴- رطوبت حجمی و رطوبت قابل استفاده گیاه با اعمال محدودیت ممکن در پنج دامنه مکش و مجموع آن‌ها به عنوان IWC

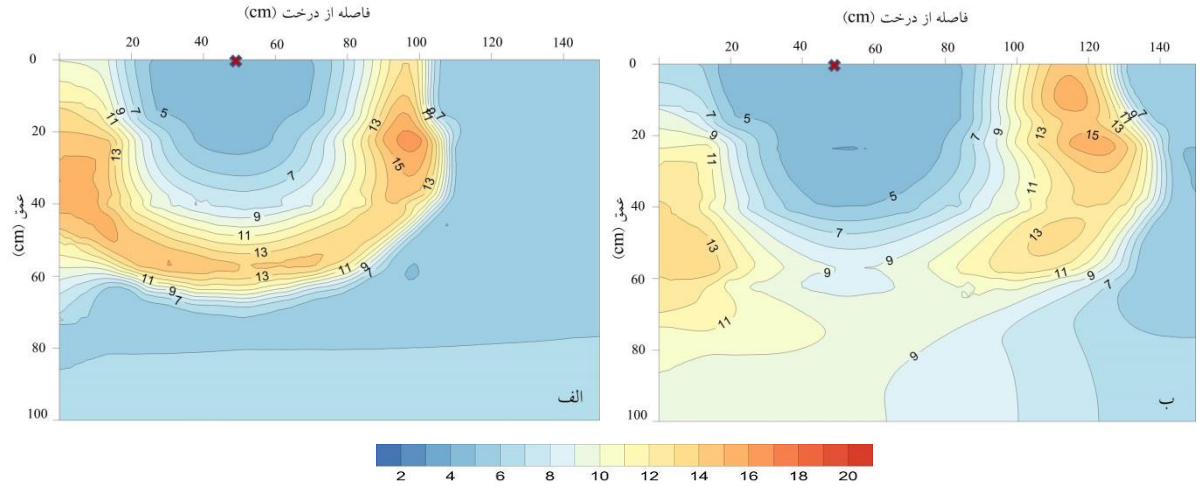
عمق	پارامتر	واحد	محدودیت تهویه +زهکشی سریع + شوری	محدودیت زه کشی سریع + شوری	محدودیت شوری	محدودیت مقاومت فروروی + شوری	محدودیت مقاومت فروروی + هدایت هیدرولیکی کم + شوری	IWC
۰ – ۲۰	دامنه مکش	(cm)	۵۰- ۸۵	۸۵ – ۳۳۰	۳۳۰ - ۶۷۴۷	۶۷۴۷ - ۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰ -۱۵۰۰۰	۵۰ - ۱۵۰۰۰
	رطوبت نگهداری شده	$\frac{cm^3}{cm^3}$	۰/۰۴۹۸	۰/۱۰۲۰	۰/۱۱۱۵	۰/۰۳۴	۰/۰۰۹۳	۰/۳۰۶۷
	رطوبت قابل استفاده	$\frac{cm^3}{cm^3}$	۰/۰۱۵۹	۰/۰۷۸۶	۰/۰۹۶۹	۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۰۷	۰/۲۰۵۳
۲۰ – ۴۰	دامنه مکش	(cm)	۵۵ - ۱۴۴	۱۴۴ - ۳۳۰	۳۳۰ - ۲۶۲۹	۲۶۲۹ - ۱۲۰۰۰	۱۲۰۰۰ – ۱۳۴۳۶	۵۵-۱۳۴۳۶
	رطوبت موجود	$\frac{cm^3}{cm^3}$	۰/۰۴۹۹	۰/۰۳۶۱	۰/۰۷۲۶	۰/۰۸۷۳	۰/۰۰۶۶	۰/۲۵۲۵
	رطوبت قابل استفاده	$\frac{cm^3}{cm^3}$	۰/۰۱۸۶	۰/۰۳۱۶	۰/۰۶۸۴	۰/۰۳۷۲	۰/۰۰۰	۰/۱۵۵۹
۴۰ – ۶۰	دامنه مکش	(cm)	۷۰ -۱۳۹	۱۳۹ - ۳۳۰	۳۳۰ - ۱۹۷۲	۱۹۷۲ -۱۰۳۱۶	۱۵۰۰۰-۱۰۳۱۶	۷۰ – ۱۰۳۱۶
	رطوبت موجود	$\frac{cm^3}{cm^3}$	۰/۰۴۹۴	۰/۰۴۲۴	۰/۰۴۴۴	۰/۰۸۹۸	۰	۰/۲۲۵۹
	رطوبت قابل استفاده	$\frac{cm^3}{cm^3}$	۰/۰۱۷۵	۰/۰۳۶۴	۰/۰۴۲۳	۰/۰۳۸۱	۰	۰/۱۳۴۴
۶۰ – ۷۰	دامنه مکش	(cm)	۶۰ - ۱۷۲	۱۷۲ - ۲۱۹	۲۱۹ - ۳۳۰①	۳۳۰ – ۴۵۶۱②	۱۵۰۰۰-۴۵۶۱	۶۰ - ۴۵۶۱
	رطوبت موجود	$\frac{cm^3}{cm^3}$	۰/۰۴۹۹	۰/۰۰۹۸	۰/۰۱۵۶	۰/۰۷۱۷	۰	۰/۱۴۷
	رطوبت قابل استفاده	$\frac{cm^3}{cm^3}$	۰/۰۱۸۶	۰/۰۰۸۴	۰/۰۱۳۶	۰/۰۳۶۳	۰	۰/۰۷۶۹

① در این عمق در دامنه مکش ۳۳۰ – ۲۱۹ سانتی‌متر علاوه بر محدودیت زه‌کشی سریع و شوری، محدودیت مقاومت فروروی نیز مشاهده و اعمال شده است. ② در دامنه مکش ۴۵۶۱ – ۳۳۰ سانتی‌متر تنها عامل محدود کننده مقاومت فروروی زیاد به همراه شوری می‌باشد.

با به دست آوردن IWC، عمق آب قابل استفاده خاک برای هر لایه محاسبه شد. براساس IWC جمعا در لایه ۰ - ۸۰ سانتی-متری، ۱۱/۴۵ cm آب قابل استفاده گیاه وجود دارد و با تقسیم آن به تبخیر و تعرق گیاهی، دور آبیاری ۱۲ روز و مدت زمان آبیاری ۱۲ ساعت محاسبه گردید.

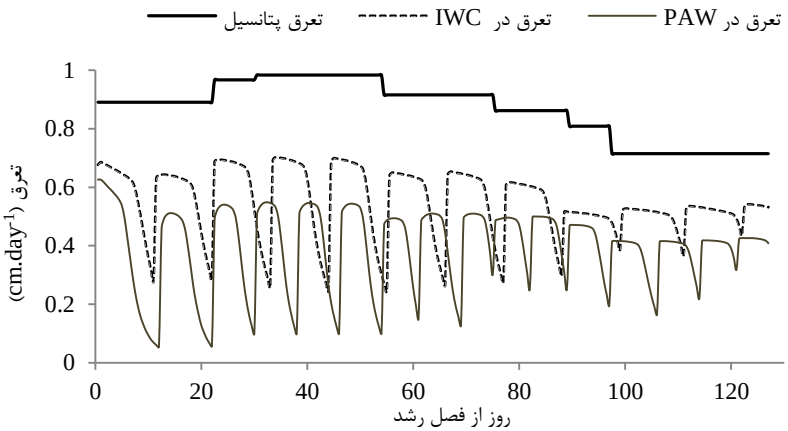
مدلسازی با هایدروس

پس از کالیبراسیون مدل هایدروس برای شرایط باغ و تعیین صحت مدل، زمان و دور آبیاری که در مزرعه صورت گرفته بود با زمان و دور آبیاری پیشنهادی بر اساس IR_{IWC} و IR_{PAW} تغییر یافت و مدل بر اساس مدیریت‌های جدید اجرا شد. در شکل ۴ چگونگی توزیع شوری حاصل از دو مدیریت آبیاری IR_{IWC} و IR_{PAW}، نشان داده شده است.



شکل ۱- تغییرات توزیع شوری مدلسازی شده با هایدروس در دو رژیم آبیاری برنامه‌ریزی شده براساس (الف) مفهوم PAW و (ب) IWC ؛ موقعیت درخت در {۰،۰} و × نشان دهنده موقعیت قطره چکان می‌باشد.

مشاهده می‌شود که با افزایش دور و زمان آبیاری در IR_{IWC} (شکل ۱- ب)، ناحیه خیس شده افزایش یافته و سطح متاثر از آبیاری از ۱۰۵ سانتی‌متر در IR_{PAW} (شکل ۱- الف) به حدود ۱۳۰سانتی‌متر (شکل ۱- ب) گسترش پیدا کرده است. همچنین ناحیه تجمع املاح که در IR_{PAW} به صورت یک حلقه کوچک در اطراف قطره چکان مشاهده می‌شود، در IR_{IWC} گسترده‌تر شده و تجمع املاح هم در نزدیکی درخت و هم در موقعیت زیر قطره‌چکان به عمق‌های پایین‌تر شسته شده است. با توجه به اینکه حداکثر مقدار شوری به دست آمده در دو رژیم آبیاری تقریبا برابر است، دامنه توزیع شوری در IR_{IWC} گسترده‌تر شده است و این نشان می‌دهد که حجم بیشتری از خاک در تامین رطوبت مورد نیاز گیاه نقش دارند. علاوه بر این، با دورتر شدن مرکز تجمع املاح از درخت و کاهش شدت تجمع املاح در اعماق زیر قطره‌چکان مشاهده می‌شود که مساحت نواحی دارای شوری پایین که مساعدتر برای جذب آب هستند، افزایش یافته و گیاه می‌تواند آب بیشتری را از خاک استخراج نماید. در همین راستا در شکل ۲ مقدار تعرق گیاهی محاسبه شده توسط مدل هایدروس برای دو رژیم آبیاری در مقایسه با تعرق پتانسیل در طول ۴ ماه از دوره رشد ترسیم شده است. لازم به ذکر است که عطایی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که همبستگی مثبت و معنی داری بین تعرق به دست آمده از مدل هایدروس با هدایت روزنه‌ای و جریان شیره آوندی اندازه گیری شده در مزرعه وجود دارد. بر مبنای این نتایج در صورت استفاده از IWC در مدیریت آبیاری، گیاه کمتر با تنش روبه رو می‌گردد. علاوه بر این در IR_{IWC} تعداد روزهایی که گیاه دارای حداکثر تعرق است (یعنی مقطع صاف بالای منحنی) بسیار بیشتر از IR_{PAW} می‌باشد. این نشان دهنده افزایش مقدار جذب آب قبل از شروع محدودیت خشکی در IR_{IWC} می‌باشد.



شکل ۲- تغییرات تعرق مدلسازی شده برای گیاه پسته در روزهای مختلف سال در دو رژیم آبیاری IR_{PAW} و IR_{IWC}

نتیجه گیری

در این پژوهش محاسبه رطوبت قابل استفاده بر اساس دو مفهوم PAW و IWC نشان داد دور و مدت زمان آبیاری به دست آمده از این دو روش متفاوت است و در IR_{PAW} دور آبیاری هر هشت روز یکبار و به مدت ۶ ساعت آبیاری به دست آمد در حالی که IR_{IWC} با افزایش برآورد ذخیره رطوبتی خاک دور آبیاری ۱۲ روز و مدت آبیاری ۱۲ ساعت به دست آمد.

پس از صحت سنجی مدل هایدروس برای شرایط باغ، مدلسازی توزیع شوری خاک و جذب آب گیاه نشان داد که رژیم آبیاری تعریف شده با استفاده از IWC باعث انتقال شوری به فواصل دور از درخت شده و همچنین افق تجمع املاح که در رژیم آبیاری تعریف شده با PAW در عمق ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری وجود داشت به لایه‌های زیرین خاک شسته شده است. همین امر سبب افزایش فضای مناسب برای جذب آب توسط گیاه (از نظر شوری) شده و در نتیجه آب بیشتری در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. بعبارت دیگر مفهوم IWC با در نظر گرفتن تمام خصوصیات خاک، برآورد دقیق‌تری از فراهمی آب خاک ارائه می‌دهد و با استفاده از آن در مدیریت آبیاری، نقش شوری در کاهش فراهمی آب خاک دخالت داده شده و جبران می‌گردد. براساس این نتایج مشخص می‌شود که دخالت دادن

شکل منحنی رطوبتی، محدودیت‌های جذب آب موجود در شرایط رطوبتی مختلف خاک و شرایط هیدرولیکی خاک در محاسبه فراهمی آب در قالب IWC می‌تواند باعث برآورد دقیق‌تر آب قابل استفاده خاک شود. با برآورد دقیق ظرفیت نگهداری رطوبت خاک، مدیریت آبیاری صورت گرفته نیز تطابق بهتری با نیاز آبی گیاهی داشته و در نتیجه تنش‌های کمتری به گیاه وارد می‌شود.

فهرست منابع

عطایی، ا. نیشابوری، م. ر. اکبری، م. زارع‌حقی، د. و عنابی میلانی، ا. (۱۳۹۸). پاسخ گیاه پسته به توزیع رطوبت و شوری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ (۱). ۱۱۵-۱۲۸.

AbouLila, T.S., Berndtsson, R., Persson, M., Somaida, M., El-Kiki, M., Hamed, Y. & Mirdan, A. (2012). Numerical evaluation of subsurface trickle irrigation with brackish water. *Irrigation Science*. 31, 1125-1137.

Asgarzadeh, H., Mosaddeghi, M.R., Mahboubi, A.A., Nosrati, A. & Dexter. A.R. (2010). Soil water availability for plants as quantified by conventional available water, least limiting water range and integral water capacity. *Plant and Soil*. 335, 229-244.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.

Durner, W. (1994). Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research*. 30, 211-223.

Groenevelt, P., Grant, C. & Semetsa, S. (2001). A new procedure to determine soil water availability. *Soil Research*. 39, 577-598.

Mohammadi, M.H. & Khataar, M. (2018). A simple numerical model to estimate water availability in saline soils. *Soil Research*, 56(3), 264-274.

Phogat, V., Mahadevan, M., Skewes, M. & Cox. J.W. (2012). Modelling soil water and salt dynamics under pulsed and continuous surface drip irrigation of almond and implications of system design. *Irrigation Science*. 30, 315-333.

Šimůnek, J., Van Genuchten, M.T. & Šejna, M. (2012). The HYDRUS software package for simulating two-and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Technical Manual, version 2, 230.

Skaggs, T., Trout, T., Šimunek, J. & Shouse. P. (2004). Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. *Journal of Irrigation and Drainage Eengineering*. 130, 304-310.

Vrugt J. A., Hopmans, J.W. & Simunek, J. (2001). Calibration of a two-dimensional root water uptake model. *Soil Science Society of America Journal*. 65, 1027-1037.

Using new methods of available water estimating in irrigation management

Zahra ghaffari[1], Ali Ataee[2], M. Akbari[3]

1- Lab technician, Agricultural Engineering Research Institute(AERI), Karaj, Iran.

2- PhD Graduated, Department of soil science, College of agriculture, Tabriz University, Iran.

3- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute(AERI), Karaj, Iran.

Abstract

Plant Available Water (PAW) is the most common criteria for Soil Available Water (SAW) to a plant which assumes uniform water availability of water between two matric potential limits (from field capacity to permanent wilting point). Integral Water Capacity (IWC) is one of the most recently developed criteria for SAW that considered all soil restrictions including lack of sufficient aeration, rapid drainage, root penetrability and salinity. In this study, in order to compare the applicability of PAW and IWC criteria in irrigation management, soil physical and hydraulical properties in a pistachio garden, with drip irrigation system, were measured and PAW and IWC were calculated. Based these criteria, two irrigation regimes (IR_{PAW} and IR_{IWC}) were determined. The calculations showed that irrigation periods in IR_{PAW} and IR_{IWC}were 8 and 12 days and irrigation duration were obtained 6 and 12 hours, respectively. Soil salinity distribution and root water uptake in two irrigation regimes, after verifying the model, were modeled using HYDRUS-2D model for growing season. The results showed that in IR_{IWC} the soil volume affected by irrigation was expanded relative to IR_{PAW} and the area with low salinity range was increased. These indicated that in IR_{IWC} there is more water could be uptake by plants.

Keywords: Hydrus model, Integral water capacity, Soil water availability

بررسی سامانه های هوشمند (IoT) مدیریت آب در مزرعه

حامد پورصمصام[1]

۱- کارشناس آبیاری مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان دزفول ، خوزستان ، ایران (Hamed_Poorsamsam@yahoo.com).

چکیده

با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور و همچنین بحران آب در سال‌های اخیر ، متخصصان و مسئولان به مدیریت آبیاری در بخش کشاورزی به‌طور ویژه توجه کرده‌اند. کشاورزی مبتنی بر اینترنت اشیا ، با استفاده از حسگرهای مستقر در خاک ، آب مورد نیاز محصول را تجزیه و تحلیل می‌کند و از منابع آب استفاده می‌کند تا میزان هدر رفت آب را کاهش و از محصول محافظت نماید. برای شروع استفاده از این فناوری‌ها می‌توان از کشت و صنعت‌ها و شبکه‌های آبیاری مدرن این اقدام را آغاز کرد. همچنین در بحث سامانه‌های آبیاری که موردحمایت دولت نیز می‌باشد ، قابلیت کاربرد این فناوری وجود داشته و می‌توان به همراه توسعه و احداث سامانه‌های نوین آبیاری برای کشاورز، فناوری‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء را نیز توسعه داد. در این تحقیق با بررسی اینترنت اشیا و کاربرد آن در آبیاری هوشمند به بررسی مزایای استفاده از آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا پرداخته شده است.

واژگان کلیدی : بحران آب ، IoT ، اینترنت اشیا ، سامانه‌های نوین آبیاری ، آبیاری هوشمند.

مقدمه

از مهمترین راهکارهای ارائه شده در مدیریت بهینه مصرف آب و افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی ، تغییر شیوه‌های سنتی آبیاری و استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری می‌باشد. استفاده از روشهای جدید آبیاری علاوه بر تأثیر در به‌زراعی محصولات کشاورزی مخصوصاً امکان استفاده بیشتر و بهتر از آب موجود ، از فرسایش خاک نیز جلوگیری خواهد کرد (پورکریمی و همکاران ، ۱۳۹۳). آبیاری مناسب برای کشاورزی بسیار ضروری است ، محصولات در هر دو وضعیت آبیاری بیش از حد آب و یا کمبود آب آسیب خواهند دید. تامین آب در زمان مناسب و به مقدار مناسب برای رشد محصول ، حیاتی است. فناوری اینترنت اشیا از طریق ادغام سرویس نقشه وب(Web Map Service) و سیستم نظارت حس‌گر(Sensor Observation Service) کار می‌کند و راه حلی برای تامین نیاز آبی و بهینه سازی مصرف آب فراهم کرده است. کشاورزی مبتنی بر اینترنت اشیا ، با استفاده از حسگرهای مستقر در خاک ، آب مورد نیاز محصول را تجزیه و تحلیل می‌کند و از منابع آب استفاده می کند تا میزان هدر رفت آب را کاهش و از محصول محافظت نماید. با استفاده از حسگرهای رطوبت مستقر در خاک ، دریچه های آب به آسانی می تواند آب رسانی را مدیریت کنند. حسگر رطوبت به صورت هوشمند میزان رطوبت خاک را اندازه‌گیری می کند و براساس داده های دریافتی ، بدون هیچ مداخله انسانی ، بطور خودکار عمل می کند. همچنین نشت در لوله های آب نیز قابل تشخیص خواهد بود. در مناطق خشک مدیریت آب بصورت کارآمدی عمل می کند و ارزش اینترنت اشیا در این زمینه از طریق مدیریت هوشمند منابع محدود آب اثبات می شود زیرا با محاسبه زمان بندی باز و بست شیر آب و ایجاد راهبرد آبیاری بهینه ، میزان هدر رفت آب کاهش می یابد. همچنین مصرف غیر مجاز آب نیز قابل تشخیص خواهد بود (فرخی و گاپله، ۱۳۹۸). در این تحقیق با بررسی اینترنت اشیا و کاربرد آن در آبیاری هوشمند به بررسی مزایای استفاده از آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا پرداخته شده است.

اینترنت اشیا(IOT)

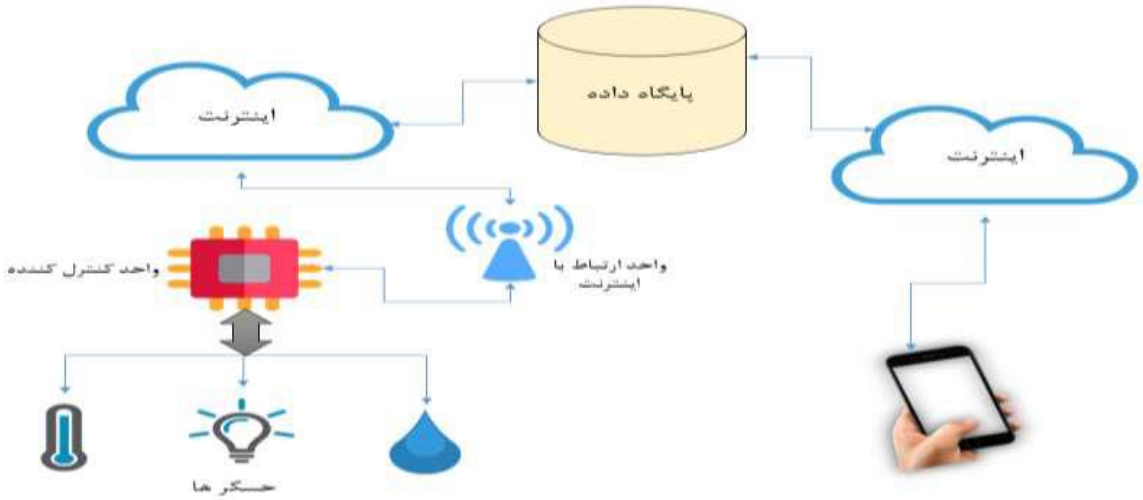
اینترنت در بخش بزرگی از زندگی روزمرۀ ما تأثیر می گذارد. اینترنت اشیا بُعد تازه‌ای از اینترنت را می نمایاند که در آن اشیا در کنار ما به قابلیت اتصال به شبکه و پردازش مجهز می شوند برای مفهوم اینترنت اشیا تعاریف متعددی ارائه شده است ؛ هرکدام از پژوهشگران به زعم خود به تشریح آن پرداخته اند . اما به طور کلی همۀ تعاریف یک شاکله دارند و نقطۀ مشترک مفاهیم ارائه شده همان دیجیتالی شدن اشیای فیزیکی و اتصال آن‌ها به هم بدون محدودیت زمان و مکان است . به نظر برخی صاحب‌نظران، اینترنت اشیا شبکه‌ای از اشیای فیزیکی است که در آن هر شیء با برچسبی هویت می‌یابد. اینترنت اشیا زیرساختی جهانی برای جامعۀ اطلاعاتی است که خدمات پیشرفته را به وسیلۀ اتصالات فیزیکی و مجازی با استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات موجود و درحال توسعه دراختیار می‌گذارد (Alam et al., 2016). در اینترنت اشیا، اشیا خود به بخشی از اینترنت تبدیل می شوند. ویژگی های اساسی اینترنت اشیا که باعث کاربرد روزافزون آن در حوزه های گوناگون شده است، در جدول ۱ خلاصه گردیده است.

جدول۱- ویژگی های اساسی اینترنت اشیا

1	اتصال متقابل	هر شیء قابلیت این را دارد که، با زیرساخت اطلاعات و ارتباطات، با اشیای دیگر ارتباط برقرار کند.
2	خدمات مرتبط با اشیا	اینترنت اشیا قابلیت ارائۀ خدماتی را دارد مانند محافظت از حریم خصوصی و برقراری سازگاری معنایی بین چیزهای واقعی و چیزهای مجازیِ مرتبط.
3	ناهمگونی	در اینترنت اشیا، حتی دستگاه‌های ناهمگون هم به وسیلۀ سیستم عامل‌های سخت‌افزاری و شبکه‌های گوناگون با هم ارتباط برقرار می‌کنند.
4	تغییرات پویا	وضعیت دستگاه ها به صورت پویا از جنبه هایی مانند اتصال یا قطع ارتباط، مکان و سرعت تغییر می کند.
5	مقیاس	تعداد دستگاه‌هایی که مدیریت می‌شوند و با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند بسیار زیاد و حداقل یک مرتبه بزرگتر از دستگاه‌های متصل به اینترنت فعلی است.
6	مدیریت کارآمد اطلاعات	مدیریت داده‌های تولیدشده و تفسیر آن‌ها برای اهداف کاربردی امکان‌پذیر خواهد بود.
7	ایمنی	با اندیشیدن تدابیری، ایمنی اطلاعات شخصی و فیزیکی را می توان تضمین کرد.
8	اتصال	این ویژگی قابلیت دسترسی و سازگاری شبکه را فراهم می‌کند.

آبیاری هوشمند و مبتنی بر اینترنت اشیاء(IOT)

با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور و همچنین بحران آب در سال‌های اخیر ، متخصصان و مسئولان به مدیریت آبیاری در بخش کشاورزی به‌طور ویژه توجه کرده‌اند. مدیریت آبیاری بر اساس نیاز محصول و با توجه به توزیع غیریکنواخت باران در اراضی کشاورزی دشوار است. در ساختمان‌های مختلف خاک و در شرایط آب وهوایی متفاوت ، روش‌های آبیاری متنوعی برای تولید محصولات کشاورزی وجود دارد. با درک کلی از سیستم اینترنت اشیاء و قدرت رایانش ابری ، آبیاری اراضی کشاورزی در هر زمان با استفاده از ابزارهای کم‌هزینه امکان‌پذیر میشود. در سامانه آبیاری هوشمند ، با استفاده از پردازش اطلاعات دریافتی از حسگرهای دما و رطوبت تعبیه شده در گیاه و خاک و هوا ، انجام عملیات آبیاری در مناسب ترین زمان فراهم می‌شود. این سیستم از حسگرهایی ساخته شده است که اطلاعات رطوبت و دمای هوا و از همه مهمتر رطوبت خاک را جمع آوری و به پلتفرم ابری منتقل می‌کنند(Dlodlo & Kalezhi., 2015; Tzounis et al., 2017; Shi et al., 2019; Cays, 2021) اطلاعات ارسالی توسط عملیات یادگیری ماشین (ML) و هوش مصنوعی (AI) پردازش میشوند. سپس کشاورز از طریق برنامه-های اینترنتی یا تلفن همراه از زمان و نحوه آبیاری مطلع می‌شود (شکل۱).



شکل۱-نحوه ارتباط بین حسگرها، واحد کنترل کننده، پایگاه داده و تلفن همراه هوشمند در مدل آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء

بنابراین سامانه آبرسانی و آبیاری هوشمند سیستمی است که می‌تواند با برنامه‌های از پیش تعریف شده توسط کاربر، گیاه یا گیاهانی را در هر نوع توپوگرافی زمین متناسب با نوع نیاز آن گیاه آبیاری کند. از مزیت‌هایی که باعث می‌شود تا این سیستم در آبیاری انواع زمین‌ها و گلخانه‌ها ، باغات ، فضای سبز و غیره مورد استفاده قرار گیرد ؛ اولاً صرفه‌جویی بالای آب و ثانیاً انعطاف-پذیری این نوع دستگاه‌ها با شرایط گوناگون زمین و منطبق شدن با نوع نیاز گیاه در مصرف آب است. همچنین با نصب سامانه در فضاهای سبز می‌توان پخش کننده‌های آب نصب شده در محیط (سامانه قطرهای و بارانی) را نیز کنترل نمود. در بخش فضای سبز و باغداری می‌توان با مجهز کردن زمین‌ها به سامانه‌های آبیاری و نصب سیستم هوشمند آبیاری روی تجهیزات آبیاری تحت‌فشار، فرآیند هوشمند سازی و مکانیزه کردن آبیاری را انجام داد. با نصب ایستگاه‌های سامانه هوشمند آبیاری و تقسیم زمین موردنظر به چندین واحد آبیاری ، می‌توان فرآیند آبیاری را حتی با سرانه کم آب (حقابه) انجام داد. به‌وسیله سامانه هوشمند آبیاری و برقراری ارتباط بی‌سیم ایمن و بدون نویز ، هیچگونه محدودیتی در مساحت زمین یا باغ تحت پوشش سامانه هوشمند آبیاری وجود نخواهد داشت. این سامانه‌ها کاربر را قادر می‌سازد تا به‌راحتی فضای سبز یا زمین موردنظر را در هر زمانی که تمایل داشتند ، آبیاری کند و از آسیب دیدن گیاهان بر اثر بی‌آبی یا کم‌آبی ممانعت به عمل آورد (Sharma et al., 2016; Elijah et al., 2018; Hossein Motlagh et al., 2020; Cays, 2021). به دلیل آبیاری منظمی که سامانه انجام می‌دهد، با کمترین آب بیشترین بهره‌وری حاصل می‌شود. با توجه به وضعیت فعلی آب کشور و این نکته که بخش زیادی از مصرف و هدر رفت آب در بخش کشاورزی است، استفاده از راه‌حل‌های هوشمندسازی سامانه‌های آبیاری می‌تواند یک راه‌حل مطمئن و مطلوب برای برون‌رفت از بحران آب و مدیریت مناسب آن باشد. در جدول ۲ دلایل مهم نوسازی و هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری مبتنی بر IoT تشریح شده است :

جدول ۲- دلایل مهم نوسازی و هوشمند سازی سامانه‌های آبیاری مبتنی بر IoT

۱	با استفاده از مدرنیزه کردن سامانه‌های آبیاری می‌توان امکان تولید محصول بیشتر با مصرف آب کمتر را فراهم کرد. با استفاده از سامانه‌های هوشمند آبیاری بهره‌وری آب تا بیش از ۵۰ درصد قابل افزایش خواهد بود.
۲	نوسازی سامانه‌های آبیاری باعث بهبود زندگی روستایی میشود. حفظ منابع آبی در مناطق روستایی باعث میشود تا جمعیت در این منطقه تثبیت و از مهاجرت‌ها کاسته شود. این امر باعث افزایش ارزش اجتماعی آب خواهد شد.
۳	بهبود مدیریت فنی سامانه‌های آبیاری باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی میشود. به‌روزرسانی این سامانه‌ها از شسته شدن نمک‌ها و مواد مغذی به‌طور مؤثری جلوگیری خواهد کرد.
۴	ورود فناوری‌های جدید به عرصه کشاورزی منجر به جذابتر شدن این فعالیت‌ها خواهد شد که خود نیز رقابت برای رسیدن به جدیدترین سامانه‌ها را در بین کشاورزان افزایش خواهد داد.
۵	تجاری سازی، توسعه و بهبود فضای کسب وکار و ایجاد اشتغال‌های نوپا و پایدار نیز از دستاوردهای مهم حاصل از هوشمند سازی است.
۶	جلوگیری از سرعت رو به رشد بحران آب و همچنین تلفات آب در بخش کشاورزی، از دیگر مزیت‌های هوشمند سازی سامانه-های آبیاری است که از این طریق می‌توان گامی مهم در راستای کشاورزی پایدار برداشت.

مزایای استفاده از آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا عبارت‌اند از:

۱-صرفه‌جویی در به‌کارگیری نیروی انسانی

۲-صرفه‌جویی در مصرف آب بیشتر از روش‌های دستی

۳-مدیریت درست و هوشمند آب در آبیاری مزرعه در زمان‌هایی که با مشکل کم‌آبی مواجه هستیم.

۴-استعلام دما و رطوبت محیط وخاک از راه دور و تشخیص اینکه چه زمانهایی نیاز گیاه به آب جدی است.

۵-اختصاص دادن آب موردنیاز گیاه بدون اینکه دچار تشنگی یا پرآبی شود.

۶-کنترل و اندازه‌گیری رطوبت خاک و آبیاری هوشمند برحسب نیاز محصولات متفاوت، با سنجش میزان آب موردنیاز برای هر واحد خاک(.استفاده دقیق از منابع آب و صرفه‌جویی در مصرف آب)

۷-همچنین همزمان با آبیاری اطلاعات در پایگاه داده ذخیره میشود و این عمل باعث میشود تا ما از مزرعه خود کارنامه دقیقی از تاریخ و زمان و مدت آبیاری داشته باشیم.

نتیجه‌گیری

اینترنت اشیا یک فنآوری رو به رشد است که می توان انقلاب صنعتی قرن بیست و یک در نظر گرفت و اگر این فنآوری درست به کار برده شود برای کار و زندگی آینده تحولی عظیم به وجود خواهد آورد. صنعت کشاورزی در سال‌های اخیر، با استفاده از فناوری-های ارتباطات و اطلاعات به‌ویژه اینترنت اشیاء پیشرفت چشمگیری داشته است. این سیستم که مجموعه‌ای از ابزارهای متصل به هم است، می‌تواند در زمینه‌های مختلف ، داده‌ها و اطلاعات موردنیاز در بهینه‌سازی عملکرد را به سهولت و با سرعت و دقت کامل انتقال دهد. در چند سال اخیر ، پیشرفت‌های خوب ولی اندکی در زمینه توسعه کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء در کشور صورت گرفته و شرکت‌های دانش بنیان به این بحث ورود کرده‌اند. همچنین کشت و صنعت‌های کشور نیز تمایل به استفاده از این فناوری را نشان داده‌اند. اما همچنان در سطوح وسیع به اجرا نرسیده‌اند و بیشتر در سطح پروژه‌های کوچک و تحقیقاتی این اتفاق رخ داده است. اگرچه ضعف‌های ساختاری، نرم‌افزاری و سخت‌افزاری به همراه برخی مسائل اجتماعی و اقتصادی در کشور وجود دارد ، اما بهتر است این موضوع از یک جایی شروع شود تا با رفع چالش‌ها ، گامی بلند در راستای خودکارسازی ، هوشمند سازی آبیاری و کشاورزی دقیق صورت گیرد.

آبیاری هوشمند مزارع باعث مصرف به اندازه و به‌موقع آب میشود در حقیقت مدیریت درستی بر منابع آب خواهیم داشت و می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. همچنین عملکرد و نرخ رشد را افزایش می‌دهد . آبیاری خودکار مبتنی بر حسگر آب وخاک باعث

بهینه شدن آبیاری در منطقه ریشه گیاه شده و به دنبال آن رشد سریع گیاه را نیز به دنبال دارد این طرح مدیریت درستی بر منابع آب دارد همچنین باعث صرفه‌جویی قابل توجه مصرف آب در مقایسه با آبیاری سنتی میشود. اینترنت اشیا راه حلی برای مدیریت آب خواهد بود ؛ این فناوری میزان منابع موردنیاز برای هر محصول را بررسی می‌کند و با کنترل منابع آبی موجود ، از اتلاف آن جلوگیری می‌کند. با استفاده از اینترنت اشیا می‌توان کشاورز را به‌طور مستقیم به مصرف‌کننده متصل کرد ، که می‌توان او را از چنگال واسطه‌ها نجات دهد ، تلاش و زمان کار کشاورز را کاهش دهد و باعث شود فعالیت‌های کشاورزی اقتصادی و سودآور شود.
برای شروع استفاده از این فناوری‌ها می‌توان از کشت و صنعت‌ها و شبکه‌های آبیاری مدرن این اقدام را آغاز کرد. همچنین در بحث سامانه‌های آبیاری که موردحمایت دولت نیز می‌باشد ، قابلیت کاربرد این فناوری وجود داشته و می‌توان به همراه توسعه و احدا سامانه‌های نوین آبیاری برای کشاورز ، فناوری‌های آبیاری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیاء را نیز توسعه داد. با گذشت زمان و حصول نتایج مطلوب ، دیگر کشاورزان نیز تمایل نشان داده و این موضوع به یک جز جدایی ناپذیر سامانه‌های آبیاری تبدیل خواهد شد. با این روش ، هم زمینه‌ای خرد مقیاس و هم بزرگ مقیاس را می‌توان تحت پوشش سامانه‌های هوشمند و خودکار مبتنی بر اینترنت اشیاء قرار داد.

منابع

-پورکریمی،ب.، نیکنامی،م.و جورابلو، م.۱۳۹۳. نیازمندی های ترویجی سامانه‌های آبیاری قطره ای در استان تهران .*پژوهش آب در کشاورزی.*
-فرخی، غ و گاپله، م. ۱۳۹۸. کشاورزی هوشمند مبتنی بر اینترنت‌اشیاء. فصلنامه رشد فناوری. شماره ۳. سال ۱۵.

-Alam, F., Mehmood, R., Katib, I. and Albeshri, A. (2016). “Analysis of Eight Data Mining Algorithms for Smarter Internet of Things (IOT)”. *Procedia Computer Science*, 98, pp. 437-442.
-Cays, J. 2021. The Energy Essential: Physical Forces Animate All Things. In An Environmental Life Cycle Approach to Design (pp. 15-38). Springer, Cham
-Dlodlo, N. and Kalezhi, J. 2015. The internet of things in agriculture for sustainable rural development. In 2015 international conference on emerging trends in networks and computer communications (ETNCC) (pp. 13-18). IEEE.
-Elijah, O., Rahman, T. A., Orikumhi, I., Leow, C. Y. and Hindia, M. N. 2018. An overview of Internet of Things (IoT) and data analytics in agriculture: Benefits and challenges. IEEE Internet of Things Journal. 5(5): 3758-3773.
-Hossein Motlagh, N., Mohammadrezaei, M., Hunt, J. and Zakeri, B. 2020. Internet of Things (IoT) and the energy sector. Energies. 13(2): 494.
-Sharma, D., Bhondekar, A. P., Ojha, A., Shukla, A. K. and Ghanshyam, C. 2016. A technical assessment of IoT for Indian agriculture sector. In 47th Mid-Term Symposium on Modern Information and Communication Technologies for Digital India, Chandigarh, India.
-Shi, X., An, X., Zhao, Q., Liu, H., Xia, L., Sun, X. and Guo, Y. 2019. State-of-the-art internet of things in protected agriculture. Sensors. 19(8): 1833.
-Tzounis, A., Katsoulas, N., Bartzanas, T. and Kittas, C. 2017. Internet of Things in agriculture, recent advances and future challenges. Biosystems Engineering. 164: 31-48.

Investigation of intelligent field management (IoT) systems

Hamed Poursamsam[1]
1-Irrigation Expert of Departments of Agriculture Jahad managment in Dezful ,Khuzestan,Iran(Hamed_Poorsamsam@yahoo.com)

Abstract

Due to the geographical location of the country and the water crisis in recent years, experts and officials have paid special attention to irrigation management in the agricultural sector. IoT-based agriculture uses soil-based sensors to analyze the water needed by the crop and uses water sources to reduce water wastage and protect the crop. To start using these technologies, you can start from modern agro-industries and irrigation networks. Also in the discussion of irrigation systems that are also supported by the government, there is the possibility of using this technology and can be developed and constructed new irrigation systems for farmers, It also developed IoT-based intelligent irrigation technologies. In this study, by examining the Internet of Things and its application in smart irrigation, the benefits of using IoT based on intelligent irrigation have been investigated.

Keywords: Water crisis, IoT, new irrigation systems, smart irrigation

ارزیابی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل Aquacrop-GIS (مطالعه موردی استان کردستان)

غزاله ضیائی[۱]، حسین بابازاده[۲*]، نیازعلی ابراهیمی پاک[۳]، کامران افتخاری[۴]، آرش تافته[۵]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران

۲- استاد، گروه علوم ومهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران

h_babazadeh@hotmail.com

۳- دانشیار و عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب

۴- استادیار و عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب

۵- استادیار و عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب

چکیده

گندم دیم به عنوان یکی از مهمترین محصولات کشاورزی دیم در ایران از نظر عملکرد وابستگی شدیدی به شرایط اقلیمی دارد. در این مطالعه تلاش شد تا با استفاده از مدل AquaCrop-GIS عملکرد گندم دیم در سطح استان کردستان در طی ۵ سال زراعی منتهی به سال ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گیرد. کارآیی مدل با اتکا به شاخص‌های آمار در طی مراحل واسنجی و صحت‌سنجی قابل قبول و همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌ای برابر ۶۶ ٪ بود. همچنین RMSE بدست آمده برابر ۰/۳ تن در هکتار بدست آمد. نتایج شبیه‌سازی نشان‌دهنده شاخص برداشت پایین و تنش دمایی قابل توجه در تمامی شهرستان‌های استان است.

واژگان کلیدی: گندم دیم، کردستان، مدل AquaCrop-GIS

مقدمه

از جمله مهمترین محصولات کشاورزی کشور گندم است که کشت آن خصوصاً به صورت دیم وابستگی شدیدی به اقلیم و شرایط منطقه زیر کشت دارد. بنابراین لازم است به تولید این محصول که از تولیدات مهم غذایی بوده و تأثیر مستقیمی بر اقتصاد کشاورزی و کشور دارد، توجه بسزایی صورت گیرد. لذا شناخت عوامل موثر بر عملکرد آن ابزار مناسبی برای اعمال سیاست های کارآمد در بخش کشاورزی است. (زرعکانی و همکاران، ۱۳۹۳). از سویی دیگر شناخت مشخصه‌های اقلیمی و تأثیر آنها روی گیاهان زراعی یکی از مهمترین عوامل موثر در افزایش عملکرد و بالا بردن تولید است. این موضوع به ویژه در شرایط کشاورزی دیم اهمیت بیشتری دارد و ارزیابی عملکرد محصول در شرایط ناهنجاری‌های آب و هوایی یا تغییرات نظام یافته (سیستماتیک) آب و هوا برای کشاورزان، تجار، شرکت‌های بیمه و سیاستگذاران دارای منافع عمومی است (Christoph and Frank , 2016).

بر طبق آمار ارائه شده در آخرین آمارنامه رسمی سازمان جهاد کشاورزی که مربوط به سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ است، سطح اراضی زراعی کشور بالغ بر ۱۱ میلیون هکتار است که از مجموع این اراضی در حدود ۵۰ درصد به کشت گندم اختصاص دارد. که تولیدات آن معادل ۱۲/۴ میلیون تن معادل ۱۵ درصد کل تولیدات زراعی است. از کل اراضی زراعی ۵۴ درصد اختصاص به کشت آبی و ۴۶ درصد تحت کشت دیم قرار دارند. از کل ۵/۴۳ میلیون هکتار اراضی تحت کشت گندم در حدود ۳/۴ میلیون هکتار آن را اراضی دیم تشکیل می‌دهند. بر این اساس بیش از ۳۰ درصد از کل اراضی زراعی کشور تحت کشت گندم دیم قرار دارد. متوسط عملکرد گندم دیم در کشور در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ برابر ۱/۰۳۷ تن در هکتار بود. استان کردستان با دارا بودن ۶/۵ درصد از کل سطح زیر کشت زراعی کشور در رتبه سوم کشوری در میزان مساحت اراضی زراعی قرار دارد و این در حالی است که این استان با

دارا بودن ۱۲/۳ درصد (معادل ۶۲۳/۳ هزار هکتار) از سطح اراضی دیم کشور رتبه اول کشوری در سطح اراضی دیم را به خود اختصاص داده است و تولیدکننده بالغ بر ۱۰ درصد از کل محصولات دیم در کشور است. استان کردستان با در اختیار داشتن بیش از ۵۰۰ هزار هکتار اراضی دیم تحت کشت گندم دیم (۴/۵ درصد از کل اراضی زراعی کشور) بیشترین سطح اراضی دیم گندم کشور را در خود جای داده است.

توجه به این نکته ضروری است که پراکنش و مقدار بارش از شاخص‌های عمومی زراعت دیم کشور است؛ تغییرات این شاخص‌ها سبب می‌شود که میزان خطرپذیری، زیاد و تغییرات تولید در طول سنوات زراعی مختلف مشهود باشد. برآورد بسیاری از پارامترها مستلزم صرف زمان و انرژی فراوان است. می‌توان با به کارگیری نرم‌افزارها، برخی از پدیده‌ها را شبیه‌سازی کرد و آن‌ها را در برنامه‌ریزی مدیریت زراعی به کار گرفت (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). محققان در دهه‌های اخیر مدل‌های متنوعی را جهت شبیه‌سازی رشد گیاه توسعه داده‌اند. بعضی از این مدل‌ها در مقیاس تک گیاهی گرایش و توسعه پیدا کرده‌اند و برخی از این مدل‌ها به شبیه‌سازی سطح سایه‌انداز و ابزارهای مدیریتی گرایش پیدا کرده‌اند. سازمان خواروبار جهانی(FAO) با تلفیق اطلاعات موجود از عکس‌العمل‌های فیزیولوژیکی گیاه، مدل AquaCrop را به عنوان ابزاری برای پیش‌بینی عملکرد محصول بر اساس منابع موجود ارائه نمود. هدف فائو داشتن یک مدل شبیه‌سازی عملکرد محصول بر اساس تابعی از سطح سایه‌انداز و وابسته به میزان آب مصرفی است که بتوان برای تمامی سیستم‌های کشاورزی در سرتاسر دنیا از آن بهره برد. این مدل یک ابزار مدلسازی با کاربری آسان برای گروه وسیعی از کاربران شامل کشاورزان، مدیران آب و سیاست‌گزاران، با تمایل به میزان زیست توده در دسترس گیاه و میزان عملکرد محصول تحت سناریوهای مختلف ورودی آب و مواد غذایی است (Steduto *et al*., 2009).

Andarzian *et al*. (2011) به صحت‌سنجی مدل برای گندم در شرایط کم‌آبیاری با استفاده از داده‌های ۳ مزرعه در اهواز پرداختند. نتایج نشان داد مدل با دقت خوبی توانایی شبیه‌سازی رطوبت خاک در منطقه ریشه و عملکرد محصول را دارد. Mkhabela and Bullock (2012) کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی میزان محصول و رطوبت خاک برای گندم پاییزه در منطقه غرب کانادا را مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج حاصله دقت مدل در برآورد پارامترهای مختلف و در مقایسه با داده‌های برداشت شده از مزرعه مناسب توصیف شده است. محققین با توجه به ویژگیهای مدل از نظر تعداد کم داده و دقت مناسب، آن را برای استفاده در این منطقه توصیه کرده‌اند. توکلی و همکاران (۱۳۹۲) نسبت به بررسی موازنه آب خاک، تاریخ کشت و عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط دیم و آبیاری محدود اقدام کردند. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در برآورد تاریخ عملکرد، موازنه آب خاک و درصد پوشش گیاهی در گندم دیم است که البته با توجه به برآورد تاریخ مناسب کاشت منوط به عامل بارش برای مناطق سرد و نیمه سرد توصیه نمیگردد.

میرباقری و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای نسبت به الویت‌بندی مناطق تولید گندم آبی و دیم در ایران بر مبنای شاخص مزیت تولیدی اقدام نمودند. در این مطالعه با استفاده از روش تاکسونومی و با بررسی نتایج ۳۰ ساله مشخص شد استان کرمانشاه حائز مناسبترین اولویت در تولید گندم آبی و استان‌های کردستان، خراسان رضوی، آذربایجان غربی، کرمانشاه، همدان و زنجان حائز مناسبترین اولویت در خصوص گندم دیم هستند. با توجه به اهمیت گندم به عنوان محصول استراتژیک و وابستگی شدید آن به شرایط اقلیمی بررسی عملکرد گندم دیم در استان کردستان که دارای بالاترین سطح زیر کشت غلات دیم است امکان بررسی شرایط گیاه و میزان تنش های وارده و متناسب با آن ارائه راهکارهای مدیریتی جهت بهبود شرایط و افزایش عملکرد در واحد سطح را برای کارشناسان فراهم می‌آورد.

هدف این مطالعه بررسی عملکرد گندم دیم در سطح استان کردستان با استفاده از مدل شبیه‌ساز گیاهی و بررسی شرایط رشد گیاه دیم با توجه به شرایط موجود است.

مواد و روش‌ها

مطالعه انجام شده در سطح استان کردستان با مساحتی بالغ بر ۲۹ هزار کیلومتر مربع و دارا بودن ۱۰ شهرستان، ۳۱ بخش و ۸۶ دهستان انجام شده است. اطلاعات عملکرد میانگین مناطق هم‌عملکرد در سطح استان در سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ الی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ شامل ۵ سال که توسط کارشناسان صندوق بیمه محصولات کشاورزی ثبت گردیده است اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. میانگین عملکرد ثبت شده به تفکیک شهرستان در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱میانگین عملکردهای ثبت شده در مناطق هم‌عملکرد استان کردستان ثبت شده در بانک اطلاعاتی صندوق بیمه محصولات کشاورزی

ردیف	نام شهرستان	عملکرد در سال زراعی (کیلوگرم در هکتار)				
		۱۳۹۱-۱۳۹۰	۱۳۹۳-۱۳۹۲	۱۳۹۴-۱۳۹۳	۱۳۹۵-۱۳۹۴	۱۳۹۶-۱۳۹۵
۱	بانه	۶۵۹	۶۹۶	۸۲۷	۵۰۰	۱۱۶۶
۲	بیجار	۴۷۵	۶۷۱	۳۷۹	۴۸۱	۱۷۲۱
۳	کامیاران	۱۰۱۵	۸۴۶	۸۳۳	۹۰۳	۲۱۶۷
۴	سقز	۳۶۸	۶۰۵	۵۹۱	۶۹۹	۹۸۷
۵	سنندج	۶۱۰	۶۷۱	۳۰۵	۴۲۰	۱۷۱۵
۶	دیواندره	۳۲۶	۶۰۶	۵۱۳	۳۸۲	۱۵۶۲
۷	مریوان	۴۰۷	۵۱۸	۳۷۷	۳۴۰	۱۰۰۰
۸	سروآباد	۴۰۳	۵۴۵	۳۸۰	۴۱۷	۱۰۵۵
۹	دهگلان	۵۶۶	۶۳۵	۳۶۳	۵۰۸	۱۲۵۱
	قروه	۵۴۴	۷۸۳	۶۸۸	۳۵۰	۱۸۵۴

مدل AquaCrop-GIS

یکی از مدلهای رایج برای برآورد عملکرد محصول و بهره‌وری آب، که توسط سازمان خوار و بارجهانی (FAO) ارائه شده است، مدل AquaCrop است. این مدل در سال ۲۰۰۹ برای اولین بار ارائه شد و نسخه GIS-base آن در سال ۲۰۱۳ با هدف افزایش مقیاس کاربرد مدل AquaCrop توسط Lorite و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شد. این مدل بر پایه نسخه استاندارد مدل توسعه یافته و برای نمایش خروجی‌ها در سطح وسیع‌تر متکی به نرم افزار GIS است. با توجه به این نکته که هسته مرکزی این مدل نسخه استاندارد مدل AquaCrop است، مبنای محاسبات این مدل وابسته به آب مصرف شده توسط گیاه است که نشریه شماره ۳۳ آبیاری و زهکشی فائو مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. مبنای محاسبات عملکرد در مدل AquaCrop از معادله زیر تبعیت می‌کند:

$$\frac{Y_x - Y_a}{Y_x} = K_Y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (1)$$

در این معادله Yx حداکثر عملکرد، Ya عملکرد واقعی، ETx تبخیر و تعرق حداکثر، ETa تبخیر و تعرق واقعی و Ky ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر و تعرق است.

مدل AquaCrop با تفکیک اجزای تبخیر و تعرق گیاه (ET) به مقدار واقعی تعرق گیاه (Tr) و مقدار تبخیر از خاک (Ex) دو هدف اصلی را در طول محاسبات دنبال میکند. ابتدا با استفاده از پارامتر محاسبه شده تبخیر از خاک و مقادیر آب ورودی در قالب داده‌های ورودی به تکمیل و محاسبه اجزای بیلان آب خاک می پردازد. در بخش دیگر با استفاده از مقدار تعرق واقعی، عملکرد محصول (Yx) را با اتکا به پارامتری به نام شاخص برداشت (HI) محاسبه می‌کند. بدین ترتیب که با استفاده از پارامتر بهره‌وری آب (WP) میزان زیست‌توده تولیدی(B) محاسبه و با کمک شاخص برداشت، میزان عملکرد محصول محاسبه میشود. پارامتر شاخص برداشت در این مدل جایگزین شاخص سطح برگ(LAI) است که عموماً در سایر مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

داده‌های مورد نیاز مدل به ۴ دسته داده‌های آب و هوا، داده‌های خاک، داده های محصول و داده‌های مدیریتی تقسیم شده است. داده‌های آب و هوا شامل حداقل و حداکثر دما، داده‌های بارندگی، داده‌های تبخیر و تعرق مرجع و میانگین سالانه تجمع دی

اکسید کربن است. در این مطالعه از ۸ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک داخل استان و ۶ ایستگاه هواشناسی واقع در خارج استان جهت افزایش دقت محاسبات استفاده شد.

همچنین برای محاسبه داده‌های تبخیر و تعرق پتانسیل از مدل EToCalculator استفاده شد. این مدل نیز توسط سازمان خوار و بار جهانی معرفی شده و قابلیت اتصال به مدل AquaCrop را نیز دارد. کلیه داده‌های ورودی هر دو مدل EToCalculator و AquaCrop در مقیاس روزانه بود. دسته دوم داده‌های ورودی، داده‌های مربوط به پروفیل خاک هستند. داده‌های مورد نیاز در این دسته عبارتند از تعداد افق‌های مختلف خاک و ضخامت هرکدام. علاوه بر آن مشخصات فیزیکی هر لایه مانند هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، رطوبت حجمی خاک در حالت اشباع، ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم. به عبارت دیگر مدل به سه نقطه رطوبتی مهم از منحنی مشخصه رطوبتی خاک در هر لایه نیاز دارد. اطلاعات خاکشناسی استان از بانک اطلاعاتی بین‌المللی موجود در Harmonized World Siol Database Viewer (HWSD) نسخه 1.21 (March 2012) استفاده شد. همچنین اطلاعات تکمیلی مورد نیاز با توجه به درصد اجزای خاک و اطلاعات ارائه شده شامل چگالی ظاهری و مقدار مواد آلی از مدل Soil Water Charesteristics (version 6.02.74) که توسط USDA ارائه شده است استخراج و با استفاده از مدل RetC و با کمک روش شبکه عصبی صحت سنجی و اصلاح شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- اطلاعات خاکشناسی استان کردستان

ردیف	عمق خاک (cm)	اجزای خاک (٪) رس	سیلت	شن	بافت خاک	چگالی ظاهری (Kg/dm)^3	مقدار مواد آلی (٪ وزنی)	رطوبت اشباع* (٪)	رطوبت مزرعه‌ای* (٪)	رطوبت پژمردگی* (٪)	K_s* (mm/hr)
۱	۰-۳۰	۴۳	۳۴	۲۳	Loam	۱/۳	۱/۴	۴۳	۲۷/۶	۱۴/۷	۷/۳
	۳۰-۱۰۰	۳۷	۳۶	۲۷	Clay loam	۱/۳۳	۰/۳۳	۴۳/۹	۳۰/۵	۱۷/۱	۶/۱
۲	۰-۳۰	۲۳	۳۳	۴۴	Clay	۱/۴	۰/۷۴	۴۷/۸	۳۹/۷	۲۶/۳	۱/۲۶
	۳۰-۱۰۰	۱۸	۳۱	۵۱	Clay	۱/۴۹	۰/۴۲	۵۰/۳	۴۳/۱	۳۰/۱	۰/۷۶
۳	۰-۳۰	۲۱	۴۰	۳۹	Caly	۱/۲۸	۰/۸۶	۴۷/۲	۳۷/۸	۲۳/۵	۱/۶۲
	۳۰-۱۰۰	۱۹	۴۱	۴۰	Silty clay	۱/۳۵	۰/۴۹	۴۷/۱	۳۸/۳	۲۳/۵	۱/۲۶

* اطلاعات محاسبه شده توسط مدل

دسته سوم داده‌ها، داده‌های مربوط به محصول هستند. سازمان غذا و کشاورزی پارامترهای مدل را بر اساس محصولات کشاورزی به تفکیک و بدون وابستگی به مکان خاصی واسنجی نموده است. دسته چهارم شامل داده های مدیریتی هستند که دربرگیرنده میزان و نحوه کوددهی، استفاده از انواع مالچ، روش و مقدار آب آبیاری است.

مناطق هم‌عملکرد با مبنای واحد دهستان و بر اساس تلفیق نقشه خاک و مناطق قابل پوشش هر ایستگاه هواشناسی تفکیک و در پایان ۱۹۱ منطقه در سطح استان تعریف شد. برای هر ایستگاه هواشناسی با توجه به محدوده تاریخ‌های کاشت یک فایل گیاهی در محیط AquaCrop تعریف و با توجه به نتایج ۵ ساله مدل واسنجی و صحت‌سنجی شد.

ارزیابی عملکرد مدل در مرحله واسنجی با استفاده از شاخص‌های آماری صورت گرفت. شاخص های آماری مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از: ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)[1]، شاخص توافق (d)[2]، ضریب همبستگی (R^2)[3] و میانگین خطای انحراف (MBE)[4].

[1] Root Mean Square Error

[2] Index of Agreement

[3] Correlation Coefficient

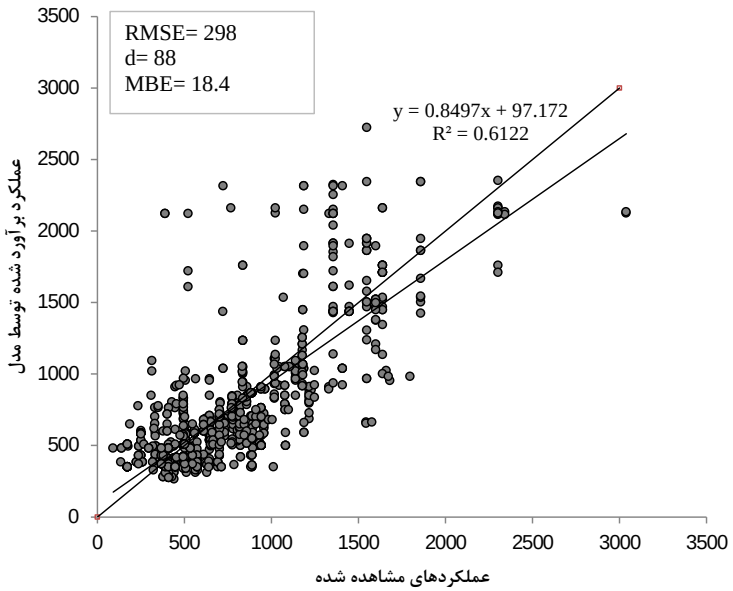
[4] Mean Bias Error

نتایج و بحث

شبیه‌سازی مدل با تکمیل اطلاعات ورودی با استفاده از فایل‌های گیاهی واسنجی شده به‌صورت نقطه‌ای در مدل استاندارد AquaCrop 4.0 و برای هر ایستگاه تکمیل شد. واسنجی ابتدا برای دو سال زراعی ۹۱-۹۰ و ۹۲-۹۱ انجام و سپس با توجه به نتایج حاصل شده صحت‌سنجی برای سال‌های زراعی ۹۳-۹۲، ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ انجام شد که منجر به تغییرات قابل توجه در فایل‌های واسنجی شده در این مرحله شد. در نهایت نتایج شبیه‌سازی مدل در طی پنج سال با استناد به شاخص‌های آماری در شکل ۱ارائه شده است.

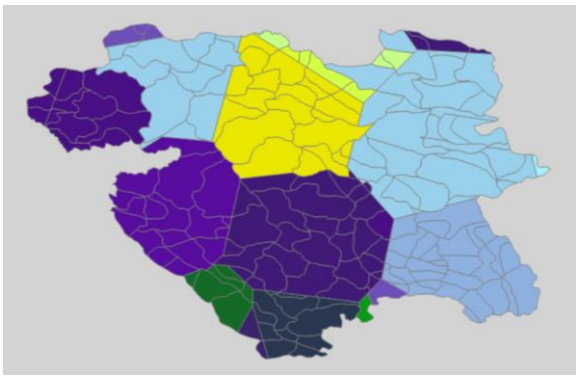
کارایی مدل با استفاده از شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان‌دهنده آن است که شاخص توافق مدل در مقیاس ۵ ساله برابر ۸۸ درصد می‌باشد که نشان از عملکرد قابل قبول مدل دارد. همچنین میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۰/۳ تن در هکتار می‌باشد. شاخص میانگین خطای انحراف (MBE) دارای مقدار مثبت ۱۸/۴ است که نشان از بیش برآوردی مدل در مجموع مقادیر شبیه‌سازی شده را دارد. همچنین ضریب همبستگی ۶۱٪ نشان از همبستگی قابل قبول بین مقادیر شبیه‌سازی شده و داده‌های جمع‌آوری شده دارد. Alvar-Beltr´an *et al* (2021) نسبت به واسنجی مدل برای بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی عملکرد گندم زمستانه اقدام کردند. نتایج این تحقیق نشان داد با وجود شاخص توافق ۹۶ ٪ و RMSE برابر ۰/۴۲-۰/۳ تن بر هکتار مدل AquaCrop عملکرد قابل قبولی در شبیه‌سازی فرآیند رشد گیاه داشته است.

شکل ۱ نتایج شبیه‌سازی ۵ ساله عملکرد گندم دیم توسط مدل AquaCrop-GIS

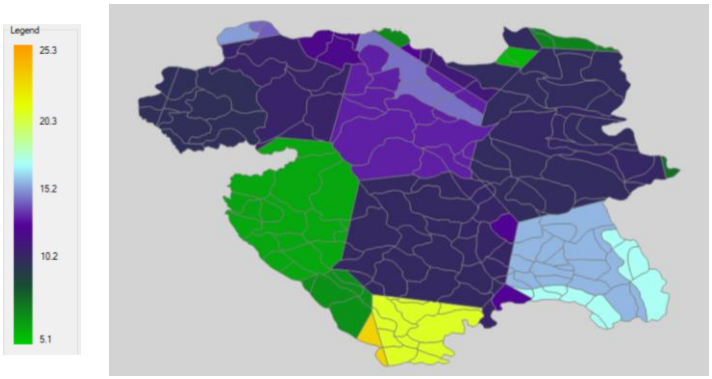


نتایج شبیه‌سازی در مدل نشان از وجود تنش دمایی شدید در مراحل شد در تمامی سال‌های زراعی مورد بررسی دارد به شکلی که این تنش در برخی سال‌ها به بیش از ۵۰٪ می‌رسد. همچنین شاخص برداشت گندم دیم در غالب مناطق تحت کشت بسیار پایین بوده و در برخی موارد به زیر ۱۰٪ می‌رسد. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. کمترین میانگین شاخص برداشت در بازه ۵ ساله متعلق به شهرستان مریوان و بیشترین تنش دمایی مربوط به شهرستان دیواندره است. نقشه پراکنش دو شاخص در سطح استان به ترتیب در شکل ۲و شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۲: نقشه پراکنش شاخص استرس دمایی خروجی مدل AquaCrop-GIS



شکل ۳: نقشه پراکنش شاخص برداشت خروجی مدل AquaCrop-GIS



جدول ۳- خلاصه شاخص برداشت و تنش دمایی حاصل از شبیه‌سازی به تفکیک شهرستان

نام شهرستان	شاخص / سال زراعی	۹۰-۹۱	۹۱-۹۲	۹۲-۹۳	۹۳-۹۴	۹۴-۹۵	میانگین
بانه	شاخص برداشت (٪)	۱۵	۹	۱۰	۱۰	۸	۱۰
	تنش دمایی (٪)	۳۹	۴۱	۴۱	۴۰	۴۷	۴۲
بیجار	شاخص برداشت (٪)	۹	۷	۵	۱۰	۹	۸
	تنش دمایی (٪)	۴۸	۵۰	۵۰	۴۹	۵۱	۴۹
دهگلان	شاخص برداشت (٪)	۱۱	۹	۶	۱۲	۱۳	۱۰
	تنش دمایی (٪)	۴۱	۴۴	۴۳	۴۳	۴۷	۴۴
دیواندره	شاخص برداشت (٪)	۱۲	۹	۷	۱۲	۱۲	۱۰
	تنش دمایی (٪)	۵۴	۵۳	۵۴	۵۶	۵۵	۵۵
سروآباد	شاخص برداشت (٪)	۶	۵	۵	۷	۷	۶
	تنش دمایی (٪)	۳۷	۴۱	۳۸	۳۹	۴۴	۴۰
سقز	شاخص برداشت (٪)	۱۲	۹	۹	۱۳	۱۱	۱۱
	تنش دمایی (٪)	۴۹	۴۹	۵۲	۵۱	۵۳	۵۱
سنندج	شاخص برداشت (٪)	۱۲	۶	۷	۱۱	۱۲	۱۰
	تنش دمایی (٪)	۳۹	۴۰	۴۲	۴۰	۴۵	۴۱
قروه	شاخص برداشت (٪)	۱۰	۱۳	۵	۱۲	۱۵	۱۱
	تنش دمایی (٪)	۴۵	۴۷	۴۵	۴۶	۵۰	۴۷
کامیاران	شاخص برداشت (٪)	۲۰	۸	۱۲	۱۸	۱۶	۱۵
	تنش دمایی (٪)	۳۸	۳۰	۳۹	۳۹	۴۴	۳۸
مریوان	شاخص برداشت (٪)	۶	۵	۶	۷	۷	۶
	تنش دمایی (٪)	۴۲	۴۴	۴۳	۴۳	۴۸	۴۴

نتیجه‌گیری

در این مطالعه عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل شبیه‌ساز AquaCrop-GIS در سطح استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت که با توجه به شاخص‌های آماری کارایی مدل در بازه پنج ساله قابل قبول بود. همچنین طبق نتایج شبیه‌سازی انجام شده

شاخص برداشت بسیار پایین و تنش دمایی در طول دوره رشد از عمده‌ترین دلایل پایین بودن میزان عملکرد در سطح آن استان می‌باشند. با توجه به اهمیت عملکرد گندم دیم و تأثیر آن بر درآمد خانوار روستایی پیشنهاد می‌گردد مطالعات گسترده‌تری با هدف بهبود عملکرد دیم و با اعمال روش‌های مدیریتی در سطح استان انجام گیرد.

فهرست منابع

توکلی، ع.، لیاقت، ع.، علیزاده، ا. (۱۳۹۲) بررسی موازنه آب خاک، تاریخ کاشت و عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط دیم و آبیاری محدود، مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۴(۴) (۴۱-۵۶)

زرعکانی، ف.، کمالی، غ.، چیذری، ا. (۱۳۹۳). اثر تغییر اقلیم بر اقتصاد گندم دیم (مطالعه موردی خراسان شمالی). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی. ۶ (۲) (۳۱۰-۳۰۱)

میرباقری، س.ش.، رفیعی، ح.، اکبرپور، ا. (۱۳۹۸) الویت‌بندی مناطق تولیدی گندم آبی و دیم در ایران بر مبنای شاخص‌های مزیت تولید، اقتصاد کشاورزی و توسعه، (۱۰۵) ۲۷ (۱۱۸-۹۱)

. Alvar-Beltr´an, J., Heureux, A., Soldan, Manzanas, R., Khan, B., Dalla Marta, A., 2021. Assessing the impact of climate change on wheat and sugarcane with the AquaCrop model along the Indus River Basin, Pakistan. Agricultural Water Management. 253: 1-15.

Andarzian, B., M. Bannayan, P. Steduto, H. Mazraeh, M.E. Barati, M.A. Barati and A. Rahnama. 2011. Validation and testing of AquaCrop model under full deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management. 100: 1-8.

Braun HJ, Atlin G, Payne T, 2010. Multi-location testing as a tool to identify plant response to global climate change. In: Reynolds CRP (Ed.). Climate change and crop production, CABI, London, UK

Christoph, G. and Frank, WP (2016) Statistical regression models for assessing climate impacts on cropyields: A validation study for winter wheat and silage maize in Germany. Agricultural and Forest Meteorology. 217 (2016), 89–100.

Lorite, I.J., Garcia-Vila, M., Santos, C., Ruiz-ramos, M. & Fereres, E. 2013. Aquadata and AquaGIS: two computer utilities for temporal and spatial simulation of water-limited yeild with AquaCrop. Computer and Electronics in agriculture. 96, 227-237.

Mkhabela, M.S. and P.R. Bullock. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. Agricultural Water Management, 110: 16-24.

Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes and E. Fereres.2009.AquaCrop_the FAO model to simulate yield response to water :I. concepts and underlying principles. Agronomy Journal , 101: 426-437

Aseccing rainfed wheat yield with AquaCrop-GIS model (case study: kurdestan province)

Ghazalleh Ziaii[1], Hossein Babazadeh[2], Niazali Ebrahimipak[3], Kamran Eftekhari[4], Arash Tafteh[5]

1. Phd candidate, Dep. of Water Science and Eng., Science and Research Branch, IAU, Tehran, Iran
rrttgh@gmail.com
2. Professor, Dep. of Water Science and Eng., Science and Research Branch, IAU, Tehran, Iran
3. Associated professor of Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
4. Assistant professor of Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
5. Assistant professor of Department of Irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Abstract

Reinfed wheat as an one of the most important crops in Iran has high dependence to climate . in this study tries to evaluate the rainfed wheat yield in Kurdestan province during 5 years end by 2016 by AquaCrop-GIS model. Model have acceptable efficiency based of statistics criteria in calibration and validation steps and correlation between observed and simulated data was 66%. Also calculated RMSE was 0.3 ton per hectare. The simulation results shows low harvest index and high temperature stress in all part of the province.

Key words: Rainfed Wheat, Kurdestan, AquaCrop-GIS Model

بررسی کارایی مدل‌سالت‌مد در شبیه‌سازی شوری خاک

محمدرضاامداد*[1]، آرش تافته[2]

۱و۲-استادیار بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.*ایمیل نویسنده مسئول: Emdadmr591@yahoo.com

چکیده:

مدل سالت‌مد یکی از مدل‌های کاربردی بوده که به منظور شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک در شرایط مختلف بکار می‌رود. این پژوهش در سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ در اراضی گندمکاری دشت آزادگان استان خوزستان و در سه منطقه رامسه(خاک شور)، عتابیه(خاک خیلی شور) و حمیدیه(خاک غیر شور) با هدف ارزیابی این مدل در شرایط شور اجرا شد. در این راستا سه قطعه ۱۰ هکتاری در هر منطقه انتخاب و در هریک از این قطعات یک پایلوت به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد. در سال اول این مدل مورد واسنجی و در سال دوم برای سه شرایط خاک از نظر شوری در سه منطقه گندم‌کاری عتابیه، حمیدیه و رامسه (استان خوزستان) بمنظور بررسی تغییرات شوری خاک مورد استفاده واقع گردید. مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری شده در سه لایه (۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر) با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل سالت‌مد تفاوت معنی‌داری نداشته و محدوده تغییرات خطای استاندارد شوری خاک بین ۰/۸۱ تا ۱/۱، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده ۰/۱۸ و میانگین انحراف خطای شوری خاک ۰/۱۳- بدست آمد. این مدل از قابلیت، کارایی و دقت بالایی در شبیه‌سازی شوری خاک برخوردار است.

واژگان کلیدی: آبیاری، شوری، خوزستان، واسنجی.

مقدمه:

مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی از ابزارهای مهم و کارا در مطالعه و بررسی تاثیر شرایط و سناریوهای متفاوت مدیریتی بر روابط آب، خاک و گیاه بوده و از آنها می‌توان بمنظور تصمیم‌سازی و یا ارایه سناریوهای مدیریتی متناسب با شرایط منطقه و نیز پیش‌بینی عملکرد گیاهان در شرایط مختلف استفاده کرد. با کمک مدل‌ها می‌توان عملکرد گیاه، تغییرات شوری و رطوبت خاک را در سناریوهای متفاوت مدیریتی شبیه‌سازی نمود. رشد گیاهان زراعی به شرایط آب و هوایی، اقلیمی، خاک و مدیریت آبیاری وابسته است و تغییر در هریک از این شرایط می تواند باعث تغییر در بازدهی و عملکرد محصولات شوند. بنابراین اگر بتوان پیشاپیش با توجه به شرایط حاکم بر منطقه و با اطلاعات موجود، وضعیت عملکرد گیاه را در شرایط مختلف مدیریتی شبیه‌سازی کرد، متعاقبا می‌توان با صرف وقت و هزینه کمتر به نتایج خوب و قابل ترویجی دست یافت.

Nasrollahi et al.(2016) مدل سالت‌مد را در شرایط مختلف مدیریت آبیاری با آبشور برای ذرت مورد ارزیابی قرار دادند. متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال درشبیه سازی عملکرد، بیوماس و تغییرات شوری خاک به ترتیب ۳/۲ ، ۲/۴ و ۹/۵ درصد محاسبه گردیدکه بیانگر دقت و کارایی بالای مدل در شبیه سازی عملکرد و تغییرات شوری خاک می باشد. Ziaii et al.(2014) ، عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize را بمنظور شبیه‌سازی اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت در منطقه کرج(بافت لومی) بررسی و نشان دادند که کارایی هر دو مدل مناسب بوده است. شاخص RMSE در برآورد عملکرد برای مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize به ترتیب بین ۲۰ تا۴۰ و ۲۰ تا ۸۰ درصد گزارش شد. Heidarinia et al.(2017) مدل

آکواکراپ را بمنظور شبیه سازی عملکرد ذرت و شوری خاک در شرایط کیفیت های مختلف آب از نظر شوری بررسی و گزارش نمودند که متوسط خطا برای شوری خاک ۱۰ تا ۱۳ درصد بوده و این مدل دقت کمی در شبیه‌سازی شوری خاک دارد.

Ragab(2015) گزارش کردکه مدل سالت‌مد قابل کاربرد در آبیاری سطحی و قطره‌ای بوده و در سناریوهای مختلف آبیاری(با تغییر دور و عمق آبیاری)، استفاده از آب‌شور و مدیریت‌های مختلف حاصلخیزی(ازنظر نیتروژن) در شرایط مختلف نتایج قابل قبولی را ارائه می‌نماید. Golabi et al.(2009) و Razzaghi et al.(2011) در استفاده از مدل سالت‌مد بمنظور بررسی و شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک بترتیب درکشت نیشکر و کینوا در شرایط شور نشان دادند که تغییرات معنی‌داری در مقادیر شوری خاک شبیه‌سازی‌شده با این مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۵ درصد وجود نداشته و این مدل دقت مناسبی در شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک در هر دو کشت را دارد.

بررسی عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی با استفاده از آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شرایط متناوب استفاده از آب‌شور و غیر شوربا مدل سالت‌مددر ۴ سطح شوری آب آبیاری ۰/۷، ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی زیمنس بر متر نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی عملکرد و شوری خاک در آبیاری زیرسطحی و قطره‌ای دقت مناسبی داشته و بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود ندارد(Dastranj et al., 2018).

Ranjbar et al.(2015) در استفاده از مدل سالت‌مد در شرایط شور برای گیاه سورگوم گزارش نمودند که تفاوت معنی داری بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه‌گیری شده شوری خاک وجود نداشته است. شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نرمال برای شوری خاک در محدوده ۰/۱۸ تا ۰/۲۳ وبیشترین خطای متوسط شبیه سازی شده در تعیین شوری خاک، در لایه دوم (۳۰ تا ۶۰ سانتی متری) به میزان ۱/۸۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شد.

ازآنجاکه بررسی تغییرات شوری خاک در مدیریت‌ها و روش‌های مختلف آبیاری در گیاهان زراعی نیاز به‌صرف هزینه و زمانبر می‌باشد و در عمل امکان اجرای سناریوهای مختلف آبیاری به‌منظور بررسی تغییرات شوری خاک در شرایط مختلف مقدور نیست، لذا استفاده از مدل‌های کاربردی مانند سالت‌مد این امکان را فراهم می‌آورد تا پس از واسنجی و اعتبار سنجی بتوان سناریوهای مختلف مدیریتی را در راستای افزایش عملکرد محصول و پیش‌بینی تغییرات شوری خاک با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی و بمنظور ارتقا بهره وری آب توصیه نمود. نظر به اینکه شوری خاک یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر عملکرد و کارایی مصرف آب بوده و در منطقه مورد مطالعه(دشت آزادگان استان خوزستان) نیز خاک از درجات مختلف شوری برخوردار است، لذا ضروری است که در راستای ارتقا بهره وری آب، تغییرات عملکرد گندم و شوری خاک در سطوح شوریهای مختلف با سناریوهای آبیاری معمول زارعین منطقه بررسی گردد. در این ارتباط کارایی مدل سالت‌مد پس از واسنجی و اعتبار سنجی بمنظور تغییرات شوری خاک در شرایط شوری های مختلف و در راستای پایداری منابع آب و خاک مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ در اراضی گندمکاری دشت آزادگان استان خوزستان و در سه منطقه رامسه(خاک شور)، عتابیه(خاک خیلی شور) و حمیدیه(خاک غیر شور) اجرا شد. در این راستا سه قطعه ۱۰ هکتاری در هر منطقه انتخاب و در هریک از این قطعات یک پایلوت به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع به‌منظور ارزیابی و اندازه‌گیری در نظر گرفته شد. از اطلاعات سال اول بمنظور واسنجی مدل سالت‌مد و از اطلاعات میدانی سال دوم در راستای اعتبارسنجی نتایج استفاده شد. بذرگندم مورداستفاده رقم چمران و به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هر هکتار استفاده شد. نمونه برداری از خاک از سه عمق در ابتدا و انتهای دوره به همراه نمونه برداری از آب به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی انجام شد. بر این اساس در سال اول(۹۴-۹۳)، با استفاده از مقادیر شوری اولیه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نسبت به شبیه‌سازی و بررسی تغییرات شوری خاک با استفاده از مدل سالت‌مد و مقایسه آن با مقادیر اندازه‌گیری شده اقدام شد. در طول فصل زراعی نیز از آمار و اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اهواز(شامل درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، بارندگی، ساعت آفتابی و سرعت باد) به‌منظور تعیین تبخیر-تعرق سطح مرجع و تبخیر-تعرق گندم استفاده شد. همچنین در طول فصل زراعی حجم آب آبیاری، ساعت آبیاری، عمق توسعه ریشه اندازه‌گیری و تعیین گردید. با توجه به اطلاعات اندازه‌گیری شده، مدل سالت‌مد برای شرایط سال اول کشت مورد واسنجی قرار گرفت. از داده های اندازه‌گیری شده سال دوم مزارع منتخب در مناطق سه گانه بمنظور اعتبارسنجی

مدل در سه شرایط غیر شور، شور و شوری زیاد استفاده گردید. جدول ۱ برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مناطق مورد نظر را ارائه می نماید. جدول ۲ ویژگی های کیفی آب آبیاری مناطق مورد نظر را نشان می دهد. همانگونه که از جدول ۱ ملاحظه می‌گردد بافت غالب خاک مناطق مورد نظر لوم‌رسی می‌باشد. خاک مناطق حمیدیه، رامسه و عتابیه بترتیب دارای شوری کم، متوسط و زیاد هستند. کیفیت آب آبیاری مورد استفاده بامیانگین شوری ۲ دسی زیمنس بر متر از نظر شوری مناسب و طبق طبقه بندی ویلکوکس در کلاس C3-S1 (شوری زیاد با نسبت جذبی سدیمی کم) قرار گرفته و محدودیتی برای کاشت گندم ندارد.

جدول ۱- میانگین برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک پایلوت ها

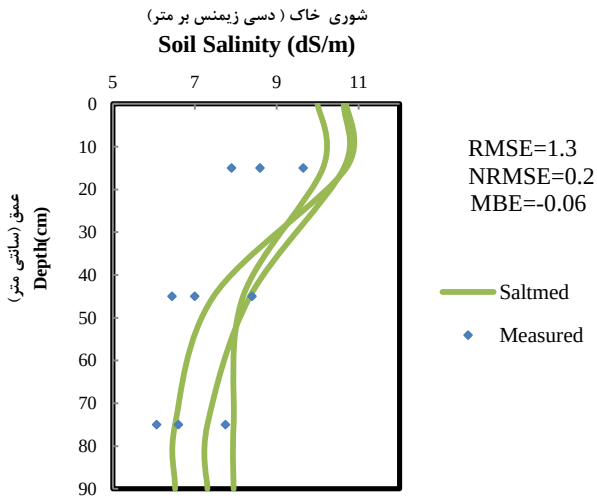
منطقه	عمق (cm)	بافت خاک	رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (%)	رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی (%)	جرم مخصوص ظاهری ($g.\ cm^{-3}$)	هدایت الکتریکی ($dS.\ m^{-1}$)	نسبت جذبی سدیم
رامسه	0-30	Clay Loam	31.9	19.0	1.48	8.4	4.3
	30-60	Clay Loam	36.4	23.0	1.53	8.5	5.1
	60-90	Clay Loam	36.4	23.0	1.53	7.5	5.4
عتابیه	0-30	Clay Loam	35.2	20.8	1.59	16.4	33.8
	30-60	Silty Clay	36.1	21.3	1.64	9.8	31.1
	60-90	Clay Loam	37.9	24.1	1.66	7.3	33.5
حمیدیه	0-30	Clay Loam	38.0	19.9	1.48	3.5	3.4
	30-60	Clay Loam	34.9	14.0	1.52	2.6	3.6
	60-90	Clay Loam	30.9	13.9	1.50	3.4	2.9

جدول ۲– ویژگی های کیفی آب آبیاری در پایلوت های منتخب

منطقه	EC dSm^{-1}	pH	HCO3- $meqlit^{-1}$	Ca++ $meqlit^{-1}$	Mg++ $meqlit^{-1}$	Na+ $meqlit^{-1}$	SAR
حمیدیه و رامسه	1.9	7.9	1.7	7.0	7.5	8.0	3.0
عتابیه	2.3	7.8	1.9	6.4	4.6	9.1	3.7

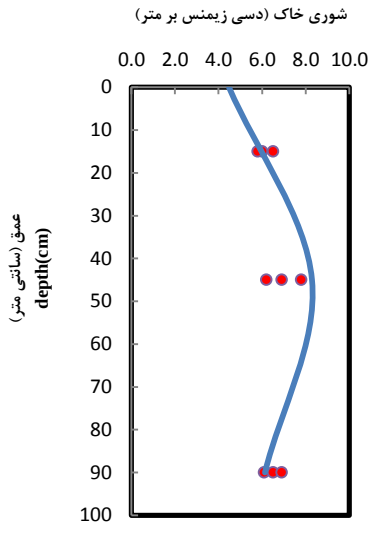
نتایج و بحث

شکل ۱ تغییرات شوری پروفیل خاک شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در عمق های ۳۰ - ۰، ۶۰ - ۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی متری در پایان دوره رشد گندم(پس از برداشت) را با یکدیگر مقایسه می کند. شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و میانگین انحراف خطای مدل در شبیه سازی شوری خاک ، نشان می‌دهند که مقادیر شبیه سازی شده شوری خاک در سه عمق با مقادیر اندازه‌گیری شده همخوانی دارند.

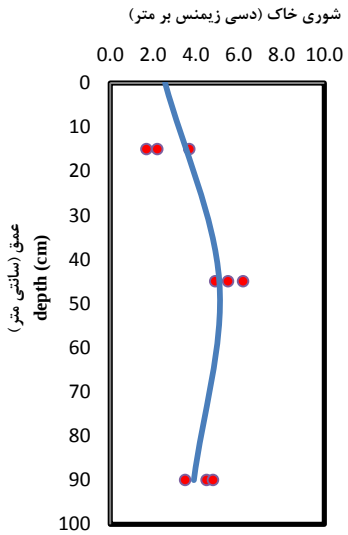


شکل۱– مقایسه تغییرات شوری خاک شبیه سازی شده بامقادیر اندازه‌گیری در عمق‌های ۰ تا ۳۰، ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۹۰ سانتی متری(سال اول، پس از برداشت)

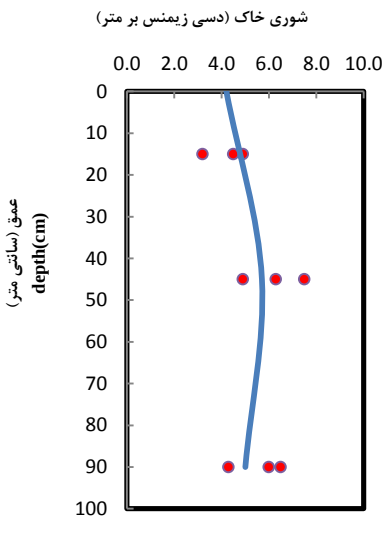
شکل های ۲ ، ۳ و ۴ روند تغییرات شوری خاک شبیه سازی و اندازه‌گیری شده در سه خاک موردنظر را بترتیب در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی متر ارائه می کند. از شکل های مذکور ملاحظه می گردد که روند تغییرات شوری خاک شبیه سازی شده با مدل سالت‌مد در سه خاک خیلی شور، شور و غیر شور در سه لایه خاک مورد نظر نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده می باشد.



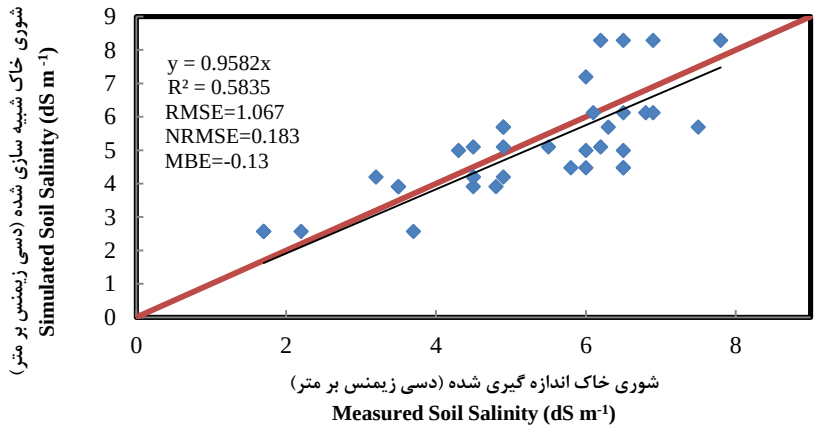
شکل۲- مقایسه مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه سازی شده با مدل سالت‌مد در خاک خیلی شور



شکل۳- مقایسه مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه سازی شده با مدل سالت‌مد در خاک غیر شور



شکل۴- مقایسه مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه سازی شده با مدل سالت-مد در شرایط خاک شور



شکل ۵ -روند تغییرات مقادیرشوری خاک شبیه سازی شده با مدل سالت‌مد و مقادیر اندازه‌گیری شده (در سه لایه خاک) را به همراه شاخص های آماری در سه شرایط شور، خیلی‌شور و غیرشور ارائه می نماید.

با توجه به شکل ۵ ملاحظه می‌گردد که این مدل با داشتن ریشه میانگین مربعات خطای نرمال و میانگین خطای انحراف بترتیب ۰/۱۸ و ۰/۱۳ - از دقت مناسبی در شرایط مختلف خاک از نظر شوری برخوردار است. خطای استاندارد در لایه های ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی متر بترتیب ۱/۱، ۱/۰۵ و ۰/۸۱ دسی زیمنس بر متر می باشد. از طرف دیگر شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) در لایه اول(۰/۱۹) و دوم(۰/۲۲) بیشتر از لایه سوم(۰/۱۲)بوده که نشانگر این است که مدل لایه اول(۳۰-۰ سانتی متر) و لایه دوم(۶۰-۳۰ سانتی متر) را با دقت کمتری نسبت به لایه سوم(۹۰-۶۰ سانتی متر) شبیه سازی می نماید.

نتیجه گیری نهایی

مقادیر شوری خاک اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در سه لایه مورد نظر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. محدوده تغییرات خطای استاندارد شوری خاک بین ۰/۸۱ تا ۱/۱، ریشه میانگین و مربعات خطای نرمال شده ۰/۱۸ و میانگین انحراف خطای شوری خاک ۰/۱۳- حاصل گردید. از طرف دیگر شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) در لایه اول(۰/۱۹) و دوم(۰/۲۲) بیشتر از لایه سوم(۰/۱۲)بوده که نشانگر این است که مدل لایه اول(۳۰-۰ سانتی متر) و لایه دوم(۶۰-۳۰ سانتی متر) را با دقت کمتری نسبت به لایه سوم(۹۰-۶۰ سانتی متر) شبیه سازی می نماید. بنابراین ملاحظه می گردد که دقت این مدل در شبیه سازی شوری خاک در لایه‌های سطحی کمتر از لایه‌های عمقی می باشد. بنابراین با توجه به نتایج و شاخص‌های آماری اشاره شده، این مدل از کارایی و دقت مناسبی در شبیه‌سازی تغییرات شوری خاک در شرایط مختلف خاک از نظر شوری برخوردار بوده و می‌توان از این مدل به منظور پیش‌بینی تغییرات شوری خاک در استفاده نمود.

منابع

Dastranj M. Noshadi M. Sepaskhah A. R. Razzaghi F. and Ragab R. 2018. Soil salinity and tomato yield simulation using Saltmed Model in drip Irrigation. Irrigation and Drainage Engineering,144(2):7001-7022.

Golabi M. Naseri A. A. and Kashkuli H. A. 2009. Evaluation of Saltmed model performance in irrigation and drainage of sugarcane farms in Khuzestan province of Iran. Food. Agriculture and Environment, 7(2):874-880.

Heidarinia, M., BoroomandNasab, S., Naseri, A. Albaji, M. 2017.AquaCrop model evaluation to estimate of Maize yield and soil salinity under different agriculture managements and irrigation with saline water. Iranian. J. Soil and Water. Research.48(1):49-61.(in Persian with English abstract)

Nasrollahi, A., Hooshmand, A., Heydarinia, M. 2016. Evaluation of the SALTMED model under different managements of drip irrigation with saline water. Iranian. J. Soil and Water. Research. 47(3):561-567.(In Persian with English abstract)

Ragab R. Malash N. Abdel Gawad G. Arsalan, A. and Ghaibeh A. 2005. A holistic generic integrated approach for

irrigation, crop and field management The Saltmed model validation using field data of five growing seasons from Egypt and Syria. Agricultural Water Management, 78:89-107.
Ragab, R.2015. Integrated Management Tool for Water, Crop, Soil and N- Fertilizers: The Saltmed Model. Irrigation and Drainage.64 (1): 1-12.
Ranjbar, G.H., Ghadiri, H., Razzaghi, F., Sepaskhah, A.R., and Edalat. M. 2015. Evaluation of the SALTMED model for sorghum. International Journal of Plant Production. 9 (3):373-392.
Razzaghi F. Plauborg F. Ahmadi S. H. Jacobsen S-E. Anderson M. N. and Ragab R. 2011.Simulation of quinoa (chinopodium quinoa wild.) response to soil salinity using the Saltmed model. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage.15-23 Oct.Tehran, Iran.56 (3):25-32.
Ziaii, G., Babazadeh, H., Abbasi, F., and Kaveh, F.2014. Evaluation of the Aquacrop and CERES-Maize models in assessment of soil water balance and maize yield. Iranian Journal of Soil and Water Research.45 (4):435-445. (In Persian with English abstract)

Evaluation of SALTMED Model in Simulation Soil Salinity

Mohammadreza Emdad, Arash Tafteh
Assistant professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Abstract:
SALTMED model is one of the most practical tools for simulating soil salinity. This study was carried out in wheat fields of Azadegan plain in Khuzestan province during 2014-2015 in three regions including Ramseh (as saline soil), Atabieh (as very saline soil) and Hamidieh(as control, non-saline soil). First year data were used to calibrate the SALTMED model and second year field data were used to validate the model and to achieve the results in three conditions. The measured and simulated soil salinity values in the three layers were not significantly different. The range of standard error of soil salinity error ranged between 0.81 to 1.1, root mean square and normalized error of 0.18 and mean soil salinity error deviation of -0.13. Therefore, according to the results and statistical indices, this model has good performance and accuracy in simulating soil salinity variations in different soil conditions.

Keywords: Calibration, Khuzestan, Salinity, Irrigation.

پهنه بندی ارزیابی تناسب اراضی برای انواع روش‌های آبیاری سطحی و تحت فشار با استفاده از زمین آمار در اراضی تراس بالایی ارس در پارس آباد مغان

زهره بندلی زاده[1] و حسین ترابی گل سفیدی[2]

۲- نویسنده ی مسئول: استادیار گروه علوم خاک دانشگاه شاهد htorabi@shahed.ac.ir

۱- دانش آموخته ی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشگاه شاهد

چکیده

یکی از اولویتهای اصلی بخش کشاورزی استفاده صحیح از منابع آب و خاک است. این مطالعه با هدف تعیین توانمندی خاک و اراضی این منطقه جهت انتخاب روش آبیاری مناسب انجام شد. برای انجام این تحقیق از نتایج مورفولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی ۴۵۴ خاکرخ، در اراضی واحد دوم عمرانی خداآفرین به مساحت تقریبی ۱۲۵۰۰ هکتار استفاده گردید. هفت خصوصیت خاک تا عمق ۱۰۰ سانتیمتری به روش پارامتریک، برای محاسبه شاخص ظرفیت آبیاری (Ci) سطحی، بارانی و قطره‌ای استفاده گردید. بررسی‌های واریوگرافی شاخص‌ها برای هر سه شاخص تناسب آبیاری نشان داد که داده‌ها دارای ساختار فضایی متوسطی هستند. مدل برازش داده شده بر واریوگرام تجربی برای هر سه شاخص تناسب آبیاری، نمایی بود. خطای پهنه‌بندی به روشIDW کمتر از روش کریجینگ بوده است. نتایج پهنه‌بندی به روش IDW نشان داد که ۴۳۷۰ هکتار از اراضی مورد مطالعه برای آبیاری سطحی در کلاس S1، ۶۱۷۲ هکتارS2، ۲۱۴۵ هکتارS3، ۳۵۲ هکتارN1 و ۱۷ هکتارN2 بودند. در روش آبیاری بارانی ۲۲۴۶ هکتار در کلاسS1، ۷۸۰۹ هکتار S2، ۱۰۱۸ هکتار S3، ۵۲ هکتار N1 و در روش آبیاری قطره‌ای ۹۲۹ هکتارS1، ۹۷۱۵ هکتار S2، ۴۱۶۸ هکتار S3 و ۱۶۰ هکتار N1 بودند. مهم‌ترین عوامل محدود کننده در دو روش آبیاری سطحی و بارانی، پارامترهای فیزیکی خاک (بافت و گچ) و شیب و در روش آبیاری قطره‌ای نیز پارامترهای فیزیکی خاک بوده ولی شیب تاثیر بسیار کمتری در کاهش تناسب آبیاری قطره‌ای داشت.

واژگان کلیدی: روش پارامتریک، شاخص ظرفیت آبیاری، کلاس تناسب آبیاری، کریجینگ، وزن دهی معکوس فاصله

مقدمه

یکی از اولویت های اصلی بخش کشاورزی استفاده صحیح از منابع آب و خاک است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک آب مهم‌ترین عامل محدودکننده توسعه کشاورزی است و انتخاب روش‌های مناسب آبیاری جهت افزایش کارآیی آب یکی از راه‌های مدیریتی موثر در راستای ارتقای بهره‌وری از منابع آب به شمار می‌رود. در این رابطه علاوه بر مسائل فنی و اقتصادی، تناسب اراضی برای آبیاری نیز بایستی مدنظر قرار گیرد.

اساس تهیه دستورالعمل ارزیابی تناسب اراضی برای آبیاری، Sys et al.(1991) می‌باشند. هدف از سیستم ارزیابی پارامتریک، ارائه روشی کمی است که اجازه ارزیابی اراضی برای اهداف آبیاری را فراهم می‌نماید و اساس آن، خصوصیات قابل اندازه‌گیری ظاهری و مشخصات فیزیکی و شیمیایی نیمرخ خاک است. Dengiz(2006) روش‌های مختلف تناسب آبیاری را برطبق روش ارزیابی پارامتریک در اراضی مزرعه آزمایشی مرکز تحقیقات جنوب آنکارا بررسی و با تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی خاک، توپوگرافی، شوری، زهکشی نشان داد که ۱۳/۱ درصد از اراضی منطقه برای آبیاری سطحی کاملاً مناسب و ۵۱/۲ درصد اراضی برای آبیاری قطره‌ای و موضعی کاملاً مناسب می‌باشند و در نهایت روش آبیاری قطره‌ای را به عنوان بهترین روش آبیاری برای بیش از نیمی از ناحیه تحت مطالعه پیشنهاد داد.

Barberis and Minelli (2005) طبقه‌بندی تناسب اراضی برای دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای را با کمک سیستم پارامتریک اصلاح شده بر طبق روش پیشنهادی Sys et al.(1991) در شهر شویانگ چین انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که به علت ژئومورفولوژی خاص، تناسب اراضی برای آبیاری سطحی ۳۴ درصد کمتر از آبیاری قطره‌ای ۶۲ درصد

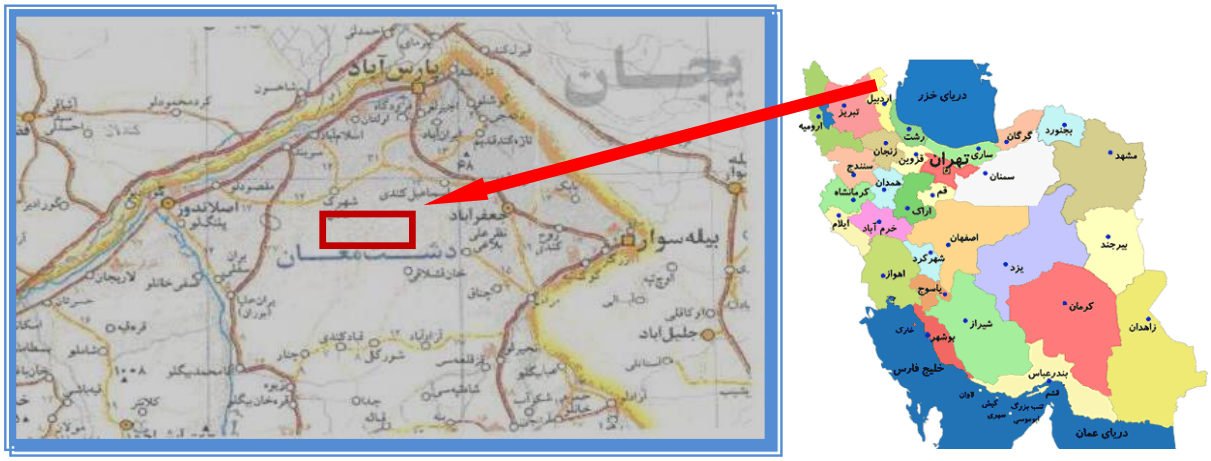
است. الباجی و همکاران (۱۳۸۶) در ارزیابی تناسب آبیاری در اراضی دشت شاوور خوزستان به روش پارامتریک و با استفاده از GIS نشان دادند که ۱۴۹۵۲ هکتار از اراضی منطقه مورد مطالعه برای آبیاری قطره‌ای بسیار مناسب (S1)می‌باشد.

ترابی گل سفیدی (۱۳۹۴) با تلفیق دستورالعمل تهیه شده برای آبیاری سطحی توسط Sys et al.(1991) و همچنین دستورالعمل Dengiz(2006) برخی از خصوصیات مورد استفاده در این دستورالعمل را اصلاح و ارائه کرد. هدف از انجام این تحقیق، تعیین کلاس های تناسب برای روش های مختلف آبیاری و مقایسه ی روش کریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله در پهنه بندی شاخص های ظرفیت آبیاری (Ci) در اراضی واحد دوم عمرانی خداآفرین در شهرستان پارس آباد می باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

دشت مغان در شمال غربی ایران در موقعیت شمال استان اردبیل و در همسایگی کشور آذربایجان واقع شده است. محدوده دشت مغان شامل سه شهرستان پارس آباد، بیله سوار و گرمی می‌باشد. رودخانه ارس به عنوان رودخانه مرزی و مشترک بین کشور ایران و آذربایجان در بخش شمال دشت مغان جریان دارد. زمین نما و شکل زمین غالب در منطقه مورد مطالعه، پادگانه (تراس) فوقانی ارس می‌باشد. منطقه مورد مطالعه، اراضی واحد عمرانی دوم خداآفرین با مساحتی حدود ۱۲۵۰۰ هکتار در محدوده شهرستان‌های پارس‌آباد و بیله‌سوار در حد فاصل ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۹ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی، این محدوده از طرف شمال به کانال اصلی مغان، از سمت جنوب با خط ارتفاعی موسوم به تراز ۳۰۰ متر از سطح دریا اطراف کانال اصلی در دست احداث، از سمت غرب با محدوده اراضی پایاب و پمپاژ فتحعلی و از سمت شرق با اراضی مرتعی نزدیک جعفر آباد محدود می باشد. در این منطقه، میانگین دمای سالانه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۲۷۸ میلی‌متر، میانگین رطوبت نسبی هوا ۷۳/۸ درصد و میانگین سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل ۱۰۲۳/۸ میلی‌متر می‌باشد. این منطقه دارای رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی اریدیک ضعیف در مرز رژیم رطوبتی زریک می‌باشد.



شکل ۱ – محدوده محلی، استانی و کشوری منطقه مورد مطالعه

داده خاک– در این مطالعه ۴۵۴ خاکرخ به روش شبکه بندی منظم به ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ متر مربع (۲۵ هکتار) حفر گردیده و تمامی خاکرخ‌ها تشریح شده و از کلیه لایه‌ها یا افق‌های ژنتیکی مورد مطالعه، جمعاً به تعداد ۲۵۰۰ افق خاک، نمونه‌برداری صورت گرفته و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی مربوطه در آزمایشگاه انجام شده است. با توجه به نتایج حاصله خاک‌های منطقه در دو سیستم رده‌بندی جدید آمریکایی (U.S.D.A. Keys to Soil Taxonomy, 2010) تا حد

فامیل خاک طبقه‌بندی شده‌اند و همچنین بر اساس سایر اطلاعات موجود تا حد فاز سری نیز جدا گردیده‌اند. در مجموع خاک‌های منطقه مورد مطالعه در دو رده ی اریدی‌سول و انتی‌سول، ۵ زیر رده، ۸ گروه‌بزرگ، ۱۲ زیرگروه‌بزرگ و ۴۱ سری خاک قرار گرفته‌اند (ترابی گل سفیدی، ۱۳۹۲).

انجام ارزیابی تناسب آبیاری به روش پارامتریک

به هر یک از خصوصیات اراضی مورد اشاره که روی تناسب خاک برای آبیاری موثر هستند، براساس دستورالعمل و جداول (ترابی گل سفیدی، ۱۳۹۴ و دنگیز، ۲۰۰۶) ، امتیاز صفر تا ۱۰۰ داده می‌شود. سپس براساس رابطه‌ی زیر شاخص ظرفیت برای آبیاری[1] محاسبه می‌گردد (سایز و همکاران، ۱۹۹۱).

$$Ci = A \cdot \frac{B}{100} \cdot \frac{C}{100} \cdot \frac{D}{100} \cdot \frac{E}{100} \cdot \frac{F}{100} \cdot \frac{G}{100}$$

Ci: شاخص ظرفیت برای آبیاری، A: درجه (امتیاز) بافت خاک، B: درجه عمق خاک، C: درجه وضعیت آهک$CaCO_3$ D: درجه وضعیت گچ $CaSO_4.2H_2O$ ، E: درجه شوری/ سدیمی، F: درجه زهکشی، G: درجه شیب

کلاس‌های ظرفیت (تناسب) آبیاری براساس مقدار Ci مطابق جدول تعیین می‌گردد.

جدول۱- شاخص‌های ظرفیت برای تعیین کلاس ظرفیت آبیاری

توصیف کیفی	کلاس	مقدار شاخص ظرفیت آبیاری (Ci)
عالی (Excellent)	**I or S1**	**> 80**
مناسب (Suitable)	**II or S2**	**60-80**
نسبتاً مناسب (Slightly Suitable)	**III or S3**	**45-60**
تقریباً نامناسب (Almost Unsuitable)	**IV or N1**	**30-45**
نامناسب (Unsuitable)	**V or N2**	**< 30**

برای کلاس‌های ۲ تا ۵ می‌توان بر اساس عامل یا عوامل محدود کننده، به شرح زیر تحت کلاس تعیین نمود:

S: محدودیت‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک A، B، C، D

n: محدودیت‌های مربوط به شوری/ سدیمی E

w: محدودیت‌های مربوط به خیسی خاک یا زهکشی F

t: محدودیت‌های پستی و بلندی G

نتایج و بحث

پس از محاسبه شاخص تناسب برای سه روش آبیاری برای ۴۵۴ پروفیل خاک، اقدام به پهنه‌بندی این شاخص‌ها از نقشه‌های نقطه‌ای به نقشه‌های پیوسته تناسب آبیاری گردید. مقدمات انجام این فرایند بررسی آماره‌های توصیفی، واریوگرافی و بررسی وجود وابستگی یا عدم وابستگی مکانی داده هاست. جدول۲ آمار توصیفی شامل میانگین، واریانس، مقادیر ماکزیمم و مینیمم کشیدگی چولگی و ضریب تغییرات شاخص‌های تناسب آبیاری را نشان می‌دهد.

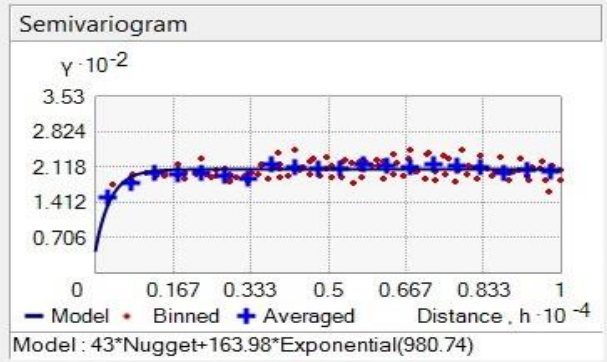
جدول۲- آمار توصیفی شاخص‌های ارزیابی تناسب آبیاری

متغیر	تعداد	مینیمم	ماکزیمم	میانگین	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات
شاخص تناسب برای آبیاری سطحی	۴۵۴	۲۵/۶	۱۰۰	۷۲/۵۳	-۰/۴۳	-۰/۴۹۵	۰/۱۹۹
شاخص تناسب برای آبیاری بارانی	۴۵۴	۳۹/۶	۹۵	۷۴/۴۲	-۰/۴۷	-۰/۱۰۸	۰/۱۳۹
شاخص تناسب برای آبیاری قطره‌ای	۴۵۴	۳۸/۳	۸۵/۵	۶۷/۹۶	-۰/۳۹	-۰/۲۹۸	۰/۱۴۳

[1] Capability Index for Irrigation

با توجه به جدول شاخص آبیاری بارانی دارای بیشترین میانگین و شاخص آبیاری قطره‌ای دارای کمترین میانگین است. واریانس که معیاری از پراکندگی مقادیر در اطراف میانگین می‌باشد برای شاخص آبیاری سطحی بیشترین و برای شاخص آبیاری قطره‌ای کمترین مقدار را دارا می‌باشد. ضریب تغییرات یا CV که معیاری از تغییر پذیری نسبی می‌باشد برای هر سه شاخص آبیاری سطحی و بارانی و قطره‌ای کمتر از ۰/۲۵ (۲۵ درصد) بوده و بر اساس طبقه‌بندی ویلدینگ و درس در گروه تغییرات کم تا متوسط قرار می‌گیرند(Wilding and Drees, 1983).

بهترین مدل برازش داده شده برای هر سه شاخص‌های تناسب آبیاری، مدل نمایی (شکل۲) با مقدار ضریب تبیین (R^2) ۰/۶ تا ۰/۷۵ است که نشان از مطلوب نبودن آن است. از طرفی بررسی استحکام ساختار فضایی شاخص ها با کمک نسبت $C_0/(C+C_0)$ برای هر کدام از آنها نشان داد که مقدار آن بیشتر از ۰/۵ و کمتر از ۰/۷ است. مقادیر ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ این نسبت، نشان دهنده‌ی وجود ساختار مکانی متوسط می‌باشد (حسنی پاک، ۱۳۸۹).

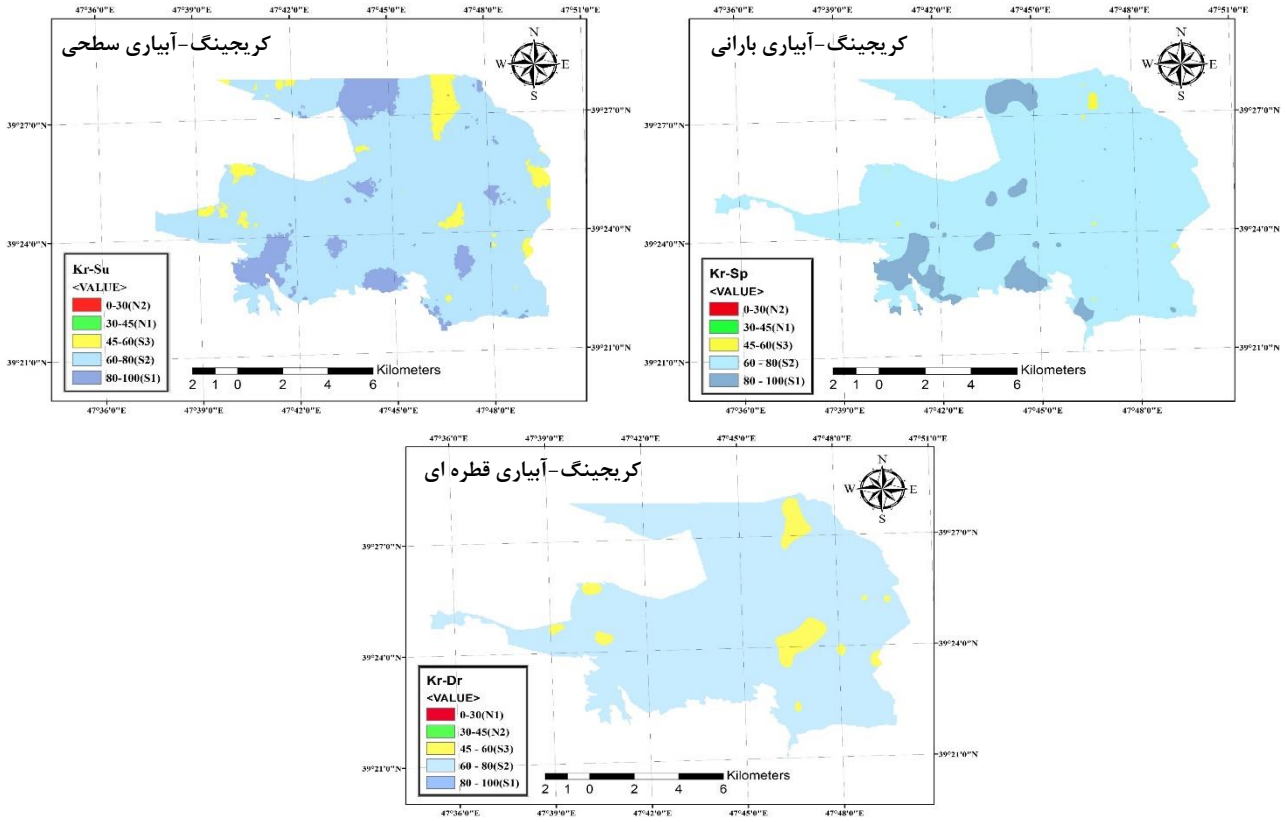


شکل۲- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل برازش داده شده شاخص آبیاری سطحی

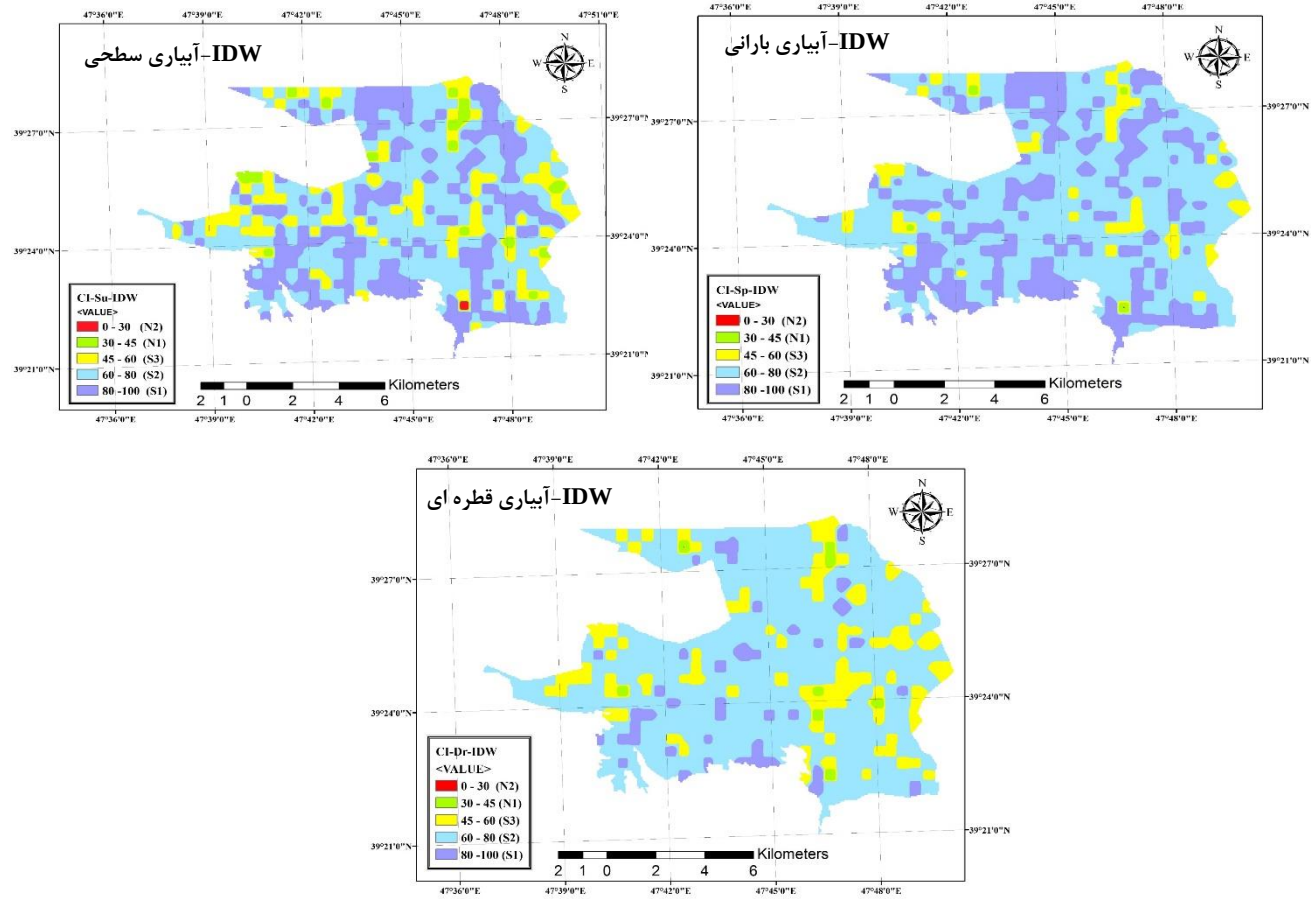
نتایج ارزیابی درون‌یابی کریجینگ نشان داد که در پهنه‌بندی شاخص‌های تناسب آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای، میزان ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به ترتیب برابر ۰/۸۹۵ ، ۰/۹۲۷ و ۰/۹۴۸ می‌باشند که اگر میزان این خطا بین ۰/۷۵ تا ۱ باشد، صحت تخمین خیلی ضعیف و اگر کمتر از ۰/۲۵ باشد عالی است. با این وجود نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های تناسب آبیاری به روش کریجینگ تهیه و در شکل۳ نشان داده شده است. به دلیل زیاد بودن خطای تخمین در روش کریجینگ از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) نیز برای درون یابی شاخص‌های تناسب آبیاری استفاده و نقشه‌های آنها در شکل۴ نشان داده شده است. ارزیابی درون یابی انجام شده به روش IDW نشان داد که ریشه میانگین مربعات خطا برای شاخص تناسب آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۳۰ و ۰/۲۵ می‌باشد که نشان دهنده‌ی صحت تخمین قابل قبول است.

نتیجه‌گیری

نتایج پهنه‌بندی به روش کریجینگ نشان داد که ۱۲۰۰ هکتار از اراضی مورد مطالعه برای آبیاری سطحی در کلاس S1، ۱۰۸۹۴ هکتار در کلاس S2 و ۶۳۴ هکتار در کلاس S3 بودند. در روش آبیاری بارانی, ۱۱۳۰ هکتار در کلاس S1, ۱۱۹۸۱ هکتار کلاس S2 و ۴۱ هکتار در کلاس S3 بودند و در روش آبیاری قطره‌ای, ۱۲۴۹۲ هکتار در کلاس S2 و ۶۶۳ هکتار در کلاس S3 بودند. نتایج پهنه‌بندی به روش IDW نیز نشان داد که ۴۳۷۰ هکتار از اراضی مورد مطالعه برای آبیاری سطحی S1، ۶۱۷۲ هکتار S2، ۲۱۴۵ هکتار S3، ۳۵۲ هکتار N1 و ۱۷ هکتار N2 است. در روش آبیاری بارانی ۲۲۴۶ هکتار S1، ۷۸۰۹ هکتار S2، ۱۰۱۸ هکتار S3، ۵۲ هکتار N1 و در روش آبیاری قطره‌ای ۹۲۹ هکتار S1، ۹۷۱۵ هکتار S2، ۴۱۶۸ هکتار S3 و ۱۶۰ هکتار N1 بودند. خطای پهنه‌بندی به روشIDW کمتر از روش کریجینگ بوده است. پهنه بندی به روش کریجینگ به علت خصوصیت نرم کنندگی آن(smoothing) نتوانست نقاط محدود با کلاس نامناسب را نمایش دهد. مهم‌ترین عوامل محدود کننده با توجه به تحت کلاس‌ها در دو روش سطحی و بارانی، پارامترهای فیزیکی خاک (بافت و گچ) و شیب و در روش آبیاری قطره‌ای بیشترین محدودیت برای پارامترهای فیزیکی خاک (بافت، گچ و کربنات کلسیم) بدست آمد ولی شیب تاثیر بسیار کمتری در کاهش تناسب آبیاری قطره‌ای داشت.



شکل۳- پهنه‌بندی تناسب اراضی برای شاخص آبیاری سطحی، بارانی و قطره ای با استفاده از کریجینگ



شکل۴- پهنه‌بندی تناسب اراضی برای شاخص آبیاری سطحی، بارانی و قطره ای با استفاده از روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW)

منابع

۱- الباجی، م. (۱۳۸۶). ارزیابی تناسب اراضی برای زراعت آبی به دو روش آبیاری تحت‌فشار (قطره‌ای) و سطحی (غرقابی) برای محصولات عمده زراعی در دشت شـاوور. پایان‌نامه کارشناسـی ارشـد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۷۷ص.

۲- ترابی گل سفیدی، ح. (۱۳۹۲). نقشه برداری تفصیلی خاک و پهنه بندی دقیق برخی از مهم ترین خصوصیات آن در ۱۲۵۰۶ هکتار اراضی خداآفرین (واحد عمرانی۲) دشت مغان با استفاده از روش زمین آمار و GIS. گزارش نهایی طرح کاربردی، معاون پژوهش و فناوری نوین دانشگاه شاهد، ۵۷۵ ص.

۳- ترابی گل سفیدی ح. (۱۳۹۴). دستورالعمل ارزیابی تناسب اراضی برای روش‌های آبیاری به روش پارامتریک، شرکت مهندسین مشاور جاماب، ۲۱ ص.

۴- حسنی پاک، ع. ا. (۱۳۸۹). زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات دانشگاه تهران.

5- Dengiz, O. (2006). Comparison of different irrigation methods based on the parametric evaluation approach. *Turkish journal of agriculture and forestry*, *30*(1), 21-29.

6- Barberis, A., and Minelli, S. (2005). Land Evaluation in the Shouyang County, Shanxi Province, China. 25th Course Professional Master. 8th Nov 2004-23 Jun 2005. IAO, Florence, Italy.

7- Sys, Ir. C., Vanrast, E. and Debaveye, Ir. J. (1991). Land Evaluation. Part 2. Methods in land evaluation. Ghent, Belgium. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists. Ghent University, Ghent. 247 pp

8- Wilding, L. P., and Drees, L. R. (1983). Spatial variability and pedology. Capítulo 4: Wilding, LP, Smeck, NE & Hall, GF (eds.): Pedogenesis and soil taxonomy I. Concepts and interactions. *Developments in Soil Science A*, *11*.

Mapping of Land Suitability Evaluation for Surface and Under Pressure Irrigation by Geostatistic Methods on Upper Terrace of Aras River in ParsAbad-e-Moghan

Zohreh andalizadeh[1] and Hossein Torabi-Golsefidi[2]

2. Corresponding Author: Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shahed University, htorabi@shahed.ac.ir
1. MSc. Graduated of Shahed University

Abstract

One of the main priorities of the agriculture is the proper use of water and soil resources. Land suitability evaluation for irrigation was carried out based on the morphological, physical and chemical characteristics of 454 soil profiles on the 12500 hectares of the second development unit of Khoda-afarin. The study area was located on the upper terrace of Aras River in ParsAbad Township. Seven soil characteristics were used for calculation of irrigation capacity index (Ci) for three methods of surface, sprinkler and drip irrigation. The weighted average of the above soil characteristics were calculated up to 100 cm depth of soil profile by parametric method. Geostatical analysis and interpolation of soil properties were carried out by kriging and IDW, then their maps were prepared by ArcGIS10.1. Exponential models were fitted for all of Ci. The variography studies of indices showed that the spatial variability structure was not strong (r=0.65 to 0.75 and C0/C+C0=0.5 to 0.75). Root mean square error (RMSE) for IDW mapping was less than RMSE of Kriging. Mapping of Ci by inverse distance weighting (IDW) method showed that the suitability classes for surface irrigation were 4370 ha S1, 9172 ha S2, 2145 ha S3, 352 ha N1, and 17 ha N2 respectively. The suitability classes for sprinkler irrigation were 2246 ha S1, 7809 ha S2, 1018 ha S3, and 52ha N1 respectively. The suitability classes for drip irrigation were 929 ha S1, 9715 ha S2, 4168 ha S3, and 160 ha N1 respectively. The most important limiting factors for surface and sprinkler irrigation were soil texture, gypsum and slope, but for drip irrigation, they were soil texture, gypsum and calcium carbonate. The slope limitation had much less effect on drip irrigation.

Keywords: Parametric method, Irrigation capacity index, Suitability class for irrigation, kriging, Inverse distance weighting (IDW)

مدلسازی رطوبت سطحی خاک با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و داده‌های ماهواره سنتینل-۲

آزاده صداقت[۱]؛ محمودشعبانپور شهرستانی[۲]؛ علی اکبر نوروزی[۳]؛ علیرضا فلاح نصرت آباد[۴]؛ حسین بیات[۵]

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، ایران؛ Azadehsedaghat65@gmail.com

گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، ایران

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

گروه علوم و مهندسی خاک؛ دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده:

رطوبت سطحی خاک متغیر مهمی است که نقش حیاتی در مدیریت منابع آب و خاک دارد. برآورد این پارامتر یکی از کاربردهای مهم سنجش از دور به حساب می‌آید. هدف از این پژوهش ارائه الگوریتمی برای برآورد میزان رطوبت سطحی خاک با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ است. در این مطالعه به بررسی ارتباط میان شاخص‌های طیفی خاک با رطوبت سطحی خاک، با استفاده از تکنیک یادگیری ماشین بردار پرداخته، مدلی برای تخمین رطوبت خاک ارائه خواهد شد. برآورد رطوبت حجمی سطح خاک با روش رندم فارست بهترین دقت و برآورد را نسبت به روش رگرسیون داشته است. PTF_4 که شامل ورودی‌هایی مانند خصوصیات پایه ایی به همراه شاخص های طیفی رطوبت (NMDI و WRI) هم در روش رگرسیون (MLR) و هم در روش رندم فارست (RF) در دو مرحله آموزش و آزمون بهترین نتایج را داشته است. بنابراین می‌توان گفت که رندم فارست رابطه‌ای خوب میان رطوبت خاک و ورودی‌ها ایجاد کرده و مدلی با دقت بالاتر ارائه می‌دهد. بنابراین شاخص های طیفی تخمین‌گرهای خوبی برای برآورد رطوبت خاک می‌باشند.

کلمات کلیدی :سنجش ازدور، شاخص‌های طیفی، رطوبت سطحی خاک، ماهواره سنتینل-۲

مقدمه

بررسی توزیع مکانی رطوبت سطحی خاک (SM) یک پیش نیاز برای تحقیق و مدیریت کشاورزی و محیط زیست می‌باشد. اما استخراج اطلاعات رطوبت خاک سطحی در مناطق ناهموار یک چالش بزرگی است (Luo et al., 2019) و رطوبت خاک، به‌شدت در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متنوع و مقدار آن در هر منطقه نسبت به زمان و مکان تغییر می‌کند (رسونبام و همکارام، ۲۰۱۲). رطوبت خاک در بسیاری از فرآیندهای فیزیکی مربوط به کشاورزی، هیدرولوژی و یا هواشناسی یک پارامتر حیاتی است و اغلب عامل محدود کننده می‌باشد. متاسفانه، این پارامتر به‌طور واضح در سطح زمین قابل مشاهده نمی‌باشند، بنابراین اطلاعات زیادی در مورد تغییرات مکانی و زمانی رطوبت در هر منطقه وجود ندارد. رطوبت خاک از شیوه‌های مختلفی محاسبه می‌شود. جستجو برای یافتن روش‌های نوین و سریع برای برآورد رطوبت سطحی خاک باعث افزایش تحقیقات اخیر در استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور برای اندازه‌گیری و نظارت بر رطوبت سطحی خاک در مقیاس بزرگ شده است (بایوپ و همکاران، ۲۰۰۷). مشکلات موجود در این زمینه محققان را بر آن داشته است تا به دنبال ابزارهای مدل‌سازی داده محور مانند شبکه عصبی (ANN)[۱]، رگرسیون چند متغیره (MLR)[۲] ماشین های بردار پشتیبان (SVM)[۳]، رندم فارست (RF)[۴] برای تخمین رطوبت خاک باشند. یکی از مزایای اصلی رویکرد یادگیری ماشین

[1] . Artificial Neural Networks
[2] . Multiple linear regression (MLR)
[3] . Support Vector Machines
[4] . Random Forest

در پیش بینی SM، این است که می‌تواند تخمین هایی با وضوح متناسب با داده‌های سنجش از دور ارائه دهد (زمان و همکاران، ۲۰۱۲). روش‌های یادگیری ماشین برای تخمین SM با استفاده از داده‌های سنجش از دور در مناطق نیمه خشک به‌طور موثر استفاده شده است (بوسبی و همکاران، ۲۰۱۸). ژائو و همکاران (۲۰۱۷) مدل جدیدی را برای تخمین SM بر اساس مدل RF ایجاد کردند. برای بررسی صحت مدل پیشنهادی از سری زمانی داده‌های راداری استفاده شد. آنها گزارش دادند که RF قادر به تخمین تغییرات مکانی و زمانی SM بوده و با دقت بالا SM را تخمین زده است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) رطوبت خاک سطحی را با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه (MLR) و داده‌های سنجش از دور پیش‌بینی کردند. بوسبی و همکاران (۲۰۱۸) رطوبت سطح خاک را با استفاده از داده‌های ماهواره سنتیتل ۱ و ۲و ماشین های بردار پشتیبان پیش‌بینی و مشاهده کردند که دقت رطوبت سطح خاک بدست آمده از داده‌های سنجش از دور بالا و مقدار خطای میانگین مربع ریشه (RMSE) کمتر از ۵۰٪ می‌باشد. تحقیقات کمی در زمینه ایجاد توابع انتقالی جهت مدلسازی رطوبت سطحی خاک انجام شده است. هدف از این تحقیق این است که شاخص‌های طیفی موثر در تخمین رطوبت سطحی خاک را با ایجاد توابع انتقالی با روش‌های به روز که قابلیت اعتبار بالایی دارند معرفی نماییم. در این مطالعه ابتدا شاخصهای طیفی جدید استخراج شده با داده‌های ماهواره Sentinel2 با رطوبت سطحی خاک ارزیابی شده و سپس با استفاده از ترکیب شاخص‌های طیفی، که هرکدام از اطلاعات طیفی محدوده‌های باندی متفاوت بهره می‌برند، با خصوصیات پایه‌ایی خاک (رس، سیلت/ شن و جرم مخصوص ظاهری خاک)، با روش‌های رگرسیون و رندم فارست، مدل‌های جدیدی جهت تخمین رطوبت سطحی خاک ارائه داده می‌شود.

مبانی و روش

در این تحقیق به تعداد ۱۲۴ نمونه از سه منطقه ایران به‌صورت تصادفی از سطح خاک (۰ تا ۱۵سانتی‌متر) نمونه‌برداری شده است. منطقه اول (۳۰ نمونه) در شرق استان تهران به نام پارک جنگلی تلو، منطقه دوم (۲۵ نمونه) از توابع شهرستان ایوانکی در استان سمنان، منطقه سوم (۶۹ نمونه) از منطقه بروجرد (استان لرستان) می‌باشد. براساس طبقه‌بندی تاکسونومی خاک‌های محدود مطالعاتی (هرسه منطقه) در دو رده Entisols و Inceptisols قرار دارد. پوشش گیاهی منطقه تلو جنگلی و مرتعی، در ایوانکی پوشش مرتعی و در بروجرد پوشش دیم گندم و جو می‌باشد.

در این تحقیق رطوبت حجمی (لوبل و انسر، ۲۰۰۲)، بافت خاک (گی و ار، ۲۰۰۲)و جرم مخصوص ظاهری (گروسمن و رینش، ۲۰۰۲)اندازه‌گیری شد. داده‌های سنتینل ۲ از سایت کوپرنیکوس (https://scihub.copernicus.eu/) دانلود شده است. تحصیحات مورد نیاز تصاویر و محاسبهٔ شاخص‌های طیفی با نرم افزار SNAP.8 و خروجی تصاویر با ArcMap 10.7 انجام شد. از شاخص‌های طیفی گیاهی (IPVI، RVI و DVI) و رطوبت (NMDI و WRI) به‌همراه خصوصیات پایه‌ایی (رس (C)، نسبت سیلت به شن (Si/Sa)و جرم مخصوص ظاهری (BD)) خاک برای ایجاد توابع انتقالی جهت تخمین رطوبت سطحی خاک استفاده شده است. در این تحقیق ابتدا آزمون نرمال بودن کولموگروف-اسمیرنوف با استفاده از نرم افزار Mini Tab بر روی تمام متغیرها انجام شد (ریان وهمکاران، 1976). در این تحقیق از دو روش، رگرسیون (MLR) با نرم افزار DataFit و روش رندم فارست (RF) با نرم افزار STATISTICA12 انجام شد. از ۱۲۴ نمونه مورد استفاده شده در این تحقیق، دو سوم نمونه (۸۰) برای آموزش(Train) و یک سوم نمونه (۴۴) برای آزمون (Test) بهره‌گیری شد. از آماره‌های AIC، RMSE و R^2 جهت قابلیت اعتماد مدل‌ها استفاده شد. جدول ۱، ورودی‌های مدل را نشان می‌دهد.

جدول۱- ورودی‌های توابع انتقالی ایجاد شده

PTF_s	ورودی‌ها	PTF_s	ورودی‌ها
PTF1	C+Si/Sa	PTF3	C+Si/Sa+BD+IPVI[5]+RVI[6]+DVI[7]
PTF2	C+Si/Sa+BD	PTF4	C+Si/Sa+BD+NMDI[8]+WRI[9]

بحث و نتایج

در این تحقیق همه شاخص‌های طیفی با رطوبت سطحی خاک همبستگی در سطح احتمال یک درصد داشتند (نتایج همبستگی نشان داده نشده است). مدل‌های که از روش رگرسیون بدست آمده است در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول۲- مدل‌های ایجاد شده برای برآورد رطوبت سطحی خاک

PTF_s	مدل های رگرسیونی	RMSE	R^2
1[a]	SM[b]= ۰/٤٨-۰/۰۱*C – ۰/۰٤*Si/Sa	۰/۰۹۸	۰/٤۳
2	SM= exp (- ۰/۱۵*C – ۰/۳* Si/Sa -۱/۵۳*BD + ۲/۷۹)	۰/۰٤۸	۰/۵۱
4	SM= exp (-۰/۱۲*C -۰/۲۵* Si/Sa -۱/۲۸*BD-۰/۵۹*IPVI – ۰/۰٦*RVI+۲/۸۷*DVI +۲/۱۱)	۰/۰۳۹	۰/۷۱
6	SM= exp (-۰/۱۳*C – ۰/۲۷* Si/Sa – ۱/٤۹*BD – ۰/۱۲*NMDI- ۰/۹۳*WRI + ۲/۷۲)	۰/۰۳۷	۰/۸۰

در هر مدل، از ویژگی‌های پایه‌ایی خاک که جزء متغیرهای قابل دسترس هستند (قربانیان و میلان، ۲۰۱۰)، استفاده شده است. از طرفی رطوبت خاک عمدتا به بافت و ساختمان خاک وابسته هستند (هیلل، ۱۹۹۸)، بنابراین جهت افزایش دقت مدل خصوصیات پایه‌ایی خاک به‌طور ثابت در همه مدل‌ها آمده است. با افزایش BD در مرحله دوم (PTF_2)، در هر دو مرحله آموزش و آزمون R^2 افزایش، RMSE و AIC کاهش پیدا کرده است و برآورد رطوبت بهبود معنی‌دار پیدا کرده است. در شکل ۱، نتایج روش رگرسیون و RF آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود از مرحله یک تا مرحله ۴، با افزایش ورودی‌ها مقدار R^2 افزایش یافته و آماره AIC منفی‌تر و مقادیر RMSE کمتر شده است، که این موضوع نشان دهندۀ دقت بالای مدل‌های ایجاد شده در این تحقیق می‌باشد (ادب و همکاران، ۲۰۲۰).

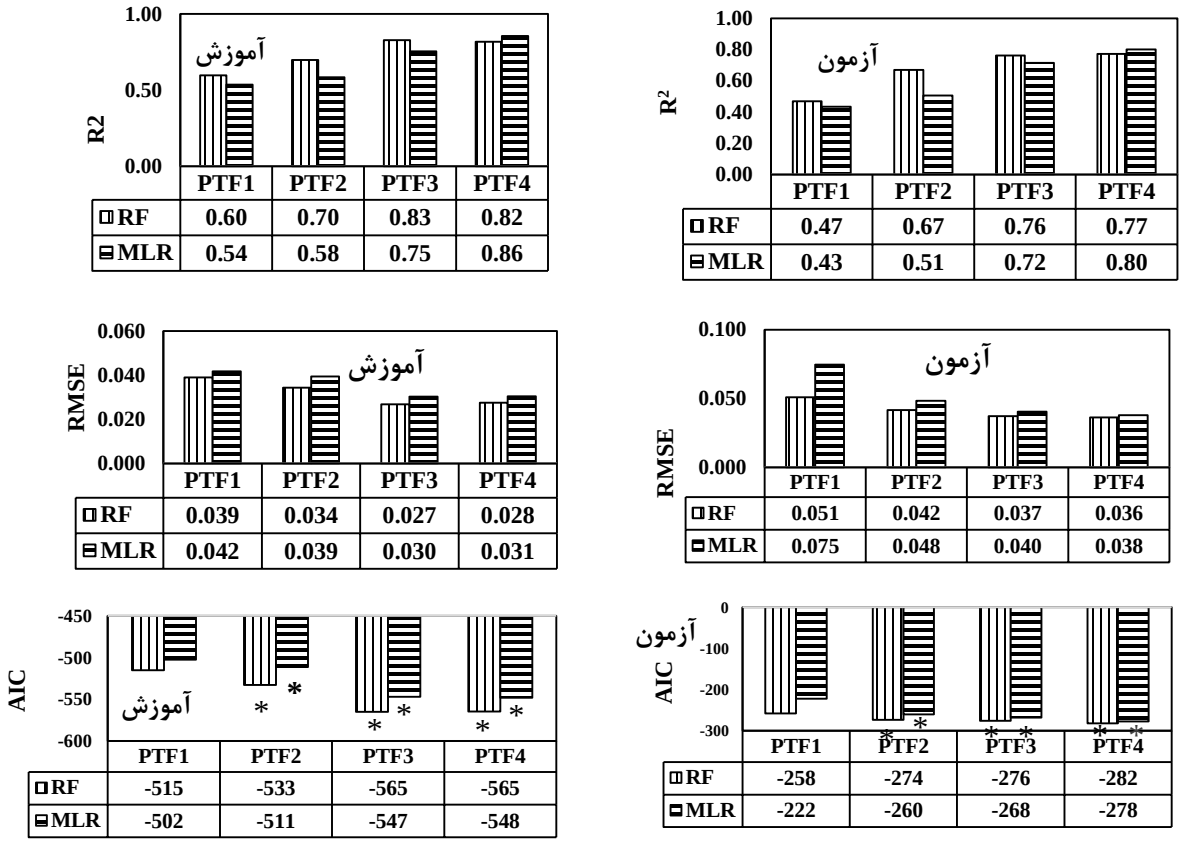
5. **I**nfrared **P**ercentage **V**egetation **I**ndex

6 . **R**atio **V**egetation **I**ndex

7. **D**ifference **V**egetation **I**ndex

8. **N**ormalized **N**ulti-band **D**rought **I**ndex

9. Water Ratio Index

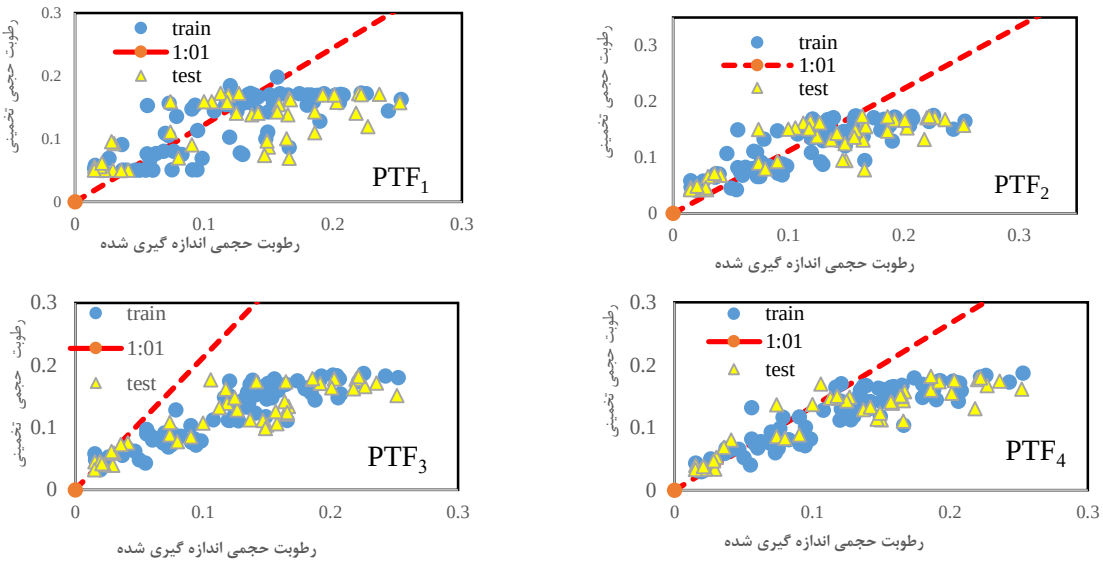


شکل ۱- نتایج رگرسیون و رندم فارست برای برآورد رطوبت سطحی خاک

*علامت ستاره به معنی، معنی‌دار بودن مدل براساس آماره آکایک در سطح احتمال ۵ درصد است.

در PTF_3 از شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی که مربوط به تراکم پوشش گیاهی IPVI، RVI و DVI می‌باشند، استفاده شده است. با توجه به شکل۱، در هر دو روش رگرسیون و رندم فارست و در هر دو مرحله آموزش و آزمون رطوبت خاک را به‌طور معنی‌داری بهبود یافته است. در این مرحله مقادیر AIC و RMSE روش رندم فارست در هر دو مرحله آموزش و آزمون نسبت به روش رگرسیون پایین‌تر و مقادیر R^2 بالاتر است. در PTF_4 از خصوصیات پایه‌ایی به‌همراه شاخص‌های رطوبتی مانند NMDI و WRI استفاده شده است. در این مرحله هم، در دو روش رگرسیون و رندم فارست در هر دو مرحله آموزش و آزمون رطوبت خاک را به‌طور معنی‌داری بهبود یافته است. در این مرحله هم مانند PTF_3، مقادیر AIC و RMSE روش رندم فارست در هر دو مرحله آموزش و آزمون نسبت به روش رگرسیون پایین‌تر و مقادیر R^2 بالاتر است که نشان دهندهٔ این است که نتایج روش رندم فارست نسبت به رگرسیون قابل اعتمادتر و تعمیم پذیرتر می‌باشد. در این تحقیق شاخص‌های طیفی همبستگی قوی با رطوبت سطحی خاک داشته است. همه شاخص‌های طیفی از ترکیب باندهای مرئی و فروسرخ که شامل باندهای ۸ و ۱۱ ماهواره سنتینل ۲ می‌باشد، تشکیل شده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳). اما آنچه در اینجا حائز اهمیت می‌باشد این است که این طول موج‌ها در محدوده باندهای مرئی و فرو سرخ رابطه تنگاتنگی با رطوبت خاک وجود دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳). احتمالا به دلیل همین رابطه نزدیک رطوبت خاک با طول موج‌ها، شاخص‌های طیفی تخمین رطوبت خاک را بهبود داده‌اند.

شکل ۲، مقادیر اندازه‌گیری در برابر تخمینی روش رندم فارست را نشان می‌دهد. در این تحقیق جهت کوتاه کردن متن، فقط از گراف ۱:۱ روش رندم فارست که نتایج آن بهتر از روش زگرسیون می‌باشد، آورده شده است.



شکل۲- مقادیر اندازه‌گیری در برابر تخمینی رطوبت خاک با روش رندم فارست

همانطور که در شکل ۲، مشاهده می‌شود پراکندگی داده‌ها حول خط ۱:۱ از PTF_1 به PTF_4 کم شده است. در PTF_4 بیشترین نزدیکی داده‌ها به خط ۱:۱ مشاهده می‌شود و این موضوع دقت بالای مدل مرحله ۴ که از شاخص های طیفی رطوبت (NMDI و WRI) به همراه خصوصیات پایه‌ایی خاک استفاده شده است را ثابت می‌کند. بنابراین باتوجه نتایج این تحقیق و نتایج دیگر محققان (چن و همکاران، ۲۰۲۰؛ راستگو و همکاران، ۲۰۲۱؛ ادب و همکاران، ۲۰۲۰) الگوریتم رندم فارست در تخمین رطوبت خاک رابطه‌ایی خوبی بین رطوبت خاک و متغیرهای ورودی ایجاد می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج و مقایسه دقت‌های محاسبه شده در این پژوهش می‌توان گفت، دقت روش رندم فارست از روش رگرسیون برای برآورد رطوبت سطحی خاک با استفاده از شاخص‌های طیفی حاصل از تصاویر سنتینل-۲ بهتر بوده است. توان تفکیک طیفی این سنجنده از محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه را در بر می‌گیرد. محدوده طیفی مرئی تا مادون قرمز نزدیک، از باندهای بسیار کارا و حساس به رطوبت سطحی خاک می‌باشند که به‌همراه شاخص‌های طیفی گیاهی برای برآورد رطوبتخاک استفاده می‌شوند. دراین تحقیق مشاهده شده نتایج شاخص‌های طیفی به‌همراه خصوصیات پایه‌ای خاک با روش رندم فارست بسیار بهتر از روش رگرسیون بوده است. در نهایت پیشنهاد می شود از تصویر سنتینل ۲ به تنهایی برای برآورد رطوبت سطح خاک استفاده نشود بلکه به‌همراه خصوصیات پایه‌ایی خاک و شاخص‌های طیفی دیگر با روش‌های معتبر ماشین‌های یادگیری در مدلسازی رطوبت خاک بکار رود، که باعث بهبود دقت مدل می‌شوند.

منابع

Adab, H., Morbidelli, R., Saltalippi, C., Moradian, M., and Ghalhari, G. A. F. (2020). Machine Learning to Estimate Surface Soil Moisture from Remote Sensing Data. Water, 12(11), 3223.

Baup F, Mougin E, De Rosnay P, Timouk F, Chênerie I. Surface soil moisture estimation over the AMMA Sahelian site in Mali using ENVISAT/ASAR data. Remote Sensing of Environment, 109(4):473-81, 2007.

Bousbih, S.; Zribi, M.; El Hajj, M.; Baghdadi, N.; Lili-Chabaane, Z.; Gao, Q.; Fanise, P. Soil Moisture and Irrigation Mapping in A Semi-Arid Region, Based on the Synergetic Use of Sentinel-1 and Sentinel-2 Data. Remote Sens. 2018, 10, 1953.

Chen, Q., Miao, F., Wang, H., Xu, Z. X., Tang, Z., Yang, L., & Qi, S. (2020). Downscaling of satellite remote sensing soil moisture products over the Tibetan Plateau based on the random forest algorithm: Preliminary results. Earth and Space Science, 7(6), e2020EA001265.

Gee, G. W., and D.Or. 2002. Particle- Size Analysis. In: Warren ,.D. (ed) Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Inc. pp .225-295.

Ghanbarian-Alavijeh, B., & Millán, H. (2010). Point pedotransfer functions for estimating soil water retention curve. *International Agrophysics*, *24*(3), 243-251.

Grossman, R. B., and T. G. Reinsch. 2002. Bulk density and linear extensibility. In: Warren, A.D. (ed) Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. Soil Science Society of America Inc. 201-228.

Hillel, D., 1998. Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, And Environmental Considerations. Academic Press.

Jung, C., Lee, Y., Cho, Y., Kim, S., 2017. A study of spatial soil moisture estimation using a multiple linear regression model and MODIS Land surface temperature data corrected by conditional merging. Remote Sens. 9, 870.

Luo, W., Xu, X., Liu, W., Liu, M., Li, Z., Peng, T.,Xu, Ch., Zhang., Y and Zhang, R. (2019). UAV based soil moisture remote sensing in a karst mountainous catchment. *Catena*, *174*, 478-489.

Rastgou, M., Bayat, H., Mansoorizadeh, M. and Gregory, A.S., 2020. Estimating the soil water retention curve: Comparison of multiple nonlinear regression approach and random forest data mining technique. Computers and Electronics in Agriculture, 174, p.105502.

Rosenbaum, U., Bogena, H.R., Herbst, M., Huisman, J.A., Peterson, T.J., Weuthen, A., Western, A. W., and vereecken, H. (2012). Seasonal and event dynamics of spatial soil moisture patterns at the small catchment scale, water Resources Research, Vol. 48, W10544: 1-22.

Ryan, T.A., Joiner, B.L., and B.F.Ryan. 1976. Minitab student handbook Minitab Inc., State College, PA, USA.

Zaman, B.; McKee, M.; Neale, C.M.U. Fusion of remotely sensed data for soil moisture estimation using relevance vector and support vector machines. *Int. J. Remote Sens.* 2012, *33*, 6516–6552

Zhang, N., Hong, Y., Qin, Q., & Liu, L. (2013). VSDI: a visible and shortwave infrared drought index for monitoring soil and vegetation moisture based on optical remote sensing. *International journal of remote sensing*, *34*(13), 4585-4609.

Zhao,W., Li, A., Huang, P., Juelin, H., Xianming,M., 2017. Surface soil moisture relationship model construction based on random forest method. 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE, pp. 2019–2022.

شبیه‌سازی عملکرد گندم متاثر از تعداد نوبت‌های آبیاری با مدل آکواکراپ

محمدرضاامداد*[1]، آرش تافته[2]

۱و۲-استادیار بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.*ایمیل نویسنده مسئول: Emdadmr591@yahoo.com

چکیده

مدل آکواکراپ در شبیه سازی عملکرد گیاهان در مدیریت های مختلف آب و خاک از دقت بالایی برخوردار بوده و استفاده از آن نیازمند واسنجی و اعتبارسنجی می باشد. این تحقیق در راستای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شبیه سازی عملکرد دانه گندم در سه پایلوت منتخب در منطقه حمیدیه استان خوزستان و در دو سال زراعی اجرا گردید. مدل آکواکراپ برای شرایط سال اول واسنجی و سپس سناریوهای مختلف نوبت های آبیاری(۳ الی ۶ نوبت آبیاری) با هم مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مدل نشان داد که در شرایط معمول منطقه، ۴ نوبت آبیاری مناسبترین سناریوی آبیاری می باشد. متوسط عملکرد دانه گندم اندازه گیری شده و شبیه سازی شده پایلوتها در سال دوم به ترتیب ۳/۸ و ۴/۴ تن در هکتارحاصل گردید(با خطای ۱۴ درصد). مقایسه شاخص های آماری بین مقادیر اندازه گیری و شبیه سازی عملکرد دانه در هر دوسال نشان داد که ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق به ترتیب برابر با ۰/۹، ۰/۱۴ و ۰/۸۹ می باشند که بیانگر کارایی مناسب مدل در شبیه سازی عملکرد گندم در دو سال متوالی می باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، آکواکراپ، نوبت آبیاری، گندم.

مقدمه

نظر به اینکه انجام و اجرای تحقیقات در خصوص تاثیر مدیریت های مختلف آبیاری و اثر آن بر عملکرد گیاهان مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد می باشد، لذا استفاده از مدل های گیاهی، این امکان را فراهم می نماید تا با لحاظ نمودن واندازه‌گیری برخی پارامترهای مرتبط با آب، خاک و گیاه، عملکرد گیاه در شرایط مختلف شبیه سازی شود.

نتایج تحقیقات Todorvic et al.(2009) ، برای مقایسه مدل‌هایAquaCrop و WOFOST و CropSyst در شبیه سازی عملکرد گیاه آفتابگردان در جنوب ایتالیا نشان داد که مدل آکواکراپ به دلیل سادگی و نیاز به داده‌های کمتر نسبت به مدلهای دیگر ترجیح دارد. Montoya et al.(2016) مدل آکواکراپ را برای شبیه‌سازی عملکرد سیب زمینی در اسپانیا ارزیابی نمودند. تیمار های آبیاری اعمال شده عبارت بودند از تیمار ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی که نتایج آنها نشان داد مدل به خوبی در همه این شرایط برآورد مناسبی را از عملکرد نشان می دهد. Abedinpour et al.(2012) مدل آکواکراپ را برای گیاه ذرت مورد ارزیابی قرار داده و تیمار های تنش ۵۰ ، ۷۵ و آبیاری کامل به همراه تیمارهای نیتروژن ۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلو گرم بر هکتار را اعمال کردند. نتایج نشان داد که مدل با ریشه میانگین مربعات خطا حدود ۰/۱ الی ۰/۷۵ و با دقت قابل قبولی عملکرد کل و دانه را شبیه‌سازی می-کند.

Geerts et al.,(2009) ، مدل AquaCrop را برای گیاه کینوا تحت سناریوهای مختلف آبیاری واسنجی کردند. همچنین گزارش گردید که عملکرد محصول با در نظر گیری سناریوهای مختلف آبیاری شبیه سازی شده از دقت بالایی برخوردار بوده و کارایی استفاده از مدل در شبیه‌سازی عملکرد مناسب و قابل قبول می‌باشد. Ziaii et al.(2014) ، عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maizeرا بمنظورشبیه‌سازی اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت در منطقه کرج(بافت لومی) بررسی نمودند. نتایج نشان داد، عملکرد هر دو مدل مناسب بوده است. شاخص RMSE در برآورد عملکرد محصول برای مدل های AquaCrop و CERES-Maizeبه ترتیب بین ۲۰ تا۴۰ و ۲۰ تا ۸۰ درصد گزارش شد. با توجه به نتایج خروجی نهایتا مدل AquaCrop برای استفاده

کشاورزان و برنامه ریزان در سطح منطقه توصیه گردید. Babazadeh and Sarai (2011) ، به منظور ارزیابی مدل AquaCrop در منطقه کرج بر روی گیاه سویا در سال زراعی ۱۳۷۸ آزمایشی با ۴ تیمار آبیاری کامل، کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد کمبود رطوبتی خاک و آبیاری موضعی منطقه ریشه در حد ۵۰ درصد رطوبت اجرا کردند. در همه تیمارها عملکرد محصول و کارایی مصرف آب سویا شبیه سازی قابل قبولی(درصد خطا کمتر از ۴/۶ درصد)را ارائه داد. با توجه به اینکه تعداد نوبت های آبیاری یکی از عوامل مهم و تاثیر گذار بر عملکرد می باشد و در منطقه تعداد نوبت های آبیاری تغییر کرده و این موضوع عملکرد گندم را تحت تاثیر خود قرار می دهد، بنابراین این پژوهش با هدف ارزیابی این مدل و در راستای تاثیر تعداد نوبت های آبیاری بر عملکرد گندم منطقه (کشت غالب) و ارائه توصیه های مدیریتی آبیاری در این ارتباط اجرا شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در استان خوزستان(شهرستان حمیدیه- رامسه) بمدت دو سال زراعی اجرا(۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴) گردید. سه مزرعه به مساحت حدود ۲۰۰۰ متر مربع (عرض نوار ۸ الی۱۰ متر و طول نوار۱۵۰ تا ۲۰۰ متر) در قطعات مورد نظر انتخاب گردید. بافت خاک لوم رسی و کیفیت آب آبیاری(میانگین شوری آب ۱/۹ دسی زیمنس بر متر) بود. رقم گندم چمران و تاریخ کاشت گندم در منطقه ۱۵ آبان ماه ۱۳۹۳ بود. تعداد روز از کاشت بذر تا ظهور(۱۰ تا ۱۴ روز)، تعداد روز از کاشت تا رسیدن به ماکزیمم پوشش(۹۵ تا ۱۰۵ روز)، تعداد روز از کاشت تا پیرشدن برگها(۱۳۵ تا ۱۴۵ روز)، تعداد روز از کاشت تا رسیدن(۱۶۰ تا ۱۷۰ روز)، طول دوره گلدهی(۱۰ تا ۱۴ روز)، تعداد روز از کاشت تا گلدهی(۱۱۰ تا ۱۱۵ روز)، ماکزیمم عمق موثر ریشه ها(۰/۳ تا ۰/۳۵ سانتیمتر)، عملکرد دانه و کل در مزارع منتخب اندازه گیری شد. در سال اول تعداد ۵ نوبت آبیاری (با حجم کل حدود ۹۵۰۰ متر مکعب در هکتار) در مراحل مختلف در اختیار گیاه قرار گرفت. جدول ۱ متوسط نتایج عملکرد دانه و کل گندم برداشت شده را در منطقه حمیدیه ارائه می نماید.

جدول ۱- میانگین عملکرد دانه و کل گندم اندازه گیری شده در مزارع

پایلوت	عملکرد دانه(Kg/h)	عملکردکل(Kg/ha)	شاخص برداشت(درصد)
مزرعه ۱	۳۰۵۷	۷۴۳۳	۰/۴۱
مزرعه ۲	۳۲۱۹	۸۱۶۳	۰/۳۹
مزرعه ۳	۲۸۹۵	۶۷۰۴	۰/۴۳
میانگین	۳۰۵۷	۷۴۳۴	۰/۴۱

بمنظور شبیه سازی تغییرات عملکرد گندم با نوبت های آبیاری و توسط مدل آکواکراپ، اطلاعات و آمار هواشناسی روزانه در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مورد پردازش قرار گرفت. مقدار کل بارندگی در بازه زمانی مهر تا اردیبهشت ماه برای سال اول و دوم به ترتیب ۱۳۷/۳ و ۲۲۸ میلی متر بود. با توجه به اطلاعات سال اول مدل آکواکراپ واسنجی و تغییرات عملکرد در نوبت های مختلف آبیاری با استفاده از مدل شبیه سازی شد. بمنظور اعتبارسنجی نتایج شبیه سازی شده توسط مدل، مناسب ترین سناریوی ارائه شده توسط مدل در سال دوم در سطح مزارع منتخب اجرا و نتایج حاصل از آن با نتایج شبیه سازی توسط مدل مورد مقایسه و ارزیابی واقع شد.

نتایج و بحث

بمنظور مقایسه تغییرات عملکرد دانه گندم با در نظر گیری نوبت های مختلف آبیاری(۳ تا ۶ نوبت آبیاری متعارف در منطقه) ، سناریوهای مختلف مدیریتی از نظر نوبتهای آبیاری اعمال و نتایج شبیه سازی شده عملکرد و سایر اجزا در جدول ۲ ارائه گردید. محدوده مقدار شبیه سازی شده عملکرد دانه گندم در شرایط معمول منطقه(۵ نوبت آبیاری) بین ۲/۴ تا ۲/۹ تن در هکتار (با متوسط ۲/۶ تن در هکتار) بوده که با مقدار اندازه گیری شده آن(۳ تن در هکتار) تفاوت چندانی ندارد(با متوسط خطای ۱۳ درصد). با توجه به جدول ۲ که ارتباط بین نوبت آبیاری(۳ تا ۶ نوبت) و عملکرد دانه، حجم آب مصرفی و کارایی مصرف آب گندم

را در پایلوت های مورد نظر نشان می دهد ملاحظه می گردد مقدار عملکرد دانه و کل در ۴ نوبت آبیاری با مقادیر متناظر در ۵ نوبت آبیاری تفاوت ندارد. نوبت های آبیاری مطابق نوبت های آبیاری معمول منطقه در مراحل کاشت، پنجه، ساقه، گلدهی و پرشدن دانه بودند(۵ نوبت) که برای ۴ نوبت آبیاری مرحله پنجه دهی و برای ۳ نوبت آبیاری مرحله پنجه و ساقه‌دهی حذف گردیدند.

جدول۲- تغییرات عملکرد گندم شبیه سازی شده با اعمال نوبت‌های مختلف آبیاری با مدل آکواکراپ

پایلوت	نوبت آبیاری	عملکرد دانه 1000 kg /ha	عملکرد کل 1000 kg /ha	تبخیر- تعرق mm	حجم آب مصرفی Kg/m3	کارایی مصرف آب Kg/m3
۱	۳	۱/۹	۴/۷	۲۳۴	۵۸۰۰	۰/۳۳
	۴	۲/۴	۵/۸	۲۵۸	۷۶۰۰	۰/۳۱
	۵	۲/۴	۵/۸	۲۷۰	۹۴۰۰	۰/۲۶
	۶	۲/۵	۶/۰	۲۹۷	۱۱۲۰۰	۰/۲۲
۲	۳	۲/۵	۶/۲	۲۷۲	۵۸۰۰	۰/۴۳
	۴	۲/۹	۷/۲	۳۰۹	۷۶۰۰	۰/۳۸
	۵	۲/۹	۷/۲	۳۲۳	۹۴۰۰	۰/۳۱
	۶	۲/۹	۷/۲	۳۳۳	۱۱۲۰۰	۰/۲۶
۳	۳	۲/۲	۵/۶	۲۶۷	۵۸۰۰	۰/۳۸
	۴	۲/۶	۶/۶	۳۰۲	۷۶۰۰	۰/۳۴
	۵	۲/۶	۶/۷	۳۲۹	۹۴۰۰	۰/۲۸
	۶	۲/۶	۶/۶	۳۲۸	۱۱۲۰۰	۰/۲۳

همچنین برای ۶ نوبت آبیاری، ۱ نوبت آبیاری در مرحله رسیدن در نظر گرفته شد. جهت مقایسه عملکرد، مقادیر متوسط شبیه سازی شده سه پایلوت در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- متوسط نتایج تغییرات عملکرد گندم شبیه سازی شده با اعمال نوبت‌های مختلف آبیاری توسط مدل

نوبت آبیاری	عملکرد دانه 1000 kg /ha	عملکرد کل 1000 kg /ha	تبخیر- تعرق mm	حجم آب مصرفی Kg/m3	کارایی مصرف آب Kg/m3
۳	۲/۲	۵/۵	۲۵۸	۵۸۰۰	۰/۳۸
۴	۲/۶	۶/۵	۲۹۰	۷۶۰۰	۰/۳۴
۵	۲/۶	۶/۵	۳۰۷	۹۴۰۰	۰/۲۸
۶	۲/۷	۶/۶	۳۱۹	۱۱۲۰۰	۰/۲۴

نتایج جدول ۳ نشان می دهد که میانگین مقادیر عملکرد کل و دانه گندم شبیه سازی شده در ۴ و ۵ نوبت آبیاری تفاوت نداشته، در حالی که حجم آب مصرفی در ۴ نوبت آبیاری به میزان ۲۰ درصد نسبت به ۵ نوبت آبیاری کاهش داشته است. از طرف دیگر کارایی مصرف آب در ۴ نوبت آبیاری به میزان ۲۱ درصد نسبت به ۵ نوبت آبیاری افزایش داشته است. همچنین با توجه به شبیه سازی انجام شده ملاحظه می گردد که افزایش یک نوبت آبیاری در مرحله رسیدن (فروردین ماه) ضمن اینکه افزایش قابل توجهی در عملکرد دانه و کل ایجاد نکرد، کارایی مصرف آب را به جهت افزایش آب مصرفی(یک نوبت آبیاری) کاهش داد. همچنین در نظر گیری ۳ نوبت آبیاری موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۵ درصد گردید. با عنایت به کاهش عملکرد زیاد در سه نوبت آبیاری نسبت به نوبت های بیشتر آبیاری، این سناریو از نظر عملکرد توصیه نمی گردد. لذا طبق شبیه سازی انجام شده حداقل ۴ نوبت آبیاری(در مراحل کاشت، ساقه دهی، گلدهی و پرشدن دانه) جهت حفظ سطح تولید مناسب در شرایط موجود قابل توصیه می باشد. جدول ۴ متوسط نتایج عملکرد دانه و کل گندم برداشت شده در پایلوت های منتخب را در منطقه حمیدیه در سال دوم ارائه می نماید.

جدول۴- میانگین عملکرد دانه و کل گندم اندازه گیری شده در مزارع منتخب(سال دوم)

شاخص برداشت	عملکرد کل	عملکرد دانه	پایلوت های

منتخب	1000kg /ha	1000kg /ha	%
مزرعه ۱	۴/۵	۱۲/۱	۰/۳۷
مزرعه ۲	۴/۲	۱۱/۱	۰/۳۸
مزرعه ۳	۴/۴	۱۲/۰	۰/۳۶
میانگین	۴/۴	۱۱/۷	۰/۳۷

نتایج شبیه سازی شده عملکرد در سال دوم توسط مدل آکواکراپ در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول۵- عملکرد گندم شبیه سازی شده پایلوت ها با اعمال ۴ نوبت آبیاری توسط مدل در سال دوم

پایلوت	عملکرد دانه 1000kg /ha	عملکرد کل 1000kg /ha	تبخیر- تعرق mm	حجم آب مصرفی Kg/m3	کارایی مصرف آب Kg/m3
۱	۳/۹	۸/۹	۲۷۱	۵۵۰۰	۰/۷۱
۲	۴/۰	۹/۴	۲۸۷	۵۵۰۰	۰/۷۳
۳	۳/۶	۹/۰	۲۹۱	۵۵۰۰	۰/۶۵
میانگین	۳/۸	۹/۱	۲۸۳	۵۵۰۰	۰/۷۰

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۵ ملاحظه می گردد که متوسط عملکرد دانه گندم شبیه سازی شده مقدار ۳/۸ تن در هکتار گردیده که نسبت به مقدار اندازه گیری شده آن ۱۴ درصد عملکرد دانه را کمتر از شرایط واقعی پایلوت ها برآورد می کند و بیانگر دقت و کارایی مناسب این مدل در شبیه سازی عملکرد گندم در شرایط حاضر می باشد. ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق به ترتیب برابر با ۰/۹، ۰/۱۴ و ۰/۸۹ بوده که بیانگر عملکرد و کارایی مناسب مدل در شبیه سازی عملکرد گندم در دو سال متوالی می باشد.

نتیجه گیری کلی

نتایج نشان داد که شبیه سازی عملکرد گندم در سال اول(۲/۶ تن در هکتار) قرابت و نزدیکی مناسبی با مقادیر اندازه گیری شده عملکرد (۳ تن در هکتار) دارد. اعتبار سنجی مدل با تغییر شرایط در سال دوم نشان داد که عملکرد شبیه سازی شده گندم (۴/۴ تن در هکتار) نیز با مقدار اندازه گیری آن (۳/۸ تن در هکتار) همخوانی مناسبی داشته که بیانگر دقت بالای این مدل در شبیه سازی عملکرد دانه گندم در هر دو سال می باشد. طبق شبیه سازی انجام شده حداقل ۴ نوبت آبیاری(در مراحل کاشت، ساقه دهی، گلدهی و پرشدن دانه) جهت حفظ سطح تولید مناسب در شرایط منطقه قابل توصیه می باشد.

منابع

Abedinpour, M., A. Sarangib, T.B.S. Rajputb, Man Singhb, H. Pathakc, T. Ahmadd.2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment.Agricultural Water Management.Volume 110, July 2012, Pages 55–66.

Babazadeh, H., Sarai Tabrizi, M.2011. Assessment of AquaCrop Model under Soybean Deficit Irrigation Management Conditions. Journal of Water and Soil.26(2):329-339. (In Persian, Abstract in English).

Geerts S., Raes D., Garcia M., Miranda R., Cusicanqui J.A., Taboada C., Mendoza J., Huanca R., Mamani A., Condori O., Mamani J., Morales B., Osco V., and Steduto P. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop.Agronomy journal. 101: 499–508.

Montoya, F., D. Camargo, J.F. Ortega, J.I. Córcoles, ,A. Domínguez.2016. Evaluation of Aquacrop model for a potato crop under different irrigation conditions.Agricultural Water Management.Volume 164, Part 2, Pages 267–280.

Todorvic M., Albrizio R., Zivotic L., Abi Saab M., Stocle C., and Steduto P. 2009. AssesmentofAquacrop, Cropsyst, and Wofost models in the simulation of sunflower Growth under different water regimes. Agronomy journal.101:509-521.

Ziaii, G., Babazadeh, H., Abbasi, F., and Kaveh, F.2014. Evaluation of the Aquacrop and CERES-Maize Models in Assessment of Soil Water Balance and Maize Yield. Iranian Journal of Soil and Water Research.45(4):435-445.(In Persian, Abstract in English).

Simulating wheat yield in different irrigation events using Aquacrop model

Mohammadreza Emdad, Arash Tafteh
Assistant professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Abstract:
Using Aquacrop model for crop yield simulation in different soil and water managements has high accuracy and its use requires calibration and validation. This research was carried out in order to calibrate and validate the Aquacrop model for simulating wheat grain yield in the three selected pilots in Hamidiyeh province of Khuzestan province in two years of cultivation. Aquacrop model calibrated for the first year and then compared for 3-6 irrigation event. Using four irrigation timing is the most appropriate irrigation scenario. Using the results of the model with considering 4 irrigation times, wheat was planted in the second year for model validation. In the second year, the average of measured and simulated wheat grain yield was 3.8 and 4.4 t/h (with 14% error). Comparison of statistical indices between measured and simulation values of wheat grain yield in both years showed that the coefficient of correlation, normalized root mean square error and agreement index were 0.9, 0.14, and 0.89 respectively, which indicates the proper performance of the model for simulating yield of wheat for two consecutive years.
Keywords: Aquacrop, Irrigation events, Surface irrigation, Wheat.

ارزیابی نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D در شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک در بافت‌های مختلف با استفاده از رویکرد حل معکوس

پریسا مشایخی[1]، زهرا خان محمدی[2]

۱و۲- اعضای هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان ایران،Email: mashayekhi_enj@yahoo.com

چکیده

در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های حل عددی معکوس در مسائل حرکت آب در خاک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش از نرم‌افزار HYDRUS- 2D/3D برای شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک از طریق نفوذسنج استوانه‌های دوگانه، در بافت‌های مختلف و با استفاده از رویکرد حل معکوس استفاده شد. برای این منظور، داده‌های حاصل از آزمایش‌های نفوذپذیری به روش استوانه‌های دوگانه در ۶۳ نقطه از مناطق مختلف استان اصفهان مورد استفاده قرار گرفت. خاک‌های مورد مطالعه در هفت کلاس بافتی شامل لوم‌شنی (SL)، لوم رس شنی (SCL)، لوم (L)، لوم سیلتی (SiL)، لوم رسی (CL)، لوم رس سیلتی (SiCL) و رس سیلتی (SiC) قرار گرفتند. بر اساس نتایج، در همه بافت‌ها، همخوانی بسیار خوبی بین داده‌های نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده مشاهده شد. مقادیر ضریب تبیین (R^2) برای بافت‌های SL، SCL، L، SiL، CL، SiCL و SiC به ترتیب معادل ۰/۹۹۸، ۰/۹۹۹، ۰/۹۹۲، ۰/۹۹۶، ۰/۹۸۳، ۰/۹۷۶ و ۰/۹۹۵ بود. میزان خطای شبیه‌سازی با افزایش درصد رس در بافت خاک، افزایش پیدا کرد؛ به‌گونه‌ای که بیشترین خطای شبیه‌سازی در بافت SiC (NRMSE= ۰/۰۴۵) و کمترین میزان خطای شبیه‌سازی در بافت (NRMSE=۰/۰۱۵) مشاهده شد که در حدود ۶۷ درصد بهبود در فرآیند شبیه‌سازی بوده است.

واژگان کلیدی: حل عددی معکوس، نفوذ تجمعی، نفوذ سنج استوانه‌های دوگانه

مقدمه

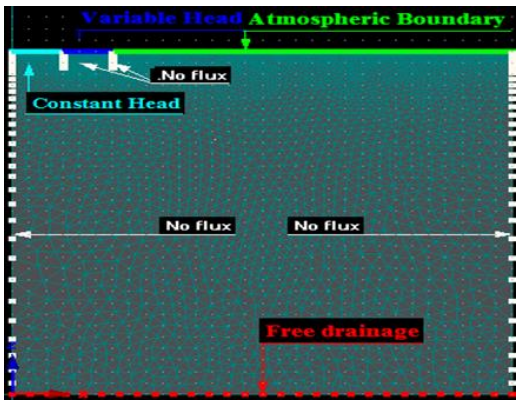
ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (شامل منحنی‌های نگه‌داشت آب h(θ) و هدایت هیدرولیکیK(θ) با تاثیر بر نفوذ آب به خاک، نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب در زمین‌های کشاورزی و حوضه‌های آبخیز دارند (Wang *et al*., 2002). امروزه روش‌های آزمایشگاهی مختلفی برای اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی‌ها وجود دارد. با این وجود، پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که به دلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی زیاد این ویژگی‌ها، ناهمگون بودن خاک و ماهیت غیر خطی منحنی مشخصه رطوبتی و نیز هدایت هیدرولیکی، اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در مقیاس آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های کوچک خاک، به هیچ عنوان قادر به توصیف دقیق جریانات و فرآیندهای نقل و انتقالات در مقیاس های بزرگتر مکانی در خاک نخواهند بود (Lai and Ren, 2016; Scell *et al*., 2012). همین امر لزوم توسعه روش‌های جایگزین برای بدست آوردن ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در مقیاس کاربرد مدل را ایجاد می‌کند. در نتیجه، روش‌های غیرمستقیم برای به دست آوردن پارامترهای هیدرولیکی خاک محبوبیت یافتند. از جمله این رویکردها که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، روش مدل‌سازی معکوس است (Vogel *et al*., 2008 ؛۲۰۰۹ Puhlmann *et al*.,؛ Šimůnek *et al*., 2012 ؛ Schelle *et al*., 2012؛ Mashayekhi *et al*., 2016). روش معکوس در مقایسه با سایر روش‌ها، ارزان و سریع است. در این روش، ویژگی‌های خاک بر پایه متغیرهای زودیافت در شرایط واقعی برآورد می‌شوند.

گریب و همکاران (Gribb *et al*., 2009) و وریکن و همکاران (Vereeken *et al*., 2010) دریافتند که ویژگی‌های هیدرولیکی که به صورت معکوس از طریق اندازه‌گیری‌های درجا شامل میزان اندازه‌گیری رطوبت خاک و یا پتانسیل ماتریک در شرایط طبیعی و واقعی برآورد می‌شوند، بسیار بهتر از اندازه‌گیری‌های انجام شده در مقیاس آزمایشگاهی و توابع انتقالی، شرایط جریان آب در خاک را

توصیف می‌کنند. فراستی و شاکری (۱۳۹۷) از نرم افزار HYDRUS-1D برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی مدل ون گنوختن- معلم و شبیه سازی نفوذ آب به روش حل معکوس، در چهار خاک با بافت لومی استفاده کردند. در این پژوهش، نرم افزار HYDRUS-1D نفوذ تجمعی را، به‌ویژه در زمان‌های ابتدایی نفوذ، با دقت خوبی شبیه سازی کرد. هرچند اسما موسوی دهموردی و همکاران (۱۳۹۷) در شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک از طریق استوانه‌های دوگانه و به کمک نرم‌افزار HYDRUS-1D به این نتیجه رسیدند که نفوذ شبیه‌سازی‌شده بسیار بیشتر از نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده در خاک در بافت‌های مختلف بوده است. این پژوهشگران دلیل این امر را وجود جریان‌های جانبی در طی نفوذ آب به خاک از طریق استوانه‌های دوگانه دانستند. در این پژوهش مشخص شد که خطای شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک در محیط HYDRUS-1D در بافت‌های ریزتر که نفوذ جانبی در آنها بیشتر اتفاق می‌افتد نسبت به بافت‌های درشت بیشتر است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که علی رغم اینکه در آزمایش استوانه‌های دوگانه برای جلوگیری از جریان‌های جانبی در حد فاصل بین دواستوانه در ابتدا آب ریخته می‌شود، اما همچنان به‌ویژه در خاک‌های با بافت ریزتر جریانات جانبی علاوه بر جریان ثقلی آب وجود دارند. با توجه به این موارد استفاده از نرم‌افزار HYDRUS-1D برای شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک در آزمایش استوانه‌های دوگانه چندان مناسب به نظر نمی‌رسد. نرم افزار HYDRUS-2D/3D امکان شبیه‌سازی جریان آب در خاک را در دو بعد افقی و عمودی فراهم ساخته و با توجه به وجود جریانات ثقلی و جانبی در خاک، شبیه‌سازی در چنین محیطی به شرایط واقعی نزدیک‌تر خواهد بود؛ لذا هدف از انجام این پژوهش ارزیابی کارایی نرم افزار HYDRUS-2D/3D برای شبیه‌سازی نفوذ آب به خاک در آزمایش استوانه‌های دوگانه با رویکرد حل عددی معکوس در کلاس‌های بافتی مختلف خاک است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D برای شبیه‌سازی نفوذ آب در خاک به روش معکوس، استفاده شد. داده‌های نفوذ تجمعی به دست آمده از آزمایش نفوذسنج‌های استوانه‌های دوگانه مربوط به ۶۳ نقطه مختلف از استان اصفهان، به عنوان ورودی مدل استفاده شد. برای پیاده‌سازی شرایط آزمایش در محیط نرم‌افزار، محدوده خاک زیر استوانه‌های‌دوگانه به صورت یک ناحیه متقارن حول محوری به مرکزیت استوانه داخلی در نظر گرفته شد. شعاع استوانه‌های داخلی و خارجی به ترتیب ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر، عمق جای‌گذاری استوانه‌ها در خاک ۱۰ سانتی‌متر و عمق خاک ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. شرط مرز ورودی برای استوانه¬های درونی و خارجی، بار آبی ثابت با ارتفاع آب روی سطح خاک برابر ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که برای استوانه درونی ثابت و برای استوانه بیرونی با گذشت زمان متغیر و با تغییر جزیی (نزدیک به صفر) بود. شرایط مرزی برای محدوده سطح خاک در خارج از استوانه‌ها به صورت اتمسفری، برای دیواره استوانه‌ها بدون جریان و برای مرز پایینی (عمق خاک) زهکشی آزاد تعریف شد (شکل ۱).



شکل ۱- شرایط مرزی تعریف¬شده برای شبیه¬سازی آزمایش نفوذ از طریق استوانه¬های¬دوگانه به وسیله مدل HYDRUS2D/3D

همچنین از مدل ونگنوختن معلم با فرض m=1-1/n برای کمّی نمودن ویژگیهای هیدرولیکی خاک در معادله ریچاردز استفاده شد. زمان نهایی نفوذ برای هر خاک برابر زمان نهایی نفوذ اندازهگیریشده در مزرعه در نظر گرفته شد. شرایط اولیه برای شبیه‌سازی حرکت آب در خاک، بر اساس پتانسیل ماتریک تعریف شد؛ بدین ترتیب که مقدار پتانسیل ماتریک در هر خاک با توجه به رطوبت اولیه اندازهگیری شده در آن خاک اندازه‌گیری شد. رای ارزیابی شبیه‌سازی عددی انجام‌گرفته توسط مدل از شاخص‌های آماری متفاوتی مانند ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای بایاس (MBE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده(NRMSE) استفاده شد. هرکدام از این آماره‌ها از روابط زیر قابل محاسبه هستند (کریم‌پور و بنی‌طالبی، ۱۳۹۹):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(I_i - \hat{I}_i)^2}{N}} \quad (۱)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(I_i - \hat{I}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(I_i - \bar{I})^2} \quad (۲)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{max} - X_{min}} \quad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(I_i - \hat{I}_i)}{N} \quad (۴)$$

در این فرمول‌ها N تعداد مشاهده‌ها، I_i میزان نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده، $\hat{I}_i$ میزان نفوذ تجمعی شبیه‌سازی‌شده، X_{max} (cm^3) بیشترین نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده و X_{min} (cm^3) کمترین نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده در یک نوع خاک است که به عنوان ورودی مدل، برای بهینه‌سازی انتخاب می‌شوند.

نتایج و بحث

خاک مناطق مورد مطالعه بر اساس سیستم طبقه‌بندی وزارت کشاورزی مریکا (USDA)، در هفت گروه بافتی شامل تعداد ۱۱ نمونه بافت CL، ۱۳ نمونه بافت SiC، ۱۱ نمونه بافت SL، ۸ نمونه بافت L، ۸ نمونه بافت SCL، ۷ نمونه بافت SiCL و ۵ نمونه بافت SiL قرار گرفتند. میانگین نفوذ تجمعی نهایی اندازه‌گیری‌شده در بافت‌های CL، SiC، SL، L، SCL، SiCL و SiL به ترتیب معادل ۱۲/۸۸، ۲۰/۵۵، ۵۸/۰۲، ۲۵/۷، ۴۴/۹۴، ۱۲/۸۱ و ۱۳/۶ سانتی‌متر بوده است.

نتایج مقایسه‌های آماری بین داده‌های نفوذ تجمعی شبیه‌سازی‌شده به روش حل معکوس در محیط نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D و داده‌های نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده در شرایط آزمایش استوانه‌های دوگانه مربوط به نقاط مختلف استان اصفهان، برای بافت‌های متفاوت در جدول ۱ ارائه شده است.

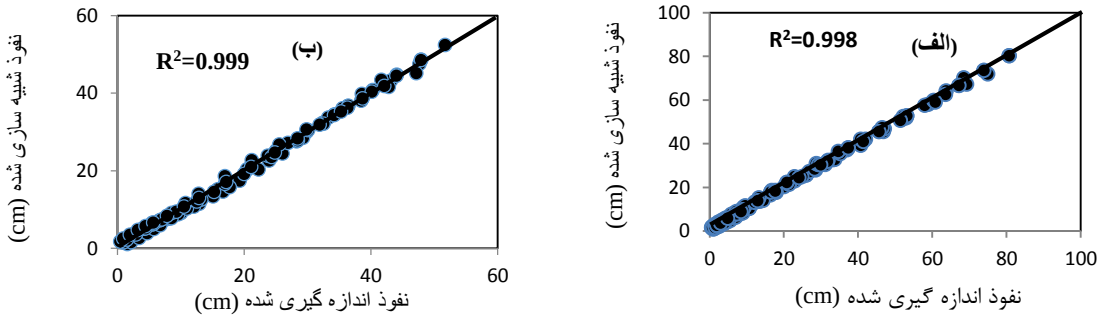
جدول ۱- نتایج ارزیابی‌های آماری نفوذ تجمعی شبیه‌سازی‌شده در بافت‌های مختلف توسط نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D

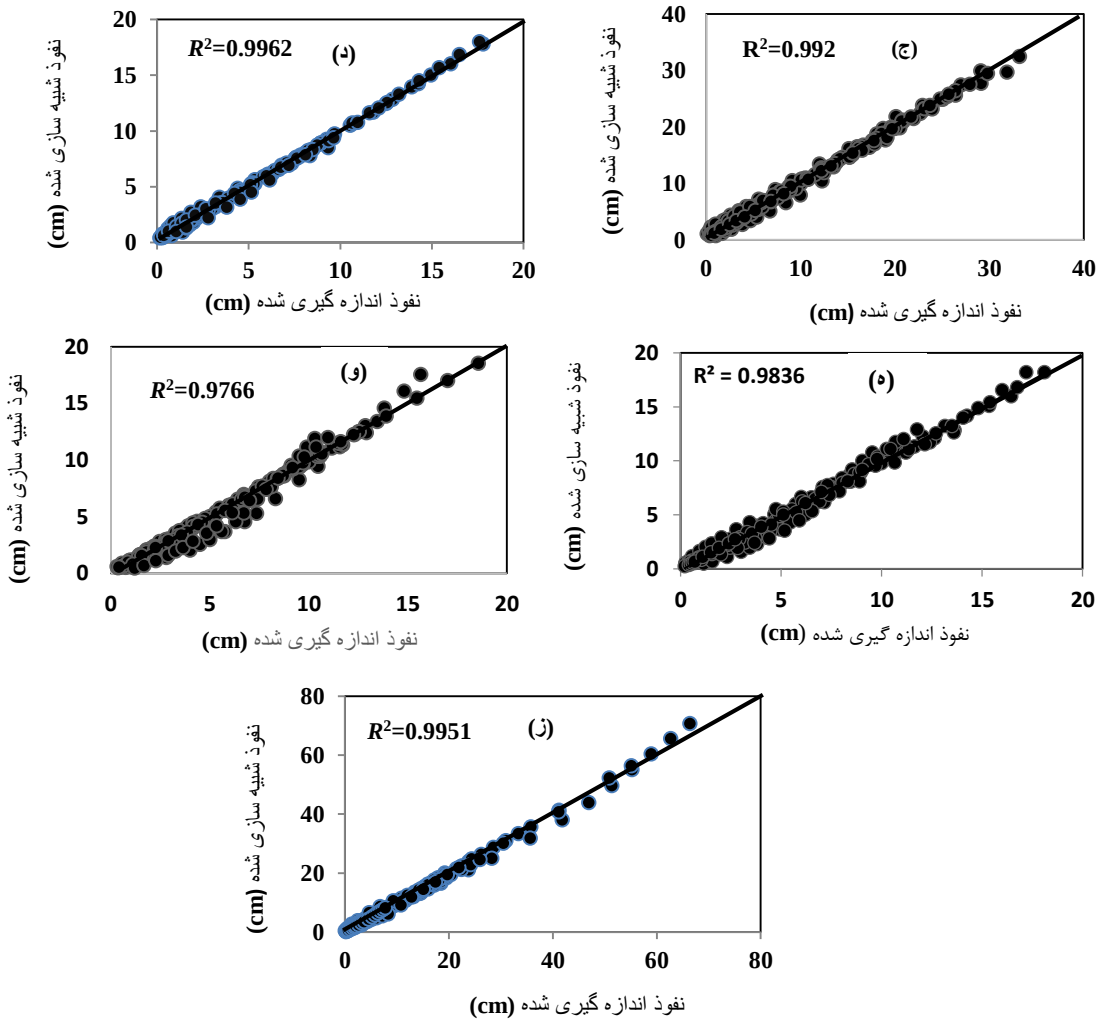
بافت خاک	تعداد خاک	R^2	RMSE (cm)	MBE (cm)	NRMSE
CL	۱۱	/۹۸۳۶	۰/۴۸۸	-۰/۰۸۹	۰/۰۴۴
L	۸	۰/۹۹۲۵	۰/۶۷۲	-۰/۱۹۸	۰/۰۲۸
SiC	۱۳	۰/۹۹۵۱	۰/۶۷۰	-۰/۰۰۶	۰/۰۴۵
SCL	۸	۰/۹۹۹۶	۰/۷۴۳	۰/۰۳۴	۰/۰۱۸
SL	۱۱	۰/۹۹۸۶	۰/۸۷۴	۰/۳۲۳	۰/۰۱۵
SiCL	۷	۰/۹۹۶۶	۰/۴۸۸	-۰/۱۶۰	۰/۰۴۳
SiL	۵	۰/۹۹۶۲	۰/۲۲۶	۰/۰۶۳	۰/۰۲۰

مقادیر مثبت و منفی معیار خطای بایاس میانگین (MBE) به ترتیب نشان‌دهنده بیشتر و یا کمتر بودن مقادیر شبیه‌سازی‌شده به روش حل معکوس نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده است. بنابراین با توجه به مقادیر پارامتر MBE، در بافت‌های CL، L، SiC و

SiCL، مقادیر شبیه‌سازی‌شده به روش حل معکوس نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده کمتر بوده است (جدول ۱). همچنین مقادیر RMSE در همه بافت‌ها در حد قابل قبول بوده است. با توجه به مقادیر RMSE ارائه شده در جدول ۱، کمترین میزان RMSE در بافت SiL (۰/۲۲۶) و بیشترین میزان آن در بافت SL (۰/۸۷۴) مشاهده شد. اما نکته‌ای که وجود دارد این‌است‌که میزان نفوذ آب به خاک در بافت‌های مختلف بسیار متفاوت است؛ به گونه‌ای که در زمان نهایی میزان نفوذ تجمعی در خاک‌های با بافت سنگین بسیار کمتر از خاک‌های دارای بافت سبک می‌باشد؛ در چنین شرایطی استفاده از معیارهای آماری بدون بعد مانند R^2 و NRMSE مناسب‌تر از آماره‌های SSE، RMSE و MBE که دارای بعد هستند می‌باشند و ارزیابی آماری بسیار دقیق‌تری را از جامعه مورد مطالعه ارائه می‌دهند. با توجه به اطلاعات ارائه شده در جدول ۱، در همه بافت‌های مورد مطالعه، همبستگی بسیار بالایی (R^2) بین داده‌های نفوذ تجمعی شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده وجود داشت. همچنین مقدار NRMSE در همه بافت‌های مورد مطالعه پایین و در حد قابل قبول بود. با توجه به مقادیر NRMSE، کمترین میزان خطای شبیه‌سازی در بافت SL (NRMSE=۰/۰۱۵) و بیشترین میزان خطای شبیه‌سازی در بافت SiC (NRMSE=۰/۰۴۵) مشاهده شد. این نتیجه با نتایج ارائه شده توسط مشایخی و همکاران (Mashayekhi *et al*., 2016) همخوانی دارد. دلیل این امر وجود مقادیر بالاتر رس در خاک‌های با بافت ریز و وجود انبساط و انقباض بیشتر در این ذرات بوده که بر روی توزیع و چگونگی قرار گرفتن منافذ در خاک تاثیر گذار است و حتی در برخی موارد منجر به ایجاد درز و ترک و به‌وجود آمدن جریان‌های ترجیحی در خاک می‌شوند، از آنجا که این مورد در بسیاری از معادلات و مدل‌ها در نظر گرفته نمی‌شود، همین امر باعث افزایش خطا در فرآیند مدلسازی در خاک‌های با بافت ریز نسبت به خاک‌های درشت بافت می‌شود. همچنین موسوی دهموردی و همکاران (۱۳۹۷)، با شبیه‌سازی شرایط استوانه‌های دوگانه در محیط HYDRUS-1D و با روش حل مستقیم گزارش کردند که نفوذ تجمعی برآورد شده در بافت لوم شنی کمترین میزان خطا و در بافت لوم رسی- سیلتی بیشترین میزان خطا را داشت. Huang and Xining (2013) نیز کاهش دقت اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک با سنگین شدن بافت خاک را گزارش و دلیل آن‌را افزایش وابستگی فرآیند نفوذ به بافت خاک گزارش نمودند.

شکل ۲ پراکنش مقادیر نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده توسط روش حل معکوس در آزمایش استوانه‌های دوگانه را در اطراف خط یک به یک را برای خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، تقریبا در همه بافت‌ها، بین داده‌های نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده و تخمین‌زده‌شده هم‌خوانی خوبی دیده می‌شود. با توجه به شکل ۲ بیشترین میزان پراکندگی داده‌ها و نیز بیشترین انحراف از خط ۱ به ۱ مربوط به بافت‌های SiCL و SiC بوده است.





شکل ۲- پراکنش مقادیر نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده توسط روش حل معکوس در بافت‌های SL (الف)، SCL (ب)، L (ج) ، SiL (د)، CL (ه)، SiCL (و)، SiC (ز)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که نرم‌افزار HYDRUS 2D/3D ، با رویکرد حل معکوس، نفوذ آب به خاک از طریق نفوذسنج استوانه‌های دوگانه را در بافت‌های مختلف با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کرد. در همه بافت‌ها همبستگی بسیار بالایی بین مقادیر نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده در آزمایش استوانه‌های دوگانه و مقادیر نفوذ تجمعی شبیه‌سازی‌شده در محیط نرم‌افزار مشاهده شد. خطای شبیه‌سازی با سنگین شدن بافت خاک و افزایش میزان رس، افزایش پیدا کرد؛ به گونه‌ای که کمترین میزان خطای شبیه‌سازی مربوط به بافتSL و بیشترین خطای شبیه‌سازی در بافت SiC بود. دلیل این امر این است که اثرات انقباض و انبساط و یا وجود درز و ترک که در حالت واقعی و طبیعی در خاک‌های با بافت سنگین وجود دارد، در شرایط مدل‌سازی لحاظ نمی‌شود؛ حال آنکه این عوامل تاثیر زیادی بر روی چگونگی توزیع، شکل و نیز پیوستگی منافذ موجود در خاک و در نتیجه جریان آب در خاک دارد. به همین دلیل پیاده‌سازی مدل برای خاک‌های با بافت سبک‌تر به شرایط واقعی نزدیکتر بوده و داده‌های نفوذ تجمعی آب به خاک با دقت بالاتری تخمین زده می‌شوند.

فهرست منابع

فراستی، م، شاکری، ح. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی نفوذ آب در خاک با استفاده از نرم‌افزار Hydrus1D و داده‌های صحرایی. پژوهش‌های حفاظت خاک. ۲۵(۳). ۱۲۸-۱۱۳.

کریمی پورالف، ر، بنی طالبی، گ. (۱۳۹۹). تحلیل حساسیت داده‌های هواشناسی در برآورد تبخیر و تعرق مرجع با حداقل داده‌های هواشناسی با استفاده از مدل‌های موجک- عصبی- فازی، ANN و ANFIS. حفاظت منابع آب و خاک.۹ (۳).۷۲-۴۷.

موسوی دهموردی، الف، مشایخی، پ، قربانی دشتکی، ش. ۱۳۹۷. مقایسه کارایی برخی مدلهای نفوذ آب به خاک بر اساس داده¬های به دست آمده از استوانه های دوگانه و نرم افزار HYDRUS-1D. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵(۳). ۲۵۳-۲۴۱.

Gribb, M. M., Forkutsa, I., Hansen, A., Chandle,r D. G., McNamara, J. P. (2009). The Effect of Various Soil Hydraulic Property Esti mates on Soil Moisture Simulations. *Vadose Zone Journal*, 8(2), 321–331.

Huang, J., Wu, P., Xining, Z. (2013). Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. *Catena*, 104, 93-102.

Lai, J., Ren, L. (2016). Buffer index effects on hydraulic conductivity measurements using numerical simulations of double-ring infiltration. *Soil Science Society American Journal*, 74, 1526–1536.

Mashayekhi, P., Ghorbani Dashtaki, S., Mosaddeghi, M.R., Shirani, H., Mohammadi Nodoushan, A.R. (2016). Different scenarios for inverse estimation of soil hydraulic parameters from double ring infiltrometer data using HYDRUS 2D/3D. *International Agrophysics*, 30(2), 203-210.

Puhlmann, H., von Wilpert, K., Lukes, M., Dröge, W. 2(009). Multistep outflow experiments to derive a soil hydraulic database for forest soils. *European Journal of Soil Science*, 60, 792–806.

Schelle, H., Iden, S.C., Schlüter, S., Vogel, H. J., Durner, W. (2012). Identification of effective flow processes and properties from virtual soils using inverse modeling. Geophysical Research Abstracts 14.

Šimůnek, J., Šejna, M., and van Genuchten, M. Th. (2012). HYDRUS: model use, calibration and validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55(4), 1261-1274

Vereecken, H., Weynants, M., Javaux, M., Pachepsky, Y., Schaap, M.G., van Genuchten, M.Th. (2010). Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten–Mualem soil hydraulic properti es: A review. *Vadose Zone Journal*, 9,

Vogel, H. J., Samouelian, A., Ippisch, O. (2008). Multi-step and twostep experiments in heterogeneous porous media to evaluate the relevance of dynamic effects. *Advances in Water Resources*, 3,181– 188.

Wang, Q.J., Horton, R., Shao, M. A. (2002). Horizontal infiltration method for determining Brooks-Corey model parameters. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 1733–1739.

Evaluation of HYDRUS- 2D/3D in water infiltration simulation into soil with different textures via inverse solution

Parisa Mashayekhi[1] and Zahra Khanmohammadi[2]

1&2-Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

Abstract

In recent years, inverse numerical solution methods have been considered by many researchers to address the problems of water movement in soil. In this study, HYDRUS-2D/3D software was used to simulate water infiltration through double-rings infiltrometers into soils with contrasting textures using the inverse solution approach. For this purpose, the infiltration data obtained by double-rings method from 63 points of different regions in Isfahan were used as model input. The studied soils were classified into seven textural classes including Sandy Loam (SL), Sandy Clay Loam (SCL), Loam (L), Silty Loam (SiL), Clay Loam (CL), Silty Clay Loam (SiCL) and SiC (Silty Clay). Excellent agreement was observed between the measured and simulated cumulative infiltration data, in all soil textures. Coefficients of determination (R2) were 0.998, 0.999, 0.992, 0.996, 0.983, 0.976 and 0.995 for SL, SCL, L, SiL, CL, SiCL and SiC textures, respectively. Increasing the percentage of clay in the soil textures increased the simulation error. The highest simulation error was observed in SiC (NRMSE = 0.045) and the lowest simulation error was observed in SL (NRMSE = 0.015). In general, the simulated double-rings infiltration data using HYDRUS -2D / 3D software and the inverse numerical solution approach had acceptable accuracy and high reliability in all studied textures.

Keywords: Cumulative infiltration, Double rings infiltrometers, Numerical inverse solution

برآورد آب قابل استفاده گیاه به روش حل عددی معکوس با استفاده از داده‌های استوانه‌های دوگانه

پریسا مشایخی[1]، محسن دهقانی[2]

۱و۲- اعضای هیات علمی بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان ایران،Email: mashayekhi_enj@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش از نرم‌افزار HYDRUS- 2D/3D برای برآورد آب قابل استفاده گیاه (AV)، با استفاده از رویکرد حل معکوس، استفاده شد. برای این منظور، داده‌های نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده به روش استوانه‌های دوگانه در ۹۵ نقطه از مناطق مختلف استان اصفهان به عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار گرفت. خاک‌های مورد مطالعه در هفت کلاس بافتی شامل لوم‌شنی (SL)، رسی (C)، لوم (L)، لوم سیلتی (SiL)، لوم رسی (CL)، لوم رس سیلتی (SiCL) و رس سیلتی (SiC) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بیشترین خطای شبیه‌سازی برای برآورد آب قابل استفاده گیاه مربوط به خاک رسی (مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب معادل ۰/۵۶۲ و ۰/۰۷۱) و کمترین خطای شبیه‌سازی مربوط به خاک SL (مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب معادل ۰/۷۹۵۸ و ۰/۰۲۰) بوده است. در کل میزان خطای شبیه‌سازی با افزایش میزان رس در خاک و سنگین‌تر شدن بافت خاک افزایش پیدا کرد. مقادیر ضریب تبیین برای FC و PWP و AV در همه خاک‌ها به ترتیب معادل ۰/۷۷۱۷، ۰/۷۹۸۶ و ۰/۷۵۵۵ بود. در کل روش حل عددی معکوس از دقت قابل قبولی برای برآورد آب قابل استفاده گیاه به ویژه در خاک‌های دارای بافت سبک برخوردار بود.

واژگان کلیدی: استوانه‌های دوگانه، شبیه‌سازی، ظرفیت زراعی، نرم‌افزار HYDRUD-2D/3D، نقطه پژمردگی دایم

مقدمه

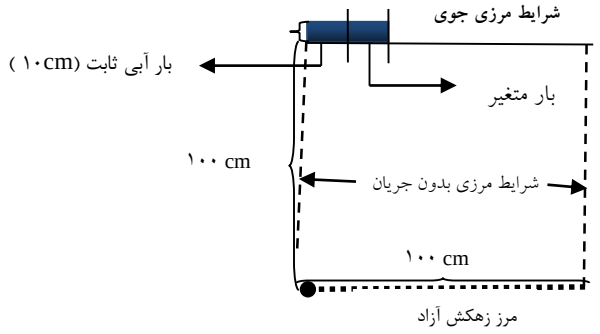
جریان غیر اشباع آب در خاک از اهمیت زیادی در حل مسایل مربوط به آبیاری و زهکشی، هیدرولوژی و حرکت املاح در خاک برخوردار است. از ویژگی‌های مهم در بخش غیراشباع خاک، منحنی رطوبتی و هدایت هیدرولیکی غیراشباع هستند که بیان ریاضی آنها برای استفاده در مدلسازی جریان آب و املاح در خاک ضروری است. از جمله نقاط بسیار مهم در منحنی مشخصه رطوبتی میزان رطوبت موجود در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم گیاه است که در تعیین میزان آب قابل استفاده گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. میزان آب قابل استفاده گیاه از پرکاربردترین ویژگی‌ها برای برنامه‌ریزی و طراحی سیستم‌های مختلف آبیاری، تعیین عمق آبیاری برای زراعت و مدیریت آبیاری است (Novák and Havrila, 2006).

امروزه روش‌های آزمایشگاهی مختلفی برای اندازه‌گیری مستقیم این ویژگی‌ها وجود دارد. با این وجود، پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که به دلیل تغییرپذیری مکانی و زمانی زیاد این ویژگی‌ها، ناهمگون بودن خاک و ماهیت غیرخطی منحنی مشخصه رطوبتی و نیز هدایت هیدرولیکی، اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در مقیاس آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های کوچک خاک، به هیچ عنوان قادر به توصیف دقیق این ویژگی‌ها در مقیاس های بزرگتر مکانی در خاک نخواهند بود (Lai and Ren, 2016; Scell *et al*., 2012). در نتیجه، روش‌های غیرمستقیم برای به دست آوردن پارامترهای هیدرولیکی خاک محبوبیت یافتند. از جمله روش‌های غیر مستقیم برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک، روش حل عددی معکوس است. در این روش، پارامترهای بهینه شده مستقیماً از داده‌های اندازه‌گیری‌شده برای یک مسئله خاص هیدرولوژیکی خاک برآورد می‌شوند (Kirkham *et al*., 2019). پژوهش‌های مختلف نشان داده است که ویژگی‌های هیدرولیکی که به صورت معکوس از طریق اندازه‌گیری‌های درجا شامل اندازه‌گیری رطوبت خاک و یا پتانسیل ماتریک در شرایط واقعی برآورد می‌شوند، بسیار بهتر از اندازه‌گیری‌های انجام شده در مقیاس آزمایشگاهی و توابع انتقالی، شرایط

جریان آب در خاک را توصیف می‌کنند (Gribb *et al*., 2009 و Vereeken *et al*., 2010). از آنجا که اندازه‌گیری برخی فرآیندهای جریان مانند نفوذ تجمعی یا تغییرات میزان آب خاک نسبت به سایر ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، آسان‌تر است، پژوهشگران مختلف برای برآورد پارامترهای هیدرولیکی خاک از داده‌های نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده به روش‌های مختلف در حل روش‌های عددی معکوس استفاده کرده‌اند (Raoof and Pilpayeh, 2011؛ Vanclooster *et al*., 2007؛ Mashayekhi *et al*., 2016). روش‌های مستقیم به دست آوردن منحنی مشخصه رطوبتی خاک (SWCC) در آزمایشگاه به کمک دستگاه‌های جعبه شن و صفحه فشار انجام می‌شود که زمان‌بر بوده و SWCC را در مسیر خشک‌شدن خاک اندازه‌گیری می‌کنند. ضمن این‌که نمونه برداشت‌شده توسط سیلندر معمولاً کوچک بوده و همان‌طور که قبلاً اشاره شد، نمی‌تواند تغییرپذیری ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در مقیاس صحرایی را پوشش دهد. یکی از روش‌های استاندارد در اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک روش استوانه‌های دوگانه است. هدف از انجام این پژوهش، بررسی امکان استفاده از داده‌های مربوط به نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده به روش نفوذسنج‌های استوانه-دوگانه در بر برآورد نقاط FC و PWP در شرایط طبیعی خاک و در مسیر ترشدن، با کمک نرم‌افزار هایدروس (HYDRUS) (Šimůnek *et al*., 2012) است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D برای شبیه‌سازی نفوذ آب در خاک به روش معکوس، استفاده شد. داده‌های نفوذ تجمعی به دست آمده از آزمایش نفوذسنج‌های استوانه‌های دوگانه مربوط به ۹۵ نقطه مختلف از استان اصفهان، به عنوان ورودی مدل استفاده شد. همچنین در هر نقطه مورد آزمایش، نمونه خاک در سه تکرار از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری، برای اندازه‌گیری بافت (به روش هیدرومتری) وزن مخصوص ظاهری (به روش نمونه‌برداری با سیلندر) و FC و PWP (با استفاده از دستگاه صفحات فشاری) برداشت شد. برای پیاده‌سازی شرایط آزمایش در محیط نرم‌افزار، محدوده خاک زیر استوانه‌های‌دوگانه به صورت یک ناحیه متقارن حول محوری به مرکزیت استوانه داخلی در نظر گرفته شد. شعاع استوانه‌های داخلی و خارجی به ترتیب ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر، عمق جای‌گذاری استوانه‌ها در خاک ۱۰ سانتی-متر و عمق خاک ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. شرط مرز ورودی برای استوانه‌های درونی و خارجی، بار آبی ثابت با ارتفاع آب روی سطح خاک برابر ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد که برای استوانه درونی ثابت و برای استوانه بیرونی با گذشت زمان متغیر و با تغییر جزیی (نزدیک به صفر) بود. شرایط مرزی برای محدوده سطح خاک در خارج از استوانه‌ها به صورت اتمسفری، برای دیواره استوانه‌ها بدون جریان و برای مرز پایینی (عمق خاک) زهکشی آزاد تعریف شد (شکل ۱). همچنین از مدل ونگنوختن معلم با فرض m=1-1/n برای کمّی نمودن ویژگی¬های هیدرولیکی خاک در معادله ریچاردز استفاده شد. زمان نهایی نفوذ برای هر خاک برابر زمان نهایی نفوذ اندازه¬گیری¬شده در مزرعه در نظر گرفته شد. شرایط اولیه برای شبیه-سازی حرکت آب در خاک، بر اساس پتانسیل ماتریک تعریف شد؛ بدین ترتیب که مقدار پتانسیل ماتریک در هر خاک با توجه به رطوبت اولیه اندازه¬گیری شده در آن خاک اندازه¬گیری شد.



شکل۱- شبیه‌سازی آزمایش استوانه‌های دوگانه در محیط HYDRUS-2D/3D

برای ارزیابی شبیه‌سازی عددی انجام‌گرفته توسط مدل از شاخص‌های آماری متفاوتی مانند ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای بایاس (MBE) استفاده شد. هرکدام از این آماره‌ها از روابط زیر قابل محاسبه هستند:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{N}(I_i - \hat{I}_i)}{N} \qquad R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(I_i - \hat{I}_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(I_i - \bar{I})^2} \qquad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(I_i - \hat{I}_i)^2}{N}}$$

در این فرمول‌ها N تعداد مشاهده‌ها، I_i میزان نفوذ تجمعی اندازه‌گیری‌شده، $\hat{I}_i$ میزان نفوذ تجمعی شبیه‌سازی‌شده است.

نتایج و بحث

خاک مناطق مورد مطالعه بر اساس سیستم طبقه‌بندی وزارت کشاورزی مریکا (USDA)، در هفت گروه بافتی شامل ۱۵ نمونه بافت CL، 12 نمونه بافت SiC، 13 نمونه بافت SL، 18 نمونه بافت L، 11 نمونه بافت C، 14 نمونه بافت SiCL و ۱۲ نمونه بافت SiL (در مجموع ۹۵ نمونه خاک) قرار گرفتند. نتایج مقایسه‌های آماری بین داده‌های FC و PWP شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری‌شده برای بافت‌های متفاوت در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه آماری مقادیر FC و PWP اندازه‌گیری‌شده در خاک و شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D

بافت خاک	تعداد خاک	R^2	RMSE(cm^3cm^{-3})	MBE(cm^3cm^{-3})	مجموع رتبه ها	رتبه نهایی
FC						
لوم رسی(CL)	۱۵	۰/۷۴۶(۳)*	۰/۰۷۰(۵)	-۰/۰۶۷(۵)	۱۳	**۴**
لوم(L)	۱۸	۰/۷۶۳(۲)	۰/۰۴۰(۲)	-۰/۰۲۱(۲)	۶	**۲**
رس سیلتی(SiC)	۱۲	۰/۳۴۵(۶)	۰/۱۰۹(۶)	-۰/۰۷۹(۶)	۱۸	**۵**
رسی(C)	۱۱	۰/۱(۷)	۰/۱۲۲(۷)	-۰/۱۰۹(۷)	۲۱	**۶**
لوم شنی(SL)	۱۳	۰/۸۴۴(۱)	۰/۰۲۱(۱)	-۰/۰۱۲(۱)	۳	**۱**
لوم رس سیلت(SiCL)	۱۴	۰/۵۷۱(۵)	۰/۰۶۴(۴)	-۰/۰۵۴(۴)	۱۳	**۴**
لوم سیلت(SiL)	۱۲	۰/۶۸(۴)	۰/۰۶۲(۳)	-۰/۰۳۶(۳)	۱۰	**۳**
بافت خاک	تعداد خاک	R^2	RMSE	MBE	مجموع رتبه ها	رتبه نهایی
PWP						
لوم رسی(CL)	۱۵	۰/۴۶۱(۵)	۰/۰۰۵(۲)	-۰/۰۴۴(۵)	۱۲	**۴**
لوم(L)	۱۸	۰/۸۵۸(۱)	۰/۰۰۳(۱)	-۰/۰۱۲(۳)	۵	**۱**
رس سیلتی(SiC)	۱۲	۰/۳۶۸(۶)	۰/۰۱۵(۴)	-۰/۰۴۴(۵)	۱۵	**۵**
رسی(C)	۱۱	۰/۲۱(۷)	۰/۰۲۵(۶)	-۰/۰۴۵(۶)	۱۹	**۶**
لوم شنی(SL)	۱۳	۰/۷۱۳(۳)	۰/۰۱۴(۳)	-۰/۰۰۸(۲)	۸	**۲**
لوم رس سیلت(SiCL)	۱۴	۰/۵۸۲(۴)	۰/۰۰۵(۲)	-۰/۰۳۹(۴)	۱۰	**۳**
لوم سیلت(SiL)	۱۲	۰/۷۸۹(۲)	۰/۰۲۱(۵)	-۰/۰۰۲(۱)	۸	**۲**

*رتبه از نظر آماره مورد بررسی

مقادیر مثبت و منفی معیار خطای بایاس میانگین (MBE) به ترتیب نشان‌دهنده بیشتر و یا کمتر بودن مقادیر شبیه‌سازی‌شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده است. بنابراین با توجه به مقادیر پارامتر (MBE)، در همه بافت‌های مورد مطالعه، مقادیر FC و PWP شبیه‌سازی‌شده به روش حل معکوس نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده کمتر بوده است (جدول ۲). همچنین با توجه به مقادیر آماره‌های R^2 و RMSE، کمترین خطای شبیه‌سازی برای برآورد FC در خاک SL مشاهده شد (مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب معادل ۰/۸۴۴ و ۰/۰۲۱) و بیشترین مقدار خطای شبیه‌سازی در بافت C مشاهده شد (مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب معادل ۰/۱ و ۰/۱۲۲). به طور کلی با افزایش درصد رس در خاک، خطای شبیه‌سازی افزایش پیدا کرده است. Mashayekhi *et al.* (2016) با شبیه‌سازی شرایط آزمایش استوانه‌های دوگانه در سه نوع بافت سبک، متوسط و سنگین، نتایج مشابهی را گزارش نمودند. Huang and Xining (2013) نیز کاهش دقت اندازه‌گیری نفوذ آب به خاک با سنگین شدن بافت خاک را گزارش و دلیل آن را افزایش وابستگی فرآیند نفوذ به بافت خاک اعلام نمود.

دلیل این‌که سنگین‌تر شدن بافت خاک باعث افزایش خطای برآورد در فرآیند مدلسازی می‌شود این است که ذرات رس موجود در خاک دارای خاصیت انبساط و انقباض هستند و همین انبساط و انقباض در حین خیس و خشک شدن خاک سبب تغییر اندازه منافذ خاک و نحوه توزیع آنها و نیز ایجاد درز و ترک و به‌وجود آمدن جریان‌های ترجیحی در خاک می‌شوند. از آنجا که این درز و ترک‌ها

و جریانات ترجیهی در بسیاری از معادلات و مدل‌ها در نظر گرفته نمی‌شود، همین امر باعث افزایش خطا در فرآیند مدلسازی در خاک‌های با بافت ریز نسبت به خاک‌های درشت بافت می‌شود.

در مورد مقادیر PWP شبیه‌سازی‌شده کمترین مقادیر خطای شبیه‌سازی در بافت L (مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب معادل ۰/۸۵۸ و ۰/۰۰۳) و بعد از آن در بافت‌های SiL و SL مشاهده شد. در اینجا هم مشابه FC بیشترین خطای شبیه‌سازی مربوط به بافت رسی بوده است (مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب معادل ۰/۲۱ و ۰/۰۲۵) (جدول ۱).

جدول ۲ نتایج مقایسه‌های آماری بین داده‌های آب قابل استفاده شبیه‌سازی‌شده (حاصل تفاضل مقادیر FC و PWP برآورد شده به روش حل معکوس در محیط نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D) و اندازه‌گیری‌شده (حاصل تفاضل مقادیر FC و PWP اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به وسیله دستگاه صفحات فشاری) برای بافت‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

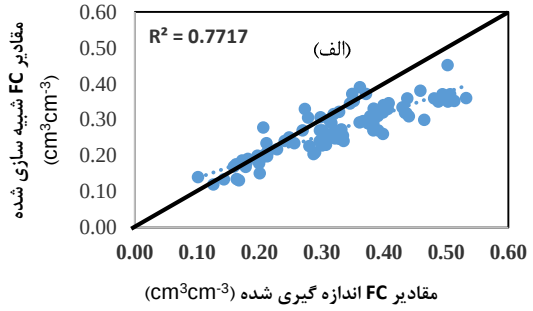
جدول ۴- نتایج مقایسات آماری مقادیر آب قابل استفاده گیاه اندازه‌گیری‌شده در خاک و شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار HYDRUS-2D/3D

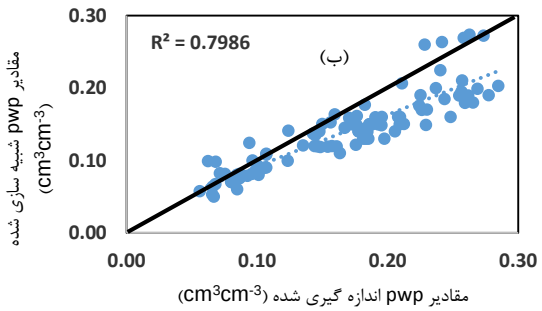
بافت خاک	تعداد خاک	R^2	RMSE(cm^3cm^{-3})	MBE(cm^3cm^{-3})	مجموع رتبه ها	رتبه نهایی
آب قابل استفاده گیاه						
لوم رسی(CL)	۱۵	*(۷)۰/۳۳۱	(۴)۰/۰۳۹	(۴)-۰/۰۲۳	۱۵	۶
لوم(L)	۱۸	(۴)۰/۷۰۶	(۲)۰/۰۲۸	(۲)-۰/۰۰۹	۸	۲
رس سیلتی(SiC)	۱۲	(۲)۰/۷۷۲	(۶)۰/۰۶۱	(۶)-۰/۰۳۵	۱۴	۵
رسی(C)	۱۱	(۵)۰/۵۶۲	(۷)۰/۰۷۱	(۷)-۰/۰۶۴	۱۹	۷
لوم شنی(SL)	۱۳	(۱)۰/۷۹۵	(۱)۰/۰۲۰	(۱)-۰/۰۰۳	۳	۱
لوم رس سیلت(SiCL)	۱۴	(۶)۰/۴۹۶	(۳)۰/۰۳۱	(۳)-۰/۰۱۵	۱۲	۳
لوم سیلت(SiL)	۱۲	(۳)۰/۷۴۶	(۵)۰/۰۴۸	(۵)-۰/۰۳۴	۱۳	۴

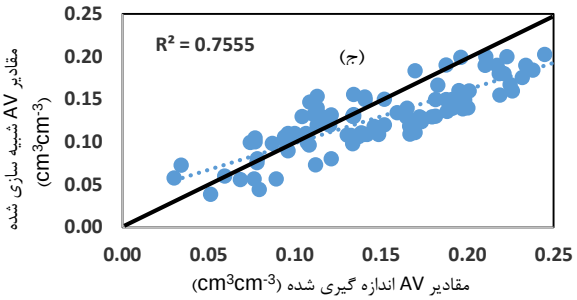
*رتبه از نظر آماره مورد بررسی

همان‌گونه که انتظار می‌رفت، بیشترین خطای شبیه‌سازی برای برآورد آب قابل استفاده گیاه مربوط به خاک رسی (مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب معادل ۰/۵۶۲ و ۰/۰۷۱) و کمترین خطای شبیه‌سازی مربوط به خاک SL (مقادیر R2 و RMSE به ترتیب معادل ۰/۷۹۵۸ و ۰/۰۲۰) بوده است.

شکل ۲ پراکنش مقادیر FC، PWP و آب قابل استفاده گیاه اندازه‌گیری‌شده و برآوردشده در اطراف خط یک به یک را برای خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲، همبستگی نسبتا خوبی بین مقادیر رطوبت اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در نقاط FC، AV و به ویژه PWP وجود داشته است (مقادیر R^2 به ترتیب معادل ۰/۷۷۱۷، ۰/۷۵۵۵ و ۰/۷۹۸۶ بوده است). همچنین با افزایش میزان رطوبت در خاک، فاصله نقاط FC و PWP از خط یک به یک بیشتر شده است. در واقع با افزایش میزان رطوبت که نشان‌دهنده سنگین‌تر شدن بافت خاک است، خطای شبیه‌سازی افزایش پیدا کرده است. دلیل این موضوع همان‌طور که قبلا گفته شد، در نظر نگرفتن درز و ترک در نتیجه انبساط و انقباض ذرات رس در بافت‌های سنگین است که در شرایط مدل‌سازی اعمال نمی‌شود.







شکل ۲- پراکنش مقادیر الف-ظرفیت زراعی(FC)، ب-نقطه پژمردگی دائم (PWP) و ج- آب قابل استفاده (AV) اندازه‌گیری‌شده و برآورد-شده توسط روش حل معکوس در خاک‌های مورد مطالعه

نقاط آب قابل استفاده گیاه از پراکندگی بهتری حول خط یک به یک نسبت به FC و PWP برخوردار بوده‌اند، با این وجود عمدتا مقادیر FC، PWP و AV شبیه‌سازی‌شده کمتر از مقادیر اندازه‌گیری‌شده بوده است و در واقع مدل کم برآورد بوده است. اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و برآورد شده این نقاط از منحنی رطوبتی به دلیل تفاوت در روش اندازه‌گیری آنها است؛ بدین معنی که در روش اندازه‌گیری مستقیم در آزمایشگاه نمونه‌های خاک در دستگاه صفحات فشاری تحت فشار مورد نظر قرار گرفته و در واقع نقاط مختلف منحنی رطوبتی، از جمله FC و PWP در حین خشک شدن خاک اندازه‌گیری می‌شوند؛ در حالی‌که در حین نفوذ آب به خاک در آزمایش استوانه‌های دوگانه، خاک در حال خیس شدن است و در واقع مقادیر FC و PWP برای خاک در حین خیس شدن برآورد می‌شوند. منحنی رطوبتی بسته به این‌که خاک در حال خشک شدن یا خیس شدن باشد، دارای دو شاخه متمایز خشک و خیس شدن است و این دو شاخه از نظر شکل و پارامترهای توصیف کننده آن با یکدیگر متفاوت خواهند بود. پژوهش‌های مختلفی نیز نشان دادند که مقادیر پارامترهای مختلف منحنی رطوبتی از جمله رطوبت اشباع و رطوبت باقیمانده در خاک در شاخه خشک شدن بیشتر از شاخه خیس شدن است (Maqsoud *et al.*, 2004). به نظر می‌رسد همین امر باعث کمتر بودن مقادیر شبیه‌سازی‌شده این نقاط منحنی مشخصه رطوبتی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری‌شده آنها در این پژوهش بوده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش آب قابل استفاده گیاه از طریق تخمین مقادیر FC و PWP با استفاده از داده‌های نفوذ تجمعی اندازه‌گیری شده توسط استوانه‌های دوگانه در نرم‌افزار HYDRUS 2D/3D و با رویکرد حل معکوس در بافت‌های مختلف خاک برآورد شد. نتایج نشان داد که مدل با دقت نسبتا قابل قبولی مقادیر AV، FC و PWP را در همه بافت‌های مورد مطالعه برآورد نمود. دقت مقادیر برآورد شده در خاک‌های با بافت سبک‌تر بالاتر بود. کمترین میزان خطای برآورد در بافت SL مشاهده شد. میزان خطا با افزایش درصد رس موجود در خاک افزایش پیدا کرد و بیشترین خطا در بافت SiC مشاهده شد. در واقع وجود انبساط و انقباض در ذرات رس بر روی توزیع اندازه منافذ و چگونگی قرار گرفتن آنها تاثیر گذاشته و همچنین باعث ایجاد درز و ترک در خاک می‌شود. با توجه به این‌که این عوامل در شرایط مدلسازی لحاظ نمی‌شود. در واقع اثرات انقباض و انبساط ذرات رس و یا وجود درز و ترک که در حالت واقعی و طبیعی در خاک‌های با بافت سنگین وجود دارد، در شرایط مدل‌سازی لحاظ نمی‌شود؛ به همین دلیل پیاده‌سازی مدل برای خاک‌های با بافت سبک‌تر به شرایط واقعی نزدیکتر است. در کل با توجه به این‌که در شرایط طبیعی و واقعی، در فرآیندهایی مانند آبیاری و یا نفوذ آب به خاک در واقع خاک در حال خیس شدن است و اندازه‌گیری نقاط مختلف منحنی مشخص رطوبتی در حین خیس شدن به واقعیت نزدیک‌تر بوده و برای انجام برنامه‌ریزی‌های مختلف آبیاری از اطمینان بالاتری برخوردار هستند. از سوی دیگر در آزمایشگاه اندازه‌گیری منحنی مشخص رطوبتی از نمونه‌های بسیار کوچک خاک استفاده می‌شود که در نتیجه تعمیم دادن نتیجه به مقیاس مزرعه و مقیاس‌های بزرگ میدانی از دقت قابل قبولی برخوردار نخواهد بود. بر این اساس به نظر می‌رسد داده‌های رطوبتی برآورد شده به روش حل معکوس و با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در شرایط طبیعی از ارزش قابل قبولی برخوردار باشند.

فهرست منابع

Gribb, M. M., Forkutsa, I., Hansen, A., Chandler, D. G. and McNamara, J. P. (2009). The Effect of Various Soil Hydraulic Property Esti mates on Soil Moisture Simulations. Vadose Zone Journal, 8, 321–331.

Huang, J., Wu, P. and Xining, Z. (2013). Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments. Catena, 104, 93-102.

kirkham, J.M., Smith, C., Doyle, R.B. and Brown. P.B. (2019). Inverse modelling for predicting both water and nitrate movement in a structured-clay soil (Red Ferrosol). Peer Journal, 6, e6002 https://doi.org/10.7717/peerj.6002

Lai, J. and Ren, L. (2016). Estimation of effective hydraulic parameters in heterogeneous soils at field scale, Geoderma, 264, 28–41

Mashayekhi, P., Ghorbani Dashtaki, S., Mosaddeghi, M.R., Shirani, H. and Mohammadi Nodoushan, A. R. (2016). Different scenarios for inverse estimation of soil hydraulic parameters from double ring infiltrometer data using HYDRUS 2D/3D. International Agrophysics, 30(2), 203-210.

Maqsoud A, Bussière B, Mbonimpa M and Aubertin M. 2004. Hysteresis effects on the water retention curve: A comparison between laboratory results and predictive models. Pp. 8-15. Proceedings of the 57th geotechincal conference, Canada.

Novák, V. and Havrila, J. (2006). Method to estimate the critical soil water content of limited availability for plants. Biologia Journal, 61(19), 289-293.

Raoof M., and Pilpayeh A. R. (2013). Estimating soil wetting profile under saturated infiltration process by numerical inversion solution in land slopes. Middle-East Journal of Scientific Research, 13(6), 732–736.

Schelle, H., Iden, S.C., Schlüter, S., Vogel, H. J. and Durner, W. (2012). Identification of effective flow processes and properties from virtual soils using inverse modeling. Geophysical Research Abstracts 14.

Šimůnek, J., Šejna, M. and van Genuchten, M. Th. (2012). HYDRUS: model use, calibration and validation. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 55(4), 1261-1274.

Vanclooster, M., Javaux, M. and Lambot, S. (2007). Recent advances in characterizing flow and transport in unsaturated soil at the core and field. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo, 3, 19–35

Vereecken, H., Weynants, M., Javaux, M., Pachepsky, Y., Schaap, M.G. and van Genuchten, M.Th. (2010). Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten–Mualem soil hydraulic properti es: A review. Vadose Zone Journal, 9, 795–820. doi:10.2136/vzj2010.0045

Estimation of plant available water via inverse modeling using double rings data

Parisa Mashayekhi[1] and Mohsen Dehghani[2]

1&2-Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran

E-mail: mashayekhi_enj@yahoo.com

Abstract

In this study, HYDRUS-2D/3D software was used for inverse estimation of plant available water using double-rings infiltration data via inverse modeling. To that end, the double rings infiltration data obtained from 95 points of different regions in Isfahan were used as model input. The studied soils were classified into seven textural classes including Sandy Loam (SL), Clay (C), Loam (L), Silty Loam (SiL), Clay Loam (CL), Silty Clay Loam (SiCL), and SiC (Silty Clay). The results showed that the lowest error in estimating AV points was related to SL texture (R^2 = 0.7958 and RMSE = 0.020) and the highest estimation error was related to C texture (R^2 = 0.562 and RMSE = 0.071). In general, the simulation error increased with increasing clay content in the soil. Coefficients of determination (R^2) were 0.7717, 0.7986 and 0.7555 for FC, PWP and AV in all soils, respectively. In general, the inverse numerical solution method had acceptable accuracy for estimating AV, especially in light textured soils.

Keywords: Double rings infiltrometer, Field capacity,HYDRUD-2D/3D, plant wilting point,

ارزیابی روش‌های زمین‌آماری در برآورد مکانی تبخیر و تعرق مرجع در حوضه دریاچه ارومیه

رحمان باریده[1]، شادمان ویسی[2]

۱- سرباز نخبه موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، Rahman.barideh@gmail.com

۲- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و یکی از عوامل اصلی برنامه‌ریزی آبیاری و در نتیجه مصرف درست آب در حوزه علوم کشاورزی است. اندازه‌گیری این مؤلفه به صورت نقطه‌ای بوده و در بیشتر مواقع از روش‌های میانگین‌گیری حسابی و آمار کلاسیک برای تعمیم به دشت‌های کشاورزی استفاده می‌شود که این موضوع باعث برآورد نادرستی از میزان آب مورد نیاز می‌شود. لذا در این پژوهش به بررسی دقت درون‌یابی روش‌های زمین‌آماری برای پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شد. برای این منظور تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث در ۲۴ ایستگاه هواشناسی برای بازه ۱۰ ساله محاسبه گردید و دقت روش‌های قطعی و زمین‌آماری با استفاده از نرم‌افزار Arc Map مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج بیشترین و کمترین دقت به ترتیب در روش کوکریجینگ ساده با کدهای ارتفاعی به عنوان متغیر کمکی (nRMSE=٪۲/۶۹) و روش چند جمله‌ای محلی (nRMSE=٪۳/۹) به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان داد که همه روش‌ها مورد بررسی دارای دقت برآورد نزدیک به هم بودند و مقدار nRMSE همه آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد به دست آمد.

واژگان کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، دریاچه ارومیه، کریجینگ، کوکریجینگ

مقدمه

محدودیت منابع آب و رقابت بخش‌های مختلف در استفاده از این منابع از یک طرف و افزایش سطح اراضی فاریاب از طرف دیگر اهمیت بهره‌برداری بهینه از این منابع را صد چندان می‌سازد (شهابی فر و همکاران (۱۳۸۳)). از طرف دیگر تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و همچنین یکی از عوامل کلیدی برای برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی فاریاب می‌باشد. با توجه به وضعیت بحرانی دریاچه ارومیه یکی از راهکارهای اصلی احیا آن، مدیریت آب در حوضه آبریز است (دهقان و همکاران (۱۳۹۴)). بخشی عظیمی از مدیریت آب به حوضه کشاورزی و برآورد دقیق نیاز آبی گیاه (ET) مربوط می‌شود؛ بنابراین برآورد دقیق ET برای درک چرخه انرژی آب و همچنین مدیریت منابع آب مهم است و از طرفی عوامل هواشناسی، تغییرپذیری رطوبت خاک و خصوصیات خاک و پوشش سطح زمین سبب تغییرات مکانی ET در یک حوضه می‌شود ((Fisher *et al.*(2017)، (Greve *et al.*(2014)).

تعیین تبخیر و تعرق مرجع به‌صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری و یا برآورد می‌گردد و از آنجا که بیشتر مطالعات در مقیاس منطقه‌ای صورت می‌پذیرد نیاز به تعمیم این اطلاعات از حالت نقطه‌ای به منطقه‌ای می‌باشد (سالاری و همکاران (۱۳۹۹)). برای این منظور روش‌های متعددی از جمله روش‌های آمار کلاسیک، میانگین حسابی و رگرسیونی وجود دارد اما با توجه اینکه در این روش‌ها موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مد نظر قرار نمی‌گیرد لذا نتایج آن‌ها با ابهام مواجه است. بنابراین برای حل این موضوع استفاده از روش‌های زمین‌آماری پیشنهاد شده است. روش‌های

زمین‌آماری شامل روش‌های مختلفی از جمله کریجینگ ساده و معمولی، کوکریجینگ، وزن دهی عکس فاصله و غیره می‌گردد.

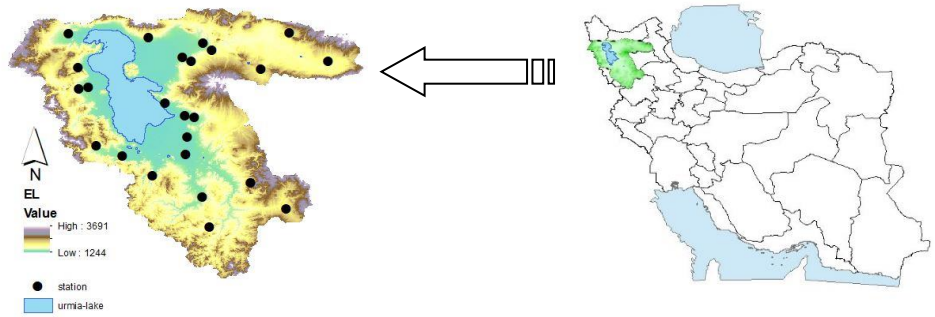
میرموسوی و همکاران (۱۳۸۹) به‌منظور تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی در استان اصفهان تحقیقی انجام دادند و نتایج آن‌ها نشان داد که روش‌های کریجینگ معمولی، ساده، توابع پایه شعاعی و یونیورسال به ترتیب دقت‌های بالاتری را در منطقه مورد مطالعه از خود نشان دادند و روش کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای مناسب‌ترین روش برای درون‌یابی اطلاعات مقادیر بارندگی سالانه بود. کمالی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با استفاده از داده‌های هواشناسی، تبخیر تعرق مرجع را به دو روش مقایسه کردند. در روش اول تبخیر تعرق مرجع با استفاده از داده‌های هواشناسی به روش هارگریوز- سامانی محاسبه و سپس درون‌یابی صورت گرفت و در روش دوم ابتدا اجزای معادله هارگریوز سامانی درون‌یابی و سپس با استفاده از نقشه‌های آن‌ها در محیط GIS بر اساس معادله هارگریوز سامانی نقشه تبخیر تعرق مرجع را محاسبه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر تبخیر تعرق مرجع حاصل از هر دو روش با مقادیر محاسبه شده آن در موقعیت ایستگاه‌های شاهد اختلاف معنی‌دار ندارد، لذا استفاده از هر دو روش مذکور تغییری در دقت نقشه‌های تبخیر تعرق مرجع ایجاد نمی‌کند. بوالحسنی و زارعی (۱۳۹۵) طی تحقیقی با عنوان برآورد مکانی و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبریز بختگان نتیجه گرفتند که روش کوکریجینگ نسبت به روش‌های وزن دهی عکس فاصله و کریجینگ معمولی از دقت بالاتری برخوردار بود. سالاری و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع بیان کردند که روش‌های زمین‌آماری در مقیاس ماهانه دارای دقت بیشتری بود و در مقیاس سالانه استفاده از روش تیسن ارجحیت دارد.

با توجه به اینکه دقت پهنه‌بندی روش‌های زمین‌آمار در پژوهش‌های مختلف متفاوت بوده است، لذا هدف این پژوهش بررسی دقت روش‌های قطعی شامل وزن‌دهی عکس فاصله، درون‌یابی چند جمله‌ای عمومی، درون‌یابی چند جمله‌ای محلی و توابع پایه شعاعی و روش‌های زمین‌آمار شامل کریجینگ، کوکریجینگ و کریجینگ تجربی برای پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع در حوضه دریاچه ارومیه بود.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

این پژوهش در حوضه دریاچه ارومیه واقع در شمال‌غرب ایران صورت گرفت. این حوضه بین ۴۴ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. مساحت آن حدود ۵۱۸۷۶ کیلومترمربع است که حدود ۳/۲ درصد مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد. متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱ درجه سانتیگراد و میانگین سالانه بارندگی در این منطقه بین ۱۸۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیراست (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده مطالعاتی و محل ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح حوضه دریاچه ارومیه

تبخیر و تعرق مرجع

به منظور برآورد تبخیر و تعرق مرجع، داده‌های ۲۴ ایستگاه سینوپتیک در سطح حوضه دریاچه ارومیه با دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸) جمع‌آوری گردید. موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده در شکل (۱) نشان داده شده است. تبخیر و تعرق مرجع بر اساس داده‌های ایستگاه‌های مذکور با استفاده از معادله فائو پنمن مانتیث (معادله ۱) محاسبه گردید.

$$ET0 = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,u_2)} \quad (۱)$$

که در آن، ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm)، Δ شیب منحنی فشار بخار نسبت به درجه حرارت ($Kpa.°C^{-1}$)، Rn تابش خالص ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$)، G شار گرما به داخل خاک، γ ضریب رطوبتی ($Kpa\ °C^{-1}$)، T متوسط دمای روزانه (°C)، es و ea به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار آب (mbar)، U_2 سرعت باد در روز در ارتفاع دو متری از سطح زمین به ($m.s^{-1}$) می‌باشد.

روش‌های درون‌یابی

در این پژوهش به منظور بررسی دقت پهنه‌بندی از روش‌های قطعی شامل وزن‌دهی عکس فاصله (Inverse Distance Weighting (IDW))، درون‌یابی چند جمله‌ای عمومی ((Global Polynomial (GPI))، درون‌یابی چند جمله-ای محلی ((Local Polynomial (LPI)) و توابع پایه شعاعی ((Radial Basis Functions (RBF)) و روش‌های زمین‌آمار شامل کریجینگ تجربی ((empirical bayesian kriging(EmK)) کریجینگ (kriging) با حالت‌های ساده (simple kriging(SK))، عمومی ((universal kriging(UK)) و معمولی ((ordinary kriging(OK)) و روش کوکریجینگ ساده (simple co kriging(S-COK))، کوکریجینگ عمومی ((universal co kriging(U-CO))، کوکریجینگ معمولی ((ordinary cokriging(O-COK))با روش بهینه کردن مورد بررسی قرار گرفتند.

در روش کوکریجینگ برای درون‌یابی متغیر اصلی از یک یا چند متغیر کمکی استفاده می‌شود که دارای تغییرات مشابه‌اند. سالاری و همکاران (۱۳۹۹)، بوالحنسی و زارعی (۱۳۹۵) و شهابی فر و همکاران (۱۳۸۳) استفاده از نقشه‌های کد ارتفاعی در روش کوکریجینگ به عنوان متغیر کمکی را در درون‌یابی تبخیر و تعرق تأثیرگذار بیان کردند. بنابراین در این پژوهش نقشه ارتفاعی حوضه دریاچه ارومیه تهیه و به عنوان متغیر کمکی مورد استفاده قرار گرفت.

شاخص‌های ارزیابی

برای ارزیابی و صحت سنجی نتایج از شاخص‌های زیر استفاده گردید.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (۴)$$

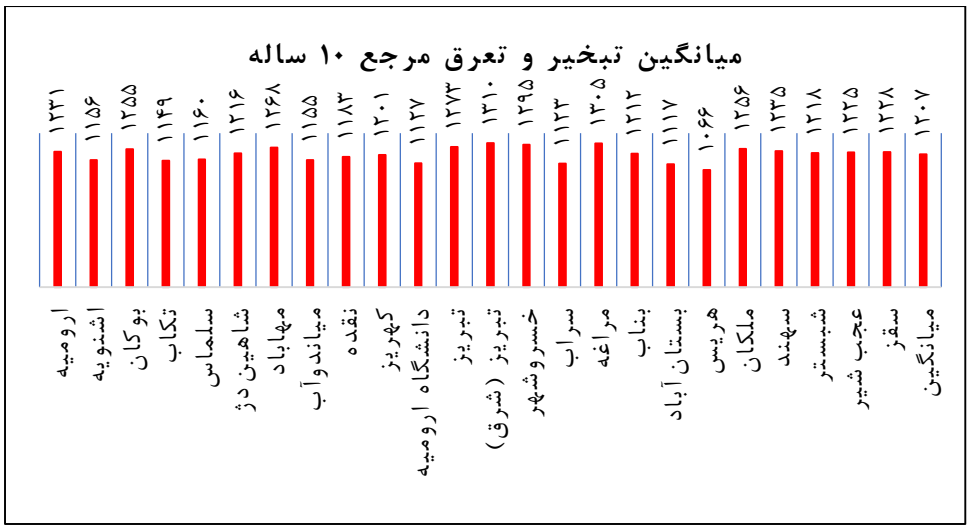
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۵)$$

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\overline{O}} \quad (۶)$$

ضریب تبیین (R^2) بیان‌کننده روند برآوردها است و هرچه به عدد یک نزدیک‌تر باشد روند برآوردها دقیق‌تر است. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بیان‌کننده تفاوت میان مقدار برآورد شده توسط مدل و مقدار واقعی است. مقدار آن همواره مثبت بوده و بهترین حالت عملکرد زمانی است که مقدار آن صفر شود. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) مقدار این آماره بیان‌کننده وضعیت مدل‌سازی است. مقدار کمتر از ۱۰٪ وضعیت ایده‌آل، بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل در برآورد و بیشتر از ۳۰٪ نشان‌دهنده عدم اطمینان به مدل است (Bannayan*et al.*(2009)).

نتایج و بحث

در شکل (۲) میانگین تبخیر و تعرق مرجع (ET0) ۱۰ ساله هر یک از ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه نشان داده شده است. بیشترین و کمترین مقدار ET0 به ترتیب در ایستگاه‌های تبریز با مقدار ۱۳۱۰ میلیمتر در سال و هریس با مقدار ۱۰۶۶ میلیمتر در سال رخ داده است. همچنین میانگین ET0 حوضه دریاچه ارومیه در بازه ۱۰ ساله (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۸) برابر ۱۲۰۷ میلیمتر در سال به دست آمد.

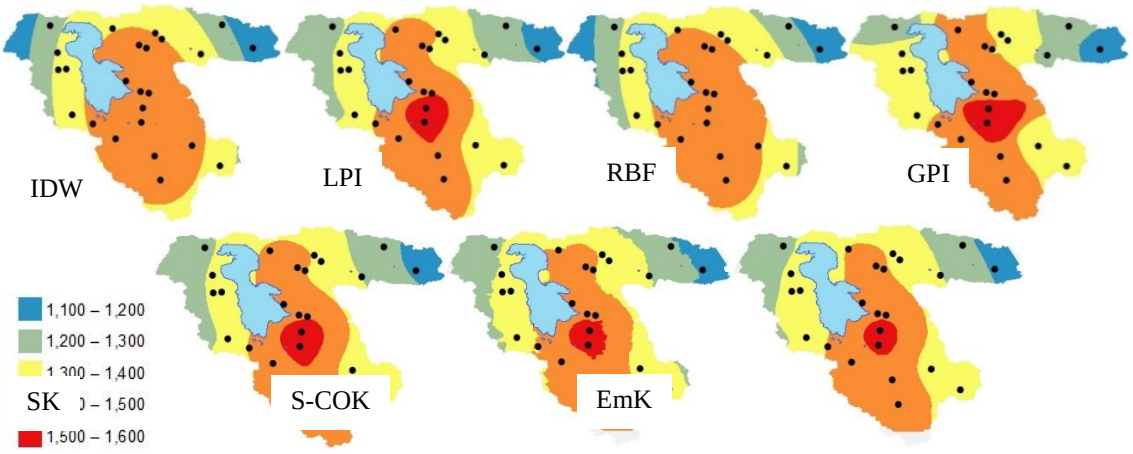


شکل ۲- میانگین ۱۰ ساله ET0 اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه

در بررسی دقت درون‌یابی روش‌های مورد بررسی ابتدا روش‌های مختلف کریجینگ و کوکریجینگ اجرا و مدلی که کمترین خطا را داشت به عنوان نماینده آن‌ها انتخاب شدند. در خصوص روش‌های دیگر توان‌ها و توابع مختلف مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت بهترین نتیجه برای هر روش انتخاب و ارائه شد. در جدول (۱) نتایج روش‌های درون‌یابی انتخابی نشان داده شده است. بیشترین مقدار R2، nRMSE و RMSE در روش کوکریجینگ ساده به ترتیب با مقادیر ۰/۸۴، ۲/۶۹ درصد و ۳۷/۲ میلیمتر در سال مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار دقت میان‌یابی مربوط به روش درون‌یابی چند جمله‌ای محلی با مقدار nRMSE برابر ۳/۹ درصد بود. اما با توجه به مقدار nRMSE دقت همه روش‌ها در رده عالی قرار می‌گیرند. در شکل (۳) نتایج پهنه‌بندی هر کدام از روش‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج دقت برازش روش‌های مختلف میان یابی برای داده‌های تبخیر و تعرق مرجع

روش	توان	R^2 (-)	nRMSE (%)	RMSE (mm/year)
IDW	۵	۰/۷۸	۳/۳	۴۵/۷
	کرنل			
LPI	Exponential	۰/۷۱	۳/۹	۵۴/۰
RBF	multiquadric	۰/۸۲	۲/۸۸	۳۹/۹
	درجه			
GPI	۲	۰/۷۱	۳/۸	۵۲/۴
	مدل			
K	Simple	۰/۸۳	۲/۸۳	۳۹/۲
COK	Simple	۰/۸۴	۲/۶۹	۳۷/۲
EmK	Power	۰/۸۲	۲/۹۰	۴۰/۱



شکل ۳- نتایج پهنه‌بندی روش‌های مورد بررسی در حوضه دریاچه ارومیه

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی برای پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع در حوضه دریاچه ارومیه پرداخته شد. بر اساس نتایج بیشترین و کمترین ET0 به ترتیب در ایستگاه‌های تبریز و هریس با مقادیر ۱۳۱۰ و ۱۰۶۶ میلیمتر در سال به دست آمد. در مرحله ارزیابی روش‌های درون‌یابی نتایج نشان داد که همه روش‌ها مورد بررسی دارای دقت برآورد نزدیک به هم بودند و مقدار nRMSE همه آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد به دست آمد. اما بیشترین دقت در روش کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی کدهای ارتفاعی با مقدار R^2 برابر ۰/۸۴ و nRMSE برابر ۲/۶۹ درصد مشاهده شد. همچنین کمترین دقت مربوط به روش درون‌یابی چند جمله‌ای محلی با مقدار R^2 برابر ۰/۷۱ و nRMSE برابر ۳/۹ درصد بود.

منابع

۱. میرموسوی، س، مزیدی، ا. خسروی، ی. (۱۳۸۹). تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده ازGIS (مطالعه موردی :استان اصفهان). فصلنامه فضای جغرافیایی. ۱۰(۳۰):۱۰۵-۱۲۰.

۲. کمالی، م، فریدحسینی، ع. انصاری، ح، غلامی، ع. (۱۳۹۴). ارزیابی دو روش تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی تبخیر-تعرق مرجع (مطالعـه مـوردی: استان مازندران). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۹(۱):۱۲۱-۱۳۲.

۳. بوالحسنی، ک. زارعی، ح. (۱۳۹۴). برآورد مکانی و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی. دو فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب. (۶(۱۳).

۴. سالاری، ا، نظری فر، ه. کاوه، ح. (۱۳۹۹). برآورد مکانی و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و تیسن (مطالعه موردی: استان همدان). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۱۰(۳۹).

۵. شهابی فر، م، کوچک‌زاده، م. محمدزاده، م. میرلطیفی، م. (۱۳۸۳). استفاده از روش‌های زمین‌آماری در تعیین نیاز آبی چغندرقند در استان تهران. چغندرقند. ۲۰(۲): ۱۳۳-۱۴۷.

6. Fisher, JB., Melton, F., Middleton, E., Hain, C., Anderson, M., Allen, R., Kilic, A. (2017). The future of evapotranspiration: Global requirements forecosystem functioning, carbon and climate feedbacks, agriculturalmanagement, and water resources. Water Resources Research. 53(4), 2618-2626.
7. Greve, P., Orlowsky, B., Mueller, B., Sheffield, J., Reichstein, M., Seneviratne, SI. (2014). Global assessment of trends in wetting and dryingover land. Nature geoscience. 7(10), 716-721.

Evaluation of Geostatistical Methods in Spatial Estimation of Reference Evapotranspiration in Urmia Lake Basin

Rahman Barideh[1], ShadmanVeisy[2]

1- Elite soldier of the Soil and Water Research Institute

2–Assistant professor of Kurdistan agricultural and natural resources research and education center

Abstract

Evapotranspiration is one of the main components of water balance in each region and one of the main factors of irrigation planning and consequently accurate water consumption in the field of agricultural sciences. The measurement of ET is point-based and in most cases, arithmetic mean and classical statistics methods are used to generalize to agricultural plains, which causes an incorrect estimate of the amount of water required. Therefore, in this study, the accuracy of interpolation of geostatistical methods for zoning of ET0 in Urmia Lake basin was investigated. For this purpose, the ET0 was calculated using the FAO Penman Monteith method in 24 meteorological stations for a period of 10 years, and the accuracy of deterministic and geostatistical methods were evaluated using Arc Map software. Based on the results, the highest and lowest accuracy were obtained in simple cokriging method with altitude codes as auxiliary variable (nRMSE = 2.69) and local polynomial method (nRMSE = 3.9%). In general, the results showed that all the investigated methods had close estimation accuracy and the nRMSE value of all of them was less than 10%.

Keywords: Reference Evapotranspiration, Urmia Lake Basin, Kriging, CoKriging

بررسی تاثیر استفاده از ایستگاه هواشناسی داخل گلخانه در تدقیق برآورد تبخیر و تعرق مرجع

صمداله ابراهیمی پور[1]، علی نشاط[2]، بیژن نظری[3]

۱- کارشناس ارشد آبیاری معاونت آب وخاک وزارت جهاد کشاورزی ebrahimy74@gmail.com
۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

چکیده

استفاده بهینه از منابع آب از اهمیت خاصی در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردار است. در سال‌های اخیر توسعه کشت گلخانه‌ای در کشور توصیه شده است. برآورد نیاز آبی داخل گلخانه به دلیل تفاوت‌های قابل توجه در پارامترهای موثر بر تبخیر و تعرق مرجع نسبت به فضای آزاد نیازمند بررسی ویژه است. این پژوهش به مدت ۶ ماه در منطقه علی آباد شهرستان جیرفت در گلخانه‌ای با کشت گیاه گوجه فرنگی انجام گرفت. در ابتدا اقدام به نصب ایستگاه هواشناسی در داخل گلخانه نموده و در ادامه داده‌های هواشناسی و تبخیر و تعرق مرجع داخل گلخانه (ایستگاه هواشناسی داخل گلخانه) با داده‌های هواشناسی بهنگام و بلند مدت (۱۷ ساله) و تبخیر و تعرق مرجع فضای آزاد (نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی غیرکشاورزی) مقایسه شده‌اند. نتایج این پژوهش، کاهش تابش خورشیدی، سرعت باد و دمای حداقل و افزایش رطوبت نسبی و دمای حداکثر روزانه داخل گلخانه را نشان داد. تبخیر و تعرق مرجع داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) در مدت زمان پژوهش به ترتیب ۳۴۲/۶۵، ۵۰۸/۵۷ و ۶۳۶/۴۴ میلی‌متر محاسبه شد. نتایج نشان داد تبخیر و تعرق مرجع داخل گلخانه ۶۸-۵۴ درصد فضای آزاد می‌باشد. بنابراین استفاده از داده‌های بهنگام ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در داخل گلخانه برای برنامه‌ریزی دقیق آبیاری توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: ایستگاه هواشناسی کشاورزی، برنامه‌ریزی آبیاری، بهره‌وری آب، جیرفت، راندمان آبیاری.

مقدمه

امروزه، تولید محصولات کشاورزی برای تأمین نیاز غذایی جوامع بشری، نسبت به گذشته، بسیار مهمتر و دشوارتر گردیده و برنامه‌های مختلفی جهت تحقق آن در دست اجراست (کجبافیان و همکاران، ۱۳۹۴). از جمله‌ی این برنامه‌ها افزایش سطح زیرکشت و یا اتخاذ راهکارهای مدیریتی جهت افزایش میزان عملکرد در واحد سطح می‌باشد Den *et al*. (2006). این در حالی است که محدودیت جهانی منابع آب، افزایش تولید از طریق افزایش سطح زیرکشت را محدود می‌سازد Douh *et al*. (2013). لذا، در چنین شرایطی، اعمال مدیریت صحیح در راستای افزایش کارآیی مصرف آب از اهمیت زیادی برخوردار است Rahil and Antonopoulos (2007). یکی از موثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات در بخش کشاورزی توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقای آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های مناسب می‌باشد (کریمی و جلینی، ۱۳۹۶). امروزه گلخانه‌ها برای تولید محصولات کشاورزی، به دلیل امکان کنترل عوامل تأثیرگذار محیطی همچون تغییرات دمایی، جلوگیری از پدیده‌های سرمازدگی و گرمازدگی، استفاده بهینه از منابع آب و خاک، امکان کاربرد مناسب کود و سم و در نهایت تولید در خارج از شرایط زمانی، جایگاه ویژه‌ای دارند (زارعی، ۱۳۸۶).

یکی از مهمترین عوامل اثرگذار بر میزان عملکرد محصولات زراعی تعیین میزان آب مورد نیاز آن‌ها در طول فصل کشت بوده و برآورد غیر واقعی آن می‌تواند خسارات فیزیکی و اقتصادی بسیاری را به همراه داشته باشد. Moslehi *et al.* (2011). نیاز آبی به وضعیت هواشناسی منطقه و نوع گیاه کشت شده بستگی دارد. دمای هوا، فشار بخار و سرعت باد در نواحی آبیاری نشده مانند محیط ایستگاه‌های هواشناسی غیر کشاورزی نسبت به منطقه‌ی مشابه ولی آبیاری شده دارای مقادیری متفاوتی می‌باشند (Davenport and Hudson (1967)، Devries and Brich (1961)). بایلی (۱۹۹۴) با بررسی چرخه آب و مشکلات ویژه در برآورد تبخیر و تعرق داخل گلخانه به این نتیجه رسید که برآورد مقادیر تبخیر و تعرق مرجع به منظور برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت منابع آب امری ضروری می‌باشد. Rosenberg *et al.* (1989) به بررسی تبخیر و تعرق داخل گلخانه پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که معمولا" تبخیر و تعرق داخل گلخانه حدود ۸۰-۶۰ درصد تبخیر و تعرق فضای آزاد است. برگا و کلار (۲۰۰۰) به بررسی تبخیر و تعرق داخل گلخانه پرداختند و مشاهده کردند که مقدار تبخیر و تعرق مرجع در مقایسه با بیرون گلخانه در جهت های شرقی- غربی و شمالی- جنوبی حدود ۸۵ و ۸۰ درصد است. Farias *et al.* (1994) به بررسی تبخیر و تعرق در داخل گلخانه پلاستیکی پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که تبخیر و تعرق مرجع در داخل گلخانه در مقایسه با محیط خارج حدود ۷۷-۴۵ درصد است. نتایج پژوهش Harmanto *et al.* (2005) نشان داد مقدار آب مورد نیاز برای گوجه فرنگی (واریته Troy489) در گلخانه حدود ۷۵٪ تبخیر و تعرق گیاهی محاسبه شده بر اساس شرایط خارج از گلخانه است. Fernandez *et al.* (2010) به بررسی اثر پوشش گلخانه‌ای بر تبخیر و تعرق در اقلیم مدیترانه‌ای پرداختند و مشخص نمودند که عملیات رنگ‌آمیزی پوشش گلخانه در ماه‌های گرم، تبخیر و تعرق را به طور میانگین ۲۱/۴ درصد کاهش می دهد. رزمی و قائمی (۱۳۹۰) به منظور تعیین دقیق تبخیر و تعرق واقعی گوجه فرنگی در گلخانه، به بررسی ضریب گیاهی و ضریب تنش آبی خاک پرداختند. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق مرجع داخل گلخانه ۷۳ درصد خارج گلخانه است. در ایران برآورد نیاز آبی و تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از سند ملی و داده‌های بلند مدت هواشناسی انجام می‌گیرد و به روز و دقیق نبودن داده‌ها باعث بروز خطا در برآورد آن‌ها می‌شوند. در این پژوهش به بررسی و برآورد داده‌های هواشناسی و تبخیر و تعرق مرجع داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) با بهره‌گیر از داده‌های ایستگاه هواشناسی داخل گلخانه و نزدیکترین ایستگاه هواشناسی غیرکشاورزی (به فاصله ۴ کیلومتر از گلخانه) در دشت جیرفت پرداخته شده است و نتایج حاصل بررسی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بررسی شرایط هواشناسی و تبخیر و تعرق مرجع داخل گلخانه از طریق نصب سیستم هواشناسی کشاورزی برای اولین بار در دشت جیرفت صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

پژوهش به مدت شش ماه در منطقه علی آباد شهرستان جیرفت در گلخانه‌ای به مساحت ۴۰۰۰ مترمربع و مجهز به سیستم هواشناسی کشاورزی با کشت گیاه گوجه فرنگی انجام گرفت. نزدیکترین ایستگاه هواشناسی غیرکشاورزی به فاصله ۴ کیلومتر از گلخانه قرار داشت.

شکل (۱) ایستگاه هواشناسی استفاده شده در داخل گلخانه را نشان می‌دهد. این ایستگاه شامل حسگرهای بادسنج، تشعشع سنج، دماسنج‌های ماکزیمم و مینیمم، رطوبت‌سنج نسبی، باران‌سنج و غیره می‌باشد و می‌تواند پارامترهای هواشناسی حاکم بر داخل گلخانه را در هر لحظه اندازه‌گیری نماید (فاصله زمانی ثبت داده‌ها در دستگاه قابل تنظیم بوده است). داده‌های بدست آمده هر دو ساعت یک بار به پایگاه (www.fieldclimate.com) ارسال می‌گردد. و اطلاعات خروجی از جمله تبخیر– تعرق مرجع روزانه به فرم جدول، منحنی و گزارش به صورت آنلاین قابل مشاهده می‌باشند .

شکل ۱. ایستگاه هواشناسی خودکار استفاده شده در محیط گلخانه (مدل iMETOS ساخت کشور اتریش)

داده‌های (بهنگام و بلندمدت) ایستگاه هواشناسی غیرکشاورزی از اداره هواشناسی جیرفت دریافت شد و تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از فرمول پنمن مانتیث فائو به شرح فرمول (۱) توسط نرم افزار CROPWAT محاسبه گردید.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \qquad (۱)$$

که در آن:

ETo: تبخیر و تعرق مرجع (میلی‌متر بر روز)

Rn: تابش خالص ورودی به سطح گیاه (مگاژول بر متر مربع بر روز)

G: شار گرمای خاک (مگاژول بر متر مربع بر روز)

T: میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع دو متری (درجه سلسیوس)

u_2: میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)

es: فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)

ea: فشار بخار واقعی (کیلوپاسکال)

es- ea: کمبود فشار بخار اشباع (کیلوپاسکال)

Δ: شیب منحنی فشار بخار (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)

γ: ضریب ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس)

نتایج و بحث

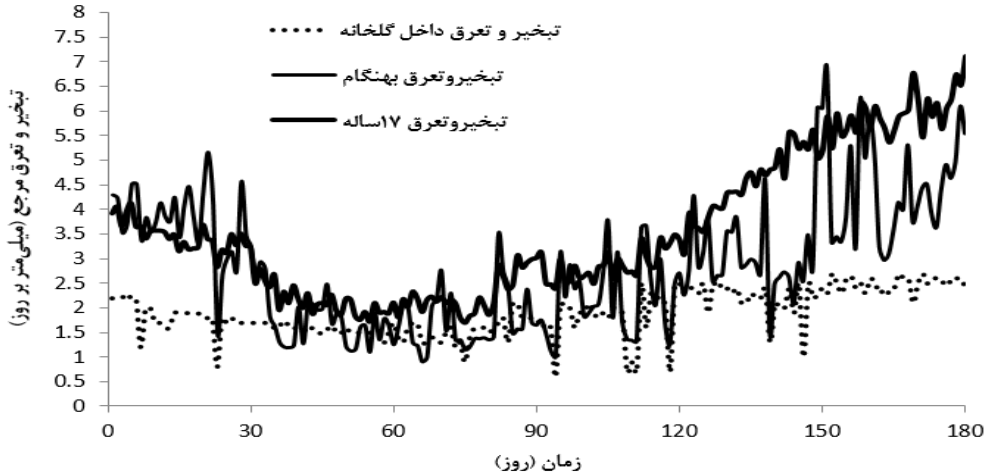
وضعیت داده های روزانه در طی زمان پژوهش نشان می دهد که دمای حداکثر داخل گلخانه به صورت میانگین بیشتر از فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) بوده است. اما روند تغییرات در سه حالت مشابه هم می‌باشد. افزایش دما سبب افزایش قدرت تبخیر کنندگی جو و به دنبال آن افزایش تبخیر و تعرق می‌گردد.

دمای حداقل داخل گلخانه به صورت میانگین کمتر از فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) بوده است. اما روند تغییرات در سه حالت مشابه هم می‌باشند.

در طی زمان پژوهش رطوبت نسبی داخل گلخانه به صورت میانگین بیشتر از فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) بوده است. اما روند تغییرات در سه حالت مشابه هم می‌باشند.

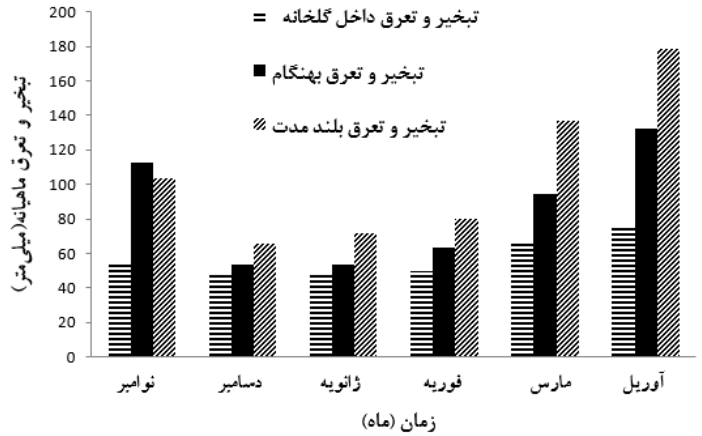
وضعیت داده های روزانه تابش خورشیدی داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) در طی زمان پژوهش نشان می دهد تابش خورشیدی داخل گلخانه به صورت میانگین کمتر از فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) بوده است. اما روند تغییرات در سه حالت مشابه هم می‌باشند.

شکل (۲) نمودار وضعیت تبخیر- تعرق مرجع داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) را به صورت روزانه نشان می-دهد. در طی زمان پژوهش تبخیر– تعرق مرجع روزانه در داخل گلخانه به صورت میانگین کمتر از فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) بوده است. اما روند تغییرات در سه حالت مشابه هم می‌باشند.



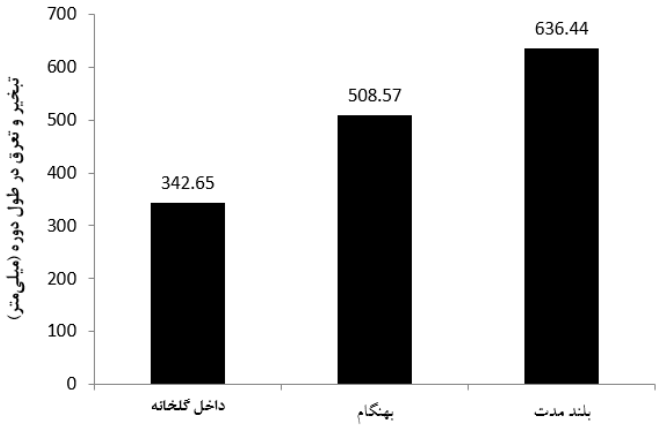
شکل ۲. تبخیر- تعرق مرجع روزانه داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت)

شکل (۳) نمودار وضعیت تبخیر- تعرق مرجع داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) را به صورت ماهیانه نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین تبخیر– تعرق مرجع داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) به ترتیب برای ماه آوریل و دسامبر بوده است.



شکل ۳. تبخیر- تعرق مرجع ماهیانه داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت)

شکل (۴) نمودار وضعیت تبخیر- تعرق مرجع داخل گلخانـه و فضـای آزاد (بهنگـام و بلندمـدت) را بـرای مـدت زمـان پژوهش (۶ ماه) نشان می‌دهد. تبخیر– تعرق مرجع برای مدت زمان پژوهش در داخل گلخانه به صـورت میـانگین کمتـر از فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) بوده است. تبخیر– تعرق مرجع داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت) بـرای مـدت زمان پژوهش به ترتیب ۳۴۲/۶۵، ۵۰۸/۵۷ و ۶۳۶/۴۴ میلی‌متر محاسبه شده است.



شکل ۴. تبخیر- تعرق مرجع در مدت زمان پژوهش در داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگام و بلندمدت)

نتیجه‌گیری

شرایط اقلیمی داخل گلخانه بسته به خصوصیات گیاه و هدف استفاده از آن، توسط بهره بردار تعریف و تامین مـی‌شـود. بنابراین تاثیر و مقدار هر یک از عوامل محیطی موثر بر تبخیر– تعرق مرجع در شرایط داخل گلخانه نسـبت بـه فضـای آزاد متفاوت می‌باشد. نتایج این پژوهش، کاهش تابش خورشیدی، سرعت باد و دمای حداقل و افـزایش رطوبـت نسـبی و دمـای حداکثر روزانه در داخل گلخانه را نشان داد. تبخیر- تعرق مرجع داخل گلخانه و فضای آزاد (بهنگـام و بلندمـدت) در مـدت زمان پژوهش (۶ ماه) به ترتیب ۳۴۲/۶۵، ۵۰۸/۵۷ و ۶۳۶/۴۴ میلی‌متر محاسبه شد. نتایج نشان داد تبخیـر– تعـرق مرجـع

داخل گلخانه ۶۸-۵۴ درصد فضای آزاد می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان با استفاده از ایستگاه هواشناسی در داخل گلخانه دقت برآورد تبخیر- تعرق مرجع را به اندازه ۴۶-۳۲ درصد افزایش داد که نتایج بدست آمده با پژوهش های Harmanto *et al.* (2005) و Valdez *et al.* (2009) هم خوانی دارد. اگر نیاز آبی محصولات داخل گلخانه بر اساس میانگین بلند مدت و یا حتی بهنگام داده‌های هواشناسی فضای آزاد تعیین و اعمال گردد، باعث ایجاد خطا شده و به کاهش راندمان و بهره‌وری آب منجر می شود. استفاده از داده‌های بهنگام ایستگاه‌های هواشناسی مستقر در داخل گلخانه برای برنامه‌ریزی دقیق آبیاری توصیه می‌شود.

منابع

رزمی، ز. قائمی، ع.ا. ۱۳۹۰. تعیین ضرایب گیاهی و تنش آب خاک گوجه فرنگی در شرایط گلخانه شیشه‌ای. مجله علوم و فنون. کشت‌های گلخانه‌ای، ۸۶-۷۵.

زارعی، ق. ۱۳۸۶. برنامه راهبردی تحقیقات گلخانه. انتشارات مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی جهاد کشاورزی، تهران.

کج‌بافیان، ح. نصریان، ن. محمد قاسم نژاد ملکی، ح. ۱۳۹۴. ارزیابی بهره‌وری انرژی و اقتصادی گلخانه‌های صیفی در استان خوزستان. نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، سال ششم، شماره بیست و سوم.

کریمی، م. جلینی، م. ۱۳۹۶. بررسی شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی در محصولات مهم زراعی، مطالعه موردی: دشت مشهد (یادداشت فنی). نشریه آب و توسعه پایدار، شماره ۱، صفحات ۱۳۳ تا ۱۳۸.

Braga, M. Klar, E. 2000. Evaporation and reference evapotranspiration in field and greenhouse oriented north/south and east/west. 5: 222-228.

Davenport, D. C. and Hudson, J. P. 1967 a. Changes in evapotranspiration rates along a 17-km transect in the Sudan Gezira. Agric. Meteorology, 4, 339-352..

Douh, B. Mguidiche, A. Bhouri-Khila, S. Mansour, M. Harrabi, R. and Boujlben, A. 2013.Yield and water use efficiency of cucumber (Cucumis sativus L.) conducted under subsurface drip irrigation system in a Mediterranean climate. Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2 (4), 46–51.

Fernandez, M.D. Bonachela, S. Orgaz, F. Thompson, R. Lopez, J.C. Granados, M.R. Gallardo, M and Fereres, E. 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a Mediterranean climate. Irrigation Science. 28:497– 509.

Moslehi, S. Najafi, P. Tabatabaei, S.H and Nourmahnad, N. 2011. Effect of soil moisture stress on yield and growth indexes of greenhouse cucumber. Journal of Water and Soil, 25, 770-775. (In Farsi).

Investigating the Effect of Using an Inside Meteorological Greenhouse Station on Estimating Reference Evapotranspiration

Samadollah Ebrahimipour[1], Ali Neshat[2], Bijan Nazari[3]

1-Master of Irrigation, Deputy Minister of Water and Soil, Ministry of Jihad Agriculture.
ebrahimy74@gmail.com
2- Professor of Kerman Azad Islamic University
3- Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Imam Khomeini International University.

Abstract

Optimal use of water resources has particular importance in arid and semi-arid regions. In recent years, the development of greenhouse cultivation in the country has been recommended. Estimation of indoor water requirement due to significant differences in the reference evapotranspiration affecting parameters related to the open space requires special study. This study was conducted for 6 months in Aliabad area of Jiroft in a greenhouse with tomato cultivation. Initially, a meteorological station was installed inside the greenhouse, and then meteorological data and evapotranspiration and reference transpiration inside the greenhouse (meteorological station inside the greenhouse) have been compared with up-to-date and long-term meteorological data (17 years old) and evapotranspiration of the open space reference (nearest station- Non-agricultural meteorology). The results of this study showed a decrease in solar radiation, wind speed and minimum temperature and an increase in relative humidity and maximum daily temperature inside the greenhouse. Evapotranspiration and reference transpiration inside the greenhouse and open space (up-to-date and long-term) during the study period were calculated as 342.65, 508.57 and 636.44 mm, respectively. The results showed that the reference evapotranspiration inside the greenhouse is 54-68% of the open space. Therefore, the use of up-to-date data from meteorological stations located inside the greenhouse is recommended for accurate irrigation planning

Keywords: Agricultural Meteorological Station, Irrigation Planning, Irrigation Efficiency, Jiroft Water Productivity.

بررسی تاثیر شوری در برنامه‌ریزی آبیاری گندم با استفاده از شاخص CWSI و WDI (مطالعه موردی ایرانشهر)

حسین جعفری

استادیار و عضو هیئت علمی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

Jafari52_h@yahoo.com

چکیده

وجود املاح در آب آبیاری و تبخیر و تعرق زیاد در شرایط اقلیمی سیستان و بلوچستان باعث تجمع نمک در خاک و در نتیجه کاهش پتانسیل اسمزی و افزایش نیروی اسمزی خاک می‌شود. با خشک شدن خاک قبل از آبیاری، نیروی مکش خاک نیز افزایش پیدا می‌کند و گیاه برای جذب آب از خاک باید بر این نیروهای بازدارنده غلبه کند، لذا برنامه ریزی آبیاری با آب شور متفاوت از برنامه‌ریزی آبیاری با آب معمولی است. یکی از راههای برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی استفاده از شاخص‌های تنش آبی گیاه (*CWSI*) ایدسو و شاخص کمبود آب (*WDI*) موران می‌باشد. بر این اساس به منظور بررسی تاثیر شوری بر شاخص‌های *CWSI* و *WDI* و در نتیجه برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گندم، آزمایشی با ۳ تیمار شوری آب آبیاری موجود در منطقه ایرانشهر استان سیستان و بلوچستان در سال زراعی ۹۸-۹۹ انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار و در تیمارهای (۱) آبیاری با آب با شوری ۰/۷، (۲) آبیاری با آب با شوری ۲/۵ و (۳) آبیاری با آب با شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس بر متر اجرا شد. نتایج نشان داد که اولا شوری آب آبیاری با شوری ۰/۷ و ۲/۵ دسی‌زیمنس‌برمتراختلاف معنی‌داری از نظر عملکرد و کارایی مصرف آب نداشتند اما کاربرد آب با شوری ۵/۲ باعث کاهش معنی‌دار عملکرد و هم در کارایی مصرف آب تاثیر معنی‌دار در سطح ۱٪ داشت و باعث کاهش آنها شد. ثالثا میانگین شاخص *CWSI* و *WDI* بهینه در تیمار اول (غیرشور) به ترتیب ۰/۳۹و ۰/۳۸ و در تیمار خیلی شور به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۳۲ بدست آمد و نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری دور آبیاری کاهش می‌یابد.

کلید واژه: ایدسو، تصاویر ماهواره‌ای، سیستم آبیاری، شاخص تنش آبی گیاه، شاخص کمبود آب و موران

مقدمه

سیستان و بلوچستان پهناورترین استان کشور است و سازگاری اقلیم آن برای کشت گندم ، سبب شده که این محصول استراتژیک در رده کشت غالب این منطقه از کشور قرار گیرد. این استان با ۷۰ هزار هکتار سطح زیرکشت، حدود ۱۶۰ هزار تن با متوسط ۲/۲ تن در هکتار گندم تولید می‌کند که معادل ۷۸درصد غلات در این استان است (آمارنامه کشاورزی ۱۳۹۵). کیفیت آب آبیاری مورد استفاده در آبیاری گندم در این استان از مناسب (شوری زیر ۱ دسی‌زیمنس‌برمتر) تا شور (هدایت الکتریکی برابر با ۵/۲ دسی‌زیمنس‌برمتر) متغیر است. با برنامه‌ریزی آبیاری گندم امکان برآورد آب مصرفی، مدیریت تخصیص آب و ارتقا بهره-وری آن ممکن می‌شود. استفاده از نمایه گیاهی نسبت به روش‌های دیگر بدلیل استفاده مستقیم از خود گیاه از دقت و سرعت بیشتری برخوردار است (علیزاده، ۱۳۷۵).

در بین روش‌های استفاده از نمایه گیاهی برای تعیین زمان آبیاری، استفاده از دمای سطح پوشش گیاهی کاراترین روش برای آگاهی از تنش آبی محصول می‌باشد. وقتی که گیاه تحت تنش کمبود آب قرار می گیرد، هدایت روزنه‌ای و تبادل گرمای نهان کاهش یافته و اثر خنگ‌گنندگی تبخیر کاهش می‌یابد و در نتیجه برگ‌های گیاه نسبت به شرایطی که گیاه تحت تنش نمی‌باشد گرم‌تر می‌شود از این خاصیت و با اندازه‌گیری دمای آسمانه گیاه برای ارزیابی وضعیت آب گیاه می‌توان استفاده کرد. بر این مبنا شاخص‌ها فراوانی در دنیا ارائه شده است اما یکی از معتبرترین شاخص‌ها که در آن با استفاده از دمای آسمانه

گیاهی می‌توان تنش در یک گیاه را بررسی و در برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار داد شاخص تنش آبی ایدسو (*CWSI*[1]) است (Idso., 1982). برای تعیین این این شاخص نیاز است. دمای پوشش گیاهی، دمای هوا و رطوبت هوا با استفاده از دماسنج مادون قرمز و رطوبت سنج در نقطه‌ای از مزرعه اندازه‌گیری شود. سپس شاخص تعیین شده در همان نقطه، به کل منطقه تعمیم داده می‌شود که البته سبب ورود خطا در برنامه‌ریزی آبیاری می‌شود.گرچه تعیین زمان آبیاری با استفاده از دمای پوشش گیاهی روشی کاربردی و دقیق است اما نقطه‌ای بودن و نیاز به صرف هزینه و وقت زیاد در این روش ایجاب می-کند تا به دنبال روشی بود که ضمن دارا بودن دقت کافی، اولا بتوان در آن روش داده‌های سطح وسیعی از مزارع گندم را در حداقل زمان ممکن جمع‌آوری نمود. ثانیا برای دامنه وسیعی از پوشش گیاهی (از پوشش گیاهی کامل (NDVI[2]=1) تا بدون پوشش (NDVI=0)) کاربرد داشته باشد. استفاده از تکنیک سنجش از دور (تصاویر ماهواره‌ای) به دلیل پوشش وسیع و رایگان و سریع بودن می‌تواند برای نیل به این هدف مورد استفاده قرار گیرد (Yang et al., 2017).

Bozkurt Çolak, et al (2021) دریافتند که شاخص *CWSI* با پتانسیل آب برگ گیاه، مقدار عملکرد، شاخص سطح برگ، و مقدار رطوبت خاک در سطوح مختلف آبیاری رابطه غیرمستقیم دارد همچنین *CWSI* بهینه برای گیاه کوینا در آمریکای لاتین ۰/۳۵ معرفی کردند.

سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی تاثیر شوری آب آبیاری بر شاخص CWSI در ذرت تابستانه و زمستانه در شرایط اقلیمی اهواز دریافتند که اولا خط مبنای بالا و پایین نمودار ایدسو تحت تاثیر شوری آب آبیاری قرار گرفتند و با افزایش شوری خط مبنای بالا و پایین به سمت بالا شیفت پیدا نمودند و همچنین با تغییر مقدار شوری آب آبیاری از ۲/۲ تا ۶/۵، مقدار شاخص CWSI در ذرت تابستانه حدودا سه و نیم برابر و در کشت ذرت زمستانه حدودا سه برابر شد اما روند تغییرات CWSI در هر دو فصل یکسان بود.

Alghory et al. در سال ۲۰۱۹ در بررسی شاخص *CWSI* در مقادیر مختلف آب آبیاری بر روی گندم در سامانه آبیاری بارانی در ترکیه دریافتند که از *CWSI* می‌توان در پیش بینی عملکرد استفاده نمود بیشترین عملکرد دانه گندم در *CWSI* کمتر از ۰/۲۶ بیشترین عملکرد دانه گندم بدست آمد. خشکی طولانی مدت در اوایل مرحله پر شدن دانه منجر به کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش شدید عملکرد دانه شد.

آزمایشی در صحرای Hetao در فصل زراعی ۲۰۱۳ -۲۰۱۴، با ۴ سطح شوری آب آبیاری شامل ۱/۷، ۴، ۶ و ۸ دسی-زیمنس‌برمتر، ۳ سطح مقدار آب آبیاری شامل۶۰، ۸۰ و ۱۰۰درصد نیاز آبی و در سه مرحله از رشد آفتابگردان روغنی شامل گلدهی، غنچه‌دهی و رسیدن انجام شد. نتایج نشان داد در مقایسه با تنش شوری، تنش آبی تأثیر قابل توجهی بر عملکرد روغن آفتابگردان داشت. همچنین آفتابگردان در زمان گلدهی بیشترین حساسیت را به تنش آبی و شوری داشت. تبخیر و تعرق در شوری ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس‌برمتر به ترتیب ۷/۳، ۱۴/۶ و ۲۴/۳ درصد کمتر از سطح ۱/۷ بود. همچنین شوری به شدت تحت تاثیر تبخیر و تعرق قرار گرفت و هنگامی که میزان EC آب آبیاری کمتر از ۴ دسی‌زیمنس‌برمتر بود اثر کمبود آب بارزتر بود. تیمار ۱/۷ در سطح ۵٪ با سایر تیمارها در کارایی مصرف آب تفاوت ایجاد کرد. در تیمارهای ۴، ۶ و ۸ دسی-زیمنس‌برمتر عملکرد به مقدار۱۸/۴، ۲۶/۶ و ۳۶/۴ درصد نسبت به تیمار ۱/۷ کاهش یافت. در تیمارهای مختلف کاهش معنی‌دار عملکرد زمانی اتفاق می‌افتاد که EC آب آبیاری بالاتر از ۴ دسی زیمنس بر متر شود (He et al. 2016).

(Moran et al, 1994) برای شرایط پوشش گیاهی غیرمتراکم، شاخص کمبود آب را ارائه نمودند که در آن دمای سطح خاک و گیاه توامان اندازه‌گیری می‌شود.

$$WDI = 1 - \frac{\lambda E_r}{\lambda E_{rp}} = \frac{[(T_s - T_a)_m - (T_s - T_a)_r]}{[(T_s - T_a)_m - (T_s - T_a)_x]}$$

1- Crop water stress index
2- Normalized Difference Vegetation Index

در این رابطه: λErp شار گرمای نهان پتانسیل (وات بر متر مربع)، λEr شار گرمای نهان خاک (وات بر متر مربع)، (Ts-Ta) اختلاف دمای سطح کانوپی و دمای هوا و اندیس‌های m، x و r به معنای کمینه، بیشینه و مقدار اندازه‌گیری شده می‌باشد. شاخص کمبود آب عملا در سطح پوشیده از گیاه برابر با شاخص تنش آبی گیاه می باشد و در این حالت دمای سطحی با دمای کانوپی برابر خواهد بود. برای شرایط سطح کاملا پوشیده از گیاه، شاخص کمبود آب برابر با صفر و برای شرایط بیشینه تنش آبی، این شاخص برابر با یک خواهد بود.

Tanriverdi et al. (2017) در مقایسه شاخص شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) و شاخص کمبود آب (WDI) با استفاده از سنجش از دور (RS)، دقیق‌ترین و ساده‌ترین روش برای به دست آوردن شاخص کمبود آب آبیاری (WDI) هر مزرعه را تعیین پوشش گیاهی (شاخص NDVI) آن مزرعه دانستند. در این پژوهش سنجش از دور (RS) را به عنوان یک روش مناسب برای جمع آوری داده ها در سطح وسیع و تعیین شاخص‌های تنش آب معرفی نمودند و شاخص های تنش آبی مثل شاخص کمبود آب آبیاری (WDI) را به عنوان ابزارهای مفید برای جلوگیری از اثرات خشکی و خشکسالی و برنامه‌ریزی آبیاری توصیه نمودند.

Banzragch et al. (2018) در بررسی شاخص تنش خشکی (WDI) مزرعه گندم به روش ذوزنقه موران در در Tsgaannuدر مغولستان با استفاده از سنجش از دور و تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ و به منظور تعیین زمان آبیاری، نتیجه گرفتند که شاخص کمبود آب با استفاده از تکنیک دورسنجی، یک ابزار مفید برای ارزیابی وضعیت آب کشاورزی به ویژه گندم است و می تواند برای برنامه ریزی آبیاری مفید باشد.

عدم کارایی شاخص پیشنهادی ایدسو (شاخص تنش آب گیاهان یا *CWSI*)، در برنامه‌ریزی آبیاری مزراعی که پوشش گیاهی کامل ندارند و همچنین نقطه‌ای بودن، وقت‌گیر بودن و هزینه بالای این روش نسبت به روش پیشنهادی موران (شاخص کمبود آب آبیاری یا *WDI*) به دلیل استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و برنامه‌ریزی آبیاری در سطح وسیع با زمان و هزینه کمتر از یک طرف و شوری آب آبیاری منطقه برای گیاه استراتژیک گندم از طرف دیگر باعث شد که بر اساس داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مقدار *CWSI* و *WDI* در شرایط استفاده از آب شور نسبت به آب غیرشور بررسی شود و با تعیین شاخص *CWSI* و *WDI* بهینه گام موثری در تعیین زمان آبیاری بهینه گندم در منطقه ایرانشهر برای گیاه گندم برداشته شود.

مواد و روش ها

به منظور بررسی اثر کیفیت آب آبیاری بر میزان شاخص تنش خشکی (CWSI) و کمبود آب آبیاری (WDI)، آزمایشی با سه تیمار آبیاری شامل(۱) آبیاری با آب با شوری ۰/۷ دسی‌زیمنس‌برمتر (تیمار شاهد)، (۲) آبیاری با آب با شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر و (۳) آبیاری با آب با شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس‌برمتر در ۴ تکرار انجام شد. شوری آب بر اساس شوری آب غالب منطقه که در آبیاری مزارع گندم استفاده می‌شدند انتخاب گردید.

قبل از کاشت گندم، از خاک و آب محل آزمایش نمونه¬برداری صورت گرفت و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین کود مورد نیاز به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۱و ۲) .

جدول۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک (Cm)	EC ds/m	PH	N %	p.(Av.)	OC %	رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	بافت
۰-۳۰	۲/۴۷	۷/۵۲	۴۱	۱۰	۰/۴۱	۶	۳۴	۶۰	S-L

جدول۲- تجزیه شیمیایی آب محل آزمایش

EC Mmoh/cm	PH	Ca+mg	Na	Co_2H^-	So_4^{2-}
		meq/L			
۰/۷	۷/۱۱	۲/۷	۴/۵	۲/۳	۰/۶۸

۲/۹۶	۴/۹	۱۴/۷	۱۰/۴	۷/۴۴	۲/۵
۷/۶	۱۶/۷	۳۴/۴	۱۷/۹	۷/۹۵	۵/۲

عمق خالص آب آبیاری گندم در هر تیمار از رابطه (۱) برآورد گردید:

$$d_n=(\theta_{fc}-\theta_i)\times\rho_b\times Z \quad (۱)$$

که در آن: d_n : عمق خالص آبیاری (cm)، θ_{fc}: رطوبت ظرفیت زراعی خاک مزرعه (درصد جرمی)، θ_i: رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد جرمی)، ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک (gr/cm^3) و Z : عمق ریشه گیاه (سانتیمتر) می¬باشد. زمان آبیاری تیمارها یک روز قبل از عبور ماهواره و مقدار آن هم برای یافتن تاثیر شوری بر مقادیر CWSI و WDI برای تمام تیمارها یکسان لحاظ گردید.

کاشت گندم در ۱۵ آبان ۱۳۹۸ انجام شد و چون یکی از شروط استفاده از نمودار ایدسو در تعیین شاخص تنش خشکی گیاهان، تراکم کامل مزرعه است محاسبات و ارزیابی‌ها برای ماههای بهمن، اسفند و فروردین که مزرعه دارای پوشش کامل بود انجام شد. ۱۰ اردیبهشت‌ماه هم برداشت آغاز شد.

به منظور بررسی تاثیر شوری آب آبیاری بر مقدار شاخص CWSI و WDI و به تبع آن برنامه‌ریزی آبیاری گندم، از دو نمودار پیشنهادی ایدسو (۱۹۸۲) و موران و همکاران (۱۹۹۴) استفاده شد. برای رسم نمودار ایدسو و محاسبه CWSI، برداشت‌های میدانی نظیر دمای پوشش گیاهی (Tc) با استفاده از دماسنج مادون قرمز، دمای هوا (Ta) با استفاده از دماسنج معمولی و رطوبت نسبی (RH) با استفاده از دماسنج تر و خشک صورت گرفت با این اطلاعات، اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا (محور عمودی نمودار) وکمبود فشار بخار اشباع (محور افقی) برای تیمار شاهد با استفاده از روابط ۲ تا ۴ محاسبه شد سپس خط مبنای بالای این نمودار که تعرق در آن به صفر می‌رسد و مستقل از VPD است به صورت خط راست و خط مبنای پایین که در شرایط بدون محدودیت و متاثر از VPD است به صورت یک خط شیبدار مطابق دستورالعمل رسم گردید. سپس مطابق تعریف شاخص CWSI (نسبت فاصله هر نقطه با کمبود فشار بخار و اختلاف دما مشخص از خط مبنای پایین، به فاصله دو خط مبنای بالا و پایین در همان کمبود فشار بخار و اختلاف دما) مقدار آن برای هر سه تیمار محاسبه گردید.

$$e_s = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 \times T_a}{T_a + 237.3}\right) \quad (۲)$$

$$e_a = \frac{RH \times e_s}{100} \quad (۳)$$

$$VPD = e_a - e_s \quad (۴)$$

برای رسم نمودار ذوزنقه‌ای موران و محاسبه WDI، شاخص‌های پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) و دمای پوشش گیاهی (Tc) از نقاط مختلف مزرعه (تیمار شاهد) از روی نقشه‌های NDVI و Tc که از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزارهای Erdas، ENVI و Arcmap تهیه شده بود تعیین گردید. برای محاسبه (Tc − Ta)، دمای هوا در لحظه عبور ماهواره، به صورت میدانی برداشت شد. به این ترتیب مطابق دستورالعمل ذوزنقه موران بر اساس ویژگی‌های چهار راس آن (در NDVI برابر صفر (خاک لخت) و NDVI برابر یک (پوشش گیاهی کامل) دو راس رطوبت در حد ظرفیت زراعی (ضلع پایین) و دو راس در شرایط بدون رطوبت (ضلع بالا)) رسم گردید. با ترسیم اضلاع بالا و پایین ذوزنقه، برای هر شاخص پوشش گیاهی و اختلاف دمای معین، شاخص WDI ، (نسبت فاصله هر نقطه با پوشش گیاهی و اختلاف دمای معین از ضلع پایین به فاصله دو ضلع در همان پوشش گیاهی و اختلاف دما) برای هر یک از تیمارها محاسبه گردید.

در انتهای فصل مقادیر محاسبه شده شاخص‌های CWSI و WDI در تیمار شاهد (بدون محدودیت شوری) مبنای ارزیابی شاخص CWSI و WDI در تیمارهای (۲) و (۳) قرار گرفت. با مقایسه مقدار CWSI و WDI در تیمارهای (۲) و (۳) با تیمار شاهد با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (Coefficient of Determination, R^2)، جذر میانگین مربع خطا (Root

(Mean Square Error, RMSE)، میانگین خطای مطلق(Mean Absolute Error, MAE) و میانگین انحراف خطا (Mean Bias Error , MBE)، تأثیر شوری آب آبیاری بر شاخص‌های CWSI و WDI مورد بررسی قرار گرفت.

$$r^2 = \frac{\sum(X-\bar{X})(Y-\bar{Y})}{\sqrt{\sum(X-\bar{X})^2 \sum(Y-\bar{Y})^2}} \quad (۵)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (۶)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i - Y_i|}{n} \quad (۷)$$

$$MBE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - Y_i) \quad (۸)$$

در این رابطه X و $\bar{X}$ به ترتیب مقدار و میانگین مقدار شاخص تنش خشکی گندم (CWSI) در تیمار شاهد و Y و $\bar{Y}$ به ترتیب مقدار و میانگین مقدار شاخص کمبود آب آبیاری (WDI) متناظر در تیمارهای شوری که از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای استخراج شده است می‌باشند.

لازم به یادآوریست که محاسبه CWSI و WDI در هر دو روش در مناطقی که پوشش گیاهی کامل بود صورت گرفت.

نتایج و بحث

با برداشت گندم و رعایت حاشیه مقدار عملکرد و کارایی مصرف آب محاسبه گردید نتایج تجزیه آماری عملکرد و کارایی مصرف آب در جدول (۳) ارائه گردیده است. همانطور که ملاحظه می‌شود اختلاف شوری آب آبیاری تیمار دوم تاثیری در عملکرد و کارایی مصرف آب نداشت و در یک گروه آماری قرار گرفتند اما تیمار سوم با شوری ۵/۲ دسی‌زیمنس‌برمتر اختلافی در سطح ۱٪ در عملکرد و کارایی مصرف آب ایجاد نمود. این نتایج نشان داد که با افزایش شوری آب آبیاری و افزایش نمک در خاک پتانسیل اسمزی در خاک کاهش (نیروی اسمزی افزایش) می‌یابد بنابراین مقدار جذب آب توسط ریشه در تیماری که با آب شورتر آبیاری می‌گردد نسبت به تیمار شاهد کمتر می‌شود و برای دستیابی به عملکرد معادل تیمار شاهد باید آب بیشتری مصرف شود بعبارت دیگر باید دور آبیاری در این تیمار کمتر از دور آبیاری در تیمار شاهد باشد. این موضوع را می‌توان اینگونه تحلیل کرد که بعد از هر آبیاری، وقوع تبخیر و تعرق و خشک شدن خاک مزرعه و افزایش نیروی مکش خاک از یک طرف و افزایش نیروی اسمزی از طرف دیگر باعث ایجاد تنش آبی گیاه گندم در تیمار (۳) می‌شود. تنش در گیاه باعث افزایش درجه حرارت پوشش گیاهی شده بنابراین زودتر از سایر تیمارها به حد (Tc-Ta) بهینه و در نتیجه CWSI و WDI بهینه می‌رسد و به همین دلیل مقدار شاخص CWSI و WDI بهینه در این تیمار کمترین مقدار را داشت (شکل۱). اما چون مدار و مقدار آب آبیاری همه تیمارها یکسان بود بنابراین عملکرد گندم در تیماری (۳) که درگیر تنش آبی بیشتری بود کاهش بیشتری پیدا کرد. میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب هر تیمار در جدول ۴ درج گردیده است. He et al. سال ۲۰۱۶ در بررسی حساسیت آفتابگردان به شوری آب آبیاری گزارش نمود که تیمار ۱/۷ در سطح ۵٪ با سایر تیمارها در کارایی مصرف آب تفاوت ایجاد کرد. در تیمارهای ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس‌برمتر عملکرد به مقدار۱۸/۴، ۲۶/۶ و ۳۶/۴ درصد نسبت به تیمار ۱/۷ کاهش یافت. در تیمارهای مختلف کاهش معنی‌دار عملکرد زمانی اتفاق می‌افتاد که EC آب آبیاری بالاتر از ۴ دسی زیمنس بر متر شود.

جدول۳- جدول تجزیه واریانس شوری آب آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب

صفات / منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	کارایی مصرف آب
تکرار	۲	۹۰۹۷^{ns}	۰/۰۰۵^{ns}
تیمار	۳	۱۵۱۵۲۰۸**	۰/۳۷**

خطا	۶	۶۰۷۶۳	۰/۰۰۱
CV	-	۵/۶	۴/۴

ns: غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪ و ** معنی‌دار در سطح ۱٪

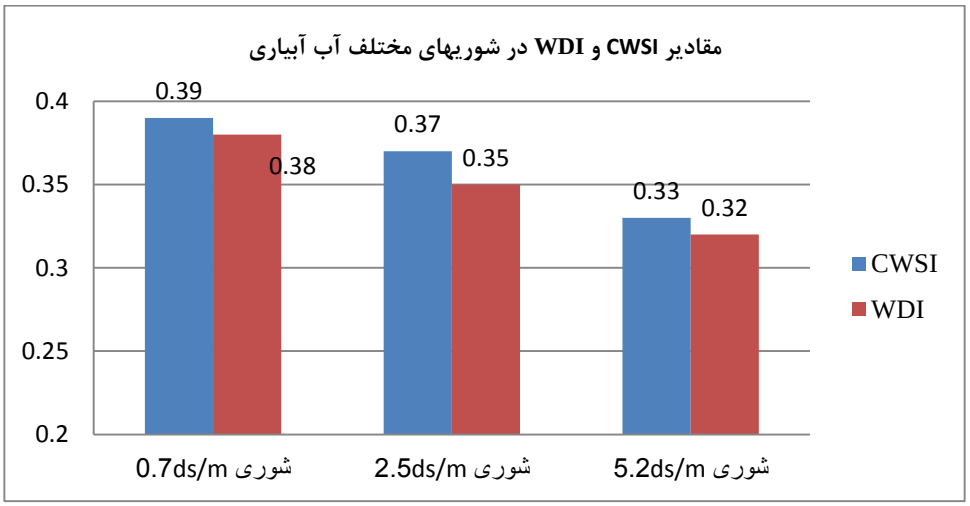
جدول ۴- میانگین عملکرد و کارایی مصرف آب در تیمارها

صفات / تیمار	عملکرد کیلوگرم در هکتار	کارایی مصرف آب Kg/m^3
۱	۴۹۵۰	۰/۷۷
۲	۴۵۸۸	۰/۷۲
۳	۳۷۵۰	۰/۵۹
میانگین	۴۴۲۹	۰/۶۹

مقایسه CWSI و WDI در دو تیمار شوری با تیمار شاهد با استفاده از ضریب تبیین، جذر میانگین مربع خطا، میانگین خطای مطلق و میانگین انحراف خطا در جدول ۵ درج گردیده است. داده‌های جدول نشان می‌دهد ارتباط نزدیکی بین شوری و شاخص‌های CWSI و WDI در هر دو نمودار وجود دارد همچنین ضریب تبیین بین CWSI و WDI نشان از همبستگی بالای این شاخص‌ها دارد و گویای این مطلب است که با توجه به مزایای فراوانی که تکنیک سنجش از دور دارد می‌توان از آن برای مقاصد برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گندم در این منطقه در شرایط شور بودن آب آبیاری هم استفاده کرد بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ضمن جلوگیری از اتلاف وقت و ورود خطای زیاد، می‌توان به برنامه‌ریزی آبیاری گندم در سطح وسیع نه تنها برای پوشش گیاهی کامل بلکه برای پوشش‌های غیرمتراکم نیز برنامه‌ریزی آبیاری گندم را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداخت. این نتایج با نتایج تحقیقات Tanriverdi et al. (2017) مطابقت دارد.

جدول ۵- مقایسه CWSI و WDI تیمار شاهد با تیمارهای آب شور

مقایسه تیمار شاهد (آب آبیاری با شوری ۰/۷)								
آبیاری با آب شور ۲/۵ دسی‌زیمنس‌برمتر				آبیاری با آب شور ۵/۲ دسی‌زیمنس‌برمتر				
آماره	RMSE	MAE	MBE	R^2	RMSE	MAE	MBE	R^2
CWSI	۰/۰۶۶	۰/۰۴۴	۰/۰۲۰	۰/۸۵	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۹۲
WDI	۰/۰۳۶	۰/۰۳	۰/۰۲۸	۰/۸۴	۰/۰۶۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۸۳



شکل ۱: مقادیر CWSI و WDI در شوری‌های مختلف آب آبیاری

فهرست منابع

علیزاده، ه. ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی. چاپ اول.

سعیدی‌نیا، م.، هوشمند، ع.، برومندنسب، س.، سلطانی‌محمدی، ا. و اندرزبان، ب. ۱۳۹۴. بررسی تاثیر شوری بر کارایی شاخص CWSI در شرایط اقلیمی اهواز. علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۹ ، شماره ۴.

Alghory, A., Yazar, A. (2019). Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for deficit irrigation management of sprinkler-irrigated wheat. Irrig Sci 37, 61–77 https://doi.org/10.1007/s00271-018-0603-y

Banzragch, B. M., N. M. Damdinpurev and E. M. Batzorig. 2018. Monitoring Drought Stress Index in Wheat Field of Mongolia Using Remote Sensing. 14th international conference on precision agriculture june 24th-27th.

Bozkurt Çolak, Y., Yazar, A., Alghory, Tekin S. (2021). Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for differentially irrigated quinoa with surface and subsurface drip systems. Irrig Sci 39, 81–100 (2021). https://doi.org/10.1007/s00271-020-00681-4

He X, Yang P L, Ren S M, Li Y K, Jiang G Y, Li L H. 2016. Quantitative response of oil sunflower yield to evapotranspiration and soil salinity with saline water irrigation. Int J Agric & Biol Eng, 2016; 9(2): 63－73.

Idso, S . B ., Reginato, R . J. and J.W Radin.1982 . Leaf diffusion resistance and photosynthesis in cotton related to a foliage temperature based plant water stress index. Agricultural Meteorology,

Moran M. S., Clarke T. R., Inoue Y., and Vidal. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index, Remote Sens. Environ., 49,246–263.

Tanriverdi, c., A. Atilgan, H. Degirmenci and A. Akyuz. 2017. Comparasion of crop water stress index (CWSI) and water deficit index (WDI) by using remote sensing (RS). Polish Academy of Sciences, Cracow Branch, pp. 879–894.

Yang, Z., Wen-bin, W.U., Di, L., Ustundag, B. (2017). Remote sensing for agricultural applications. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(2): 239-241.

بررسی کمی حجم خاک دخیل در سیگنال دریافتی در سنجش از دور

صارم نوروزی*[۱]، سعید جلیلی[۱]، ناصر دواتگر[۲]، شادمان ویسی[۲]

[۱] سرباز نخبه موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران (ایمیل نویسنده مسئول*:sarem.nrz@gmail.com)

[۲] موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران

چکیده

با وجود موفقیت چشمگیر روش‌های سنجش از دور در تعیین خصوصیات سطح خاک، حجمی از خاک که در سیگنال نهایی مشارکت می‌کند تاکنون به طور شفاف بررسی نشده است. اندازه‌گیری عمق اطلاعات دریافتی و شدت نور در ضخامت اندک سطح خاک دشوار است. مدل‌های انتقال تابش بدین منظور می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند با این حال خصوصیات نوری خاک باید معلوم باشد. در این پژوهش، روشی جدید برای واسنجی یک مدل انتقال تابش معرفی شده و برای سه خاک که طیف متفاوتی از بافت و ماده آلی را شامل می‌شوند مورد صحت سنجی قرار می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که عمق اطلاعات دریافتی در ناحیه خورشیدی (۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر) به ندرت از ۱ میلی متر تجاوز کرده و این عمق با کاهش طول موج، کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: انتقال تابش، توزیع اندازه ذرات، عمق اطلاعاتی، مدل کوبلکا- مانک

۱- مقدمه

پیشرفت‌های اخیر در روش‌های سنجش از دور ابزار سریع و کم‌هزینه‌ای برای تخمین خصوصیات خاک در مقیاس‌های آزمایشگاهی و بزرگتر فراهم نموده است. برای نمونه همبستگی معنی‌دار بین بازتاب طیفی خاک در محدوده اپتیکال (۲۵۰۰-۳۰۰ نانومتر) و ترکیبات شیمیایی و معدنی خاک (Omran, 2017)، ماده آلی خاک (Yuan *et al.*, 2020) ، میزان رطوبت خاک (Zeng *et al.*, 2016)، توزیع اندازه ذرات خاک (Sadeghi *et al.*, 2018) و خصوصیات هیدرولیکی خاک (Babaeian *et al.*, 2015) منجر به توسعه مدل‌های فیزیکی و آماری برای تخمین خصوصیات خاک شده است. علی‌رغم موفقیت‌های چشمگیر در توصیف خصوصیات خاک با تکنیک سنجش از دور، یک محدودیت اصلی این روش-ها نفوذ اندک نور به داخل خاک است. همچنین عمق خاکی که اطلاعات دریافتی از آن نشات می‌گیرد به درستی درک نشده است. محققین مختلفی دست به تعیین غیرمستقیم عمق نفوذ نور به داخل خاک زده‌اند که این مطالعات از طریق مطالعه فعالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی وابسته به نور در اعماق مختلف خاک (Hebert and Miller, 1990) و یا جوانه‌زنی بذرهای کشت شده حساس به نور در اعماق مختلف خاک (Woolley and Stoller, 1978) بوده است. Ciani *et al.* (2005) جزء اولین کسانی بودند که اطلاعات عمقی در محدوده نور مرئی را به صورت مستقیم و با استفاده از آنالیز نمونه‌های خاک با یک پودر استاندارد دارای ضرایب نوری معلوم را تخمین زدند. در این روش مدل انتقال تابش دو شاره کوبلکا- مانک برای ارتباط عمق نفوذ نور به داخل خاک واسنجی می‌شود. این روش اگر چه پتانسیل بالایی در تخمین عمق اطلاعاتی خاک دارد اما نیازمند اندازه‌گیری آزمایشگاهی خصوصیات نوری خاک بوده و بنابراین برای مقیاس‌های بزرگ قابل استفاده نمی‌باشد و همچنین محدود به ناحیه مرئی است. از آنجایی که مطالعه خصوصیات خاک در مقیاس‌های بزرگ بیشتر بر مبنای بررسی میدانی و شامل جمع‌آوری نمونه از سطح اراضی و تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی می‌باشد، انجام چنین عملیاتی نیازمند صرف هزینه و زمان بالایی است. Norouzi *et al.* (2021) اخیرا مدلی ارائه نمودند که در آن بازتابش از لایه اول خاک (بازتابش سطحی) از بازتابش لایه‌های زیرین (بازتابش حجمی) جدا می‌گردد. در پژوهش حاضر که در ادامه پژوهش Norouzi *et al.* (2021) است، روشی جدید که از لحاظ واسنجی کم هزینه‌تر و نیازمند اندازه‌گیری‌های ساده‌تری است برای تخمین عمق نفوذ نور به داخل خاک ارائه می‌گردد که محدود به ناحیه مرئی نبوده و در تمام ناحیه ۳۵۰ – ۲۵۰۰ نانومتر قابل استفاده می‌باشد.

۲- تئوری

۲-۱- مدل انتقال تابش کوبلکا-مانک[۱]

مدل کوبلکا- مانک که عموماً برای توصیف برهم‌کنش نور در یک محیط با خاصیت جذب[۲] و پراکنش[۳] بکار می‌رود، متشکل از یک جفت معادله دیفرانسیل معمولی[۴] است که تغییرات شار نور (در یک طول موج مشخص) را به عنوان تابعی از عمق توصیف می‌کند. معادلات کوبلکا- مانک برای محیط بین دو صفحه موازی[۵] به صورت ذیل نوشته می‌شود.

$$\frac{dI(\lambda,z)}{dz} = -(k+s)I(\lambda,z) + sJ(\lambda,z) \quad (۱)$$

$$\frac{dJ(\lambda,z)}{dz} = (k+s)J(\lambda,z) - sI(\lambda,z) \quad (۲)$$

$$I = I_0 \quad at \quad z = 0 \quad \& \quad J = 0 \quad at \quad z = d \quad (۳)$$

که در آن I و J شار نور به ترتیب در جهات پایین‌رونده و بالارونده، در عمق مشخص z بر حسب سانتی‌متر و λ طول موج بر حسب نانومتر می‌باشد. همچنین ضرایب k و s بر حسب cm^{-1} به ترتیب ضریب جذب و پراکنش محیط هستند. معادلات کوبلکا- مانک با شرایط مرزی توصیف شده در معادله (۱) دارای حل تحلیلی برای درصد عبور[۶] و بازتابش بوده که مؤلفه بازتابش آن برای لایه‌ای به عمق d به صورت ذیل نوشته می‌شود (Ciani *et al.*,2005):

$$R = \frac{(1-\beta^2)(exp(\alpha d) - \exp(-\alpha d))}{(1+\beta)^2\exp(\alpha d) - (1-\beta)^2\exp(-\alpha d)} \quad (۴)$$

که در آن α و β با استفاده از رابطه‌های $\alpha = \sqrt{k(k+2s)}, \beta = \sqrt{k/(k+2s)}$ قابل محاسبه هستند. بر اساس معادله (۲) در صورتی که عمق لایه مورد نظر افزایش یابد ($d \to \infty$) مقدار بازتابش R افزایش یافته و به یک مقدار مشخص که آنرا بازتابش نهایی[۷] (R_∞) میل می‌کند:

$$R_\infty = \frac{1-\beta}{1+\beta} = 1 + \frac{k}{s} - \sqrt{\left(\frac{k}{s}\right)^2 + 2\frac{k}{s}} \quad (۵)$$

در صورت معلوم بودن ضرایب k و s محیط، این امکان وجود دارد که با استفاده از دو رابطه ذیل عمق نفوذ نور[۸] و عمق اطلاعات[۹] را در محیط مورد مطالعه محاسبه نمود:

$$z_r(\lambda) = \frac{-\ln(r)}{\alpha} \quad (۶)$$

عمق نفوذ نور (z_r) بیانگر عمقی است که در آن شدت نور برابر با r درصد از شدت نور در سطح می‌گردد که عموماً و در این مطالعه مقدار $r = 0.01$ لحاظ می‌گردد. بنابراین $z_{0.01}$ معادل با عمقی است که شدت نور در آن عمق، برابر با ۱ درصد شدت کل نور در سطح است.

یکی دیگر از تعاریف مهم، عمق اطلاعاتی است که بیانگر عمق لایه مورد نیاز برای رسیدن بازتابش به درصد مشخصی از بازتابش نهایی (R_∞) است ($x = R/R_\infty$) که معمولا مقدار x برابر با ۹۹/۵ درصد یا ۰/۹۵۵ انتخاب می‌شود (Clark *et al.*, 2002; Ciani *et al.*, 2005). با ترکیب معادلات (۴) و (۵) عمق اطلاعاتی به صورت ذیل قابل محاسبه است:

---

[۱] Kubelka-Munk
[۲] Absorption
[۳] Scattering
[۴] Ordinary
[۵] Parallel-plane slab
[۶] Transmittance
[۷] Infinite reflectance
[۸] Light penetration depth
[۹] Information depth

$$d_x = \frac{1}{2\alpha}\ln\left(1+\frac{2\alpha}{k+s+\alpha}\frac{x}{1-x}\right) \quad (۷)$$

همانطور که از صورت معادلات (۶) و (۷) مشخص است، محاسبه عمق نفوذ نور و عمق اطلاعاتی نیازمند داشتن مقادیر k و s برای محیط مورد مطالعه است. روش معمول برای یافتن ضرایب کوبلکا- مانک در محیط‌های متخلخلی مانند کاغذ یا کریستال‌های شفاف اندازه‌گیری همزمان بازتابش و درصد عبور از ضخامت اندکی از محیط به عمق d می‌باشد که با در دست داشتن این دو مقدار، با دو معادله و دو مجهول ضرایب k و s قابل محاسبه می‌باشند (Kortüm, 2012). با این حال برای محیطی مانند خاک که مقدار نفوذ نور اندک است، اندازه‌گیری درصد عبور (برخلاف بازتابش) بسیار دشوار می‌باشد.

۲-۲- روش جدید واسنجی مدل کوبلکا-مانک برای خاک

در پژوهشی که اخیرا به چاپ رسیده است Norouzi *et al.* (2021) با استفاده از مدل ردیابی تابش[۱] توسعه داده شده توسط Sadeghi *et al.* (2018)، میزان بازتابش سطحی[۲] از ردیف اول ذرات در سطح خاک را از بازتابش درونی[۳] برای یک نمونه خاک با توزیع اندازه ذرات غیریکنواخت جدا نمودند. در مدل توسعه یافته ایشان، بازتابش نهایی و بازتابش سطحی به صورت ذیل بیان می‌گردد:

$$R^*(\lambda) = \int_{D_{min}}^{D_{max}} \{R_{surface}[D,\mu(\lambda),\rho(\lambda)] + R_{volume}[D,\mu(\lambda),\rho(\lambda)]\} f(D) dD \quad (۸)$$

$$R^*{}_{surface}(\lambda) = \int_{D_{min}}^{D_{max}} R_{surface}[D,\mu(\lambda),\rho(\lambda)] f(D) dD \quad (۹)$$

که R^* و $R^*{}_{surface}$ بیانگر بازتابش کل و بازتابش سطحی در نمونه دارای توزیع اندازه ذرات غیریکنواخت است. D قطر ذره بر روی توزیع اندازه ذرات، μ و ρ به ترتیب ضریب جذب بر حسب μm^{-1} و ضریب بازتاب[۴] (بدون بعد) و $f(D)$ توزیع احتمالاتی ذره به قطر D بر روی منحنی توزیع اندازه ذرات خواهد بود. همچنین در این معادلات $R_{surface}$ و R_{volume} دارای رابطه فرم بسته بوده و به صورت ذیل تعریف می‌گردند:

$$R_{surface} = \rho + \frac{(1-\rho)^2\rho\exp(-2\mu D)}{1-\rho^2\exp(-2\mu D)} \quad (۱۰)$$

$$R_{volume} = [\rho + (1-\rho)^2\rho\exp(-2\mu D)]\frac{(1-\rho)^4\exp(-2\mu D)}{1-(1-\rho)^4\exp(-2\mu D)} \quad (۱۱)$$

ضریب بازتاب در معادلات بالا برابر با میزان بازتابش ذرات روی بزرگترین الک بوده ($D > 2$ mm) و ضریب μ از برازش مجموع معادلات (۱۰) و (۱۱) به بازتابش الک‌های مختلف محاسبه می‌گردد. در واقع برای کالیبره کردن معادلات (۸) الی (۱۱) لازم است که ابتدا نمونه خاک به چند الک با اندازه‌های مختلف تقسیم گردد. سپس با اندازه-گیری بازتابش خاک مربوط به هر الک، منحنی $R(D)$ (که مجموع معادلات (۱۰) و (۱۱) است) رسم و محاسبه گردیده و سپس معادلات (۸) و (۹) با انتگرال‌گیری بر روی توزیع اندازه ذرات محاسبه گردند (برای جزئیات بیشتر در مورد این روش به Norouzi *et al.*, (2021) مراجعه شود).

حال به منظور کالیبره کردن معادلات کوبلکا-مانک و یافتن ضرایب μ و s در این مدل، بازتابش سطحی در معادله (۹) را در سمت چپ رابطه (۴) قرار می‌دهیم، و بازتابش نهایی در معادله (۸) را در برابر با معادله (۵) قرار می‌دهیم. حال با در دست داشتن دو معادله و دو مجهول می‌توانیم ضرایب μ و s معادلات کوبلکا-مانک را در هر طول موج و برای تمام

---

[۱] Beam tracing
[۲] Surface reflectance
[۳] Volume reflectance
[۴] Reflectivity

طیف محاسبه نموده و با کمک معادلات (۶) و (۷) عمق نفوذ نور و عمق اطلاعات را بدست آوریم. همچنین به عنوان عمق معادلی که در آن بازتابش سطحی اتفاق می‌افتد تخمین زیر را می‌پذیریم:

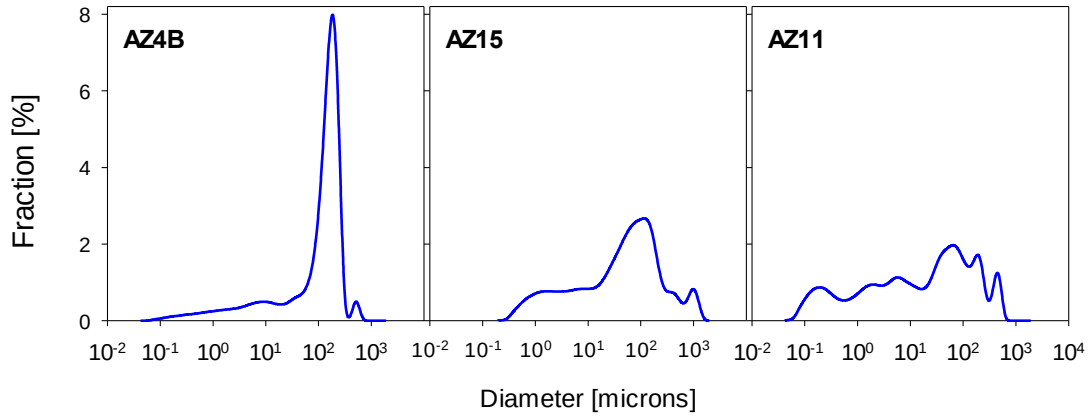
$$d = D_{avg} = \int_{D_{min}}^{D_{\max}} Df(D)dD \qquad (۱۲)$$

۲-۳- اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

به منظور ارزیابی مدل توسعه شده در این پژوهش سه خاک از بانک خاک آریزونا، دارای خصوصیات متفاوت فیزیکی و هیدرولیکی انتخاب گردیدند. خصوصیات فیزیکی و درصد ماده آلی این سه خاک با نام اختصاری AZ4B، AZ11 و AZ15 در جدول (۱) ارائه گردیده است. بازتابش طیفی این سه خاک هم به صورت الک شده (برای محاسبه ضرایب معادلات ۸ و ۹) و هم به صورت ترکیبی در بازه طول موج ۳۵۰-۲۵۰۰ نانومتر توسط دستگاه *ASD LabSpec® 2500 spectroradiometer* اندازه‌گیری گردیده و همچنین به منظور افزایش دقت محاسبات، توزیع اندازه ذرات به روش انکسار لیزر[۱] اندازه‌گیری شده است (شکل ۱). به منظور اطلاع از جزئیات اندازه‌گیری‌ها به مقالات Norouzi *et al.*, (2021) و Sadeghi *et al.*, (2018) مراجعه شود.

جدول ۱- خصوصیات بافتی خاک‌های مورد مطالعه

کد خاک	کلاس بافتی USDA	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	درصد ماده آلی
AZ4B	Loamy sand	۸۰/۴	۱۴/۲	۵/۴	۲/۳
AZ11	Loam	۳۸/۵	۴۰/۱	۲۱/۴	۱/۷
AZ15	Silt loam	۳/۶	۷۳/۴	۲۳	۳/۴



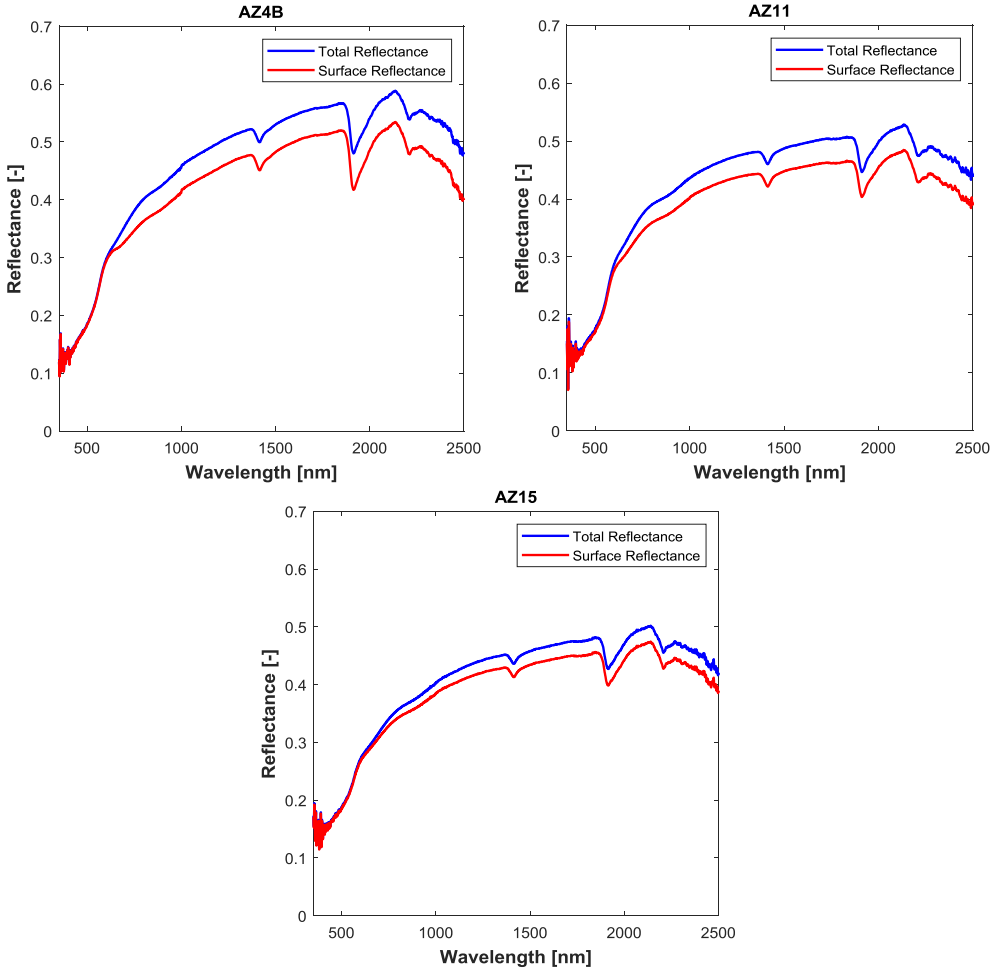
شکل ۱- توزیع اندازه ذرات سه خاک مورد مطالعه

مقایسه توزیع اندازه ذرات سه خاک نشان از تنوع مناسب اطلاعات خاک‌ها دارد. به عنوان مثال خاک AZ4B با بافت شن‌لومی دارای توزیع اندازه ذرات تقریبا تک قله‌ای[۲] بوده در حالی که برای خاکی مانند AZ11 منحنی توزیع اندازه ذرات تقریبا به حالت دو قله‌ای[۳] است. لازم به ذکر است که به دلیل شسته شدن و شکسته شدن کلوخه‌ها[۴] در حین آزمایش انکسار لیزر برای اندازه توزیع اندازه ذرات، میانگین توزیع حاصل بر مبنای میانگین توزیع خاک‌های الک شده و دارای کوخه اصلاح گردیده و منحنی‌های نشان داده شده در شکل (۱) منحنی‌های اصلاح شده هستند.

۳- نتایج و بحث

[۱] Laser diffraction
[۲] Unimodal
[۳] Bimodal
[۴] Aggregates

در شکل (۲) میزان بازتابش کل (معادله ۸) و بازتابش سطحی (معادله ۹) برای هر سه خاک رسم گردیده است. همانطور که ملاحظه می‌شود بازتابش سطحی بخش زیادی از بازتابش کل را به خود اختصاص می‌دهد و بازتابش حجمی (اختلاف بین دو منحنی در شکل ۲) بسیار کمتر از بازتابش سطحی می‌باشد. با افزایش طول موج میزان بازتابش حجمی افزایش یافته اما در بیشترین مقدار خود (برای خاک AZ4B و در طول موج ۲۵۰۰ نانومتر) نسبت بازتابش حجمی به بازتابش کل کمتر از ۱۶ درصد است. به بیان دیگر درصد بسیار کمی از اطلاعات از لایه درونی خاک منعکس می‌گردد و قسمت اعظم بازتابش از اولین لایه ذرات در سطح خاک نشات می‌گیرد. از آنجایی که عبارت غالب در بازتابش سطحی ρ یا همان ضریب بازتاب است و این کمیت با بازتابش ذرات روی الک 2 میلی‌متر تقریب زده می‌شود، ویژگی‌های طیفی[۱] در بازتابش سطحی مشهودتر هستند.

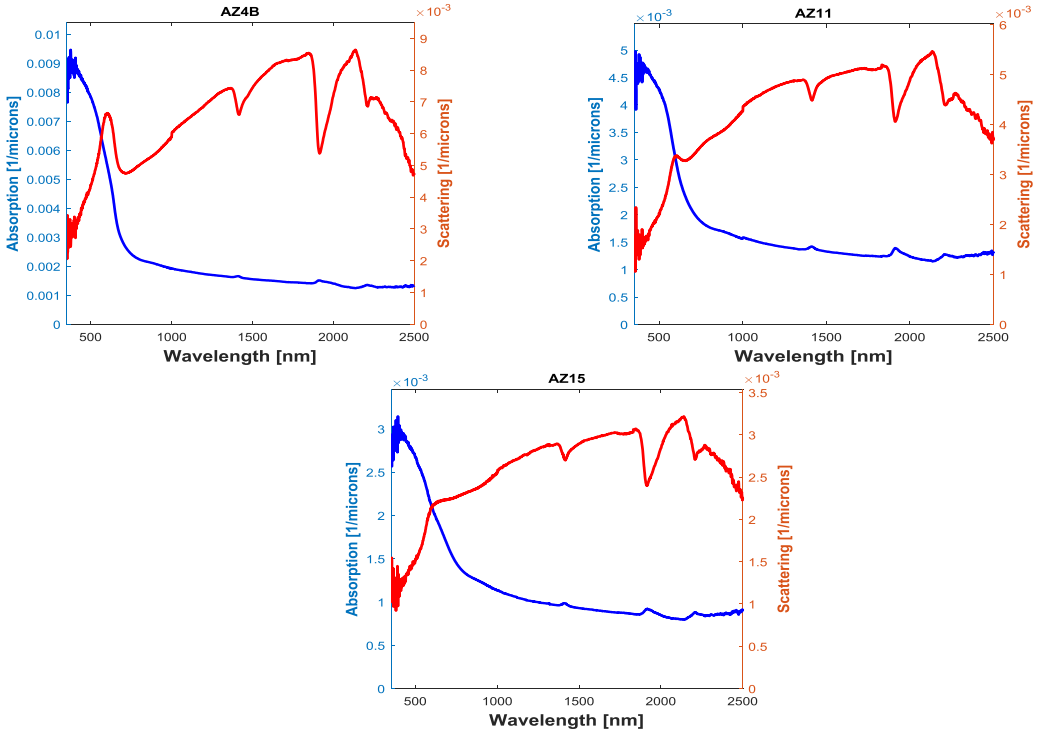


شکل ۲- بازتابش نهایی و بازتابش سطحی برای سه خاک مورد مطالعه

طیف ضرایب کالیبره شده k و s نیز در شکل ۳ نشان می‌دهد که ضریب پراکنش با طول موج رابطه مستقیم داشته در حالی که با انتقال از ناحیه مرئی به سمت مادون قرمز نزدیک[۲] ضریب جذب کاهش می‌یابد. همچنین ویژگی‌های طیفی در منحنی پراکنش با وضوح بیشتری دیده می‌شوند. ضریب پراکنش تابعی از جزء حقیقی ضریب شکست[۳] است در حالی که ضریب جذب تابع بخش موهومی بوده و اندازه‌گیری‌های Sokolik *et al.*, (1993) نیز رابطه معکوس مشابهی

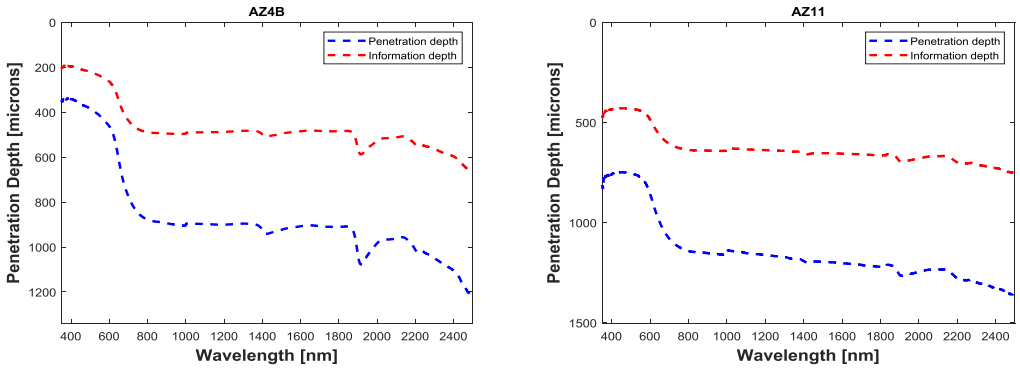
[۱] Spectral features
[۲] Short wave infrared
[۳] Refractive index

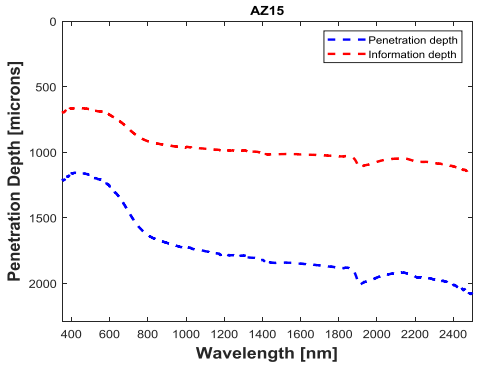
را بین جزء حقیقی و موهومی ضریب شکست برای کانی‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۳) مشخص است با گذر از ناحیه مرئی به سمت مادون قرمز نزدیک، به صورت ناگهانی از مقدار این ضریب کاسته می‌شود.



شکل ۳- ضرایب نوری مدل کوبلکا- مانک برای سه خاک مورد مطالعه

عمق نفوذ نور و عمق اطلاعاتی سه خاک مورد مطالعه نشان می‌دهد که عمق نفوذ نور با طول موج افزایش می‌یابد که این افزایش در ناحیه مرئی واضح‌تر است که در مطابقت با نتایج ارائه شده توسط Ciani *et al.*, (2005) می‌باشد. علت عمده افزایش عمق نفوذ نور با افزایش طول موج را می‌توان به کاهش ضریب جذب (شکل ۳) ارتباط داد. به بیان دیگر با کاهش ضریب جذب در طول موج‌های بلندتر، امکان نفوذ بیشتر فراهم می‌گردد.





شکل ۴- عمق نفوذ نور و عمق اطلاعاتی محاسبه شده برای سه خاک مورد مطالعه

در بین خاک‌های مورد مطالعه AZ15 با ۳/۴ درصد ماده آلی و بافت لوم سیلتی دارای بیشترین عمق نفود و عمق مطالعاتی است. میزان بازتابش حجمی (که بیانگر بازتابش درونی خاک است) برای خاک AZ4B بیشترین مقدار را در مقایسه با دو خاک دیگر دارد (شکل ۲)، با اینحال درصد ماده آلی بیشتر و همچنین وجود ذرات رس در خاک AZ15 باعث ایجاد کلوخه‌های بزرگتر گردیده و اندازه قطر میانگین نهایی این خاک بیشتر از دو خاک دیگر خواهد بود. به بیان دیگر بازتابش حجمی نشان داده شده در شکل (۲) در عمق بزرگتری از لایه سطحی اتفاق می‌افتد که موجب افزایش بیشتر عمق نفوذ در خاک‌های با کلوخه‌های بزرگتر می‌گردد.

مطابق با اندازه‌گیری‌های Ciani *et al.*, (2005) در طیف مرئی، در هر سه خاک مورد مطالعه عمق اطلاعاتی که در بررسی‌های سنجش از دور مورد اهمیت است، نصف عمق نفوذ نور است. همچنین عمق اطلاعاتی در مقدار بیشنه خود برای سه خاک مورد مطالعه به ندرت از عمق ۱ میلی‌متری تجاوز می‌کند. این بدان معناست که کمیت‌های تخمینی به روش‌های سنجش از دور در محدوده ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر محدود به لایه ۱ میلی‌متری در سطح خاک هستند.

نتایج ارائه شده در این پژوهش در مقیاس آزمایشگاهی و در شرایط کنترل شده صورت گرفته است، بدین معنی که زاویه تابش و دریافت به صورت ثابت بوده و به همین دلیل از اثراتی مانند سایه‌اندازی[۱] و وابستگی بازتابش به زاویه صرف نظر شده است. پژوهش‌های آینده می‌تواند در راستای رفع این فرضیات ساده شونده صورت گیرد تا امکان استفاده از مدل برای اطلاعات میدانی نیز فراهم گردد.

Quantitative Assessment of Soil Volumes Contributing into Soil Remotely Sensed Signal

Sarem Norouzi[1], Saeid Jalili[1], Naser Davatgar[2], Shadman Veysi[2]
[1] Elite soldier at Soil and Water Research Institute
[2] Soil and Water Research Institute (SWRI), Karaj, Iran

Abstract
Despite the salient success of remote sensing methods in characterization of soil surface properties, it is still not clear that how much soil volumes contribute to the measured signal. Measuring the *information depth* and light intensity profile within thin layers of soil particles (micrometer range) is difficult. Radiative transfer models can be used for this purpose, however soil optical properties need to be known. In this study a new method for calibration of a radiative transfer model is introduced and is validated for three soils that vastly differ in texture and organic content. Results show that the information depth in the optical domain (350-2500 nm) rarely exceed 1 mm and decreases for shorter wavelengths.
Keywords: Radiative transfer, particle size distribution, information depth, Kubelka-Munk model

[۱] Shadow effects

منابع

Babaeian, E., Homaee, M., Vereecken, H., Montzka, C., Norouzi, A. A., & van Genuchten, M. T. (2015). A comparative study of multiple approaches for predicting the soil–water retention curve: Hyperspectral information vs. basic soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 79(4), 1043-1058.

Ciani, A., Goss, K. U., & Schwarzenbach, R. P. (2005). Light penetration in soil and particulate minerals. *European journal of soil science*, 56(5), 561-574.

Clark, R. N., King, T. V., Klejwa, M., Swayze, G. A., & Vergo, N. (1990). High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. Journal of Geophysical Research: *Solid Earth, 95(B8)*, 12653-12680.

Hebert, V. R., & Miller, G. C. (1990). Depth dependence of direct and indirect photolysis on soil surfaces. *Journal of agricultural and food chemistry*, 38(3), 913-918.

Omran, E. S. E. (2017). Rapid prediction of soil mineralogy using imaging spectroscopy. *Eurasian Soil Science*, 50(5), 597-612.

Kortüm, G. (2012). *Reflectance spectroscopy: principles, methods, applications*. Springer Science & Business Media.

Norouzi, S., Sadeghi, M., Liaghat, A.M., Tuller, M., Jones, S.B., & Ebrahimian H. (2021). Information Depth of NIR/SWIR Soil Reflectance Spectroscopy. *Remote Sensing of Environment*, 256,112315

Sadeghi, M., Babaeian, E., Tuller, M., & Jones, S. B. (2018). Particle size effects on soil reflectance explained by an analytical radiative transfer model. *Remote sensing of environment*, 210, 375-386.

Sokolik, I., Andronova, A., & Johnson, T. C. (1993). Complex refractive index of atmospheric dust aerosols. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, *27*(16), 2495-2502.

Woolley, J. T., & Stoller, E. W. (1978). Light penetration and light-induced seed germination in soil. *Plant Physiology*, 61(4), 597-600.

Yuan, J., Wang, X., Yan, C., Chen, S., Wang, S., Zhang, J., ... & Zhang, W. (2020). Wavelength Selection for Estimating Soil Organic Matter Contents Through the Radiative Transfer Model. *IEEE Access*, 8, 176286-176293.

Zeng, W., Xu, C., Huang, J., Wu, J., & Tuller, M. (2016). Predicting near-surface moisture content of saline soils from near-infrared reflectance spectra with a modified Gaussian model. *Soil Science Society of America Journal*, 80(6), 1496-1506.

برآورد نیاز آبیاری گندم در مناطق عمده کشت ایران

فاطمه کیخایی*[1]، آرش تافته[2] و نیازعلی ابراهیمی پاک[3]

۱، ۲ و ۳ اعضاء هیئت‌علمی بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*ایمیل نویسنده مسئول:Keykhaei80@gmail.com

چکیده

بخش کشاورزی وظیفه تأمین نیاز غذایی با اتکا بر تولید ملی و استفاده بهینه و کارآمد از منابع تولید (آب‌وخاک، اقلیم و...) و حفاظت از منابع طبیعی تجدیدشونده و افزایش درآمد کشاورزان را بر عهده دارد. گندم یکی از مهم‌ترین محصولات استراتژیک در بخش کشاورزی است و برنامه‌ریزی مناسب آبیاری جهت تأمین آب موردنیاز گندم به‌منظور دستیابی به عملکرد مطلوب از اولویت‌های پژوهشی بخش آبیاری بوده است. در این تحقیق نیاز آبی و نیاز خالص آبیاری شش استان کشور که مناطق عمده کشت گندم می‌باشند برآورد می‌شود تا بهره‌برداران با استفاده از این اطلاعات برنامه‌ریزی مناسبی جهت آبیاری گندم داشته باشند.

کلیدواژه: سامانه نیاز آب، گندم، نیاز آبی، نیاز خالص آبیاری

مقدمه

امنیت و مدیریت آب در بخش کشاورزی مهم‌ترین راهبرد توسعه پایدار کشور است و با توجه به فرآیند توسعه کشور و دگرگونی اقتصاد ملی، بخش کشاورزی به تکیه‌گاه مهم امنیت و حیات اقتصادی کشور تبدیل‌شده است. از طرفی برای کشوری که در سرزمینی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و میانگین بارش سالانه درازمدت آن تقریباً یک‌سوم میانگین بارش جهانی است، کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی جزو اهداف اصلی و کلیدی است. ایران با مصرف سرانه ۱۹۴ کیلوگرم گندم در سال، رتبه هفتم جهان را به خود اختصاص داده است. عوامل مختلفی در افزایش تولید محصول گندم مؤثر می‌باشند. یکی از این عوامل اصلی، آب می‌باشد. تعیین آب مصرفی واقعی گیاهان زراعی به‌ویژه گندم از اهمیتی روزافزون به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردار است و استفاده اقتصادی از آب نیز یک مسئله جدی و بسیار مهمی است که کشاورزان و محققان در مناطقی که گندم به‌صورت آبی کشت می‌شود با آن مواجه هستند (تافته و همکاران، ۱۳۹۹). در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ رتبه دوم میزان تولید محصولات زراعی آبی، مربوط به گندم آبی با تولید حدود ۸/۲ میلیون تن و سهم ۱۱ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی بوده که استان‌های خوزستان با سهم ۱۷ درصدی، فارس با سهم ۱۳ درصدی، گلستان با سهم ۷ درصدی، خراسان رضوی با سهم ۶/۴ درصدی، کرمانشاه با سهم ۵/۶ درصدی و همدان با سهم ۴/۴ درصدی در رتبه‌های اول تا ششم تولیدکنندگان گندم آبی کشور قرار داشته‌اند. این شش استان جمعاً در حدود ۵۳ درصد از کل تولید گندم آبی کشور را تأمین نموده‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). در این تحقیق میزان نیاز آبی (تبخیر-تعرق استاندارد) و نیاز خالص آبیاری گندم در این استان‌ها برحسب شهرستان و دهستان برآورد و جهت برنامه‌ریزی آبیاری و نیز سیاست‌گذاری در خصوص منابع آب ارائه می‌گردد.

روش تحقیق

برای محاسبه نیاز آبی گیاهان (تبخیر-تعرق استاندارد) نیاز به محاسبه تبخیر تعرق مرجع و تعیین ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد می‌باشد. تبخیر-تعرق گیاهان تحت شرایط استاندارد (ETc) مربوط به گیاهان بدون بیماری است که کود کافی دریافت کرده و در سطح وسیع با رطوبت مطلوب خاک کشت‌شده و بیشترین عملکرد را در شرایط اقلیمی مشخص تولید کرده است و از فرمول (۱) محاسبه می‌شود.

$$ET_O \times K_c = ET_C \quad (1)$$

(ET_O) : تبخیر-تعرق گیاه مرجع که از پارامترهای هواشناسی محاسبه می‌شود و(K_C) : ضریب گیاهی که از جداول فائو تعیین و بر اساس شرایط اقلیمی اصلاح می‌گردد.

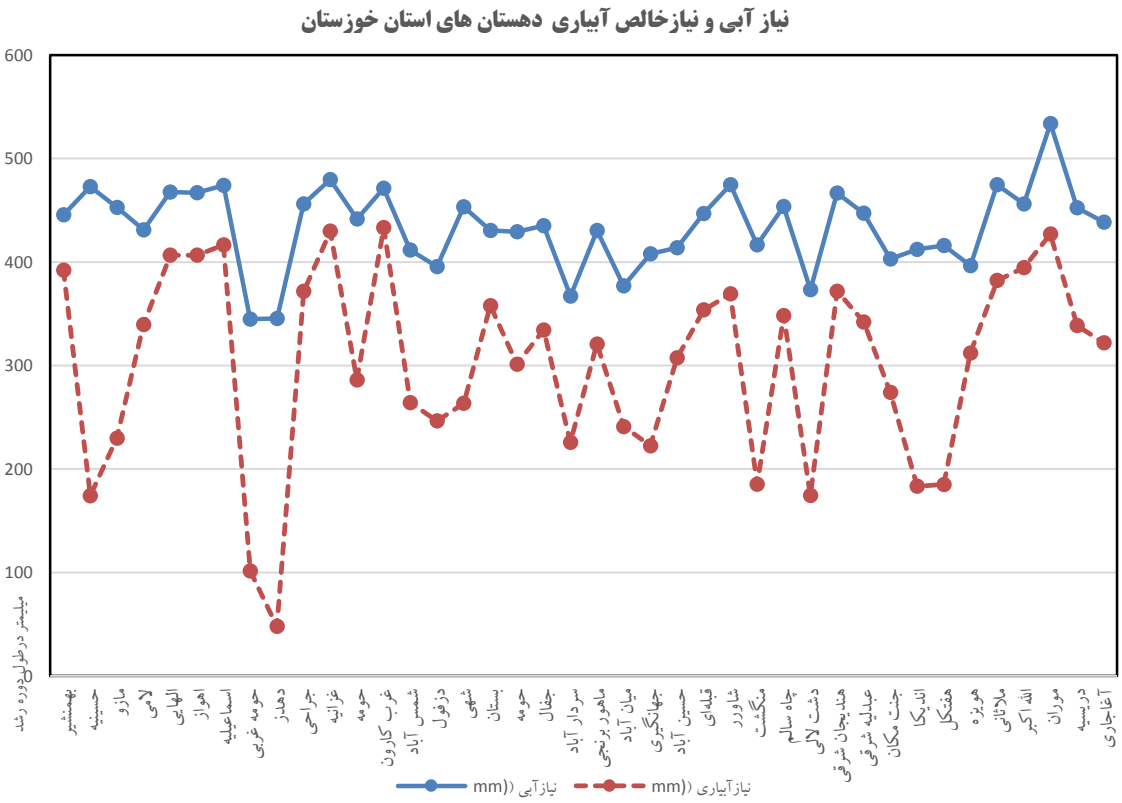
پارامترهای هواشناسی تنها عوامل مؤثر بر تبخیر- تعرق گیاه مرجع می‌باشند. بنابراین، تبخیر- تعرق گیاه مرجع یک نمایه وابسته به اقلیم است و می‌توان آن را بر مبنای داده‌های هواشناسی محاسبه کرد. در این تحقیق از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی کشور در یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۹۸-۱۳۸۳) و روش فائو ۵۶ مقادیر تبخیر-تعرق مرجع تا سطح دهستان محاسبه شد و بر اساس اطلاعات پرسشنامه‌ای ارائه‌شده توسط کارشناسان استان‌ها و نیز بانک‌های اطلاعاتی معتبر وزارت جهاد کشاورزی، مراحل فنولوژی گندم در هر دهستان تعیین شدند و بر اساس جداول فائو ۵۶ مقادیر ضرایب گیاهی چهارگانه تعیین و این ضرایب بر اساس شرایط اقلیمی اصلاح شدند. با توجه به نفوذ عمقی و رواناب حاصل از بارش نمی‌توان کل بارش را به‌عنوان بارش مؤثر در رفع نیاز آبی گیاه مؤثر دانست ازاین‌رو روش بارش قابل‌اطمینان برای محاسبه بارش مؤثر استفاده شد. این روش برای تخمین کمینه بارش محتمل (۸۰ درصد احتمال وقوع) و باهدف برنامه‌ریزی آبیاری با اطمینان بیشتر استفاده می‌شود. نیاز خالص آبیاری گندم حاصل اختلاف مقادیر نیاز آبی و بارش مؤثر در هر دوره زمانی برای هر دهستان به دست می‌آید. گفتنی است مقادیر نیاز آبی گیاه گندم به‌دست‌آمده، مربوط به رقم غالب مناطق موردبررسی می‌باشد. کلیه مقادیر نیاز آبی ارائه‌شده در این تحقیق در سامانه نیاز آب موسسه تحقیقات خاک و آب بارگذاری شده است.

نتایج:

نیاز آبی و نیاز خالص آبیاری هر استان از مناطق عمده کشت گندم در زیر ارائه‌شده است تا بتوان در برنامه‌ریزی آبیاری استفاده نمود؛ و همچنین نمودار مربوط به استان خوزستان جهت آشنایی بیشتر با روش کار ترسیم شد.

استان خوزستان

نیاز آبی و نیاز خالص آبیاری در ۲۷ شهرستان و ۴۰ دهستان این استان برآورد شده است. میانگین نیاز آبی گندم در این استان برابر۴۳۴ میلی‌متر در طول دوره رشد به دست آمد و دامنه تغییرات نیاز آبی بین ۳۴۴ و ۵۳۳ میلی‌متر بود. همچنین میانگین نیاز خالص آبیاری این استان ۳۰۳ میلی‌متر با احتساب بارش مؤثر به دست آمد و بیشترین نیاز خالص آبیاری در بین دهستان‌های استان، به دهستان غرب کارون در شهر خرمشهر با مقدار ۴۳۳ میلی‌متر اختصاص یافت و کمترین نیاز خالص آبیاری را دهستان دهدز در شهرستان ایذه با مقدار ۴۷/۷ میلی‌متر در طول دوره رشد گندم دارا بود (نمودار۱).



نمودار۱- میانگین نیاز آبی و نیاز خالص آبیاری گندم در دهستان‌های استان خوزستان(۱۳۸۳-۱۳۹۸)

استان فارس

نیاز آبی و نیاز آبیاری خالص برای ۴۶ دهستان در ۲۹ شهرستان استان فارس بر اساس روش فائو ۵۶ اصلاح‌شده برآورد شده است. نتایج نشان داد که میانگین نیاز آبی (تبخیر- تعرق پتانسیل) گندم در استان برابر با ۵۴۷ میلی‌متر در طول دوره رشد گندم می‌باشد و این پارامتر بین ۴۸۵ و ۶۸۰ در سطح استان متغیر است. همچنین نیاز خالص آبیاری گندم دارای میانگین ۴۰۴ میلی‌متر بود. بیشترین مقدار نیاز خالص آبیاری را کشت گندم در زیرآباد زرین‌دشت با مقدار ۵۹۸ میلی‌متر به خود اختصاص داد و کمترین نیاز آبیاری خالص در بین ۴۶ دهستان استان، متعلق به دهستان احمدآباد از توابع شهرستان فیروزآباد با مقدار ۲۴۲ میلی‌متر در طول دوره رشد بود.

استان گلستان

اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های مستقر در استان گلستان جهت تعیین نیاز آبی و نیاز خالص آبیاری گندم در ۱۴ شهرستان و ۲۲ دهستان این استان استفاده شد. برآوردها نشان داد که میانگین نیاز آبی گندم در این استان برابر ۳۸۸ میلی‌متر در طول دوره رشد می‌باشد و کمترین مقدار نیاز آبی ۲۷۵ و بیشترین مقدار آن ۴۹۴ میلی‌متر می‌باشد. همچنین نیاز خالص آبیاری دارای میانگینی با مقدار ۲۵۴ میلی‌متر بود و دهستان انجیر آباد گرگان بیشترین نیاز خالص آبیاری (۳۵۸ میلی‌متر) را برای کشت گندم در این استان نیاز دارد و کمترین نیاز خالص آبیاری (۱۰۹,۲ میلی‌متر) به دهستان دلند در شهرستان رامیان اختصاص یافت.

استان خراسان رضوی

استان خراسان رضوی دارای ۲۸ شهرستان و ۳۸ دهستان می‌باشد نتایج نشان داد که این استان نسبت به استان‌های موردمطالعه دارای تبخیرتعرق پتانسیل و هم‌چنین نیاز خالص آبیاری بیشتری می‌باشد. میانگین نیاز آبی گندم در طول دوره رشد در استان خراسان رضوی برابر با ۵۷۰ میلی‌متر به دست آمد. همچنین مقادیر نیاز آبی در دامنه ۴۸۷ تا ۶۷۲ متغیر بود. نیاز خالص آبیاری کلیه دهستان‌های استان برآورد شده و نتایج نشان داد که دهستان جزین از توابع شهرستان بجستان دارای بیشترین مقدار نیاز خالص آبیاری با مقدار ۵۲۴ میلی‌متر بود و کمترین نیاز خالص آبیاری را گندم در دهستان فریمان از توابع شهرستان فریمان با مقدار ۳۴۰ میلی‌متر را داراست.

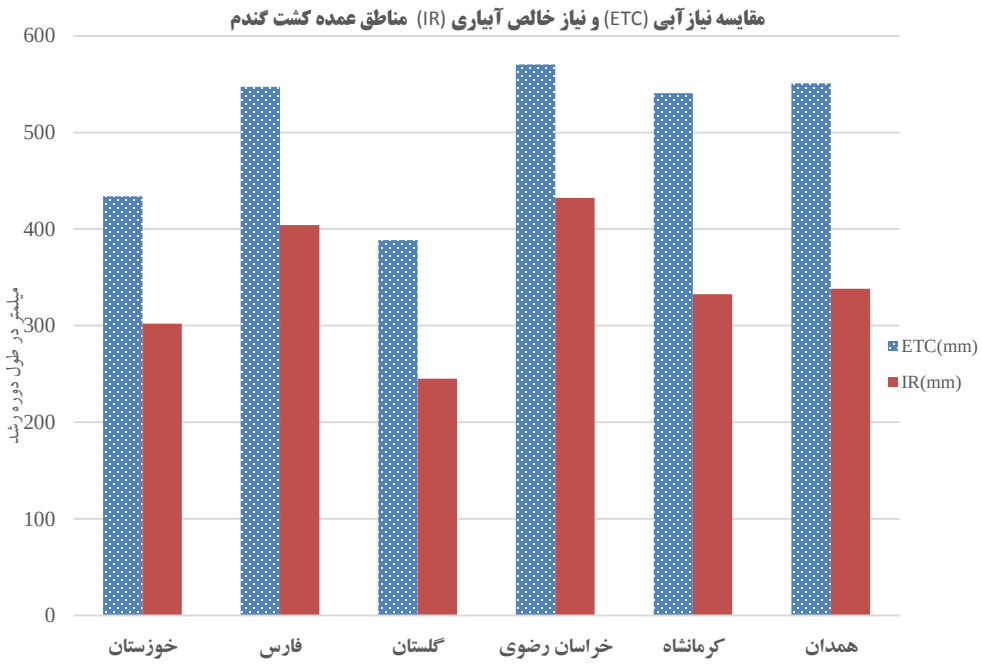
استان کرمانشاه

نتایج برآوردهای تبخیرتعرق پتانسیل (نیاز آبی) و نیاز خالص آبی در ۱۴ شهرستان و ۲۷ دهستان استان کرمانشاه نشان داد که کشت گندم باهدف حصول به عملکرد پتانسیل در این استان، نیازمند تأمین میانگین نیاز آبی برابر ۵۴۰ میلی‌متر در طول دوره رشد می‌باشد و نیاز آبی گندم در دهستان‌های این استان با یکدیگر متفاوت است و در بازه ۴۴۷ تا ۶۰۹ میلی‌متر تغییر می‌کند. همچنین نیاز خالص آبیاری دارای میانگین ۳۳۲ میلی‌متر است. در بین کلیه دهستان‌ها بیشترین و کمترین مقدار نیاز خالص آبیاری را به ترتیب دهستان ازگله از توابع ثلاث باباجانی با مقدار ۴۰۰ میلی‌متر و دهستان گوار در شهرستان گیلانغرب با مقدار ۲۴۰,۵ به خود اختصاص دادند.

استان همدان

این استان دارای ۹ شهرستان و ۲۰ دهستان می‌باشد و گندم در این استان دارای میانگین نیاز آبی ۵۵۰ میلی‌متر آب، حداکثر نیاز آبی ۶۰۲ میلی‌متر و حداقل نیاز آبی ۴۳۸ میلی‌متر می‌باشد. همچنین در این استان میانگین نیاز خالص آبیاری گندم ۳۳۸ میلی‌متر است و دهستان سیمینه‌رود در شهرستان بهار دارای حداکثر نیاز خالص آبیاری است (۴۱۷ میلی‌متر) و دهستان الوند غربی نیاز خالص آبیاری کمتری نسبت به دهستان‌های دیگر استان دارد (۱۸۳ میلی‌متر).

نیاز آبی و نیاز خالص آبیاری استان‌های خوزستان، فارس، گلستان، خراسان رضوی، کرمانشاه و همدان بر اساس دهستان محاسبه شد. در نمودار (۲) میانگین نیاز آبی و نیاز آبیاری این استان‌ها مقایسه شده است. استان خراسان رضوی با میانگین ۵۷۰ میلی‌متر بیشترین نیاز آبی و استان گلستان با میانگین ۳۸۸ میلی‌متر کمترین نیاز آبی را دارا بود. همچنین با توجه به تأمین بخشی از نیاز آبی توسط بارش مؤثر در طول فصل رشد، بالاترین میزان نیاز خالص آبیاری به استان خراسان رضوی با مقدار ۴۳۲ میلی‌متر و کمترین میزان نیاز خالص آبیاری به استان گلستان با میانگین ۲۵۴ میلی‌متر در طول دوره رشد اختصاص یافت.



نمودار ۲- مقایسه نیاز آبی و نیاز خالص آبیاری استان‌های موردمطالعه

منابع مورداستفاده:

احمدی،ک. عبادزاده،ح.ر. حاتمی،ف. عبدشاه،ه و کاظمیان،آ.(۱۳۹۹). آمارنامه کشاورزی سال زراعی۱۳۹۸-۱۳۹۷ جلد اول. وزارت جهاد کشاورزی. ۹۷ ص.

تافته،آ. دوات‌گر، ن و ملاح،س.(۱۳۹۹). بررسی امکان پهنه بندی تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و نیازآبی گندم با استفاده از روش های مختلف پهنه بندی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. سال دهم . شماره ۴۰. ۱۲ص.

Estimation of wheat water requirement in major cultivated areas of Iran

Fatemeh Keykhaei [1*], Arash Tafteh [2] and Niaz Ali Ebrahimi Pak [3]

1, 2 and 3- members of scientific board of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*Corresponding Author Email: Keykhaei80@gmail.com

Abstract

The agricultural sector is responsible for meeting food needs by relying on national production and optimal and efficient use of production resources (water and soil, climate, etc.) and protection of renewable natural resources and increasing farmers' incomes. Wheat is one of the most important strategic products in agriculture and proper irrigation planning to supply the required water of wheat in order to achieve the desired yield has been one of the research priorities of the irrigation sector. In this study, water requirement and net irrigation requirement of six provinces of Iran, which are the main areas of wheat cultivation, are estimated so that farmers can use this information to plan wheat irrigation program.

Keywords: Net irrigation requirement, Niazab system, Water requirement, wheat.

نیاز آبی گندم در اقلیم سرد

فاطمه کیخایی*[1]، آرش تافته[2] و نیازعلی ابراهیمی پاک[3]

۱، ۲ و ۳ اعضاء هیئت‌علمی بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

*ایمیل نویسنده مسئول :Keykhaei80@gmail.com

چکیده

اولین گام در مدیریت متوازن منابع آب، برآورد صحیح آب موردنیاز آبیاری است و این امر برای توسعه پایدار و مدیریت کشاورزی مهم است. در این میان تعیین تبخیر تعرق نقش کلیدی دارد و از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به اینکه گندم یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی در دنیا محسوب می‌شود و در ایران نیز رتبه دوم محصولات زراعی آبی را داراست تعیین نیاز آبی آن ضروری است. در ایران، مناطق کشت گندم ازنظر آب‌وهوایی و تیپ رشد واریته‌ها و ارقام زراعی، به چهار اقلیم اصلی بزرگ تقسیم‌شده است. در این تحقیق نیاز آبی گندم در اقلیم سرد جهت کمک به تصمیم‌گیری سیاست‌گذاران منابع آبی ونیز ارائه برنامه آبیاری دقیق توسط کارشناسان آب و کشاورزان ارائه‌شده است.

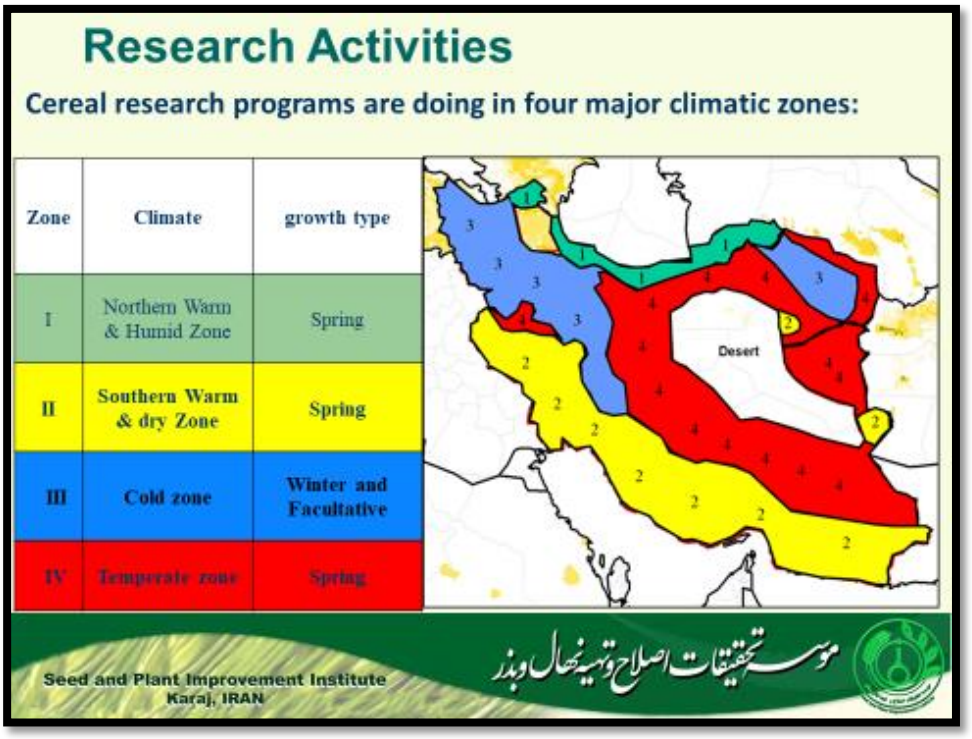
واژگان کلیدی: نیاز آبی، اقلیم، مدیریت آب، گندم.

مقدمه

بخش کشاورزی وظیفه تأمین نیاز غذایی با اتکا بر تولید ملی و استفاده بهینه و کارآمد از منابع تولید(آب‌وخاک، اقلیم و) و حفاظت از منابع طبیعی تجدیدشونده و افزایش درآمد کشاورزان را بر عهده دارد. این بخش با برخورداری از حدود ۶,۶ درصد تولید ناخالص داخلی ۱۷/۷ درصد اشتغال و ۶ درصد صادرات غیرنفتی و تأمین‌کننده حدود ۸۰ درصد مواد غذایی و نیز ۸۰ تا ۹۰ درصد مواد اولیه صنایع موردنیاز کشور، جایگاه مهمی در اقتصاد کلان کشور دارد (بخشایش و همکاران،۱۳۹۹). در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ سطح محصولات زراعی حدود ۱۲ میلیون هکتار بوده که از این مقدار حدود ۵۱/۸ اراضی با کشت آبی و ۴۸/۲ درصد اراضی با کشت دیم بوده است. سطح مربوط به غلات ۷۱/۲ درصد می‌باشد. رتبه دوم میزان تولید محصولات زراعی آبی، مربوط به گندم آبی با تولید حدود ۸/۲ میلیون تن و سهم ۱۰/۹ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی بوده است. خشک‌سالی و کمبود آب در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند روزافزون نیاز بخش‌های مختلف آب، آسیب‌های خشک‌سالی در سال‌های آینده جدی‌تر نیز خواهد شد. یکی از راهکارهای اثربخش، کاربرد بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است در این راستا تعیین آب مصرفی واقعی گیاهان زراعی به‌ویژه گندم از اهمیتی روزافزون به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردار است (نادر عباسی، ۱۳۹۶).

مواد و روش‌ها

در کشور ایران، مناطق کشت گندم کشور ازنظر آب‌وهوایی و تیپ رشد واریته‌ها و ارقام زراعی گندم، به چهار اقلیم اصلی بزرگ تقسیم گردیده است. اقلیم بزرگ گرم و مرطوب (شمال، اراضی جلگه‌ای در سواحل خزر)، اقلیم بزرگ گرم و خشک (جنوب و جنوب غربی کشور)، اقلیم بزرگ معتدل (مرکز و پراکنده در غرب و شرق کشور)، اقلیم بزرگ سرد (شمال غرب و مرکزی کشور)



شکل ۱- تقسیم‌بندی اقلیمی ایران جهت کشت گندم

نیاز آبی گندم شهرستان‌ها و دهستان‌های اقلیم سرد در این مقاله تعیین می‌شود. برای انجام این تحقیق فایل اکسل شامل کلیه ایستگاه‌های هواشناسی کشور و کد اقلیم مربوط به هر ایستگاه ایجاد گردید. کلیه ایستگاه‌های هواشناسی (۷۲۶ ایستگاه) بر اساس نقشه شماره (۱) دریکی از گروه‌های یک تا چهار قرار گرفتند. اقلیم سرد با کد سه و به رنگ آبی در نقشه نشان داده‌شده است. بر اساس فایل اکسل کلیه ایستگاه‌های کد سه استخراج شدند که شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، زنجان، اردبیل (به‌جز بیله سوار، پارس‌آباد، گرمی و نئور)، مرکزی (به‌جز شازند و شمس‌آباد)، قزوین (به‌جز آبیک و معلم کلایه)، همدان (به‌جز تویسرکان و نهاوند)، کردستان (به‌جز قروه، کامیاران، دهگلان و مقانلو)، قسمتی از استان قم (قم، جعفرآباد، نیروگاه، دستجرد، سلفچگان، کوشک نصرت، فرودگاه)، قسمتی از استان اصفهان (خوانسار، سمیرم، فریدون‌شهر، گلپایگان، بوئین میاندشت، آلاویژه، بادیجان، دامنه فریدن، سینگرد، چادگان، فریدن، داران) و قسمتی از استان خراسان شمالی (اسفراین، سیساب، نوده، چناران، برزل آباد، سنخواست، اسماعیل آباد، صفی آباد، فاروج، شیروان) بود. درمجموع 202ایستگاه در اقلیم سرد قرار گرفتند. برای محاسبه نیاز آبی گیاهان (تبخیر-تعرق استاندارد) نیاز به محاسبه تبخیر تعرق مرجع و تعیین ضرایب گیاهی در مراحل مختلف رشد می‌باشد. تبخیر-تعرق گیاهان تحت شرایط استاندارد (ET_C)مربوط به گیاهان بدون بیماری است که کود کافی دریافت کرده و در سطح وسیع با رطوبت مطلوب خاک کشت‌شده و بیشترین عملکرد را در شرایط اقلیمی مشخص تولید کرده است و از فرمول (۱) محاسبه می‌شود.

$$ET_O \times K_C = T_C \qquad (۱)$$

(ET_O) :تبخیر-تعرق گیاه مرجع که از پارامترهای هواشناسی محاسبه می‌شود و(K_C) : ضریب گیاهی که از جداول فائو تعیین می‌گردد.

در این تحقیق از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی کشور در یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۹۸-۱۳۸۳) و روش فائو ۵۶ مقادیر تبخیرتعرق مرجع تا سطح دهستان محاسبه شد وبر اساس اطلاعات پرسشنامه‌ای ارائه‌شده توسط کارشناسان استان‌ها و نیز بانک‌های اطلاعاتی معتبر وزارت جهاد کشاورزی، مراحل فنولوژی گندم در هر دهستان تعیین شدند و بر اساس جداول فائو ۵۶ مقادیر ضرایب گیاهی تعیین و بر اساس شرایط اقلیمی اصلاح شدند. گفتنی است مقادیر نیاز آبی گیاه گندم به‌دست‌آمده، مربوط به رقم غالب مناطق موردبررسی می‌باشد. هدف از این تحقیق ارائه نیاز آبی گندم در اقلیم سرد می‌باشد و کارشناسان و بهره‌برداران جهت برنامه‌ریزی آبیاری، نیاز به محاسبه نیاز آبیاری خالص گندم دارند که می‌بایست میزان بارش مؤثر هر ایستگاه را در دوره زمانی موردنیاز، از مقدار نیاز آبی ارائه‌شده در این تحقیق کم کنند. کلیه مقادیر نیاز آبی ارائه‌شده در این تحقیق در سامانه نیاز آب موسسه تحقیقات خاک و آب بارگذاری شده است.

نتایج:

نیاز آبی گندم در استان آذربایجان شرقی

۳۲ ایستگاه هواشناسی در این استان استفاده شد. مقادیر نیاز آبی گندم در این استان در دامنه ۴۷۸٫۵ تا ۵۲۲٫۳ میلی‌متر در طول فصل رشد قرار گرفت و میانگین نیاز آبی گندم در این استان ۵۱۶٫۸ میلی‌متر به دست آمد.

نیاز آبی گندم در استان آذربایجان غربی

اطلاعات مربوط به ۲۶ ایستگاه هواشناسی جهت بررسی نیاز آبی در این استان استفاده شد. مقادیر نیاز آبی در دامنه ۳۹۱ تا ۵۴۶ مسلمی‌تر در طول فصل رشد قرار داشتند؛ و میانگین نیاز آبی در این استان ۴۸۶ میلی‌متر به دست آمد.

نیاز آبی گندم در استان اردبیل

اطلاعات به‌دست‌آمده از ۶ ایستگاه هواشناسی موجود در اقلیم سرد این استان نشان داد که نیاز آبی گندم در این مناطق در دامنه ۴۱۳ تا ۴۸۴ میلی‌متر متغیر بود و میانگین نیاز آبی گندم در طول دوره رشد برابر ۴۵۳ میلی‌متر است.

نیاز آبی گندم در استان زنجان

از اطلاعات ۲۱ ایستگاه هواشناسی موجود در این استان جهت محاسبه نیاز آبی گندم استفاده شد. نیاز آبی در این استان از ۴۶۵ تا ۶۱۶ میلی‌متر در طول فصل رشد متغیر بود و نیز گندم در این استان مقدار ۵۴۵ میلی‌متر آب در طول فصل رشد (میانگین استان) نیاز دارد.

نیاز آبی گندم در استان مرکزی

۱۶ ایستگاه هواشناسی در منطقه سرد این استان قرار داشت و نیاز آبی گندم در طی دوره رشد در این استان در مناطق با اقلیم سرد بین مقادیر ۵۰۷ و ۶۱۵ میلی‌متر قرار داشت و میانگین نیاز آبی ۵۵۹ میلی‌متر به دست آمد.

نیاز آبی گندم در استان قزوین

اطلاعات ۱۵ ایستگاه مورداستفاده جهت تعیین نیاز آبی گندم در استان قزوین نشان داد که دامنه نیاز آبی گندم از ۴۷۳,۵ تا ۵۹۵,۷ میلی‌متر بود و میانگین نیاز آبی گندم در طول دوره رشد برابر ۵۱۵ میلی‌متر به دست آمد.

نیاز آبی گندم در استان همدان

اطلاعات ۱۶ ایستگاه هواشناسی مستقر در اقلیم سرد استان نشان داد که نیاز آبی گندم در طول دوره رشد در مناطق مختلف بین ۴۸۵ و ۵۸۹ میلی‌متر متغیر می‌باشد و میانگین نیاز آبی گندم منطقه موردمطالعه ۵۴۸ میلی‌متر بود.

نیاز آبی گندم در استان کردستان

از اطلاعات ۲۰ ایستگاه هواشناسی جهت محاسبه نیاز آبی گندم در این استان استفاده شد و محاسبات نشان داد که نیاز آبی در دامنه ۴۸۷ و ۶۱۱ میلی‌متر قرار گرفت و میانگین نیاز آبی در طول دوره رشد ۵۳۷ میلی‌متر به دست آمد.

نیاز آبی گندم در استان اصفهان

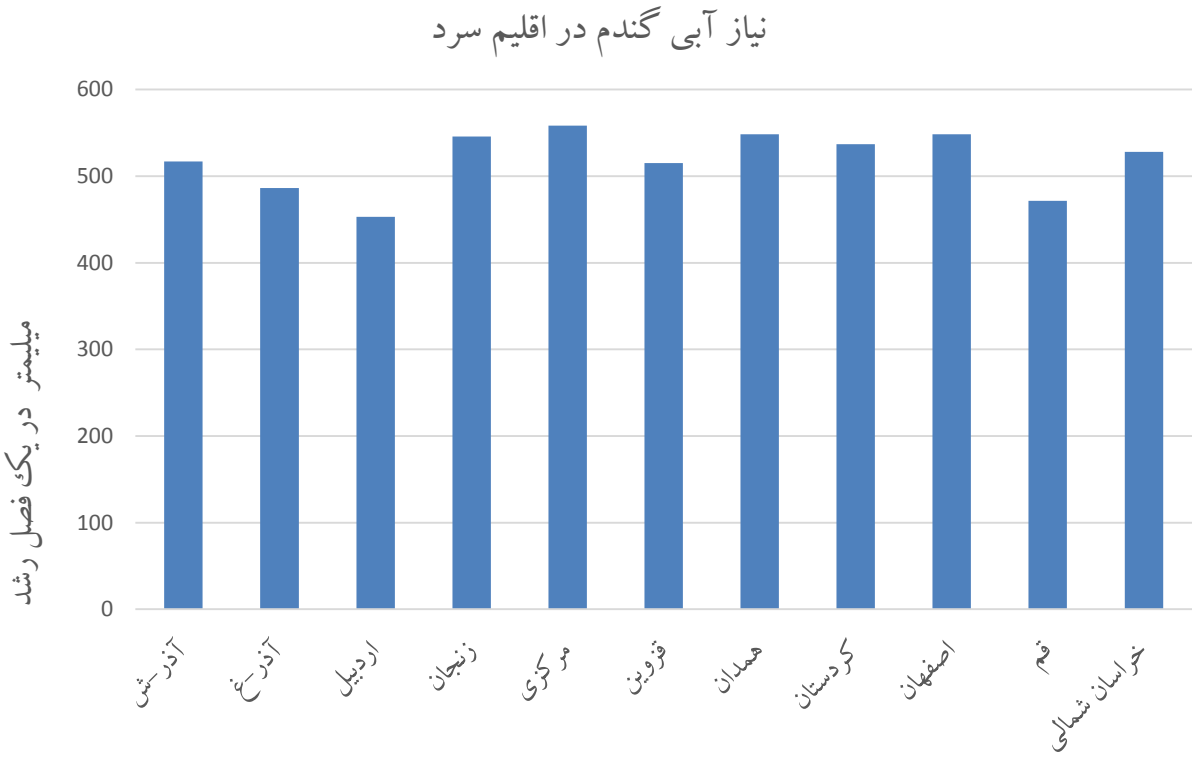
استان اصفهان ترکیبی از اقلیم‌های مختلف می‌باشد و ۱۰ ایستگاه جهت محاسبات نیاز آبی گندم در مناطق سرد مورداستفاده قرار گرفت و نیاز آبی در این مناطق بین دو مقدار ۵۳۵ و ۷۵۲ میلی‌متر بود و میانگین نیاز آبی گندم در طول دوره رشد برابر ۵۴۸,۴ میلی‌متر به دست آمد.

نیاز آبی گندم در استان قم:

۵ ایستگاه استان قم در این تحقیق استفاده شد و مقادیر نیاز آبی گندم در مناطق مختلف بین ۳۲۰,۹ و ۵۳۱ متغیر بود و میانگین نیاز آبی در طول دوره رشد در اقلیم سرد این استان برابر ۴۷۱,۶ میلی‌متر به دست آمد.

نیاز آبی گندم در استان خراسان شمالی

اطلاعات ۸ ایستگاه هواشناسی موجود در اقلیم سرد این استان نشان داد که نیاز آبی گندم در این منطقه در دامنه ۴۵۶,۸ تا ۵۷۶,۹ میلی‌متر می‌باشد و میانگین نیاز آبی در این مناطق ۵۲۸ میلی‌متر در طول دوره رشد به دست آمد.



نمودار ۱- مقایسه میانگین نیاز آبی گندم در اقلیم سرد

بر اساس نمودار یک، میانگین نیاز آبی گندم در اقلیم سرد بین ۴۵۳ میلی‌متر (اردبیل) و ۵۵۸ میلی‌متر (مرکزی) می‌باشد. البته بایستی به این نکته توجه نمود که در استان‌های قم، اصفهان و خراسان شمالی اکثر ایستگاه‌ها در اقلیم سرد نبودند و درصورتی‌که نیاز آبی کل این استان موردنیاز باشد مقادیر نیاز آبی بیشتر از این مقادیر خواهد بود. همچنین باید توجه داشت که این مقادیر نیاز آبی پتانسیل هستند و عملکرد متناظر با آن عملکرد پتانسیل خواهد بود اما معمولاً عملکرد گیاه و تبخیر-تعرق آن در اراضی زراعی و باغی آبی عموماً کمتر از سطح بالقوه آن است که علت آن وقوع گاه‌به‌گاه تنش آبی بین فواصل آبیاری، تراکم غیر بهینه گیاه، حاصلخیزی پائین، شوری خاک، غیریکنواختی آبیاری، بیماری و آفات، حرکت ماشین‌آلات کشاورزی و غیریکنواختی در جوانه‌زنی گیاه و رشد آن است.

منابع:

بی نام. (۱۳۹۴). کاشت گندم در مناطق گرم (دیم و آبی). نشرآموزش کشاورزی.۳۶ ص.

بخشایش، م. کشاورز، ع. شریعتمدار، م.ح. فکاری سردهایی، ب. (۱۳۹۹). گزارش اقتصاد کشاورزی. مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب.http://awnrc.com

عباسی، نادر. (۱۳۹۶). تحلیل های فنی درمدیریت و مهندسی کشاورزی ایران (جلد اول). موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۱۸۳ صفحه.

Wheat water requirement in cold climates

Fatemeh Keykhaei [1*], Arash Tafteh [2] and Niaz Ali Ebrahimi Pak [3]

1, 2 and 3- members of scientific board of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

*Corresponding Author Email: Keykhaei80@gmail.com

Abstract

The first step in balanced water resources management is to accurately estimate the irrigation water requirement, and this is important for sustainable development and agricultural management. In this regard, determining evapotranspiration plays a key role and has great importance. Due to the fact that wheat is one of the most important crops in the world and in Iran is the second largest irrigated crops, it is necessary to determine its water requirement. In Iran, wheat cultivation areas are divided into four major climates in terms of climate and growth type of varieties and cultivars. In this study, the water requirement of wheat in cold climates has been presented by water experts and farmers to help decision makers of water resources policy and to provide a detailed irrigation plan.

Keywords: Climate, water management, Water requirement, wheat.

برآورد تبخیر و تعرق مرجع در دامنه‌ی از مقادیر سرعت باد تحت شرایط کمبود داده

میلاد نوری[1]، سارا اسدی[2]

۱- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران. پست الکترونیکی(m.nouri@modares.ac.ir)

۲- دکتری بوم‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

چکیده

تبخیر و تعرق مرجع یکی از متغیرهای بسیار مهم برای مدیریت آب در مزرعه و مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی است. این متغیر به میزان زیادی به سرعت باد وابسته است که منجر می‌شود برآورد آن در محیط‌های داده محدود بادخیز با مشکل مواجه شود. در این مطالعه عملکرد چهار مدل فائو-تشعشع، هارگریوز-سامانی، پریستلی-تیلور و مکینک در مقابل مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ در دامنه‌ی وسیعی از مقادیر باد متوسط با استفاده از آماره‌ی ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده بررسی شد. داده‌های سرعت باد، دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی برای ۱۶ منطقه نیمه‌خشک ایران اخذ شد. نتایج نشان داد که در اکثر موارد بهترین و ضعیف‌ترین عملکرد به ترتیب مربوط به مدل‌های هارگریوز-سامانی و مکینک بود. در مناطقی با سرعت باد بیش از ۳ متر بر ثانیه، برآورد تبخیر و تعرق مرجع دارای خطای فراوانی در شرایط داده محدود بود. در مناطق با سرعت باد ماهانه بین ۱/۵-۲/۵ متر بر ثانیه، متوسط خطای مطلق مدل هارگریوز-سامانی حدود ۲۰/۷ درصد بود که بیانگر آن است که این مدل در این شرایط قابل توصیه است. نتایج این مطالعه می‌تواند برای تصمیم‌گیران در راستای ارتقای امنیت آبی و غذایی کشور تحت شرایط کمبود داده استفاده شود.

واژگان کلیدی: مناطق نیمه‌خشک، پنمن-مانتیث فائو ۵۶، مناطق داده محدود، نیاز آبی گیاهان

مقدمه

تبخیر و تعرق به عنوان یکی از اصلی‌ترین اجزای چرخه‌ی هیدرولوژیکی، حدود ۶۰ درصد از بارش را به جو برمی‌گرداند (Hirschi *et al.*, 2017). همچنین این فرآیند ۵۰ درصد یا بیشتر انرژی خورشیدی رسیده به زمین را مصرف می‌کند و سبب ایجاد یک اتصال بین چرخه‌های انرژی و آب می‌شود. حدود یک‌سوم کل آب تبخیر و تعرق شده از اراضی کشاورزی و مراتع انجام می‌شود (Oki and Kanae, 2006). با وجود اهمیت این فرآیند برای کشاورزی، اندازه‌گیری این متغیر دشوار و نیاز به دستگاه‌های دقیق دارد. بنابراین، این متغیر اغلب بر مبنای یک متغیر فرضی با نام تبخیر و تعرق گیاه مرجع[1] برآورد می‌شود (Jensen and Allen, 2016). تبخیر و تعرق مرجع نقش مهمی در برآورد نیاز آبی گیاهان، برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت و طراحی سیستم‌های آبیاری دارد. این متغیر تحت تأثیر متغیرهای فیزیکی خاک و فراهمی آب نیست و صرفاً تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی قرار دارد. بنابراین این متغیر برای مطالعات تغییرات اقلیمی نیز کاربردهای فراوانی دارد. آلن و همکاران برای پرهیز از هر گونه ابهام، تبخیر و تعرق مرجع را بدین شکل تعریف کرده است: تبخیر و تعرق از یک گیاه فرضی با ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و مقاومت سطحی ۷۰ ثانیه بر متر و آلبیدوی ۰/۲۳ است؛ که

[1] Reference crop evapotranspiration (ET_0)

بسیار شبیه به تبخیر و تعرق از سطحی با پوشش سبز کوتاه، در حال رشد، بخوبی آبیاری شده که کاملا بروی زمین سایه انداخته است (Allen *et al.*,1998). آن‌ها همچنین مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ را بر مبنای مدل فیزیکی پنمن-مانتیث ارائه دادند. با آن‌که این مدل در برآورد تبخیر و تعرق مرجع در سراسر دنیا موفق بوده است (Pereira *et al.*, 2015)، اما به داده‌های دقیق سرعت باد، شدت تشعشع، دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل نیاز دارد. در مناطق داده محدود از قبیل ایران، این داده‌ها یا اندازه‌گیری نشده و یا با دقت نامناسبی همراه هستند. در این موارد تبخیر و تعرق مرجع بر مبنای مدل‌های دیگری از قبیل مدل‌های دما-مبنا، که به برخی داده‌های اقلیمی نیاز ندارند، برآورد می‌شود. لیکن استفاده از این مدل‌های در مناطق داده محدود می‌تواند همراه با خطای برآورد زیادی باشد. در میان تمام داده‌های لازم برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع، سرعت باد در مناطق آب محدود[1] (فراخشک، خشک، نیمه‌خشک، و نیمه‌مرطوب خشک) از اهمیت زیادی برخوردار است. این بدان دلیل است که دینامیک تبخیر و تعرق مرجع در مناطق آب محدود به شدت تحت تأثیر نوسانات سرعت باد است. بنابراین بکار بستن مدل‌های که سرعت باد در آن‌ها در نظر گرفته نشده است، می‌تواند سبب بروز خطای تخمین فراوان در مناطق بادخیز و آب محدود شود. بنابراین کاربرد مدل‌های تبخیر و تعرق مرجع در این مناطق می‌بایستی به‌دقت در مقابل مدل مرجع (از قبیل پنمن-مانتیث فائو ۵۶) بررسی شود. هدف از انجام این مطالعه بررسی دقت برآورد چهار مدل دما مبناء و تشعشع مبناء در مقابل مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ در مناطق نیمه‌خشک ایران در دامنه‌ی وسیعی از سرعت باد بود.

مواد و روش‌ها

ایران دارای ۹ اقلیم از ۳۰ اقلیم طبقه‌بندی‌شده بر مبنای روش کوپن-گایگر[2] (Peel et al., 2007) می‌باشد که حاکی از تنوع اقلیمی زیاد کشور ایران دارد. وجود رشته کوه‌های البرز و زاگرس عامل اصلی تنوع آب و هوایی ایران است. رشته کوه زاگرس مانند مانعی از عبور ابرهای باران‌زا از غرب به مرکز کشور جلوگیری می‌کند. همچنین، رشته کوه شمالی البرز سبب ایجاد یک منطقه مرطوب و نیمه مرطوب در حاشیه دریای مازندران شده است. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش مناطق نیم‌خشک واقع شده در غرب و شمال غرب ایران می‌باشند (جدول ۱).

داده‌های ماهانه لازم از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. این داده‌ها شامل دمای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، فشار بخار و شدت تشعشع خورشیدی برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع بر مبنای روش پنمن-مانتیث-فائو ۵۶ بودند. ویژگی‌های اقلیمی و جغرافیای ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول قابل مشاهده است، سرعت باد نزدیک به سطح (در ارتفاع دو متری) در مناطق مورد مطالعه بین ۰/۶۶ تا ۳/۲۶ متر بر ثانیه تغییر می‌کند. لازم به ذکر است که شاخص خشکی (نسبت بارش به تبخیر و تعرق مرجع) ارائه شده در جدول ۱ بر مبنای روش UNEP (1992) محاسبه شد. این مقدار اگر از بیش از ۰/۲ و کمتر از ۰/۵ باشد نمایان‌گر نیمه خشک بودن منطقه است. در این پژوهش دقت یک مدل دما-مبنا هارگریوز-سامانی[3] و سه مدل تشعشع مبناء پریستلی-تیلور[4]، فائو-تشعشع[5]، و مکینک[6] در مقابل مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶[7] بررسی شد. شرح ریاضی مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ به‌صورت زیر است:

[1] Water-limited regions
[2] Köppen-Geiger
[3] Hargreaves-Samani
[4] Priestly-Taylor
[5] FAO-Radiation
[6] Makkink
[7] Penman-Monteith FAO 56

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (۱)$$

که در آن ET_0 تبخیر و تعرق مرجع ($mm.d^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار ($kPa.^{\circ}C^{-1}$)، R_n تابش خالص ورودی به سطح گیاه ($MJ\ m^{-2}.day^{-1}$)، G شار گرمای خاک ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$)، T میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری ($^{\circ}C$)، u_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ($m.s^{-1}$)، e_s فشار بخار اشباع (KPa)، e_a فشار بخار واقعی (KPa)، e_s-e_a کمبود فشار بخار اشباع (KPa) و γ ضریب ثابت سایکرومتری ($kPa.^{\circ}C^{-1}$) می‌باشد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه

نام	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	شاخص خشکی[۲]	متوسط سرعت باد
	درجه شرقی	درجه شمالی	متر از سطح دریا	-	متر بر ثانیه
خوی	۴۴° ۵۸′	۳۸° ۳۳′	۱۱۰۳	۰/۳۱	۱/۳۰
الیگودرز	۴۹° ۴۲′	۳۳° ۲۴′	۲۰۲۲	۰/۲۰	۳/۲۴
ارومیه	۴۵° ۰۵′	۳۸° ۳۲′	۱۳۱۶	۰/۲۸	۲/۰۱
اهر	۴۷° ۰۴′	۳۸° ۲۶′	۱۳۹۱	۰/۲۶	۳/۲۶
اردبیل	۴۸° ۱۷′	۳۸° ۱۵′	۱۳۳۲	۰/۳۰	۳/۰۵
بیجار	۴۷° ۳۷′	۳۵° ۵۳′	۱۸۸۳	۰/۲۳	۳/۰۱
همدان	۴۸° ۳۲′	۳۴° ۵۲′	۱۷۴۲	۰/۲۶	۱/۷۱
کرمانشاه	۴۷° ۰۹′	۳۴° ۲۱′	۱۳۱۹	۰/۲۷	۲/۱۰
خرم آباد	۴۸° ۱۷′	۳۳° ۲۶′	۱۱۴۸	۰/۳۱	۱/۶۶
نوژه	۴۸° ۴۳′	۳۵° ۱۲′	۱۶۸۰	۰/۲۳	۱/۴۲
قروه	۴۷° ۴۸′	۳۵° ۱۰′	۱۹۰۶	۰/۲۵	۲/۳۲
شمیران	۵۱° ۳۷′	۳۵° ۴۷′	۱۵۴۸	۰/۳۹	۰/۶۶
زرقان	۵۲° ۴۳′	۲۹° ۴۷′	۱۵۹۶	۰/۲۴	۱/۰۸
سقز	۴۶° ۱۶′	۳۶° ۱۵′	۱۵۲۳	۰/۳۷	۱/۸۵
زنجان	۴۸° ۲۹′	۳۶° ۴۱′	۱۶۶۳	۰/۲۴	۱/۷۵

مدل‌های پریستلی-تیلور یکی از مدل‌های تشعشع مبناء مرسوم در مطالعات کشاورزی و هیدرولوژی تحت شرایط کمبود داده است. این مدل به شرح زیر است:

$$ET_0 = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n - G}{\lambda} \quad (۲)$$

که در آن λ معادل گرمای نهان تبخیر ($MJ\ Kg^{-1}$) و α ضریب تجربی است که معمولاً معادل ۱/۲۶ در نظر گرفته می‌شود (Priestley and Taylor, 1972).

دیگر مدل تشعشع مبناء که هنوز در اروپای غربی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل مکینک است (Makkink, 1957):

$$ET_0 = 0.61 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \times \frac{R_s}{\lambda} - 0.12 \quad (۳)$$

که در آن Rs تشعشع خورشیدی ($MJ\ m^{-2}d^{-1}$) است.

همچنین مدل فائو-تشعشع ارائه شده توسط دورنبوس و کاسام (Doorenbos and Kassam, 1979) به شرح زیر است:

$$ET_0 = c\left[\left(1+\frac{\gamma}{\Delta}\right)^{-1} \times R_s\right] \quad (۴)$$

که در آن c یک ضریب تجربی است.

مدل دما مبنای هارگریوز-سامانی نیز به صورت زیر است (Hargreaves and Samani, 1982):

$$ET_0 = 0.0135 K_{rs} R_a (T_{\max} - T_{\min})^{0.5} \times (T_{mean} + 17.8) \quad (۵)$$

که در آن K_{rs} ضریب تجربی این مدل است که برای مناطق ساحلی و غیر ساحلی به ترتیب ۰/۱۹ و ۰/۱۶ ($^{o}C^{-0.5}$) می‌باشد.

برای بررسی آماری صحت برآورد مدل‌ها دما مبنا و تشعشع مبنا در مقابل مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ از آماره‌ی ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده[1] (درصد) استفاده شد:

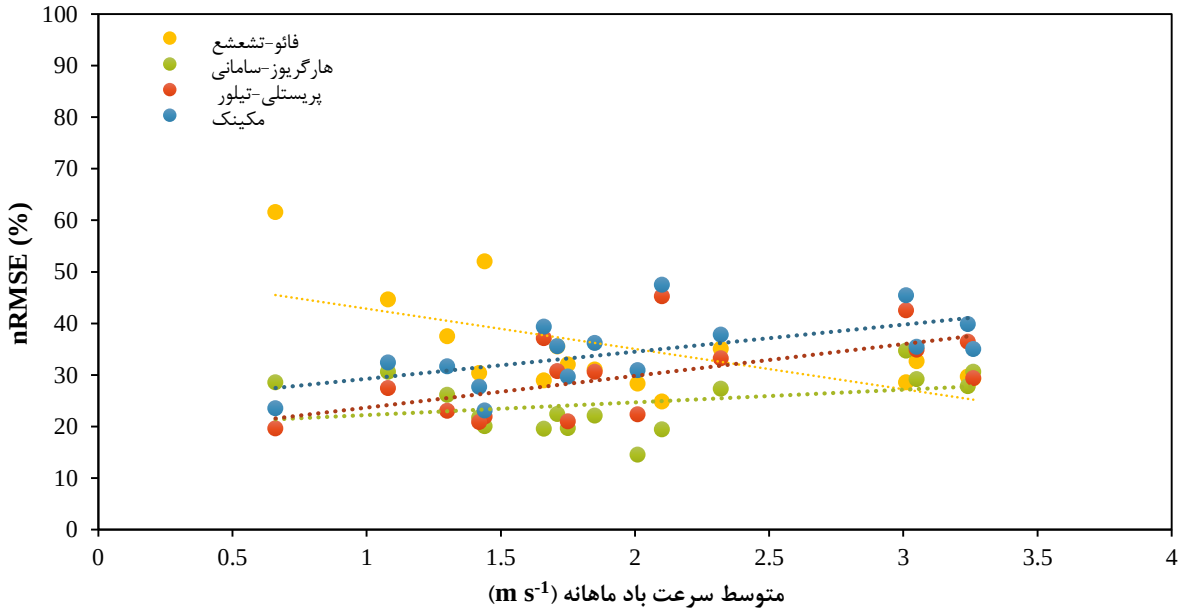
$$nRMSE = (100/\overline{O}) * \sqrt{(\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2)/n} \quad (۶)$$

که در آن O_i و S_i به ترتیب مقدار تبخیر و تعرق مرجع برآورده شده بر مبنای پنمن-مانتیث فائو ۵۶ و چهار مدل دیگر است، $\overline{O}$ مقدار متوسط برآوردهای مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶، و n تعداد مقایسات است.

نتایج و بحث

شکل (۱) مقدار خطای مطلق (nRMSE ٪) مدل‌های مورد استفاده در مقابل مقدار سرعت باد متوسط را نشان می‌دهد. متوسط مقدار nRMSE برای تمامی مناطق مطالعه شده برای مدل‌های فائو-تشعشع، هارگریوز-سامانی، پریستلی-تیلور و مکینک به ترتیب ۳۵/۱، ۲۴/۶، ۲۹/۸ و ۳۴/۴ درصد بود. مقدار خطای تمامی مدل‌ها به‌غیراز مدل فائو-تشعشع، با افزایش متوسط سرعت باد روندی افزایشی را نشان می‌دهد. همچنین، میزان خطای مطلق مدل‌های فائو-تشعشع، هارگریوز-سامانی، پریستلی-تیلور و مکینک به ترتیب در ۱۰، ۳، ۸ و ۱۲ منطقه از ۱۶ منطقه‌ی مورد مطالعه بیش از ۳۰ درصد بود که بیانگر عملکرد کلی بهتر مدل هارگریوز-سامانی نسبت به سایر مدل‌های است. در اغلب موارد (به‌غیراز مناطقی با سرعت باد متوسط کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه) مدل مکینک بدترین عملکرد را ارائه داده است. مقدار nRMSE مدل مکینک برای تقریباً تمامی مناطق با سرعت باد متوسط بیش از ۱/۵ متر بر ثانیه بیش از ۳۰ درصد به‌دست آمد. مدل پریستلی-تیلور در مقادیر متوسط باد کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه از قبیل شمیران و زرقان عملکرد بهتری در مقابل مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ از خود نشان داده است. لیکن در مناطق بادخیز (با مقدار متوسط باد بیش از ۳ متر بر ثانیه) میزان nRMSE برای مدل پریستلی-تیلور بیش از ۳۰ درصد برآورد شد که نشانگر عملکرد نامناسب این مدل در مناطق بادخیز است. در مقایسه با مدل‌های تشعشع مبنا، مدل دما مبنای هارگریوز-سامانی در ۶۳ درصد از مناطق عملکرد بهتری از خود نشان داد. این مدل در مقادیر سرعت باد بین ۲/۵-۱/۵ متر بر ثانیه بهترین عملکرد را داشته است. معادله‌ی هارگریوز-سامانی در مناطق اردبیل و الیگودرز (با مقدار متوسط باد بیش از ۳ متر بر ثانیه) دارای مقدار خطای مطلق کمتر از ۳۰ درصد بود و نسبت به سایر مدل‌ها در مقابل مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ عملکرد بهتری داشت. بنابراین، استفاده از این مدل در شرایط کمبود داده در مناطق بادخیز مناسب‌تر است. هرچند که مقدار nRMSE این مدل برای مناطق بادخیز اهر و بیجار به ترتیب ۳۰/۵ و ۳۴/۵ درصد بود که بیانگر عملکرد نامناسب این مدل در این مناطق است.

[1] normalized Root mean Square Error (nRMSE)



شکل ۱- خطای مدل‌های دما مبنا و تشعشع مبنا در مقابل مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ در مقابل سرعت باد متوسط.

عملکرد مدل‌های دما مبنا و تشعشع مبنا می‌تواند با تغییر و واسنجی ضرایب تجربی آن‌ها بهبود یابد. هرچند که تغییر و واسنجی این ضرایب نیاز به داده‌های کامل برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع بر مبنای مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ دارد که ممکن است در مناطق داده محدود وجود نداشته باشد. تغییر ضرایب این مدل‌ها به‌منظور بهبود عملکرد این معادلات اغلب مخصوص یک منطقه است و با تغییر منطقه حتی ممکن است سبب افزایش خطای برآورد تبخیر و تعرق مرجع نیز شود. همچنین از آنجای که اغلب یک محدوده‌ی زمانی معین (مثلاً ۱۰ ساله) برای واسنجی ضرایب استفاده می‌شود، تغییرات و نوسانات اقلیمی می‌تواند خطای واسنجی را برای محدوده‌های زمانی دیگر افزایش دهد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه عملکرد چهار معادله‌ی فائو-تشعشع، هارگریوز-سامانی، پریستلی-تیلور و مکینک در مقابل مدل پنمن-مانتیث فائو ۵۶ برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع ماهانه در ۱۶ منطقه نیمه‌خشک ایران با مقادیر مختلف سرعت باد بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که خطای برآورد تبخیر و تعرق مرجع بر مبنای سه مدل هارگریوز-سامانی، پریستلی-تیلور و مکینک با افزایش سرعت باد افزایش یافت. در اکثر مناطق مدل مکینک و هارگریوز-سامانی به ترتیب بیشترین و کمترین خطای برآورد را از خود نشان دادند. مدل پریستلی-تیلور در مناطقی با سرعت باد متوسط کمتر از ۱/۵ متر بر ثانیه کمترین خطای برآورد را داشت. لیکن در مناطق بادخیز (میزان سرعت باد بیش از ۳ متر بر ثانیه) مدل هارگریوز-سامانی به طور نسبی بهترین مدل برآورد شد. لیکن خطای مطلق این مدل نیز برای دو منطقه باد بادخیز اهر و بیجار بیش از ۳۰ درصد بود که بیانگر عملکرد نامناسب این مدل است. نتایج این مطالعه نشان داد که برآورد تبخیر و تعرق ماهانه در مناطقی با سرعت باد بیش از ۳ متر بر ثانیه دارای خطای فراوانی در شرایط داده محدود است. بنابراین، در این مناطق وجود داده‌های سرعت باد لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در مناطقی با سرعت باد بین ۱/۵-۲/۵ متر بر ثانیه مدل هارگریوز -سامانی برای تخمین تبخیر و تعرق ماهانه تحت شرایط عدم وجود داده باد قابل ترجیح است. نتایج این مطالعه می‌تواند برای تصمیم‌گیران در راستای بهبود سیستم‌های آبیاری، مبارزه با خشکسالی و ارتقای تأمین امنیت آبی کشور تحت شرایط کمبود داده مفید واقع شود.

منابع

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Doorenbos, J., Kassam, A. (1979). *Yield response to water-FAO Irrigation and drainage paper 33 FAO, Rome*.

Hargreaves, G., Samani, Z. (1982). Estimating potential evapotranspiration. *Journal of the irrigation and drainage division, 108*(3), 225-230 .

Hirschi, M., Michel, D., Lehner, I., Seneviratne, S. I. (2017). A site-level comparison of lysimeter and eddy covariance flux measurements of evapotranspiration. *Hydrology and Earth System Sciences, 21*(3), 1809-1825. doi:10.5194/hess-21-1809-2017

Jensen, M. E., Allen, R., G. (2016). Estimates of irrigation water requirements and streamflow depletion. In M. E. Jensen & G. Allen Richard (Eds.), *Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements* (2nd ed., pp. 435-455): ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70.

Makkink, G. F. (1957). Testing the Penman formula by means of lysimeters. *Journal of the Institution of Water Engineers, 11*(3), 277-288 .

Oki, T., Kanae, S. (2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science, 313*(5790), 1068-1072. doi:10.1126/science.1128845

Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences discussions, 4*(2), 439-473. doi:10.5194/hess-11-1633-2007

Pereira, L. S., Allen, R. G., Smith, M., Raes, D. (2015). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management, 147*, 4-20. doi:10.1016/j.agwat.2014.07.031

Priestley, C. H. B., Taylor, R. J. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review, 100*(2), 81-92.

UNEP. (1992). *World atlas of desertification*. London: United Nations Environment Programme.

On estimation of reference evapotranspiration over a range of wind speeds under data limitation

Milad Nouri[1], Sara Asadi[2]

[1]Assistant Professor of Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. Email Address (m.nouri@modares.ac.ir)
[2]Ferdowsi University of Mashhad, Faculty of Agriculture, Department of Agrotechnology, P.O. Box 91775-1163, Mashhad, Iran

Abstract

Reference evapotranspiration is of great importance for optimizing field water management and modeling hydrological processes. This variable highly depends on wind speed, and this may cause a great error in estimating ET_0 in windy environments. In this study, the performance of four different alternatives namely Hargreaves-Samani, Makkink, Priestly-Taylor and FAO-Radiation against Penman-Monteith FAO 56 was evaluated across a wide range of wind speeds based on normalized Root Mean Square Error statistics (nRMSE). The wind speed, maximum and minimum temperature, relative humidity, and sunshine hour data were retrieved for 16 semi-arid regions in Iran. Results revealed that the worst and best performance was obtained for Hargreaves-Samani and Makkink in most areas, respectively. The models showed unsatisfactory results for the regions with average wind speed exceeding 3 m s^{-1}. The average nRMSE of Hargreaves-Samani was 20.7 % at the regions with monthly wind speed ranging between 1.5-2.5 m s^{-1}, indicating the fact that this model can be reliably applied in this condition for data-scarce areas. The results of this study can be useful for decision-makers to improve water and food security in Iran under data limitation.

Keywords: semi-arid areas, Penman-Monteith FAO 56, data-scarce regions, crop water requirement

نقشه‌برداری رقومی خاک با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی روی تراس فوقانی ارس در پارس آباد مغان

مجید صفری فر[۱]، حسین ترابی گل سفیدی[۲] و روح الله تقی زاده مهرجردی[۳]

۲- نویسنده ی مسئول: استادیار گروه علوم خاک دانشگاه شاهد htorabi@shahed.ac.ir

۱- دانش آموخته ی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشگاه شاهد، ۳- دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان

چکیده

نقشه برداری رقومی خاک می‌تواند با برقراری ارتباط بین داده‌های کمکی محیطی و خصوصیات خاک، کلاسها یا خصوصیات خاک را در مناطقی از منطقه‌ی مورد مطالعه که نمونه‌برداری صورت نگرفته است پیش‌بینی نماید. در نتیجه با حفر خاکرخ کمتر و به تبع آن آنالیزهای آزمایشگاهی کمتر، باعث صرفه جویی در زمان و هزینه خواهد شد. در این روش، پیوستگی و تغییر تدریجی خاک نیز نشان داده می‌شود. این تحقیق با هدف تهیه نقشه رقومی کلاس‌های خاک منطقه و مشخص کردن پارامترهای موثر در پیش‌بینی کلاس‌های خاک (زیر گروه بزرگ) در اراضی واحد عمرانی دوم خداآفرین با مساحت ۱۲۵۰۰ هکتار به روش شبکه عصبی مصنوعی در سطح زیرگروه بزرگ خاک انجام شد. در این مطالعه از داده‌های بانک خاک موجود که شامل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ۴۹۷ خاکرخ خاک، که به صورت روش شبکه‌بندی منظم به ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ متر مربع حفر گردید، استفاده شد. پارامترهای کمکی مورد استفاده در این مطالعه داده‌های ماهواره‌ای لندست۸، نقشه رقومی ارتفاع (DEM) و پارامترهای زمینی استخراج شده از آن و نقشه زمین‌شناسی بودند. داده‌های منطقه به دو بخش آموزش (۷۵٪ داده‌ها) و آزمون (۲۵٪ داده‌ها) تقسیم گردید. نتایج نشان داد که در بخش آموزش، دقت کلی (۷۲٪) و شاخص کاپا (۰/۶۵) می‌باشد اما در بخش آزمون دقت کلی ٪ ۵۷/۲۶ می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه پنج ویژگی شامل؛ نقشه رقومی ارتفاع (ارتفاع)، نقشه زمین‌شناسی، شاخص رس، سطح پایه شبکه آبراهه و عمق دره، مهم‌ترین پارامترهای مؤثر برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه بزرگ می‌باشند. در کل، نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه مدل شبکه عصبی مصنوعی از کارایی و دقت خوبی در مدل‌سازی مکانی و پیش‌بینی زیرگروه‌های بزرگ خاک برخوردار است.

واژگان کلیدی: خداآفرین، خاکرخ، شاخص کاپا، نقشه رقومی ارتفاع (DEM)

مقدمه

یکی از مهمترین مراحل در راستای شناسایی خاک و درک و فهم نحوه پراکندگی و ارتباط خاک با زمین‌نما و همچنین مدیریت و بهره‌برداری صحیح و منطقی از خاک و همچنین در برنامه‌های آمایش سرزمین، نقشه‌برداری خاک می‌باشد. نقشه‌برداری خاک در ایران در بیشتر مطالعات خاکشناسی به روش مرسوم و بر اساس واحدهای فیزیوگرافی انجام می‌گیرد. یکی از فناوری‌های نوین که می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش مرسوم تهیه نقشه خاک باشد، نقشه‌برداری رقومی خاک می‌باشد.

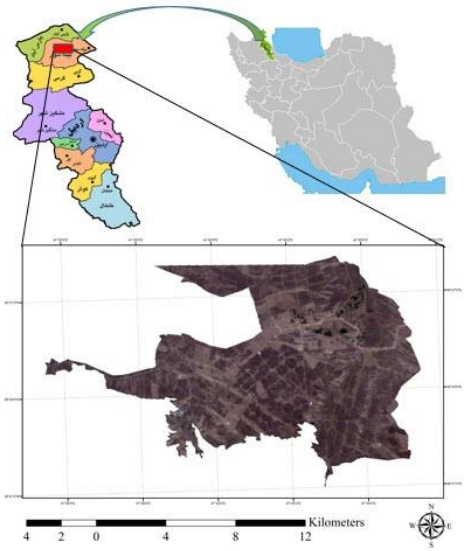
نقشه‌برداری رقومی خاک می‌تواند با برقراری ارتباط بین داده‌های کمکی محیطی و خصوصیات خاک، کلاس‌ها یا خصوصیات خاک را در مناطقی از منطقه‌ی مورد مطالعه که نمونه‌برداری صورت نگرفته است پیش‌بینی نماید؛ در نتیجه با حفر خاکرخ کمتر و به تبع آن آنالیزهای آزمایشگاهی کمتر، باعث صرفه جویی در زمان و هزینه خواهد شد. از طرفی با این روش، پیوستگی و تغییر تدریجی خاک نیز نشان داده می‌شود. در حال حاضر نقشه‌برداری رقومی خاک به عنوان یکی از زیرشاخه‌های موفق علوم خاک مطرح شده است، به‌طوری‌که تعداد مقالات مربوطه با نرخ ۱۲ مقاله در سال و تعداد استنادات مربوط به آن با ۳۸۴ مورد در سال به سرعت در حال افزایش است (Minasny and McBratney, 2016)

در ایران بیشتر نقشه‌های خاک موجود به روش سنتی تهیه گردیده اند. نقشه برداری خاک به روش سنتی دارای معایبی می‌باشد که از جمله آن‌ها می‌توان به تعمیم نتایج خاکرخ شاهد به کل نقشه، نمایش تغییرات خاک و ویژگی‌های آن بصورت ناگهانی، ارتباط دادن روابط خاک-زمین‌نما بصورت تجربی و ذهنی و در نتیجه، وابستگی حدود و مرز واحدهای خاک به قدرت درک و فهم کارشناش از روابط خاک و محیط و همچنین وابستگی زیاد نقشه به مقیاس، اشاره نمود (Zhu, et al. 2001، تقی‌زاده مهرجردی و همکاران، ۱۳۹۲). تقی‌زاده مهرجردی و همکاران (۱۳۹۲) از روش های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در تهیه نقشه رقومی خاک در منطقه اردکان استفاده کردند. یکی از بهترین مدل‌ها که در نقشه برداری رقومی مورد استفاده قرار می‌گیرد شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌باشند. شبکه‌های عصبی مصنوعی پیشرفته‌ترین تکنیک‌های مبتنی بر کامپیوتر هستند که برای نقشه‌برداری رقومی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Freire et al. 2013). هدف از این مطالعه تهیه نقشه رقومی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه بزرگ به روش شبکه عصبی مصنوعی در اراضی واحد دوم عمرانی خداآفرین دشت مغان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه اراضی واحد عمرانی دوم خداآفرین با مساحتی حدود ۱۲۵۰۰ هکتار در استان اردبیل و در محدوده شهرستان‌های پارس‌آباد و بیله‌سوار در حد فاصل ۴۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۳۹ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. زمین نما و شکل زمین غالب در منطقه مورد مطالعه، پادگانه (تراس) فوقانی ارس می‌باشد که تا تراز ۳۰۰ متر از سطح دریا گسترش می‌یابد. جهت شیب کلی اراضی از جنوب به شمال و عموماً ۲ تا ۵ درصد و شیب‌های جانبی عموماً ۵ تا ۱۲ درصد است. تشکیلات زمین‌شناسی منطقه، اغلب مربوط به دوران حاضر (دوران چهارم یا کواترنر) بوده و شامل پادگانه‌های (تراس‌های) آبرفتی قدیمی رس سیلتی و لایه‌های سفید توف می‌باشد. در این منطقه، میانگین دمای سالانه ۱۵/۱ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالانه ۲۷۸ میلی‌متر، میانگین رطوبت نسبی هوا ۷۳/۸ درصد و میانگین سالانه تبخیر و تعرق پتانسیل ۱۰۲۳/۸ میلی‌متر می‌باشد. این منطقه دارای رژیم حرارتی ترمیک و رژیم رطوبتی اریدیک ضعیف در مرز رژیم رطوبتی زریک می‌باشد.



شکل ۱ – محدوده محلی، استانی و کشوری منطقه مورد مطالعه

مراحل نقشه‌برداری رقومی- مطابق با معادله اسکورپن (McBratney et al.,2003) نقشه‌برداری رقومی خاک شامل سه مرحله تهیه داده خاک، تهیه داده محیطی یا کمکی و مدل‌سازی می‌باشد که در ادامه به تشریح هر یک از این مراحل در این مطالعه می‌پردازیم.

داده خاک- در این مطالعه ۴۹۷ پروفیل به روش شبکه بندی منظم به ابعاد ۵۰۰ در ۵۰۰ متر مربع (۲۵ هکتار) حفر گردیده و تمامی خاکرخ‌ها تشریح شده و از کلیه لایه‌ها یا افق‌های ژنتیکی مورد مطالعه، جمعاً به تعداد ۲۵۰۰ افق خاک،

نمونه‌برداری صورت گرفته و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی مربوطه در آزمایشگاه انجام شده است. با توجه به نتایج حاصله خاک‌های منطقه در دو سیستم رده‌بندی جدید آمریکایی (U.S.D.A. Keys to Soil Taxonomy, 2010) تا حد فامیل خاک طبقه‌بندی شده‌اند و همچنین بر اساس سایر اطلاعات موجود تا حد فاز سری نیز جدا گردیده‌اند. در مجموع خاک‌های منطقه مورد مطالعه در ۲ رده اریدی‌سول و انتی‌سول، ۵ زیر رده، ۸ گروه‌بزرگ، ۱۲ زیرگروه‌بزرگ و ۴۱ سری خاک قرار گرفته‌اند (ترابی گل سفیدی، ۱۳۹۲).

داده‌های محیطی یا کمکی- در این مطالعه از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده گردید. باندهای استفاده شده در این مطالعه شامل ۶ باند (باند ۲: ۰/۴۵-۰/۵۱ میکرومتر، باند ۳: ۰/۵۳- ۰/۵۹ میکرومتر، باند ۴: ۰/۶۴- ۰/۶۷ میکرومتر، باند۵: ۰/۸۵-۰/۸۸ میکرومتر، باند ۶: ۱/۵۷-۱/۶۵ میکرومتر، باند ۷: ۲/۱۱- ۲/۲۹ میکرومتر) می‌باشد. سپس با توجه به خاک‌های منطقه و پوشش منطقه شاخص‌هایی از قبیل شاخص گیاهی نرمال شده[۱]، شاخص گیاهی تعدیل شده خاک[۲]، شاخص رس[۳]، شاخص گچ[۴]، شاخص شوری[۵]، شاخص روشنایی[۶] و شاخص کربنات[۷] محاسبه گردید. یکی دیگر از منابع مهم داده‌های کمکی، نقشه رقومی ارتفاع می‌باشد که در این مطالعه از نقشه رقومی ارتفاع منطقه که از مطالعات نقشه‌برداری کاداستر پروژه آبیاری تحت فشار منطقه خداآفرین که با دقت ۱:۵۰۰۰ تهیه شده است، استفاده گردید. پس از پیش‌پردازش‌های لازم بر روی نقشه رقومی ارتفاع منطقه، با استفاده از نرم‌افزار ساگا[۸] (Hengl ,2003) ، پارامترهای زمین از قبیل شیب[۹]، جهت شیب[۱۰]، انحنای متقاطع[۱۱]، انحنای طولی[۱۲]، شاخص همگرایی[۱۳]، تجمع جریان[۱۴]، شاخص خیسی توپوگرافی[۱۵]، سطح پایه شبکه آبراهه[۱۶]، عمق دره[۱۷]، موقعیت شیب نسبی[۱۸]، فاصله عمودی تا شبکه آبراهه[۱۹]، شاخص هموار دره با درجه تفکیک بالا [۲۰]و شاخص بالای پشته با درجه تفکیک بالا[۲۱] استخراج گردید. همچنین در این مطالعه نقشه زمین‌شناسی موجود از منطقه مورد مطالعه در محیط نرم افزار ArcGIS ، رقومی و واحدهای زمین-شناسی منطقه مورد مطالعه جدا گردید و به عنوان یکی دیگر از لایه های اطلاعاتی کمکی مورد استفاده قرار گرفت.

آماده سازی داده‌ها جهت مدل‌سازی- به منظور تهیه نقشه‌پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه بزرگ ابتدا کلاس‌های خاک کدگذاری گردیده و به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. سپس تمامی لایه‌های کمکی تهیه شده که به عنوان متغیر مستقل در معادله اسکورپن در نظر گرفته می‌شوند، در فرمت رستری در اندازه ۳۰×۳۰ متری آماده گردید و در مرحله بعد، این لایه‌ها ابتدا به نقاط نمونه برداری شده و سپس به کل منطقه مورد مطالعه تعمیم داده شد و در نهایت تمامی این لایه‌های اطلاعاتی شامل داده‌های خاک و داده‌های کمکی در فرمت txt ذخیره و به منظور مدل‌سازی وارد نرم‌افزار مربوطه گردیدند.

مدل‌سازی خاک- در این مطالعه از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه استفاده گردید. در این مطالعه از نرم افزار JMP برای مدل‌سازی مکانی و در نهایت پیش‌بینی کلاس خاک در سطح زیرگروه بزرگ استفاده و در آخر، نقشه نهایی در ArcGIS تهیه گردید.

به مظور ارزیابی عملکرد و دقت مدل در پیش‌بینی کلاس‌های خاک از یک سری معیارهایی از قبیل از ماتریس ابهام[۲۲]، دقت کلی[۲۳]، دقت کاربر[۲۴] و دقت تولیدکننده[۲۵] استفاده گردید. همچنین لازم به ذکر است که برای بررسی عملکرد مدل

---

[۱] Normalized difference vegetation index (NDVI)
[۲] Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
[۳] Clay Index
[۴] Gypsum Index
[۵] Salinity Index
[۶] Brightness Index
[۷] Carbonate Index
[۸] SAGA
[۹] Slope
[۱۰] Aspect
[۱۱] Cross-Sectional Curvature
[۱۲] Longitudinal Curvature
[۱۳] Convergence Index
[۱۴] Flow Accumulation
[۱۵] Topographic Wetness Index
[۱۶] Channel Network Base Level
[۱۷] Valley Depth
[۱۸] Relative Slope Position
[۱۹] Vertical Distance to Channel Network
[۲۰] Multi-resolution index of Valley Bottom Flatness (MRVBF)
[۲۱] Multi-resolution ridgetop flatness index (MRRTF)
[۲۲] Error Matrix
[۲۳] Overall Accuracy
[۲۴] User Accuracy
[۲۵] Producer Accuracy

در پیش‌بینی کلاس‌های خاک داده‌های نمونه‌برداری شده از منطقه مورد مطالعه به دو دسته آموزش (۷۵٪ داده‌ها) و آزمون (۲۵٪ داده‌ها) تقسیم گردیدند.

نتایج و بحث

انتخاب ورودی در مدل‌سازی مکانی- نتایج مدل‌سازی به روش شبکه عصبی با چهار نوع ورودی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱- انتخاب ورودی برای مدل‌سازی مکانی

نوع ورودی	آموزش		آزمون	
	دقت کلی (٪)	شاخص کاپا	دقت کلی (٪)	شاخص کاپا
همه داده‌ها	۸۳/۳۸	۰/۷۹	۴۶	۰/۲۶
۵ مولفه	۵۵/۷۶	۰/۴۳	۳۵/۵۰	۰/۱۳
۵ مولفه + نقشه زمین‌شناسی	۶۲/۷۳	۰/۵۲	۴۵/۱۶	۰/۲۴
انتخاب ویژگی	۷۲/۱۲	۰/۶۵	۵۷/۲۶	۰/۴۲

همان‌گونه که در جدول ۱ مشخص شده است بیشترین دقت مربوط به همه داده‌ها در بخش آموزش می‌باشد که منظور از همه داده‌ها تمام داده‌هایی است که در بخش مواد و روش‌ها ذکر گردید و پس از آن به ترتیب انتخاب ویژگی، ۵ مولفه اصلی بعلاوه نقشه زمین‌شناسی و ۵ مولفه اصلی به تنهایی دارای بیشترین تا کمترین دقت کلی می‌باشند. زمانی که به همراه ۵ مولفه، نقشه زمین‌شناسی وارد مدل‌سازی گردید باعث افزایش دقت کلی مدل گردید که این نتیجه با نتایج Scull (2005) مطابقت دارد. یکی دیگر از حالت‌هایی که در بخش انتخاب ورودی مورد آزمون قرار گرفت، ورود ویژگی‌های انتخاب شده توسط نرم‌افزار وکا[۱] به روش جستجوی زنبور[۲]بود. ویژگی‌های انتخاب شده شامل ۵ ویژگی ارتفاع، نقشه زمین‌شناسی، شاخص رس، سطح پایه شبکه آبراهه و عمق دره بودند. از دلایل مهمی که نقشه رقومی ارتفاع به عنوان یک ویژگی موثر در پیش‌بینی کلاس‌های خاک انتخاب گردید می‌توان به دقت بسیار بالای آن، داده مورد استفاده به عنوان پایه برای استخراج پارامترهای زمین، پیش پردازش‌های انجام شده بر روی آن (به طوری که فیلتر آن در مرتبه پنجم نسبت به حالتی که هیچ‌گونه پیش پردازشی بر روی آن انجام نشده است باعث افزایش دقت کلی مدل از ۷۵/۰۷ ٪ به ۷۹/۸۹ گردیده است)، اشاره نمود.(2005) .Behrens, et al نیز با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، نقشه ژئومورفولوژی و نقشه کاربری اراضی به عنوان داده کمکی در ورودی مدل اقدام به پیش‌بینی واحدهای خاک با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی نمودند. برخلاف سایر روش‌ها در بخش آزمون، انتخاب ویژگی، دارای بالاترین دقت بوده و از آنجایی که در مدل‌سازی به روش شبکه عصبی یکی از مسائل مهم قدرت برونیابی شبکه عصبی می‌باشد، بنابراین مدل‌سازی نهایی توسط حالت انتخاب ویژگی انجام گردید.

خروجی مدل شبکه عصبی مصنوعی- پس از انتخاب ورودی و ایجاد ساختار بهینه برای شبکه عصبی مصنوعی، مدل‌سازی نهایی انجام گرفت و ماتریس ابهام در بخش آموزش و آزمون تشکیل گردید که نتایج آن‌ها به دلیل محدودیت صفحه، ارائه نشده است. لازم به توضیح می‌باشد که به دلیل تعداد زیاد زیرگروه‌ها و نمایش بهتر نتایج در ماتریس ابهام، از روش کدگذاری برای زیرگروه‌های بزرگ استفاده گردید.

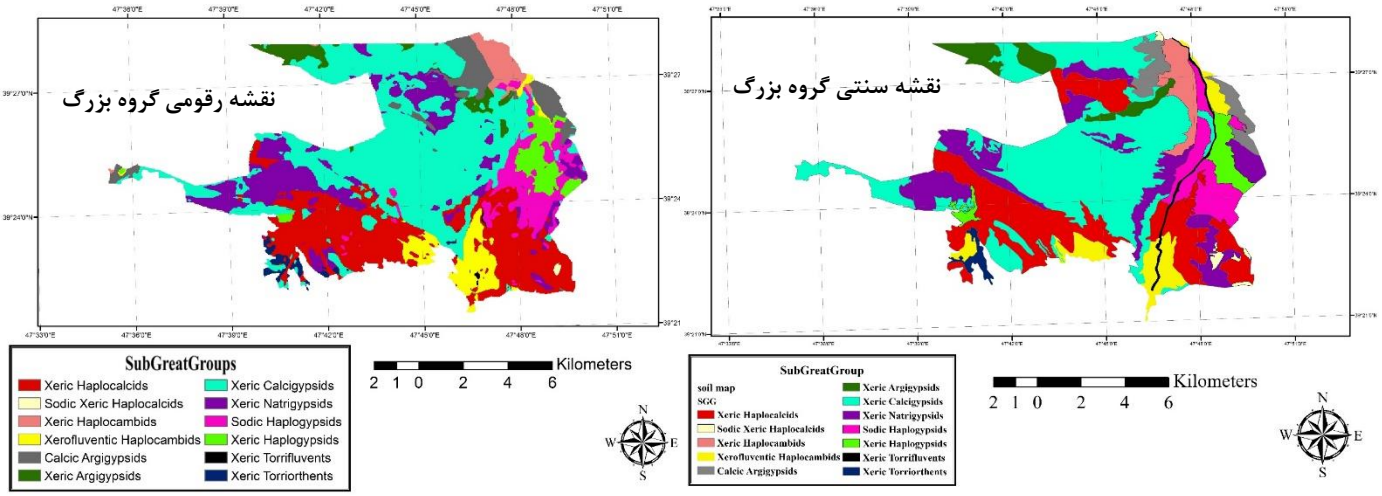
نتایج ماتریس ابهام در بخش آموزش نشان داد که بیشرین دقت با مقدار ۹۴/۴۴٪ مربوط به زیرگروه کلسیک آرجیجیپسیدز و کمترین دقت مربوط به سدیک زریک هاپلوکلسیدز می‌باشد. اما در ماتریس ابهام در بخش آزمون، بیشترین دقت مربوط به زریک هاپلوجیپسیدز با مقدار ۸۰٪ و کمترین دقت مربوط به سدیک زریک هاپلوکلسیدز، زریک توریفلاونتز و زریک توری‌اُرتندز می‌باشد. این نتایج مخصوصاً کمترین دقت‌ها نشان دهنده‌ی آن است که ارتباط بسیار زیادی بین تعداد پروفیل‌ها و زیرگروه‌های بزرگ مربوطه وجود دارد به طوری که، سه زیرگروهی که کمترین دقت را

[۱] WEKA

[۲] BeeSearch

دارند به ترتیبی که بیان گردیدند دارای ۳، ۷ و ۶ خاکرخ در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. محققان دیگری نیز تأثیر تعداد کم مشاهدات در کاهش دقت پیش‌بینی را بیان فرمودند که از جمله آن‌ها می‌توان به عباس زاده افشار و همکاران (۱۳۹۶)، تقی زاده و همکاران (۱۳۹۲) و جعفری و همکاران (۱۳۹۰) اشاره نمود.

نقشه رقومی تولید شده در سطح زیرگروه بزرگ – در نهایت پس از انتخاب مدل نهایی و تشکیل ماتریس ابهام در بخش آموزش و آزمون، اقدام به تولید نقشه رقومی در سطح زیرگره بزرگ گردید (شکل۲). با مشاهده نقشه‌ی تولید شده متوجه می‌شویم که روش شبکه عصبی مصنوعی همه‌ی زیرگروه‌های بزرگ را در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی کرده است. همچنین با بررسی نقشه تولید شده با نقشه سنتی منطقه (شکل۳) متوجه کارایی بالای روش شبکه عصبی مصنوعی در منطقه مورد مطالعه می‌گردیم.



شکل۲- نقشه سنتی زیرگروه بزرگ

شکل۳- نقشه رقومی زیرگره بزرگ

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی با دقت کلی ۷۲/۱۲ ٪ و شاخص کاپای ۰/۶۵ توانسته است تمامی زیرگروه‌های بزرگ منطقه را پیش‌بینی نماید. از طرفی نتایج نشان‌دهنده‌ی ارتباط مستقیم بین تعداد مشاهدات کلاس-های خاک و دقت پیش‌بینی کلاس مربوطه می‌باشد. همچنین با توجه به نتایج حاصله، در منطقه مورد مطالعه پنج ویژگی ارتفاع، نقشه زمین‌شناسی، شاخص رس، سطح پایه شبکه آبراهه و عمق دره مهم‌ترین پارامترهای مؤثر برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک در سطح زیرگروه بزرگ می‌باشند. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای کارایی بالایی در پیش‌بینی کلاس خاک در سطح زیرگروه بزرگ بوده و نقشه برداری رقومی با این مدل می‌تواند تمامی زیرگروه‌های بزرگ خاک را پیش‌بینی نماید و از این منظر در هزینه و زمان مطالعات خاکشناسی صرفه جویی نماید.

منابع

۱- ترابی گل سفیدی، ح. (۱۳۹۲). نقشه برداری تفصیلی خاک و پهنه بندی دقیق برخی از مهم ترین خصوصیات آن در ۱۲۵۰۶ هکتار اراضی خداآفرین (واحد عمرانی۲) دشت مغان با استفاده از روش زمین آمار و GIS. گزارش نهایی طرح کاربردی، معاون پژوهش و فناوری نوین دانشگاه شاهد، ۵۷۵ ص.

۲- تقی‌زاده مهرجردی، ر. (۱۳۹۵). مباحث نوین در علوم خاک(پدومتری)، انتشارات دانشگاه اردکان

۳- تقی زاده مهرجردی، ر.، سرمدیان، ف.، امید، م.، ثواقبی، غ.، تومانیان، ن.، روستا، م. و رحیمیان، م.ح. (۱۳۹۲). مقایسه روش های شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم در تهیه نقشه رقومی خاک در منطقه اردکان. مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۴۴ (۲). ۱۸۲-۱۷۳.

۴- جعفری, ا.، ایوبی، ش. و خادمی، ح. (۱۳۹۰). کاربرد مدل های رگرسیونی در پیش بینی کلاس خاک در بخشی از مناطق ایران مرکزی (منطقه زرند کرمان). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۶). ۱۳۶۴-۱۳۵۳.
۵- عباس زاده افشار، ف.، ایوبی، ش. و جعفری، ا. (۱۳۹۶). نقشه برداری رقومی کلاس های خاک با استفاده از نقشه خاک قدیمی در منطقه خشک جنوب شرق ایران. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۱ (۱). ۲۳۹-۲۵۳.

6- Behrens, T., Förster, H. Scholten, T. Steinrücken, U. Spies, E.D. and Goldschmitt, M. (2005). Digital soil mapping using artificial neural networks. *Plant Nutrition and Soil science*, 168(1), 21-33.
7- Freire, S., Fonseca, I. Brasil, R. Rocha, J. and Tenedório, J.A. (2013). Using artificial neural networks for digital soil mapping – a comparison of MLP and SOM approaches. *AGILE.*
8- Hengl, T., (2003). Pedometric mapping : bridging the gaps between conventional and pedometric approaches. Ph.D. Thesis. Wageningen University, https://edepot.wur.nl/121443
9- McBratney, A.B., Mendonça-Santos, M.L., and Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, (117), 3–52
10- Minasny, B., and McBratney, A.B. (2016). Digital soil mapping: A brief history and some lessons." *Geoderma.*264, 301-311.
11- Scull, P., Franklin, J., Chadwick, O.A., 2005. The application of classification of tree analysis to soil type prediction in a desert landscape. *Ecol. Model*, 181, 1- 15.
12- Zhu, A.X., Hudson, B. Burt, L. Lubich, K. and Simonson, D. (2001). Soil Mapping Using GIS, Expert Knowledge, and Fuzzy Logic. *Soil Science Society of American Journal*, 65(5), 1463-1472.

Digital Soil Mapping Using Artificial Neural Network on Upper Terrace of Aras River in ParsAbad-e-Moghan

Majid Safarifar[1], Hossein Torabi-Golsefidi[2] and Ruhollah Taghizadeh-Mehrjardi[3]

2. Corresponding Author: Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shahed University, htorabi@shahed.ac.ir
1. MSc. Graduated of Shahed University, 3. Associated Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University

Abstract

Digital soil mapping can predict the relationship between environmental auxiliary data and soil characteristics, classes or soil properties in areas of the regions that have not been sampled; consequently, by less profile digging and less laboratory analysis, it will save time and money. On the other hand, continuity and gradual change of soil is also shown by this method. This research was aimed at providing a digital map of the soil classes of the region by artificial neural network model on the level of sub-greatgroups of soil and identifying the effective parameters in predicting soil classes on the 12500 hectares of the second development unit of Khoda-afarin area. In this study, data from an existing soil bank were used, including physico-chemical properties of 497 soil profiles, which were dug in a regular grid arrangement of 500 to 500 square meters. The auxiliary parameters used in this study were Landsat 8 satellite data, digital elevation map, and land parameters extracted from it and geological map. The region data were divided into two sections: training (75% of the data) and test (25% of the data). The results showed that overall accuracy (72%) and Kappa index (0.65) were for neural network model in the education section. While in the test section, the overall accuracy of the artificial neural network was 57.26%. Also, the results showed that five features, including of elevation, geological map, clay index, base level channel network, and valley depth were the most important parameters for predicting soil classes. In general, the results showed that in the studied area, the efficiency and accuracy of artificial neural network was suitable in spatial modeling and prediction of soil sub-greatgroups. Therefore, it is recommended to use artificial neural network method in similar areas in order to provide a digital soil mapping.

Keywords: Khoda-afarin, Soil profile, Kappa index, Digital elevation map (DEM)

تعیین مساحت اراضی کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره ای

میرناصر نویدی*[۱]، محمد جمشیدی[۲]، منصور چترنور[۳] جواد صید محمدی[۴]، احمد اخیانی[۵]

۱. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ nnavidi@swri.ir

۲. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران؛ mohammadjamshidi@yahoo.com

۳. دانش‌آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران؛ m.chatrenor@gmail.com

۴. استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان؛ سازمان تخقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سمنان، ایران؛ ahmadakhyani@yahoo.com

چکیده

از ابزارهای مهم مدیریت پایدار در اراضی کشاورزی دسترسی به اطلاعات به روز و دقیق است. با استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای می توان با کمترین زمان و هزینه بهینه به این اطلاعات دسترسی پیدا کرد. در این راستا هدف از این پژوهش استفاده از مدل شبکه عصبی و فاصله ماهالانوبی[۲] در تعیین محدوده و سطح زیر کشت اراضی کشاورزی در استان سمنان است. در ابتدا تعدادی از اراضی کشاورزی شامل باغات زردآلو، انگور و همچنین گندم، جو و ذرت علوفه ای، از زمین های دارای کاربری مرتعی و بدون پوشش تعیین شد و در هر محصول و کاربری تعدادی نقطه تعلیمی انتخاب گردید. ارزیابی منطقه مطالعاتی در طول یک سال زراعی و ۴ فصل با تصاویر ماهواره ای صورت گرفت و برای تهیه تصاویر از موتور سامانه Google Earth Engine استفاده گردید. در ادامه اقدام به ترکیب باندی، ترکیب رنگ، تعیین شاخص NDVI برای جداسازی و تعیین روند رشد پوشش گیاهی در انواع کشت ها صورت گرفت. در نهایت از روش‌های شبکه عصبی و حداقل فاصله از میانگین برای طبقه بندی اراضی استفاده شد. نتایج نشان داد که روش شبکه عصبی با ضریب کاپا و دقت کلی ۰/۸۷ و ۰/۹۰ بهترین عملکرد را داشت. همچنین مدل فاصله ماهالانوبی کمترین دقت را با ضریب کاپا و دقت کلی ۰/۶۲ و ۰/۶۷ نشان داد. در پایان مشاهده شده که مساحت اراضی کشاورزی تعیین شده اختلاف ۲ تا ۱۰ درصد را با آمار جها کشاورزی داشته است.

واژگان کلیدی: اراضی کشاورزی، شاخص NDVI، ضریب کاپا، دقت کلی

مقدمه:

استان سمنان باوجود نزدیکی به کویر تنوع بالایی را در انواع کشت های باغی و زراعی دارد. با این حال همواره تعیین سطح زیر کشت این اراضی و تطبیق آن با واقعیت چالش بر انگیز است. در کشور ما همواره برای ارزیابی مساحت اراضی کشاورزی

---

[۱]. نویسنده مسئول، آدرس: کرج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، بخش ارزیابی اراضی،

[2] Mahalanobis Distance

از روش های تخمین کارشناسی، فهرست برداری و آمار گیری از مزارع و جدیدا از روش های سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده می گردد. با این حال روش های سنتی غالبیت بیشتری را دارد که زمان بر، پر هزینه و دارای خطای فراوان است (کامکار, دشتی مرویلی, و کاظمی, ۲۰۱۹). در این راستا استفاده از روش سنجش از دور می تواند با کاهش خطا، سبب برنامه ریزی و پیش بینی دقیق تر را در این اراضی شود.

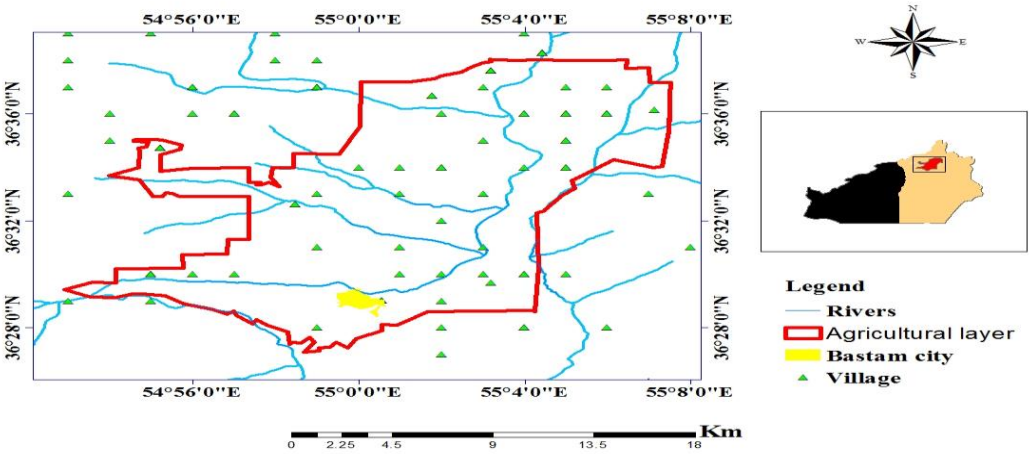
پژوهش های فراوانی در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره ای شده است از جمله احمد پور و همکاران (۲۰۰۱) از تصاویر ماهواره ای Landsat و IRS استفاده کرده و با سه روش حداقل فاصله از میانگین، متوازی السطوح و حداکثر احتمال به طبقه بندی اراضی در استان خراسان پرداختند. در پژوهش آنها روش حداکثر احتمال بهترین کارایی را نشان داد (احمدپور و همکاران، ۲۰۱۴). احمد و کوجان نیز در پژوهشی از تصاویر Landsat 7 و روش حداکثر احتمال برای طیقه بندی استفاده کردند و مشاهده نمودند که روش حداکثر احتمال دقت بالاتری را نسبت به طبقه بندی نظارت شده نشان داد Ahmad and Quegan (2013). طی پژوهشی Zhang *et al* (2017) از تصاویر ماهواره ای MODIS و شاخص NDVI استفاده کردند تا مساحت اراضی برنج، سویا و ذرت را تعیین کنند. این پژوهشگران مشاهده کردند که آمار بدست آمده با تصاویر ماهواره ای نسبت به آمار سازمان فائو کمتر از ۱۰ درصد اختلاف را برای هر سه کشت نشان داد. Vuolo *et al* (2018) از اطلاعات حاصل از تصاویر چند زمانه سنتینل ۲ به منظور طبقه بندی نوع محصول کشاورزی طی دو سال زراعی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در ابتدای فصل رشد محصول (مارس تا آوریل)، طبقه‌بندی دقت نسبتاً پایینی داشته و مدل جنگل تصادفی قادر به پیش‌بینی قابل قبولی برای ۹ نوع محصول با دقت کلی ۹۵ درصد بود. Khaliq *et al* (2018) از تصاویر چند طیفی سنتینل دو برای تعیین مساحت اراضی و طبقه‌بندی محصولات زراعی در منطقه کوچکی از ایتالیا استفاده کردند. در پژوهش آن ها از اطلاعات چند زمانی و تک زمانی مقایسه شدند و دقت کلی ۰/۹۱ و ۰/۶۲ را به دست آوردند. کامکار و همکاران (۱۳۹۸) طی پژوهش زیر کشت برنج و سویا در استان گلستان استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و فاصله ماهالانوبی استفاده کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد روش حداکثر احتمال که با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب معادل ۹۲ درصد و ۹۵/۵ درصد، بهترین عملکرد را داشت

در پژوهش های رایج استفاده شده در کشور از تصاویر ماهواره ای تک تصویر و یا چند تصویر لندست که دارای قدرت تفکیک ۳۰ متری و دوره عکس برداری ۱۶ روزه استفاده شده است. در موارد کمی از تصاویر سنتینل استفاده شده است. در این راستا هدف از این پژوهش تعیین محدوده و سطح اراضی رایج کشت شده در منطقه بسطام استان سمنان و استفاده از تصاویر سنتینل ۲ که هر تصویر دارای قدرت تفکیک ۵ متری و دوره زمانی ۵ است. همچنین از شاخص فنولوژیکی و روش های طبقه بندی شبکه عصبی و فاصله ماهالانوبی استفاده شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در استان سمنان و در اراضی کشاورزی شهر بسطام واقع در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و۳۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی انجام گرفت (شکل ۱). پردازش تصاویر ماهواره‌ای: برای طبقه‌بندی اراضی کشاورزی از تصاویر سری زمانی سنتینل ۲ استفاده گردید که توسط سازمان فضایی اروپا به منظور بررسی تغییرات اقلیم، مدیریت ریسک، امنیت و تغییرات پوشش سطحی زمین در سال ۲۰۱۵ میلادی به فضا پرتاب شد. این ماهواره دارای ۱۳ باند در محدوده مرئی، مادون‌قرمز نزدیک و میانی با درجه تفکیک به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر است. دوره بازگشت تصویربرداری در این ماهواره (۵) روز با زاویه دید مشخص است. از این

ماهواره برای انواع مطالعات کشاورزی مانند تغییرات زمانی پوشش گیاهی در فصل رشد، نقشه توزیع کشت و در نتیجه جداسازی آن‌ها قابل استفاده است. (سازمان فضایی اروپا، ۲۰۲۰).



شکل ۱. محدوده اراضی کشاورزی مورد مطالعه در استان سمنان

تصاویر سنتینل ۲ از ۱ مهر ۱۳۹۸ تا ۱ مهر ۱۳۹۹ بافاصله زمانی حداقل یک ماهه در تاریخ‌های ارائه‌شده در جدول ۱ برای منطقه بسطام تهیه شد و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای هر ماه محاسبه گردید (جدول ۱).

جدول۱: تاریخ تصویربرداری از منطقه

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
تاریخ	۹۸/۷/۵	۹۸/۸/۱۲	۹۸/۹/۱۵	۹۸/۱۰/۱۶	۹۸/۱۱/۱۲	۹۸/۱۲/۵	۹۹/۱/۱۶	۹۹/۲/۱۵	۹۹/۳/۱۵	۹۹/۴/۱۷	۹۹/۵/۲۵	۹۹/۶/۲۴
ابر	کمتر از ۵ درصد در تصاویر											

مزارع انتخاب‌شده برای تعیین نمونه تعلیمی:

پس از شناسایی مزارع هدف، در مجموع ۳۷ باغ زردآلو، ۲۰ باغ انگور، ۳۹ مزرعه گندم و ۳۳ مزرعه ذرت علوفه‌ای انتخاب گردید. برای تفکیک و اجتناب از تداخل طیفی اراضی بایر و مرتعی در تفکیک اراضی کشاورزی، اطراف باغ‌ها و اراضی کشاورزی، مجموعاً ۴۵ محدوده بایر و مرتعی انتخاب گردید. در هر مزرعه با توجه به وسعت پلی گون‌های تصادفی در هر تهیه شد و به عنوان نمونه‌های تعلیمی مورد استفاده قرار گرفت. از شاخص NDVI به عنوان پرکاربردترین شاخص‌های ارزیابی استفاده شد. این شاخص بر اساس وجود کلروفیل در گیاهان است که نور قرمز را جذب و نور مادون‌قرمز نزدیک را منعکس می‌کنند. مقدار عددی این شاخص بین مثبت و منفی۱ متغیر است (رابطه ۱) که مقادیر بالا حاکی از افزایش تراکم و مقادیر کم، تراکم کمتر پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Adamchuk, Perk, & Schepers, 2003).

رابطه (۱) NDVI = (NIR-Red)/(NIR+Red)

در رابطه فوق NIR باند مادون‌قرمز نزدیک (باند ۸)، RED باند قرمز (باند ۴) در ماهواره سنتینل ۲ است. قابل‌ذکر است که باندهای ۴ و ۸ این ماهواره که دارای قدرت تفکیک ۱۰ متری هستند.

طبقه‌بندی

به منظور طبقه‌بندی از مدل‌های ماشین شبکه عصبی و حداقل فاصله از میانگین استفاده گردید. روش طبقه بندی فاصله ماهالانوبی از دیگر روشهای طبقه بندی می‌باشد. این روش بسیار شبیه به روش حداقل فاصله از میانگین است با این تفاوت که در این روش از ماتریس کواریانس نیز استفاده می گردد و در این روش فرض م یشود که هیستوگرام باندها به صورت نرمال هستند (Lu & Weng, 2007). این روش مبتنی بر فاصله ی مرکز خوشه‌ها از یکدیگر است. در این الگوریتم فاصله اقلیدسی هر یک از پیکسل‌ها با مرکز خوشه‌ها محاسبه‌شده و هر پیکسل به کلاسی اختصاص می‌یابد که از کمترین فاصله را تا مرکز آن برخوردار باشد. به عبارت دیگر ابتدا میانگین همه طبقه‌ها که قبلاً با استفاده از روش تعیین نواحی تعلیمی از همدیگر تفکیک گردیده‌اند، تعیین‌شده و سپس فاصله اقلیدسی بازتاب هر پیکسل را از میانگین تمام طبقه‌ها محاسبه می‌شود. هر پیکسل به طبقه‌ای تعلق می‌گیرد که کمترین مقدار فاصله را تا میانگین آن طبقه داشته باشد (Tso & Mather, 2009).

ارزیابی صحت

در این پژوهش از روش اعتبارسنجی متقابل برای ارزیابی دقت مدل‌های طبقه‌بندی استفاده‌شده و شاخص‌های آماری ضریب کاپای و دقت کلی به کار گرفته شدند. دقت کلی بر اساس تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده بر اساس رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

رابطه (۵) $$O.A = \frac{\sum_{i=1}^{C} E_{ij}}{N}$$

رابطه ۶ ضریب کاپای و جدول ۳ شدت توافق بر اساس ضریب کاپا را نشان می دهد.

رابطه (۶) $$K = \frac{P(A)+P(E)}{1-P(E)}$$

در این رابطه، K ضریب کاپا و P (A) احتمال قرارداد نسبی بین ارزیابی و P (E) احتمال فرضی قرارداد شانس است. مقدار ضریب کاپا بین صفر تا ۱ است. اگر هیچ‌گونه توافقی بین موارد ارزیابی وجود نداشته باشد، ضریب کاپا صفر و در توافق کامل ضریب کاپا برابر با یک است. ماتریس خطا: بیانگر تطابق هر کلاس طبقه‌بندی شده را با واقعیت زمینی است و میزان قرار گرفتن اشتباهی یک کلاس در سایر کلاس‌ها را نشان می‌دهد. خطای اومیشن[1] (ستون هر طبقه در ماتریس خطا) برای محاسبه دقت تولیدکننده[2] و خطای کومیشن[3] (ردیف هر طبقه در ماتریس خطا) در محاسبه دقت کاربر[4] استفاده می‌گردد. قطر جدول ماتریس خطا درصد کلاس‌های با طبقه‌بندی صحیح و سایر میزان خطای کمیسیون و امیسیون هستند (Lillesand, Kiefer, & Chipman, 2015).

[1] Omission
[2] Producer Accuracy
[3] Commission
[4] user accuracy

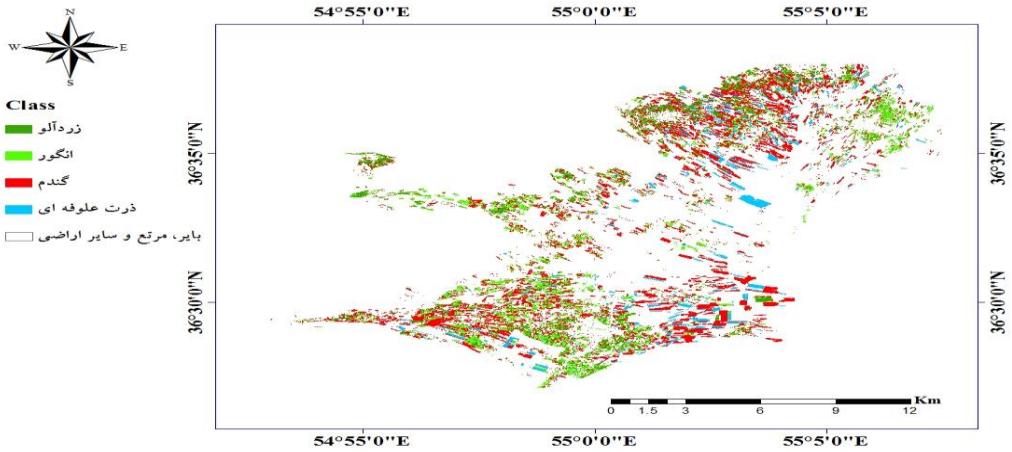
نتایج و بحث

بر اساس نتایج، مدل شبکه عصبی بیش‌ترین دقت را با شاخص‌های آماری دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۷ داشته و مدل ماهالانوبی کمترین دقت طبقه‌بندی را با دقت کلی و ضریب کاپای به ترتیب ۰/۶۹ و ۰/۶۰ را نشان داد. جدول ۲ نتایج ماتریس خطا، دقت کلی و ضریب کاپای مدل‌شبکه عصبی را نشان می‌دهد. جدول ماتریس خطا دقت را به سه روش نشان می¬دهد. دقت کلی، به عنوان یک معیار ارزش‌گذاری در ارزیابی طبقه‌بندی است. با این وجود پیکسل‌هایی که به خطا به کلاس‌ها اختصاص یافته‌اند در محاسبه لحاظ نشد است (علیپور و همکاران، ۱۳۹۳). دقت تولیدکننده نیز، نشان‌دهنده میزان طبقه‌بندی صحیح پیکسل¬های یک طبقه نسبت به همان طبقه در واقعیت زمینی است، در محاسبه ضریب کاپای به دلیل اینکه پیکسل¬های درست طبقه‌بندی نشده را در نظر می‌گیرد از معیار دقت کلی گویاتر است .

مبنای خطای امیسیون قرار گرفتن اراضی یک کلاس که در کلاس‌های دیگر است، در مدل شبکه عصبی برای کلاس زردآلو ۱۵۳ نمونه برداشت‌شده و ۷ نمونه از ۱۵۳ نمونه به عنوان کلاس‌های دیگر تفسیر شده است. بر همین اساس خطای Omissionکلاس زردآلو ۵ درصد و دقت تولیدکننده ۹۵ درصد محاسبه همچنین به ترتیب ۱۳٪، ۵٪، ۹٪، ۱٪ و ۲۵٪ پیکسل‌ها به اشتباه برای کلاس انگور، گندم، ذرت علوفه‌ای، مرتع و اراضی بایر طبقه‌بندی شده و جز کلاس اصلی نیستند. مبنای خطای کومیشن اشاره به آن دسته از پیکسل هایی دارد که در مساحت اراضی به اشتباه طبقه بندی شده و در واقع به آن کلاس تعلق ندارد. به عنوان مثال برای کلاس زردآلو ۱۰ پیکسل از ۱۵۶ پیکسل به اشتباه طبقه بندی شده که خطای کومیشن ۶ درصد و دقت کاربر ۹۴ درصد است. برای کلاس انگور ۲ پیکسل، کلاس گندم ۱۰ پیکسل، ذرت علوفه ای ۱۱ پیکسل، مرتع ۸۵ پیکسل و کلاس اراضی بایر ۹ پیکسل در سایر کلاس ها قرارگرفته و خطای امیسیون به ترتیب ۳٪، ۸٪، ۲۹٪، ۲۱٪ و ۳٪ به دست آمد که بیش‌ترین خطا مربوط به کلاس اراضی ذرت و کمترین خطا مربوط به کلاس انگور است.

جدول ۵. ماتریس خطای طبقه‌بندی تصاویر به روش شبکه عصبی

محصول	زردالو	انگور	گندم	ذرت علوفه ای	مرتع	بایر	کل	خطای (CO)	دقت کاربر
زردالو	۱۴۶	۶	۰	۴	۰	۰	۱۵۶	۰/۰۶	۰/۹۴
انگور	۱	۷۰	۰	۱	۰	۰	۷۲	۰/۰۳	۰/۹۷
گندم	۱	۲	۱۰۹	۳	۰	۷	۱۲۲	۰/۰۸	۰/۹۲
ذرت علوفه ای	۲	۱	۳	۱۲۷	۲	۳	۱۳۸	۰/۲۹	۰/۷۱
مرتع	۱	۱	۰	۲	۳۱۹	۷۹	۴۰۲	۰/۲۱	۰/۷۹
زمین بایر	۲	۰	۳	۳	۱	۲۶۶	۲۷۵	۰/۰۳	۰/۹۷
کل	۱۵۳	۸۰	۱۱۵	۱۴۰	۳۲۲	۳۵۵	۱۱۶۵		
خطای اومیشن	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۰۵.	۰/۰۹	۰/۰۱	۰/۲۵			
دقت تولیدکننده	۰/۹۵	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۷۵			
دقت کلی						۰/۹۰			
ضریب کاپای						۰/۸۷			



شکل ۲. نقشه طبقه‌بندی اراضی کشاورزی منطقه بسطام با روش شبکه عصبی

با استناد بر شاخص‌های آماری دقت کلی و ضریب کاپای کـه نشـان‌دهنـده برتـری مـدل شـبکه عصـبی نسـبت بـه فاصـله ماهالانوبی است. برای گزارش مساحت اراضی کشاورزی نیز همین مدل قرار مبنا قرار گرفت که نتایج آن در جـدول ۸ آورده شده است. بر این اساس برای گندم و جو بیش‌ترین مساحت (۳۴۷۲ هکتار) و برای ذرت علوفه‌ای کمتـرین مسـاحت (۷۱۰ هکتار). محاسبه گردید. در ادامه نقشه توزیع اراضی کشاورزی در منطقه بسطام بر اسـاس مـدل شـبکه عصـبی آورده شـده است. مقایسه بین مقدار واقعی و مقدار برآورده شده با روش شبکه عصبی نشان داد که انگور بیش‌ترین اختلاف را بـا مقـدار آمار واقعی مزارع کشت شده (۱۰ درصد) داشته و گندم و جو کمتـرین اخـتلاف (۳/۸ درصـد) را داشـتند. در بررسـی‌هـای میدانی مشاهده شد که مزارع گوجه و خیار و سایر صیفی‌جات نیز در منطقه کشت شده‌انـد کـه بـا توجـه بـه وسـعت زیـاد منطقه و تشابه دوره کشت این محصولات با ذرت علوفه‌ای، یکی از عوامل خطای در برآورد سطح زیـر کشـت ایـن محصـول است. در این پژوهش تصاویر در یک زمان خاص از هر ماه با توجه به نظر کارشناسان تهیه گردید. ممکن است در آن مقطـع زمانی مقادیری از محصولات برداشت‌شده و همچنین به دلیل تأخیر در برداشت برخی از محصـولات ماننـد ذرت علوفـه‌ای، محاسبه مساحت با خطا مواجه گردد. همچنین در مزارعی به علت عدم رعایت مدیریت بهینـه، میـزان رشـد گیـاه کمتـر از مقدار واقعی است و تفاوت‌هایی از نوع شدت و تأخیر در دوره فنولوژیکی آن‌هـا ایجـاد گـردد، بـه طـوری کـه آن زمـین در مساحت کلاس مربوطه محاسبه نگردد. برای باغات زردآلو و انگور با توجه به اینکـه در ایـن منطقـه عـلاوه بـر آن‌هـا باغـات دیگری نیز مانند پسته و هلو و همچنین باغات شامل انواع درختان نیز وجود دارد، سـبب تغییـر در مسـاحت و ایجـاد خطـا گردیده است. برای گندم و جو به دلیل اینکه نوع گیاه پاییزی است و در این منطقه محصولی که همزمـان بـا آن‌هـا کشـت نشده و تداخلی در دوره فنولوژی نبوده است، اختلاف برآورد کمتری با مقادیر واقعی نسبت به سایر محصولات داشته اسـت. در نقشه‌های طبقه‌بندی شده در شکل ۲ مشاهده می‌گردد که تمرکز باغات در نواحی جنوبی و شمال شـرقی منطقـه اسـت که به دلیل نزدیک بودن به شهر بسطام و وجود آب کافی، در این اراضی اقدام به احداث باغات شده است. در نواحی شـمالی منطقه به علت نزدیکی به دامنه رشته‌کوه شاهوار و استان گلستان، کشاورزان از بارندگی و رطوبت دامنه‌ای استفاده کـرده و در مواردی با احداث استخر اقدام به کشت محصولات گندم و احداث باغات نموده‌اند.

جدول ۸ : سطح زیر کشت اراضی کشاورزی

کلاس	مساحت برآورد شده (هکتار)	مساحت واقعی (هکتار)	درصد اختلاف
زردآلو	۸۵۹	۸۱۰	**۶**
انگور	۱۶۹۰	۱۵۳۴	**۱۰**
گندم و جو	۳۴۷۲	۳۳۴۳	**۳/۸**
ذرت علوفه‌ای	۷۱۰	۶۵۰	**۹/۹**

منابع

احمدپور, ا., سلیمانی, ک., شکری, م., و قربانی, ج. (۲۰۱۴). مقایسهٔ میزان کارآیی سه روش رایج طبقه بندی نظارت شده داده های ماهواره ای در مطالعهٔ پوشش گیاهی. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی, ۵(۳), ۷۷-۸۹.

کامکار, ب., دشتی مرویلی, م., و کاظمی, ح. (۲۰۱۹). تفکیک اراضی زیر کشت برنج و سویا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در الگوهای کاشت تابستانه جهت تحلیل تغییرات سطح زیر کشت دو محصول در چهار حوضه آبخیز استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک, ۲۶(۱), ۱۵۱-۱۶۷. doi: 10.22069/jwsc.2019.15246.3044

Adamchuk, V. I., Perk, R. L., & Schepers, J. S. (2003). EC03-702 Precision Agriculture: Applications of Remote Sensing in Site-Specific Management .

Ahmad, A., & Quegan, S. (2013). Comparative analysis of supervised and unsupervised classification on multispectral data. Applied Mathematical Sciences, 7(74), 3681-3694 .

Khaliq, A., Peroni, L., & Chiaberge, M. (2018). Land cover and crop classification using multitemporal sentinel-2 images based on crops phenological cycle. Paper presented at the 2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS.(

Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote sensing and image interpretation: John Wiley & Sons.

Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. International Journal of Remote Sensing, 28(5), 823-870 .

Tso, B., & Mather, P. (2009). M." Classification Methods for Remotely Sensed Data", Chapter 2-3: Taylor and Francis Group, America.

Vuolo ,F., Neuwirth, M., Immitzer, M., Atzberger, C., & Ng, W.-T. (2018). How much does multi-temporal Sentinel-2 data improve crop type classification? International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 72, 122-130 .

Zhang, H., Li, Q., Liu ,J., Shang, J., Du, X., Zhao, L., . . . Dong, T. (2017). Crop classification and acreage estimation in North Korea using phenology features. GIScience & Remote Sensing, 54(3), 381-406

Determining of agricultural land area by using satellite images

Mirnaser Navidi[1], , Mohamad. Jamshidi[2], Mansour Chatrenour[3], javad seyedmohammadi[4] Ahmad Akhyani[5]

1. Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: nnavidi@swri.ir
2. Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: mohammadjamshidi@yahoo.com
3 .PhD Graduated, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran ; E-mail: m.chatrenor@gmail.com
4. Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: j.mohammadi@areeo.ac.ir
5. Assistant Professor Semnan Center for Agricultural and Natural Resources Research, Agricultural Research, Education and Extension Organization; E-mail: ahmadakhyani@yahoo.com

Abstract

One of the important tools for sustainable management in agricultural lands is access to up-to-date and accurate information. Using remote sensing and satellite images, this information can be accessed with the least time and optimal cost. In this regard, this study aims to use the neural network model and Mahalanobis distance in determining the boundary and area under cultivation of agricultural lands in Semnan province. At first, a special number of agricultural lands including apricot, grape, wheat, barley, and forage corn, and as well as pasture, and barren lands were selected. And in each land use and product and user, a number of educational points were selected. The evaluation of the study area was during one crop year and 4 seasons was done, by use of the Google Earth Engine system and satellite images. Then, a series of measures including band composition, color combination, as well as NDVI index were performed to isolate and determine the growth trend of plants. Finally, neural network methods and the Mahalanobis distance were used to classify lands. The results showed that the neural network method with kappa coefficient and overall accuracy of 0.87 and 0.90 had the best performance. Also, the Mahalanobis distance model showed the lowest accuracy with the kappa coefficient and overall accuracy of 0.62 and 0.67. Also, it was observed that the area of agricultural lands was estimated as 2 to 10 percent different from the agricultural statistics.

Keywords: Agricultural lands, NDVI index, kappa coefficient, overall accuracy

[1] Corresponding author: Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

تهیه نقشه بافت خاک استان البرز با کمک فن سنجش از دور

سعید سعادت[1*]، حامد رضایی[2]، رسول میرخانی[3]، لیلا اسمعیل‌نژاد[4]

*دانشیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران.
saeed_saadat@yahoo.com

۲، ۳ و ۴: عضو هیات علمی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، البرز، ایران

چکیده:

بافت خاک یکی از مهمترین خصوصیات فیزیکی خاک است و آگاهی از تغییرات مکانی آن برای مدیریت بسیاری از فعالیت‌های کشاورزی و زیست محیطی ضروری است. این مطالعه با هدف پیش‌بینی توزیع مکانی اجزای خاک (شن، سیلت، و رس) در استان البرز است. برای تهیه نقشه بافت خاک در منطقه از روش مدل‌سازی رگرسیونی و تصاویر Landsat 8 استفاده شد. داده‌های میدانی از سطح اراضی زراعی استان البرز جمع‌آوری و مقادیر شن، سیلت و رس با استفاده از روش هیدرومتری اندازه‌گیری شدند. پس از انجام پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های مختلف خاک از ترکیب باندهای موجود انجام شد. سپس با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی چند متغیره، مدل‌هایی برای بسط نتایج مشاهده شده در نقاط نمونه‌برداری به کل سطح مطالعاتی تهیه شدند. از ترکیب سه نقشه درصد شن، سیلت و رس با منطق جبری بولین، نقشه بافت خاک تهیه شد. بر پایه نتایج حاصل، بالا بودن ضریب کاپا بیانگر دقت خوب داده‌های ماهواره‌ای در تولید نقشه بافت خاک است.

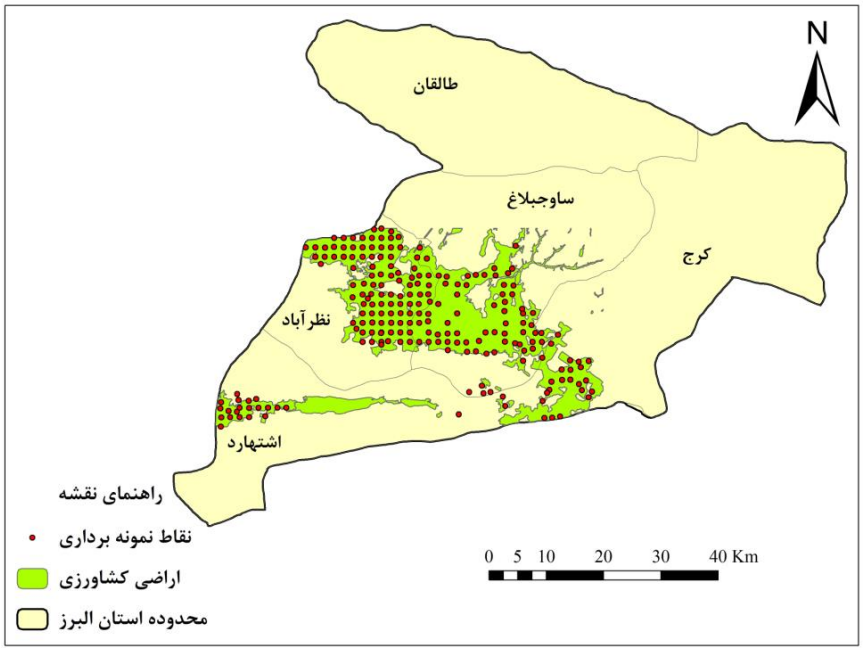
واژه‌های کلیدی: نقشه بافت خاک، سنجش از دور، رگرسیون، شاخص خاک، استان البرز

مقدمه:

بافت خاک که شامل اجزای شن، سیلت و رس است، یکی از ویژگی‌های مهم فیزیکی خاک بوده که به‌شدت بر سایر خصوصیات خاک مانند منحنی رطوبتی، حاصلخیزی، زهکشی، مقدار کربن آلی و تخلخل تأثیر می‌گذارد (Akpa et al., 2014; Gawlik et al., 1999; Makabe et al., 2009; Liao et al., 2013). علاوه بر این ، بافت خاک یک پارامتر کلیدی برای توسعه توابع انتقالی برای پیش‌بینی پارامترهای هیدرولیکی خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی است (Wösten et al., 2001؛ Seybold et al., 2005). تا کنون روش‌های مختلفی مثل زمین آمار، آنالیز مؤلفه اصلی، رگرسیون و ...به‌طور مشترک با فن سنجش از دور استفاده شده است تا بتواند اطلاعاتی از خصوصیات خاک در اراضی نمونه‌برداری نشده را فراهم کرده و نقشه پیوسته خصوصیات خاک تهیه شود. نتایج مطالعات مختلف حاکی از آن است که داده‌های سنجش از دور اطلاعات مهمی برای نقشه‌برداری رقومی خاک را فراهم می‌کنند (Mulder et al., 2011). محمدی و چیت‌ساز (۱۳۸۱) با استفاده از روش رگرسیون خطی چندمتغیره و تصاویر سنجده TM، نقشه بافت خاک سطحی شمال اصفهان را تهیه کرد. Shahriari et al (2019) نقشه بافت خاک سطحی دشت سیستان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌برداری رقومی خاک و GIS تهیه کردند. مطالعات متعددی در مناطق مختلف انجام شده و نتایج آنها حاکی از دقت نسبتاً خوب نقشه‌های حاصل از ترکیب تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های آماری و زمین‌آماری در توصیف پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک است. از آنجا که استان البرز یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور بوده و لذا آگاهی از وضعیت بافت خاک اراضی زراعی آن برای کاربران کشاورزی و محققین بسیار سودمند است لذا مطالعه حاضر در نظر دارد امکان تهیه نقشه بافت خاک با دقت مناسب با استفاده از فن سنجش از دور در این استان را بررسی کند.

مواد و روش‌ها:

منطقه مطالعاتی شامل اراضی زراعی استان البرز است که موقعیت نمونه‌برداری در شکل یک نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در اراضی زراعی استان البرز

از آنجا که تصاویر رقومی سنجنده لندست هشت، زمین مرجع بوده و نیازی به انجام تصحیح هندسی ندارند، ولی پردازش اولیه برای اصلاح مربوط به تغییر ولتاژ به DN[1] برای تبدیل داده‌های رادیانس، توسط فایل واسنجی سنجنده و اصلاح رادیومتریک داده‌ها با استفاده از روش پهنه مسطح[2] در نرم افزار ENVI 5.1 انجام شد. بر اساس شاخص OIF، بهترین ترکیب باندی جهت تهیه تصاویر کاذب رنگی و انجام طبقه بندی نظارت نشده تعیین شد. شاخص‌های خاک از همه یا بخشی از ارزش‌های پیکسل‌های باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شوند. در این مطالعه از شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص روشنایی (BI)، شاخص رس و شاخص اندازه ذرات استفاده شد. این شاخص‌ها با استفاده از نرم افزار ENVI 5.1 و با بکارگیری روابط تجربی محاسبه و بهترین شاخص و بهترین ترکیب باندی برای تهیه نقشه اجزای بافت خاک منطقه که بیشترین همبستگی با داده‌های اندازه‌گیری شده اجزای بافت خاک داشت، انتخاب شد. پس از آن اطلاعات بافت خاک سطحی در نرم افزار ArcGIS 10.5 بر روی هر یک از متغیرهای یاد شده همپوشانی شد و پس از تلاقی، مقادیر طیفی هر یک از شاخص‌ها و باندها بر اساس مختصات هر نقطه در قالب جدول توصیفی استخراج و ذخیره شد.

ارتباط بین اجزای بافت خاک با هر یک از شاخص‌ها و باندهای بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای از نرم‌افزار آماری SPSS به‌دست آمد. تجزیه و تحلیل‌های آماری بین اجزای بافت خاک به‌عنوان متغیر وابسته و باندها و شاخص‌ها به‌عنوان متغیر مستقل ایجاد شد و روابط رگرسیونی مورد نظر با دقت بالا استخراج شدند. پس از به‌دست آوردن معادله باندها و شاخص‌ها، مدل به‌دست آمده با روش نزدیک‌ترین همسایه در تصاویر اعمال شد و تصاویری پیوسته از درصد شن، سیلت و رس خاک سطحی منطقه تهیه شد. سپس با استفاده از روش‌های گروه‌بندی مجدد، تصاویر شن، سیلت و رس به کلاس‌هایی با مقادیر ۰-۲۰ درصد، ۲۰- ۴۰ درصد، و بیشتر از ۴۰ درصد طبقه‌بندی شدند. روابط آماری ارائه شده با نقاط آزمون اعتبارسنجی شده و سرانجام بهترین رابطه شناسایی اجزای بافت خاک در منطقه مطالعه شده بر پایه بیشترین صحت و کمترین خطای آماره‌ها انتخاب شد. به‌منظور ارزیابی صحت رابطه نهایی، مقادیر متغیرها در نقاط نمونه‌برداری به نسبت ۷۵ به ۲۵ درصد به

[1] Digital Number
[2] Flat Field

دو قسمت آموزش و آزمون تفکیک و ۲۵ درصد از نقاط از همان ابتدا برای اعتبارسنجی کنار گذاشته شدند. رابطه به دست آمده که منجر به تولید نقشه اجزای بافت خاک شد با نقاط آزمون تلاقی داده و میزان صحت مدل به‌کار رفته آزمون شد. برای اطمینان از نتایج طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی صحت طبقه‌بندی شد. در این مطالعه برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی از پارامتر صحت کلی۳، ضریب کاپا، صحت تولیدکننده و صحت کاربر استفاده شد. صحت کلی برابر با نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده یک طبقه به کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در تمامی طبقات می‌باشد. صحت تولیدکننده از تقسیم تعداد پیکسل‌هایی که در هر طبقه به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند بر تعداد پیکسل‌های واقعیت زمینی (نمونه آموزشی) استفاده شده آن طبقه (جمع ستون)، به‌دست می‌آید. این معیار بیان کننده این است که واقعیت زمینی (پیکسل‌های نمونه آموزشی) به چه نسبتی، درست طبقه‌بندی شده‌اند. به منظور تهیه نقشه بافت خاک سطحی، نقشه های درصد رس، سیلت و شن به‌عنوان نقشه های پایه انتخاب شده و طبقه بندی خاکهای منطقه انجام شد. کلاس‌های بافت خاک با استفاده از فرض AND توسط منطق بولین از سه نقشه درصد رس، سیلت و شن استخراج شده و در نهایت کلاس‌های بافت ایجاد و در یکدیگر ادغام شدند و نقشه بافت خاک‌های استان البرز تهیه شد.

جدول ۱. شاخص‌های استفاده شده برای تهیه نقشه بافت خاک

نوع شاخص	رابطه	منبع
شاخص روشنایی	$(Red)^2+(NIR^2)^{0.5}$	Metternicht and Zinck (2003)
شاخص اندازه ذرات	(Red-Blue)/(Red+Blue+Green)	Xiao et al., (2006)
شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی	(NIR-Red)/(NIR+Red)	Boettinger et al., (2008)
شاخص رس	Band 6/ Band 8	Boettinger et al., (2008)

بحث و نتیجه‌گیری:

آنالیز آماری اجزای بافت خاک در جدول دو ارائه شده است. بر این پایه، کمترین مقدار شن، رس و سیلت به‌ترتیب ۲، ۱۰، و ۱۰ درصد و بیشترین مقادیر آنها به‌ترتیب ۸۰، ۵۲، و ۶۴ درصد است. مقادیر واریانس نشان‌دهنده تغییرپذیری زیاد اجزای بافت خاک در منطقه مطالعه شده است.

جدول ۲- تجزیه آماری اجزای بافت خاک

ویژگی خاک	میانگین	میانه	انحراف معیار	واریانس	کشیدگی	افراشتگی	کمینه	بیشینه
شن	۳۴/۶	۳۲	۱۷	۲۸۹	۰/۹	۰/۹۱	۲	۸۰
رس	۲۶/۸	۲۷	۷/۷۱	۵۹/۵	۰/۲۴	۲/۱۶	۱۰	۵۲
سیلت	۳۸/۵	۳۸	۱۳/۱	۱۷۲/۱	-۰/۲۹۲	-۰/۱۳۱	۱۰	۶۴

معادلات رگرسیونی بسط یافته برای هر یک از اجزای بافت خاک و ضرایب همبستگی آنها در جدول سه آورده شده است. بر این پایه، شن با باند چهارم و شاخص اندازه ذرات، رس با شاخص رس و شاخص پوشش گیاهی، و سیلت با شاخص‌های پوشش گیاهی و روشنایی همبستگی داشتند. سیلت و رس با شاخص پوشش گیاهی رابطه منفی داشتند. مقادیر ضرایب همبستگی برای اجزای شن، رس و سیلت به‌ترتیب ۰/۷۹، ۰/۶۸، و ۰/۷۲ به دست آمد.

[3] Overal Accuracy

جدول ۳- معادلات رگرسیونی بسط یافته برای هر یک از اجزای بافت

ویژگی خاک	معادله رگرسیونی	R^2
شن	Sand=18.54+3.96B4+1.26GSI	۰/۷۹
رس	Clay=35.4+0.85CI-1.57NDVI	۰/۶۸
سیلت	Silt=7.31-0.56NDVI+1.9BI	۰/۷۲

نتایج اعتبارسنجی داده‌های آزمون با نقشه‌های تولید شده در جدول ۴ ارائه شده است. بر این پایه، مقادیر مثبت MBE نشان دهنده بیش برآورد اجزای بافت خاک توسط فن سنجش از دور است. هم‌چنین مقادیر NRMSE همه نقشه‌های فوق در محدوده ۲۰-۱۰٪ قرار دارد که نشان دهنده وضعیت مناسب برآورد نقشه‌ها می‌باشد. همچنین ضریب تبیین همه نقشه‌ها بین ۰/۷۱-۰/۶۵ قرار دارد که حاکی از دقت مناسب نقشه‌های برآورد شده است.

جدول ۴- نتایج اعتبارسنجی داده‌های آزمون با نقشه‌های تولید شده برای هر یک از اجزای بافت و نقشه بافت کلی

ویژگی خاک	MBE	NRMSE	R2
شن	۰/۹۸	۱۷/۵۶	۰/۶۹
رس	۰/۸۹	۱۹/۳۹	۰/۶۹
سیلت	۰/۷۸	۱۹/۱۲	۰/۶۵
بافت	۰/۵۹	۱۰/۲۵	۰/۷۱

نتایج مربوط به صحت‌سنجی نقشه‌های اجزای بافت خاک در جدول ۵ ارائه شده است. بر این اساس، مقادیر ضریب کاپا بین ۰/۵۷ تا ۰/۶۷ متغیر بود. همچنین مقادیر آماره صحت کلی بین ۰/۵۹ تا ۷۲/۴۹ تغییر داشت. بهترین طبقه‌بندی زمانی است که صحت کلی و ضریب کاپا هر دو بالا باشد (Warner et al., 2001). بر این پایه، می‌توان گفت نقشه‌های تولید شده از دقت خوبی برخوردار هستند.

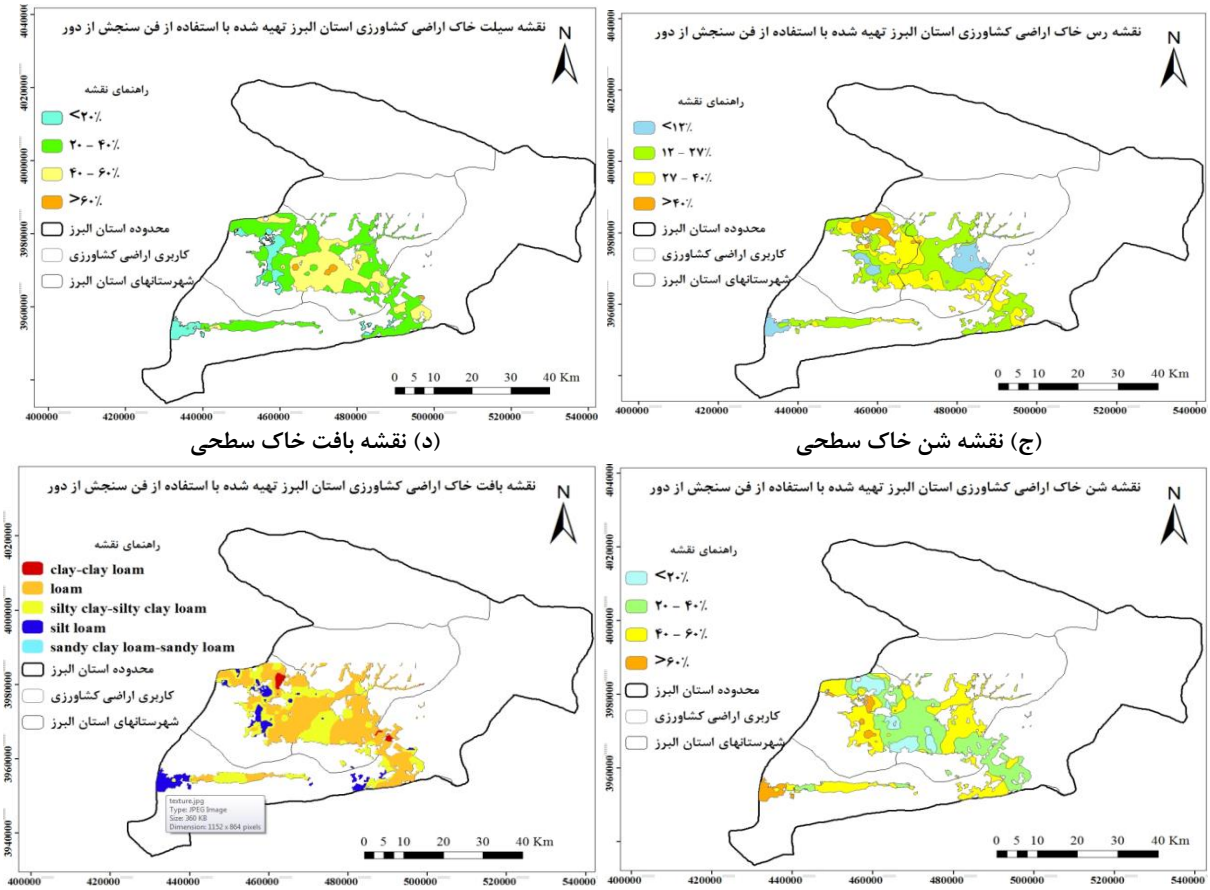
جدول ۵- صحت کلی، صحت کاربر، صحت تولید کننده و ضریب کاپا مربوط به نقشه اجزای بافت خاک با استفاده از داده‌های سنجش از دور

ویژگی خاک	صحت کلی	صحت کاربر	صحت تولید کننده	ضریب کاپا
شن	۶۸/۳۲	۷۳/۴	۷۰/۵۱	۰/۶۳
رس	۵۹/۲۶	۵۲/۹	۵۶/۵	۰/۶۱
سیلت	۷۲/۴۹	۷۲/۱۴	۷۱/۷	۰/۶۷
بافت	۶۲/۶۷	۶۰/۲۱	۶۵/۲	۰/۵۷

نقشه های اجزای بافت خاک شامل رس، سیلت، شن و نقشه بافت خاک به‌ترتیب در شکل‌های دو (الف)، (ب)، (ج) و (د) نشان داده شده است. بر پایه نقشه حاصل، حدود ۱۰۷۵ هکتار از اراضی زراعی استان البرز دارای بافت رسی تا لوم رسی، ۴۳۱۲۰ هکتار دارای بافت لومی، ۲۳۷۰۰ هکتار دارای بافت رسی سیلتی و لوم رسی سیلتی، ۶۷۰ هکتار سیلت لوم و حدود ۱۰۰ هکتار نیز دارای بافت لومی شنی تا لوم رسی شنی بودند.

(الف) نقشه رس خاک سطحی

(ب) نقشه سیلت خاک سطحی



(ج) نقشه شن خاک سطحی

(د) نقشه بافت خاک سطحی

شکل ۲- نقشه توزیع مکانی رس (الف)، سیلت (ب)، شن (ج) و بافت (د) خاک سطحی با استفاده از فن سنجش از دور

فهرست منابع:

محمدی، ج و چیت‌ساز، و. ۱۳۸۱. مقایسه تخمینگرهای ژئواستاتیستیکی و رگرسیون خطی جهت برآورد برخی از خصوصیات خاک‌های سطحی به کمک داده‌های رقومی TM. مجله علوم آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۲.

Akpa, S.I.C., Odeh, I.O.A., Bishop, T.F.A., Hartemink, A.E., 2014. Digital mapping of soil particle size fractions for Nigeria. Soil Sci. Soc. Am. J. 78, 1953–1966.

Gawlik, B.M., Bo, F., Kettrup, A., Muntau, H., 1999. Characterisation of a second generation of European reference soils for sorption studies in the framework of chemical testing-Part I: chemical composition and pedological properties. Sci. Total Environ. 229, 99–107.

Makabe, S., Kakuda, K.I., Sasaki, Y., Ando, T., Fujii, H., Ando, H., 2009. Relationship between mineral composition or soil texture and available silicon in alluvial paddy soils on the Shounai Plain, Japan. Soil Sci. Pl. Nut. 55, 300–308.

Liao, K., Xu, S., Wu, J., Zhu, Q., 2013. Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. Soil Sci. Plant Nutr. 59, 488–500.

Wösten, J.H.M., Pachepsky, Y.A., Rawls, W.J., 2001. Pedotransfer functions: bridging the gap between available basic soil data and missing soil hydraulic characteristics. J. Hydrol. 251, 123–150.

Seybold, C.A., Grossman, R.B., Reinsch, T.G., 2005. Predicting cation exchange capacity for soil survey using linear models. Soil Sci. So. Am. J. 69, 856–863.

Mulder, V.L., de Bruin, S., Schaepman, M.E. and Mayer, T.R., 2011. The use of remote sensing in soil and terrain mapping- A review, Geoderma. Volume 162, Issues 1-2, Pages 1-19.

Mohammad Shahriari, Masoomeh Delbari, Peyman Afrasiab, Mohammad Reza Pahlavan-Rad, Predicting regional spatial distribution of soil texture in floodplains using remote sensing data: A case of southeastern Iran, CATENA, Volume 182,
Metternicht, G.I., Zinck, J.A., 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. Rem. Sens. Env. 85, 1–20.
Xiao, J., Shen, Y., Tateishi, R., Bayaer, W., 2006. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing. Int. J. Remote Sens. (12), 2411–2422.
Boettinger, J.L., Ramsey, R.D., Bodily, J.M., Cole, N.J., Kienast_Brown, S., Nield, S.J., Saundes, A.M., Stum, A.K., 2008. Landsat spectral data for digital soil mapping. In: Hartemink, A.E., McBratney, A.B., Mendonca Santos, M.L. (Eds.), Digital Soil Mapping With Limited Data. Springer science, Australia, pp. 193–203.
Warner, A., S. Blonski, G. Gasser, R. Royan & V. Zanoni, 2001. An approach to application Validation of multispectral sensors using AVIRIS data, 9pp.

نتیجه‌گیری:

در این مطالعه، نقشه بافت خاک و اجزای آن با کمک تصاویر ماهواره‌ای و فن سنجش از دور تهیه شد. بدین منظور، از تصاویر لندست ۸ استفاده شد. پس از پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های پوشش گیاهی، روشنایی، رس و شاخص اندازه ذرات محاسبه و رابطه رگرسیونی اجزای بافت خاک با هر یک از شاخص‌ها بدست آمد. بر این پایه، شن خاک بیشترین همبستگی را با شاخص اندازه ذرات، سیلت با شاخص‌های پوشش گیاهی و روشنایی و جزء رس بیشترین همبستگی را با شاخص پوشش گیاهی و شاخص رس داشت. پس از تهیه نقشه هر یک از اجزای بافت خاک، نقشه بافت نیز بر اساس منطق بولین استخراج شد. نتایج اعتبارسنجی داده‌های آزمون حاکی از وضعیت مناسب برآورد نقشه‌های اجزای بافت بود (NRMSE: 10-20%). همچنین مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی بالا بیانگر دقت خوب نقشه‌های تولید شده با استفاده از فن سنجش از دور می‌باشد.

Preparation of soil texture map of Alborz province using remote sensing technique

Saeed Saadat[1*], Rasoul Mirkhani[2], Hamed Rezaei[3], Leila Ismailnejad[4]
*Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Alborz, Iran. Email: saeed_saadat@yahoo.com
2, 3 and 4: member of scientific board, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Alborz, Iran, respectively

Abstract
Soil texture is one of the most important physical properties of soil and knowledge of its spatial variations is essential for managing many agricultural and environmental activities. This study aims to predict the spatial distribution of soil texture fractions (sand, silt, and clay) in Alborz province. Regression modeling method and Landsat 8 images were used to prepare the soil texture map in the area. Field data were collected from agricultural lands of Alborz province and the rates of sand, silt and clay were measured using hydrometric method. After performing the necessary processing on the satellite images, different soil indices of the existing bands were performed. Then, using multivariate linear regression methods, models were developed to extend the results observed at the sampling points to the entire study level. Soil texture map was prepared by combining three maps of sand, silt and clay with Boolean algebraic logic. Based on the results, the high kappa coefficient indicates the good accuracy of satellite data in the production of soil texture maps.

Keywords: Soil texture map, Remote sensing, Regression, Soil index, Alborz province

تعیین مؤثرترین شاخص‌های سنجش از دور برای تخمین شوری خاک اراضی حاشیه‌ای پلایای سیرجان

مژده گلستانی[1*]، زهره مصلح[2]، عیسی اسفندیارپور بروجنی[3]، حسین شیرانی[4]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان
mgolestani46@yahoo.com

۲- استادیار مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

۴- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان

چکیده

اصلاح و مدیریت خاک‌های مناطق شور نیاز به اطلاعات کمّی، دقیق و به‌هنگام دارد و یکی از راه‌های دسترسی به این اطلاعات، استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌باشد. در این پژوهش، به‌منظور بررسی کارایی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در پایش تغییرات شوری و تعیین مهم‌ترین شاخص‌های شوری، ۹۰ نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری اراضی حاشیه‌ای پلایای سیرجان در قالب یک الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم برداشت شد. تصاویر ماهواره‌ای مربوط به نزدیک‌ترین زمان به تاریخ نمونه‌برداری برای استخراج شاخص‌های شوری مختلف استفاده گردید. پس از انجام تصحیح‌های رادیومتریکی و اتمسفری بر روی تصاویر، علاوه بر باندهای اصلی، از ۱۴ شاخص طیفی به‌منظور تخمین شوری خاک با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. نتایج نشان داد که بر اساس مقادیر جذر میانگین مربع خطا و میانگین خطا، مدل درخت تصمیم از بالاترین کارایی برای پیش‌بینی مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی برخوردار بوده است. از سوی دیگر، نتایج این پژوهش گویای آن است که اگرچه تغییرات مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه بسیار زیاد است اما صرف‌نظر از نوع مدل استفاده‌شده، شاخص‌های سنجش از دور به‌خوبی توانسته‌اند این تغییرات را رصد نمایند. به‌طور کلی، شاخص‌های شوری NDSI، RSI، SR، SI5 و VSSI، مهم‌ترین شاخص‌ها برای بیان تغییرات شوری در منطقه مورد مطالعه بودند.

واژگان کلیدی: لندست ۸، قابلیت هدایت الکتریکی خاک، مدل‌سازی

مقدمه

شور شدن خاک یک مسئله محیط زیستی جهانی است که باعث تخریب یا بیابان‌زایی شدید خاک، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Kumar *et al*., 2018; Ivushkin *et al*., 2019). شوری خاک بر کیفیت خاک، رشد گیاهان، تنوع زیستی و عملکرد گیاهان تأثیر می‌گذارد (Wang *et al*., 2018; Chi *et al*., 2018). اگرچه هنوز آمار دقیقی از مساحت خاک‌های شور در جهان وجود ندارد اما بر اساس برآوردهای انجام‌شده، بیش از ۲۰ درصد اراضی کشاورزی آبی در جهان متأثر از شوری خاک هستند و این مشکل به زیست‌بوم‌های کشاورزی، خسارت‌های زیادی وارد کرده است (Scudiero *et al*., 2017). مناطق شورشده به دلایل مختلف از جمله بارندگی کم، تبخیر سطحی زیاد، هوادیدگی سنگ‌های مادری و آبیاری با آب شور با نرخ سالانه ۱۰ درصد در حال افزایش می‌باشند. داشتن اطلاعات به‌روز از تغییرات و توزیع مکانی شوری و شدت شوری برای مدیریت کشاورزی در این خاک‌ها، کاهش مقادیر شوری، اجتناب از زیان‌های اقتصادی و حفظ قدرت باروری و تولیدکنندگی خاک، موضوعی حیاتی می‌باشد. تغییرات گسترده مکانی و زمانی شوری خاک، منجر به هزینه‌بر شدن فرایند نظارت بر آن، به‌ویژه در مقیاس منطقه‌ای می‌شود. پایش شوری خاک با استفاده از روش‌های قدیمی و سنتی نیاز به تعداد زیادی نمونه دارد که این امر، زمان‌بر و هزینه‌بر می‌باشد. در دهه‌های

اخیر، فناوری سنجش از دور به‌عنوان یک روش امیدوارکننده برای نظارت و کارایی مؤثر بر شوری خاک در مناطق وسیع، توجه پژوهشگران و متخصصان مختلف را به خود جلب نموده است. در واقع، تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، ابزار مناسبی برای نقشه‌برداری شوری خاک و نظارت بر تغییرات پویای آن در کنار اندازه‌گیری‌های صحرایی در مقیاس‌های منطقه‌ای و حتی جهانی را فراهم آورده‌اند (Gorji *et al*., 2017; Ivushkin *et al*., 2019).

سیرجان دارای یکی از مهم‌ترین پلایاهای استان کرمان است. پلایای سیرجان با مساحت ۱۶۲۵ کیلومتر مربع از بزرگترین پلایاهای حوضه آبخیز اصفهان محسوب می‌شود که به شکل یک مثلث گود درجنوب غربی شهر سیرجان قرار گرفته است (کرینسلی، ۱۳۸۱). این پلایا دارای اراضی مختلفی از جهت نوع، میزان و عمق تجمع املاح و بافت خاک است که باعث شده شاهد پهنه‌های شور و غیرشور در این منطقه باشیم (نیستانی و فرپور، ۱۳۹۳). در سال‌های اخیر در نواحی حاشیه‌ای این پلایا به‌دلیل معکوس شدن شیب هیدرولیکی و به‌دنبال آن افزایش شوری آب، بیشترین میزان شوری خاک گزارش شده است. به‌عبارت بهتر، برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی برای استفاده در آبیاری باغ‌های پسته موجود در منطقه، به‌مرور زمان باعث ایجاد خاک‌های شور و سدیمی در این اراضی حاشیه‌ای شده است که در نتیجه آن، سلامت اکوسیستم طبیعی منطقه با کاهش کمّی و کیفی آب‌های زیرزمینی با چالش جدی مواجه شده است (عباس‌نژاد و شاهی‌دشت، ۱۳۹۲). هدف اصلی پژوهش حاضر، بررسی کارایی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در پایش تغییرات شوری خاک سطحی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین در بخشی از اراضی حاشیه‌ای پلایای سیرجان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحتی حدود ۶۲۰۰ هکتار در بخشی از اراضی حاشیه‌ای پلایای سیرجان واقع در طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی با میانگین ارتفاع ۱۷۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. میانگین دما و بارش سالانه منطقه، به‌ترتیب، ۱۵ درجه سلسیوس و ۱۷۲ میلی‌متر است. در این پژوهش، ۹۰ نمونه خاک در قالب یک الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم با فاصله تقریبی ۷۵۰ متر از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری در زمستان ۱۳۹۹ برداشت شد و پس از هواخشک کردن نمونه‌ها، قابلیت هدایت الکتریکی آن‌ها در عصاره اشباع اندازه‌گیری گردید. همچنین، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به نزدیک‌ترین زمان به تاریخ نمونه‌برداری برای استخراج شاخص‌های شوری استفاده شد. آماده‌سازی تصاویر شامل تصحیح‌های رادیومتریکی و اتمسفری و پردازش آن‌ها با استفاده از نرم-افزار ENVI 5.3 انجام شد. به‌منظور تخمین شوری خاک، علاوه بر باندهای اصلی تصاویر ماهواره‌ای، از شاخص‌های طیفی استخراج‌شده از باندهای اصلی نیز استفاده گردید. شاخص‌های شوری مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول ۱ ارایه شده‌اند. با برازش مدل‌های مختلف شامل شبکه عصبی مصنوعی، درخت تصمیم، جنگل تصادفی و ماشین بردار پشتیبان بر خصوصیات طیفی و همچنین داده‌های قابلیت هدایت الکتریکی در نرم‌افزار R، مهم‌ترین شاخص‌های شوری در تخمین مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی تعیین شد. لازم به ذکر است که داده‌ها به دو گروه داده‌های آموزشی (۸۰ درصد) و اعتبارسنجی (۲۰ درصد) تفکیک شدند. در نهایت، با مقایسه داده‌های مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده و با استفاده از شاخص‌های جذر میانگین مربع خطا (RMSE)، میانگین خطا (ME) و جذر میانگین مربع خطای نسبی (RMSE%)، صحت تخمین مدل‌های مختلف تعیین گردید.

جدول ۱- شاخص‌های شوری محاسبه‌شده بر اساس تصاویر ماهواره لندست ۸

شاخص‌های شوری	معادلات
Normalized Difference Salinity Index (NDSI)	$(R - NIR)/(R + NIR)$
Vegetation Soil Salinity Index (VSSI)	$2 \times G - 5 \times (R + NIR)$
Albedo	$(0.356 \times B) + (0.13 \times R) + (0.373 \times NIR) + (0.085 \times SWIR)$
Brightness Index (BI)	$\sqrt{(R^2 + NIR^2)}$
Salinity Index (SI)	$(R \times G)/B$
Salinity Index1 (SI1)	$\sqrt{(G \times R)}$
Salinity Index2 (SI2)	$\sqrt{(R \times NIR)}$
Salinity Index3 (SI3)	$\sqrt{(G^2 + R^2 + NIR^2)}$
Salinity Index4 (SI4)	$\sqrt{(G^2 + R^2)}$
Salinity Index5 (SI5)	B/R
Ratio Spectral Index (RSI)	R/NIR
Intensity Index1(Int1)	$(G + R)/2$
Intensity Index2 (Int2)	$(G + R + NIR)/2$
Simple Ratio (SR)	$(R - NIR)/(G + NIR)$

نتایج و بحث

خلاصه آماری مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی و شاخص‌های شوری محاسبه‌شده در جدول ۲ ارایه شده است. نتایج گویای آن است که تغییرپذیری مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه بسیار زیاد می‌باشد به‌گونه‌ای که کمینه و بیشینه این ویژگی به‌ترتیب ۳/۰ و ۱۱۴/۴ دسی‌زیمنس بر متر است. نتایج مدل‌سازی گویای آن است که بر اساس مقادیر RMSE و ME از میان مدل‌های استفاده‌شده در این پژوهش، مدل درخت تصمیم از بالاترین کارایی برای پیش‌بینی مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی برخوردار بوده است (جدول ۳). مقادیر RMSE% کمتر از ۴۰، حاکی از تخمین صحیح و مقادیر بزرگتر از ۷۱ به معنای آن است که پیش‌بینی دارای عدم قطعیت بسیاری می‌باشد (Hengle *et al.*, 2004). از این‌رو می‌توان بیان نمود که چهار مدل استفاده‌شده در این پژوهش، همگی توانسته‌اند تخمین صحیحی از شوری خاک منطقه را ارایه دهند. بنابراین، نتایج این پژوهش گویای آن است که اگرچه تغییرات مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه، بسیار زیاد است اما شاخص‌های مشتق‌شده از تصاویر ماهواره‌ای به‌خوبی توانسته‌اند این تغییرات را رصد نمایند. نتایج حاکی از آن است که از میان ۱۴ شاخص شوری استفاده شده در این پژوهش، چهار شاخص NDSI، SR، RSI و VSSI از بقیه مهم‌تر بوده‌اند و تقریباً در تمامی مدل‌های استفاده‌شده به‌عنوان پارامترهای مهم شناخته شده‌اند. اهمیت باندهای اصلی و شاخص‌های شوری در تخمین قابلیت هدایت الکتریکی خاک با استفاده از مدل درخت تصمیم در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، شاخص‌های شوری NDSI، RSI، SR، SI5 و VSSI به‌ترتیب بیش‌ترین نقش را در تخمین مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. گرجی[1] و همکاران (۲۰۲۰) نیز دقت نقشه‌های شوری خاک مشتق‌شده از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ را با استفاده از سه شاخص شوری برای قسمت غربی دریاچه ارومیه مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص‌های شوری خاک استخراج‌شده از هر دو ماهواره، شوری خاک را با دقت قابل قبول و به‌ترتیب با ضرایب تبیین برابر با ۰/۷۳ و ۰/۷۴ پیش‌بینی کردند. نوروزی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از شاخص‌های طیفی و داده‌های ماهواره‌ای لندست، شوری خاک در مناطق خشک ایران (استان‌های بوشهر،

[1] Gorji

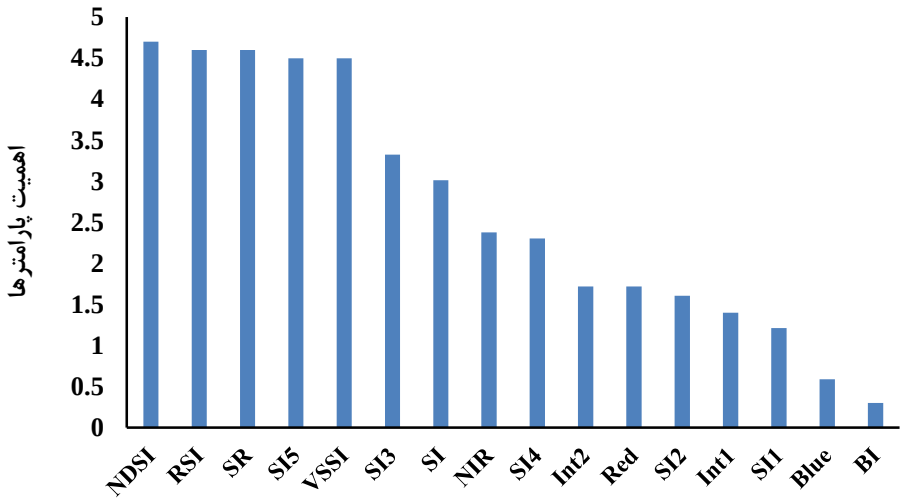
سمنان، فارس، کرمان و هرمزگان) را پهنه‌بندی نمودند. نتایج ایشان نیز گویای آن بود که اگرچه بین مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی خاک و شاخص‌های طیفی مشتق‌شده از تصاویر رابطه معناداری وجود دارد اما در هر یک از مناطق مورد مطالعه شاخص-های مختلفی قادر به پهنه‌بندی شوری خاک هستند.

جدول ۲- خلاصه آماری مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی خاک و شاخص‌های شوری

ویژگی/پارامتر	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار
قابلیت هدایت الکتریکی	۳/۰	۱۱۴/۴	۶۶/۹	۳۴/۹
NDSI	-۰/۰۴	۰/۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۶
VSSI	-۷/۸	-۲/۶	-۵/۱	۰/۸۱
Albedo	۰/۲۶	۰/۸۷	۰/۵۶	۰/۰۹
BI	۰/۴۴	۱/۴	۰/۹	۰/۱۴
SI	۰/۳۲	۱/۰	۰/۶۵	۰/۱۰
SI1	۰/۲۸	۰/۹۷	۰/۶۳	۰/۱۰
SI2	۰/۳	۱/۰	۰/۶۵	۰/۱۰
SI3	۰/۵۲	۱/۷	۱/۱	۰/۱۷
SI4	۰/۴	۱/۴	۰/۹	۰/۱۴
SI5	۰/۷۵	۱/۰	۰/۸۵	۰/۱۱
RSI	۰/۹	۱/۰	۰/۹۹	۰/۰۱
Int1	۰/۲۸	۰/۹۷	۰/۶۳	۰/۱
Int2	۰/۴۵	۱/۴۶	۰/۹۵	۰/۱۵
SR	-۰/۰۵	۰/۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۶

جدول ۳- معیارهای ارزیابی صحت پیش‌بینی مدل‌ها

مدل	میانگین خطا (ME)	جذر میانگین مربع خطا (RMSE)	جذر میانگین مربع خطای نسبی (٪) (%RMSE)
شبکه عصبی مصنوعی	۳/۵	۲۵/۶	۳۸
درخت تصمیم	۲/۴	۱۷/۴	۲۶
جنگل تصادفی	-۰/۱۷	۲۶/۱	۳۹
ماشین بردار پشتیبان	۵/۳	۲۱/۴	۳۲



شکل ۱- اهمیت باندهای اصلی و شاخص‌های شوری در تخمین قابلیت هدایت الکتریکی خاک با استفاده از مدل درخت تصمیم

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش حاکی از آن است که اگرچه تغییرات مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه بسیار زیاد است اما کارایی شاخص‌های شوری مشتق‌شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تخمین صحیح مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه بسیار بالا بوده و این شاخص‌ها به‌خوبی توانسته‌اند تغییرات مزبور را رصد نمایند. نظر به اینکه پایش تغییرات شوری خاک برای ارزیابی و شناسایی خاک‌های شور به‌منظور مدیریت صحیح آن‌ها بسیار حائز اهمیت می‌باشد، برای کاهش هزینه‌ها و زمان انجام مطالعات، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند در این زمینه راهگشا باشد. اگرچه با توجه به دینامیک بودن پدیده شوری، انتظار می‌رود که رفتار بازتاب‌های طیفی در برآورد مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی در تمامی زمان‌ها روند ثابتی را نشان ندهد. از این‌رو پیشنهاد می‌گردد که این روند در فصول دیگر سال نیز بررسی شود و داده‌های ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف با داده‌های میدانی واسنجی گردند.

فهرست منابع

۱. عباس‌نژاد، ا، شاهی‌دشت، ع. (۱۳۹۲). بررسی آسیب‌پذیری دشت سیرجان با توجه به برداشت بی‌رویه از سفره آب زیرزمینی منطقه. مجله جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای ۷ (۱). ۹۶-۸۵.

۲. کرینسلی، د. (۱۳۸۱). کویرهای ایران (خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالئوکلیماتولوژی آن). ترجمه عباس پاشایی، انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح. ۳۴۴ ص.

۳. نوروزی، ع، آبکار، ع. دمی‌زاده، م. ارسطو، ب. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی شوری خاک با استفاده از شاخص‌های طیفی و داده‌های ماهواره‌ای لندست در مناطق خشک. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۲۶ (۱). ۱۳۰-۱۱۷.

۴. نیستانی، م، فرپور، م. ه. (۱۳۹۳). بررسی نحوه تشکیل، کانی‌شناسی رس و میکرومورفولوژی خاک‌های گچی - نمکی پلایای خیرآباد سیرجان. فصلنامه علمی – پژوهشی خشک‌بوم ۴ (۱). ۷۷-۶۵.

5. Chi Y, Shi H, Zheng W, Sun J, Fu Z. (2018). Spatiotemporal characteristics and ecological effects of the human interference index of the Yellow River Delta in the last 30 years. *Ecological Indicators*, 89, 880–892.

6. Gorji T, Sertel E, Tanik A. (2017). Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological Indicators*, 74, 384-391.

7. Gorji T, Yildirim A, Hamzehpour N, Tanik A, Sertel E. (2020). Soil salinity analysis of Urmia Lake Basin using Landsat-8 OLI and Sentinel-2A based spectral indices and electrical conductivity measurements. *Ecological Indicators*, 112, 106173.
8. Ivushkin K, Bartholomeus H, Bregt A.K, Pulatov A, Kempen B, de Sousa L. (2019). Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, 231, 111260.
9. Kumar V, Wani S.H, Suprasanna P, Tran L. (2018). Salinity Responses and Tolerance in Plants. Springer, International Publishing. 399 p.
10. Scudiero E, Skaggs T.H, Corwin D.L. (2017). Simplifying field-scale assessment of spatiotemporal changes of soil salinity. *Science of the Total Environment*, 587–588, 273–281.
11. Wang Y, Deng C, Liu Y, Niu Z, Li Y. (2018). Identifying change in spatial accumulation of soil salinity in an inland river watershed. China. *Science of the Total Environment*, 621, 177–185.

Determination of the most effective remote sensing indices to predict soil salinity in marginal lands of Sirjan Playa

Golestani, M.[1], Mosleh, Z.[2], Esfandiarpour-Boroujeni, I.[3], Shirani, H.[4]

[1] MSc Student, Soil Science and Engineering Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
[2] Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
[3] Associate Prof., Soil Science and Engineering Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran
[4] Professor, Soil Science and Engineering Department, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran

Abstract
Soil management of the saline areas requires quantitative and accurate information and one way to access this information is to use remote sensing data. In this study, to evaluate the performance of landsat 8 satellite images for monitoring of salinity and to determine the most effective remote sensing indices for prediction of soil salinity, 90 soil samples in the form of a regular grid sampling pattern from 0 to 30 cm depth in marginal lands of Sirjan Playa were collected. Satellite images related to the closest time to the sampling time were used to extract different salinity indices. After performing radiometric and atmospheric corrections on the images, in addition to the main bands, 14 spectral indicators were used to estimate soil salinity using different models such as artificial neural network, decision tree, random forest and support vector machine. Results showed that among the studied models, the decision tree model had the highest performance for prediction of EC based on the values of root-mean square error (RMSE) and mean error (ME). Results confirmed that although the soil salinity had a high variation in the study area, remote sensing indices have been able to detect these changes. Salinity indices such as NDSI, RSI, SR, SI5 and VSSI were the most effective indices for prediction of soil salinity in the studied area.

Keywords: Landsat 8, Soil electrical conductivity, Modeling.

شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب پنبه در شرایط شور

چکیده:

پنبه یکی از محصولات استراتژیک کشور است که به دلیل تحمل به شوری بالا، در مناطق شور فلات مرکزی، بخصوص خراسان بزرگ و استان گلستان در مقیاس قابل توجهی گسترش یافته است. در فلات مرکزی، کشت این محصول، الزاماً بایستی همراه با آبیاری باشد که به بیش از ۱۰ نوبت آبیاری نیز می‌رسد. آبیاری در شرایط شور به‌معنی ورود نمک به‌همراه آبیاری است. برای ارتقای بهره‌وری آب در شزایط شور بایستی عملکرد اقتصادی افزایش و مصرف آب کاهش یابد، ضمن اینکه از تجمع املاح در خاک جلوگیری شود. مدل‌های اگروهیدرولوژیکی این امکان را فراهم می‌آورند که تاثیر سناریوهای مختلف مدیریتی بر عملکرد محصول، مصرف آب و نهایتاً بهره‌وری آب را ارزیابی نموده و نهایتاً سناریوی مطلوب انتخاب گردد. در این پژوهش با استفاده از مدل رایانه‌ای SWAP رشد و عملکرد پنبه در شرایط شور سبزوار در استان خراسان رضوی برای سال ۱۳۹۷ شبیه سازی شد. پس از واسنجی مراحل فنولوژیکی، سطح سبز، توزیع فرآورده‌های فتوسنتزی در اندام‌های مختلف و عملکرد محصول با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه، مدل واسنجی شده برای ارزیابی سناریوهای مختلف در شرایط شوری آب آبیاری ۴ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر مورد استفاده قرار گرفت. سناریوها شامل آبیاری مرسوم، نصف کردن مدار و حجم آبیاری و کم‌آبیاری در سطوح ۱۰۰٪، ۹۰٪، ۸۰٪، ۷۰٪ و ۶۰٪ تعرق پتانسیل و نیز تاریخ‌های کشت ۱۵ اردیبهشت ماه، ۳۰ اردیبهشت ماه و ۱۵ خردادماه بود. از طریق مقایسه مقادیر مصرف آب، عملکرد الیاف، بهره‌وری آب و نیاز آبشویی مناسب‌ترین سناریو انتخاب گردید. بر اساس نتایج حاصله اولاً نصف کردن مدار و حجم آبیاری در شرایط غیرشور منجر به ۲۴۰ تا ۲۷۳ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد الیاف پنبه در شرایط غیرشور شد حال آن‌که در شرایط شور منجر به کاهش عملکرد و یا افزایش عملکرد کمتری شد. از دیدگاه بهره‌وری آب به تاخیر انداختن تاریخ کاشت موجب ارتقای عملکرد و بهره‌وری آب شد. از بین تیمارهای کم‌آبیاری در شرایط غیر شور، آبیاری بر مبنای تعرق نسبی ۶۰ تا ۹۰ درصد بالاترین بهره‌وری آب را به‌دنبال داشت ولی با توجه برای محقق شدن نیاز آبشویی، آبیاری بر اساس تعرق نسبی ۸۰ درصد منجر به حداقل تجمع املاح در درازمدت خواهد شد. در شرایط شور، آبیاری بر مبنای تعرق نسبی ۶۰ درصد در همه تاریخ‌های کاشت منجر به بالاترین بهره‌وری آب و همزمان نامین کسر آبشویی نزدیک به نیاز آبشویی شد.

کلمات کلیدی: پنبه، تاریخ کاشت، شوری، کم‌آبیاری، مدل‌سازی

مقدمه

کشاورزی فاریاب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عمده مصرف کننده آب می‌باشد(Biswas 2007). در عین حال آبیاری در شرایط بارندگی‌های ناپایدار و نامناسب این مناطق، یکی از روش‌های تطابق با تغییرات اقلیمی است (Nikouei and Ward 2013). پنبه به‌عنوان یکی از متحمل‌ترین گیاهان زراعی نسبت به تنش شوری (Ashraf 2002) شناخته می‌شود و به همین دلیل در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند فلات مرکزی ایران، که با تنش شوری روبرو است، کشت آن رایج است.

بهره‌وری آب، نسبت سود خالص ناشی از کشاورزی، جنگل‌داری، شیلات، دام‌داری و سیستم‌های کشاورزی مخلوط به مقدار آبی است که برای تولید آن سود، مصرف شده است. بهره‌وری فیزیکی آب به‌صورت نسبت ستاده کشاورزی به ازای مقدار آب مصرف شده تعریف می‌شود، در حالی که بهره‌وری اقتصادی آب ارزش کسب شده به‌ازای واحد آب مصرف شده است و این مفهوم، مصرف آب در کشاورزی را به مسائلی مانند ارزش غذایی، اشتغال، رفاه و محیط زیست مرتبط می‌کند(Molden, Oweis et al. 2010). هر چند از دیدگاه بهره‌وری فیزیکی آب، مقدار این پارامتر برای پنبه ممکن است در مقایسه با سایر گیاهان زراعی، کم به‌نظر برسد، ولی باید توجه داشت که اولاً دامنه تغییرات آن در شرایط مختلف بسیار زیاد است؛ به این ترتیب امکان ارتقای بهره‌وری آب در کشت پنبه وجود دارد (Zwart and Bastiaanssen 2004) و ثانیاً از دیدگاه بهره‌وری اقتصادی آب باید به ارزش آن از دیدگاه تولید روغن، کنجاله و ایجاد اشتغال در بین جوامع روستایی نیز توجه کرد. در مروری که به‌وسیله زوارت و باستیانسن (۲۰۰۴) انجام شد، مقدار بهره‌وری آب الیاف پنبه بین ۰/۱۴ تا ۰/۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب و برای پنبه‌دانه بین ۰/۴۱ تا ۰/۹۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است.

در مقیاس مزرعه، کاهش تبخیر و تعرق از طریق کم‌آبیاری و شناسایی مراحل حساس رشد، به‌عنوان یکی از روش‌های ارتقای بهره‌وری آب معرفی شده است (Jalota, Sood et al. 2006). مطالعات متعدد ثابت کرده‌اند که کم‌آبیاری، مصرف لوکس گیاه را کاهش می‌دهد، مصرف آب را به حداقل می‌رساند و بدون این‌که عملکرد کاهش یابد و یا همراه با کاهش عملکرد کمی است (Fereres and Soriano 2007, Singh, Rao et al. 2010, Kifle and Gebretsadikan 2016). لی و همکاران (۲۰۱۹) اثر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بر اساس ظرفیت زراعی، بر عملکرد و کارایی مصرف آب پنبه را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که کم‌آبیاری در برخی مراحل رشد می‌تواند بدون کاهش عملکرد، کارایی مصرف آب پنبه را افزایش دهد (Li, Qi et al. 2019).

استراتژی‌های مختلفی برای کم‌آبیاری استفاده می‌شوند(English, Musick et al. 1990). از آنجا که بیش از ۹۹ درصد آبی که گیاه جذب می‌کند به مصرف تعرق می‌رسد، و تعرق با جذب دی‌اکسید کربن، فتوسنتز و در نتیجه رشد و تولید رابطه مستقیم دارد، در نتیجه جذب آب را بر مبنای تعرق و یا برای راحتی بیشتر بر مبنای تبخیر و تعرق بیان می‌کنند. یکی از استراتژی‌های کم‌آبیاری بر

مبنای نسبت تعرق واقعی به تعرق پتانسیل است. در این استراتژی با افزایش تعرق نسبی، نیاز آبی افزایش و با کاهش تعرق نسبی، نیاز آبی کاهش می‌یابد. با تغییر پتانسیل تعرق نسبی می‌توان سطح بهینه آبیاری که در آن نیاز آبی حداقل و عملکرد و بهره‌وری آب حداکثر است را انتخاب کرد. شبیه‌سازی رشد و عملکرد با استفاده از مدل‌های اگروهیدرولوژیکی امکان آزمایش استراتژی‌های مختلف و انتخاب استراتژی بهینه را فراهم می‌آورد.

مدل سواپ (خاک، آب، اتمسفر و گیاه)[1] یک مدل اگروهیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی همزمان حرکت آب، انتقال املاح، جریان گرما و رشد گیاه در مقیاس مزرعه است (van Dam 2000). این مدل بر مبنای تابش دریافتی و خصوصیات تاج پوشش و سطح برگ، میزان تابش فعال فتوسنتزی را تعیین می‌کند، سپس بر اساس خصوصیات فتوسنتزی برگ، پتانسیل فتوسنتز گیاه را تعیین می‌کند. مقداری از این پتانسیل بر اثر تنش شوری و خشکی کاهش می‌یابد و مقداری هم صرف تنفس نگهداری گیاه می‌شود. مابقی فرآورده‌های فتوسنتزی بر اساس ضریبی تبدیل به مواد ساختاری گیاه می‌شود که بر اساس ضرایب توزیع، در اندام‌های مختلف گیاه توزیع می‌شود. در نهایت با در نظر گرفتن ضرایب پیری، میزان کاهش ماده خشک اندام‌های مختلف را محاسبه و وزن خشک نهایی را تعیین می‌کند.

مدیریت آبیاری در شرایط شور در عین حال مستلزم مصرف آب بیشتر برای آبشویی است. به حداقل کسری از کل آب مصرفی که برای کنترل شوری خاک در منطقه ریشه در حد قابل تحمل گیاه، باید در آبیاری لحاظ شود، نیاز آبشویی اطلاق می‌شود (Richards 1954). در عین حال مقدار آبشویی در مزرعه ممکن است کمتر، مساوی و یا بیشتر از نیاز آبشویی باشد. آبشویی کمتر از نیاز آبشویی منجر به تجمع املاح در خاک شده و عملکرد محصول کاهش می‌یابد، در حالی که آبشویی بیش از نیاز آبشویی منجر به تلفات آب می‌شود، در نتیجه در هر دو حالت بهره‌وری آب کاهش می‌یابد. روش‌ها و معادلات مختلفی برای تعیین نیاز آبشویی به‌کار گرفته می‌شوند، که ارزیابی‌های جدید با استفاده از مدل‌ها نشان داده‌اند که این روش‌ها نیاز آبشویی را بخصوص در مقادیر کم، بیش‌برآورد می‌نمایند (Letey, Hoffman et al. 2011). نشریه فائو ۲۹ (Ayers and Westcot 1985) معادله زیر را به‌عنوان راهنمایی برای محاسبه نیاز آبشویی بر مبنای شوری آب آبیاری و تحمل به شوری محصول معرفی کرد:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5EC_e^* - EC_{iw}} \qquad (1)$$

[1] - SWAP (Soil, Water, Atmosphere and Plant)

که در آن LR نیاز آبشویی، EC_{iw} شوری آب آبیاری و EC_e^* آستانه تحمل به شوری محصول بر مبنای هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک است. در حالی که کسر آبشویی (LF)، کسری از آب است که مازاد بر نیاز آبی گیاه مصرف می‌شود. میزان کسر آبشویی را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$LF = \frac{AW-ET}{AW} \quad (۲)$$

که در آن آب مصرفی (AW) و تبخیروتعرق (ET) هر دو دارای واحد یکسان می‌باشند.

تاریخ کاشت نیز می‌تواند بر بهره‌وری آب موثر باشد. تاریخ کاشت زودهنگام، تجمع ماده خشک را افزایش، در حالی که نیاز آبی را افزایش می‌دهد، در عین حال تاریخ کاشت دیرهنگام، بسته به شرایط اقلیمی می‌تواند منجر به مقداری کاهش عملکرد گیاه و کاهش نیاز آبیاری شود. در هر دو حالت بهره‌وری آب تحت تاثیر تاریخ کاشت قرار می‌گیرد (Das, Bhattacharyya et al. 2014). هدف از این تحقیق، بررسی استراتژی‌های مختلف کم‌آبیاری و تاریخ کاشت با استفاده از مدل واسنجی شده سواپ برای پنبه، در شرایط آبیاری با آب شور بوده است. تاثیر این استراتژی‌ها بر نیاز آبی، عملکرد گیاه و بهره‌وری آب مورد بحث قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

اجرای این تحقیق شامل سه مرحله بوده است: مرحله اول واسنجی مدل بر مبنای اطلاعات مزرعه‌ای؛ مرحله دوم اجرای سناریوهای مختلف (کم‌آبیاری، شوری و تاریخ کاشت) در مدل واسنجی شده و مرحله سوم مقایسه سناریوهای مختلف از لحاظ مصرف آب، عملکرد پنبه، کسر آبشویی و نیز بهره‌وری آب.

برای مرحله واسنجی، اطلاعات هواشناسی روزانه از ایستگاه سینوپتیک سبزوار، ضرایب هیدرولیکی خاک از مدل RETC (Van Genuchten, Leij et al. 1991) برای یک خاک لومی و اطلاعات برخی مزارع تحت کشت پنبه در شهرستان سبزوار مورد استفاده قرار گرفت. این اطلاعات شامل تاریخ کاشت، تراکم کاشت، مدیریت آبیاری، شاخص سطح برگ در مقاطع مختلف فصل رشد، تاریخ گرده‌افشانی، تاریخ رسیدگی و عملکرد بود. تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از روش فائو پنمن مانتیث (Allen, Pereira et al. 1998) محاسبه شد.

واسنجی طی سه گام صورت گرفت (van Lier, Van Dam et al. 2018): در گام نخست با تغییر ضرایب درجه- روز مورد نیاز برای تکمیل مراحل گرده‌افشانی و رسیدگی، تاریخ این مراحل بر تاریخ‌های واقعی منطبق گردید؛ در گام دوم با تغییر ضرایب کارایی فتوسنتز و کارایی تبدیل، سطح برگ بر مقادیر واقعی منطبق گردید و نهایتاً در گام سوم با تغییر ضرایب توزیع ماده خشک به سمت

اندام ذخیره‌ای، مقدار عملکرد بر مقادیر اندازه‌گیری شده منطبق شد. در این مرحله برای اطمینان از واسنجی مدل نتایج گیاه و خاک با نتایج سایر پژوهش‌ها و مدل‌ها نیز مقایسه گردید.

در مرحله دوم سناریوهای مختلفی که بر بهره‌وری آب موثر است از طریق مدل‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. این سناریوها شامل کم‌آبیاری در ۷ سطح (آبیاری مرسوم، نصف مدار و حجم آبیاری مرسوم، ۱۰۰ درصد تعرق پتانسیل(Trel= 100)، ۹۰ درصد تعرق پتانسیل (Trel= 90)، ۸۰ درصد تعرق پتانسیل (Trel= 80)، ۷۰ درصد تعرق پتانسیل (Trel= 70) و ۶۰ درصد تعرق پتانسیل (Trel= 60))؛ شوری آب آبیاری در دو سطح ۴ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر؛ و تاریخ کاشت در ۳ سطح شامل کاشت در ۱۵ اردیبهشت، ۳۰ اردیبهشت و ۱۵ خردادماه بود.

آبیاری مرسوم در منطقه سبزوار شامل آبیاری بعد از کاشت، ۲۴ روز پس از کاشت و پس از آن آبیاری در فواصل ۱۲ روزه تا اوایل مهرماه است و برای هر آبیاری ۱۰ سانتی‌متر عمق آبیاری در نظر گرفته شد. در تیمار نصف مدار و حجم آبیاری مرسوم، آبیاری شامل پس از کاشت، ۲۴ روز پس از کاشت و سپس آبیاری در مدار ۶ روزه با عمق ۵ سانتی‌متر منظور گردید.

از آنجا که شوری آب آبیاری بر حسب میلی‌گرم در سانتی‌متر مکعب (TDS) در مدل وارد می‌شود مقادیر شوری بر حسب دسی‌زیمنس بر متر (EC) با استفاده از رابطه (۳) تبدیل گردید:

$$TDS\left(\frac{mg}{cm^3}\right) = EC\left(\frac{dS}{m}\right) \times 0.640 \qquad (۳)$$

برای مقایسه شوری عصاره اشباع خاک بر حسب دسی‌زیمنس بر متر با شوری آبِ خاک بر حسب میلی‌گرم بر سانتیمتر مکعب، از رابطه (۴) استفاده شد:

$$EC_e\left(\frac{dS}{m}\right) = \frac{TDS\left(\frac{mg}{cm^3}\right)\times 1000}{640} \div 2 \qquad (۴)$$

پارامترِ تقسیم بر ۲ بر اساس این فرض صورت گرفته است که رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی، نصف رطوبت اشباع باشد (Ayers and Westcot 1985). به این ترتیب شوری خاک در حالت اشباع، نصف شوری آبِ خاک خواهد بود.

در مرحله سوم تاثیر سناریوهای مختلف بر عملکرد الیاف بر حسب کیلوگرم بر هکتار (Y)، مصرف آب بر حسب متر مکعب بر هکتار (Viw) و بهره‌وری آب (WP) بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب مورد ارزیابی قرار گرفت (رابطه ۵).

$$WP\left(\frac{Kg}{m^3}\right) = \frac{Y\left(Kg/ha\right)}{Viw\left(m^3/ha\right)} \qquad (۵)$$

برای ارزیابی نیاز آبشویی، مقدار محاسبه شده از روی رابطه ۱ با مقدار کسر آبشویی محاسبه شده از روی رابطه ۲ با هم مقایسه شدند.

نتایج و بحث

جدول ۱ برخی خصوصیات مهم خاک و گیاه مورد استفاده در مدل کالیبره شده را نشان می‌دهد. خصوصیات هیدرولیکی خاک برای یک خاک با بافت لوم، توسط مدل RETC تخمین زده شده است و ضرایب گیاه به عنوان اولین تخمین از روی مدل ووفوست (Van Heemst 1988) گرفته شدند. این مقادیر با پیروی از فرآیند واسنجی سه مرحله‌ای (van Lier, Van Dam et al. 2018) به نحوی تنظیم شدند که برای تاریخ کشت ۳۰ اردیبهشت‌ماه، تاریخ گرده‌افشانی را در نیمه مردادماه و تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک را در آخر مهرماه پیش‌بینی کند. این تاریخ‌ها با تقویم زراعی منطقه سازگاری دارد.

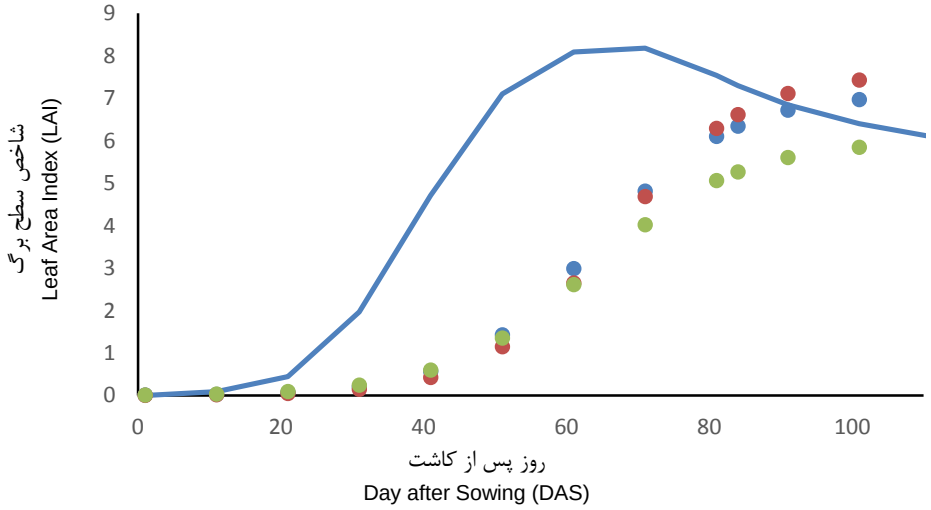
جدول ۱- برخی ضرایب هیدرولیکی خاک و رشد گیاه که در مدل واسنجی شده مورد استفاده قرار گرفتند.

Table 1- Some soil hydraulic and crop growth coefficients used for calibration of the model

	پارامتر Parameter	واحد Unit	مقدار Value		پارامتر Parameter	واحد Unit	مقدار Value
خصوصیات خاک Soil Characteristics	رطوبت باقیمانده θr Residual Water content	cm^3/cm^3	0.0609	خصوصیات گیاه Crop Characteristics	ضریب خاموشی Extinction Coefficient	–	0.75
	رطوبت اشباع θs Saturated Water Content	cm^3/cm^3	0.3991		کارایی جذب نور Light Absorption Efficiency	$J/m^2/s$	0.4
	ضریب تجربی α Empirical coefficient	1/cm	0.0111		کارایی تبدیل فرآورده‌ها به برگ Conversion Efficiency of Assimilates to leaves	Kg/Kg	0.72
	ضریب تجربی n Empirical coefficient	-	1.4737		کارایی تبدیل فرآورده‌ها به اندام ذخیره Conversion Efficiency of Assimilates to Storage Organs	Kg/Kg	0.72
	ضریب تجربی m Empirical coefficient	-	0.3214		کارایی تبدیل فرآورده‌ها به ریشه Conversion Efficiency of Assimilates to Roots	Kg/Kg	0.72
	ضریب تجربی l Empirical coefficient	-	0.5000		کارایی تبدیل فرآورده‌ها به ساقه Conversion Efficiency of Assimilates to Stems	Kg/Kg	0.72
	هدایت هیدرولیکی اشباع Ks Saturated Hydraulic Conductivity	cm/day	12.0400		آستانه تحمل به شوری در آب خاک Salinity Tolerance Threshold at Soil Water	mg/cm^3	9.79

مقادیر پیش‌بینی شده شاخص سطح برگ توسط مدل سواپ در مراحل مختلف با مقادیر پیش‌بینی شده برای سه رقم پنبه گلستان، ساحل و سپید در منطقه گلستان با فاصله ردیف ۸۰ سانتی‌متر (Ghaderifar, Aalimagham et al. 2012) در شکل ۱ مقایسه شده است. رقم بومی مورد بررسی در شرایط این تحقیق هم در فاصله زمانی کوتاه‌تری به حداکثر سطح برگ می‌رسد و هم مقدار حداکثر

آن در مقایسه با ارقام مورد اشاره کمی بیشتر می‌باشد. بعد از این مقدار حد اکثر به علت شاخص مرگ و میر مقداری کاهش سطح برگ پیش بینی شده است.



شکل ۱- مقدار شاخص سطح برگ پیش‌بینی شده به وسیله مدل سواپ (خط) در شرایط اقلیمی سبزوار (داده‌های مزرعه‌ای پژوهش) در مقایسه با مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله تابع لجستیک برای سه رقم گلستان، ساحل و سپید (نقاط) در شرایط اقلیمی گرگان و فاصله کشت ۸۰ سانتیمتری (قادری‌فر و همکاران، ۱۳۹۱).

Figure 1- Leaf area index values predicted by SWAP model (line) under Sabzevar climatic conditions (research's field data) in comparison with the values predicted by logistic function for Golestan, Sahel and Sepid varieties (dots) under Gorgan climatic conditions and 80 cm distance (Ghaderifar, Aalimagham et al. 2012).

بدیهی است مقادیر سطح برگ پیش‌بینی شده به‌وسیله سواپ با مقادیر حاصل از کشت با فاصله ۸۰ سانتی‌متر نزدیکی بیشتری دارد ولی به‌طور چشم‌گیری بیشتر از مقادیر حاصل از کشت با فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متری است. مقدار عملکرد پتانسیل الیاف پیش‌بینی شده برای این تاریخ کشت ۲۲۷۴ کیلوگرم در هکتار است. همچنین پیش‌بینی نقطه ظرفیت زراعی برای این خاک توسط مدل سواپ در رطوبت حجمی ۲۷ درصد و پتانسیل ماتریک ۲۰۰- سانتی‌متر است که با توجه به خصوصیات خاک و خروجی نرم افزار RETC نیز منطقی به‌نظر می‌رسد.

جدول ۲ تاثیر سناریوهای مختلف آبیاری و شوری را بر اجزای بهره‌وری آب و کسر آبشویی در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت (تاریخ زود هنگام) نشان می‌دهد. بر اساس این جدول کاهش مدار و حجم آبیاری به نصف، در شرایط غیرشور موجب افزایش ۲۷۰ کیلوگرمی عملکرد در مقایسه با شرایط آبیاری مرسوم شده است. در حالی که همین عملیات در شرایط شور تنها یک کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد را درپی داشته است. بدیهی است در شرایط شور، رشد و عملکرد گیاه کاهش می‌یابد، در نتیجه تعرق کاهش و سهم تبخیر در هر دور آبیاری افزایش می‌یابد. این موضوع را می‌توان با مقایسه تبخیر در دو شرایط شوری مشاهده کرد.

جدول ۲- تاثیر سناریوهای مختلف آبیاری و شوری بر اجزای بهره‌وری آب و کسر آبشویی در تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت

Table 2- The Effects of different Irrigation scenarios and salinity on water productivity and leaching fraction components in May the fifth planting date

شوری آب آبیاری Irrigation Water Salinity (dS/m)	سناریوی آبیاری Irrigation Scenario	تبخیر Evaporation (mm)	تعرق Transpiration (m*m*)	عملکرد Yield (Kg/ha)	مصرف آب Water Consumption (m^3/ha)	بهره‌وری آب Water Productivity (Kg/m^3)	کسر آبشویی Leaching Fraction
4	آبیاری مرسوم Fixed Irrigation	153.7	596.1	1895	12000	0.1579	0.38
	کاهش مدار Half Fixed	153.8	682.5	2165	12000	0.1804	0.30
	Trel= 100	131.8	705.3	2237	10910	0.2050	0.23
	Trel= 90	124.1	675.3	2148	8330	0.2579	0.04
	Trel= 80	125.1	662.7	2102	8360	0.2514	0.06
	Trel= 70	132.7	635.2	2023	7490	0.2701	-0.03
	Trel= 60	123.1	623.4	1990	6570	0.3029	-0.14
10	آبیاری مرسوم Fixed Irrigation	198.1	253.5	938	12000	0.0782	0.62
	کاهش مدار Half Fixed	217.8	285.5	939	12000	0.0783	0.58
	Trel= 100	144.2	714.5	2275	25140	0.0905	0.66
	Trel= 90	135.0	642.7	2025	16850	0.1202	0.54
	Trel= 80	138.2	574.5	1755	13900	0.1263	0.49
	Trel= 70	135.2	514.7	1558	11690	0.1333	0.44
	Trel= 60	143.6	457.5	1368	10270	0.1332	0.41

Trel (relative transpiration): تعرق نسبی

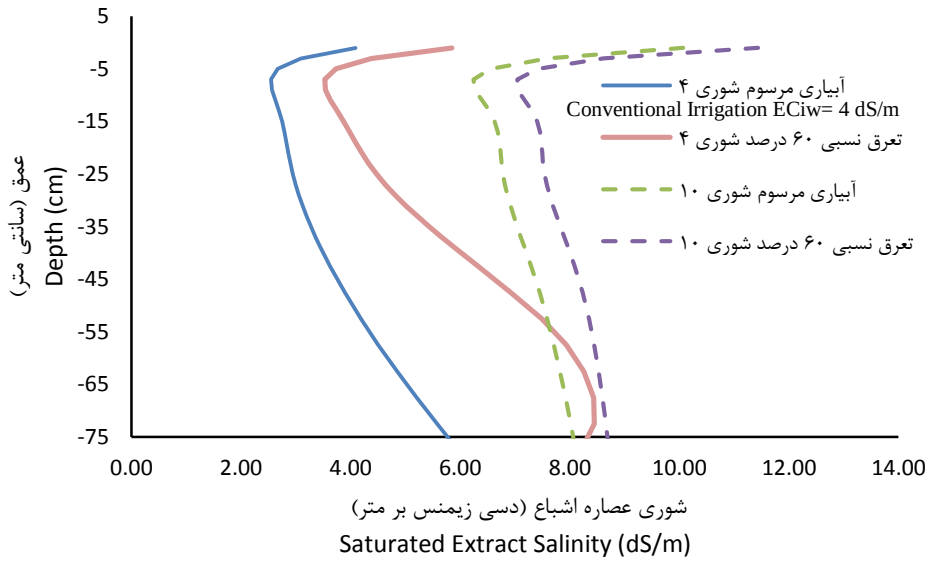
بیشترین عملکرد و بهره‌وری آب در شرایط غیرشور به‌ترتیب مربوط به تیمار تعرق نسبی (Trel) معادل ۱۰۰ و ۹۰ درصد و در شرایط شور مربوط به تیمار تعرق نسبی ۱۰۰ و ۷۰ درصد است. میزان آب مصرفی در این تیمارها در شرایط غیرشور از حدود ۸۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار و در شرایط شور از حدود ۱۲۰۰۰ تا ۲۵۰۰۰ متر مکعب در هکتار می‌باشد. هم‌زمان در تیمار برتر (Trel= 70) نیاز آبی پیش‌بینی شده ۱۱۶۰۰ متر مکعب در هکتار و کمتر از ۱۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار شرایط مرسوم است. در نتیجه کم‌آبیاری مدیریت شده در هر دو حالت قادر به افزایش بهره‌وری آب نسبت به آبیاری مرسوم می‌باشد.

موضوع قابل توجه این است که در شرایط غیرشور حجم آبیاری در روش مرسوم بیشتر از آبیاری بر مبنای تعرق نسبی است. در حالی‌که در شرایط شور، آبیاری بر اساس تعرق نسبی مقدار بیشتری آبیاری نسبت به روش مرسوم پیش‌بینی می‌کند. به این ترتیب در شرایط غیرشور آبیاری بر مبنای تعرق نسبی، نسبت به آبیاری مرسوم کم‌آبیاری محسوب می‌شود ولی در شرایط شور، تنها در تعرق نسبی ۶۰ و ۷۰ درصد میزان آبیاری کمتر از آبیاری مرسوم است.

میزان نیاز آبشویی بر مبنای معادله ۱ برای شرایط شوری آب ۴ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۱۲ و ۳۵ درصد محاسبه می‌شود. نگاهی به نتایج کسر آبشویی در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که نیاز آبشویی در شرایط غیرشور در تعرق نسبی بین ۹۰ تا ۱۰۰

درصد و در شرایط شور در تعرق نسبی زیر ۶۰ درصد رخ می‌دهد. در نتیجه آبیاری در مقادیر تعرق نسبی کمتر از ۹۰ درصد در شرایط غیرشور منجر به تجمع املاح در منطقه ریشه می‌شود حال آنکه تیمارهای آبیاری بیش از تعرق نسبی ۶۰ درصد در شرایط شور منجر به تلفات آب قابل توجه می‌شوند.

بعنوان نمونه تاثیر کسر آبشویی بر تجمع املاح در منطقه ریشه، تاثیر دو تیمار آبیاری مرسوم و تعرق نسبی ۶۰ درصد در دو شوری ۴ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری بر شوری خاک در منطقه ریشه در شکل ۲ نشان داده شده است. شایان توجه است که با توجه به مقادیر نیاز آبشویی در شرایط غیر شور میزان کسر ابشویی در تیمار آبیاری مرسوم بسیار بیشتر و در تعرق نسبی ۶۰ درصد کمتر از نیاز آبشویی و حتی منفی است. در شرایط شور نیز میزان کسر آبشویی در آبیاری مرسوم بسیار بیشتر و در شرایط تعرق نسبی ۶۰ درصد، نزدیک به نیاز آبشویی است. به‌طور مشخص شوری خاک در شرایط آبیاری با آب شور بیشتر از شرایط غیرشور است و با افزایش کسر آبشویی میزان شوری خاک کاهش می‌یابد. ولی گیاه پنبه قادر است شوری خاک در حد ۸ دسی‌زیمنس بر متر را تحمل نماید. در نتیجه کم کردن شوری خاک به مقادیری کمتر از این عدد، منجر به تلفات آب خواهد شد. کسر آبشویی بسیار کم هم منجر به تجمع نمک در منطقه ریشه خواهد شد.



شکل ۲- تاثیر تیمارهای مختلف (کسر آبشویی) بر توزیع املاح در منطقه ریشه در شرایط شوری ۴ (خط) و ۱۰ (خط‌چین) دسی‌زیمنس بر متر آب آبیاری

Figure 2- The effect of different treatments (leaching fraction) on distribution of solutes in the root zone under 4 (line) and 10 (dashed line) dS/m irrigation water salinity

به‌طور مشابه جدول ۳ تاثیر مدیریت‌های مختلف آبیاری و شوری آب را بر اجزای بهره‌وری و کسر آبشویی در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت (تاریخ کاشت مرسوم) نشان می‌دهد. به‌طور کلی مقادیر عملکرد مورد انتظار در این تاریخ کاشت بالاتر از مقادیر

شبیه‌سازی شده برای تاریخ کاشت ۱۵ اردیبهشت می‌باشد. کاهش مدار آبیاری در شرایط غیرشور منجر به حدود ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد نسبت به آبیاری مرسوم شده است. در حالی که در شرایط شور حدود ۱۱۳ کیلوگرم در هکتار کاهش عملکرد را درپی داشته است.

در این تاریخ کاشت بیشترین مقدار عملکرد در شرایط غیرشور در تیمار تعرق نسبی ۱۰۰ درصد اتفاق افتاده است ولی بیشترین میزان بهره‌وری آب در تیمار تعرق نسبی ۶۰ درصد رخ داده است. به این ترتیب میزان آب مورد نیاز از حدود ۱۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار به حدود ۶۵۰۰ متر مکعب در هکتار کاهش یافته است. حال آن‌که در شرایط شور، بیشترین میزان عملکرد در تعرق نسبی ۱۰۰ درصد و بالاترین میزان بهره‌وری آب در تعرق نسبی ۶۰ درصد رخ داده است. میزان کسر آبشویی در این تیمارها از روندی کمابیش مشابه تاریخ کشت قبلی پیروی می‌کند. به همین دلیل در شرایط غیرشور تیمار تعرق نسبی ۶۰ درصد، علی‌رغم این‌که بالاترین میزان بهره‌وری آب را درپی دارد، ولی نمی‌تواند به‌عنوان تیمار برتر درنظر گرفته شود، چرا که میزان کسر آبشویی در این شرایط منفی است، و منجر به تجمع املاح در منطقه ریشه خواهد شد. به‌این ترتیب تیمار برتر در این حالت تعرق نسبی ۸۰ درصد خواهد بود.

جدول ۳- تاثیر سناریوهای مختلف آبیاری و شوری بر اجزای بهره‌وری آب و کسر آبشویی در تاریخ کاشت ۳۰ اردیبهشت

Table 3- The Effects of different Irrigation scenarios and salinity on water productivity and leaching fraction components in May the 20th planting date

شوری آب آبیاری Irrigation Water Salinity (dS/m)	سناریوی آبیاری Irrigation Scenario	تبخیر Evaporation (mm)	تعرق Transpiration (m*m*)	عملکرد Yield (Kg/ha)	مصرف آب Water Consumption (m^3/ha)	بهره‌وری آب Water Productivity (Kg/m^3)	کسر آبشویی Leaching Fraction
4	آبیاری مرسوم Fixed Irrigation	132.4	623.2	1947	11000	0.1770	0.31
	کاهش مدار Half Fixed	134.8	696.3	2187	11000	0.1988	0.24
	Trel= 100	126.9	710.6	2241	10880	0.2060	0.23
	Trel= 90	125.8	675.9	2146	10290	0.2086	0.22
	Trel= 80	123.1	666.2	2110	8310	0.2539	0.05
	Trel= 70	127.2	649.1	2051	7410	0.2768	-0.05
	Trel= 60	122.1	627.6	1999	6550	0.3052	-0.14
10	آبیاری مرسوم Fixed Irrigation	176.1	310.9	1088	11000	0.0989	0.56
	کاهش مدار Half Fixed	205.4	271.2	975	11000	0.0886	0.57
	Trel= 100	142.2	717.4	2271	25900	0.0877	0.67
	Trel= 90	132.7	645.7	2023	17300	0.1169	0.55
	Trel= 80	136.1	574.3	1767	14200	0.1244	0.50
	Trel= 70	138.3	519.4	1588	12300	0.1291	0.47
	Trel= 60	145.0	447.6	1379	10680	0.1291	0.45

Trel (relative transpiration): تعرق نسبی

در تاریخ کاشت با تاخیر (۱۵ خردادماه) نیز آن‌چنان که در جدول ۴ نشان داده شده است، روندی مشابه تاریخ‌های کاشت قبلی مشاهده می‌شود. کاهش مدار آبیاری در شرایط غیرشور موجب ۲۷۳ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد شده است. در این مورد استثنائاً کاهش مدار آبیاری در شرایط شور هم منجر به ۱۸۸ کیلوگرم در هکتار افزایش عملکرد شده است.

میزان آب پیش‌بینی شده برای آبیاری مرسوم در این تاریخ کاشت ۱۰۰۰ متر مکعب در هکتار کمتر از تاریخ کشت ۳۰ اردیبهشت و ۲۰۰۰ متر مکعب در هکتار کمتر از تاریخ کشت ۱۵ اردیبهشت است. حال آن‌که مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده بیشتر از این تاریخ‌های کشت است. بیشترین عملکرد در شرایط غیر شور در تیمار تعرق نسبی ۱۰۰ درصد و بالاترین بهره‌وری آب در تیمار تعرق نسبی ۷۰ درصد حاصل شد که البته با توجه به کسر آبشویی منفی در این حالت میتوان تیمار تعرق نسبی ۸۰ درصد را بعنوان تیمار برتر انتخاب کرد. در شرایط شور بیشترین عملکرد مربوط به تیمار تعرق نسبی ۱۰۰ درصد و بیشترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار تعرق نسبی ۶۰ درصد بود.

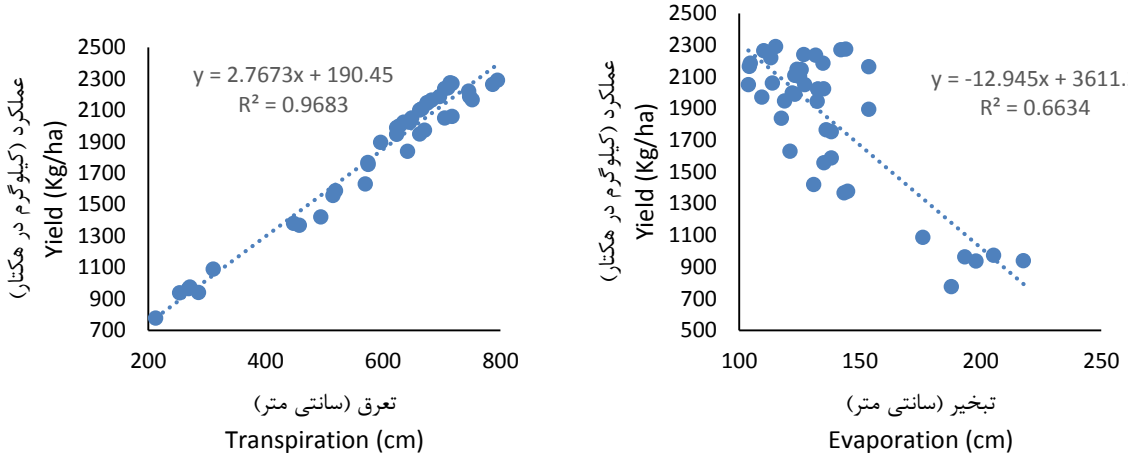
جدول ۴- تاثیر سناریوهای مختلف آبیاری و شوری بر اجزای بهره‌وری آب و کسر آبشویی در تاریخ کاشت ۱۵ خرداد

Table 4- The Effects of different Irrigation scenarios and salinity on water productivity and leaching fraction components in June the fifth planting date

شوری آب آبیاری Irrigation Water Salinity (dS/m)	سناریوی آبیاری Irrigation Scenario	تبخیر Evaporation (mm)	تعرق Transpiration (m*m*)	عملکرد Yield (Kg/ha)	مصرف آب Water Consumption (m^3/ha)	بهره‌وری آب Water Productivity (Kg/m^3)	کسر آبشویی Leaching Fraction
4	آبیاری مرسوم Fixed Irrigation	118.9	662.8	1949	10000	0.1949	0.22
	کاهش مدار Half Fixed	113.2	746.0	2222	10000	0.2222	0.14
	Trel= 100	110.3	786.8	2265	11350	0.1996	0.21
	Trel= 90	104.3	751.8	2166	10540	0.2055	0.19
	Trel= 80	104.7	747.6	2187	10140	0.2157	0.16
	Trel= 70	103.9	705.0	2051	7430	0.2760	-0.09
	Trel= 60	109.5	670.9	1973	7510	0.2627	-0.04
10	آبیاری مرسوم Fixed Irrigation	188.0	212.9	777	10000	0.0777	0.60
	کاهش مدار Half Fixed	193.5	269.0	965	10000	0.0965	0.54
	Trel= 100	115.2	795.0	2291	27190	0.0843	0.67
	Trel= 90	113.8	717.6	2061	19290	0.1068	0.57
	Trel= 80	117.5	641.7	1839	15310	0.1201	0.50
	Trel= 70	121.2	569.7	1630	13030	0.1251	0.47
	Trel= 60	130.9	494.1	1420	11250	0.1262	0.44

Trel (relative transpiration): تعرق نسبی

نکته قابل توجه اینکه در تمامی موارد میزان آب مورد نیاز پیشبینی شده به‌وسیله مدل در تیمارهای برتر کمابیش مشابه میزان آب مورد نیاز برای تیمار آبیاری مرسوم و یا حتی کمتر از آن است، ولی مقادیر عملکرد پیش‌بینی شده به‌مراتب بیشتر از آن است که منجر به افزایش قابل توجه بهره‌وری آب می‌شود. این موضوع می‌تواند مربوط به مصرف آب بر اساس الگوی نیاز واقعی گیاه و نیز کاهش تلفات تبخیر باشد. چرا که تبخیر نقشی در تولید ندارد ولی افزایش تعرق منجر به افزایش تولید خواهد شد (Allen, Pereira et al. 1998). شکل ۳ رابطه بین تبخیر و تعرق را با عملکرد در تیمارهای مختلف نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، رابطه مستقیم و قوی بین تعرق و عملکرد وجود دارد، حال آنکه رابطه بین تبخیر و عملکرد، معکوس و ضعیف‌تر است.



شکل ۳- رابطه بین تبخیر (سمت راست) و تعرق (سمت چپ) با عملکرد گیاه

Figure 3- Relationship between evaporation (right) and transpiration (left) and crop yield

نتیجه‌گیری

در شرایط آبیاری با دور و عمق ثابت (مانند بخش عمده کشاورزی رایج در کشور)، امکان مدیریت دور و حجم آبیاری فراهم نیست. در چنین شرایطی در عین حال کشاورزان می‌توانند به‌صورت توافقی دور و حجم (زمان) آبیاری را نصف کنند. در بیشتر مناطق سبزوار، مدار آبیاری ۱۲ روزه مرسوم است. نتایج این تحقیق نشان داد که نصف کردن مدار آبیاری به شش روز و عمق آبیاری به ۵ سانتیمتر، می‌تواند بخصوص در شرایط غیرشور موجب افزایش عملکرد شود. در عین حال همین عملیات در شرایط شور عمدتاً منجر به افزایش تلفات تبخیر شده و در نتیجه میزان آبشویی املاح کاهش می‌یابد که می‌تواند عملکرد را حتی کاهش دهد.

روش‌های کم‌آبیاری مدیریت شده در عین حال به‌دلیل انطباق آبیاری بر نیاز واقعی گیاه می‌توانند میزان بهره‌وری آب را به‌طور چشم‌گیری افزایش دهند. نتایج این تحقیق نشان داد که بالاترین میزان بهره‌وری آب در شرایط غیرشور در شرایط کم‌آبیاری در

تعرق نسبی ۶ تا ۷۰ درصد و در شرایط شور در آبیاری در تعرق نسبی ۶۰ درصد رخ داده است. از آن‌جا که کسر آبشویی محقق شده در شرایط تعرق نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد، کمتر از نیاز آبشویی است، لذا برای جلوگیری از تجمع املاح در درازمدت، لازم است، تیمار آبیاری بر مبنای تعرق نسبی در سطح ۸۰ درصد به‌عنوان سناریوی برتر آبیاری در شرایط غیرشور انتخاب شود.

منابع

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ashraf, M. (2002). "Salt tolerance of cotton: some new advances." Critical Reviews in Plant Sciences **21**(1): 1-30.

Ayers, R. S. and D. W. Westcot (1985). Water quality for agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.

Biswas, A. K. (2007). "Water as a human right in the MENA region: challenges and opportunities." International Journal of Water Resources Development **23**(2): 209-225.

Das, T., R. Bhattacharyya, S. Sudhishri, A. Sharma, Y. Saharawat, K. Bandyopadhyay, S. Sepat, R. Bana, P. Aggarwal and R. Sharma (2014). "Conservation agriculture in an irrigated cotton–wheat system of the western Indo-Gangetic Plains: Crop and water productivity and economic profitability." Field Crops Research **158**: 24-33.

English, M., J. Musick, V. Murty and M. St. Joseph (1990). Deficit irrigation. Management of Farm Irrigation Systems. G .Hoffman, T. Howell and K. Solomon. ASAE, ASAE**:** 631-663.

Fereres, E. and M. A. Soriano (2007). "Deficit irrigation for reducing agricultural water use." Journal of experimental botany **58**(2): 147-159.

Ghaderifar, F., S. M. Aalimagham, O. Cancholi, M. Yousefi-daz and A. A. Miri (2012). "Yield and fiber quality comparison of cotton planted in ultra-narrow row and conventional row." Electronic Journal of Crop Production **5**(12): 75-91.

Jalota, S., A. Sood, G. Chahal and B. Choudhury (2006). "Crop water productivity of cotton (Gossypium hirsutum L.)–wheat (Triticum aestivum L.) system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation." Agricultural water management **84**(1-2): 137-146.

Kifle, M. and T. Gebretsadikan (2016). "Yield and water use efficiency of furrow irrigated potato under regulated deficit irrigation, Atsibi-Wemberta, North Ethiopia." Agricultural water management **170**: 133-139.

Letey, J., G. J. Hoffman, J. W. Hopmans, S. R. Grattan, D. Suarez, D. L. Corwin, J. D. Oster, L. Wu and C. Amrhein (2011). "Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines." Agricultural water management **98**(4): 502-506.

Li, H., Z. Qi, D. Gui and F. Zeng (2019). "Water use efficiency and yield responses of cotton to field capacity-based deficit irrigation in an extremely arid area of China." International Journal of Agricultural and Biological Engineering **12**(6): 91-101.

Molden, D., T. Oweis, P. Steduto, P. Bindraban, M. A. Hanjra and J. Kijne (2010). "Improving agricultural water productivity: Between optimism and caution." Agricultural Water Management **97**(4): 528-535.

Nikouei, A. and F. A. Ward (2013). "Pricing irrigation water for drought adaptation in Iran." Journal of hydrology **503**: 29-46.

Richards, L. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook No. 60. Washington, DC, US Department of Agriculture

Singh, Y., S. S. Rao and P. L. Regar (2010). "Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment." Agricultural Water Management **97**(7): 965-970.
van Dam, J. C. (2000). Field-scale water flow and solute transport: SWAP model concepts, parameter estimation and case studies=[Waterstroming en transport van opgeloste stoffen op veldschaal], [sn.[
Van Genuchten, M. T., F. Leij and S. Yates (1991). The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils.
Van Heemst, H. (1988). Plant data values required for simple crop growth simulation models: review and bibliography, CABO [etc.].
van Lier, Q. d. J., J. Van Dam and M. Vazifedoust (2018). Manual, International workshop Agro-hydrological modeling. S. a. W. R. Institute. Karaj, (SWRI).
Zwart, S. J. and W. G. Bastiaanssen (2004). "Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize." Agricultural water management **69**(2): 115-133.

Cotton Yield and Water Productivity Simulation under Saline Conditions

Abstract:

Introduction: Cotton is one of the country's strategic crops which is cultivated widespread under saline conditions of central plateau specially the great Khorasan and Golestan provinces due to its high salinity tolerance. In the central plateau, its cultivation should necessarily be assisted by irrigation which may reach to more than 10 turns. Irrigation under saline conditions is along with more solute input to the root zone. In order to improve water productivity under saline conditions, economic yield should be increased and water consumption should be decreased, while minimize the salt burden in the soil. Agro-hydrological models provide the opportunity to evaluate the effects of different management scenarios on yield, water consumption, water productivity and soil salinity (van Dam 2000) and to select the optimum scenario. The objective of this research was to evaluate the effect of different management scenarios including sowing date, irrigation scheduling and salinity on crop yield and water productivity through a modeling approach.

Materials and Methods: Cotton growth and yield under saline conditions of Sabzevar, Khorasan Razavi province was simulated using SWAP computer model in this research. After calibrating the phenologic stages, green area, distribution of assimilates in different organs and crop yield with field measured data, the calibrated model was used to evaluate different scenarios under 4 and 10 dS/m irrigation water salinity. Irrigation scenarios included conventional fixed depth and cycle, half fixed and deficit irrigation at 100%, 90%, 80%, 70% and 60% of potential transpiration. Sowing date scenarios included May the 5^{th}, May the 20^{th} and June the 5^{th}. The best scenario was selected by comparison of scenarios regarding water consumption, fiber yield, water productivity and leaching requirement.

Results and Discussion: Based on the results, halving the irrigation cycle and depth increased cotton fiber yield from 240 to 273 Kg/ha compared to conventional fixed depth and cycle irrigation for non-saline conditions the same practice under saline conditions decreased the yield or leaded to lower increase in the yield. The problem may be related to increased evaporation losses which minimizes leaching and increases salt burden in the root zone under saline conditions (Ayers and Westcot 1985). Maintaining crop transpiration at the level of potential transpiration is estimated to require irrigation volume of about fixed conventional method for non-saline conditions while for saline conditions it may require more than 2.5 times higher irrigation volume which increases deep percolation losses. In terms of water productivity delayed sowing increased yield and water productivity. Irrigation based on 60 to 90 percent of potential transpiration resulted to the highest water productivity for non-saline conditions but regarding to apply leaching requirement, irrigation based on 80% relative transpiration leads to minimum salt burden in long term. For irrigation with saline water, the relative transpiration of 60% on all sowing dates led to the highest water productivity and simultaneously supplied leaching fractions closed to leaching requirement.

Conclusion: Petty farming and shared irrigation source is the most common farming system in the country, in which farmers have to apply water in the fixed depth and cycle. This type of management restricts options to apply water based on crop requirements, while by a common agreement the irrigation cycle and depth could be halved. Results showed that halving irrigation cycle could increase water productivity especially for non-saline conditions. Deficit irrigation scenarios increased water productivity 1.3 to about 2 times, compared to conventional fixed depth and cycle irrigation. The magnitude of increase for non-saline conditions is higher than

saline conditions. Irrigation under saline conditions should necessarily be accompanied by higher leaching fractions compared to non-saline conditions, which is unavoidable loss to prevent salt build up in the long term.
Keywords: Cotton, Deficit Irrigation, Salinity, Sowing date, Modeling

نقشه برداری رقومی و پیش بینی تغییرات مکانی رس و کربنات کلسیم معادل خاک سطحی با استفاده از مدل جنکل تصادفی

زیبا مقصودی[۱]، حمیدرضا متین فر*[۲]

۱-دانشجوی دکتری علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان، ziba.1992.maqsodi@gmail.com

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه لرستان Matinfar.h@lu.ac.ir

چکیده

روش معمول نقشه‌برداری ویژگی‌های خاک، وابسته به برداشت‌های میدانی بوده و اطلاعات حاصل از تغییرات مکانی آن‌ها متاثر از مقیاس مطالعاتی و نیاز به دانش کارشناسان باتجربه دارد. لذا استفاده از رویکردهای جدید داده‌کاوی در تهیه نقشه رقومی ویژگی‌های خاک ضرورت دارد. این تحقیق در بخشی از دشت خرم آباد با تکیه بر داده های میدانی ، تصاویر لندست ۸ و داده های مدل رقومی ارتفاع وتوپوگرافی به منظور مدلسازی رقومی کربن آلی و اهک خاک انجام شده است. در این پژوهش از ۴۰ نمونه خاک ، ویژگی‌های درصد رس و آهک اندازه‌گیری شد. داده‌ها به دو دسته ۸۰ درصد (۳۲ نمونه) برای آموزش و ۲۰ دردص (۸ نمونه) جهت اعتبارسنجی دسته بندی شدند. براساس ضریب همبستگی پیرسون شامل فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص بافت، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا و شاخص برآمدگی سطح قله، شاخص گیاهی نسبی، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده، شاخص سبزینگی و شاخص درخشندگی به‌عنوان مؤثرترین متغیرها شناسایی شدند. نتایج مدل‌سازی جنگل تصادفی برای ویژگی‌های رس و آهک براساس آماره ضریب تبین به ترتیب مقادیر ۰/۸۴ و ۰/۷۴ و ریشه میانگین مربعات خطا مقادیر ۲/۵۵ و ۱/۱۹ درصد را نشان داد. رویکرد جنگل تصادفی می‌تواند نقشه‌های رقومی را با دقت مناسب برای مدیریت و بهره‌برداری پایدار از اراضی پیش‌بینی نماید.

کلمات کلیدی: جنگل تصادفی؛ داده کاوی؛ متغیرهای محیطی

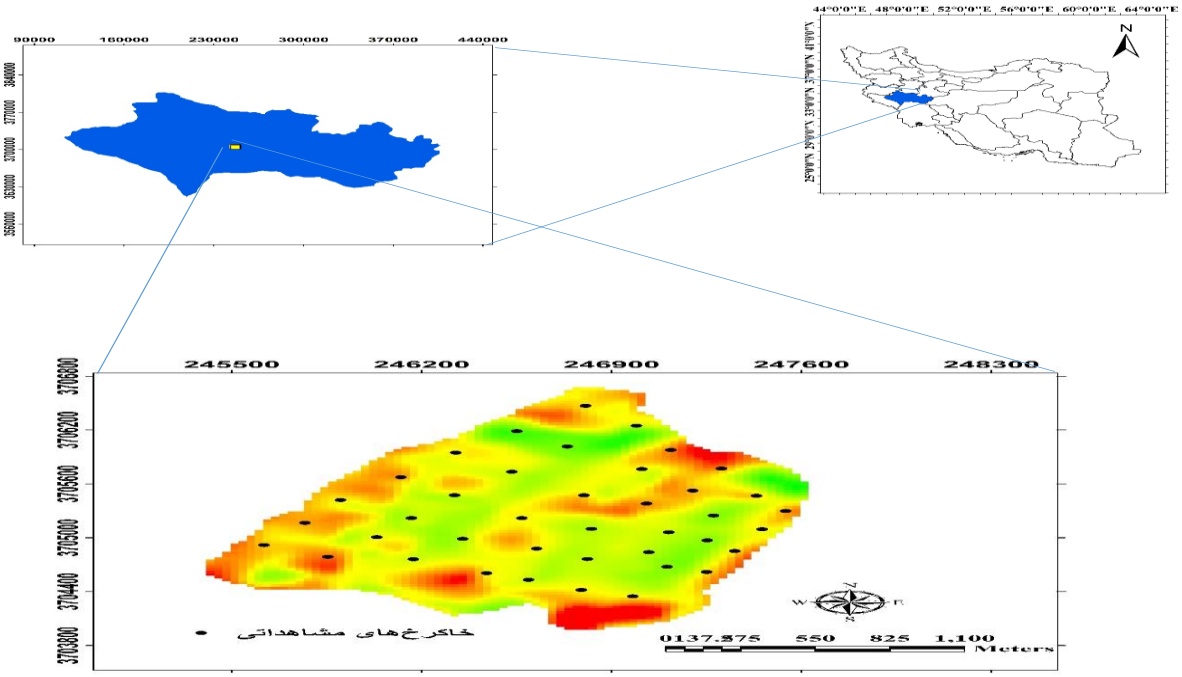
مقدمه

یکی از مهمترین ابزارها به منظور استفاده پایدار از منابع آب و خاک، نقشه ویژگی‌های خاک می‌باشد .ویژگی‌های خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی در مقیاس‌های کوچک تا بزرگ می‌باشند که تحت تأثیر ویژگی‌های ذاتی نظیر فاکتورهای متأثر از مواد مادری خاک و ویژگی‌های غیرذاتی مانند ویژگی‌های مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی قرار می‌گیرند (Quine and Zhang, 2000). در دهه‌های اخیر داده‌های بدست آمده از طریق GPS ، GIS و زمین آمار نقش مهمی در مطالعه توزیع مکانی ویژگی‌های خاک داشته‌اند (Huang و همکاران،۲۰۰۶). نقشه برداری خاک‌ها به روش معمول وابسته به برداشت‌های میدانی بوده و اطلاعات حاصل از تغییرات مکانی آنها، متاثر از مقیاس مطالعاتی می‌باشد (McBratney و همکاران ۲۰۰۳.) ارتباط بین ویژگی‌های خاک و متغیرهای محیطی بصورت یک رابطه خطی، چند جمل ای یا حتی بسیار پیچیده‌تر می‌تواند باشد (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2016). روش‌های یادگیری ماشین متعددی از قبیل کوبیست (Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2016) جنگل تصادفی (Pahlavan-Rad and Akbarimoghaddam, 2018) رگرسیون درختی(Taghizadeh-Mehrjardi et al., 2014) به‌منظور شناخت روابط بین ویژگی‌های خاک و متغیرهای محیطی مورد استفاده واقع شده‌اند. مطالعات متعددی توسط محققان در سال‌های اخیر بر روی مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی کلاس‌های خاک صورت گرفته است (Mousavi et al., 2020؛ Mosleh *et al.*,., 2017) اما به نسبت در مطالعات کمتری به نقشه‌برداری رقومی ویژگی‌های خاک پرداخته شده است. در پژوهشی پیش‌بینی مکانی ویژگی‌های خاک در کشور آفریقا انجام شد و نتیجه گرفتند که مدل جنگل تصادفی نسبت به روش رگرسیون خطی دارای صحت بیشتری می‌باشد (Hengel et al., 2015). رحمانی و همکاران (۱۳۹۸) از دو رویکرد جنگل تصادفی و منطق فازی برای نقشه‌برداری ویژگی‌های خاک سطحی استفاده نمودند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد رویکرد جنگل تصادفی می‌تواند نقشه های رقومی با دقت مناسب برای مدیریت و بهره برداری پایدار از راضی پیش‌بینی نماید. لذا هدف اصلی از این مطالعه پیش‌بینی پراکنش مکانی درصد

آهک و رس خاک سطحی با توجه به تأثیرگذاری آن‌ها در انباشت و قابلیت استفاده رطوبت و عناصر غذایی برای افزایش عملکرد در اراضی خرم آباد به‌عنوان هدف اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه بین مدار ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است. مساحت ایستگاه به همراه اراضی مورد مطالعه ۲۰۰هکتار می باشد (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه ۱۱۴۰ متر نسبت به سطح دریای آزاد است. محل ۴۰ نمونه خاک سطحی در عمق ۳۰-۰ سانتی متر بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی و با استفاده از سیستم موقعیت یاب جهانی مدل گارمین در سیستم تصویر UTM متریک ثبت و برداشت شد. کربنات کلسیم معادل (به روش حجم سنجی) و درصد رس (روش هیدرومتری) بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و خاکرخ های مشاهداتی

متغیرهای کمکی مورداستفاده در این پژوهش، پارامترهای ژئومورفومتری از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر (ALOS- 1 PALSAR1.0, 2007) و شاخص‌های طیفی منتج از تصاویر سنجنده (OLI) لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استخراج شد. (U.S Geology Survey 2014). پارامترهای ژئومورفومتری شامل فاصله تا شبکه آبراهه[1]، شاخص بافت[2]، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا[3] و شاخص برآمدگی سطح قله[4] و شاخص‌های سنجش از دور شامل شاخص گیاهی نسبی[5]، شاخص

[1] Channel Network Distance
[2] Terrain Surface Texture
[3] Multiresolution Index of the Valley Botton Flatness
[4] Multiresolution of the Ridge Top Flatness Index
[5] Ratio Vegetation Index

گیاهی تفاضلی نرمال شده[6]، شاخص سبزینگی[7] و شاخص درخشندگی[8] می‌باشند. کلیه متغیرهای ژئومورفومتری و سنجش از دوری در محیط نرم افزار SAGA GIS نسخه ۷,۲ تهیه گردیدند (Olaya, 2004). از روش رگرسیون خطی پیرسون برای انتخاب متغیرهای مؤثر در نرم افزار SPSS نسخه ۲۵ استفاده شد.

برای مدل‌سازی پیش‌بینی مکانی ویژگی‌های خاک در رویکرد داده‌کاوی جنگل تصادفی از بسته Random Forest در نرم افزار R Studio نسخه ۱,۱,۴۵۶ و برای آنالیز اهمیت متغیرهای محیطی[9] از شاخص درصد افزایش میانگین مربعات خطای پیش‌بینی (In MSE٪) از تابع Var Important استفاده شد.

در این مطالعه برای ارزیابی صحت، از روش اعتباربخشی یا نمونه آزمون استفاده شد. تقریباً ۸۰ درصد از نمونه‌ها (۳۲ نمونه) برای آموزش و ۲۰ درصد از نمونه‌ها (۸ نمونه) برای ارزیابی صحت استفاده شد. نقشه پیش‌بینی رقومی ویژگی‌های درصد آهک و رس با استفاده از دو آماره ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) مورد ارزیابی قرار گرفت.

(1)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (P_i - \widehat{Q}_i)}{\sum_{i=1}^{n} (Q_i - \widehat{Q}_i)}$$

در رابطه ۱، Q_i: مقدار اندازه‌گیری شده، P_i: مقدار پیش‌بینی‌شده، $\widehat{Q}_i$: میانگین اندازه‌گیری شده و n: تعداد مشاهدات است.

(۲)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \widehat{y}_i)^2}$$

در رابطه ۲، yi: مقدار کربن آلی اندازه‌گیری شده، $\widehat{y}_i$: مقدار کربن پیش‌بینی‌شده و n: تعداد نمونه‌های اعتبارسنجی است.

نتایج و بحث

نتایج آماری ویژگی‌های خاک سطحی در جدول ۱ نشان داده شده است. ویژگی رس از حداقل ۲۰ تا ۴۰ درصد با میانگین ۳۰ و ضریب تغییرات ۱۴/۸۳ درصد و آهک از حداقل ۲۷/۵ تا ۳۹/۵ درصد با میانگین ۳۴/۶۱ و ضریب تغییرات ۸/۱۷ درصد و بر اساس استاندارد (Wildig, 1985) در کلاس تغییرپذیری کم (۱۵٪>) قرار می‌گیرند.

جدول۱- خلاصه آماری ویژگی‌های خاک سطحی

ویژگی خاک	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	درصد ضریب تغییرات
رس	30	20	40	4.45	14.83
کربنات کلسیم معادل	34.61	27.5	39.5	2.83	8.17

درجدول۲ متغیرهای محیطی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون جهت انتخاب متغیرهای محیطی بهینه در مدل‌سازی مکانی مورد مقایسه قرار گرفتند. براساس جدول ۲ آن دسته از متغیرهایی که با متغیر هدف همبستگی معنادار داشتند انتخاب و در مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند. ضریب همبستگی پیرسون، از ضـرایب مهـم بـرای تعیین همبستگی بین دو متغیر با مقیاس‌های

[6] Normalized Difference vegetation Index
[7] Greeness
[8] Brightness
[9] Relative important

فاصله‌ای و نسبی می‌باشد که دارای توزیع نرمال نیز هست. این ضریب با علامت r نمایش داده می‌شود و شاخص عددی است که شدت و جهت هر نوع همبستگی خطی بین دو پارامتر را نمایان می‌سازد و بین ۱ +و ۱ - تغییر می‌کند (Zaree, 2011).

جدول ۲- همبستگی بین متغیرهای محیطی با استفاده ضریب پیرسون

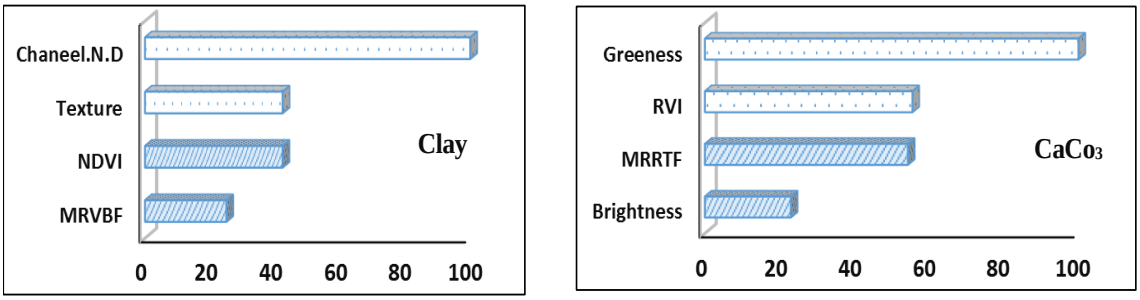
متغیرهای محیطی	Clay	CCE
Brightness	۰.147	۰.484**
Greeness	۰.198	۰.354*
Ndvi	۰.323*	۰.153
RVI	۰.201	۰.348*
CHND	۰.346*	۰.274
MRRTF	109	۰.443**
MRVBF	-0.314*	۰.026
Texture	۰.384*	-0.031
*. Correlation is significant at the 0.05 level		
**. Correlation is significant at the 0.01 level		

نتایج اعتبارسنجی ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که ویژگی رس و آهک خاک در رویکرد داده‌کاوی جنگل تصادفی به ترتیب دارای ضریب تبیین ۰,۸۴ و ۰,۷۴ و ریشه میانگین مربعات خطای۲,۵۵ و ۱,۵۷ درصد می‌باشند. در تحقیقی برای ویژگی‌های رس و آهک مقادیر ضریب تبیین به ترتیب ۰/۱۵ و ۰/۳۰ با ریشه میانگین مربعات خطای ۷/۸۶ و ۹/۵۲ درصد در استفاده از مدل جنگل تصادفی به عنوان بهترین مدل در مقایسه با سایر مدل‌های کوبیست، رگرسیون درختی و رگرسیون چند متغیره خطی گزارش شد (Zeraatpishe et al., 2019). در مطالعه‌ای عملکرد دو روش جنگل تصادفی و رگرسیون خطی را برای نقشه‌برداری خصوصیات خاک بررسی شد، نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی به طور مداوم از الگوریتم رگرسیون خطی با کاهش ۷۵-۱۵ درصدی خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) در خواص و عمق خاک، بهتر عمل می‌کند (Hengl et al., 2017).

جدول۳- نتایج اعتبارسنجی رویکرد جنگل تصادفی در مدل سازی پیش بینی ویژگی های خاک

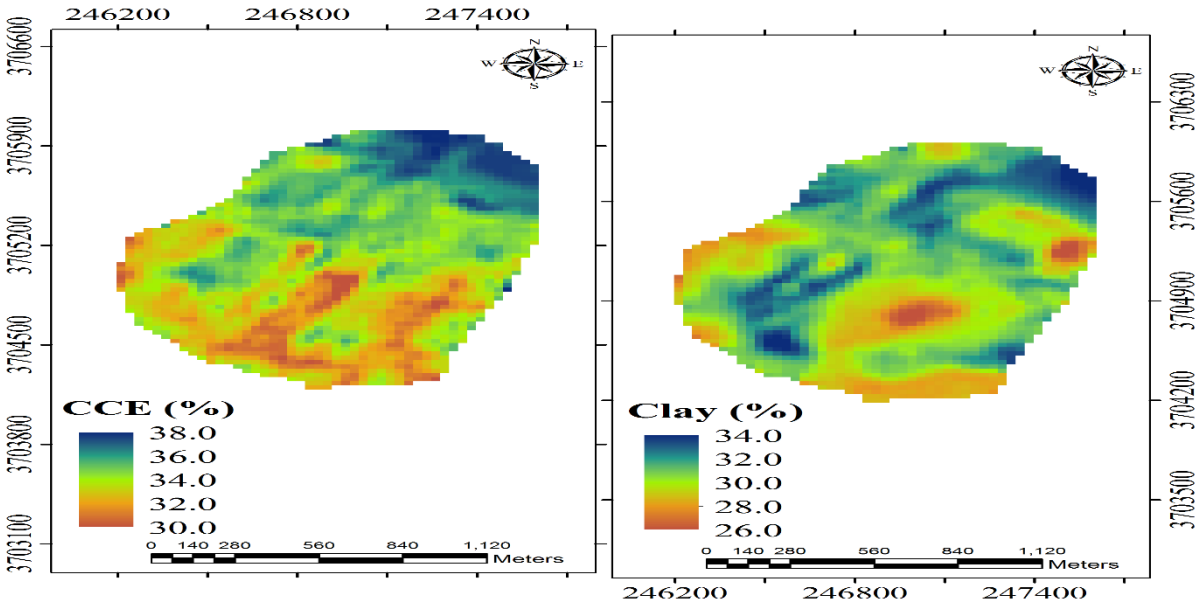
ویژگی خاک	R^2	RMSE (%)
رس	0.84	2. 55
آهک	0.74	1.57

همچنین نتایج آنالیز اهمیت نسبی هم متغیرهای ژئومورفومتری بر اساس شکل ۲ نشان داد که به ترتیب فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص بافت، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده و شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا بر درصد رس خاک سطحی و شاخص سبزینگی، شاخص گیاهی نسبی، شاخص برآمدگی سطح قله و شاخص درخشندگی بر آهک خاک سطحی از لحاظ عدم حضور و تاثیر آن بر افزایش%MSE پیش‌بینی مدل جنگل تصادفی، موثرترین پارامترها می‌باشند.



شکل۲- آنالیز اهمیت نسبی متغیرهای ژئومورفومتری و سنجش از دور مؤثر بر پیش‌بینی ویژگی‌های خاک

نقشه‌های پیش‌بینی مکانی رویکرد جنگل تصادفی در شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل،الگوی مکانی درصد رس و آهک مشابه هم می‌باشد بطوری که بیشترین میزان آهک و رس در نواحی بالایی نقشه و کمترین میزان آهک و رس در نواحی مرکزی و پایینی می‌باشد که براساس مشاهدات صحرایی این نواحی این نواحی دارای فرسای پذیری سطحی می‌باشد که نتیجه آن بروز آهک لایه‌های زیرین و شسته شدن رس از این لایه‌ها به سمت پایین دست شیب می‌باشد.



شکل۳ - نقشه پیش بینی مکانی ویژگیهای خاک سطحی با استفاده از جنگل تصادفی

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق از متغیرهای ژئومورفومتری و داده‌های سنجش‌ازدور برای بررسی پراکنش مکانی درصد رس و آهک در اراضی خرم آباد با استفاده از مدل یادگیری ماشین جنگل تصادفی صورت پذیرفت. در انتخاب متغیرهای محیطی، نتایج نشان داد که استفاده از متغیرهای سنجش از دور و متغیرهای ژئومورفومتری برای شناسایی توزیع مکانی خواص خاک قوی عمل می‌کنند. لذا پیشنهاد

می‌گردد که جهت تهیه نقشه رقومی ویژگی‌های خاک از مدل جنگل تصادفی، و داده‌های کمکی همچون اجزاء سرزمین و تصاویر ماهوار ای در مطالعات آینده استفاده شود.

منابع

رحمانی، ا. سرمدیان،ف. موسوی، ر. خاموشی،ع. (۱۳۹۸). نقشه‌برداری رقومی برخی ویژگی‌های خاک سطحی با استفاده از دو رویکرد جنگل تصادفی و منطق فازی(مطالعه موردی :بخشی از اراضی کوهین، استان قزوین). شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران.

Huang, S. W., Jin, J. Y., Yang, L. P., & Bai, Y. L. (2006). Spatial variability of soil nutrients and influencing factors in a vegetable production area of Hebei Province in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *75*(1), 201-212.

Hengl, T., Heuvelink, G. B., Kempen, B., Leenaars, J. G., Walsh, M. G., Shepherd, K. D., ... & Tondoh, J. E. (2015). Mapping soil properties of Africa at 250 m resolution: Random forests significantly improve current predictions. *PloS one*, *10*(6), e0125814.

Mosleh, Z., Salehi, M. H., Jafari, A., Borujeni, I. E., & Mehnatkesh, A. (2017). Identifying sources of soil classes variations with digital soil mapping approaches in the Shahrekord plain, Iran. *Environmental earth sciences*, *76*(21), 1-10.

Mousavi, S. R., Sarmadian, F., & Rahmani, A. (2020). Modelling and Prediction of Soil Classes Using Boosting Regression Tree and Random Forests Machine Learning Algorithms in Some Part of Qazvin Plain. Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(10), 2525-2538.

McBratney, A. B., Santos, M. M., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma*, *117*(1-2), 3-52.

Olaya, V. I. C. T. O. R. (2004). A gentle introduction to SAGA GIS. *The SAGA User Group eV, Gottingen, Germany*, *208*.

Pahlavan-Rad, M. R., & Akbarimoghaddam, A. (2018). Spatial variability of soil texture fractions and pH in a flood plain (case study from eastern Iran). *Catena*, *160*, 275-281.

Quine, T. A., & Zhang, Y. (2002). An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties, and crop production within an agricultural field in Devon, United Kingdom. *Journal of Soil and Water Conservation*, *57*(1), 55-65.

Taghizadeh-Mehrjardi, R., Minasny, B., Sarmadian, F., & Malone, B. P. (2014). Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. *Geoderma*, *213*, 15-28.

Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., & Kerry, R. (2016). Digital mapping of soil organic carbon at multiple depths using different data mining techniques in Baneh region, Iran. *Geoderma*, *266*, 98-110.

Wilding, L. P. (1985). Spatial variability: its documentation, accomodation and implication to soil surveys. In *Soil spatial variability, Las Vegas NV, 30 November-1 December 1984*(pp. 166-194).

Zeraatpisheh, M., Ayoubi, S., Jafari, A., Tajik, S., & Finke, P. (2019). Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. *Geoderma*, *338*, 445-452.

Digital soil mapping and spatial variation of surface clay and calcium carbonate equivalent by random forest model

Ziba Maghsodi[1], Hamidreza Matinfar[2*]

2- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Lorestan University Matinfar.h@lu.ac.ir

1- PhD student in Soil Science and Engineering, Lorestan University

Abestract

The usual method of mapping soil properties depends on field surveys and the information obtained from their spatial variations is influenced by the scale of the study and requires the knowledge of experienced experts. Therefore, it is necessary to use new data mining approaches in preparing a digital map of soil properties. In this study, soil sampling points and clay and lime percentage characteristics were measured from 40 samples. Data were categorized into two categories: 80% (32 samples) for training and 20% (8 samples) for validation. Based on Pearson correlation coefficient Channel Network Distance, Terrain Surface Texture, Multiresolution Index of the Valley Botton Flatness Multiresolution of the Ridge Top Flatness Index, Ratio Vegetation Index, Normalized Difference vegetation Index, Greeness index and Brightness index were identified as the most effective variables. The results of Random forest modeling for clay and lime properties based on the

coefficient of explanatory coefficient showed 0.84 and 0.74 and root mean square error values of 2.55 and 1.19%, respectively. Random forest approach can predict digital maps with appropriate accuracy for sustainable land management and use.

Keywords: Data Mining, Random Forest, Environmental Variables

آنالیز حساسیت پارامترهای هواشناسی در برآورد تبخیر–تعرق گیاه مرجع (حوضه مرزی غرب)

مهشید قنبریان‌علویجه[۱]، محسن براهیمی[۲]

۱- مسئول واحد تحقیق، آموزش و توسعه شرکت مهندسین مشاور آبگستران میهن، دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی دانشگاه صنعتی اصفهان، mahshid.ghanbarian@gmail.com

۲- مدیرعامل و عضو هیئت مدیره شرکت مهندسین مشاور آبگستران میهن، دکترای مدیریت منابع آب، mbarahimi@yahoo.com

چکیده

برآورد مقدار تبخیر وتعرق گیاه مرجع برای محاسبات نیاز آبی در راستای برنامه‌ریزی کشاورزی برای محصولات مختلف و به منظور استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی، اهمیت زیادی دارد. روش پنمن-مانتیث-فائو، روشی قابل اعتماد برای شرایط آب وهوایی کشور ایران به شمار می‌رود. مدل Cropwat بر پایه این روش قرار دارد. بنابراین بررسی حساسیت این مدل به داده‌های ورودی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این پژوهش، میزان تبخیر وتعرق گیاه مرجع در حوضه مرزی غرب کشور و همچنین حساسیت مدل Cropwat به داده‌های هواشناسی ورودی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انجام آنالیز حساسیت در هر نوبت، یکی از پارامترهای ورودی به میزان ۲۵٪ (در جهت مثبت و منفی) تغییر داده شد و مدل برای هریک از پارامترها اجرا گردید. تحلیل حساسیت به دو صورت گرافیکی و ریاضی انجام شد. نتایج نشان داد در حوضه آبریز مرزی غرب، پارامترهای میانگین رطوبت نسبی، میانگین حداکثر دمای هوا، میانگین سرعت باد، میانگین ساعات آفتابی و میانگین حداقل دمای هوا، به ترتیب بیش‌ترین تا کم‌ترین حساسیت را به خود اختصاص داده‌اند.

واژگان کلیدی: مدل Cropwat، ایستگاه سینوپتیک، مدل‌های تجربی، معادله پنمن-مانتیث-فائو.

مقدمه

با تعیین دقیق مقدار نیاز آبی گیاهان می‌توان برنامه آبیاری را به درستی تنظیم نمود و مقدار آب بهینه را در اختیار گیاه قرار داد و از مشکلات ناشی از آب دادن بیش از حد و یا کمبود آب جلوگیری کرد (علیحوری، ۱۳۹۶). تخمین بیش ازحد آب مورد نیاز گیاه ضمن هدر دادن آب آبیاری باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی خاک و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می‌شود. ضمن آن که تخمین کم‌تر از حد مورد نیاز گیاه نیز باعث اعمال تنش رطوبتی کنترل شده به گیاه شده و درنتیجه کاهش محصول را به همراه خواهد داشت. (ضمیری و پرویشی، ۱۳۹۶). تبخیرتعرق گیاه مرجع یکی از مهم‌ترین مولفه‌های هیدرولوژیکی بوده و تخمین مناسب آن در پژوهش‌های بیلان، مدیریت منابع آب و بهبود مصرف آن در بخش کشاورزی کاربرد دارد (دین‌پژوه و فروغی، ۱۳۹۹)؛ همچنین برآورد آن در مقایسه با پارامترهایی مانند بارندگی و آبیاری یکی از مشکل‌ترین بخش‌های بیلان آبی می‌باشد (Li *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2017). بررسی‌های متعددی نشان می‌دهد که مقادیر تبخیرتعرق گیاه مرجع محاسبه شده به‌وسیله روش پنمن-مانتیث-فائو، بسیار نزدیک به مقادیر مشاهده شده در اقلیم‌های مختلف است (Irmak *et al.*, 2003; Jensen *et al.*, 1990 and Xu and singh, 2002). نرم‌افزار CropWat یک ابزار کاربردی مشترک است که به کمک آن، متخصصان کشاورزی و مهندسان آبیاری، محاسبات استاندارد تبخیرتعرق گیاه مرجع، نیاز آبی و آبیاری محصولات را بر مبنای روش پنمن-مانتیث-فائو، تخمین می‌زنند (پیری و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از مشکلات روش پنمن-مانتیث-فائو، کثرت اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه تبخیرتعرق است. از آنجایی که داده‌های مربوط به همه متغیرهای موثر بر تبخیر و تعرق در برخی ایستگاه‌ها وجود ندارد و یا ثبت نشده است؛

لذا باید روی متغیرهای موجود آنالیز مناسبی انجام داد تا بتوان تأثیر نسبی آنها را روی این پدیده بررسی کرد (شیخ الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۳).

در مطالعه‌ای که به منظور برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای ۱۸ ایستگاه هواشناسی در سه نوع مختلف اقلیمی در اسلوونی مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج نشان داد که تابش خورشیدی بیش‌ترین تأثیر را بر ارزش تبخیر و تعرق مرجع دارد (Urška *et al.*, 2018). در پژوهشی دیگر به‌منظور برآورد مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب استان تهران از روش استاندارد پنمن-مانتیث-فائو، استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد در صورت وجود دمای بالا، سرعت باد می‌تواند به عنوان مهم‌ترین فاکتور در افزایش مقادیر تبخیرتعرق، نقش ایفا کند (مدیری، ۱۳۹۷). در تحقیقی که توسط طالبی و همکاران (۱۳۸۹) انجام شد؛ اقدام به بررسی و آنالیز میزان حساسیت پدیده تبخیرتعرق نسبت به تغییر پارامترهای اقلیمی موثر بر آن در چند نقطه از استان یزد در ایران مرکزی گردید. بر اساس نتایج بدست آمده تغییرات دو پارامتر بیشینه دما و سرعت باد در سال بیش‌ترین تأثیر را در نوسانات تبخیرتعرق در هر سه ایستگاه مورد بررسی داشته است.

انجام آنالیز حساسیت روی معادله فائو-پنمن-مانتیث، برای شناخت درجه تاثیر پارامترهای مختلف اقلیمی بر تبخیر و تعرق مرجع مهم است. این کار علاوه بر شناخت بهتر پدیده تبخیر و تعرق، به شناخت عوامل تاثیرگذار در هر منطقه کمک فراوان می‌کند و می‌توان در مطالعات مشابه از آنها استفاده کرد. در تحقیق حاضر، با استفاده از داده‌های موجود و نرم‌افزار CropWat، میزان تبخیرتعرق گیاه مرجع محاسبه شده و با تغییر در میزان پارامترهای معرفی شده به مدل، حساسیت آن مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن-مانتیث-فائو، داده‌های هواشناسی (حداقل و حداکثر دمای هوا، رطوبت نسبی، میانگین سرعت باد و میزان ساعات آفتابی)، مختصات طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد. تا کنون برای حوضه آبریز مرز غربی کشور، حساسیت‌سنجی معادله پنمن-مانتیث-فائو نسبت به پارامترهای اقلیمی برای هر ۹ ایستگاه انجام نشده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه‌های مرزی غرب یکی از حوضه‌های باز ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه‌های آبریز ایران، حوضه فرعی به شمار می‌رود و زیرمجموعه حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان است. مساحت این حوضه، ۳۹۰۶۶۷ کیلومتر مربع است و مهم-ترین رودهای آن، زاب کوچک و رود سیروان هستند. حوضه مرزی غرب، بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه و ایلام و جزء کوچکی از استان‌های خوزستان و همدان را شامل می‌شود. رودهای این حوضه، از دامنه‌های غربی زاگرس سرچشمه می‌گیرند و پس از گذر از مرز ایران و عراق، وارد دجله می‌شوند.

ایستگاه‌های مورد مطالعه

لازم به توضیح است که در انتخاب ایستگاه‌ها برای معرفی به مدل CropWat، دو معیار پراکندگی مناسب مکانی و داشتن داده‌های آماری کافی، باید مورد توجه قرار گیرد. معادله پنمن-مانتیث-فائو، با وجود دقت زیاد برای محاسبه میزان تبخیر و تعرق مرجع، نیاز به داده‌های هواشناسی زیادی دارد. بنابراین از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک که دوره آماری مناسبی دارند؛ برای تخمین اولیه تبخیرتعرق گیاه مرجع، استفاده می‌شود. ابتدا مرز دقیق حوضه تعیین شده و با داشتن طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک، موقعیت آنها مشخص شده و سپس بررسی ایستگاه‌های آن انجام گرفت. در این حوضه ۹ ایستگاه سینوپتیک وجود دارد که مشخصات ایستگاه‌ها در جدول ۱، ذکر شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در حوضه آبریز مرز غربی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	داده های آماری از سال	تا سال
بانه	۴۵.۹	۳۶	۱۶۰۰	۱۹۹۹	۲۰۰۵
دهلران	۴۷.۲۷	۳۲.۶۸	۲۳۲	۱۹۸۷	۲۰۰۵
ایلام	۴۶.۴۳	۳۳.۶۳	۱۳۳۷	۱۹۸۶	۲۰۰۵
ایوان غرب	۴۶.۳۲	۳۳.۸۳	۱۱۷۰	۱۹۹۹	۲۰۰۵
مریوان	۴۶.۲	۳۵.۵۲	۱۲۸۶.۸	۱۹۹۲	۲۰۰۵
پیرانشهر	۴۵.۱۳	۳۶.۶۷	۱۴۵۵	۱۹۹۸	۲۰۰۵
سنندج	۴۷	۳۵.۰۳	۱۳۷۳.۴	۱۹۵۹	۲۰۰۵
سردشت	۴۵.۵	۳۶.۱۵	۱۶۷۰	۱۹۸۶	۲۰۰۵
سرپل ذهاب	۴۵.۸۷	۳۴.۴۵	۴۵۴	۱۹۹۸	۲۰۰۵

روش پنمن-مانتیث-فائو

تبخیر تعرق مرجع با روش پنمن-مانتیث-فائو به صورت زیر برآورد می‌شود:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n-G)+\gamma\frac{900}{T+273}u_2(e_s-e_a)}{\Delta+\gamma(1+0.34u_2)} \quad (۱)$$

در این معادله: ET_0، تبخیرتعرق مرجع بر حسب میلی‌متر بر روز، R_n، تابش خالص ورودی به سطح گیاه بر حسب مگاژول بر مترمربع، G، شار گرمای خاک موجود بر حسب مگاژول بر مترمربع در روز، T، میانگین روزانه دمای هوا در ارتفاع ۲ متری بر حسب درجه سلسیوس، u_2، میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دومتری بر حسب متر بر ثانیه، e_s، فشار بخار اشباع بر حسب کیلوپاسکال، e_a، فشار بخار واقعی بر حسب کیلوپاسکال، $e_s - e_a$، کمبود فشار بخار اشباع کیلوپاسکال، Δ، شیب منحنی فشار بخار بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سلسیوس و γ، ضریب ثابت سایکرومتری بر حسب کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس می‌باشند.

آنالیز حساسیت مدل

آنالیز حساسیت روشی است که به‌وسیله آن آثار تغییرات ضرایب موجود در مدل‌ها را بر نتایج حاصل از آنها می‌توان بررسی نمود. نتایج این بررسی را می‌توان در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار داد؛ به گونه‌ای که موجب دقت نتایج و صرفه‌جویی در وقت و هزینه گردد. همچنین از آنالیز حساسیت جهت تعیین روابط بین متغیرهای مدل با یکدیگر و همچنین تعیین اولویت تاثیر پارامترها بر خروجی مدل استفاده می‌شود (سلگی، ۱۳۹۲).

به منظور آنالیز حساسیت مدل CropWat در ابتدا با به کارگیری معادله (۱)، مدل حساسیت‌سنجی شده و پارامترهایی که بیش‌ترین تأثیر را برروی نتایج خروجی حاصل از شبیه‌سازی مدل دارند؛ تعیین می‌گردد. برای انجام آنالیز حساسیت در هر نوبت، یکی از پارامترهای ورودی به میزان ۲۵٪ (در جهت مثبت و منفی) تغییر داده می‌شوند و مدل برای هریک از پارامترها اجرا می‌گردد. بعد از هر بار اجرای مدل مقدار ضریب حساسیت محاسبه گردیده و بسته به مقدار ضریب حساسیت محاسبه شده، پارامترها در سه دسته با حساسیت زیاد، متوسط و کم، تقسیم‌بندی می‌شوند، به‌طوری‌که اگر مقادیر دامنه ضریب حساسیت از ۱/۵ بیش‌تر باشد؛ حساسیت زیاد و اگر پاسخ مدل به تغییر در پارامتر ورودی، بین ۰/۳ تا ۱/۵ و یا کمتر از ۰/۳ باشد، به ترتیب نشان‌دهنده حساسیت متوسط و کم است (Hosseini *et al.* 2016).

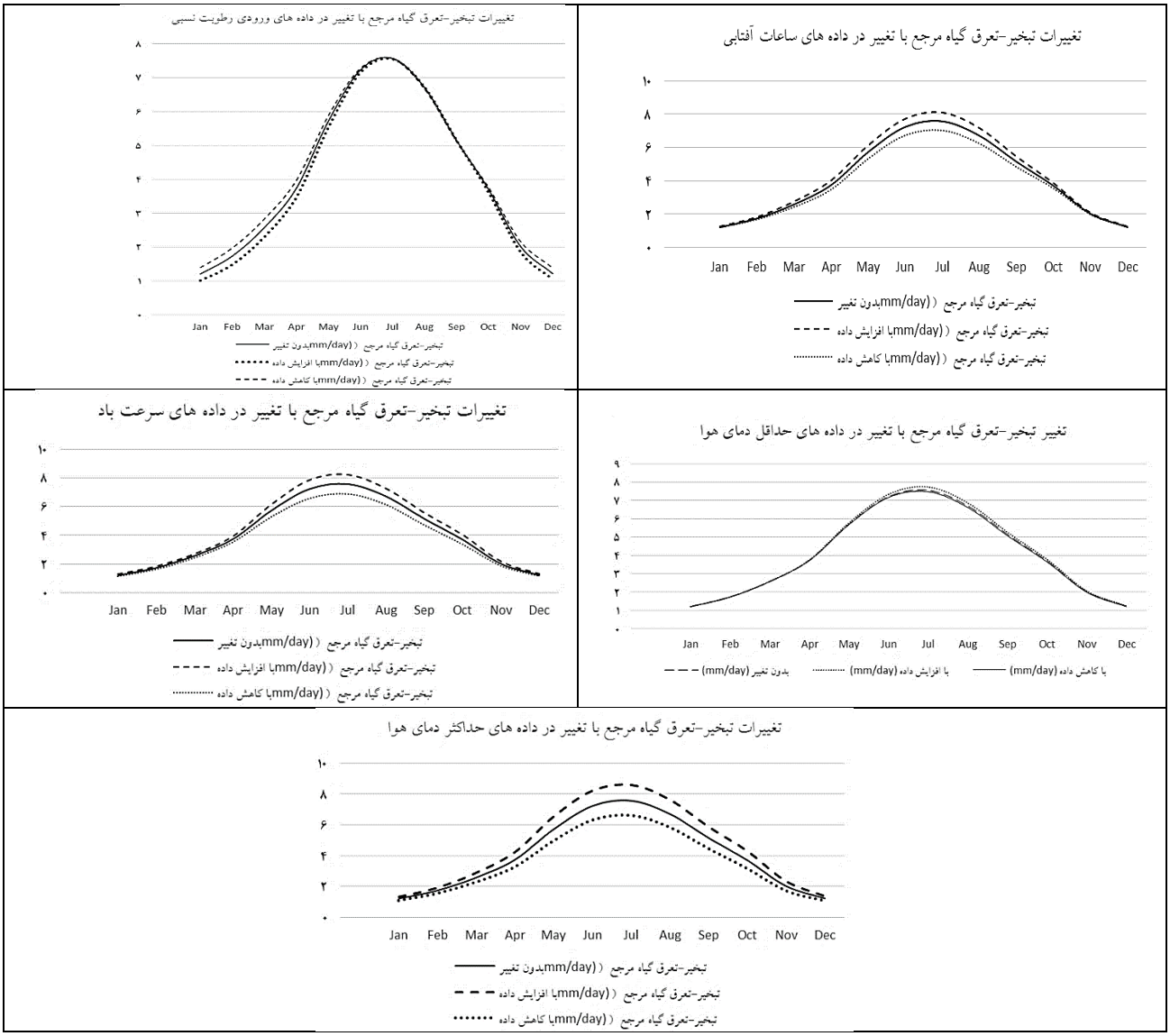
$$S_C=\frac{\frac{\Delta w}{\bar{w}}}{\frac{\Delta P}{\bar{P}}} \quad (۲)$$

که در این معادله: Sc، ضریب بدون بعد، Δw، اختلاف مقدار پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، $\bar{w}$، متوسط پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، ΔP، اختلاف مقادیر پارامتر ورودی و $\bar{P}$، متوسط مقادیر ورودی یک پارامتر به مدل می‌باشد.

نتایج و بحث

از آنجایی که مدل Cropwat محاسبات را براساس ماه‌های میلادی انجام می‌دهد؛ در این پژوهش برای درک بهتر، دی‌ماه معادل ژانویه در نظر گرفته شد. با تغییر داده‌های هواشناسی به میزان ۲۵٪ در جهت کاهش و افزایش و سپس معرفی داده‌های جدید به

مدل Cropwat، مدل در مجموع برای هر ایستگاه، ۱۱ بار مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع را برآورد کرد. برای مثال، مطابق شکل ۱، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع با تغییر داده های میانگین حداقل و حداکثر دمای ماهانه هوا، میانگین رطوبت نسبی، میانگین ساعات آفتابی و میانگین سرعت باد در ماه‌های مختلف، برای ایستگاه سینوپتیک سرپل ذهاب، به صورت ذیل می‌باشد.



شکل ۱- تغییرات میزان تبخیرتعرق گیاه مرجع با تغییر در هر یک داده‌های هواشناسی ورودی به مدل Cropwat در ایستگاه سرپل‌ذهاب

با توجه به شکل ۱، تغییر در هر کدام از پارامترهای ورودی مدل، منجر به تغییر در میزان تبخیرتعرق گیاه مرجع می‌گردد. خروجی مدل با تغییر در داده های حداکثر و حداقل دمای ماهانه، سرعت باد و ساعات آفتابی با نزدیک شدن به دوره پیک نمودار (حداکثر میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع) افزایش می‌یابد و در این ماه‌ها که ماه‌های گرم سال می‌باشند؛ حساسیت مدل به این داده‌ها بیش‌تر است. از سویی دیگر با توجه به نمودار، تغییر در داده‌های ورودی رطوبت در ماه‌های سرد سال، تاثیر بیش‌تری بر میزان تبخیرتعرق گیاه مرجع دارد. به عبارتی دیگر، حساسیت داده‌های ورودی در زمان‌های مختلف برای داده‌های مختلف، متفاوت است که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیقات دیگر محققان نیز همخوانی دارد (طالبی و همکاران، ۱۳۸۹)؛ همچنین بدون در نظر گرفتن زمان، به طور کلی تغییر در برخی پارامترها منجر به تغییرات بیش‌تر در میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع می‌گردد. لازم به یادآوری است

که حساسیت مدل در ایستگاه‌های مختلف با توجه به اقلیم حوضه متفاوت خواهد بود. جدول ۲، حساسیت پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع برای ایستگاههای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول۲- میزان حساسیت پارامترهای مختلف هواشناسی در معادله پنمن-مانتیث-فائو برای ایستگاه‌های مختلف در حوضه آبریز مرز غربی

نام ایستگاه	میانگین حداقل دمای هوا			میانگین حداکثر دمای هوا			میانگین رطوبت نسبی			میانگین سرعت باد			میانگین ساعات آفتابی		
	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت +۲۵٪	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت +۲۵٪	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت +۲۵٪	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت +۲۵٪	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت +۲۵٪	حداکثر مقدار $c_{\square}$ در حالت -۲۵٪	درجه حساسیت
بانه	۰.۱۴۶	۰.۰۸	کم	۰.۶۲۹	۰.۴۷۵	متوسط	۱.۶۸۴	۰.۹۷۷	زیاد	۰.۴۴۱	۰.۴۲۹	متوسط	۰.۲۲۴	۰.۱۸۳	کم
دهلران	۰.۱۸۹	۰.۱۰۷	کم	۰.۶۵۷	۰.۴۸۷	متوسط	۰.۹۰۹	۰.۵۸۸	متوسط	۰.۴۶۸	۰.۴۲۹	متوسط	۰.۲۵۸	۰.۲۰۹	کم
ایلام	۰.۱۴۳	۰.۰۹۶	کم	۰.۵۱۵	۰.۳۸۸	متوسط	۰.۷۲۳	۰.۴۵۹	متوسط	۰.۳۹۳	۰.۳۶۲	متوسط	۰.۳۰۸	۰.۲۵۴	متوسط
ایوان غرب	۰.۱۳۰	۰.۰۸۰	کم	۰.۵۸۱	۰.۴۴۴	متوسط	۱.۰۳۵	۰.۶۵۴	متوسط	۰.۴۴۵	۰.۴۲۰	متوسط	۰.۲۸۹	۰.۲۳۵	کم
مریوان	۰.۰۶۴	۰.۰۴۸	کم	۰.۶۵۹	۰.۵۲۶	متوسط	۱.۰۲۷	۰.۶۵۰	متوسط	۰.۳۴۸	۰.۳۲۳	متوسط	۰.۳۸۲	۰.۳۲۱	متوسط
پیرانشهر	۰.۱۰۰	۰.۰۸۲	کم	۰.۵۶۸	۰.۴۴۵	متوسط	۱.۱۴۱	۰.۶۷۷	متوسط	۰.۳۲۸	۰.۲۹۸	متوسط	۰.۴۰۹	۰.۳۴۳	متوسط
سنندج	۰.۰۷۶	۰.۰۴۹	کم	۰.۶۴۱	۰.۵۰۷	متوسط	۰.۹۱۶	۰.۵۶۰	متوسط	۰.۳۴۶	۰.۳۰۷	متوسط	۰.۳۴۵	۰.۲۹۰	متوسط
سردشت	۰.۱۷۸	۰.۱۰۵	کم	۰.۵۵۳	۰.۴۰۰	متوسط	۱.۳۷۵	۰.۷۸۶	متوسط	۰.۳۷۳	۰.۳۴۴	متوسط	۰.۳۰۱	۰.۲۵۱	متوسط
سرپل ذهاب	۰.۰۹۶	۰.۰۵۷	کم	۰.۶۸۵	۰.۵۲۹	متوسط	۰.۷۶۷	۰.۵۱۰	متوسط	۰.۳۸۴	۰.۳۳۷	متوسط	۰.۳۲۵	۰.۲۷۲	متوسط

برای بررسی میزان حساسیت هر ورودی مدل، حداکثر میزان پارامتر Sc بدون در نظر گرفتن زمان وقوع آن در نظر گرفته شد و مقادیر مطابق جدول ۲، مورد تحلیل قرار گرفت. داده‌های ورودی هواشناسی به طور کلی حساسیت متوسط تا کمی در معادله پنمن-مانتیث-فائو دارند. بالاترین حساسیت داده ورودی برای میزان رطوبت نسبی برای ایستگاه سینوپتیک بانه است که بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است.

نتیجه‌گیری

حساسیت‌سنجی داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای معادله پنمن-مانتیث-فائو برای براورد تبخیرتعرق گیاه مرجع از کارآمدترین روش‌ها برای شناخت تاثیر هر کدام از عوامل اقلیمی بر این پارامتر است. این کار منجر به شناخت بیش‌تر پدیده تبخیرتعرق و شناخت عوامل تاثیرگذار بر آن می‌گردد و می‌توان در مطالعات مشابه از نتیجه آن استفاده نمود. در حوضه مطالعاتی با بررسی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه، مشخص شد که تاثیرگذارترین عوامل در برآورد تبخیرتعرق حوضه مرزی غرب به ترتیب، پارامترهای میانگین رطوبت نسبی، میانگین حداکثر دمای هوا، میانگین سرعت باد، میانگین ساعات آفتابی و میانگین حداقل دمای هوا می‌باشد. با استفاده از نتایج این تحقیق برای حوضه آبریز مرزی غرب می‌توان از متغیرهای اقلیمی مانند رطوبت نسبی و داده-های دما که بیش‌ترین همبستگی را با تبخیرتعرق مرجع دارند؛ با دقت بیش‌تری استفاده نمود و میزان تبخیرتعرق گیاه مرجع را با استفاده از سایر مدل‌ها با داده‌های ورودی کم‌تری برآورد کرد.

فهرست منابع

۱. پیری ه.، فضل اولی ر. و محمدزاده م. (۱۳۹۳). بررسی تغییر اقلیم و اثر آن بر روی نیاز آبی سویا مطالعه موردی (بابلسر استان مازندران)، دومین همایش ملی بیابان با رویکرد مدیریت مناطق خشک و کویری، سمنان، دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان، مرکز بین المللی بیابان دانشگاه تهران.

۲. سلگی ر.، (۱۳۹۲). براورد تبخیر و تعرق مرجع به روش فائو-پنمن-مانتیث و آنالیز حساسیت متغیرهای اقلیمی (مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک استان سمنان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. رشته بیابان‌زدایی. دانشکده کویرشناسی. دانشگاه سمنان.

۳. شیخ الاسلامی ن.، قهرمان ب.، مساعدی ا.، داوری ک. و مهاجرپور م. (۱۳۹۳). پیش بینی تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش آنالیز موافه های اصلی و توسعه مدل رگرسیونی خطی چندگانه (مطالعه موردی: ایستگاه مشهد). *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. جلد ۲۸، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۳۹۳، ۴۲۹-۴۲۰.

۴. ضمیری ا. و پرویشی ع. ر. (۱۳۹۶). محاسبه تبخیر و تعرق محصولات زراعی و باغی به روش فائو-پنمن-مانتیث به کمک نرم افزار CropWat و مقایسه آن با نرم‌افزار Netwat (مطالعه موردی شهرستان مهاباد)، سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، شیراز، موسسه معماری و شهرسازی سفیران راه مهرازی.

۵. طالبی ع.، پورمحمدی س. و رحیمیان م. ح. (۱۳۸۹). بررسی عوامل موثر در تبخیر و تعرق مرجع، با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو-پنمن-مانتیث، مطالعه موردی: ایستگاه‌های یزد، طبس و مروست. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۷۳، پاییز ۱۳۸۹. ۱۱۰-۹۷.

۶. علی حوری م.، (۱۳۹۶). تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی خرما در مرحله رشد رویشی با استفاده از لایسیمتر. *نشریه پژوهش آب در کشاورزی*. جلد ۳۱، شماره ۳. ص ۳۲۹-۳۴۰.

۷. مدیری ا.، (۱۳۹۷). برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایستگاهای سینوپتیک استان تهران. *فصلنامه انسان و محیط زیست*. شماره ۴۶. پاییز ۱۳۹۷. ص ۱۳۴-۱۲۵.

۸. دین‌پژوه، ی. و فروغی، م. (۱۳۹۹). کاربرد تجزیه علیت در تعیین پارامترهای هواشناسی غالب بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع در آذربایجان غربی. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، سال بیستم، شماره ۵۸، ۱۶۳-۱۸۰.

9. FAO, (1998). Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), FAO Irrigation and Drainage Paper No.56.
10. Hosseini, S. T., Khoshravesh, M., Ziatabar Ahmadi, M. Kh., and Ghadami Firouzabadi, A. (2016). Evaluation of Soybean Yield by AquaCrop Model under Salinity and Deficit Irrigation Management. *Water Research in Agriculture*. 30 (3): 361-372.
11. Irmak S., Irmak A., Allen R. G. and Jones J. W., (2003). Solar and net radiation-based equations to estimate reference evapotranspiration in humid clamates. *Jornal of Irrigation and Drainage Engineering.* 129. pp 336-347.
12. Jensen M. E., Burman R. and Allen R. G., (1990). Evapotranspiration and Irrigation water requirements. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices*. NO. 70. American Society of Civil Engineers. NY.
13. Li S., Kang S., Zhang L., Zhang J., Du T. and Ding R., (2016). Evaluation of six potential Evapotranspiration models for estimating crop potential and actual Evapotranspiration in arid regions. *J. Hydrol.* 543. pp 450-461.
14. Liu X., Xu C. Zhong X., Li Y., Yuan X. and Cao J., (2017). Comparison of 16 models for reference crop Evapotranspiration against weighing Lysimeter measurement. *J. Agric. Water Manage*. 184. pp 145-155.
15. Urška M., Nejc B. and Mojca S., (2018). Reference evapotranspiration changes in Slovenia, *Europe. Agricultural and Forest Meteorology*. Volumes 260–261, 15 October 2018, Pages 183-192.
16. Xu C. Y. and Singh V. P., (2002). Cross comparison of empirical equations for calculating potential evapotranspiration with data from Switzerland. *Water Resources Management*, 16. pp 197-219.

Sensitivity analysis of meteorological parameters in estimating the evapotranspiration of the reference plant (the western border basin)

Abstract

Estimation of the amount of evapotranspiration of the reference plant is very important for calculating water needs with the aim of agricultural planning for different crops for the optimal use of water resources in the agriculture section. The Penman-Monteith-FAO method is a reliable method for the climatic conditions of Iran. The Cropwat model is based on this method. Therefore, examining the sensitivity of this model to input data is of particular importance. In this study, the rate of evapotranspiration of the reference plant in the western border basin of Iran and also the sensitivity of the Cropwat model to the input meteorological data were evaluated. To perform sensitivity analysis in each turn, one of the input parameters was changed by 25% (in positive and negative directions) and the model was run for each of the parameters. Sensitivity analysis was performed both graphically and mathematically. The results showed that in the western border basin, the parameters of mean relative humidity, mean maximum air temperature, mean wind speed, mean sunshine hours and mean minimum air temperature were the highest to the lowest sensitivity, respectively.

Keywords: The Penman-Monteith-FAO equation, Cropwat model, synoptic station, experimental models.

تاثیر کاربرد مالچ پلی اتیلن بر عملکرد و زودرسی میوه طالبی در شرایط شور

احمد رمضانی [*۱]، مصلح الدین رضایی [۲] و علی فرهادی [۳]

۱و ۳ به ترتیب استادیاران پژوهش، بخش‌تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش‌کشاورزی و منابع‌طبیعی استان اصفهان، سازمان‌تحقیقات، آموزش و ترویج‌کشاورزی، اصفهان، ایران- ۱= نویسنده مسئول [*]

آدرس الکترونیکی نویسنده مسئول: Ramazaani@yahoo.com

۲- مربی پژوهش، بخش‌تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش‌کشاورزی و منابع‌طبیعی استان اصفهان، سازمان‌تحقیقات، آموزش و ترویج‌کشاورزی، اصفهان، ایران.

چکیده

به منظور بررسی امکان افزایش عملکرد، راندمان مصرف آب و زودرسی میوه طالبی با ا ستفاده از خاکپوشهای پلی اتیلن در شرایط شور آزمایشی در قالب طرح آماری بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا گذاشته شد. تیمارها شامل کاربرد خاکپوشهای پلی اتیلن مشکی، شفاف و شاهد (عدم استفاده از خاکپوش) بود. شوری آب آبیاری بعد از گلدهی ۶ دسیزیمنس بر متر بود. اثر مالچ پلاستیکی بر عملکرد میوه، عملکرد میوه نامرغوب، تعداد میوه نامرغوب و عملکرد در سطح احتمال ۱ % و بر تعداد میوه، عملکرد میوه مرغوب، تعداد میوه مرغوب، تعداد میوه در بوته در سطح احتمال ۵ % و بر وزن یک میوه اثری نداشت. میانگین عملکرد تیمارهای خاکپوشهای شفاف و مشکی با یکدیگر غیر معنی دار ولی با شاهد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج این تحقیق با استفاده از خاکپوشهای پلی اتیلن مشکی و شفاف میتوان عملکرد و زودرسی میوه طالبی را افزایش داد.

واژگان کلیدی: طالبی، مالچ پلاستیکی، شوری آب آبیاری

مقدمه

از میان تنشهای غیرزنده، تنش شوری در سطح جهان گسترده تر بوده و پیش بینی میشود تا سال ۲۰۵۰ بیش از 50 % از زمینهای زراعی دنیا شور شوند (Zhu, 2003) در واقع تنش شوری یک تهدید بسیار جدی برای محصولات کشاورزی است که میتواند رشد گیاهان و عملکرد محصول را تحت تأثیر قرار دهد. بر اساس اطلاعات موجود شوری طی ۲۵ سال آینده میتواند حدود ۳۰ ٪ از تولید زمینهای زراعی را کاهش دهد (Pandolfi et al., 2012) ارزش نسبتاً بالای اغلب سبزی و صیفی‌ها بهبود محیط رشد آنها را برای افزایش سرعت رشد محصولات، بهبود کیفیت و افزایش طول دوره رشد و در نتیجه افزایش میزان محصول اقتصادی می‌سازد (فرهادی، ۱۳۸۲). استفاده از مالچ پلاستیکی جهت زودرسی و صرفه جویی در مصرف آب از روشهای متداول در کشت میوه‌های جالیزی بخصوص طالبی میباشد. این روش در سالهای اخیر توسعه یافته و با استفاده از روش آبیاری تیپ جایگاه خود را در بین کشاورزان باز نموده است. خاکپوش عبارت است از کاربرد یا ایجاد هر نوع پوشش خاک که مانعی جهت انتقال حرارت یا بخار آب ایجاد کند (Rosenberg, 1974). توصیه کرده اند برای کاهش اثرات شوری بر عملکرد گیاهان از خاکپوشها استفاده شود (Plaut et al., 2013).

آثار سودمند خاکپوش های حفظ رطوبت خاک با کاهش تبخیر مستقیم از خاک بخصوص در شرایط وزش باد (Fuches and Hadas, 2011) است. در هندوانه بی بذر علاوه بر دو هفته زود رسی، عملکرد در تیمار خاکپوش پلاستیکی ۷۶ تن در هکتار در مقایسه با ۴۹ تن در هکتار در تیمار بدون خاک پوش بدست آمد (Plaut et al., 2013). درگیاهان زراعی هرچند کاربرد خاکپوش‌های پلاستیکی جهت افزایش درجه حرارت خاک در بهار بکار می‌رود اما درجه حرارت بیش از حد خاک در دوره تشکیل و رسیدگی میوه در اوایل تابستان می‌تواند فعالیت ریشه را در جذب مواد غذایی مشکل و کیفیت میوه را کاهش دهد و ریزش گل‌ها را تشدید نماید (Kimberly et al., 1996 ؛ JIfon, 2004). خاکپوش‌های پلی‌اتیلن تأثیر به سزایی در افزایش عملکرد، زودرسی محصول، کاهش تعداد دفعات آبیاری و کنترل علف‌های هرز داشته است (فرهادی، ۱۳۸۲). تحقیقات در کاربرد تلفیقی آبیاری قطره‌ای و خاکپوش پلاستیکی در طالبی نشان داد عملکرد طالبی به میزان ۳۱/۶ درصد افزایش یافت (Munguia-Lopez et al., 1994).

افزایش درجه حرارت خاک، کاهش فشردگی خاک، اسفنجی باقی ماندن و بهبود تهویه خاک، دسترسی ریشه ها به اکسیژن کافی، کاهش میزان آبشویی املاح، افزایش میزان استفاده از کودهای شیمیایی توسط گیاه، جلوگیری از آبگرفتگی گیاه، کاهش تبخیر، در اثر ممانعت از تبخیر رطوبت خاک از سطح خاک و مبحوس شدن بخار آب در زیر پلاستیک، تولید محصول تمیزتر و پاکتر، حذف هرس ریشه، کاهش هزینه مبارزه با علف‌های هرز، زودرسی، افزایش رشد گیاه در اثر افزایش محلی غلظت گاز کربنیک برخی اثرات مثبت شناخته شده استفاده ازمالچ پلاستیکی است.

با توجه به شرایط آب و هوایی کشور، ارائه راهکارهای مناسب جهت مصرف بهینه آب از ضروریات می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثرات خاکپوش و شوری آب آبیاری بر کمیّت و کیّفیت محصول طالبی بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در ایستگاه تحقیقات زهکشی و اصلاح اراضی کشاورزی رودشت در ۶۰ کیلومتری شرق اصفهان در یک خاک Fine, Mixed, Hypertermic, typic, Haplo, cambids با بافت خاک کلی لوم با آب و هوای گرم و خشک و میانگین بارندگی سالیانه ۱۰۰ میلی‌متر و تبخیر و تعرق گیاه مرجع ۲۰۰۰ میلی‌متر و رژیم رطوبتی و حرارتیAridic Thermic و اجرا گردید. تا مرحله گلدهی از آب با کیفیت مناسب و بعد از گلدهی از آب با کیفیت ۶ دسیزیمنس بر متر استفاده شد. رقم مورد کشت شاه‌آبادی و تیمارها شامل کاربرد خاکپوش پلی اتیلن مشکی، خاکپوش پلی اتیلن شفاف و عدم کاربرد خاکپوش مجموعا در۳ تیمار و در سه تکرار جمعاً بصورت بلوکهای کامل تصادفی اجرا گردید. به منظور تقویت خاک ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیم و جهت کنترل علف‌های هرز از سم ترفلان به میزان ۲ لیتر در هکتار قبل از ایجاد پشته‌ها استفاده شد. در اوایل میوه‌دهی از کودهای ریز مغذی و طول فصل برداشت میوه ازکودآبیاری (بمیزان ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره درهرنوبت آبیاری همراه با آب آبیاری) و با محلول پاشی کودهای آمینوـفورته جهت کاهش اثرات تنش حرارتی و تقویت بوته‌ها انجام شد. همچنین جهت مبارزه با بیماریهای ریشه ازسموم قارچکش در اوایل میوه دهی دریک نوبت همراه با آب آبیاری و مبارزه با آفات از سم اکاتین بمیزان ۱۵۰ سی‌سی در ۱۰۰ لیتر آب درچهار نوبت بصورت تغذیه برگی استفاده گردید. قبل از آماده سازی زمین با تهیه نمونه مرکب از اعماق ۳۰-۰ و۶۰-۳۰ سانتیمتری خاک خصوصیات شیمیایی و فیزیکی (آریا و میرخانی، ۱۳۸۴) خاک مورد آزمایش قرارگرفت (جداول ۱ و ۲).

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش قبل از کشت.

عمق خاک	ECe	pH	فسفر	پتاسیم	کربن آلی	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{-2}	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$	Na^+	SAR
(cm)	(dS/m)		قابل جذب		(٪)	(meq/lit)					

۳۰-۰	۲/۲	۸/۷	۱۲	۲۶۰	۰/۸	۱/۷	۱۴	۷	۶/۹	۱۳	۷/۰
۶۰-۳۰	۱/۸	۷/۹	۱۰	۲۵۰	۰/۶۵	۱/۷	۸	۵	۴/۷	۹/۳	۶/۳

جدول ۲ - خصوصیات فیزیکی خاک محل آزمایش قبل از کشت.

عمق خاک (cm)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm3)	رس	سیلت	شن	ظرفیت مزرعه درصد وزنی	نقطه پژمردگی	بافت خاک
۳۰-۰	۱/۳۰	۳۹	۴۵	۱۶	۳۰	۱۴	CL
۶۰-۳۰	۱/۳۵	۳۷	۴۲	۲۱	۲۷	۱۴	CL

فاصله پشته‌ها ۱/۵ متر و طول خطوط کشت نیز ۶ متر در نظر گرفته شد که از دو پشته وسط عملکرد کرت برداشت گردید. خاکپوش‌های پلاستیکی در کف فارو پهن و سطح پشته‌ها را کاملاً پوشاند. همچنین جهت نفوذ آب سوراخ‌هایی با فواصل مناسب (حدود ۵۰ سانتیمتر) بر روی خاکپوش‌ها در کف و کنار فارو ایجاد گردید. جهت کشت بذر بر روی دو طرف پشته سوراخ‌هایی به قطرحدود ۱۰ سانتمتر بر روی پلاستیک با فواصل ۳۵ سانتی‌متر ایجاد و ۴ عدد بذر در هر حفره کشت گردید و به طور یکنواخت تمامی کرت‌ها آبیاری شدند. تیمارهای آبیاری پس از مرحله شروع گل‌دهی گیاه اعمال گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده ها در جدول ۳ و مقایسه میانگین تیمارها در جدول ۴ ارائه شده است. براساس این نتایج، اثر مالچ پلاستیکی بر عملکرد میوه، عملکرد میوه نامرغوب، تعداد میوه نامرغوب و عملکرد کرت در سطح احتمال ۱٪ و بر تعداد میوه در کرت، عملکرد میوه مرغوب در کرت، تعداد میوه مرغوب در کرت، تعداد میوه در بوته در سطح احتمال ۵٪ معنی دار و بر وزن میوه معنی دار نشد. میانگین عملکرد میوه، تعداد میوه در کرت، عملکرد میوه مرغوب و نا مرغوب تعداد میوه نا مرغوب، تعداد میوه در بوته و عملکرد یک بوته در در تیمارهای خاکپوش نسبت به تیمار شاهد در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار شد ولی بر تعداد میوه مرغوب و وزن یک میوه معنی دار نشد. همچنین تیمارهای خاکپوش پلاستیکی نسبت به تیمار خاک لخت زود رسی میوه را افزایش داد و میوه بیشتری را در اوایل فصل تولید نمود. با توجه به افزایش عملکرد طالبی با کار برد مالچ پلاستیکی و افزایش زودرسی کار برد مالچ پلاستیکی در شرایط شوری آب آبیاری توصیه میشود.

جدول۳- تجزیه واریانس عملکرد و تعداد میوه مرغوب و نامرغوب در کرت وتعداد میوه در بوته، وزن میوه.

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		عملکرد کرت کیلوگرم	تعداد کل میوه در کرت	عملکرد میوه مرغوب	تعداد میوه مرغوب	عملکرد میوه نا مرغوب	تعداد میوه نا مرغوب در کرت	تعداد میوه در بوته	وزن میوه	عملکرد یک بوته
تکرار	۲	۷۷/۰۴۳۴	۵۰/۳۳	۳۶/۹	۲۶/۷۷۷	۱۰/۲۶۹	۴/۱۱۱	۰/۰۵۱۶	۰/۰۱۲۱	۰/۰۸۲۷
خاکپوش	۲	**۳۵۱/۵	*۲۲۹	*/۰۳۹	*۴۴/۱۱	**۵۶/۷	**۷۸/۷	*۰/۲۵۶	۰/۰۵۸	**۰/۳۷

خطا	۴	۲۵/۲۸۰۳	۳۳/۳۳	/۳۶۹	۲۴/۶۱۱	۰/۷۲۲۸	۴/۶۱۱	۰/۰۵۸۸	۰/۰۲۵۷	۰/۰۱۲۹
CV		۱۹/۰۳۹	۱۸/۶۲	۲۶/۳	۲۴/۲۶۵	۱۲/۶۸۸	۲۰/۳۴	۲۲/۳۸۲	۱۹/۱۸۱	۱۲/۴۰۷

*و ** بترتیب معنی‌داردر سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و تعداد میوه مرغوب و نامرغوب در کرت و تعداد میوه در بوته، متوسط وزن میوه در خاکپوش‌های مختلف.

خاکپوش	عملکرد کرت کیکوگرم	تعداد کل میوه در کرت	عملکرد میوه مرغوب	تعداد میوه مرغوب	عملکرد میوه نا مرغوب	تعداد میوه نا مرغوب	تعداد میوه در بوته	وزن کیلوگرم	عملکرد یک بوته کیلوگرم
لخت	b۱۴/۱۷۷	b۲۱/۳۳۳	b۱۲/۴۵۲	a۱۶/۶۶۷	b۱/۷۲۴۳	b۴/۶۶۷	a۱/۳۷۶۸	a۰/۶۷۸	b۰/۵۲۷۹
مشکی	a۳۱/۳۰۸	a۳۳/۳۳	a۲۱/۵۳۳	a۲۰/۳۳	a۹/۷۷۵	a۱۳	a۱/۰۸۳	a۰/۹۳۷۲	a۱/۰۱۷
شفاف	a۳۴/۲۰۸	a۳۸/۳۳۳	a۲۵/۶۰۶	a۲۴/۳۳۳	a۸/۶۰۲	a۱۴	b./۷۹۲	a۰/۸۹۴	a۱/۲۱۰
LSD	۱۱/۴۷	۱۳/۰۹	۱۱/۸۶	۱۱/۲۵	۱/۹۲۷	۴/۸۶۸	۰/۵۶۲۲	۰/۳۶۳۷	۰/۲۵۸۴

* میانگین‌ها با آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شده‌اند. در هر ستون میانگین‌هایی که دارایک حرف مشترک می‌باشند

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد با استفاده از خاکپوشهای پلی اتیلن مشکی و شفاف میتوان عملکرد و زودرسی میوه طالبی را افزایش داد.

تشکر و قدردانی

فهرست منابع

۱. آریا پروین و میرخانی رسول. ۱۳۸۴. روش‌های اندازه‌گیری ویژه‌گی‌های فیزیکی خاک. نشریه فنی شماره ۴۷۹. وزارت جهادکشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک وآب. انتشارات سنا. تهران ایران. ۳۱ صفحه.

۲. فرهادی، علی.۱۳۸۲. بررسی کاربرد خاکپوش‌های پلی‌اتیلن و روش‌های آبیاری برای کاهش مصرف آب و شن در گیاهان جالیزی. هشتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۷ تا ۸ بهمن ماه ۱۳۸۲، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

3. Fuchs, M. and A. Hadas. 2011. Mulch resistance to water vapor transport. Agricultural Water Management. 98(5): 893-898.
4. Jifon,J. 2004. Influence of colored plastic mulches on soil temperature and muskmelon root respiration. Hortiscience. 39:802
5. Kimberly A Klock, William R. Gravesa, and Henry G. Taber. 1996. Growth and phosphorus, zinc, and manganese content of tomato, muskmelon, and honey locust at high root zone temperatures Journal of Plant Nutrition. 19(5) 795-806.
6. Munguia-Lopez JP, Faz CR, Quezada MR and Jones RT. 1994. Plastic mulch effect on the growth and yield of muskmelon (Cucumis melo L.) under irrigation condition by drip and surface. 25th National Agricultural Plastic Congress. USA, 23-27 Sep. P:81-86.
7. Pandolfi, C., Stefano Mancuso, S., Shabala, S., 2012. Physiology of acclimation to salinity stress in pea (Pisum sativum). Environmental and Experimental Botany. 84, 44-51.
8. Plaut Z , M. Edelstein and M. Ben-Hur. 2013. Overcoming Salinity Barriers to Crop Production Using Traditional Methods Critical Reviews in Plant Sciences. Critical Reviews in Plant Sciences, 32:250–291
9. Rosenberg, RJ. 1974. Microclimate: The Biological Environment. Chapter 6. Modification of the Soil Temperature. 145-157. John Wiley & Sons, New York.
10. Zhu, J.K., 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. Current Opinion in Plant Biology. 6, 441–445.

The effect of using polyethylene mulch on yield and early ripening of cantaloupe fruit in saline conditions

Ahmad Ramezani[* 1], Moslehuddin Rezaei [2] and Ali Farhadi [3]

Affiliations

1&3= Ahmad Ramazani, Assistant Professor of Horticultural Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

2= Resercher of Soil and Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

Abstract

In order to increase yield, precocity and water use efficiency in Cantaloup this study was conducted with saline water in three replication with randomized complet block desigin.Treatments were in three level include black and transparent polyethylene mulches and check (without polyetheylen mulch). Salinity water was 6ds/m after flower stage.Effect of polyethylene mulches on total yield, unmarketable yield,and number fruit of unmarketable at 1% and total number fruit, marketable fruit yield, marketable number fruit, min number fruit per plant and min weight of fruit at 5% not significant.Yield not different between black and transparent polyethylene mulche althoutght significant to chek(bare soil). Result showed polyethylene mulch increased yiled of cantaloupe (Melon).

Keywords: Melon, polyetilen malch, Irrigation water salinity

بررسی مقادیر مختلف ازت و آب آبیاری روی عملکرد پنبه رقم ورامین در منطقه کاشمر

حمیدرضا ذبیحی[1]، منصوره پیش بین[2]

- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران zabihi_hamidreza@yahoo.com
۲- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

چکیده:

بمنظور بررسی اثرات کود ازته و آب آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی پنبه رقم ورامین طرحی با سه سطح آب آبیاری(۴۵، ۶۰، ۷۵ درصد تبخیر از تشت کلاس A) بعنوان فاکتور اصلی و ۵ سطح ازت خالص (۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰) کیلوگرم در هکتار به عنوان فاکتور فرعی بصورت کرتهای خردشده در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار به اجرا درآمد.نتایج نشان داد که اثر تیمارهای ازت بر عمکرد وش، تعداد غوزه ، تعداد شاخه جانبی و ارتفاع بوته معنی دار بود اما بر وزن غوزه معنی دار نبود. اثر آب آبیاری بر عملکرد معنی دار بود. اثر متقابل آب و ازت بر عملکرد وش، تعداد غوزه، تعداد شاخه و ارتفاع بوته معنی دار بود و بیشترین عملکرد وش، تعداد غوزه، تعداد شاخه و ارتفاع بوته از تیمار ازتی N4 و تیمار آبیاری به میزان ۷۵ تبخیر از تشت کلاس A بدست آمد. با کاهش میزان آب آبیاری کارآئی مصرف کود ازته کاهش یافت. بطور کلی نتایج حاصل نشان داد که در شرایط آزمایش تیمار برتر شامل مصرف ۱۸۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار و آبیاری به میزان ۷۵٪ تبخیر از تشت کلاس A (با مصرف ۱۱۶۴۷/۵ متر مکعب آب در هکتار) بود.

واژگان کلیدی: پنبه،عملکرد، آبیاری، تشتک تبخیر

مقدمه

پنبه از جمله مهمترین و با ارزش ترین گیاهان لیفی جهان به شمار می رود. در ایران مهمترین عامل محدودکننده رشد گیاهان آب می باشد. در بین عناصر غذایی نیز ازت از جمله عناصر مهم برای رشد گیاهان محسوب می شود. مدیریت صحیح آبیاری و کاربرد مناسب ازت در پنبه مهمترین نقش را در حصول عملکرد مطلوب آن ابقا می نماید. کاربرد ازت کارآیی مصرف اب را افزایش می دهد. ازت کم بسته شدن روزنه ها را در مقابل تنش خشکی افزایش داده و باعث تجمع اسید آبسیک در گیاه می گردد. تنش آب و ازت حرکت رو به بالای مواد را کاهش و حرکت رو به پایین را افزایش می دهد. (گرلیک وهمکاران، 1994) واکنش پنبه به تنش آبی عمدتا با کاهش سطح برگ، ارتفاع بوته، فتوسنتز خالص و سازگاری آن با تنظیم اسمزی انجام می گردد. تنش ملایم رطوبتی سبب کنترل رشد رویشی شده و رشد زایشی را تحرک می کند. درنتیجه مواد فتوسنتزی مازاد بر رشد رویشی سبب می شود که ظرفیت حمل مواد به غوزه ها بیشتر گردد. (گلوتر و رین، 1977).

ازت مهمترین نقش را در حصول عملکرد مطلوب پنبه ایفاد می نماید. کمبود ازت در پنبه مستقیما با کاهش کارآیی تبدیل مواد فتوسنتزی و به طور غیرمستقیم با محدود ساختن گسترش سطح برگ و در نتیجه کاهش دریافت انرژی تابشی بر رشد گیاه موثر است (هرن، 1986) وجود ازت به مقدار بیش از نیاز گیاه باعث طولانی شدن دوره رشد رویشی می گردد، که در نتیجه عملکرد به علت افزایش پوسیدگی غوزه ها کاهش می یابد. کیفیت الیاف نیز به علت کاهش ظرافت الیاف کم می شود (Hearn 1975). برگهای پنبه مخزن اصلی ذخیره ازت برای تغذیه میوه هستند تقریبا نصف ازت غوزه نتیجه انتقال مجدد ازت از برگها به سمت غوزه ها باعث کاهش کارآیی فتوسنتزی آنها شده و پیری برگها تسریع می گردد (Gerik et all 1994). مقدار ازت برگها در طول دوره رشد از ۵٪ ماده خشک به ۲/۵٪ کاهش می یابد که نتیجه انتقال ازت از برگها به غوزه هاست (ایوانز).

هر عاملی که تجمع ماده خشک را تحت تاثیر قرار دهد، می تواند باعث ریزش گل و غوزه شود. تولید غوزه و توسعه سطح برگ به طور ذاتی با هم وابسته هستند و دوام دوره غوزه دهی وابسته به تعادل بین ظرفیت فتوسنتزی و تقاضای مواد فتوسنتزی بوسیله غوزه های درحال رشد می باشد (کنستابل و همکاران1980). در مناطقی که آب محدودکننده رشد گیاه باشد، ارتفاع گیاه با عملکرد رابطه مثبتی داشته ولی اگر آب اضافی باعث رشد رویشی بیش از حد شود، عملکرد کاهش می یابد. چون در این شرایط برگهای بزرگ تقدم بیشتری برای جذب مواد هیدروکربنه نسبت به رشد غوزه دارند (کوچکی و همکاران ۱۳۷۲). علیزاده و همکاران میزان ازت مورد نیاز پنبه را برای منطقه کاشمر ۱۸۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار اعلام کردند، سروری و همکاران برای منطقه داراب ۱۳۵ کیلوگرم و برای منطقه استهبان ۱۸۰ کیلوگرم ازت خالص را توصیه کردند. در حالیکه در منطقه بهشهر ازت مورد نیاز پنبه فقط ۹۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (معتمد ۱۳۷۳). در مزارع پنبه استرالیا که از نظر فسفر و پتاس غنی هستند میزان ازت مصرفی پنبه بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار می باشد (نعمتی و همکاران ۱۳۶۸.

مواد و روش:

این آزمایش به صورت اسپلیت پلات به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقات پنبه کاشمر اجرا شد. در این آزمایش مقدار آب آبیاری به عنوان فاکتور اصلی در سه سطح شامل: ۴۵، ۶۰٪ و ۷۵٪ تبخیز از تشتک کلاس A و میزان کود ازته به عنوان فاکتور فرعی در ۵ سطح شامل مقادیر ۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار بصورت طرح کرتهای خردشده مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

قبل از آماده سازی زمین نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر جهت بررسی خواص فیزیکی و شیمی خاک تهیه شد که نتایج درجدول (۱) آمده است.

جدول (۱) برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش:

EC دسی زیمنس برمتر	pH	T.N.V درصد	کربن آلی درصد	فسفر میلیگرم برکیلوگرم	پتاسیم میلیگرم بر کیلوگرم	Sand	Silt	Clay
						درصد	درصد	درصد
۲/۱۶	۷/۸	۲۲/۱۴	۰/۰۴	۴/۰	۱۶۵	۳۲/۶	۵۲/۴	۱۵/۰

پس از تهیه زمین کود سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به همراه کودهای ریزمغذی باتوجه به نتایج آزمون خاک به آن اضافه گردید. کاشت آزمایش در هر دو سال در اواسط اردیبهشت انجام شد. فواصل کاشت ۷۰ در ۲۰ سانتیمتر و بذر مورد استفاده از طبقه بذری الیت رقم ورامین بود که کاملا کرک زدایی شده بود. هر کرت فرعی شامل ۴ خط ۱۱ متری که دو خط وسط پس از حذف نیم متراز ابتدا و انتها جهت برداشت و اندازه گیری ها مورد استفاده قرار گرفت هر کرت اصلی به مساحت ۱۵۴ مترمربع شامل ۵ کرت فرعی بود که اطراف آن کاملا محصور و میزان آب ورودی با کنتور اندازه گیری شد. سیستم آبیاری بصورت قطره ای و میزان آب مورد نیاز با استفاده از حجم آب در زمان باز بودن سیستم به کرتهای فرعی اضافه شد.یادداشت برداریهای لازم شامل اندازه گیری ارتفاع بوته در مرحله شروع گلدهی و برداشت، شمارش تعداد غوزهف تعداد شاخه های جانبی و زمان بسته شدن کانوپی در طول دوره داشت انجام و در پایان نیز محصول وش طی دو چین برداشت و عملکرد وش، وزن ۲۰ غوزه و زودرسی محصول اندازه گیری شد.

نتایج:

ادغام نتایج دو ساله اثرات مقادیر مختلف آب آبیاری و سطوح ازت برعملکرد پنبه در جداول (۲و ۳و ۴) آورده شده است. همانگونه که جدول ۸ نشان می دهد اثر سطوح مختلف ازت بر عملکرد وش در سطح ۵٪ معنی دار بوده و بیشترین عملکرد از تیمار N240 به میزان ۴۴۱۹ کیلوگرم وش در هکتار و کمترین عملکرد از تیمار N0 به میزان ۳۰۳۲ کیلوگرم وش درهکتار

بدست آمده است. اثر دو ساله تیمارهای مقادیر مختلف آب بر عملکرد پنبه نیز در سطح ۵٪ معنی دار بود و بیشترین عملکرد از تیماره 13(۷۵٪ تبخیر) به میزان ۴۰۹۷ کیلوگرم وش در هکتار بدست آمد (جدول ۳). اثر متقابل آب و ازت بر عملکرد وش پنبه نیز در سطح ۵٪ معنی دار بود بطوریکه بیشترین عملکرد از تیمار 13N240 بـه میـزان ۵۲۶۶ کیلگـرم وش در هکتـار و کمترین عملکرد از تیمار 11N0 به میزان ۲۸۹۸ کیلوگرم وش بدست آمد (جدول ۲).

جدول (۲) ادغام عملکرد دوساله طرح تحت تیمارهای مقادیر مختلف آب آبیاری و ازت:

سطوح ازت سطوح آبیاری	۰	۶۰	۱۲۰	۱۸۰	۲۴۰
۴۵٪ تبخیر	EF ۳۲۴۰	EF ۳۳۷۶	EF ۳۴۵۴	EF ۳۳۷۴	EF ۳۴۱۳
۶۰٪ تبخیر	F ۲۹۶۰	DEF ۳۵۹۱	CDE ۴۰۱۳	ABC ۴۴۷۲	ABC ۴۵۷۶
۷۵٪ تبخیر	F ۲۸۹۸	EF ۳۱۵۰	BCD ۴۲۹۶	AB ۴۸۷۵	A ۵۲۶۶

تیمارهای دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی دار نمی باشند.

جدول (۳) ادغام نتایج دو سال اثر ازت بر عملکرد پنبه (۱۳۷۷-۱۳۷۸)

سطوح ازت KgN/ha عملکرد (کیلوگرم درهکتار)	۰	۶۰	۱۲۰	۱۸۰	۲۴۰
	C ۳۰۳۲	C ۳۳۷۲	B ۳۹۲۱	AB ۴۲۴۰	A ۴۴۱۹

تیمارهای دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی دار نمی باشند.

جدول (۴) عملکرد پنبه در تیمارهای مختلف آبیاری (ادغام نتایج دوساله)

تیمارهای آبی عملکرد (کیلوگرم درهکتار)	۴۵٪ تبخیر	۶۰٪ تبخیر	۷۵٪ تبخیر
	B ۳۳۷۱	A ۳۹۲۲	A ۴۰۹۷

تیمارهای دارای حروف مشابه بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ دارای اختلاف معنی دار نمی باشند.

بحث و نتایج:

نتایج بدست آمده طی دو سال آزمایش بر روی عملکرد وش نشان داد که اثر تیمارهای ازت بر عملکرد در سطح ۵٪ معنـی دار بود. افزایش عملکرد به ازاء افزایش میزان ازت خطی نبود و در سطح پـایینی بـه ازاء افـزایش میـزان ازت میـزان عملکـرد افزایش بیشتری یافت در حالیکه در سطوح بالای ازت افزایش میزان ازت عملکرد را چندان افزایش نداد و نیز افزایش عملکـرد بین سطوح N180 و N240 معنی دار نبود.تاثیر تیمارهای آبیاری بر روی عملکـرد وش مثبـت بـود و تفـاوت اولـین سـطح آبیاری (۴۵٪ تبخیر از طشت کلاس A) با دو سطح بعدی کاملا مشهود بود اما در مجموع معنی دار نبود. درحالیکه اثر متقابل

آب و ا زت نشان داد که در سطح پایین آبیاری کاربرد ازت بدون تاثیر درحالیکه درسطوح بالای آبیاری ازت سبب افزایش کارآیی مصرف آب می گردد. بیشترین عملکرد در بالاترین سطح کودی و بیشترین میزان آبیاری حاصل گردید (جدول۲). اثر تیمارهای ازت به طور کاملا معنی داری بر روی عملکرد وش موثر بود و تفاوت عملکرد در سطوح متوالی پایین بیشتر از سطوح متوالی بالای ازت بود (جدول ۳). کمبود ازت به دو طریق بر روی مواد فتوسنتزی موثر است یا مستقیما در مکانیسم فتوسنتزی اختلال ایجاد می کند و یا اینکه بطور غیرمستقیم با کاهش سطح برگ، دریافت نور را کاهش می دهداز آنجاییکه ازت جزء اساسی پروتئین ها می باشد و بیش از ۶۵٪ پروتئین برگ در کلروپلاستها قرار دارد و ۵۰ ٪ این مقدار را آنزیم روبیسکو (Rubisco) تشکیل می دهد. بنابراین در شرایطی که گیاه شدیدا تحت تنش ازت قرار دارد علاوه بر کاهش سطح برگ احتمال اختلال در فتوسنتز نیز وجود دارد. معنی دار بودن عملکرد بین تیمارهای N3 (عدم مصرف کود ازتی) و N1 (مصرف ۶۰ کیلوگرم ازت درهکتار) نیز به همین علت می باشد.

ازت با افزایش سطح برگ و تاخیر در بسته شدن روزنه ها سبب تعرق بیشتر از سطح گیاه می گردد. هنگامیکه آب کافی در اختیار گیاه باشد، افزایش مصرف ازت سبب ماده سازی بیشتر و افزایش کارآیی مصرف اب شده و در نتیجه میزان محصول افزایش می یابد. اما زمانیکه گیاه تحت تنش آبی قرار گیرد. افزایش سطح برگ و باز نگهداشتن روزنه های برگ، سبب تلفات بیشتر آب، افزایش شدت تنش خشکی و عدم کارآیی مصرف ازت می گردد. مصرف زیاد ازت علاوه بر میزان رشد بوته ها بویژه در مراحل اولیه رشد پنبه می تواند اهمیت زیادی در کنترل علفهای هرز پنبه داشته باشد. ازت با افزایش قدرت رقابت پنبه با علفهای هرز تا حد زیادی قادر است هزینه های وجین و احتمال خسارت علفهای هرز پنبه را کاهش دهد. آبیاری تاثیر مثبتی روی ارتفاع بوته ها داشت اما اثر آن کمتر از مصرف ازت بود. اثر متقابل ابیاری و ازت روی ارتفاع بوته ها نشان داد که در سطح کم آبیاری مصرف ازت تاثیر چندانی روی ارتفاع بوته ها نداشت. اما در سطوح بالای آبیاری تاثیر مصرف ازت روی ارتفاع بوته ها کاملا مشخص بود. بطوریکه بیشترین ارتفاع در سطوح بالای ازت و آبیاری حاصل گردید. در آزمایشی که درخصوص اثر متقابل ازت و آب روی ارتفاع و عملکرد گندم دیم در دشتهای وسیع مرکزی ایالات متحده انجام شد، گزارش گردید، که درحالت کلی ارتفاع گیاه، بیومس بالای خاک، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه با افزایش مصرف ازت افزایش یافت. اما تیمار ازت روی شاخص استرس آب اثرات متغیری داشت. هنگامی که شاخص استرس آب (CWSI) کمتر از ۳۸٪ بود افزایش مصرف ازت سبب کاهش تنش آب گردید. زیرا ازت با افزایش عمق و حجم ریشه ها جذب آب را افزایش داد. اما هنگامیکه شاخص تنش آب بیشتر از ۳۸٪ بود، افزایش میزان مصرف ازت سبب افزایش استرس آب از طریق افزایش سطح برگ و بالارفتن تقاضا برای تعرق شده که بوسیله ریشه قابل جبران نبود.

(Brown and Fisher.1984) نیز در سال ۱۹۷۲ گزارش کرد که افزایش میزان مصرف ازت سبب افزایش حجم ریشه شده و پتانسیل آب قابل استفاده را برای گیاه افزایش می دهد. اما تحریک بیومس بالای خاک نیز در اثر تحریک ازت باعث افزایش تقاضای تبخیر و تعرق می گردد.

هم ازت و هم آبیاری تاثیر منفی روی زودرسی پنبه (نسبت محصول چین اول به کل محصول وش) داشتند در منابع نیز آمده است که کم آبیاری باعث زودرسی در پنبه می گردد. دلایل احتمالی آن جذب تشعشع بهتر رژیم حرارتی بهینه کانوپی کوتاهتر بوده است (Hearn et all 1985) ازت با طولانی کردن دوره گل دهی و تشکیل غوزه های آخر فصل سبب کاهش زودرسی پنبه می گردد. درحالیکه بوته هایی که با مقادیر کم ازت رشد می کنند زودتر گل می دهند و قطع گل دهی هم در آنها زودتر اتفاق می افتد، بنابراین زودرس تر می شوند(ناصری ۱۳۷۴). اثر دیگر مصرف زیاد ازت افزایش سطوح تبخیر و تاخیر در بسته شدن روزنه ها و در نتیجه تعرق بیشتر است، این امر سبب می گردد تا در صورت کمبود آب به گیاه صدمه وارد شود و هنگامیکه آب قابل دسترس کافی و یا زیاد باشد کارآیی مصرف ازت افزایش یابد. این افزایش کارآیی تا حدی است که تعادل CN در داخل گیاه بر هم نخورد، با توجه به مجموع نتایج حاصل از اجرای طرح می توان نتیجه گرفت که بهترین تیمار کودی و آبیاری در شرایط ازمایش بترتیب مصرف ۱۸۰ کیلوگرم ازت خالص در هکتار و آبیاری به میزان ۷۵٪ تبخیر از طشت کلاس A می باشد.

منابع مورد استفاده:

۱-ایوانز، ل.ت. ۱۳۶۹. فیزیولوژی گیاهان زراعی. ترجمه م. مودب شبستری و م. مجتهدی. (مترجمان). ۱۳۶۹. مرکز نشر دانشگاهی تهران. ص ۳۸۰-,۳۵۴

۲-جمیلی، ح. ۱۳۷۶. اثرات سرزنی، زمان و میزان مصرف ازت روی خواص کمی و کیفی پنبه. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز.

۳-علیزاده،غ.ز.، ن. پریزاده.، ح. جمیلی و ع. مختاریان. ۱۳۷۳. گزارش نهایی بررسی اثرات عناصر ازت و فسفر بر روی عملکرد پنبه. مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان.

۴-فرشی. ع.ا. و م. ر.شریعتی، ر.جارالهی، م.ر.قایمی و م.شهابی فر. و م.م. تولایی. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور. جلد اول گیاهان زراعی. موسسه تحقیقات خاک و آب. نشر آموزش کشاورزی.

۵-کوچکی، ع.۱۳۷۴. زراعت در مناطق خشک. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۶-کهل.آر.جی.، سی. اف. لوئیس. ۱۳۷۴. پنبه ترجمه ف. ناصری. انتشارات معاونت فرهنگی آستان قدس رضوی. ۹۰۱ ص.

۷-معتمد. الف. ۱۳۷۳. نتایج سه ساله بررسی تعیین نیاز غذایی پنبه رقم ساحل در مازندران (حسین آباد بهشهر). چکیده مقالات سومین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. دانشگاه تبریز. ۴۳۶ ص.

۸-نعمتی،ن.، ز.حسینی نژاد، ح. واردی، م.ت. سروری، ع. تازیکی و ف. ابهریان. ۱۳۶۸. گزارش بازدید ازمراکز تحقیقاتی و تهیه بذر پنبه استرالیا. وزارت کشاورزی. ۴۵ ص.

9-Ball, R.A., D. M Oosterhuis, and A.M.M.Moustakos. 1994. Growth dynamics of the cotton plant during water deficit stress. Agron, J.86: 788-795.

10-Brown, K. J. 1973. Factors affecting translocation of carbohydrates to fruiting bodies of cotton. Cotton Grow. Rev. 50:32-42.

11-Clutter. J. M,. And D.W. Rains. 1977. Effects of irrigation history on responses of cotton to subsequent water stress. Crop Sci. 17:329-335.

12-Constable, G. A., and A.B. Hearn. 1981. Irrigation for crops in a Subhumid environment. Irrig. Sci. 3: 17-28.

13-Constable, G. A., and H.M.Rawson. 1980. Effect of leaf position expantion and age on photosynthesis, transpiration and water use efficieny of cotton. Aust. J. Plant. Physiol. 7:89-100.

14-Gerik, T., B.S. Jackson, C.O. Stokel., and W. D. Rosenthal. 1994. Plant nitrogen status and boll load of cotton. Agron. J. 86: 514-518.

15-Goldsworthy, P. R., and N. M. Fisher. 1984. The physiology of tropical field crops. Australia.

16-Grimes, D. W., W. L. Dickens., and H. Yamad. 1978. Early season water management for cotton. Agron. J. 70: 1009-1012.

17-Guinn, G. 1974. Abscission of cotton floral buds and bolls as influenced by factors affecting photosynthesis and respiration. Crop Sci. 14: 291-293.

18-Hearn, A.B. 1986. Effect of preceding crop on the nitrogen requirements of irrigated cotton on a vertisol. Field Crop. Res. 13: 159-175.

19- Hearn, A.B. 1975. Response of cotton to water and nitrogen in a tropical environment. I. Frequency of watering and method of application of nitrogen. J. Agric. Sci., Camb. 84:407-417.

20- Hearn, A.B. and G. A. Constable. 1984. Cotton. In:P>R. Goldsworthy and N.M. Fisher (ed). P. 495-528. The physiology of tropical field crops. J.ohn willey. N.Y.

21- Mateos, L., J. Brengena. F. Orgaz. T. Diz., and E. feres. 1991. Comparison between drip and furrow Irrigation in cotton at tow levels of water supply Agric. Water. Manag. 19:313-324.

22-Mullins, G. L., and C.H.Burmester . 1990. Dry mater. Nitrogen phosphorus, and potassium accumulation by four cotton varieties. Agron J. 82: 729-736.

23-Radin, J. W., L.L. Reaves, L. R. Mauney, and O. F. French. 1992. Yield enhancement in cotton by frequent irrigation during fruiting. Agron. J. 84: 551-557.

24-Radin, J. W., J. R. Mauney., and G. Guinn. 1985. Effects of N fertility on plant water relations and tomatal responses to water stress in irrigated cotton. Crop Sci 25: 110-114.

Investigation the effects of different amount of N-fertilizer and irrigation water on the yield of cotton in Kashmar

Hamidreza Zabihi[1], Mansoureh Pishbin[2]

1- Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research and Education center, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Mashhad,Iran. zabihi_hamidreza@yahoo.com
2- Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resource Research and Education center, Agricultural Research, Education and Extension Organization(AREEO), Mashhad,Iran

ABSTRACT

In order to investigation the effects of different amount of N-fertilizer and irrigation water on the yield of cotton(Veramin), a split plot experiment with three levels of irrigation water(45; 60; 75 mm Evaporation from class A pan) and five levels of nitrogen(0; 60; 120; 180; 240 kg N/ha) was conducted in a Randomized Complete Block Design with three replication in Kashmar agriculture and natural resource station in a Silty loam textured soil with EC=2.2 dS/m, pH=7.8. Results showed that the effect of Nitrogen treatment on cotton yield, boll number, side branch number, and plant height was significant and the greatest cotton yield, boll number, side branch number, and plant height was obtained from N4 treatment and irrigation at 75 mm evaporation from class A pan. When irrigation water decreased N-use efficiency decreased as well.In general results of this experiment showed that the best treatment was irrigation with 75 mm evaporation from class A pan and 180 kg N/ha.

Key words: Irrigation, Cotton, Nitrogen

برآورد رطوبت خاک در مقیاس مزرعه با استفاده از روش ذوزنقه نوری

شکوفه شکری[۱]، احمد فرخیان‌فیروز ی[۲]، ابراهیم بابائیان[۳]

۱- دانشجوی دکتری منابع خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران (sh-shokri@stu.scu.ac.ir)

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران (a.farrokhian@scu.ac.ir)

۳- استادیار پژوهش، گروه علوم محیط زیست، دانشگاه آیزونا، آمریکا (ebabaeian@arizona.edu)

چکیده

برآورد رطوبت خاک در برنامه‌ریزی آبیاری محصولات کشاورزی اهمیت فراوانی دارد. هدف این پژوهش ارزیابی مدل انعکاس امواج مادون قرمزکوتاه عبوری (OPTRAM) در برآورد و پایش رطوبت خاک در مقیاس مزرعه در اراضی کشت و صنعت نیشکر امیر کبیر بوده است. بدین منظور، مشاهدات سنجش از دور نوری برای تخمین رطوبت خاک استفاده شد. تصاویر سال ۱۳۹۹ ماهواره سنتینل۲ طی فصل رشد گیاه گردآوری شد. نتایج نشان داد که برآورد رطوبت خاک مبتنی بر مدل ذوزنقه نوری دارای دقت به میزان R= 0.71 و $RMSE= 0.06\ cm^3\ cm^{-3}$ برای منطقه مورد مطالعه و پوشش گیاهی نیشکر است. نتایج نشان داد این مدل برای برای پایش و بهبود برنامه ریزی آبیاری در کشاورزی دقیق مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: ذوزنقه نوری، رطوبت خاک، سنتینل۲

مقدمه

رطوبت خاک یکی از متغیرهای کلیدی است که با کنترل فرآیند تبخیر و تعرق بر چرخه‌ی آب و تبادل حرارت بین زمین و اتمسفر تأثیر می‌گذارد. پایش مستمر رطوبت خاک اراضی کشاورزی، به برنامه‌ریزی آبیاری محصولات به شکلی مؤثر کمک می‌کند. رحمانی ثقیه و همکاران (۱۳۹۲)، دقت و اثربخشی کشاورزی دقیق را به تحلیلِ به‌موقع رطوبت خاک وابسته دانسته‌اند و نامدار خجسته و همکاران (۱۳۹۰)، رطوبت خاک را در علوم کشاورزی بسیار حائز اهمیت توصیف کرده‌اند.

استفاده از روش‌های سنتی تعیین رطوبت خاک برای درک رفتار مکانی و زمانی این متغیر در سطوح وسیع کارا نمی‌باشند. برای رفع این مشکل در دو دهه‌ی گذشته تکنولوژی سنجش از دور (به خصوص در حوضه‌ی مرئی/مادون قرمز نزدیک و حرارتی) به طور گسترده برای تخمین غیرمستقیم رطوبت خاک مورد استفاده قرار گرفته است. بخشی از تحقیقات در حوزه‌ی تخمین رطوبت خاک به کمک فناوری سنجش‌ازدور، به رابطه‌ی بین دمای سطح، شاخص‌های گیاهی و رطوبت خاک پرداخته است. نتایج این مطالعات روش مثلث فراگیر می‌باشد که با تشکیل فضای دمای سطح زمین (LST[۱]) و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI[۲]) و ارتباط با تعدادی از نقاط کنترل رطوبت زمینی به بازیابی رطوبت خاک می‌پردازد (زارع پور ۱۳۹۱).

اما این مدل دو محدودیت دارد، نخست نیاز به داده‌های هم‌زمان نوری و حرارتی دارد بنابراین مدل برای ماهواره‌هایی که داده‌های حرارتی را ارائه نمی‌دهند، غیرقابل استفاده می‌کند. محدودیت دوم این است که دمای سطح زمین نه‌تنها تحت تأثیر رطوبت خاک، بلکه شرایط محیطی است. ازاین‌رو، مدل ذوزنقه نیاز به‌وقت و محاسبات برای کالیبراسیون در هر تاریخ مشاهداتی دارد.

برای غلبه بر این دو محدودیت، صادقی و همکاران (۲۰۱۷) مدل فیزیکی ذوزنقه نوری را برای اولین بار به‌منظور برآورد رطوبت خاک ارائه دادند. مدل ذوزنقه نوری که از تفاضل شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و طول‌موج کوتاه مادون‌قرمز (SWIR) به‌دست می‌آید، برای محاسبه رطوبت خاک استفاده می‌شود.

[1] Land Surface Temperature
[2] Normalized difference vegetation index

این مدل نیازی به باند حرارتی ندارد، ازاین‌رو، برای ماهواره‌هایی که تنها باندهای نوری ارائه می‌دهند نیز قابل‌استفاده است. با توجه به جایگزینی دمای سطح زمین (LST) به بازتاب طول‌موج کوتاه مادون‌قرمز (SWIR)، این پارامتر با شرایط محیطی تغییر نمی‌کند. به‌این‌ترتیب مدل ذوزنقه نوری می‌تواند به‌طور جهانی برای هر مکان مشخصی پارامتربندی شود (Babaeian, et. al. 2018).

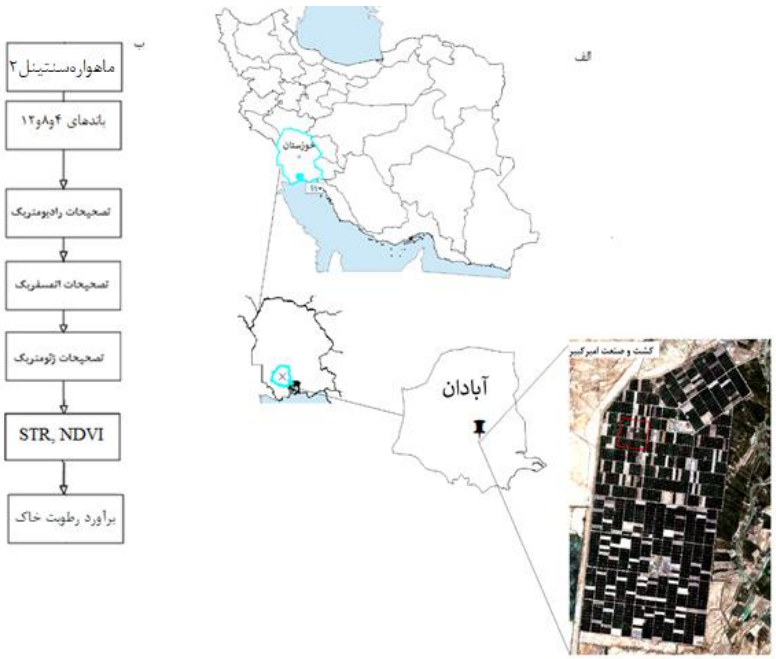
مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال زراعی ۱۳۹۹ در مزارع کشت و صنعت امیرکبیر به منظور امکان نظارت و مدیریت بر فرآیند پایش و مدیریت مصرف آب، اجرا شد. این کشت‌وصنعت در ۴۵ کیلومتری جاده اهواز- خرمشهر واقع در جنوب استان خوزستان است.

مختصات نقاط تعیین شده به صورت یک فایل نقطه ای در نرم افزار ArcGIS ذخیره گردید و فایل ذخیره شده به دستگاه GPS جهت مراجعات صحرایی و نمونه برداری انتقال یافت. نمونه‌ها با توجه به وضعیت پوشش زمین، از اراضی بدون کشت، با تراکم پوشش گیاهی کم تا زیاد در طول فصل رشد برداشت شدند. مقدار رطوبت حجمی لایه سطحی خاک ۱۰-۰ سانتی‌متر در محل دقیق نقاط نمونه‌برداری با استفاده از روش انعکاس سنجی حوزه زمانی (TDR) منطبق با گذر ماهواره سنتینل۲ از مناطق مطالعاتی اندازه‌گیری شد و به‌عنوان سری داده‌های واسنجی به‌منظور اشتقاق مدل ذوزنقه نوری مورداستفاده قرارگرفت.

در این پژوهش از نرم‌افزارهای Arc GIS 10.2، ENVI 5، SNAP، Matlab و Excel استفاده شد.

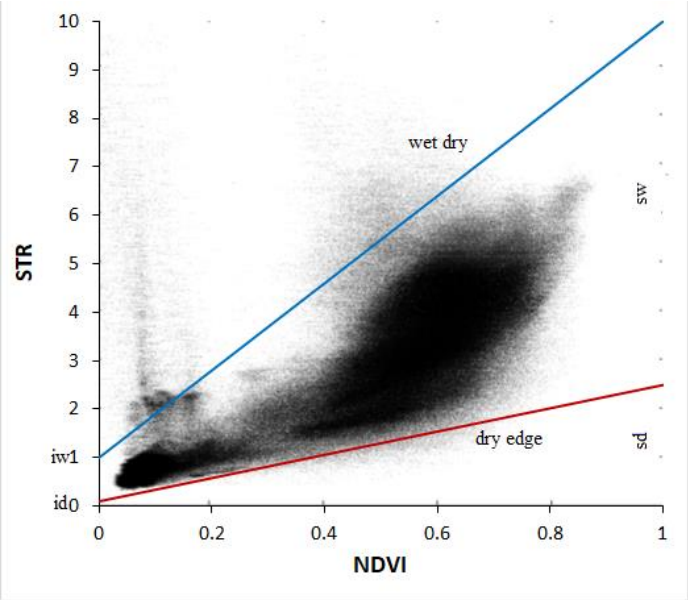
مراحل اجرای این روش به همراه موقعیت منطقه مطالعاتی در شکل ۱نشان داده شده است.



شکل ۱- الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه ب) مراحل اجرای مدل و برآورد رطوبت خاک

بعد از پیش پردازش تصاویر، مقادیر درجات خاکستری(Digital Number-DN) باندهای انعکاسی به ضریب بازتاب تبدیل شدند.

با فرض روابط خطی تجربی بین STR_d و STR_w با شاخص تفاضلی پوشش‌گیاهی، لبه‌های خشک و مرطوب ذوزنقه نوری با استفاده از نرم‌افزار Matlab برازش داده شد (شکل ۲):



شکل ۲:مدل ذوزنقه نوری اندازه‌گیری شده به همراه لبه‌های بالایی مرطوب و پایینی خشک برای مزارع نیشکر (STR فرم تبدیل یافته انعکاس در دامنه SWIR می‌باشد)

$$STR_d = i_d + s_d NDVI \quad (۱)$$

$$STR_w = i_w + s_w NDVI \quad (۲)$$

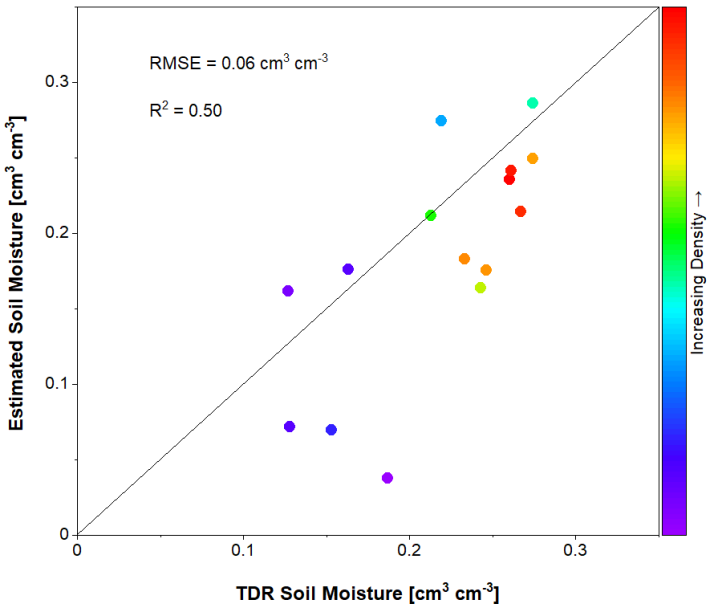
که i_d و s_d جداکننده و شیب لبه خشک و i_w و s_w جداکننده و شیب لبه‌ی مرطوب هستند. بر اساس معادلات بالا و با داشتن مقدار STR و شاخص NDVI معادله رطوبت خاک محاسبه شد:

$$W = \frac{i_d + s_d NDVI - STR}{i_d - i_W + (s_d - s_W)NDVI} \quad (۳)$$

که در آن $STR=1-R_{SWIR}/2*R_{SWIR}$، و W درجه اشباع نسبی خاک است که با ضرب‌در مقادیر تخلخل خاک به مقدار رطوبت حجمی تبدیل شد.

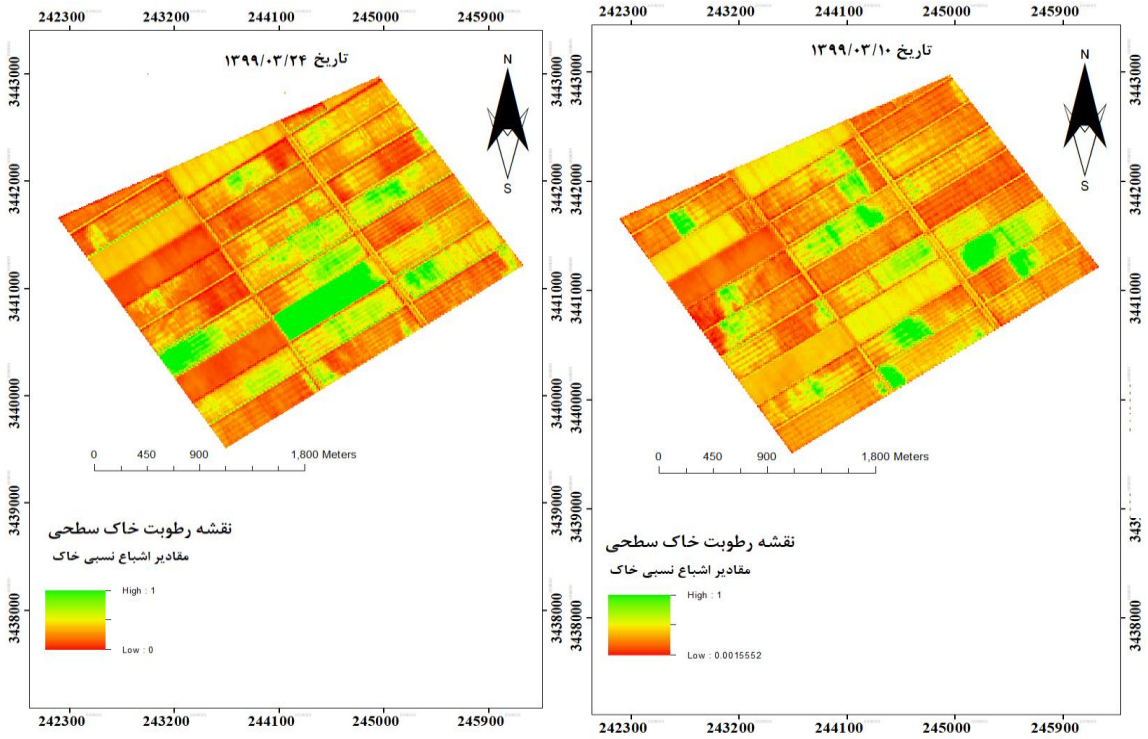
نتایج و بحث

شکل ۲ میزان همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآوردی رطوبت خاک آمده ارا با R= 0.71، R^2= 0.50 و RMSE= 0.06 نشان می‌دهد.



شکل ۳: دقت و همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر برآوردی حاصل از مدل ذوزنقه نوری

در معادله ذوزنقه نوری رابطه مقدار خاک، پوشش گیاهی و آب خطی است. برای خاک‌های دارای پوشش گیاهی، رطوبت خاک برآوردی این مدل با رطوبت خاک ریشه ارتباط دارد، زیرا وضعیت رطوبت خاک بر وضعیت آب پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد و بنابراین ویژگی‌های طیفی پوشش‌گیاهی را تغییر می‌دهد (Babaeian, et. al. 2018). بنابراین با این مدل می‌توان برآوردی سریع، آسان و مقرون به صرفه در طول زمان و مکان از وضعیت مزارع داشت. شکل‌های ۴ دو نقشه های مدل برآوردی رطوبت خاک سطحی در خردادماه ۱۳۹۹ را نشان می‌دهند.



شکل ۴: نقشه های رطوبت اشباع نسبی حاصل از مدل در دو تاریخ مختلف از دوره رشد نیشکر

به طور کلی هنگامی که خاک رطوبت دارد تیره تر است، اما کاهش سطح بازتاب به سرعت باعث کم شدن حساسیت در ناحیه مرطوب خاک می شود، این رفتار بویژه در باند های مرئی (آبی و سبز)، جایی‌که خاک در ابتدا تاریک است و وقتی که رطوبت به سطح اشباع بحرانی می رود پس از آن روشن تر می‌شود، دیده می‌شود. اما با توجه به نتایج به دست آمده بازتاب طول‌موج کوتاه مادون‌قرمز SWIR پتانسیل بالای این باند برای برآورد رطوبت خاک نشان می‌دهد. این مطالعه بیشتر یافته های قبلی را تایید می‌کند. طول موج SWIR موجب فراهم آوردن باندهای بهینه در محدوده‌ی طول موج بین ۳۵۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر برای برآورد رطوبت خاک با استفاده از سنجش از دور نوری می‌شود. به دلیل اینکه طول موج SWIR بالاترین حساسیت بازتابی به تنوع رطوبت خاک و کمترین وابستگی به مقادیر بازتابی خاک (به عنوان متغیر مکانی) را ارائه می دهد.

فهرست منابع

رحمانی ثقیه، ج. قائمی، ع.الف. ۱۳۹۲. اثر شوری بر کاربرد حسگرهای هوشمند در تعیین رطوبت خاک. مجله مدیریت آب و آبیاری. دوره ۳. شماره۲. ص: ۱۴۶-۱۳۵.

زارع نژاد، ف. ۱۳۹۱. تخمین رطوبت سطحی خاک با استفاده از روش مثلث بهبود یافته و شاخص گیاهی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه اصفهان، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی نقشه برداری.

نامدارخجسته، د. شرفا، م. امید،م. ۱۳۹۰. برآورد رطوبت حجمی خاک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. سال پنجم- شماره ۱۴- بهار ۱۳۹۰.

Babaeiana, E., Sadeghib, M., E. Franzc, T., Jonesb, S., Tullera. M. 2018. 2018. Mapping soil moisture with the OPtical TRApezoid Model (OPTRAM) based on long-term MODIS observations. Remote Sensing of Environment 211 (2018) 425–440.

Sadeghi, M., Babaeian, E., Tuller, M., B. Jones, S.(2017). The optical trapezoid model: A novel approach to remote sensing of soil moisture applied to Sentinel-2 and Landsat-8 observations. Remote Sensing of Environment 198 (2017) 52–68.

.

Estimation of Soil Moisture at theField Scale with the Optical Trapezoidal Model

Shokoufeh Shokri, Ahmad Farrokhian Firouzi, Ebrahim Babaeian

PhD candidate Soil Resources Management, Shahid Chamran University of Ahvaz (sh-shokri@stu.scu.ac.ir)

Associate Professor, Soil Science and Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz (a.farrokhian@scu.ac.ir)

Research Assistant Professor, Department of Environmental Science, the University of Aizona (ebabaeian@ arizona.edu)

Abstract

Estimation of soil moisture is of crucial importance for irrigation scheduling of agricultural crops. The objective of this study was to evaluate the performance of OPtical TRApezoid Model (OPTRAM) in estimating and monitoring soil moisture of sugarcane croplands in Amir Kabir Agro-industry. For this reason, OPTRAM in conjunction with optical remote sensing observations was used to estimate soil moisture content. Sentinel-2 satellite optical data were collected throughout the plant growing season in 2020. The results indicated that the OPTRAM-based soil moisture estimates have RMSE and R values of 0.06 cm^3 cm^{-3} and 0.71, respectively, for the used fields and crop. In conclusion, The optical model can be applied to improve irrigation scheduling and water management for precision agriculture applications.

Keywords: The OPtical TRApezoid Model, Sentinel 2, soil surface moisture

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

بررسی روند تغییرات مقدار و فراوانی بارش‌های با شدت کم در استان کردستان

آرش رنجبر[1]، نیازعلی ابراهیمی پاک[2]، آرش تافته[1]

۱- استادیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. (Arashranjbar@ut.ac.ir)

۲- دانشیار، بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده

یکی از مشکلات ناشی از تغییر اقلیم، گرم‌تر شدن زمین و تغییرات شدت بارش و تبخیر و تعرق در مناطق مختلف دنیا است. از نقطه نظر کشاورزی، معمولا رخدادهای بارش با شدت کمتر از پنج میلیمتر نقش چندان موثری در تأمین نیاز آبی گیاه نخواهند داشت و اغلب این بارش‌ها قبل از اینکه به مصرف گیاه برسد تبخیر می‌شوند و نباید به عنوان بارش موثر به حساب بیایند. هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات بلندمدت مقدار و فراوانی بارش‌های با شدت کم در استان کردستان، به عنوان یکی از مناطق مستعد کشت دیم در ایران است. بدین منظور از داده‌های اقلیمی سی ساله (۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶) چهار ایستگاه سینوپتیک سنندج، بیجار، قروه و سقز استفاده شد. به منظور بررسی روند تغییرات سری‌های زمانی از آزمون ناپارامتریک من -کندال و برای محاسبه شیب خط روند از روش تخمینگر Sen استفاده شد. نتایج نشان دادند که در ایستگاه‌های مورد بررسی، علاوه بر اینکه شیب مقدار کل بارش طی سی سال گذشته کاهشی بوده است، تعداد بارش‌های با شدت کم بیشتر شده است. به این ترتیب می‌توان گفت در این سال‌ها، بارش‌های کمتری قادر به تامین نیاز آبی گیاه در کشت دیم بوده‌اند. این روند کاهشی مقدار و شدت بارش‌ها به خصوص در فصل زمستان و بهار که تامین کننده سهم بالایی از نیاز آبی گندم دیم هستند از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین نتایج نشان دادند که پارامتر ETo طی همین سال‌ها با شیب مثبتی افزایش داشته است. با این شرایط، احتمال اینکه بارش‌های با شدت کم به مصرف گیاه برسد و صرف تبخیر و تعرق نگردد بسیار پایین بوده است و باید تمهیدات جدی تری برای مدیریت آب در کشت دیم صورت بگیرد.

واژه‌های کلیدی: روند بارش شدت کم، کشت دیم، آزمون من- کندال،آزمون تخمینگر شیب Sen

مقدمه

کشاورزی دیم در دنیا نقش بسزایی در تامین غذای انسان و دام دارد (Rockström et al., 2010). تنش رطوبتی، هر چند کوتاه مدت، تأثیر چشمگیری بر عملکرد سالانه محصولات در کشت دیم خواهند داشت (Bauer et al., 2009). تنش رطوبتی ایجاد شده لزوما به دلیل کاهش مقدار بارش سالانه نیست. در مواردی مشاهده شده که میانگین بارش فصلی و سالانه تغییر نکرده است اما کاهش عملکرد محصول ایجاد شده است. بنابراین، علاوه بر میانگین بارش کل، الگوی توزیع بارش (شدت و تعداد رخداد) در طول فصل رشد از اهمیت بالایی در دستیابی به عملکرد پتانسیل در کشت دیم برخوردار است (Kistner et al., 2018). هر چقدر تعداد رخداد بارش (فراوانی) در یک بازه زمانی بیشتر باشد، تناوب مرطوب شدن خاک بیشتر می‌شود. البته باید توجه داشت که همه مقدار بارش به مصرف گیاه نمی‌رسد و فقط بخشی از آن مورد استفاده گیاه قررا می‌گیرد.

از نقطه نظر کشاورزی، بخشی از بارش که به خاک نفوذ کرده و مستقیما به مصرف گیاه می‌رسد، بارش موثر نامیده می‌شود. معمولا رخدادهای بارش با شدت کوچکتر از پنج میلیمتر نقش چندان موثری در تأمین نیاز آبی گیاه نخواهند داشت و فقط موجب افزایش رطوبت لایه سطحی خاک و محیط اطراف می‌گردد و توسط تبخیر از سطح گیه و خاک به اتمسفر بر می‌گردد. به همین دلیل، در مطالعات تخمین عملکرد کشت دیم معمولا رخدادهای بارشی که کمتر از پنج میلیمتر در روز باشند، به عنوان بارش مؤثر مد نظر قرار نمی‌گیرد (Goswami et al., 2006; Sohoulande et al., 2019). با این وجود، بسیاری از رخدادهای بارش را نمی‌توان با قطعیت برای کشت دیم مفید به شمار آورد. البته مفید یا غیر مفید بودن مقدار بارش برای کشت دیم، بجز شدت و تعداد بارش، به پارامترهای دیگری نظیر، نوع گیاه، مرحله رشد، اقلیم منطقه، شدت تبخیر در زمان وقوع و .... بستگی دارد. بنابراین، محدوده ۵ میلیمتر در روز در بسیاری از دستورالعمل‌های برنامه‌ریزی‌های آبیاری و مطالعات روند و اثر بارش، به عنوان یک آستانه حداقلی بکار رفته است (Sala and Lauenroth, 1982; Goswami et al., 2006). برای مثال، Mulhouse et al (۲۰۱۷) رویدادهای بارشی با شدت بیشتر از ۵ میلیمتر در روز را برای بررسی پاسخ گیاهان به زمان بارش در نظر گرفتند. علاوه بر این،Sohoulande et al (۲۰۱۹) با در نظر گرفتن آستانه شدت ۵ میلیمتر در روز به عنوان حداقل بارش موثر، الگوی بارش فصلی برای کشاورزی دیم در منطقه جنوب شرقی ایالات متحده را بررسی کردند.

طی دو دهه گذشته، مطالعات بسیاری به منظور بررسی روند بارش سالانه و فصلی در مناطق مختلف ایران (خلیلی و بذرافشان، ۱۳۸۳، تهرودی و همکاران، ۱۳۹۵، درگاهیان و لطفی نسب اصل، ۱۳۹۹) انجام گرفته است. در حالی که مطالعات بسیار اندکی در مورد چگونگی تغییرات تعداد روزهای بارانی، شدت بارش و تأثیر آن بر روند بارش کل سالانه و فصلی صورت گرفته است. برای مثال، کتیرایی و همکاران (۱۳۸۶) روند بارش سالانه، تعداد روزهای بارانی سالانه و فصلی و شدت بارش روزانه در ایران را با دیدگاه هیدرولوژیکی و به منظور بررسی تغییرات بارش‌های سیلابی تحلیل کردند. در واقع در این دست مطالعات، همه بارش‌ها به عنوان بارش موثر تلقی می‌گردند. با توجه به اینکه رخدادهای بارش طی قرن بیستم میلادی دچار تغییرات معنی داری در مقیاس منطقه‌ای، به خصوص در در عرض‌های جغرافیایی میانی شده اند (Burn and Haj Alnur, 2002; Masman et al, 2004)، ضروری است تا تغییرات شدت و فراوانی بارش در بازه‌های زمانی بلند مدت در مناطق کشت دیم صورت گیرد تا امکان اعمال مدیریت های دقیق‌تر کشاورزی برای دستیابی به حداکثر عملکرد میسر شود. با توجه به موارد اشاره شده، هدف از مطالعه حاضر بررسی روند تغییرات مقدار و فراوانی بارش‌های با شدت کم در استان کردستان، به عنوان یکی از مناطق مهم کشت گندم دیم در ایران، می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

استان کردستان با وسعتی معادل ۲۹۱۳۷ کیلومتر مربع در قسمت غربی کشور ایران و در مجاورت مرز عراق قرار گرفته است. سنندج، قروه، سقز و بیجار از جمله مهمترین شهرستان‌های این استان می‌باشند. بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن توسعه یافته اقلیم سنندج دارای اقلیم مدیترانه ای سرد، سقز و بیجار دارای اقلیم نیمه مرطوب فراسرد، قروه نیمه خشک فراسرد می‌باشد (Ashori et al., 2014). تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در استان کردستان شامل سنندج، قروه و سقز و بیجار انجام گرفت. دلیل انتخاب ایستگاه‌ها، وجود داده‌های پیوسته و بلندمدت (حداقل ۳۰ ساله) و پراکندگی مناسب این شهرستان‌ها در کل سطح استان بود. داده‌های هواشناسی مورد استفاده برای انجام این پژوهش شامل پارامترهای تبخیر و تعرق مرجع (ETo) روزانه و بارش روزانه (P) در بازه زمانی ۳۰ ساله از ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۶ (۱۹۸۸ تا ۲۰۱۸ میلادی) بود و مقادیر آن‌ها از سامانه نیاز آبی گیاهان کشور که توسط موسسه تحقیقات خاک و آب توسعه داده شده است، اخذ شد. مقادیر ETo در سامانه مذکور با استفاده از روش پنمن مانتیث پیشنهاد شده در نشریه فائو ۵۶ (Allen et al., 1998) محاسبه شده است. داده‌های پرت که انحراف

زیادی از میانگین مجموعه داده‌ها داشتند حذف و به جای آنها از میانگین دراز مدت استفاده شد. سری‌های سالانه بارش روزانه ایستگاه‌های مورد بررسی نیز محاسبه شدند و همگنی آنها با استفاده از روش Pettitt (۱۹۷۹) و نرم افزار XLSTAT مورد آزمون قرار گرفت.

به منظور بررسی تغییرات روند مقدار و فراوانی بارش با شدت‌های کم، داده های بارش به دو بخش کمتر از ۵ میلیمتردر روز (بارش با شدت کم) و بزرگتر مساوی ۵ میلیمتر در روز (بارش با شدت متوسط تا زیاد) تقسیم شدند. با توجه به مطالعاتی که در بخش مقدمه به آن‌ها اشاره شد، فرض بر این بود که بارش‌های با شدت کمتر از ۵ میلیمتر در روز عملا تاثیر معنی‌داری در تامین نیاز آبی گیاه نمی‌توانند داشته باشند. بنابراین روند تغییرات مقدار و فراوانی رخداد بارش برای هر دو بخش داده‌های بارش در هر چهار ایستگاه و در طول مدت زمانه اشاره شده محاسبه شد. علاوه بر این، روند تغییرات ETo در طی دوره مطالعاتی در ایستگاه‌ها نیز محاسبه شد. سپس نتایج بدشت آمده از بررسی تغییرات احتمالی بارش با تغییرات احتمالی ETo در هر ایستگاه تحلیل شد.

آزمون های روندیابی

برای تعیین وجود روند در هر یک از سری های بارش و ETo، در هر ایستگاه و برای هر فصل و سال، از آزمون ناپارامتریک من-کندال و برای تعیین اندازه شیب روند از آزمون ناپارامتریک تخمینگر شیب Sen در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد استفاده شد. آزمون های ناپارامتری به دلیل اینکه در آنها توزیع احتمال سنجهٔ آزمون به شکل توزیع دیده بانی ها بستگی ندارد، عمومیت زیادی دارند. زیرا تحت تأثیر مقادیر غیر معمول و دور افتاده در داده ها قرار نم یگیرند و در نتیجه نسبت به خطاهای احتمالی در داده‌ها، مقاوم هستند (Lanzante, 1996).

آماره Z از آزمون من- کندال بدست می‌آید و در آزمون دو طرفه روند، اگر قدر مطلق آن در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد به ترتیب کوچکتر از ۱/۹۶ و ۲/۵۷۵ باشد باید فرضیه H0 (قبول تصادفی بودن سری داده‌ها) را پذیرفت و در غیر این صورت باید فرضیه H1 (وجود روند در داده‌ها) را قبول کرد. جهت برآورد نمودار شیب واقعی روند در سری زمانی بارش از روش ناپارامتریک Sen استفاده شد. در این روش شیب خط با استفاده از معادله زیر تعریف می‌شود :

$$f(t) = Qt + B \qquad (۳)$$

در این رابطه، Q شیب خط روند و B مقدار ثابت عرض از مبدا می‌باشد (Vivekanandan, 2007).

بحث نتایج

نتایج نشان داد که سری‌های بارش کل سالانه و فصلی مورد استفاده در این مطالعه در هر چهار ایستگاه همگن بودند. علاوه بر این، مشخص شد که روند مقدار بارش در شدت‌های کم و شدت‌های متوسط تا زیاد طی سال‌های مورد بررسی در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد معنی‌دار نبودند. اما آماره Z و شیب خط بدست آمده از آزمون Sen محاسبه شده حاکی از شیب کاهشی مقدار بارش در هر دو بخش داده‌ها بود که در جدول ۱ ارائه شده است. بنابراین، مقدار بارش کل در هر چهار ایستگاه طی سی سال گذشته شیب کاهشی داشته است. مطالعات قبلی انجام شده نیز روند کاهشی بارش سالانه در منطقه غرب کشور را گزارش داده بودند (تهرودی و

همکاران، ۱۳۹۵، علیجانی و همکاران، ۱۳۹۱، معروفی و همکاران، ۱۳۹۰). شیب کاهشی بارش‌های با شدت‌های بالای ۵ میلیمتر در روز بیشتر از دسته کمتر از ۵ میلیمتر در روز بود. به عبارت دیگر مقدار بارش‌های با شدت بالاتر، بیشتر کاهش یافته است. همچنین شدت کاهش بارش در ایستگاه‌های سقز و سنندج بیشتر از قروه و بیجار بود.

جدول ۱- آماره‌های آزمون من-کندال و سن در تحلیل روند تغییرات مقدار بارش سالانه

ایستگاه	شدت بارش (mm/day)	Qmed (mm)	Bmed (mm)	Z
سنندج	<۵	-0.213	68.346	-0.357
	≥۵	-2.550	332.400	-1.320
بیجار	<۵	-0.112	85.031	-0.678
	≥۵	-1.233	256.117	-0.696
قروه	<۵	-0.253	76.587	-0.785
	≥۵	-1.021	262.091	-0.856
سقز	<۵	-0.019	86.879	0.000
	≥۵	-2.914	393.612	-0.928

*- در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است.

در مقابل، روند تغییرات تعداد بارش در شدت‌های کم و شدت‌های متوسط تا زیاد برای ایستگاه‌های سنندج و قروه در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار بود و برای دو ایستگاه سقز و بیجار در هیچ سطحی معنی دار نبودند (جدول ۲). نتایج بدست آمده حاکی از این هستند که در دو ایستگاه سنندج و قروه روند تغییرات تعداد بارش‌های با شدت کم مثبت بوده و شیب افزایشی داشته است. در مقابل در ایستگاه‌های مذکور طی دوره مطالعاتی روند تغییرات تعداد بارش‌های با شدت بالا منفی بوده است و شیب کاهشی داشته است. این در حالی است که روند تعداد کل رخدادهای بارش در این دو ایستگاه نیز مثبت بوده است. به عبارت دیگر در سی سال گذشته، به طور متوسط تعداد بارش‌های با شدت کمتر افزایش معنی داری داشته است. در سقز نیز شرایطی مشابه با دو ایستگاه سنندج و قروه وجود داشته است. اما در ایستگاه بیجار شیب کاهشی برای هر دو دسته بارش‌های با شدت زیاد و کم وجود داشته است.

این نتایج حاکی از آن هستند که در ایستگاه‌های مورد بررسی استان کردستان، علاوه بر اینکه شیب مقدار کل بارش طی ۳۰ سال گذشته کاهشی بوده است، تعداد بارش‌های با شدت کم بیشتر شده است. به این ترتیب می‌توان گفت به طور متوسط طی ۳۰ سال گذشته، بارش‌های کمتری قادر به تامین نیاز آبی گیاه در کشت دیم بوده‌اند. این روند کاهشی مقدار و شدت بارش‌ها به خصوص در فصل زمستان و بهار که تامین کننده سهم بالایی از نیاز آبی گندم دیم هستند بسیار حائز اهمیت است. با این وجود، حتی اگر گیاه در بهترین تاریخ در فصل پاییز کشت شود و درصد بالایی از جوانه‌ها در فصل پاییز ایجاد شوند، اگر در فصل زمستان و بهار نیاز آبی گیاه تامین نشود کماکان کشت کاهش عملکرد را تجربیه خواهد کرد.

جدول ۲- آماره‌های آزمون من-کندال و سن در تحلیل روند تغییرات تعداد بارش سالانه

ایستگاه	شدت بارش (mm/day)	Qmed (mm)	Bmed (mm)	Z
سنندج	<۵	0.556	54.000	2.361*
	≥۵	-0.273	27.455	-2.188*
بیجار	<۵	-0.118	72.471	-0.465
	≥۵	-0.143	23.357	-1.309
قروه	<۵	0.800	53.200	2.432*
	≥۵	-0.174	23.543	-2.155*
سقز	<۵	0.111	56.278	0.591
	≥۵	-0.200	30.000	-1.737

*- در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی دار است.

به منظور بررسی شیب تغییرات ETo در طول دوره مطالعاتی لازم بود تا این پارامتر نیز روندیابی گردد. جدول ۳ تحلیل روند تغییرات ETo سالانه را نشان می‌دهد. نتایج ارائه شده در این جدول حاکی از آن است که به جز فصل پاییز در سه ایستگاه قروه، سقز و بیجار، روند تغییرات ETo در سایر فصول چهار ایستگاه مورد بررسی مثبت و معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد است. به عبارت دیگر، طی ۳۰ سال گذشته، پارامتر ETo در استان کردستان با شیب مثبتی افزایش داشته است در حالی که مقدار بارش سالانه با شیب منفی کاهش داشته و شیب تغییرات تعداد بارش‌های با شدت کم نیز افزایشی بوده است. با این شرایط، احتمال اینکه بارش‌های با شدت کم به مصرف گیاه برسد و صرف تبخیر و تعرق نگردد بسیار پایین خواهد بود و باید تمهیدات جدی تری برای مدیریت آب در کشت دیم صورت بگیرد.

نتیجه گیری

از نقطه نظر کشاورزی، بارش‌های با شدت کم (کمتر از ۵ میلیمتر در روز) معمولا توانایی تامین نیاز آبی کشت دیم را نخواهد داشت و بیشتر صرف تبخیر از سطح گیاه و خاک خواهد شد. در این مطالعه روند تغییرات مقدار و فراوانی بارش‌های با شدت کم و متوسط تا زیاد (بزرگتر از ۵ میلیمتر در روز) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که طی دوره سی ساله مورد بررسی، علاوه بر اینکه شیب مقدار کل بارش کاهشی بوده است، تعداد بارش‌های با شدت کم بیشتر شده است. به این ترتیب می‌توان گفت در این سال‌ها، بارش‌های کمتری قادر به تامین نیاز آبی گیاه در کشت دیم بوده‌اند. این روند کاهشی مقدار و شدت بارش‌ها به خصوص در فصل زمستان و بهار که تامین کننده سهم بالایی از نیاز آبی گندم دیم هستند از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین نتایج نشان دادند که پارامتر ETo طی همین سال‌ها با شیب مثبتی افزایش داشته است. بنابراین کل بارشی که اتفاق می‌افتد نمی‌تواند بارش موثر باشد و باید شدت بارش‌ها نیز در این محاسبات مورد توجه قرار گیرند. از این رو، لازم است تا روش‌های تخمین بارش موثر در مناطق مختلف مورد بررسی مجدد قرار گیرند تا تخمین‌های دقیق‌تری از بارش موثر برای تامین نیاز آبی کشت دیم محقق گردد.

جدول ۳- آماره‌های آزمون من-کندال و سن در تحلیل روند تغییرات ETo سالانه

	Time series	Qmed (mm)	Bmed (mm)	Test Z
قروه	سالانه	3.900	1203.455	3.64**
	بهار	1.316	388.909	2.605**
	تابستان	1.144	528.179	3.533**
	پاییز	-0.092	195.204	-0.250
	زمستان	1.369	98.518	3.14**
سقز	سالانه	6.402	1086.218	3.461**
	بهار	1.640	351.530	2.855**
	تابستان	2.864	492.191	4.246**
	پاییز	0.840	155.534	1.855
	زمستان	1.541	80.588	3.64**
سنندج	سالانه	13.450	1008.630	4.21**
	بهار	5.101	305.071	3.711**
	تابستان	4.640	471.975	3.497**
	پاییز	2.782	118.379	4.103**
	زمستان	2.614	73.925	4.746**
بیجار	سالانه	4.528	1145.126	3.818**
	بهار	0.907	384.775	2.034*
	تابستان	1.616	503.448	4.246**
	پاییز	0.042	179.976	0.107
	زمستان	1.561	86.354	3.604**

*و ** - به ترتیب در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنی دار است.

منابع:

#خلیلی، ع .و بذرافشان ج.، (۱۳۸۳) ، تحلیل روند تغییرات بارندگی های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه ، قدیمی ایران در ۱۱۶ سال گذشته، بیابان، ۹(۱). ۳۳-۲۵.

#درگاهیان, ف, لطفی‌نسب اصل, س. (۱۳۹۹). تغییرات زمانی و مکانی و روند بارش در حوزه‌های آبخیز منتهی به کانون‌های گرد و غبار استان خوزستان .طبیعت ایران،۵ (۳)، ۶۷-۵۹.

#کتیرایی, پری سیما, حجام, سهراب, نژاد, پرویز ایران. (۱۳۸۶). سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۱ .مجله فیزیک زمین و فضا, ۳۳(۱), ۶۷-۸۳.

#علیجانی، ب.، و محمودی، پ.، و چوگان، ع. (۱۳۹۱). بررسی روند تغییرات بارش های سالانه و فصلی ایران با استفاده از روش ناپارامتریک «برآورد کننده شیب سنس». پژوهش های اقلیم شناسی, ۳(۹), ۲۳- ۴۲.

#معروفی، ص.، و طبری، ح.، و آیینی، ع.، و معروفی، ح. (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات زمانی و خصوصیات مکانی بارش و خشک سالی هواشناسی, در غرب کشور طی چند دهه اخیر. علوم و مهندسی آب, ۱(۳), ۵۵-۷۲.

#ناظری تهرودی, م, خلیلی, ک, احمدی, ف. (۱۳۹۵). تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه ای بارش نیم قرن اخیر کشور ایران .آب و خاک(۲) ۳۰. ۶۵۴-۶۴۳.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. Fao, Rome. 1998;300(9):D05109.

#Ashori, Z., Moalemi. M., Khodadadi. A., and Torabinia. M.2014. Climatic zonation planting sunflower cultivation in Kurdistan Province. International journal of Advanced Biological and Biomedical Research. Volume 2, Issue 4(2), 2014: 243-247.

#Bauer, P.J., Foulk, J.A., Gamble, G.R., Sadler, E.J., 2009. A comparison of two cotton cultivars differing in maturity for within-canopy fiber property variation. Crop Sci. 49 (2), 651-657

#Burn, D. H., and Haj Alnur, M. A., 2002, Detection of hydrologic trends and variability, J. Hydrol., 255, 107-122.

#Goswami, B.N., Venugopal, V., Sengupta, D., Madhusoodanan, M.S., Xavier, P.K., 2006. Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment. Science 314 (5804), 1442–1445.

#Kistner, E., Kellner, O., Andresen, J., Todey, D., Morton, L.W., 2018. Vulnerability of specialty crops to short-term climatic variability and adaptation strategies in the midwestern USA. Clim. Change 146 (1-2), 145-158.

#Lanzante, J. R., 1996, Resistant, roubust and nonparametric techniques for the analysis of climate data: theory and examples including applications to historical radiosond station data, Int. J. Climatol., 16, 1197-1226.

#Mulhouse, J.M., Hallett, L.M., Collins, S.L., 2017. The influence of seasonal precipitation and grass competition on 20 years of forb dynamics in northern Chihuahuan Desert grassland. J. Veg. Sci. 28 (2), 250-259.

#Masman, V., Castro, A., Fraile, R., Dessens, J. D., Sanchez, J. L., 2004, Detection of statistically significant trends in the summer precipitation of main land Spain, Atmos. Res., 70, 43-53.

#Pettit, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point detection. Applied Statistics, 28(2): 126-135.

#Rockstrom, J., Karlberg, L., Wani, S.P., Barron, J., Hatibu, N., Oweis, T., Bruggeman, A., Farahani, J., Qiang, Z., 2010. Managing water in rainfed agriculture−The need for a paradigm shift. Agric. Water Manage. 97 (4), 543-550.

#Sala, O.E., Lauenroth, W.K., 1982. Small rainfall events: an ecological role in semiarid regions. Oecologia 53 (3), 301-304.

#Sohoulande, C.D., Stone, K., Szogi, A. and Bauer, P., 2019. An investigation of seasonal precipitation patterns for rainfed agriculture in the Southeastern region of the United States. Agricultural Water Management, 223, p.105728.

#Vivekanandan, N. (2007), Analysis of Trend in Rainfall Using Non Parametric Statistical Methods, international symposium on rainfall rate and radio wave propagation, American institute of physics. P101-113.

بررسی اثر طول شیار و دبی جریان بر غلظت و توزیع اندازه ذرات رسوب

سمانه آقائی[1]، حسین اسدی[2]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه تهران، دانشجوی دکتری دانشگاه زنجان

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، (ho.asadi@ut.ac.ir)

چکیده

آگاهی از تغییرات غلظت و توزیع اندازه ذرات رسوب در شیارهای با طول مختلف در درک فرایندهای فرسایشی ناشی از جریان بسیار موثر است. این مطالعه با هدف بررسی اثر طول شیار و دبی جریان بر تلفات خاک (غلظت و توزیع اندازه ذرات رسوب)تحت شرایط طبیعی در مزرعه دانشگاه تهران انجام شد. برای اجرای تحقیق، تعداد هشت شیار با طول ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ متر، در یک زمین با شیب ۵ درصد در دو تکرار ایجاد شد. اندازه‌گیری‌ها در سه دبی جریان حدود ۰/۰۵، ۰/۱۲ و ۰/۲۵ لیتر در ثانیه انجامشد. در هر آزمایش که به مدت ۳۰ دقیقه به طول می‌انجامید، رواناب خروجی از شیارهای اصلی، در فواصل زمانی مختلف جمع‌آوری و غلظت و توزیع اندازه ذرات رسوب تعیین گردید. نتایج بیانگر تغییرات دینامیک غلظت رسوب و توزیع اندازه ذرات رسوب با دبی و طول شیار است. به نظر می‌رسد که با افزایش غلظت رسوب توانایی جریان برای جدا کردن ذرات کمتر شده و از میزان غلظت رسوب در ادامه مسیر می‌کاهد. نتایج همچنین نشان داد که توزیع اندازه ذرات رسوب در شروع آزمایش در دبی‌های کمتر، درشت‌تر از خاک اصلی و با افزایش میزان دبی بسیار ریزتر از خاک اصلی بوده و با گذشت زمان درشت‌تر می‌شود.

کلید واژه‌ها:خاک اصلی، ذرات اولیه و ثانویه خاک، رواناب، غلظت رسوب، فرسایش شیاری

مقدمه

فرسایش شیاری یکی از فرایندهای مهم فرسایش آبی در زمین‌های کشاورزی (Shen etal., 2015)،اراضی شیبدار و مراتع است و در بسیاری از مناطق جهان منجر به هدررفت مقدار زیادی خاک می‌شود. فرسایش شیاری علاوه بر اینکه منجر به هدررفت خاک می-شود، لندفرم پایداری مانند آبکند را ایجاد می‌کند (Wirtz et al., 2010). در مطالعات فرسایش لازم است طول شیار به اندازه کافی باشد تا بار رسوب به ظرفیت حمل رسوب برسد (Huang et al., 1996). در صورتی که شیار طول کافی نداشته باشد یا طوری باشد که در شرایط محدود کننده فرایند جداشدن قرار داشته باشد، در این صورت تولید رسوب با افزایش شدت جریان، افزایش نمی‌یابد. از طرفی اگر طول شیار به اندازه کافی طولانی باشد و جریان در رژیم محدودکننده حمل رسوب قرار گیرد، در این صورت شدت تولید رسوب در طول‌های بیشتر از آن، تابعی از طول شیار نبوده و لذا در طول شیارهای بلندتر، تولید رسوب توسط فرایندهای جداشدن کنترل نمی‌شود. اثر طول یا مقیاس بر فرسایش شیاری در برخی از مطالعات (به عنوان مثال، ذرتی‌پور و همکاران،۱۳۹۴؛ Lei et al., 2001؛ Huang etal., 2015) بررسی شده و روابطی نیز بین طول شیار و غلظت رسوب (Lei et al., 2001) ارائه شده است.برخی از این روابط نشان می‌دهد که میزان غلظت رسوب با افزایش طول شیار، تا رسیدن به میزان حداکثر ظرفیت انتقال افزایش می‌یابد. نتایج ذرتی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که با دو برابر شدن طول پلات آزمایشی از ۶ متر به ۱۲ متر، میزان فرسایش شیاری حدود ۲/۱ برابر افزایش می‌یابد. با این وجود هنوز رابطه قطعی بین طول شیار و تلفات خاک و نیز حدود آستانه مشخصی برای این اثر ارائه نشده است و اثر نوع خاک و دبی جریان نیز بر آن کاملا مشخص نیست.

آگاهی از توزیع اندازه ذرات رسوب تولید می‌تواند از جهات مختلفی از جمله تعیین فرایندهای غالب موثر در انتقال رسوب دارای اهمیت باشد (Asadi et al., 2007a,b). اسدی و همکاران (۲۰۰۷، ب) به این نتیجه رسیدند که توزیع اندازه ذرات رسوب به صورت دو نمایی و شامل دو بخش ذرات خیلی ریز و متوسط تا درشت است. آنها نتیجه گرفتند فرایندهای مختلف موجب انتقال ذرات با اندازه‌های مختلف می‌شوند. با توجه به اهمیت و ضرورت مسئله، هدف این تحقیق بررسی اثر طول شیار و دبی جریان بر تلفات خاک (غلظت رسوب) و توزیع اندازه ذرات رسوب تحت شرایط مزرعه بود.

مواد و روش‌ها

یک قطعه زمین با شیب پنج درصد وبا کاربری زراعی در مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج، به عنوان مکان اجرای آزمایش‌های مزرعه‌ای انتخاب شد. برای انجام تحقیق، شیارهایی با طول ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ متر ایجاد گردید و سه دبی جریان۰/۰۵، ۰/۱۲ و ۰/۲۵ لیتر بر ثانیه در دو تکرار اعمال شد. برای تعیین ویژگی‌ها، نمونه‌برداری از خاک از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری به صورت مرکب انجام شد. ویژگی‌هامورد اندازه‌گیری شامل؛ جرم مخصوص ظاهری، توزیع اندازه ذرات اولیه خاک(بافت خاک)، توزیع اندازه ذرات ثانویه خاک(به روش الک تر)، پایداری خاکدانه (الک تر)، کربن آلی، pH، EC، CEC بودند (جدول ۱). بافت خاک منطقه مورد مطالعه لوم شنی بوده و دارای خاکدانه‌های نسبتا پایدار در آب می‌باشد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

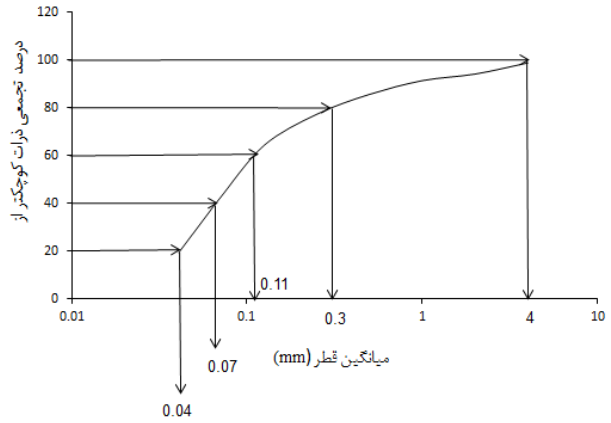
$CaCO_3$ (٪)	Ks (cm/h)	OM (٪)	EC (µS/cm)	pH	ρ_b (g/cm^3)	MWD (mm)	خاکدانه پایدار (٪)	رس (٪)	شن (٪)	سیلت (٪)
۶/۸۶	۱/۱۵	۰/۳	۲/۶۴	۷/۴	۱/۲۳	۰/۲۱	۵۷/۸۹	۱۶/۰۴	۵۴/۶۱	۲۹/۳۳

شیارهابه صورت مصنوعیتوسط شیارزن و بعد ازشخم و دیسک، و تسطیح زمین، ایجاد گردید. به منظور جلوگیری از حرکت ذرات خاک در ابتدای شیار، حوضچه‌ای با پوشش پلاستیکی ایجاد تا ورود جریانبه شیارها آرام و ثابت صورت گیرد. در انتهای پایین دست هر شیار، گودالی به عمق ۵/ ۰ متر برای جمع‌آوری رواناب و رسوب ایجاد شد. برای اندازه‌گیری فرسایش در هر شیار، دو شیار در دوطرف به عنوان حامی در نظر گرفته شد (اسدی و همکاران،۱۳۹۵). قبل از انجام هر آزمایش، خاک با یک جریان آرام غیر فرساینده به مدت یک شب (حداقل ۱۲ ساعت) اشباع شد. زمان اندازه‌گیری رواناب و رسوب پس از رسیدن جبهه آب به انتهای شیار بود. برای تعیین غلظت رسوب باشروع جریان در دبی و شـیب مشـخص، نمونه‌های رواناب به حجم تقریبی۲۰۰ میلی-لیتردرمدت زمان ۳۰دقیقه آزمایش در زمان‌های ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰و ۳۰ دقیقه با بشر جمع‌آوری و برای محاسبه غلظت رسوب مورد استفاده قرار گرفت. همچنین در بازه‌های زمانی مختلف نمونه رواناب برای تعیین توزیع اندازه رسوب به روش الک تر، برداشته شد.

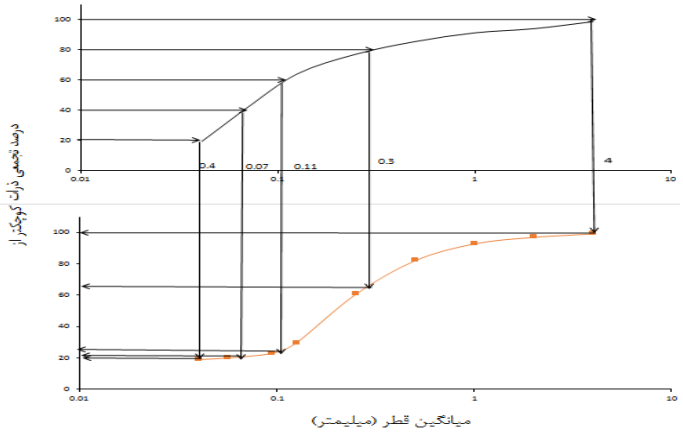
برای تحلیل فرایندهای انتقال ذرات با استفاده از توزیع اندازه ذرات رسوب، لازم است ابتدا اثر توزیع اندازه ذرات ثانویه (خاکدانه‌ها) خاک اصلی حذف شود (Asadi et al., 2007). این کار با تقسیم خاک به تعداد اختیاری (I) کلاس قطری با میزان جرم برابر در خاک اصلی انجام می‌شود. در این تحقیق؛ ابتدا با استفاده از منحنی ذرات ثانویه، خاک به پنج کلاس قطری (جدول۱) به گونه‌ای تقسیم شد که هر کلاس دارای جرم برابر (۲۰٪) در خاک اصلی باشد (شکل۱)، سپس، مقدار هر یک از کلاس‌های قطری در رسوب خروجی از شیار در زمان‌های مختلف تعیین شد (شکل ۱). برای این منظور از منحنی توزیع اندازه ذرات رسوب در زمان‌های مختلف و مرزهای هر کلاس قطری استفاده شد. در شکل ۱، توزیع اندازه ذرات رسوب در زمان ۶ دقیقه بعد از شروع آزمایش در شیار سه متری در دبی ۰/۰۵ لیتر بر ثانیه تعیین شده است.

جدول۱-کلاس‌های قطر پینجگانه مربوط به خاک اصلی برحسب میلی‌متر

شماره کلاس	دامنه قطر ذرات	متوسط قطر ذرات
۱	۰/۰۰-۰/۰۴	۰/۰۲
۲	۰/۰۴-۰/۰۷	۰/۰۵۵
۳	۰/۰۷-۰/۱۱	۰/۰۹
۴	۰/۱۱-۰/۳	۰/۲۰۵
۵	۰/۳-۴	۲/۱۵



شکل۱-مثالی از تفکیک توزیع اندازه ذرات ثانویه در نمونه خاک اصلی به پنج کلاس با درصد برابر

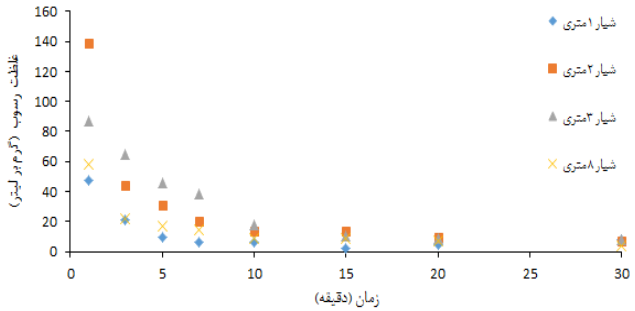


شکل ۲-تعیین درصد هر یک از کلاس‌های اندازه‌ای پنجگانه در رسوب با استفاده از منحنی توزیع اندازه ذرات همان خاک

نتایج و بحث

تغییرات غلظت رسوب با زمان

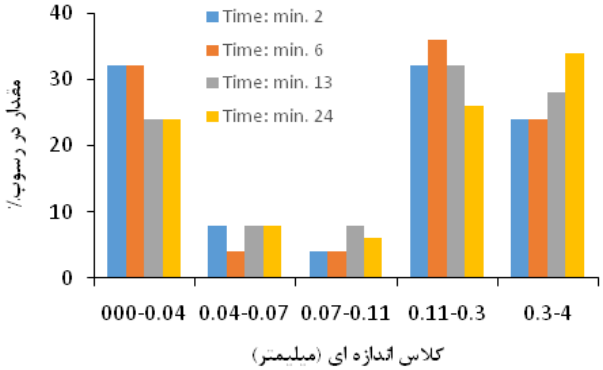
تغییرات زمانی غلظت رسوب در دبی۰/۱۲ لیتر بر ثانیه و طول شیارهای مختلف در شکل۳ آمده است. با توجه به شکل می‌توان نمودارها را به دو حالت ناپایدار و پایدار تفکیک نمود. میزان غلظت رسوب در زمان شروع آزمایش بالا بوده و سپس کاهش یافته و پس از گذشت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه از شروع آزمایش به حالت نسبتا پایداری می‌رسد. با گذشت زمان و کاسته شدن از ذرات از قبل جدا شده، شرایط جریان از حالت "حد توان حمل" خارج شده و در طی حدود ۱۰ تا ۱۵ دقیقه با اتمام ذرات از قبل جدا شده به شرایط محدودیت جدایش تغییر فاز می‌یابد که با توجه به توان کم و بیش ثابت جداسازی جریان این حد ثابت می‌ماند (به عنوان مثال؛ اسدی و همکاران،۱۳۸۴، Merten et al., 2001). نکته قابل توجه آن است که در شیارهای با طول کوتاه‌تر و دبی کمتر (۰/۰۵ لیتر بر ثانیه)، زمان رسیدن به حالت پایدار کم و در حدود ۵ دقیقه از شروع آزمایش است، در حالی‌که با افزایش طول شیار زمان رسیدن به تعادل به ۱۵ دقیقه افزایش می‌یابد. هچنین میزان غلظت رسوب در زمان‌های پایانی آزمایش در تمام طول شیارها کاهش یافته و به مقدار کمتر از ۲۰ گرم بر لیتر می‌رسد. نتایج Huang etal(2015) نشان می‌دهد که غلظت رسوب با افزایش طول شیار، تا رسیدن به یک حالت پایدار افزایش و سپس کاهش می‌یابد و در برخی موارد به صفر می‌رسد.



شکل۳- بررسی تغییرات غلظت رسوب با زمان در طول شیارهای مختلف در دبی جریان۰/۱۲ لیتر بر ثانیه

توزیع اندازه ذرات رسوب

توزیع اندازه ذرات رسوب در سه دبی جریان‌مورد مطالعه در زمان‌های مختلف در شکل ۴ آمده است. به‌طور کلی و با استثنائاتی، توزیع اندازه ذرات رسوب دو نمایی بوده و دارای دو نقطه اوج، یکی در ریزترین کلاس قطری (۰/۰۴-۰) و دیگری در دامنه حدود (۰/۳-۰/۱۱) و (۴-۰/۳) می‌باشد. همچنین یک نقطه حداقل در دامنه قطری (۰/۰۷-۰/۰۴) و (۰/۱۱-۰/۰۷) دیده می‌شود. با این وجود، شدت و وضوح این توزیع دو نمایی، در زمان، طول شیار و دبی‌های مختلف، متفاوت است. توزیع اندازه ذرات رسوب، انتخابی بودن انتقال ذرات با اندازه‌های مختلف را تایید می‌کند (Asadi et al., 2007; Shi et al., 2015). در رسوبات حاصل از جریان شیاری، درصد ذرات بسیار ریز و ذرات درشت به طور نسبی زیاد و درصد ذرات ریز تا متوسط کم است. این طور به نظر می‌رسد ذراتی که مقدارشان در رسوب اندک است، مقاومت بالایی در برابر انتقال از خود نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد که توزیع اندازه ذرات رسوب تابعی از میزان دبی، زمان (از زمان شروع آزمایش) و طول شیار است. میزان دبی با تحت تاثیر قرار دادن فرایندهای فرسایشی، توزیع اندازه ذرات رسوب را تغیر می‌دهد. نتایج Slattery etal. (1996) نشان می‌دهد که با افزایش دبی، ذرات ریزتر افزایش و ذرات درشت‌تر کاهش می‌یابند. اما نتایج به‌دست آمده از این پژوهش درست برعکس آن را نشان می‌دهد.



شکل۴-توزیع اندازه ذرات رسوب با زمان در دبی جریان دبی ۰/۰۵ لیتر بر ثانیه در طول شیار هفت متری

نتیجه‌گیری کلی

غلظت رسوب در ابتدای شیار کم بوده و با افزایش طول شیار و نیز افزایش میزان غلظت رسوب تا شیار پنج متری افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد که بعد از طول شیار چهار متری غلظت رسوب به دلیل عواملی همچون تفاوت در دبی‌های ورودی و نیز تفاوت در میزان شدت نفوذ (متفاوت بودن دبی‌های ورودی و خروجی) به طور متوسط کاهش و افزایش می‌یابد. گرچه سعی بر آن بوده است که میزان دبی ورودی یکسان باشد. توزیع اندازه ذرات رسوب انتخابی بودن انتقال ذرات با اندازه‌های مختلف را تایید می‌کند. در رسوبات حاصل از جریان شیاری، درصد ذرات بسیار ریز و ذرات درشت به طور نسبی زیاد و درصد ذرات ریز تا متوسط کم است. این طور به نظر می‌رسد ذراتی که مقدارشان در رسوب اندک است، مقاومت بالایی در برابر انتقال از خود نشان می‌دهند. این ذرات شامل ذرات رس و سیلت می‌باشند. توزیع اندازه ذرات رسوب در شروع آزمایش در دبی‌های کمتر، درشت‌تر از خاک اصلی و با

افزایش میزان دبی بسیار ریزتر از خاک اصلی بوده و با گذشت زمان توزیع اندازه در قسمت درشت‌تر، بیشتر می‌شود. ذرات ریز مجزا در ابتدای آزمایش (دو دقیقه) به یکباره شسته شده، غلظت رسوب بالای اولیه را موجب می‌شود و باعث افزایش سهم نسبی ذرات ریزتر در این زمان می‌شود. طی این رویداد فرسایشی به مرور زمان میزان نسبی ذرات ریز در رسوب کاهش یافته و رسوب متشکل از ذرات درشت‌تری می‌شود. برای مقایسه نتایج پیشنهاد می‌گردد که آزمون‌های مشابه در شدت‌های مختلف بارندگی در شرایط مزرعه‌ای انجام شود.

فهرست منابع

اسدی، ح. ۱۳۸۴. بررسی فرایندها و تئوری‌های پایه‌ای مدل‌های فرایندی فرسایش خاک. رساله دکتری، گروه خاکشناسی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

اسدی، ح.، م. علی گلی کلرود و م. گرجی. ۱۳۹۵. تغییرات دینامیک غلظت رسوب در فرسایش شیاری در آزمایش‌های مزرعه‌ای. مجله علوم آب و خاک ۲۰ (۷۸) :۱۲۵-۱۳۹

ذرتی پور، ا.، م. معظمی. ۱۳۹۴. مشارکت سهم آورد رسوب دامنه ها در الگوهای مختلف بارندگی به روش تعیین حجم شیارهای فرسایشی. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک ۲۳، ۳.

Asadi, H., Ghadiri, H., Rose,C.W., Rouhipour, H., 2007a. Interrill soil erosion processes and their interaction on low slopes. *Earth Surface Process Landform* 32, 711–724.

Asadi, H., Ghadiri, H., Rose, C. W. Yu, B., Hussein, J., 2007b. An investigation of flow-driven soil erosion processes at low streampowers. *Journal of Hydrology* 342, 134-142.

Huang C.h., Laflen J.M. Bradford J.M., 1996. Evaluation of the detachment-transport coupling concept in the WEPP rill erosion equation. *Soil Science Society of American Journal* 60, 734-739.

Huang, H., Chen, X., Luo, B., Ding, L., Gong, Ch., 2015.An experimental study of rill sedimentdelivery in purple soil, using thevolume-replacement method. *PeerJournal* 3,e1220.

Lei, T.W., Zhang, Q., Zhao, J. and Tang, Z., 2001. A laboratory study of sediment transport capacity in the dynamic process of rill erosion. *Transactions of the ASAE*, *44*(6), 1537.

Shen, H., Zheng, F., Wen,L., L., Jiang,Y., 2015. An experimental study of rill erosion and morphology.*Geomorphology*231 , 193–201.

Shi, B., Wang, Y.P., Yang, Y., Li, M., Li, P., Ni, W. and Gao, J., 2015. Determination of critical shear stresses for erosion and deposition based on in situ measurements of currents and waves over an intertidal mudflat. *Journal of Coastal Research31*(6), 1344-1356.

Slattery, M.C., Burt, T.P., 1996.Particle Size CharacteristicsofSuspendee Sediment in Hill Slope Runoff and Stream Flow.*Earth Surface Processes and Landforms* 22, 705–719.

Wirtz, S., Seeger, M., Ries, J.B., 2010.The rill experiment as a method to approach a quantification of rill erosionprocess activity. *Zeitschriftfür Geomorphologies* 54(1), 47–56.

Merten, G.H., Nearing, M.A. and Borges, A.L.O., 2001. Effect of sediment load on soil detachment and deposition in rills.*Soil Science Society of America Journal*, *65*(3), pp.861-868.

Effect of rill length and flow rate on soil losses (Concentration and size distribution of sediment particles)

Samaneh Aghaei[1], Hossein Asadi[2]

Graduated from Tehran University ,Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, (ho.asadi@ut.ac.ir)

Abstract

The knowledgeof changes in the concentration and size distribution of sediment particles in rills of different lengths is very importantin understanding the erosion processes caused by flow. The aim of this study was to investigate the effect of rill length and flow rate on soil losses (concentration and size distribution of sediment) under fieldconditions. To perform the experiments, eight rills(furrows) with lengths of 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 and 8 m, were

created on a fieldwith a slope of 5% in two replications. Measurements were performed at three flow rates of about 0.05, 0.12 and 0.25 liters per second. In each experiment, which lasted for 30 minutes, the runoff from the main rills was collected at different intervals and the concentration and size distribution of sediment particles were determined. The results indicate the dynamic changes of sediment concentration and particle size distribution with discharge and rill length. It seems that with increasing sediment concentration, the ability of the stream to separate particles decreases and decreases the sediment concentration along the path. The results also showed that the size distribution of sediment particles at the beginning of the experiment at lower discharges is larger than the main soil and with increasing discharge is much smaller than the main soil and becomes larger over time.

Keywords:Primary soil, Primary and secondary soil particles, Runoff, Sediment concentration, Rill erosion, Flow strength

تاثیر مقدار سنگریزه بر هدایت هیدرولیکی خاک آلوده به گازوئیل

مجید حبیب آگهی[۱]، علی شعبانی[۲]*، علی شاهرضایی[۳]، عبدالرسول زارعی[۴]

چکیده

در اطراف شهرها، بنادر نفت و در جاده‌ها به دلیل بوجود آمدن وقایعی از جمله تصادف ماشین‌های حامل سوخت و یا ریخته‌شدن مواد نفتی بر روی زمین در هنگام سوخت‌گیری، اصلی‌ترین مشکلات آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی به مواد نفتی می‌باشد. تعیین تاثیر آلودگی خاک‌ها به مواد نفتی بر ویژگی‌های ذاتی خاک، برای مدیریت صحیح آب‌های زیرزمینی و خاک الزامی است. در این تحقیق، تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک لوم شنی ناشی از آلودگی به گازوئیل و مقادیر مختلف سنگریزه مورد بررسی قرار گرفت. مقدار آلودگی به گازوئیل به ترتیب ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم در ۱۰۰۰ گرم خاک بوده و میزان سنگریزه در آن‌ها ۰، ۲۰ و ۴۰ درصد حجمی بوده است. نتایج نشان داد که با افزایش میزان گازوئیل، میزان هدایت هیدرولیکی افزایش و با افزایش مقدار درصد سنگریزه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: سنگریزه، هدایت هیدرولیکی اشباع، گازوئیل

مقدمه

با افزایش جمعیت و انقلاب صنعتی، آلودگی منابع آبی و خاکی در جهان افزایش و مورد توجه قرار گرفته است. استفاده شدید از نفت باعث آزاد شدن مشتقات آن در محیط زیست به دلیل حوادث و سوخت می‌شود که یکی از عوامل اصلی آلودگی آب و خاک محسوب می‌شود(Chandran and Das, 2011; Cerniglia and Atlas, 1995). ترکیبات نفتی گروهی از مواد آلی هستند که به صورت آلاینده‌های محیطی وارد محیط زیست شده‌اند. گسترش جهانی بهره‌برداری از منابع نفتی در صنایع مختلف، حمل و نقل و مصارف خانگی تقریبا در کلیه جوامع اعم از کشورهای تولید کننده و مصرف کننده، پیشرفته و درحال توسعه امری اجتناب ناپذیر است. همگام با توسعه بهره برداری از منابع نفتی، آلودگی های ناشی از آن (مانند مواد زائد فرایندهای پالایش ، مواد زائد مصرفی، نشت از مخازن و منابع ذخائر، تصادفات و غیره) هم گسترش یافته و باعث ایجاد نگرانی و تخریب محیط زیست را فراهم آورده است (تهرانی و همکاران، ۱۳۸۴). طبق آمار

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی ، دانشگاه دولتی فسا، majid.habibagahi@yahoo.com

۲- نویسنده مسئول، استادیار علوم و مهندسی آب ، دانشگاه فسا، shabani8ali@gmail.com

۳- دانشجوی کارشناسی علوم و مهندسی آب دانشگاه فسا alishahrezaie731@gmail.com

۴- دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه فسا، ar_zareiee@fasau.ac.ir

منتشر شده توسط فدراسیون بین المللی آلودگی تانکرها (ITOPF, 2015)، کل مقدار نفتی که در محیط زیست به دلیل حوادث نفتی در سال ۲۰۰۰ گم شده ۲۰۸،۰۰۰ تن و ۶،۰۰۰ تن در سال ۲۰۱۶ بوده است. گازوئیل از جمله فراورده های نفتی می باشد که استفاده های زیادی در صنعت و حمل و نقل دارد که ارسال آن از پالایشگاه به مناطق مورد نظر باعث نشت آن در مسیر شده و باعث آلودگی آب و خاک می گردد.

وجود گازوئیل در خاک می تواند به دلیل خواص دافع آب به طور غیر مستقیم به علت تاثیر آن بر ساختار خاک و به طور مستقیم بر خواص نگهداری آب خاک تاثیر بگذارد (Heyse et al., 2002). Rashid et al. (2014) خاک های آلوده شده به گازوئیل را بررسی کرد و دریافت که با افزایش غلظت گازوئیل باعث کم شدن وزن مخصوص ویژه ی ذرات خاک از۲/۶۲ به ۲/۲۷ گرم بر سانتی متر مکعب می شود. Hewelkr et al. (2018) و (Roy & McGill, 2001) مشاهده کردند که خاک آلوده به گازوئیل، باعث زیاد شدن آبگریزی ذرات خاک می شود. آبگریزی در خاک ها بوسیله ی پوشیده شدن سطح ذرات خاک توسط مواد آبگریز می باشد، به این صورت که اگر موادی چون شیره ی درختان، اسید های چرب، مواد نفتی و موادی نظیر آن ها سطح ذرات شن و خاکدانه را پوشش دهد، سبب آبگریزی خواهد شد. مطالعات اخیر نشان داده اند که قرار گرفتن ذرات خاک در معرض مواد شیمیایی آلی طبیعی مانند نفت خام و یا هیدروکربن آروماتیک، منجر به کاهش نیروی چسبندگی بین مولکول های آب و سطوح ذرات خاک خواهد شد (Li et al., 1997; Heyse et al., 2002; Quyum et al., 2002; Roy et al., 2003; Bachmann, 2007). Alsanad et al.(1995) در کارهای آزمایشگاهی خود تلاش کردند اثر آلودگی‌های نفتی و مدت زمان آلودگی را بر روی ویژگی‌های فیزیکی و رفتار خاک‌های ماسه‌ای کویت بررسی کنند. آن‌ها ماسه‌ها را به طور مصنوعی با درصدهای متفاوتی از نفت مخلوط کردند و اثر آلودگی نفتی را بر روی پارامترهای نیروی برشی، تراکم‌پذیری و نفوذپذیری بررسی کردند نتایج آن حاکی از کاهش اندک قدرت و نفوذ پذیری و افزایش انعطاف پذیری ناشی از آلودگی می باشد. تراکم پذیری دو نوع خاک ریزدانه، یکی دارای رس با قابلیت خمیری بالا و دیگری رس دارای خاصیت خمیری پایین توسط Meegoda and Ratnaweera 1994 بررسی شد. در این مطالعه، نمونه‌ها به طور مصنوعی با گلیسرول و پروپانول آغشته شدند و فاکتورهای فیزیکوشیمیایی و مکانیکی خاک ها اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که تراکم پذیری در این خاک ها افزایش یافت. در خاک لوم شنی، به دلیل لزوجت سینماتیکی بیشتر نفت سفید نسبت به آب و نگهداشت کمتر نفت سفید در محیط، هدایت هیدرولیکی اشباع و غیراشباع خاک برای نفت سفید کمتر از آب است (نوری و همکاران، ۱۳۹۱). میان چسبندگی خاک رسی و میزان آلاینده، رابطه معکوس برقرار است. این درحالی است که در نمونه های ماسه ای روند مشخصی مشاهده نشد (صبور و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج مطالعات محمدی (۱۳۹۵) نشان داد که تولید رواناب و رسوب تولید شده در همه کرت‌های آلوده به گازوئیل و نفت سفید در مقایسه با کرت غیرآلوده افزایش معنی داری داشته است. یکی از خصوصیات فیزیکی مهم خاک که بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرد، حرکت آب در خاک یا همان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (Ks) می باشد. Ks برای درک جریان سیال در محیط متخلخل، از جمله نفوذ در سطح خاک یا آب‌های زیرزمینی، مورد استفاده قرار می گیرد. نتایج تحقیقات نشان دهنده این است که وجود سنگریزه در خاک، باعث تغییر در خصوصیات فیزیکی خاک که شامل رطوبت حجمی، نفوذپذیری، رواناب و همچنین خصوصیات شیمیایی خاک مانند تغییر در مقدار نیتروژن و کربن می گردد(Cousin et al., 2003). Poesen and Lavee (1994) نیز اظهار نظر داشتند که وجود سنگریزه به صورت آزادانه و غیرپیوسته روی سطح خاک، از به وجود آمدن سله در سطح خاک جلوگیری کرده و باعث افزایش نفوذپذیری می‌شود. نتایج تحقیقات Ravina and Magier (1984) بر خاک های رسی، حاکی از آن است که با افزایش اندازه قطعات سنگ متوسط تا درشت در خاک، احتمال تراکم پذیری خاک کاهش می یابد. در خاک های متراکم نیز، افزایش تعداد این سنگ ها، افزایش هدایت هیدرولیکی خاک را به دنبال داشت. بررسی چگالی ظاهری خاک های دارای سنگ ریزه نیز نشان دهنده این بود که چگالی ظاهری در این خاک ها کم تر از خاک های فاقد سنگ ریزه می‌باشد. روش های آزمایشگاهی و مزرعه ای فراوانی جهت تعیین هدایت هیدرولیکی وجود دارد که با توجه به در دسترس بودن وسایل مورد

نیاز می‌توان از آن‌ها استفاده کرد، از جمله روش‌هایی که می توان به آن ها اشاره کرد، روش های استوانه مضاعف، پرمیامتر گلف، بار ثابت و بار افتان می باشد.
هدف این پژوهش بررسی تاثیر مقدار سنگریزه بر هدایت هیدرولیکی خاک آلوده به گازوئیل می باشد.

مواد و روش‌ها

در این آزمایش هدایت هیدرولیکی خاک به روش بار ثابت تعیین شد به این نحو که، ابتدا لایه نازکی از شن را در داخل استوانه ریخته و ارتفاع این لایه اندازه گیری شد. بر روی لایه شن، خاک ریخته و فشرده می گردد. پس از اینکه آب در داخل استوانه ریخته شد و اشباع گردید، آب از پایین استوانه خارج می گردد. بعد از اینکه ارتفاع ستون آب بر روی خاک ثابت شد، ارتفاع آب روی خاک اندازه گیری گردید. با استفاده از یک بشر و کرنومتر در یک بازه زمانی مشخص، حجم آب خروجی از انتهای استوانه خاک اندازه گیری شد. سپس با استفاده از قانون دارسی مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع به محاسبه شد. بافت خاک بوسیله ی آزمایش هیدرومتری و مثلث بافت خاک تعیین شد. بافت خاک مورد آزمایش لوم شنی بوده است. میزان گازوئیل در آن ها به ترتیب ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم و میزان گراول در آن ها ۰، ۲۰ و ۴۰ درصد بود که در سه تکرار مورد آزمایش قرار گرفت و میزان خاک مورد آزمایش ۱۰۰۰ گرم بود. برای آماده سازی خاک با ٪۲۰ حجمی گراول، ابتدا حجم کل استوانه مورد استفاده در دستگاه نفوذسنج را با استفاده از اندازه قطر استوانه و ارتفاع استوانه و فرمول حجم استوانه محاسبه گردید. برای خاک با ٪۲۰ حجمی سنگریزه می بایست ۲۰ درصد از حجم کل بوسیله سنگریزه اشغال گردد بنابراین که در این آزمایش برابر ۲۲۵ میلی لیتر بوده است. طریقه به دست آوردن این میزان حجم از گراول ها به این گونه بوده است که ابتدا مقداری آب درون ظرف مدرجی ریخته (به عنوان مثال ۲۰۰ سی سی آب درون ظرف ریخته) سپس به آب آن قدر سنگریزه اضافه نموده تا تغییر حجم در آب ظرف برابر حجم مورد نظر گردد. درمورد خاک با ٪۴۰ حجمی سنگربزه همین روند تکرار شد. جهت یکنواختی تیمارها و جهت جلوگیری از تاثیر غیر یکنواختی اندازه سنگریزه بر نتایج، سنگریزه های استفاده شده در این آزمایش از الک ¾ عبور کرده و پس از آن هدایت هیدرولیکی به روش بار ثابت اندازه گیری شد. خاک های آغشته به گازوئیل به این فرم تهیه شدند که در ۱۰۰۰ گرم خاک، مقدار ۱۰۰گرم و ۲۰۰ گرم گازوئیل به آرامی به خاک اضافه و با همزن کاملا مخلوط شدند. باتوجه به رابطه دارسی و داشتن دبی، می توان هدایت هیدرولیکی را بدست آورد.

$$Q = KAi \quad \Longrightarrow K = \frac{Q}{Ai} \qquad (1)$$

که در فوق معادله Q دبی جریان (متر مکعب بر روز)، K هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)، A سطح مقطع استوانه (متر مربع)، i گرادیان هیدرولیکی می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج اندازه گیری نه حالت مختلف خاک و میانگین هدایت هیدرولیکی در هر یک از حالت ها در جدول ۱ آورده شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت گازوئیل در تیمارها، میزان هدایت هیدرولیکی در آن ها بیشتر شده است. از طرفی با افزایش میزان گراول از صفر به چهل درصد، نتایج آزمایشات نشان داد که در خاک با افزایش درصد سنگریزه خاک مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش یافته است.
دلیل افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با افزایش مقدار گازوئیل آغشته شده به خاک ممکن است ناشی از ایفای نقش آبگریزی گازوئیل دانست. به عبارت دیگر وقتی سطح ذرات خاک به گازوئیل آغشته می گردد زاویه تماس آب با

خاک افزایش و خاصیت ترشوندگی خاک کاهش می یابد. بنابراین آب در هنگام عبور از داخل منافذ خاک با سطح ذرات خاک تماس نداشته و اصطکاک بین جریان آب با سطح ذرات خاک کاهش می یابد. بنابراین آب با سهولت بیشتری در داخل منافذ خاک حرکت می کند. نتایج مشابهی توسط Takawira et al. (2014) گزارش گردیده است. افزایش سنگریزه در خاک برخلاف اثر افزایش شن در خاک عمل می کند. به عبارت دیگر با افزایش درصد شن خاک (منظور از شن ذرات با اندازه بین ۰/۰۵ تا ۲ میلی متر است) بافت خاک به بافت سبک تری تغییر می یابد که باعث افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می گردد. اما در زمان وجود سنگریزه در خاک، بدلیل اندازه ذرات بزرگتر از ۲ میلی متر، این اجسام مانند یک مانع عمل کرده و باعث اعوجاج بیشتر مسیر جریان و کاهش سطح جریان می شوند که نهایتا منجر به کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می شوند. این نتایج با نتایج گزارش شده توسط Ma et al. (2010) مشابه است. بنابراین وجود مواد هدروکربنی در خاک علاوه بر نقش آلوده کنندگی مستقیم خود مواد هیدروکربنی، موجب افزایش سرعت انتقال حرکت آب و دیگر مواد آلوده کننده ی محلول در آب به لایه های پایین تر خاک و کاهش زمان سپری شده برای رسیدن مواد آلوده کننده به آبهای زیر زمینی می بشود که آلوده شدن سریعتر آبهای زیرزمینی را در پی خواهد داشت.

جدول ۱. مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (متر بر روز) با مقادیر مختلف گازوئیل و سنگریزه

سنگریزه (٪)	مقدار گازوئیل(گرم بر کیلوگرم)		
	۰	۱۰۰	۲۰۰
۰	۰/۲۱	۰/۴۶	۱/۷۳
۲۰	۰/۱۸	۰/۳۳	۰/۹۸
۴۰	۰/۱۵	۰/۲	۰/۸۷

نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد میزان تاثیر گراول و گازوئیل بر میزان هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بررسی شود، طبق مشاهدات صورت گرفته، با افزایش میزان گازوئیل، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به میزان چشمگیری افزایش داشته و با افزایش درصد سنگریزه مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش یافته است. علت آن را می توان در افزایش خاصیت آبگریزی خاک های آلوده به گازوئیل و تماس کمتر جریان آب در خاک با سطح ذرات جامد خاک و درمورد سنگریزه خاصیت کاهش سطح جریان آب در خاک را علت این پدیده ها دانست. بنابراین اثر مقدار گازوئیل موجود در خاک و سنگریزه بر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک عکس هم عمل می کنند. بستگی به مقدار سنگریزه و گازوئیل، هرکدام اثر دیگری را کاهش می دهند که می تواند بر انتقال آب و آلاینده ها به آبهای زیر زمینی موثر باشند.

منابع

صبور م.ر، قدردان، م، خورشید احمدی، م. (۱۳۹۶). بررسی عدم قطعیت اثر آلاینده گازوئیل بر رفتار ژئوتکنیکی خاک ماسه ای بستر مخازن نفتی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۴۹ (۴): ۸۲۰ -۸۱۳

علیزاده، ا. (۱۳۹۳). رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه صنعتی سجاد.

محمدی، س. (۱۳۹۵). تحلیل فرآیندهای نفوذ، تولید رواناب و رسوب در خاک های آلوده به ترکیبات نفتی .پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

نوری، م، همایی، م، بای بورد، م. (۱۳۹۱). بررسی پارامتریک ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در حضور آلاینده نفت سفید. نشریه حفاظت منابع آب وخاک، ۲(۱): ۳۷-۴۸.

همایی، م، محمدی، س. (۱۳۹۳). تولید رواناب در خاک های آلوده به نفت سفید و گازوییل. تحقیقات آب و خاک ایران۴۶: ۱۲۱-۱۳۱

Alsanad H.A., Eid w.k., Ismael, N.F. (1995). Geotechnical properties of oil contaminated Kuwaiti sand. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE* 121 (5): 407–412.

Bachmann J. (2007). Will the circle be unbroken: a history of the US National Ambient Air Quality Standards. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 57(6):652-697.

Cerniglia C.E, Atlas R.M. (1995). Bioremediation of petroleum pollutant; diversity and environmental aspects of hydrocarbon biodegradation. BioSci.;45:332-338.

Chénier M.R., Beaumier D., Roy R., Driscoll B.T., Lawrence J.R., Greer C.W.(2003). Impact of seasonal variations and nutrient inputs on nitrogen cycling and degradation of hexadecane by replicated river biofilms. Applied and Environmental Microbiology. 69(9):5170-5177.

Cousin I., Nicoullaud B., Coutadeur C. (2003). Influence of rock fragments on the water retention and water percolation in a calcareous soil. CATENA. 53: 2:97–114.

Chandran P., Das N. (2011). Degradation of diesel oil by immobilized Candida tropicalis and biofilm formed on gravels. Biodegradation. 22(6):1181-9.

Hewelke E., Szatyłowicz J., Hewelke P., Gnatowski T., Aghalarov R. (2018). The impact of diesel oil pollution on the hydrophobicity and CO 2 efflux of forest soils. Water, Air & Soil Pollution, 229(2):51.

Heyse E., Augustijn D., Rao P.S, Delfino J.J. (2002). Nonaqueous phase liquid dissolution and soil organic matter sorption in porous media: review of system similarities. Critical reviews in environmental science and technology. 32(4):337-97.

Jafarnejadi A.R., Homaee M., Sayyad, Gh.A., Baybordi, M. (2012). Evaluation of main soil properties affecting Cd concentrations in soil and wheat grains on some calcareous soils of Khuzestan Province. Journal of Water and Soil Conservation, 19(2): 149-164. (In Farsi)

Ma D., Shao, M., Zhang, J., & Wang, Q. (2010). Validation of an analytical method for determining soil hydraulic properties of stony soils using experimental data. Geoderma, 159(3-4), 262-269.

Meegoda N.J, Ratnaweera, P. (1994). Compressibility of contaminated fine grained soils. Geotechnical Testing Journal 17 (1): 101–112.

Minai-Tehrani D., Herfatmanesh A., Azari-Dehkordi F., Minooi S. (2006). Effect of salinity on biodegradation of aliphatic fractions of crude oil in soil. Pak.J.Biol.Sci 9: 1531-1535..

Poesen J., Lavee H. (1994). Rock fragments in top soils: significance and processes. CATENA. 23: 1-28.

Qi L., Bin S., Youcheng W. (1997). Environmental-Geotechnical Properties of Soils Contaminated by Waste Alkaline Liquor From Paper Mills [J]. Environmental Pollution & Control 5.

Quyum A., Achari G., Goodman RH. (2002). Effect of wetting and drying and dilution on moisture migration through oil contaminated hydrophobic soils. Science of the Total Environment. 296(1-3):77-87.

Rasheed Z.N., Ahmed F.R., Jassim H. M. (2014). Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 186: 353-361.

Ravina I., Magier J. (1984). Hydraulic conductivity and water retention of clay soils containing coarse fragments. Soil Science Society of America Journal. 48:736-740.

Roy J.L., McGill W.B.(2001). Observations on the chemistry of organic materials in water-repellent soils. International Turfgrass Society Research Journal. 9:428-436.

Sarmadi M.S., Zohrevand P., Rezaee M. (2019). Effect of kerosene contamination on the physical and mechanical properties of sandy soil. Innovative Infrastructure Solutions, 4(1):7.

Statistics O.T. (2015). The international tanker owners pollution federation limited. London, United Kingdom: ITOPF.:4.

Takawira A., Gwenzi W., and Nyamugafata P. (2014). Does hydrocarbon contamination induce water repellency and changes in hydraulic properties in inherently wettable tropical sandy soils?. Geoderma, 235, 279-289.

Influence of amount of gravel on hydraulic conductivity of diesel contaminated soil

Majid Habibagahi[1], Ali Shabani[2], Ali Shahrezaie[3], Abdolrasoul Zarei[4]

1- Master student of Irrigation and Drainage, Fasa University(majid.habibagahi@yahoo.com)
2- Corresponding Author, Assistant Professor of Water Science and Engineering, Fasa University(shabani8ali@gmail.com)
3- BS student in Water Science and Engineering, Fasa University(alishahrezaie731@gmail.com)
4- Associate Professor, Department of Natural Engineering, Fasa University(ar_zareiee@fasau.ac.ir)

Abstract

Around the cities, oil ports and on the roads due to events such as fuel truck accidents or oil spills on the ground during fueling are the main problems of soil and groundwater contamination with petroleum products. Determining the effect of soil contamination with petroleum products on the intrinsic properties of soil is essential for the proper management of groundwater and soil. In this study, changes in the saturated hydraulic conductivity of sandy loam soil due to diesel contamination and different amounts of gravel were investigated. The amount of diesel contamination was 0, 100 and 200 g per 1000 g of soil, respectively, and the amount of gravel was 0, 20 and 40% by volume. The results showed that with increasing the amount of diesel, the amount of hydraulic conductivity increased and with increasing the percentage of gravel, the saturated hydraulic conductivity decreased.

Keywords: Gravel, Hydraulic conductivity, Gasoline

اثر برهمکنش ژنوتیپ گیاه فسکیوی بلند و همزیستی قارچ اندوفیت بر مقاومت برشی خاک– ریشه و تقویت خاک

نسرین سعادتی[۱]، محمدرضا مصدقی[۲]، محمدرضا سبزعلیان[۳]، مهرنوش جعفری[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان saadati.nas@gmail.com

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

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- استادیار گروه بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

حضور ریشه گیاه در خاک تأثیر قابل توجهی بر مقاومت برشی و تقویت مکانیکی خاک دارد. تقویت خاک توسط پوشش گیاهی یک عامل کلیدی در بهبود پایداری مکانیکی خاک، حفاظت دامنه‌ها و خاک مراتع است. این پژوهش با هدف بررسی مقاومت برشی خاک در حضور ریشه‌های گیاه مرتعی فسکیوی بلند همزیست با و بدون قارچ اندوفیت انجام شد. پنجه‌های ژنوتیپ‌های B و C گیاه با و بدون حضور قارچ اندوفیت درون لوله‌های PVC حاوی یک خاک لوم رسی شنی کشت شد. پس از گذشت ۴ ماه، مقاومت برشی خاک-ریشه در رطوبت اشباع با دستگاه برش مستقیم مخصوص اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین مقاومت برشی خاک-ریشه و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی به ترتیب در تیمارهای ترکیبی ژنوتیپ C با اندوفیت (۵۳/۶ کیلوپاسکال و ۳۷/۲ میلی‌متر) و ژنوتیپ B بدون اندوفیت (۲۹/۸ کیلوپاسکال و ۲۹/۷ میلی‌متر) بدست آمد. در هر دو ژنوتیپ مورد بررسی وجود همزیستی اندوفیت سبب افزایش مقاومت برشی خاک و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی شد. حضور اندوفیت باعث افزایش قطر ریشه، تارهای موئین و مقدار سلولز ریشه نسبت به حالت بدون اندوفیت شد که این عوامل می‌توانند سبب افزایش خاصیت ارتجاعی ریشه شده و در نهایت سبب افزایش مقاومت برشی خاک-ریشه و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی شده باشد. به نظر می‌رسد ژنوتیپ C فسکیوی بلند (به ویژه همزیست با قارچ اندوفیت) تاثیر بیشتری نسبت به ژنوتیپ B در تقویت خاک در برابر فرسایش دارد.

واژگان کلیدی: مقاومت برشی خاک-ریشه، جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی، اندوفیت، سلولز

مقدمه

پدیده فرسایش یکی از معضلاتی است که بسیاری از کشورها با آن مواجه هستند. فرسایش خاک موجب هدرروی عناصر غذایی خاک‌های رویین و کاهش حاصلخیزی و قدرت تولید زمین‌ها می‌شود. یکی از اهداف مهم در حفاظت خاک، کنترل میزان فرسایش است Ganasri Ramesh (2015). ارزان‌ترین و مناسب‌ترین راه جلوگیری از فرسایش خاک، استفاده از روش‌های بیولوژیک مانند ایجاد یا تقویت پوشش گیاهی است. تأثیر شیوه‌های مدیریتی زراعی و مرتعی همچون چرای دام، برداشت علوفه و محصول زراعی، بر رواناب، فرسایش و ویژگی‌های خاک توسط پژوهشگران متعددی بررسی شده است. بررسی ویژگی-های خاک و شناخت متغیرهای خاک مؤثر بر وقوع آن می‌تواند در بهبود پیشنهادهای مدیریتی و کمّی‌نمودن تغییرات رواناب و فرسایش خاک مفید واقع شود. در بین عوامل مؤثر بر فرسایش خاک، پوشش گیاهی اهمیت زیادی دارد. پوشش گیاهی عامل مهمی است که شدت و فراوانی جریان‌های سطحی و فرسایش خاک را کنترل می‌کند. تخریب پوشش گیاهی منجر به افزایش فرسایش خاک به وسیله آب می‌شود Garcia-Ruiz (2010). در زمین‌های مرتعی شیب‌دار نیز، تغییر کاربری زمین به دیم‌زارها موجب کاهش پوشش گیاهی و تشدید فرسایش آبی می‌شود Peng and Wang (2012).

مقاومت برشی خاک اغلب به عنوان بهترین ویژگی خاک برای تخمین تنش بحرانی در برابر فرسایش خاک استفاده می‌شود. تنش برشی بحرانی یکی از پارامترهای مهم رخداد جداشدن ذرات خاک توسط روان‌آب است که در مدل‌های مختلف فرسایش خاک ظاهر می‌شود Leonard and Richard (2004). حضور ریشه گیاه در خاک تأثیر قابل توجهی بر مقاومت برشی خاک دارد. همچنین ویژگی‌های خاک بر رشد و توسعه ریشه موثرند. شناسایی ویژگی‌های مهم ریشه برای درک و پیش‌بینی مقاومت برشی[1] و تقویت خاک[2] اهمیت زیادی دارد Mickovski *et al.* (2009). به طور کلی ریشه‌ها توان زیادی برای بهبود پایداری مکانیکی خاک دارند. تقویت خاک توسط پوشش گیاهی یک عامل کلیدی در حفاظت دامنه‌ها و خاک مراتع و جنگل‌ها است. پوشش گیاهی و ریشه‌های گیاه در خاک باعث افزایش پایداری شیب[3] نیز می‌شود. پوشش گیاهی در برابر ضربه‌های ناشی از قطرات باران، از خاک محافظت می‌کند. در زمین‌های شیب‌دار، ریشه گیاه به طور قابل توجهی باعث افزایش مقاومت برشی خاک می‌شود Wu and Watson (1998). Mickovski *et al.* (2009) بیان کردند مقاومت برشی خاک دارای ریشه (درخت بید) ۲ تا ۸ برابر بیش‌تر از خاک بدون ریشه است. مقاومت برشی با افزایش عمق به دلیل کاهش تراکم طولی ریشه و قطر ریشه کاهش یافت. Cohen *et a.l* (2011) بیان کردند وجود فیبر در ریشه‌های گیاه از لغزش لایه‌های رویین خاک می‌کاهد و مقدار فیبر ریشه گیاه بستگی به عواملی همچون قطر، توزیع ریشه، مقاومت ریشه و قدرت پیوند بین ریشه‌ها و خاک دارد. عوامل زیادی شامل مقدار و جهت‌گیری توزیع ریشه، مقاومت کششی ریشه، مدول کشسانی یانگ ریشه‌ها، مقاومت برشی خاک، برهم‌کنش خاک-ریشه بر مقاومت برشی ریشه و نفوذ ریشه در خاک مؤثرند Mickovski *et al.* (2009). ویژگی‌های خاک بر رشد و توسعه ریشه نیز تأثیر دارند؛ تراکم خاک باعث محدودنمودن رشد ریشه و عمق توسعه آن و کاهش رسوخ ریشه در خاک می‌شود. به غیر از خاک‌های کشاورزی، سیستم‌های ریشه‌ای انواع گونه‌های گیاهی در تثبیت دامنه‌های خاکی استفاده می‌شود. ریشه گیاهان می‌توانند سبب تثبیت درازمدت خاک شوند. بنابراین علاوه بر استخراج منابع از خاک و بستر گیاهان، ریشه‌ها نقش مهمی در تقویت مکانیکی خاک نیز دارند Stokes *et al.* (2009).

گیاه فسکیوی بلند *Festuca arundinacea* گیاهی علفی، پایا با ریشه‌های عمیق است که متعلق به تیره *Poaceae* است. نظر به اهمیت گیاهان این جنس به دلیل تولید علوفه و سازگاری خوبی که در برابر تنش‌های مختلف محیطی نشان می‌دهند همواره مورد توجه گیاه‌شناسان بوده‌اند. فسکیو جنس بزرگی است که شامل ۸۰ گونه گندمیان علفی است و اعضای آن در انواع مناطق آب و هوایی سازگار شده اند که به عنوان فسکیوها شناخته می‌شود Schwarz et al. (2010). در طول دوره‌های تکامل، گراس‌ها روابط همزیستی با قارچها مانند مایکوریزاها که در درون و یا سطح ریشه رشد می‌کنند و قارچهایی که در شاخساره گیاه رشد می‌کنند، برقرار کرده‌اند. از میان قارچهایی که در شاخساره گیاه حضور داشته و فعالیت می‌کنند، قارچهای اندوفیت دارای اهمیت خاصی است. اندوفیت‌ها اغلب در اندام‌های هوایی گیاه (برگ، ساقه، پوست، دمبرگ و ساختارهای زایشی) زندگی می‌کنند که همین عامل سبب تمایز آنها از قارچهای مایکوریزا (قارچهای همزیست با ریشه گیاهان) می‌شود. مشابه با قارچهای همزیست با ریشه (مایکوریزا)، قارچهای اندوفیت با میزبان خود یک رابطه همزیستی مثبت داشته که اثر اصلی آنها تقویت سیستم دفاعی گیاه است Bacon and Battista (1991).

در مورد اثر گیاهان ریشه افشان مرتعی بر مقاومت برشی خاک پژوهش‌های اندکی انجام شده است ولی در مورد اثر همزیستی اندوفیت با گیاهان مرتعی بر تقویت مکانیکی خاک پژوهشی در دسترس نیست. با توجه به این که پوشش گیاهی و ریشه‌های گیاهان اهمیت بسیاری در کنترل فرسایش و بهبود پایداری مکانیکی خاک دارند و یک عامل مهم و اصلی در

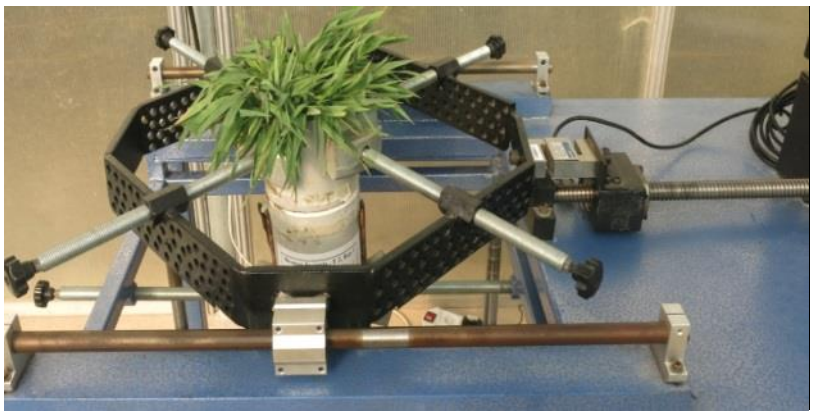
[1] Shear strength
[2] Soil reinforcement
[3] Slope stability

حفاظت دامنه‌ها و خاک‌های منابع طبیعی است، این پژوهش با هدف بررسی مقاومت برشی خاک در اثر حضور گیاه مرتعی فسکیوی بلند با و بدون وجود همزیستی با قارچ اندوفیت انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش مقاومت برشی خاک در حضور ریشه گیاه، لوله‌های PVC به قطر ۱۱ سانتی‌متر تهیه شد. در عمق ۱۰ سانتی‌متری هر لوله برش داده شد. بین دو قسمت لوله برش یافته، با واشر فاصله داده شده و با استفاده از چسب دو قسمت بریده لوله به هم چسبانده شد. در نهایت انتهای لوله‌ها با توری فلزی بسته شد. تمامی لوله‌ها با یک خاک با بافت لوم رسی شنی پر شدند. پنجه‌های ژنوتیپ‌های B و C گیاه فسکیوی بلند با و بدون حضور قارچ اندوفیت درون لوله‌ها کشت شده و با دور آبیاری مشخص بدون تنش آبی در گلخانه مرکز پژوهشی خاک و گیاه دانشگاه صنعتی اصفهان پرورش داده شدند. برای هر نمونه ۳ تکرار در نظر گرفته شد. پس از گذشت ۴ ماه که گیاه و ریشه آن رشد کافی کرده بود، آزمایش مقاومت برشی خاک-ریشه در رطوبت اشباع انجام شد.

برای اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک-ریشه از دستگاه برش مستقیم بزرگ و مخصوصی استفاده شد (شکل ۱). ابتدا ستون‌های خاک با گیاه از پایین اشباع شدند. پس از قرار دادن و تنظیم‌کردن موقعیت ستون‌های خاک در دستگاه برش، چسب و واشر بین دو قسمت لوله‌ها برداشته شد و با شروع به کار دستگاه دو قسمت تحت نیروی برشی نسبت به هم جابجا شد. در حین بارگذاری مقدار نیروی افقی (برشی) در برابر جابجایی برداشت شد. تا زمانی این کار ادامه یافت که مقدار نیروی برشی با افزایش جابجایی ثابت شده و در واقع خاک گسیخته شد. از تقسیم نیروی برشی بیشینه بر سطح مقطع داخلی ستون خاک، مقاومت برشی خاک-ریشه محاسبه شد. مقدار جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی نیز یادداشت شد. این پژوهش در قالب آرایش فاکتوریل ۲ فاکتوره (ژنوتیپ گیاه و قارچ اندوفیت) با طرح اصلی کاملاً تصادفی اجرا شد.



شکل ۱- تصویری از دستگاه برش مستقیم بزرگ برای اندازه‌گیری مقاومت برشی خاک-ریشه

نتایج و بحث

نتایج نشان داد مقاومت برشی خاک بطور معنی‌داری تحت تاثیر ژنوتیپ گیاه و وجود اندوفیت قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین و کمترین مقدار مقاومت برشی خاک به ترتیب در تیمار ژنوتیپ C (۵۰/۸ کیلوپاسکال) و تیمار ژنوتیپ B (۳۵/۶ کیلوپاسکال) بدست آمد (جدول ۲). بنابراین مقاومت برشی خاک در تیمار ژنوتیپ C حدود ۴۲/۷ درصد نسبت به ژنوتیپ B بیشتر بود. وجود اندوفیت تاثیر معنی‌داری بر مقاومت برشی خاک-ریشه داشت، به طوری که مقدار آن در گیاهان دارای

اندوفیت نسبت به بدون اندوفیت ۲۲/۱ درصد افزایش یافت. همچنین بیشترین و کمترین مقاومت برشی خاک به ترتیب در تیمارهای اندوفیت‌دار (۴۷/۵ کیلوپاسکال) و بدون اندوفیت (۳۸/۹ کیلوپاسکال) اندازه‌گیری شد (جدول ۲).

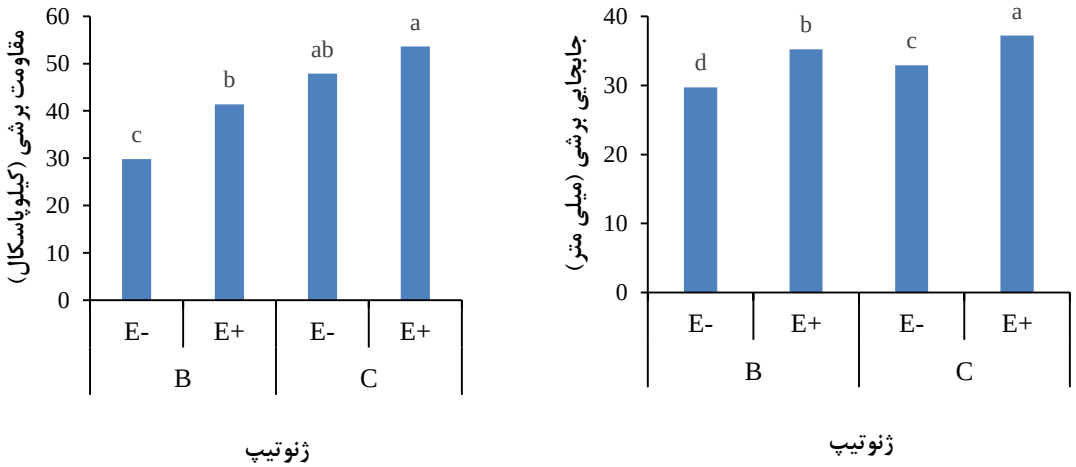
جدول ۱- تجزیه واریانس بر مبنای میانگین مربعات (MS) داده‌ها برای مقادیر مقاومت برشی و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی در تیمارهای مورد بررسی.

درجه آزادی	منابع تغییرات	میانگین مربعات	
		مقاومت برشی (کیلوپاسکال)	جابجایی برشی (میلی‌متر)
ژنوتیپ	۱	۶۹۱/۳**	۲۱/۰**
اندوفیت	۱	۲۲۳/۹*	۷۲/۸**
ژنوتیپ × اندوفیت	۱	۲۶/۲ $^{n.s}$	۱/۰**
خطا	۸	۳۴/۲	۰/۰۱
کل	۱۱		

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند. ns بیانگر عدم وجود اثر معنی‌دار است.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر ژنوتیپ گیاه و اندوفیت (+E: دارای اندوفیت، -E: بدون اندوفیت) بر مقادیر مقاومت برشی و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی.

ژنوتیپ	مقاومت برشی (کیلوپاسکال)	جابجایی برشی (میلی‌متر)
B	۳۵/۶^{b}	۳۲/۴^{b}
C	۵۰/۸^{a}	۳۵/۱^{a}
LSD $_{0.05}$	۷/۸	۰/۱۴
اندوفیت	**مقاومت برشی (کیلوپاسکال)**	**جابجایی برشی (میلی‌متر)**
E-	۳۸/۹^{b}	۳۱/۳^{b}
E+	۴۷/۵^{a}	۳۶/۲^{a}
LSD $_{0.05}$	۷/۸	۰/۱۴



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش ژنوتیپ گیاه و اندوفیت (+E: دارای اندوفیت، -E: بدون اندوفیت) بر مقادیر مقاومت برشی و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی

نتایج نشان داد جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی بطور معنی‌داری تحت تاثیر ژنوتیپ، اندوفیت و اثر برهمکنش ژنوتیپ × اندوفیت قرار گرفت (جدول ۱). بیشترین جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی در تیمار ژنوتیپ C (۳۵/۱ میلی‌متر) و کمترین مقدار آن در تیمار ژنوتیپ B (۳۲/۴ میلی‌متر) بدست آمد. وجود گیاهان دارای اندوفیت تاثیر معنی‌داری بر جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی نشان داد، به طوری که بیشترین و کمترین جابجایی برشی خاک به ترتیب برای تیمارهای اندوفیت‌دار (۳۶/۲ میلی‌متر) و بدون اندوفیت (۳۱/۳ میلی‌متر) بدست آمد. به طور کلی جابجایی برشی خاک در تیمار ژنوتیپ اندوفیت‌دار نسبت به تیمار بدون اندوفیت ۱۳/۶۱ درصد بیشتر بود (جدول ۲).

مقایسه میانگین اثر برهمکنش تیمارها نشان داد بیشترین و کمترین مقادیر مقاومت برشی خاک-ریشه به ترتیب در تیمارهای ترکیبی ژنوتیپ C با اندوفیت (۵۳/۶ کیلوپاسکال) و ژنوتیپ B بدون اندوفیت (۲۹/۸ کیلوپاسکال) بدست آمد (شکل ۲). همچنین بیشترین و کمترین مقادیر جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی به ترتیب در تیمارهای ترکیبی ژنوتیپ C با اندوفیت (۳۷/۲ میلی‌متر) و ژنوتیپ B بدون اندوفیت (۲۹/۷ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. به طور کلی در هر دو ژنوتیپ مورد بررسی، وجود اندوفیت سبب افزایش مقاومت برشی خاک و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی شد.

به نظر می‌رسد اثر ژنوتیپ گیاه و همزیستی با قارچ اندوفیت بر ویژگی‌های مکانیکی خاک ناشی از اثری است که این عوامل بر توسعه ریشه، میزان ترشحات ریشه، پایداری ساختمان خاک، و ترکیب ریشه (ویژگی‌های مکانیکی ریشه) دارند. ریشه‌های گیاه به‌صورت فیبری در کل توده خاک گسترش پیدا کرده و خاک را در بر می‌گیرند، و سبب افزایش مقاومت برشی خاک و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی نسبت به حالتی که ریشه در خاک وجود ندارد، می‌شود.

بررسی قطر ریشه‌ها نشان داد ریشه‌های ژنوتیپ‌های C قطر بیش‌تری نسبت به ژنوتیپ B داشت. همچنین حضور اندوفیت باعث افزایش قطر ریشه و تارهای موئین گردید که این عامل سبب افزایش مقاومت برشی خاک نسبت به حالت بدون اندوفیت شد. پژوهشگران نشان دادند که آلودگی گیاه فسکیوی بلند به اندوفیت سبب افزایش طول تارهای موئین می‌شود (Canasveras *et al*. 2010). حضور این تارهای موئین می‌تواند نقش زیادی در افزایش مقاومت برشی خاک و جابجایی برشی خاک داشته باشد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. بررسی ترکیبات ریشه نشان داد مقدار سلولز ریشه‌های اندوفیت‌دار در هر دو ژنوتیپ B و C نسبت به حالت بدون اندوفیت بیش‌تر است؛ در نتیجه افزایش این ترکیب خاصیت ارتجاعی ریشه را افزایش داده و سبب افزایش جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی شد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد در هر دو ژنوتیپ مورد بررسی گیاه فسکیوی بلند، وجود اندوفیت سبب افزایش مقاومت برشی خاک و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی نسبت به حالت بدون اندوفیت شد و این به دلیل تغییرات ساختاری مثبتی می‌تواند باشد که قارچ اندوفیت در ریشه‌های گیاه ایجاد می‌کند. حضور ریشه‌ها با ویژگی فیبری که در خاک گسترش پیدا می‌کنند، سبب افزایش مقاومت برشی خاک و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی نسبت به حالتی که ریشه در خاک وجود ندارد، شد. حضور اندوفیت باعث افزایش قطر ریشه، تارهای موئین و ترکیبات سلولز بیشتر نسبت به حالت بدون اندوفیت گردید که سبب افزایش خاصیت ارتجاعی ریشه شده و نهایتاً سبب افزایش مقاومت برشی خاک و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی شدند. این اثر مثبت بر مقاومت مکانیکی خاک می‌تواند در کنار سایر مزایای وجود اندوفیت در گیاه فسکیوی بلند در کنترل فرسایش خاک مورد استفاده قرار گیرد. مقاومت برشی خاک و جابجایی برشی خاک در نقطه گسیختگی در تیمار ژنوتیپ C بیشتر از تیمار ژنوتیپ B بدست آمد. بنابراین به نظر می‌رسد ژنوتیپ C فسکیوی بلند (به ویژه در حالت همزیست با قارچ اندوفیت) تاثیر بیشتری نسبت به ژنوتیپ B در تقویت خاک در برابر فرسایش دارد.

فهرست منابع

Bacon, C.W., Battista, J. D. (1991). Endophytic fungi of grasses. pp. 231–256. In Arora, D.K. et al. (ed.) Handbook of Applied Mycology. Vol. 1. Soil and Plants. Marcel Dekker, New York.

Canasveras, J. C., Barron, V. Del Campillo, M. C. Torrent, J. Gomez, J. A. (2010). Estimation of aggregate stability indices in Mediterranean soils by diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 158(1), 78–84.

Cohen, D., Schwarz, M. D. Or. (2011). An analytical fiber bundle model for pullout mechanics of root bundles. *Journal of Geophysical Research*, 116(F3) 1–20.

Ganasri, B. P., Ramesh, H. (2015). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS – A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953–961.

Garcia-Ruiz, J. M. (2010). The effects of land uses on soil erosion in Spain: a review. *Catena*. 81 (1), 1–11.

Leonard, J., & Richard, G. (2004). Estimation of runoff critical shear stress for soil erosion from soil shear strength. *Catena*, 57(3), 233–249.

Mickovski, S., Hallett, P.D., Bransby, M.F., Davies, M. C. R., Sonnenberg, R., & Bengough, A. G. (2009). Mechanical reinforcement of soil by willow roots: impacts of root properties and root failure mechanism. Soil Soil Science Society of America Journal, 73(4), 1276–1285.

Peng, T. and Wang, S. (2012). Effects of land use, land cover and rainfall regimes on the surface runoff and soil loss on karst slopes in southwest China. *Catena*, 90(1), 53–62.

Schwarz, M., Cohen, D. and Or, D. (2010). Root-soil mechanical interactions during pullout failure of root bundles. *Journal of Geophysical Research*, 115(F4), 1–19.

Stokes, A., Atger, C., Bengough, A. G., Fourcaud, T. and Sidle, R. C. (2009). Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides *Plant and Soil*, 324(1), 1–30.

Wu T. H., & Watson A. (1998). In situ shear tests of soil blocks with roots. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(4), 579–590.

Interaction effect of tall fescue genotype and endophytic fungus symbiosis on soil-root shear strength and soil reinforcement

Nasrin Saadati[*1], Mohammad Reza Mosaddeghi[2], Mohammad Reza Sabzalian[3], Mehrnoosh Jafari[4]

[1] PhD Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

[2] Prof., Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

[3] Assoc. Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

[4] Assist. Prof., Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Iran

Abstract

Plant root presence can significantly influence the soil shear strength and mechanical reinforcement. The vegetation-induced soil reinforcement is a key factor for improving soil mechanical stability, as well as conserving sloping soils and pastures. This study was conducted to investigate the effects of root presence of two tall fescue genotypes with and without endophytic fungi on the soil shear strength. Tillers of B and C genotypes of tall fescue with and without endophytic fungi were planted in PVC tubes containing a medium-textured soil. After four months, soil-root shear strength was measured by a specific direct shear machine at saturated condition. The results revealed that the highest and lowest values of soil-root shear strength and shear displacement at failure were obtained in the combined treatments of genotype C with endophyte (53.6 kPa and 37.2 mm) and genotype B free of endophyte (29.8 kPa and 29.7 mm), respectively. In both genotypes, the presence of endophyte increased the soil shear strength and shear displacement at failure. The presence of endophyte significantly increased the root diameter, root hairs and root cellulose content, resulted in greater root elasticity, soil-root shear strength and shear displacement at failure as compared to the endophyte-free status. It seems that tall fescue genotype C (especially with endophytic fungus symbiosis) have a greater effect on soil reinforcement against erosion as compared to the genotype B.

Keywords: Soil-root shear strength, Soil shear displacement at failure, Endophyte, Cellulose.

[*] Corresponding author, Email: saadati.nas@gmail.com

اثر لجن فاضلاب و بیوچار آن بر پایداری ساختمان خاک به روش HEMC

زهرا خان‌محمّدی[۱*]، مجید افیونی[۲]، محمّدرضا مصدّقی[۲]

[۱] استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اصفهان(z.khanmohamadi@areeo.ac.ir)

[۲] استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

استفاده از بقایای آلی مانند لجن فاضلاب و بیوچار می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی خاک را تحت تاثیر قرار دهد. هدف از این پژوهش بررسی اثر لجن فاضلاب و بیوچار آن بر پایداری ساختمان دو خاک آهکی لوم رسی و لوم تحت کشت ذرت، به روش منحنی مشخصه رطوبتی پرانرژی (HEMC) بود. مقادیر کاربرد لجن فاضلاب (S) ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار (به ترتیب با کدهای S۱، S۲ و S۳) بود. بیوچار (B) نیز در مقادیر ۷/۳، ۱۴/۵ و ۲۹ تن در هکتار (به ترتیب با کدهای B۱، B۲ و B۳) اعمال شد. در پایان دوره رشد ذرت، خاکدانه‌های چسبیده به ریشه ها و نیز توده خاک جداگانه جمع‌آوری شد. شاخص‌های پایداری ساختمان خاک به روش HEMC محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مقدار نسبت پایداری نسبی (RSR) در تیمار بیوچار به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار لجن فاضلاب و شاهد بود. همچنین مقدار RSR در خاک لوم رسی به طور معنی‌داری بیشتر از خاک لوم بود. حجم منافذ قابل زه‌کشی (VDP) نیز در تیمارهای لجن فاضلاب و بیوچار در خاک لوم رسی در مقایسه با تیمارهای مشابه در خاک لوم بیشتر بود. بیشترین مقدار شاخص نسبت پایداری ریزوسفر (SR_R) در تیمار B۳ دیده شد که به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود.

واژگان کلیدی: لجن فاضلاب، بیوچار، پایداری ساختمان خاک، منحنی مشخصه رطوبتی پرانرژی.

مقدمه

بیوچار[۲] یک ماده جامد غنی از کربن است که طی فرآیند پیرولیز[۳] زیتوده[۴] در شرایط عدم حضور و یا حضور جزئی اکسیژن تولید می‌شود. در سال‌های اخیر استفاده از بیوچار به عنوان ابزاری برای ترسیب کربن در خاک‌ها و جبران نقش انسان در خروج دی‌اکسیدکربن (CO_2) و نیز به دلیل آثار مثبت آن در کشاورزی به عنوان یک اصلاح‌کننده خاک مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌های زیادی بیانگر پیامدهای سودمند کاربرد بیوچار در خاک‌های کشاورزی است. گزارش شده است که افزودن بیوچار غالباً موجب بهبود حاصل‌خیزی خاک و رشد گیاهان به ویژه به همراه افزودن کودهای نیتروژن در خاک‌های با حاصل‌خیزی کم می‌شود (Major *et al.* 2010). همچنین گزارش‌هایی مبنی بر نقش مثبت بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌هایی مانند افزایش تخلخل، بهبود سطح ویژه، افزایش تهویه، افزایش نگهداشت آب، نفوذپذیری و زهکشی خاک (Hardie *et al.* 2014) موجود می‌باشند. با توجه به اهمیت ساختمان خاک، روش‌های متعددی برای تعیین و ارزیابی پایداری آن پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های نسبتاً جدید مورد استفاده برای تعیین پایداری ساختمان خاک روش منحنی مشخصه رطوبتی پر انرژی[۵] (HEMC) است که اساس آن اندازه‌گیری منحنی مشخصه رطوبتی خاک[۶] (SWCC) در بخش پر انرژی (دامنه مرطوب یا پتانسیل ماتریک زیاد) است (Collis-George and Figueroa 1984). نتایج پژوهش درستکار و گنجی (۱۳۹۷) در بررسی تأثیر بقایای برگ سنجد و زردآلو بر پایداری

۱- ایمیل نویسنده مسئول: Z.khanmohamadi@areeo.ac.ir

۲- Biochar

۳- Pyrolysis

٤- Biomass

٥- High energy moisture characteristic

٦- Soil water characteristic curve

ساختمان خاک به روش HEMC در شوری‌های مختلف خاک، نشان داد که در روش مرطوب شدن سریع، تأثیر برگ زردآلو بر افزایش حجم منافذ قابل زهکشی خاک و شاخص پایداری بیشتر از برگ سنجد بوده است. این پژوهش با هدف بررسی اثر لجن فاضلاب (S) و بیوچار آن (B) بر پایداری ساختمان خاک به روش HEMC در دو خاک آهکی با بافت متفاوت و تحت کشت ذرت انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام این پژوهش، نمونه‌هایی از دو خاک آهکی با رده‌بندی Typic Haplocambids و بافت‌های لوم رسی و لوم به ترتیب از مناطق فلاورجان و زیار در استان اصفهان تهیه شدند (جدول ۱). خاک‌ها ابتدا هوا-خشک شده و سپس برای حفظ خاکدانه‌ها و حداقل تخریب واحدهای ساختمانی در پژوهش گلخانه‌ای، از الک ۶ میلی‌متری عبور داده شدند. بیوچار لجن فاضلاب در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس تهیه شد (Khanmohammadi *et al.* 2015). برخی از ویژگی‌های لجن فاضلاب و بیوچار آن در جدول ۱ نشان داده شده است. لجن فاضلاب (S) در مقادیر ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار با خاک‌ها مخلوط شد و به ترتیب با نمادهای S۱، S۲ و S۳ بیان شد. از آن‌جا که فرآیند پیرولیز سبب کاهش جرم بیوچار نسبت به لجن فاضلاب می‌شود (۲۷/۵ درصد از لجن فاضلاب تبدیل به فاز مایع و گاز می‌شود) و به منظور حصول نتایج قابل مقایسه، میزان کاربرد بیوچار (B) ۷/۳، ۱۴/۵ و ۲۹ تن در هکتار در نظر گرفته شد و به ترتیب با نمادهای B۱، B۲ و B۳ بیان شد. سپس لوله‌های پلی‌اتیلن با قطر داخلی ۲۱/۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر با خاک‌های تیمارشده با لجن فاضلاب و بیوچار به صورت جداگانه و در سه تکرار پر شدند؛ به گونه‌ای که ارتفاع ستون‌های خاک ۵۰ سانتی‌متر شد. یک تیمار شاهد نیز برای هر خاک در نظر گرفته شد. تمام تیمارها در سه تکرار اعمال شدند. در هر ستون سه عدد بذر گیاه ذرت (Single Cross ۷۰۴) کشت شد. پس از رسیدن به مرحله دو برگی گیاه ذرت به یک عدد در هر ستون کاهش یافت. در نهایت گیاهان ذرت در هر ستون به مدت ۷۸ روز پس از جوانه‌زنی رشد کردند. در پایان پژوهش

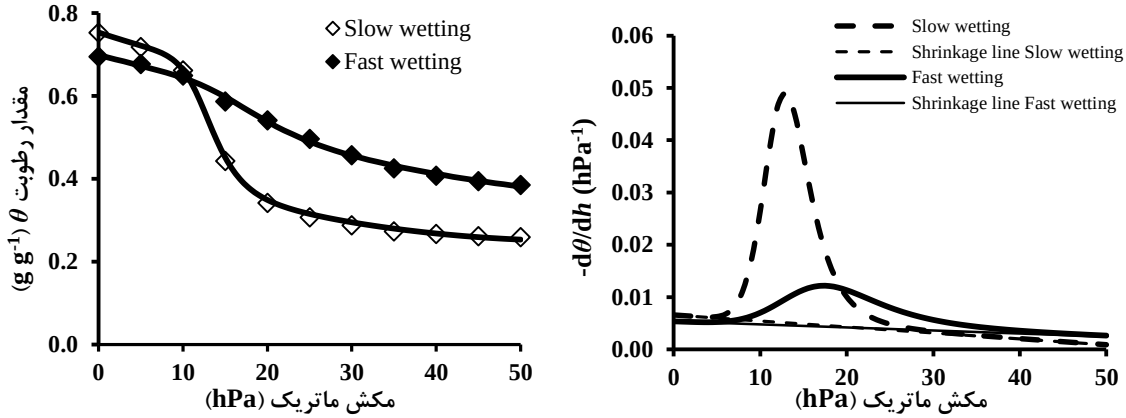
جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها پیش از کشت، لجن فاضلاب و بیوچار تولیدشده در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس.

ویژگی	واحد	خاک فلاورجان	خاک زیار	لجن فاضلاب	بیوچار
رس	kg 100kg^{-1}	۳۰/۲	۱۵/۷	–	–
شن	kg 100kg^{-1}	۲۲/۲	۴۲/۸	–	–
سیلت	kg 100kg^{-1}	۴۷/۶	۴۱/۵	–	–
بافت	-	لوم رسی	لوم	–	–
pH	-	۷/۵	۷/۶	۶/۸	۸/۲
رسانایی الکتریکی	dS m^{-1}	۰/۵۰	۰/۴۶	۲/۲۰	۰/۵۲
گنجایش تبادل کاتیونی	cmol$_c$ kg^{-1}	۱۵/۸	۱۳/۱	۹۹/۳	۱۹۱/۸
نیتروژن کل	kg 100kg^{-1}	۰/۱۱۲	۰/۰۷۸	۳/۳	۲/۷
کربن آلی کل	kg 100kg^{-1}	۰/۵۶	۰/۶۳	۴۰/۸	۳۴/۰
نسبت C/N	–	۵/۰	۸/۱	۱۲/۴	۱۲/۸
فسفر کل	kg 100kg^{-1}	–	–	۱/۱	۱/۷
پتاسیم کل	kg 100kg^{-1}	–	–	۰/۲۰	۰/۲۶
فسفر قابل دسترس	mg kg^{-1}	۴۲	۶۵	–	–
پتاسیم قابل دسترس	mg kg^{-1}	۲۴۰	۱۰۹	–	–

گلخانه‌ای، ریشه‌های گیاهان ذرت هر ستون به آرامی از ستون‌ها خارج شد. به دلیل تراکم بیشتر ریشه‌ها در لایه ۱۲/۵ تا ۲۵ سانتی‌متری خاک، خاکدانه‌های چسبیده به ریشه‌های موجود در این عمق خاک به منظور تعیین شاخص‌های پایداری ساختمان

خاک جمع‌آوری شدند. خاکدانه‌های چسبیده به ریشه‌های گیاهان ذرت به عنوان خاک ریزوسفر[۱] و خاکدانه‌های موجود در خاک بدون ریشه در هر ستون نیز به عنوان توده خاک[۲] جمع‌آوری شد.

برای اندازه‌گیری پایداری ساختمان خاک از روش اصلاح شده HEMC استفاده شد (Collis-George and Figueroa 1984). بر اساس این روش خاکدانه‌ها به دو روش آهسته و سریع مرطوب شده و سپس منحنی مشخصه رطوبتی آن‌ها در انرژی‌های زیاد (مکش‌های ماتریک کم) اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱). شاخص پایداری خاکدانه‌ها از راه کمّی‌کردن تفاضل بین منحنی مشخصه رطوبتی در دو حالت مرطوب‌کردن آهسته و سریع به دست می‌آید. به این منظور شاخص پایداری خاک[۳] (SI) از نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی[۴] (VDP) به مکش در نقطه عطف منحنی مشخصه رطوبتی (h_{modal}) در هر دو حالت مرطوب‌شدن محاسبه می‌شود (رابطه ۱). در واقع h_{modal} بیانگرمکش ماتریک در نقطه اوج منحنی نگهداشت ویژه آب خاک (مشتق اول HEMC) است. شاخص VDP نیز به عنوان انتگرال مشتق اول HEMC (ناحیه زیر منحنی نگهداشت ویژه آب و بالای خط انقباض خاک) تعریف می‌شود (شکل ۱). در نهایت نسبت شاخص‌های پایداری خاک در حالت مرطوب‌شدن سریع به مرطوب‌شدن آهسته به عنوان نسبت پایداری[۵] (SR) محاسبه شد (رابطه ۲). به طور معمول نسبت پایداری (SR) برای مقایسه پایداری خاکدانه‌ها در دامنه صفر تا یک استفاده می‌شود. در صورتی‌که مقدار SR برابر یک باشد، نشان‌دهنده خاکدانه‌های کاملاً پایدار در حالت مرطوب‌شدن سریع است. مقدار SR برابر صفر بیانگرآن است که مرطوب‌شدن سریع به اندازه‌ای سبب تخریب خاکدانه‌ها شده که تمام منافذ قابل زه‌کشی در دامنه مکش ماتریک به‌کار رفته از بین رفته‌اند.



شکل ۱- نمایش شماتیک الف) منحنی مشخصه رطوبتی پر انرژی (HEMC) و ب) منحنی نگهداشت ویژه آب در دو حالت مرطوب‌شدن سریع و آهسته.

$$SI = \frac{VDP}{h_{modal}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$SR = \frac{SI_{fast\ wetting}}{SI_{slow\ wetting}} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی در مرطوب‌شدن سریع به مرطوب‌شدن آهسته به منظور ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها نیز محاسبه و بررسی شد:

۱- Rhizosphere soil

۲- Bulk soil

۳- Stability index

٤- Volume of drainable pores

٥- Stability ratio

$$VDPR = \frac{VDP_{fast\ wetting}}{VDP_{slow\ wetting}}$$ (رابطه ۳)

برای ارزیابی اثر تیمارها بر پایداری خاکدانه‌های ریزوسفر در مقایسه با توده خاک، RSR نسبت پایداری نسبی[1] از رابطه ۴ محاسبه محاسبه شد:

$$RSR = \frac{SR_R}{SR_B}$$ (رابطه ۴)

که در آن SR_R نسبت پایداری ریزوسفر و SR_B نسبت پایداری توده خاک است.

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی و به صورت آرایش فاکتوریل سه فاکتوره شامل فاکتورهای دو نوع خاک (فلاورجان و زیار)، دو نوع کود آلی (لجن فاضلاب و بیوچار) و سه نرخ کاربرد (۱، ۲ و ۳) مورد تجزیه آماری قرار گرفت. نتایج به روش تجزیه واریانس (ANOVA) با نرم‌افزار SAS تجزیه آماری شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۰/۰۵ > p صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر خاک، کود آلی، مقدار کاربرد و برهم‌کنش آن‌ها بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک نشان داد که اثر نوع کود آلی بر نسبت پایداری توده خاک (SR_B) معنی‌دار نبود. نسبت پایداری ریزوسفر (SR_R) در تیمار بیوچار به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود، که احتمالاً می‌تواند به دلیل پایداری بیوچار و آب‌گریزی آن باشد. مقدار شاخص SR_R در تیمار لجن فاضلاب نیز به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین تاثیر نوع تیمار اصلاحی بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک به روش HEMC.

نوع تیمار	SR_B	SR_R	RSR	$VDPR_B$	$VDPR_R$
شاهد	۰/۵۵۱^{a}	۰/۶۹۱^{d}	۱/۲۴^{c}	۰/۶۶۶^{a}	۰/۵۴۹^{b}
لجن فاضلاب	۰/۵۴۴^{a}	۰/۷۰۶^{c}	۱/۳۱^{b}	۰/۵۹۷^{b}	۰/۵۶۹^{b}
بیوچار	۰/۵۳۷^{a}	۰/۷۵۷^{a}	۱/۷۹^{a}	۰/۴۹۶^{c}	۰/۶۷۱^{a}
$LSD_{0.05}$	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۱

SR_B نسبت پایداری توده خاک، SR_R نسبت پایداری ریزوسفر، RSR نسبت پایداری نسبی، $VDPR_B$ نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی در حالت مرطوب‌شدن سریع به آهسته در توده خاک، $VDPR_R$ نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی در حالت مرطوب‌شدن سریع به آهسته در ریزوسفر.

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

به طور کلی نسبت پایداری ریزوسفر در تمام تیمارها بیشتر از نسبت پایداری توده خاک بود؛ این یافته نشان‌دهنده نقش ریشه گیاه در افزایش پایداری خاکدانه‌ها است. به همین دلیل مقدار شاخص نسبت پایداری نسبی (RSR) نیز در تمام تیمارها بزرگتر از یک بود. از آن‌جا که مقادیر شاخص SR_B تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای بیوچار و لجن فاضلاب نداشت اما مقادیر SR_R بین تیمارهای بیوچار و لجن فاضلاب به طور معنی‌داری متفاوت بود، مقدار شاخص RSR نیز در تیمار بیوچار به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار لجن فاضلاب و نیز شاهد به دست آمد (جدول ۲). این یافته بیانگر آن است که تیمار بیوچار نسبت به لجن فاضلاب نقش بیشتری در افزایش پایداری ساختمان خاک ریزوسفر نسبت به توده خاک دارد. Baiamonte *et al.* (2014) نیز گزارش کردند که افزودن بیوچار چوب درخت صنوبر به یک خاک رس‌شنی سبب افزایش مقدار نسبت پایداری (SR) و حجم منافذ قابل زه‌کشی نسبت به نمونه خاک شاهد شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد که با افزایش مقدار کاربرد بیوچار از ۴۱ تن در هکتار به ۷۲ و ۸۴ تن در هکتار، مقدار نسبت پایداری (SR) نیز افزایش یافت که به دلیل نقش ماده آلی در پایداری خاکدانه‌ها است. مقدار هر دو شاخص نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی در حالت مرطوب‌شدن سریع به آهسته در توده خاک ($VDPR_B$) و در ریزوسفر ($VDPR_R$) کوچکتر از یک بود، که به دلیل حجم منافذ قابل زه‌کشی کمتر در حالت مرطوب‌شدن سریع در مقایسه با مرطوب‌شدن آهسته است. مقدار شاخص

۱- Relative stability ratio

$VDPR_B$ در تیمار لجن فاضلاب به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار بیوچار بود. مقدار شاخص $VDPR_R$ در تیمار بیوچار به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای لجن فاضلاب و شاهد بود. به بیان دیگر در حضور ریشه حجم منافذ قابل زه‌کشی در مرطوب‌شدن سریع نسبت به آهسته، با کاربرد بیوچار افزایش معنی‌داری نسبت به لجن فاضلاب و شاهد داشت. این مساله احتمالاً به دلیل پایدارتربودن ساختمان خاک و ذرات بیوچار در این تیمار در برابر مرطوب‌شدن سریع است. Hosseini *et al.* (2015) دریافتند که مقادیر شاخص نسبی RSR ریزوسفر فسکیوی بلند در حضور اندوفیت به‌ویژه در مرطوب‌شدن سریع نسبت به تیمارهای بدون اندوفیت افزایش می‌یابد.

اثر نوع خاک بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک معنی‌دار بود. نسبت پایداری توده خاک (SR_B) و نسبت پایداری ریزوسفر (SR_R) در خاک زیار به طور معنی‌داری بیشتر از خاک فلاورجان بود. درحالی‌که مقدار شاخص نسبت پایداری نسبی (RSR) در خاک فلاورجان به طور معنی‌داری بیشتر از خاک زیار بود (جدول ۳). این یافته نشان می‌دهد که محیط ریزوسفر در خاک فلاورجان احتمالاً نقش بیشتری در ایجاد خاکدانه‌های پایدار نسبت به محیط ریزوسفر خاک زیار داشته است. این گفته می‌تواند به دلیل غلظت بیشتر عناصر غذایی مانند نیتروژن و پتاسیم، و ماده آلی و نیز CEC بیشتر در خاک فلاورجان و در نتیجه ایجاد شرایط بهتر برای توسعه ریشه در این خاک نسبت به خاک زیار باشد (جدول ۱).

جدول ۳- مقایسه میانگین تاثیر نوع خاک بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک به روش HEMC.

نوع خاک	SR_B	SR_R	RSR	$VDPR_B$	$VDPR_R$
فلاورجان	۰/۳۵^{b}	۰/۶۲^{b}	۱/۷۷^{a}	۰/۳۶^{b}	۰/۵۴^{b}
زیار	۰/۷۲^{a}	۰/۸۴^{a}	۱/۱۷^{b}	۰/۷۶^{a}	۰/۶۹^{a}
$LSD_{0.05}$	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۰۱۵

SR_B نسبت پایداری توده خاک، SR_R نسبت پایداری ریزوسفر، RSR نسبت پایداری نسبی، $VDPR_B$ نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی در حالت مرطوب‌شدن سریع به آهسته در توده خاک، $VDPR_R$ نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی در حالت مرطوب‌شدن سریع به آهسته در ریزوسفر.
حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

در هر دو نوع تیمار آلی تفاوت معنی‌داری از نظر مقدار شاخص نسبت پایداری توده خاک (SR_B) بین سطوح مختلف کاربرد دیده نشد (جدول ۴). اما مقدار SR_B بین تیمارهای S۲ و B۲ تفاوت معنی‌داری داشت. شاخص نسبت پایداری ریزوسفر (SR_R) نیز تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کاربرد لجن فاضلاب نداشت. بیشترین مقدار SR_R در تیمار B۳ دیده شد که به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود.

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیر برهم‌کنش نوع تیمار آلی و مقدار کاربرد بر شاخص‌های پایداری ساختمان خاک به روش HEMC.

نوع تیمار آلی	نرخ کاربرد ($Mg\ ha^{-1}$)	SR_B	SR_R	RSR	$VDPR_B$	$VDPR_R$
لجن فاضلاب	S۱-۱۰	۰/۵۲۳^{ab}	۰/۷۲۴^{b}	۱/۳۹^{b}	۰/۶۰۴^{a}	۰/۳۹۰^{c}
	S۲-۲۰	۰/۵۷۳^{a}	۰/۶۹۳^{b}	۱/۲۳^{b}	۰/۵۹۰^{a}	۰/۷۵۵^{a}
	S۳-۴۰	۰/۵۳۵^{ab}	۰/۶۹۹^{b}	۱/۳۲^{b}	۰/۵۹۶^{a}	۰/۵۶۰^{b}
بیوچار	B۱-۷/۳	۰/۵۵۸^{ab}	۰/۷۰۶^{b}	۱/۳۷^{b}	۰/۶۱۲^{a}	۰/۶۳۴^{ab}
	B۲-۱۴/۵	۰/۵۰۴^{b}	۰/۷۴۳^{b}	۱/۹۶^{a}	۰/۴۲۸^{b}	۰/۶۶۸^{ab}
	B۳-۲۹	۰/۵۴۹^{ab}	۰/۸۲۴^{a}	۲/۰۵^{a}	۰/۴۴۶^{b}	۰/۷۱۱^{a}
شاهد	۰	۰/۵۵۱^{ab}	۰/۶۹۱^{b}	۱/۲۴^{b}	۰/۶۶۶^{a}	۰/۵۴۹^{b}
$LSD_{0.05}$	-	۰/۰۲۷	۰/۰۱۹	۰/۰۸	۰/۰۷۷	۰/۰۶۱

SR_B نسبت پایداری توده خاک، SR_R نسبت پایداری ریزوسفر، RSR نسبت پایداری نسبی، $VDPR_B$ نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی در حالت مرطوب‌شدن سریع به آهسته در توده خاک، $VDPR_R$ نسبت حجم منافذ قابل زه‌کشی در حالت مرطوب‌شدن سریع به آهسته در ریزوسفر.

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

روند مشابهی برای RSR در بین نرخ‌های مختلف کاربرد لجن فاضلاب دیده شد، اما مقدار RSR تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای B۲ و B۳ نداشت. تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص $VDPR_B$ بین مقادیر مختلف کاربرد لجن فاضلاب دیده نشد، اما مقدار آن در تیمار B۱ به طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای B۲ و B۳ بود. مقدار شاخص $VDPR_R$ در تیمار S۲ به طور معنی‌داری بیشتر از دو سطح دیگر لجن فاضلاب بود، اما بین مقادیر مختلف کاربرد بیوچار تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول۴).

نتیجه‌گیری

مقدار نسبت پایداری نسبی (RSR) در تیمار بیوچار و پس از آن در تیمار لجن فاضلاب به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد بود. این یافته بیانگر نقش مواد آلی مانند لجن فاضلاب و بیوچار آن در افزایش پایداری ساختمان خاک ریزوسفر نسبت به توده خاک در مقایسه با تیمار شاهد است. مقادیر بزرگ‌تر (معنی‌دار) RSR در خاک لوم رسی نسبت به خاک لوم، نشان می‌دهد محیط ریزوسفر در خاک لوم رسی احتمالاً نقش بیشتری در ایجاد خاکدانه‌های پایدار نسبت به ریزوسفر خاک لوم دارد.

فهرست منابع

درستکار، و و گنجی نوروزی، ز. ۰(۱۳۹۷). بررسی تأثیر بقایای برگ سنجد و زردآلو بر پایداری ساختمان خاک به روش HEMC در شوری‌های مختلف خاک. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹(۶): ۱۳۳۰-۱۳۱۹.

Baiamonte, G., Pasquale, C. D., Marsala, V., Cimo, G., Alonzo, G., Crescimanno, G., Conte, P. 2014. Structure alteration of a sandy-clay soil by biochar amendments. *J. Soils Sediments*, 15: 816–824.

Collis-George, N., Figueroa, B. S. 1984. The use of high energy moisture characteristic to assess soil stability. *Aust. J. Soil Res.*, 22: 349–356.

Hardie, M., Clothier, B., Bound, S., Oliver, G., Close, D. 2014. Does biochar influence soil physical properties and soil water availability?. *Plant Soil*, 376: 347–361.

Hosseini, F., Mosaddeghi, M. R., Hajabbasi, M. A., Sabzalian, M. R. 2015. Influence of tall fescue endophyte infection on structural stability as quantified by high energy moisture characteristic in a range of soils. *Geoderma*, 249–250: 87–99.

Khanmohammadi, Z., Afyuni, M., Mosaddeghi, M.R. 2015. Effect of pyrolysis temperature on chemical and physical properties of sewage sludge biochar. *Waste Manage. Res.*, 33: 275–283.

Major, J., Lehmann, J., Rondon, M., Goodale, C. 2010. Fate of soil applied black carbon: downward migration, leaching and soil respiration. *Glob. Change Biol.*, 16: 1366–1379.

Effect of sewage sludge and its biochar on soil structure stability as assessed by HEMC method

Zahra Khanmohammadi[1*], Majid Afyuni[2] and Mohammad Reza Mosaddeghi[2]

1- Assistant. Professor, Department of Soil and Water Research, Isfahan Agricultural Research, Education and Extention Organization.

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

Abstract

The use of organic residues such as sewage sludge and biochar can affect soil physical properties. The objective of this study was to investigate the effect of sewage sludge and its biochar on structural stability of two calcareous soils, clay loam and loam under corn, by the high energy moisture characteristic (HEMC) method. The soils were mixed with sewage sludge (S) at the rates of 10, 20 and 40 Mg ha^{-1} (S1, S2 and S3 treatments respectively). The biochar (B) was applied at the rates of 7.3, 14.5 and 29 Mg ha^{-1} (B1, B2 and B3). At the harvest time, aggregates were collected from rhizosphere and bulk soil. Soil structural stability indicators were calculated using the HEMC method. The results showed that the relative stability ratio (RSR) in biochar treatment was significantly higher than those in sewage treatment and control. In addition, the RSR in clay loam soil was significantly higher than that in loam soil. The volume of drainable pores (VDP) in sewage sludge and biochar treatments of clay loam soil was higher compared to the same treatments of loam soil. The highest value of rhizosphere stability ratio (SR_R) was observed in B3 treatment, that was significantly greater than other treatments.

*. Corresponding author, Email: z.khanmohamadi@areeo.ac.ir

Keywords: sewage sludge, biochar, soil structure stability, high energy moisture characteristic.

ارزیابی کیفیت آب‌های زیرزمینی برای مصارف کشاورزی در استان خراسان جنوبی (مطالعه موردی: دشت بیرجند)

بصیر عطاردی

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

Basir.atarodi@gmail.com

چکیده

به منظور ارزیابی کیفیت آب‌های مورد استفاده در کشاورزی در دشت بیرجند، نمونه‌برداری از آب ۳۷ حلقه چاه و قنات انجام شد. در این نمونه‌ها، پارامترهای EC، غلظت سدیم، کلسیم، منیزیم، کلر، کربنات و بی‌کربنات اندازه‌گیری شد و شاخص‌های شوری موثر، SAR و MH نیز محاسبه گردید. سپس، ارزیابی و گروه‌بندی آب‌ها بر اساس روش " آیرز و وستکات" انجام گردید. نتایج نشان داد تمام نمونه‌های مورد بررسی، دارای شاخص MH بیشتر از ۵۰ درصد بودند. از نظر شاخص شوری، ۴۶ درصد نمونه‌ها دارای محدودیت کم تا متوسط، ۵۴ درصد دارای محدودیت شدید و هیچ نمونه آبی، بدون محدودیت مصرف برای کشاورزی وجود نداشت. از ۳۷ نمونه مورد بررسی، ۲ نمونه دارای SAR بیشتر از ۹، ۲۹ نمونه دارای ۹-۳ = SAR، و ۶ نمونه به دلیل دارا بودن ۳ >SAR دارای کیفیت عالی برای کشاوزی بود. در بیشتر نقاط دشت بیرجند، خطر سمیت کلر در آب‌های آبیاری وجود داشت. علاوه بر این، همه آب‌های مورد مطالعه در این پژوهش از نظر یون بی‌کربنات دارای محدودیت متوسط تا شدید بودند. در مجموع، به نظر می‌رسد زیادی غلظت منیزیم، کلر و بی‌کربنات سه محدودیت اصلی آب‌های مورد استفاده بخش کشاورزی در دشت بیرجند، می‌باشد.

واژگان کلیدی: آبیاری، شاخص کیفی، غلظت یونی

مقدمه

ترکیب شیمیایی آب آبیاری و خاک بر یکدیگر اثرات متقابل داشته، بر جذب و انتقال آب و عناصر غذائی به وسیله گیاه نیز اثر می‌گذارد. از طرفی، آگاهی از ترکیب و غلظت عناصر موجود در آب آبیاری در ارزیابی کاربرد آن و انتخاب نوع گیاه قابل کشت مفید می‌باشد (Rawat *et al*. 2018). از اینرو، ارزیابی و پایش مستمر کیفیت منابع آب زیرزمینی از جمله ضروریات اساسی بخش کشاورزی محسوب می‌شود.

به طور کلی در ارزیابی کیفیت آب آبیاری سه عامل شوری کل، SAR و سمیت یونی در نظر گرفته می‌شوند. نتایج حاصل از چنین ارزیابی‌هائی، می‌تواند در خصوص کاربری آب‌های آبیاری و ارزیابی تناسب آنها برای کشت گیاهان مختلف، اطلاعات مفیدی به پژوهشگران، سازمان‌های ذینفع و کشاورزان ارائه نماید.

مطالعات مختلفی در راستای ارزیابی کیفیت آب برای مصارف کشاورزی توسط محققان انجام شده است. حسینی و همکاران (۱۳۹۷) با مطالعه شاخص‌های کیفیت آب ۲۱ حلقه چاه کشاورزی در استان ایلام گزارش کردند که بیش از ۸۰ درصد نمونه‌ها دارای شوری و قلیائیت بالا بوده، در کلاس C3S4 قرار می‌گیرند. اسدزاده و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند که شاخص MH در ۹۰ درصد آب‌های دشت اردبیل، کمتر از ۵۰ درصد بوده که این امر بیان کننده کیفیت مناسب این آب‌ها از نظر میزان منیزیم بوده در حالی که به استناد مطالعات آنها، زیادی غلظت یون کلر یکی از محدودیت‌های اساسی کاربرد سیستم‌های آبیاری بارانی در کشاورزی این استان بود.

دشت بیرجند از جمله مهم‌ترین مناطق کشاورزی استان خراسان جنوبی بوده و بخش قابل توجهی از آب مورد نیاز بخش کشاورزی منطقه مورد مطالعه از سفره آب زیزمینی این دشت تامین می‌گردد. در اراضی این دشت، محصولات مهم زراعی و باغی نظیر زرشک، زعفران، عناب و غلات کشت می‌شود. در سال‌های اخیر برداشت بی‌رویهٔ آب از آب‌خوانهای کشور سبب کاهش کیفیت آب زیرزمینی در بیشتر دشت‌ها شده‌است (قره‌محمودلو و همکاران، ۱۳۹۸). از اینرو، مطالعه حاضر با هدف بررسی و ارزیابی کیفیت آب‌های آبیاری دشت مذکور - با استفاده از اندازه‌گیری غلظت برخی کاتیون‌ها و آنیون‌ها و محاسبه چند شاخص مهم - انجام شد.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر و در طی سال ۱۳۹۸، نمونه‌برداری از آب ۳۷ حلقه چاه و قنات که در دشت بیرجند (مختصات ۳۲ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸ دقیقه عرض جغرافیائی شرقی و ۵۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۴۴ دقیقه طول جغرافیائی شمالی) برای مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفت انجام گردید. مختصات جغرافیائی منابع آب نمونه‌برداری شده در جدول ۱ ذکر شده است. در نمونه‌های برداشت شده، پارامترهای EC با استفاده از EC متر، غلظت کلسیم، منیزیم، کلر و کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون، غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از فلیم‌فتومتر و غلظت سولفات با روش کدورت سنجی[1] (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۲) اندازه‌گیری شد. با استفاده از این داده‌ها، شاخص-هائی نظیر شوری موثر[2]، SAR [3] و MH [4] نیز محاسبه گردید (Tahmasebi *et al*. 2018 ؛ Doneen 1954). فرمول‌های مورد استفاده برای محاسبه شاخص‌های مذکور، در قسمت "نتایج و بحث" و مقادیر عددی این شاخص‌ها، در جدول ۱ گزارش شده است. در مرحله بعد، ارزیابی و گروه‌بندی آب‌ها بر اساس روش " آیرز و وستکات " (Ayers and Westcot 1985) انجام گردید.

نتایج و بحث

- شاخص MH:

برخی پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که در ارزیابی کیفی آب آبیاری به جای اینکه غلظت کلسیم و منیزیم به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گیرد باید نسبت آنها در نظر گرفته شود و در این خصوص، شاخصی تحت عنوان خطر (سمیت) منیزیم (MH) تعریف نموده‌اند که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Tahmasebi *et al*. 2018).

رابطه (۱) $$MH=\frac{Mg^{+2}}{Ca^{+2}+Mg^{+2}}*100 \quad (\text{غلظت یون‌ها بر حسب } \frac{meq}{lit})$$

در ۳۷ نمونه مورد مطالعه، مقدار شاخص MH از ۵۲/۶ تا ۷۷/۳ درصد متغیر بوده، میانگین این شاخص ۶۸/۲ درصد بود. به عبارتی در تمام نمونه‌های مورد بررسی مقدار شاخص MH بیشتر از ۵۰ درصد بوده، خطر ناشی از منیزیم زیاد، در آب آبیاری کل محدوده دشت بیرجند وجود داشت. چنانچه مقدار این شاخص در آب آبیاری بیشتر از ۵۰ درصد باشد مصرف آن در دراز مدت، مشکلاتی نظیر کمبود کلسیم در گیاهان به وجود می‌آورد. این موضوع تا حدود زیادی به اثرات منفی منیزیم بر جذب کلسیم مربوط می‌باشد به طوری که علی‌رغم آن که مقدار مطلق کلسیم در محلول خاک در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک، کافی و حتی بالاتر از حد مورد نیاز می‌باشد با این وجود ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی ناشی از کمبود کلسیم در گیاهان کشت شده در این خاک‌ها، از جمله در باغات عناب مشاهده می‌گردد (عطاردی، ۱۳۹۸؛ *et* Zharare *al*. 2010). همچنین، در شرایطی که شاخص MH از ۵۰ درصد بیشتر باشد احتمال پراکنش ذرات خاک و کاهش نفوذپذیری خاک وجود دارد.

1- Turbidimetry
2- Effective salinity (ES)
3- Sodium adsorption ratio (SAR)
4 - Magnesium Hazard (MH)

- شاخص EC (هدایت الکتریکی) (شوری):

بر اساس روش آیرز و وستکات، چنانچه EC < ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر باشد آب بدون محدودیت، در دامنه ۳- ۰/۷ EC = آب دارای محدودیت کم تا متوسط، و در EC > ۳ محدودیت شدید آب برای مصارف کشاورزی وجود دارد. حداقل و حداکثر EC در نمونه‌های مورد مطالعه، به ترتیب ۸/. و ۹/۱۱ و میانگین آن، ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. بر اساس طبقه‌بندی آیرز و وستکات که در بالا به آن اشاره شد در بین ۳۷ نمونه آب مورد بررسی، ۴۶ درصد نمونه‌ها دارای محدودیت کم تا متوسط، ۵۴ درصد دارای محدودیت شدید بود و هیچ نمونه آبی، بدون محدودیت مصرف برای کشاورزی نبود.

- شاخص شوری موثر (ES):

گروهی از محققان، نقش یون‌هایی نظیر سولفات و بی‌کربنات را در رسوب یون‌هائی نظیر کلسیم و منیزیم در خاک موثر دانسته و پارامتری تحت عنوان "شوری موثر" تعریف کرده‌اند. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید (Doneen 1954).

رابطه (۲) $ES=\frac{(Ca^{+2}+Mg^{+2}+Na^{+})-(HCO3^{-}+SO4^{-2})}{10}$ (غلظت یون‌ها بر حسب $\frac{meq}{lit}$ و ES بر حسب $\frac{dS}{m}$)

حداقل و حداکثر "شوری موثر" در نمونه‌های مورد مطالعه به ترتیب ۰/۲۸ و ۷/۶۰ و میانگین آن، ۲/۹۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. با در نظر گرفتن این شاخص و با استفاده از گروه‌بندی ارائه شده در روش آیرز و وستکات، ۱۸درصد نمونه‌های آب بدون محدودیت مصرف برای کشاورزی، ۳۵ درصد دارای محدودیت کم تا متوسط، و ۴۷ درصد نمونه‌ها دارای محدودیت شدید بودند.

اگرچه بر اساس شاخص EC، هیچ کدام از نمونه‌های آب مورد مطالعه فاقد محدودیت نبودند ولی بر اساس شاخص "شوری موثر"، ۱۸ درصد نمونه‌های آب، بدون محدودیت مصرف برای کشاورزی می‌باشند. این نتایج، با واقعیت‌ها و مشاهدات مزرعه‌ای تطابق بیشتری دارد چون که تعداد قابل ملاحظه‌ای از آب‌های مورد مطالعه در این پژوهش، سالیان متوالی بدون ایجاد مشکل خاصی برای آبیاری زعفران – که گیاهی حساس به شوری می‌باشد- استفاده شده. از اینرو، به نظر می‌رسد شاخص "شوری موثر" در مقایسه با شاخص EC، معیار مناسب‌تر و واقعی‌تری برای ارزیابی آب‌های آبیاری باشد.

علاوه بر شاخص‌های اشاره شده در بالا، در ارزیابی کیفی آب آبیاری به روش آیرز و وستکات اندازه‌گیری غلظت سه یون سدیم، کلر و بی‌کربنات به عنوان یون‌های خاص مورد تاکید قرار گرفته است (هنرجو، ۱۳۸۹).

- غلظت یون سدیم:

یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت آب آبیاری، غلظت یون سدیم می‌باشد که با شاخصی تحت عنوان " نسبت جذب سدیم" (SAR) بیان می‌گردد. این شاخص، میزان سمیت یون سدیم در اثر استفاده از آب آبیاری را نشان می‌دهد (علیزاده، ۱۳۸۸) و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

رابطه (۳) $SAR=\frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}}$ (غلظت یون‌ها بر حسب $\frac{meq}{lit}$)

بر اساس ارزیابی روش آیرز و وستکات، چنانچه میزان SAR<۳ باشد آب حتی برای آبیاری گیاهان حساس نظیر درختان میوه، گردو و بادام هیچ گونه محدودیتی نخواهد داشت در مقادیر SAR = ۳-۹ برای گیاهان حساس مسمومیت متوسط ایجاد شده ولی برای گیاهان نیمه مقاوم مانند سورگوم، گندم و گوجه‌فرنگی مسمومیت بروز نخواهد کرد (هنرجو، ۱۳۸۹).

در مقادیر ۹ <SAR، گیاهان حساس دچار مسمومیت شدید ناشی از یون سدیم خواهند شد ولی برای گیاهان مقاوم مانند جو، یونجه و پنبه در این شرایط نیز مشکلی بروز نخواهد کرد.

حداقل و حداکثر SAR در نمونه‌های مورد مطالعه، به ترتیب ۲/۱۵ و ۱۱/۸۰ و میانگین SAR، ۵/۳۰ بود. ضمناً، از ۳۷ نمونه مورد بررسی، ۲ نمونه دارای SAR بیشتر از ۹ بود، ۲۹ نمونه دارای ۹-۳ = SAR، و ۶ نمونه به دلیل دارا بودن ۳ >SAR دارای کیفیت عالی برای کشاورزی بوده و هیچ گونه محدودیتی، حتی برای گیاهان حساس نداشتند.

- غلظت یون کلر:

حداقل، حداکثر و میانگین غلظت کلر نمونه‌های آب، به ترتیب ۱/۶۳، ۶۹/۷ و ۲۸/۱۸ میلی اکی‌والان در لیتر بود. بر اساس روش آیرز و وستکات، غلظت کلر در ۱۳/۵ درصد نمونه‌های مورد آزمایش بدون محدودیت، در ۱۶/۲ درصد نمونه‌ها دارای محدودیت متوسط و در ۶۷/۶ درصد نمونه‌ها دارای محدودیت شدید بود. این نتایج، نشان می‌دهند در بیشتر نقاط دشت بیرجند خطر وجود سمیت کلر در آب‌های آبیاری وجود دارد که این موضوع علاوه بر بروز مشکلاتی نظیر سوختگی حاشیه برگ‌ها و کاهش عملکرد، محدودیت کاربرد سیستم‌های آبیاری بارانی را نیز به همراه خواهد داشت (اسدزاده و همکاران، ۱۳۹۸).

- غلظت یون‌های کربنات و بی‌کربنات:

دامنه مجموع غلظت کربنات و بی‌کربنات از ۱/۹ تا ۸/۸ میلی اکی‌والان بر لیتر متغیر بود. بر اساس روش آیرز و وستکات، غلظت‌های ۱/۵ تا ۸/۵ میلی اکی‌والان بر لیتر بی‌کربنات باعث محدودیت متوسط و غلظت‌های بیشتر از ۸/۵ میلی اکی‌والان بر لیتر محدوددیت شدید به همراه دارند. بر این اساس، همه آب‌های مورد استفاده در این پژوهش از نظر یون بی‌کربنات دارای درجات محدودیت متوسط تا شدید بودند.

نتیجه‌گیری

ارزیابی کیفی آب‌های کشاورزی دشت بیرجند نشان داد که زیادی یون‌های کلر و بی‌کربنات، و بالا بودن نسبت $\frac{Mg}{Ca}$ سه مشکل اساسی آب‌های مورد استفاده در کشاورزی منطقه می‌باشد. با توجه به اینکه حدود ۷۰ درصد آب‌های مورد مطالعه از نظر کلر دارای محدودیت شدید بودند از اینرو، آبیاری گیاهان مقاومی از جمله جو، پنبه، چغندرقند، پنبه و گلرنگ با محدودیت زیادی مواجه نخواهند بود ولی مشکل سوختگی برگ در درختانی نظیر زردآلو و آلو بروز خواهد کرد. علاوه بر این، به دلیل احتمال بالای سوختگی برگ، استفاده از این آب‌ها در سیستم آبیاری بارانی نیز توصیه نمی‌شود. گرچه خاک‌های دشت بیرجند مانند خاک‌های سایر مناطق خشک و نیمه خشک دارای کربنات کلسیم نسبتاً بالائی می‌باشد ولی به دلیل حلالیت کم این ترکیب، نمی‌توان انتظار داشت که کلسیم کافی به صورت محلول در خاک وجود داشته باشد به طوری که بتواند نسبت بالای $\frac{Mg}{Ca}$ در آب آبیاری را تعدیل نماید. از اینرو، به نظر می‌رسد افزودن ترکیباتی مانند نیترات کلسیم و یا کلرید کلسیم به آب و یا اضافه کردن گچ به خاک‌های منطقه، بتواند محدودیت‌های آب دشت بیرجند را کاهش داد.

جدول ۱- برخی شاخص‌های ارزیابی در نمونه‌های آب مورد بررسی در دشت بیرجند

شماره نقطه	مختصات نقطه (UTM)	سمیت منیزیم درصد	هدایت الکتریکی دسی-زیمنس بر متر	شوری موثر دسی-زیمنس بر متر	نسبت جذب سدیم	کلر میلی اکی‌والان بر لیتر	(کربنات+ بی-کربنات) میلی اکی‌والان بر لیتر
۱	۶۷۶۵۸۳ ۳۶۳۱۷۲۹	۷۷٫۲۰	۴٫۸۸	۳٫۷۵	۴٫۴۴	۳۶٫۹۲	۲٫۳۶
۲	۶۸۲۸۲۱ ۳۶۳۷۰۵۷	۷۳٫۵۷	۲٫۷۵	۱٫۷۴	۴٫۳۴	۱۷٫۲۳	۲٫۸۹
۳	۶۸۴۱۷۲ ۳۶۴۰۹۷۵	۷۱٫۸۸	۹٫۱۱	۷٫۶۱	۷٫۳۷	۶۹٫۷۲	۱٫۸۹
۴	۷۰۷۷۱۲ ۳۶۳۶۷۴۴	۷۰٫۰۰	۱٫۵۵	۰٫۷۹	۳٫۷۱	۷٫۲۷	۳٫۲۰
۵	۷۲۹۰۶۷ ۳۶۳۲۹۲۶	۶۵٫۶۹	۵٫۳۱	۴٫۳۰	۶٫۲۳	۴۱٫۶۹	۱٫۸۹
۶	۷۲۲۷۳۷ ۳۶۳۶۳۹۳	۶۸٫۵۱	۶٫۳۰	۵٫۰۷	۷٫۴۹	۴۷٫۸۵	۱٫۹۹
۷	۶۷۶۰۴۱ ۳۶۳۰۱۵۲	۷۰٫۴۸	۶٫۳۶	۵٫۱۴	۷٫۳۹	۴۸٫۷۰	۲٫۷۸
۸	۷۱۸۸۴۵ ۳۶۳۸۵۴۲	۷۳٫۲۲	۵٫۹۹	۵٫۰۰	۶٫۹۹	۴۵٫۱۱	۲٫۰۵
۹	۶۷۵۱۲۶ ۳۶۳۶۳۰۷	۷۷٫۲۹	۳٫۵۵	۲٫۴۷	۶٫۴۳	۲۳٫۹۳	۲٫۵۷
۱۰	۶۹۷۷۹۶ ۳۶۳۸۵۵۱	۷۵٫۵۲	۲٫۲۳	۱٫۴۸	۴٫۵۴	۱۱٫۹۵	۴٫۱۰
۱۱	۶۸۷۰۱۴ ۳۶۴۱۴۰۹	۷۳٫۵۸	۴٫۳۷	۳٫۲۲	۴٫۹۰	۳۳٫۴۷	۲٫۰۵
۱۲	۷۲۳۱۱۴ ۳۶۳۸۶۴۷	۵۹٫۵۳	۳٫۰۵	۲٫۰۷	۴٫۹۵	۲۰٫۹۷	۲٫۶۲
۱۳	۶۸۰۲۳۲ ۳۶۳۷۸۲۷	۶۸٫۶۱	۷٫۳۹	۵٫۴۵	۶٫۳۰	۵۸٫۳۳	۱٫۹۹
۱۴	۷۰۳۶۸۶ ۳۶۴۰۸۱۶	۶۸٫۵۶	۷٫۴۱	۶٫۲۳	۷٫۵۸	۵۹٫۱۸	۲٫۶۸
۱۵	۷۱۶۳۷۴ ۳۶۳۶۹۴۶	۶۹٫۱۶	۳٫۰۲	۲٫۰۴	۶٫۸۳	۱۹٫۸۳	۴٫۶۹
۱۶	۶۶۳۹۶۷ ۳۶۳۴۳۲۰	۶۱٫۶۸	۰٫۸۱	۰٫۳۰	۲٫۸۳	۲٫۷۵	۲٫۶۰
۱۷	۷۳۷۹۰۶ ۳۶۲۰۴۴۴	۶۸٫۴۴	۱٫۹۴	۰٫۹۰	۵٫۱۷	۶٫۴۰	۵٫۸۰
۱۸	۷۳۳۵۵۵ ۳۶۱۴۴۱۱	۵۴٫۸۸	۰٫۸۰	۰٫۳۳	۲٫۱۵	۱٫۷۰	۴٫۷۸
۱۹	۶۹۹۹۵۴ ۳۶۳۹۱۶۳	۷۰٫۸۷	۰٫۹۷	۰٫۳۸	۲٫۷۳	۴٫۰۷	۳٫۸۶

ادامه جدول ۱-

۲۰	۷۲۷۴۵۵ ۳۶۴۵۰۶۵	۶۹،۸۰	۵،۵۱	۳،۶۷	۴،۰۴	۳۷،۲۹	۸،۸۰
۲۱	۷۳۲۵۲۶ ۳۶۳۴۱۶۴	۵۹،۷۴	۵،۴۷	۴،۱۲	۴،۴۰	۴۰،۵۴	۳،۷۸
۲۲	۷۰۲۷۰۷ ۳۶۴۰۰۲۵	۶۶،۴۳	۷،۳۶	۶،۱۵	۳،۵۳	۶۱،۵۸	۳،۴۹
۲۳	۷۲۷۸۸۸ ۳۶۳۴۵۲۸	۷۴،۵۸	۲،۹۳	۱،۶۵	۲،۷۰	۱۴،۰۱	۵،۵۱
۲۴	۶۷۶۰۴۱ ۳۶۳۰۱۵۲	۷۰،۶۸	۶،۱۷	۴،۸۰	۷،۴۱	۴۸،۲۸	۳،۱۰
۲۵	۶۸۷۰۱۴ ۳۶۴۱۴۰۹	۷۳،۶۵	۴،۲۲	۳،۱۴	۴،۹۵	۳۲،۴۹	۲،۰۲
۲۶	۷۰۷۷۱۲ ۳۶۳۶۷۴۴	۶۹،۵۱	۱،۵۶	۰،۷۳	۳،۸۶	۷،۱۹	۳،۳۳
۲۷	۶۷۶۵۸۳ ۳۶۳۱۷۲۹	۷۶،۲۲	۴،۶۹	۳،۳۳	۴،۵۴	۳۵،۷۱	۲،۵۳
۲۸	۶۷۵۱۲۶ ۳۶۳۶۳۰۷	۷۶،۰۱	۳،۴۶	۲،۳۶	۶،۶۱	۲۳،۵۳	۲،۵۰
۲۹	۷۲۷۸۸۸ ۳۶۳۴۵۲۸	۷۰،۵۷	۲،۹۳	۱،۶۴	۴،۴۷	۱۵،۵۴	۳،۰۴
۳۰	۷۳۲۵۲۶ ۳۶۳۴۱۶۴	۵۹،۹۹	۷،۳۵	۵،۹۳	۹،۲۱	۵۷،۰۶	۲،۱۵
۳۱	۷۲۷۴۵۵ ۳۶۴۵۰۶۵	۵۸،۸۰	۵،۴۵	۳،۲۶	۱۱،۷ ۹	۳۳،۷۶	۶،۹۸
۳۲	۷۰۲۷۰۷ ۳۶۴۰۰۲۵	۵۲،۶۱	۷،۲۲	۵،۷۵	۷،۹۸	۵۵،۸۲	۳،۰۶
۳۳	۶۹۹۹۵۴ ۳۶۳۹۱۶۳	۷۰،۰۰	۰،۹۶	۰،۳۲	۳،۰۰	۲،۸۲	۲،۹۹
۳۴	۷۳۷۹۰۶ ۳۶۲۰۴۴۴	۶۸،۳۲	۱،۹۱	۰،۷۶	۴،۶۵	۶،۱۳	۵،۵۶
۳۵	۷۳۳۵۵۵ ۳۶۱۴۴۱۱	۵۳،۵۵	۰،۸۱	۰،۳۰	۲،۵۶	۱،۶۳	۴،۹۱
۳۶	۶۶۳۹۶۷ ۳۶۳۴۳۲۰	۶۰،۱۷	۰،۷۹	۰،۲۸	۲،۹۲	۲،۴۴	۲،۷۴
۳۷	۷۱۶۳۷۴ ۳۶۳۶۹۴۶	۷۵،۶۴	۱،۹۳	۱،۰۳	۶،۲۳	۹،۸۳	۴،۵۵
	حداکثر	۷۷،۲۹	۹،۱۱	۷،۶۱	۱۱،۷ ۹	۶۹،۷۲	۸،۸۰
	حداقل	۵۲،۶۱	۰،۷۹	۰،۲۸	۲،۱۵	۱،۶۳	۱،۹۰
	میانگین	۶۸،۲۴	۴،۰۱	۲،۹۰	۵،۳۳	۲۸،۱۸	۳،۴۵

فهرست منابع

۱- اسدزاده، ف.، پیرخراطی، ح.، شیخی آلمان‌آباد، ز. (۱۳۹۸). ارزیابی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی دشت اردبیل به منظور کاربرد در سامانه‌های آبیاری. نشریه حفاظت منابع آب وخاک ۹ (۱). ۱۲۰-۱۰۷.

۲- حسینی، ع. ر.، پورمحمد، پ.، یارمحمدی، ا. (۱۳۹۷). بررسی کیفیت آب زیرزمینی در محدوده شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی با اهداف کشاورزی و شرب (مطالعه موردی: دشت عباس). نشریه علمی پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران ۱۲ (۴۰). ۵۹-۵۱.

۳- سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۲). کیفیت آب: اندازه‌گیری یون سولفات در آب. استاندارد شماره ۲۳۵۳.

۴- عطاردی، ب. (۱۳۹۸). راهنمای تغذیه درخت عناب. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. کرج. ۳۰ ص.

۵- علیزاده، ا. (۱۳۸۸). رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع). مشهد. ۳۵۳ ص.

۶- قره‌محمودلو، م.، حشمت‌پور، ع.، جندقی، ن.، زارع، ع.، مهرابی، ح. (۱۳۹۸). فصلنامه علوم محیطی ۱۷(۳). ۱۰۶-۸۹.

۷- هنرجو، ن. (۱۳۸۹). خاک‌ها و آب‌های شور و سدیمی. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی خوراسگان. اصفهان. ۲۲۴ ص.

8- Ayers R.S. and Westcot D.W. (1985). Water quality for agriculture. FAO irrigation and drainage paper. 29 (Rev.1). 44 p.

9- Doneen, L. D. (1954). Salination of soil by salts in the irrigation water. *Transactions, American Geophysical Union*, 35 (6), 943-950.

10- Rawat, K. S., Singh, S., Gautam, S. K. (2018). Assessment of groundwater quality for irrigation use: a peninsular case study. *Applied Water Science*, 8, 1-24.

11- Tahmasebi, P., Mahmudy-Gharaie, M. H., Ghassemzadeh, F., Karimi karouyeh A. (2018). Assessment of groundwater suitability for irrigation in a gold mine surrounding area, NE Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77, 1-12.

12- Zharare, G., Asher C., Blamey, F. 2(010). Magnesium antagonizes pod-zone calcium and zinc uptake by developing peanut pods. *Journal of Plant Nutrition*, 34, 1-11.

Assessment of Ground Water Quality for Agricultural Uses in South Khorasan Province (Case Study: Birjand Plain)

Basir Atarodi

Soil and Water Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran

Abstract

In order to evaluate the quality of water used in agriculture in Birjand plain, water samples were taken from 37 wells and aqueducts. In these samples, the parameters of EC, concentration of calcium, magnesium, chloride, carbonate and bicarbonate were measured and effective salinity, SAR and MH were also calculated. Then, evaluation and grouping water samples were conducted based on irrigation guidelines introduced by Ayers and Westcot. Results showed that all samples had a MH index higher than 50%. In terms of EC index, 46% of samples showed slight to moderate restriction on use, 54% had severe restriction, and there were no water samples without agricultural consumption restrictions. Out of 37 samples, 2 samples had SAR>9 (severe restriction), 29 samples had SAR 3 - 9 (slight to moderate restriction) and 6 samples had no any restriction on agricultural use. In most parts of Birjand plain, there was a risk of chloride toxicity in irrigation waters. In addition, all waters studied had moderate to severe limitations in terms of carbonate and bicarbonate ions. Generally, it seems that high concentrations of magnesium, chloride and bicarbonate are the three main limitations of water used in the agricultural sector in Birjand plain.

Keywords: Irrigation water, Quality indicator, Ionic concentration

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

مقاله

اثرات متقابل و الگوی همبستگی مکانی ویژگی‌های مختلف فیزیکی خاک در شرایط شوری

سمیرا واحدی[1]

۱- کارشناس بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. samva4s@gmail.com

چکیده

شناخت الگوهای مشترک و منابع تغییر دهنده و یا کنترل کننده ویژگی‌های مختلف خاک می‌توان راهکاری مؤثر در مدیریت متناسب با مکان باشد. با توجه به اهمیت اقتصادی تخمین تغییرات مکانی پارامترهای شیمیایی و هیدرولیکی خاک، تعیین همبستگی مکانی و نحوه تغییرات مکانی آن‌ها با مدل‌های مختلف نیم‌تغییر نما یکی از اقدامات اولیه در این‌گونه مطالعات است. از این رو در این پژوهش به ارزیابی مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنما و اجزا تغییرات مکانی برای تعیین الگوی همبستگی مکانی ویژگی‌های فیزیکی خاک و همبستگی آماری آن‌ها با یکدیگر در شرایط خاک شور پرداختیم. نتایج نشان داد در گروه ویژگی‌های فیزیکی خاک، ویژگی رطوبت اشباع خاک (SP) و رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی دارای خاصیت ناهمسانگردی هستند. همچنین مطابق نتایج حاصل از مدل‌های نیم‌تغییر نما، بهترین مدل برازش یافته بر پارامترهای این پژوهش مدل گوسی است. پارامترهای خاک در دامنه تأثیر به‌دست‌آمده با مدل‌های انتخابی از پیوستگی مکانی قوی برخوردارند. شوری خاک با اکثر ویژگی‌های فیزیکی همبستگی معکوس دارد.

واژگان کلیدی: همبستگی پیرسون، تغییرات مکانی، نیم‌تغییر نما.

مقدمه

تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی عوامل کیفی و هیدرولیکی خاک‌های زراعی و تهیه نقشه‌های توزیع مکانی آن‌ها، راه‌کاری اثربخش برای مدیریت راهبردی منابع آب و خاک و اجرای بهینه‌ی طرح‌های کاربری اراضی است. عوامل کیفی خاک به علت تأثیرپذیری از عوامل درونی و بیرونی دارای تغییرات مکانی زیادی بوده و گاهی این تغییرات در مقیاس بسیار کوچک هم اتفاق می‌افتد. از طرفی تهیه نقطه‌ای اطلاعات و انجام نمونه‌برداری‌ها مستلزم صرف وقت و هزینه بسیار است و در مطالعات بزرگ مقیاس، کاری دشوار و گاهی غیر عملی است (Zhu. and Lin, 2010). روش‌های آماری مختلفی برای بررسی تغییرات مکانی پارامترهای خاک وجود دارد. لیکن زمین‌آمار به‌دلیل در نظر گرفتن پیوستگی مکانی داده‌ها نسبت به‌سایر روش‌های آماری کاربرد بیشتری در علوم آب و خاک به‌ویژه در بررسی تغییرات مکانی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک دارد. برای برآورد پارامتر مورد نظر در روش‌های زمین‌آمار ابتدا الگوی تغییرات مکانی آن طراحی و سپس با استفاده از توابع آمار مکانی از جمله کریجینگ، کوکریجینگ و فاصله وزنی معکوس (IDW) پارامتر برآورد می‌گردد (Burgess and Webster, 1980). با توجه به اهمیت اقتصادی تخمین تغییرات مکانی پارامترهای شیمیایی و هیدرولیکی خاک هر منطقه و به‌منظور استفاده بهینه از اراضی موجود، گام اصلی تعیین همبستگی مکانی و نحوه تغییرات مکانی آن‌ها با مدل‌های مختلف نیم‌تغییر نما است. از این رو در این مطالعه به ارزیابی مدل‌های مختلف نیم‌تغییرنما برای تعیین الگوی همبستگی مکانی ویژگی‌های فیزیکی خاک و همبستگی آماری آن‌ها با یکدیگر در شرایط خاک شور پرداختیم.

مواد و روش‌ها

برای بیان ارتباط مکانی یا پیوستگی مکانی یک متغیر از مدل‌های نیم تغییرنما استفاده شد. مطابق رابطه ۱ نیم تغییرنما، کمیتی برداری است که درجه‌ی همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله‌ی آن‌ها نشان می‌دهد (Lopez-Granados, 2002).

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i)-Z(x_i+h)]^2$$

رابطه ۱-

در رابطه (۱) نیم تغییرنما یا واریوگرام با γ(h) نشان داده شده است، N(h) تعداد جفت نقاطی است که فاصله آن‌ها از هم به اندازه h است. Z(xi) و Z(xi+h) متغیرهای ناحیه‌ای با فاصله h از یکدیگرند. در این پژوهش از بین مدل‌های نیم تغییرنما، از مدل دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی استفاده شد. برای بررسی ساختار مکانی و الگوی تغییرات مکانی پارامترهای خاک و گیاه از نرم‌افزار GS+ استفاده گردید.

نتایج و بحث

برای بررسی همبستگی از ضرایب همبستگی پیرسون مطابق جدول ۱ استفاده گردید.

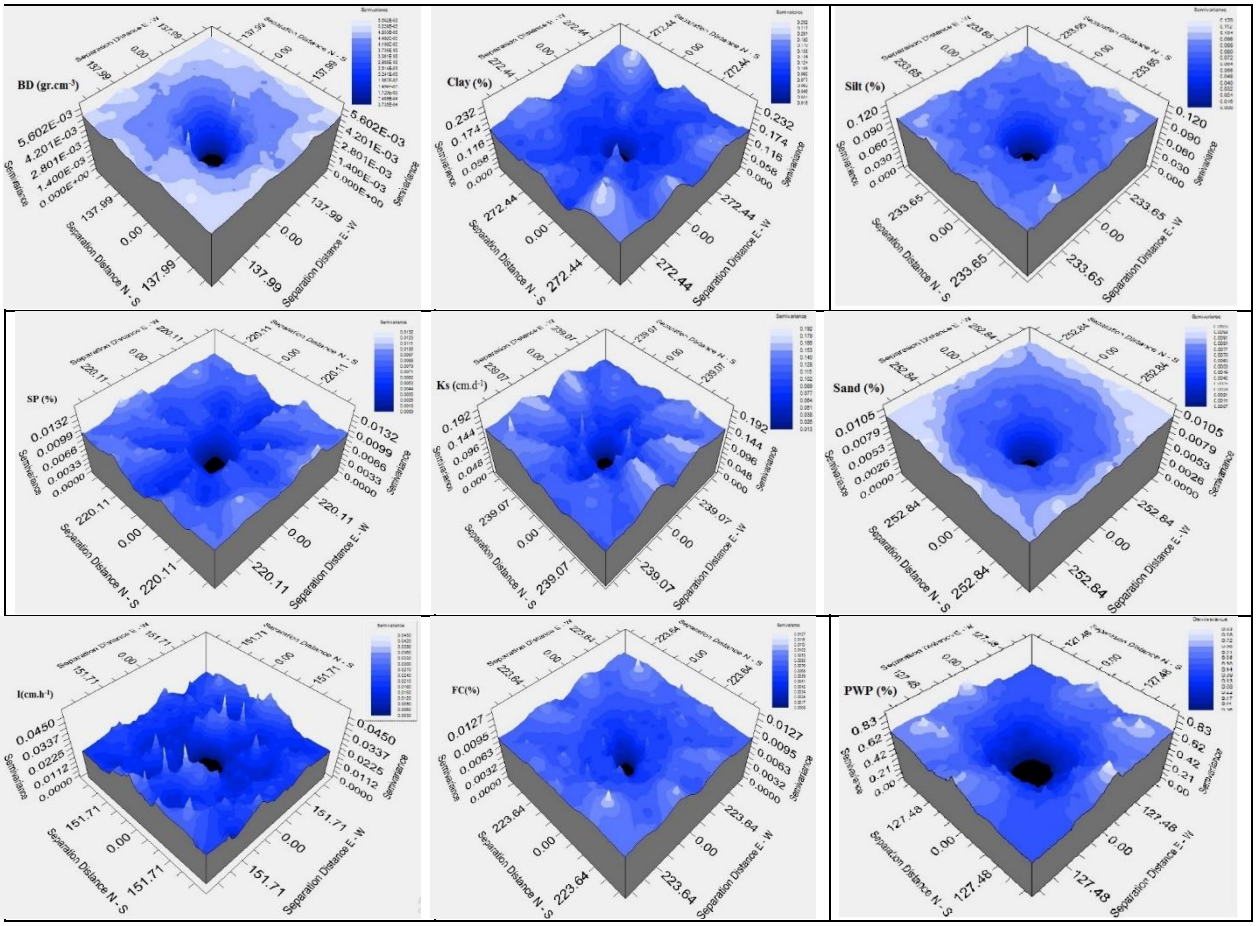
جدول۱- ضرایب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی خاک

ویژگی	Clay	Silt	Sand	BD	SP	Ks	FC	PWP	I	ECe
Clay	۱									
Silt	۰/۷۲۸**	۱								
Sand	-۰/۹۱۰**	-۰/۹۴۷**	۱							
BD	۰/۱۶۵	-۰/۲۶۲	۰/۰۸۱	۱						
SP	۰/۳۳۸	۰/۲۵۸	-۰/۳۱۵	-۰/۴۰۴*	۱					
Ks	-۰/۶۹۹**	-۰/۸۰۱**	۰/۸۱۳**	۰/۱۴۷	-۰/۲۱۷	۱				
FC	-۰/۳۲۴	-۰/۵۳۸**	۰/۴۷۷**	-۰/۰۷۱	۰/۴۷۶**	۰/۷۲۹**	۱			
PWP	-۰/۵۵۸**	-۰/۷۷۴**	۰/۷۳۱**	۰/۵۳۰**	-۰/۲۲۲	۰/۸۳۱**	۰/۶۱۴**	۱		
I	-۰/۳۲۴	-۰/۴۷۸**	۰/۴۴۱*	۰/۳۷۴*	-۰/۰۹۲	۰/۴۸۳**	۰/۴۵۲*	۰/۵۹۸**	۱	
ECe	۰/۵۸۵**	۰/۵۰۹**	-۰/۵۸۳**	-۰/۳۲۶	۰/۳۴۷	-۰/۴۷۳**	-۰/۱۴۰	-۰/۷۳۳**	-۰/۲۱۲	۱

جدول (۱) نشان می‌دهد مقدار همبستگی مشخصات فیزیکی و شوری خاک با یکدیگر متفاوت است. به‌طوری‌که بدون توجه به‌علامت، کمترین ضریب همبستگی به درصد رطوبت اشباع خاک به‌مقدار ۰/۰۹۲ تعلق دارد. همچنین بیشترین مقدار همبستگی مربوط به رطوبت پژمردگی دائم و هدایت هیدرولیکی اشباع به‌مقدار ۰/۶۰ و ۰/۴۵ در سطح یک و پنج درصد است. به همین ترتیب از جدول ۱ ملاحظه می‌شود همبستگی عوامل درصد ذرات رس، ECe و BD با نفوذپذیری در مقایسه با سایر عوامل، منفی می‌باشد. همبستگی منفی بین ECe، SAR و ذرات ریز خاک با نفوذپذیری خاک ناشی از نقش یون سدیم در پراکندگی ذرات ریز خاک است. اندازه‌گیری‌های انجام شده در این مطالعه نشان داد میانگین یون سدیم نمونه‌ها، حدود چهار میلی‌اکی والانت بر لیتر و حداکثر آن در برخی نمونه‌ها تا ۱۹ میلی‌اکی والانت بر لیتر بود. سدیم با ایفای نقش در انتشار مواد آلی و رس‌های خاک عاملی برای بسته شدن خلل و فرج و کم شدن نفوذپذیری است (Kazman و همکاران، ۱۹۸۳). درخصوص منفی بودن می‌توان مطرح نمود که ذرات رس همانند سیمان در خاکدانه‌ها عمل کرده و به‌دلیل آماس شدن موجب کاهش نفوذپذیری می‌شود.

جدول۲- مؤلفه‌های بهترین مدل نیم تغییرنمای برازش شده بر ویژگی‌های فیزیکی خاک

ویژگی	همسانگردی (K)	زاویه	مدل تغییرنما	آستانه (C_0)	اثر قطعه‌ای ($C+C_0$)	$C_0/C+C_0$	دامنه تأثیر(متر)	R^2	RSS
Clay(%)	Iso	-	کروی	۰/۰۳۴	۰/۲۳۸	۱۴/۲۹	۱۰۴۸	۰/۸۵	۳/۲۳E-۰۳
Silt(%)	Iso	-	کروی	۰/۰۲۴	۰/۱۳۸	۱۷/۳۹	۹۲۸	۰/۶۵	۲/۱۰E-۰۳
Sand(%)	Iso	-	کروی	۰/۰۰۲	۰/۰۱۴	۱۴/۲۹	۱۰۹۷	۰/۸۴	۸/۰۰E-۰۶
BD($gr.cm^{-3}$)	Iso	-	کروی	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۹	۱۵/۵۶	۶۷۷	۰/۷۷	۲/۰۰E-۰۶
SP(%)	۲/۵	۸۰	نمایی	۲/۰۰E-۰۳	۰/۰۱۳	۱۵/۳۸	۱۴۲۸-۵۶۴	۰/۵۶	۳/۸۰E-۰۴
FC(%)	۱/۴	۸۰	نمایی	۲/۵۰E-۰۳	۰/۰۱۳	۱۹/۲۳	۱۱۱۳-۷۹۶	۰/۶۲	۲/۰۰E-۰۴
PWP(%)	Iso	-	کروی	۰/۱۲۷	۰/۶۴	۱۹/۸۴	۲۸۳	۰/۷۷	۵/۸۰E-۰۲
Ks($cm.d^{-1}$)	Iso	-	کروی	۰/۰۳	۰/۱۸	۱۶/۶۷	۳۹۶	۰/۸۷	۳/۷۰E-۰۳
I ($cm.hr^{-1}$)	Iso	-	کروی	۰/۰۰۷۹	۰/۰۴۳	۱۸/۳۷	۷۱۰/۹	۰/۵۱	۳/۲۰E-۰۳



شکل۱- نیم متغیرنما ۳ بعدی ویژگی‌های فیزیکی خاک

نتایج نشان داد در گروه ویژگی‌های فیزیکی خاک، ویژگی رطوبت اشباع خاک (SP) و رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی دارای خاصیت ناهمسانگردی هستند که در زاویه ۸۰ درجه، بیشترین میزان ضریب K را داشتند (جدول ۲). مطابق نتایج حاصل از مدل‌های نیم‌تغییر نما، بهترین مدل برازش یافته بر پارامترهای این پژوهش مدل گوسی است. میزان پیوستگی هر متغیر از رفتار نیم تغییرنما در نزدیکی مبدأ مختصات مشخص می‌شود. شیب کم نیم تغییرنما در نزدیکی مبدأ دلالت بر وجود پیوستگی مکانی در پارامتر دارد (نشریه ۵۸۵). تنوع در خصوصیات و قابلیت‌های خاک‌ها باعث تفاوت در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و در نتیجه قابلیت‌های خاک می‌شود. به دلیل اینکه خاک محیطی ناهمسانگردی است تغییرپذیری افقی و عمودی آن قابل‌ملاحظه بوده و نمی‌توان این تغییرات را نادیده گرفت، ازاین‌رو خاک به‌عنوان یکی از عوامل مهم و مؤثر در پراکنش گیاهان و جوامع گیاهی است (Hall et al,1983). مقایسه نتایج تئوری بهترین مدل‌های نیم‌تغییرنما برازش شده بر پارامترهای فیزیکی نشان می‌دهند که بیشترین دامنه تأثیر را درصد ذرات شن (Sand) به مقدار ۱۰۹۷ متر و کمترین آن را رطوبت ظرفیت زراعی (PWP) به مقدار ۲۸۳ متر داشت. به‌طور میانگین دامنه تأثیر ۷۹۸ متر به دست آمد. برای بررسی پیوستگی مکانی پارامترها از رابطه شاخص نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه ($\frac{C_0}{C+C_0}$) استفاده شد. در حالتی‌که این نسبت بیشتر از ۰/۷۵ باشد پیوستگی مکانی ضعیف و اگر کمتر از ۰/۲۵ باشد پارامتر دارای پیوستگی مکانی بالایی است (Cambardella و همکاران، ۱۹۹۴). باملاحظه مقادیر شاخص فوق در جداول ۴۲ مشخص گردید که پارامترهای خاک در دامنه تأثیر به‌دست‌آمده با مدل‌های انتخابی از پیوستگی مکانی قوی برخوردارند به‌طوری‌که در نهایت بیشترین میزان این نسبت در پارامتر FC و PWP در حدود ۲۰٪ است (شکل ۱).

نتیجه‌گیری

مقایسه توزیع مکانی ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک این واقعیت را تأکید می‌نماید که ویژگی‌های فیزیکی از خواص ذاتی خاک نسبت به خواص قابل‌کنترل خاک (مدیریتی) تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در یک نتیجه‌گیری کلی بررسی تغییرات مکانی و همبستگی متقابل بین ویژگی‌های خاک در شرایط شوری خاک، بیانگر تأثیرپذیری ویژگی‌های مختلف فیزیکی از شوری خاک است. همبستگی مکانی بالایی بین ویژگی‌های مختلف فیزیکی وجود دارد که از این نظر می‌تواند در برآورد با روش‌های زمین‌آمار و کاهش نمونه‌برداری‌ها کارایی بالایی داشته باشد.

فهرست منابع

۱. بی‌نام. ۱۳۹۰. راهنمای روش‌های توزیع مکانی عوامل اقلیمی با استفاده از داده‌های نقطه‌ای. نشریه شماره ۵۸۵ معاونت نظارت راهبردی وزارت نیرو.

2. Burgess T.M. and Webster R. 1980. Optimal interpolation and is arithmic mapping of soil properties. I: The semi-variogram and punctual kriging. J. Soil Sci., v. 31, p. 315-333.
3. Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Novak, J. M., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco, R. F., & Konopka, A. E. (1994). Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. Soil Science Society of America Journal, 58(5), 1501-1511.
4. Hall, G.G., 1983. Pedology and geomorphology. In: Wilding, L.P., Smeck, N.E., Hall, G.F, (Eds.), Pedogenesis and Soil Taxonomy: Concepts and Intractions, Elsevier Amsterdam, 1:117-140.
5. Kazman, Z. Shainberg I. and Gal M. 1983. Effect of low levels of exchangeable Na and applied phosphogypsum on infiltration rate of various soils. Soil Science Society of American J. 135: 184-192.
6. Lopez-Granados F. Jurado-Exposito M. Atenciano S. Garcıa-Ferrer A. Sanchez de la Orden M. and Garcıa-Torres L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. Plant and Soil 246: 97–105

7. Zhu Q. and Lin H.S. 2010. Comparing ordinary kriging and regression kriging for soil properties in contrasting landscapes. Pedosphere, 20(5): 594–606.

Interactions and spatial correlation pattern of different soil physical properties under salinity conditions

Samira Vahedi[1]
1 Researcher of Soil and Water Research Department ,Zanjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.

Abstract(Times New Roman 10pt, Bold)

Recognizing common patterns and sources that change or control different soil characteristics can be an effective solution in location-appropriate management. Considering the economic importance of estimating spatial variations of soil chemical and hydraulic parameters, determining the spatial correlation and how their spatial variations with different semi-variable facade models is one of the primary measures in such studies. Therefore, in this study, we evaluated different models of semi-variables and components of spatial variation to determine the pattern of spatial correlation of physical properties of soil and their statistical correlation with each other in saline soil conditions. The results showed that in the group of soil physical properties, soil saturation moisture (SP) and moisture at the point of field capacity have anisotropy. Also, according to the results of semi-variable facade models, the best model that fits the parameters of this research is the Gaussian model. Soil parameters in the range of effect obtained with selected models have a strong spatial coherence. Soil salinity is inversely correlated with most physical properties.

Keywords: **Pearson correlation, spatial variation, semivariate.**

شبیه‌سازی رابطه کمّی اثر شوری بر عملکرد در باغات پسته کشور

مهناز اسکندری[1*]، علی زین‌الدینی[1]، میرناصر نویدی[1]

۱- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

*mahnazskandari@yahoo.com

چکیده

شوری، یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش تولید محصولات کشاورزی در ایران است. بنابراین، تعیین توابع کمّی عملکرد با شوری به تخمین مقدار سود حاصل از کشت مورد نظر، منجر می‌شود. هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی رابطه کمّی اثر شوری بر عملکرد در باغات پسته کشور بود. نخست ۲۶ باغ در استان‌های کرمان، خراسان رضوی، اصفهان، فارس و آذربایجان شرقی انتخاب شدند. باغات انتخابی دارای مدیریتی تقریباً مشابه در سطح متوسط و از لحاظ استفاده از نهاده‌ها نیز وضعیتی متوسط داشتند. روش آبیاری در باغات مورد مطالعه، غرقابی، درختان باغ مثمر و تقریباً هم سن و از نظر اقلیم در منطقه‌ای فاقد محدودیت بود. در هر باغ یک پروفیل حفر و ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی هر افق اندازه‌گیری شد. وضعیت ویژگی‌های خاک بجز شوری مانند درصد سدیم قابل تبادل، مقدار آهک و گچ، سنگریزه، واکنش خاک و بافت، برای کشت پسته مناسب و فاقد محدودیت بود. به کمک مقادیر شوری و عملکرد، رابطه Van Genuchten و Hoffman برای تخمین مقدار عملکرد پسته بدست آمد. سپس مقادیر عملکرد برای ۲۶ باغ نمونه در این تحقیق به کمک رابطه بدست آمده محاسبه و با مقدار عملکرد واقعی باغات، مقایسه شد. ضریب تبیین میان مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی در حدود ۰/۸۶ بدست آمد که نشان‌دهنده دقت قابل قبول رابطه پیشنهادی است.

واژگان کلیدی: تابع تولید، شوری خاک، رابطه Van Genuchten و Hoffman

مقدمه

هرچند که سرزمین پهناور ایران، منابع آبی و خاکی فراوانی را در خود جای داده، لیکن بخشی از آن برای کشاورزی چندان مناسب نبوده و هر نوع عملیات کشت و کار در آن نیازمند مدیریتی تخصصی و آگاهانه است (همایی، ۱۳۸۰). بخش بزرگی از خاک‌ها و حجم چشمگیری از کل منابع آبی موجود کشور به درجات مختلف به شوری مبتلا هستند. همچنین کمبود شدید آب در دهه‌های اخیر باعث توسعه و بهره‌برداری از منابع شور و لب‌شور آب زیرزمینی شده که این مسأله باعث افزایش اراضی شور در آینده می‌گردد (دهقان و همکاران، ۱۳۹۹). مهمترین واکنش گیاه به افزایش شوری، کاهش آهنگ رشد است که منجر به کاهش عملکرد می‌شود. بنابراین مقاومت گیاهان به شوری را می‌توان به صورت تابعی پیوسته از عملکرد نسبی به شوری به طور کمّی بیان کرد.

معروف‌ترین رابطه در این زمینه را Mass و Hoffman در سال ۱۹۷۷ پیشنهاد دادند که یک رابطه خطی دو قسمتی میان عملکرد نسبی و تغییرات شوری خاک ارائه می‌دهد. از آنجا که روند تغییرات عملکرد گیاه نسبت به افزایش شوری رابطه‌ای غیر خطی است، Hoffman and Van Genuchten (1984) معادله‌ای غیر خطی را برای شبیه‌سازی پیشنهاد دادند. همچنین با توجه به اینکه در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که به شوری مبتلا هستند، مشکل کم‌آبی نیز وجود دارد، پژوهش‌های بسیاری به کمّی‌سازی روابط میان عملکرد گیاه و هر دو تنش آبی و شوری پرداختند و توابع کمّی غیرخطی برای عملکرد-آب-شوری ارائه نمودند (e.g. Xin *et al*, 2016; Singh *et al*., 2009; Datta *et al*., 1998). شیرمحمدی و همکاران (۱۳۹۲)، توابع تولید آب-شوری-عملکرد برای ذرت علوفه‌ای را در استان خراسان رضوی ارزیابی کردند. چهار نوع تابع خطی ساده، لگاریتمی، درجه دوم و متعالی ارزیابی شد. نتایج بدست آمده نشان داد که در شرایط توأم شوری و خشکی، تابع درجه دوم، عملکرد ذرت علوفه‌ای را بهتر

از دیگر توابع پیش‌بینی کرده است. پیری و همکاران (۱۳۹۷)، نیز تابع تولید آب-شوری-عملکرد را با در نظر گرفتن زمان برداشت علوفه در گیاه ذرت بررسی کردند. این پژوهشگران نیز نتیجه گرفتند که تابع درجه‌ی دوم، عملکرد ذرت را بهتر ارائه میکند. بنابراین بهتر است که مدلسازی عملکرد-شوری بر پایه روابط غیر خطی باشد. به همین منظور در این پژوهش، رابطه کمّی (1984) Van Genuchten و Hoffman برای مدلسازی تخمین عملکرد پسته نسبت به تغییرات شوری خاک مورد استفاده قرار گرفت. چراکه پسته یکی از مهم‌ترین و ارزآورترین محصولات باغی در ایران است و سازگاری آن با شرایط نامساعد محیطی به‌ویژه خشکی و شوری، سبب افزایش کشت آن در زمین‌های شور کشور شده است. با این حال، این گسترش که به‌صورت سعی و خطا و اطلاعات تجربی همراه بوده، در مواردی باعث هدر رفت منابع تولید و سرمایه می‌شود. به عنوان مثال پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد که شور و سدیمی‌بودن خاک‌ها، از عوامل اصلی و مؤثر در کاهش عملکرد پسته در کشور است (زین‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۹). همانطور که ذکر شد، هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی رابطه کمّی اثر شوری بر عمکلرد در باغات پسته کشور بود.

مواد و روش‌ها

برای دستیابی به اهداف این پژوهش، سعی شد که باغات انتخابی دارای مدیریتی تقریباً مشابه در سطح متوسط و از لحاظ استفاده از نهاده‌ها نیز وضعیتی متوسط داشته باشند. روش آبیاری در باغات مورد مطالعه، غرقابی، درختان باغ مثمر و تقریباً هم سن بود. با در نظر گرفتن این شرایط، تعداد ۲۶ باغ در استان‌های کرمان، خراسان رضوی، اصفهان، فارس و آذربایجان شرقی انتخاب شدند. نقاط مطالعاتی به نحوی انتخاب شدند که اثر سایر عوامل مانند مدیریت، اقلیم و سن درخت تا حدّ ممکن برای تمام باغات، تقریباً مشابه باشد. همچنین باغ‌های مورد مطالعه از نظر سایر ویژگی‌های خاک مانند درصد سدیم قابل تبادل، مقدار آهک و گچ، سنگریزه، واکنش خاک و بافت، برای کشت پسته مناسب و فاقد محدودیت بود. بدین ترتیب می‌توان اثر شوری خاک را بر عملکرد پسته، بررسی نمود. پدون‌های انتخابی بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک سرویس حفاظت خاک آمریکا (USDA, 2012) تشریح و از هر افق نمونه‌برداری خاک انجام و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌های خاک برداشت شده بر پایه روش‌های استاندارد تجزیه شدند (USDA, 2014). برای هر باغ، پرسشنامه مخصوص کاربری اراضی تهیه شد. در این پرسشنامه اطلاعاتی همچون نحوه مدیریت باغ (دور آبیاری، کوددهی و مقدار کود مصرفی، هرس، سم پاشی) و مقدار متوسط عملکرد در سال‌های اخیر، ثبت شد.

میانگین وزنی داده‌های آزمایشگاهی مانند مقدار شوری، درصد رس، شن، سیلت گچ و آهک و واکنش خاک سطحی با شاخص تصحیح عمق محاسبه گردید (Sys *et al.*, 1991). شاخص‌های آماری ویژگی‌های خاک مانند میانگین، مد، میانه، حداکثر و حداقل، واریانس، انحراف معیار، ضریب چولگی و کشیدگی بررسی شدند. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ انجام گرفت.

سپس مدل پیشنهادی Van Genuchten (1984) و Hoffman برای تخمین مقدار عملکرد نسبی پسته در شوری‌های مختلف به‌کار رفت. رابطه شبیه‌سازی پیشنهادی به شکل زیر است:

$$Y_r=Y_m/(1+(EC/EC_{50})^p) \quad (۱)$$

که در آن Y_m، مقدار عملکرد در شرایط غیر شور، EC میانگین شوری در ناحیه رشد ریشه، EC_{50} میانگین شوری خاک که منجر به ۵۰ درصد کاهش عملکرد می‌شود و p نیز یک ضریب تجربی است که به کمک سایر پارامترهای رابطه، مشخص می‌شود. در این رابطه می‌توان EC و EC_{50} را برمبنای هدایت الکتریکی و یا پتانسیل اسمزی بیان کرد. همچنین، شوری خاک در آستانه کاهش منظور می‌شود.

نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی ویژگی‌های اراضی در ۲۶ باغ پسته انتخابی کشور در جدول ۱ ارائه شده است. برپایه این جدول، دامنه، کمینه، بیشینه و میانگین ویژگی‌های بررسی شده از خاک بجز مقدار هدایت الکتریکی، در دامنه مناسب برای پسته می‌باشد (زین‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۹). بنابراین خاک‌های مورد مطالعه از نظر ویژگی‌های خاکی در حالت مناسب تولید قرار دارند. بدین ترتیب می‌توان عملکرد نسبی پسته را براساس تغییرات مقدار شوری خاک، مدلسازی کرد.

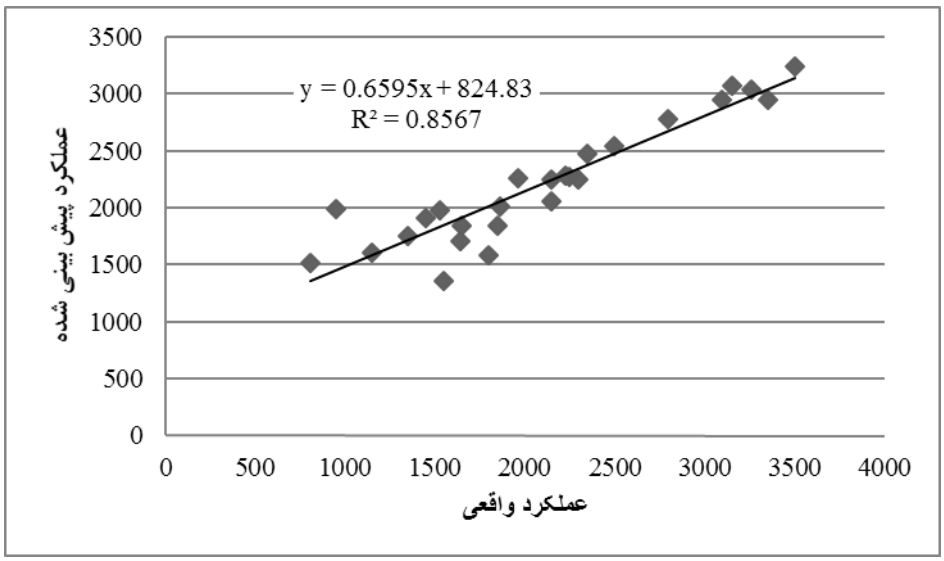
جدول ۱- آماره‌های توصیفی داده‌های ویژگی‌های خاک و عملکرد در ۲۶ باغ منتخب

	دامنه	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
عملکرد (kg/ha)	۲۶۹۰	۸۱۰	۳۵۰۰	۲۱۰۱/۵۴	۷۴۶/۰۲۶	۵۵۶۵۵۵/۵۳۹	۰/۳۰۹	-۰/۶۵۶
pH	۰/۷۰	۷/۲۰	۷/۹۰	۷/۶۷۸۵	۰/۱۶۶۶۸	۰/۰۲۸	-۰/۷۰۰	۱/۱۷۹
شوری (dS/m)	۹/۴۲	۲/۱۸	۱۱/۶۰	۶/۸۵۳۱	۲/۵۳۳۷۷	۶/۴۲۰	-۰/۱۶۲	-۰/۷۴۵
ESP	۷/۱	۲/۲	۹/۳	۵/۴۴۶	۱/۹۳۸۹	۳/۷۵۹	-۰/۱۲۶	-۰/۵۱۹
درصد آهک	۱۴/۱۰	۷/۹۰	۲۲/۰۰	۱۴/۰۱۹۶	۳/۵۵۸۸۸	۱۲/۶۶۶	۰/۰۹۰	-۰/۴۷۱
گچ درصد	۵/۸۰	۰/۰۰	۵/۸۰	۲/۳۳۰۰	۱/۸۵۴۳۶	۳/۴۳۹	۰/۳۲۹	-۱/۱۱۹
درصد شن	۴۵	۳۳	۷۸	۵۰/۶۵	۱۲/۹۷۷	۱۶۸/۳۹۵	۰/۸۲۱	-۰/۲۳۳
درصد رس	۳۳/۰۰	۴/۰۰	۳۷/۰۰	۲۰/۳۵۳۸	۷/۴۶۱۵۹	۵۵/۶۷۵	-۰/۰۴۲	۰/۸۵۷
درصد سیلت	۳۶/۰۰	۱۳/۰۰	۴۹/۰۰	۲۹/۰۷۶۹	۱۰/۹۶۸۷۷	۱۲۰/۳۱۴	۰/۰۴۳	-۱/۰۶۴
سنگریزه درصد	۲۰	۰	۲۰	۶/۴۲	۶/۹۸۱	۴۸/۷۳۴	۰/۶۷۸	-۰/۹۴۳

با در نظر داشتن ۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد پسته در شرایط غیر شور (بیشینه مقدار در جدول ۱)، عملکردهای نسبی از تقسیم مقدار عملکرد بر مقدار حداکثر بدست آمد. مقدار EC آستانه کاهش برابر با ۴/۲ دسی‌زیمنس بر متر با رسم نمودار تغییرات عملکرد با افزایش شوری بدست آمد. EC که منجر به ۵۰ درصد کاهش عملکرد می‌شود نیز برابر با ۹ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. مقدار عملکرد برابر با ۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار برای شرایط EC=4.2dS/m بود و بنابراین مقدار p به کمک رابطه ۱، معادل با ۱/۷۸ بدست آمد. به کمک مقادیر گفته شده، رابطه Van Genuchten (1984) و Hoffman برای تخمین مقدار عملکرد پسته در این پژوهش به شکل زیر بدست آمد:

$$Y_r=Y_m/(1+(EC/EC_{50})^{1.819}) \quad (۲)$$

مقادیر عملکرد برای ۲۶ باغ نمونه در این تحقیق به کمک رابطه ۲ محاسبه و با مقدار عملکرد واقعی باغات، مقایسه شد. شکل ۱ نشان می‌دهد که رابطه میان مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی با ضریب تبیین تقریبی ۰/۸۶ بیان می‌شود. نکته حائز اهیمت در مورد این پژوهش، ارائه رابطه میان عملکرد و شوری خاک با نمونه‌های واقعی جمع‌آوری شده از مزارع است. پرواضح است که باتوجه به پیچیدگی‌های محیط خاک و برهم‌کنش عوامل متعدد و تاثیر آنها بر رشد گیاه، مدل‌های ارائه شده از نمونه‌های واقعی بهتر از نمونه‌های شبیه‌سازی شده در آزمایشگاه می‌توانند پاسخگوی تغییرات عملکرد نسبت به شوری خاک باشند.



شکل ۱- رابطه میان عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده (کیلوگرم در هکتار)

نتیجه‌گیری

از آنجا که با توجه به ارزش اقتصادی محصول پسته، کشت آن در بسیاری از اراضی حاشیه‌ای و درجه سه که از نظر اقلیم نسبتاً مناسبند، در سال‌های اخیر گسترش داشته است؛ بنابراین در پژوهش حاضر سعی شد تا رابطه‌ای کمّی میان عملکرد نسبی پسته در باغ‌های تحت کشت کشور با شوری خاک ارائه شود. این رابطه به محققان عرصه کشاورزی یا کشاورزان کمک می‌کند تا برآوردی نسبی از مقدار عملکرد زمین با توجه به شوری آن، پیش از اقدام به کشت پسته داشته باشند. بدین‌ترتیب می‌توان با تخمینی از مقدار سود حاصل، از اختصاص اراضی نامناسب به کشت این گیاه و در پی آن هدر رفت منابع آب و خاک، جلوگیری نمود.

تشکر و قدردانی

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از طرح پژوهشی تعیین نیازهای رویشی برای پسته در استان‌های کرمان، اصفهان، آذربایجان شرقی، فارس و خراسان رضوی به شماره مصوب ۹۴۰۰۴-۹۴۵۲-۱۰-۱۰-۰۱۴ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اقتباس شده که بدین وسیله نویسندگان تشکر می‌نمایند.

فهرست منابع

پیری، ح.، انصاری، ح.، پارسا، م. (۱۳۹۷). تعیین تابع تولید آب-شوری-عملکرد با در نظر گرفتن زمان برداشت علوفه و ارزیابی شاخص های تولید در در ذرت خوشه ای. *مهندسی منابع آب*، ۱۱(۳۸): ۱۵-۲۶.

دهقان، ه.، مکاری، م.، عابدین پور، م. (۱۳۹۹). تعیین تابع تولید آب-شوری-عملکرد برای گیاه اسفناج. *پژوهش آب در کشاورزی (علوم خاک و آب)*، ۳۴(۱(ب)): ۷۹-۹۱.

زین‌الدینی، ع.، نویدی، م.ن.، اسکندری، م.، سیدمحمدی، ج.، تومانیان، ن.، حسینی فرد، س.ج.، فرجنیا، ا.، قاسم‌زاده گنجه‌ای، م. (۱۳۹۹). تعیین نیازهای رویشی خاک و زمین‌نما برای پسته به منظور استفاده در ارزیابی تناسب اراضی. *علوم و فناوری پسته*، ۵(۹): ۸۸-۷۰.

شیرمحمدی، ع.ا.، خانی، ز.، انصاری، ح.، علیزاده، ا.، کافی، م. (۱۳۹۲). ارزیابی توابع تولید آب-شوری-عملکرد در ذرت علوفه‌ای در استان خراسان رضوی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۴(۷): ۵۳۵-۵۴۳.

همایی، م. (۱۳۸۱). واکنش گیاهان به شوری. چاپ اول. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره انتشارات: ۵۸. تهران. ۹۷ ص.

Datta, K.K., Sharma, V.P., Sharma, D.P. (1998). Estimation of a production function for wheat under saline conditions. *Agricultural Water Management*, 36(1), 85-94.

Maas, E.V., Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance-current assessment. *Journal of the irrigation and drainage Division*., ASCE, 103:115-134.

Singh, R.B., Chauhan, C.P.S., Minhas, P.S. (2009). Water production functions of wheat (Triticum aestivum L.) irrigated with saline and alkali waters using double-line source sprinkler system. *Agricultural Water Management*, 96(5), 736-744.

USDA. (2012). Field Book for Describing and Sampling Soils. Version 3, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.

USDA. (2014). Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Van Genuchten, M.Th., and G.J. Hoffman. (1984). Analysis of crop salt tolerance date. P. 258-271. In I. Shainberg and J. shalhevet (ed.) Soil salinity under irrigation process and management. *Ecol. Stud.* 51.Springer-Verlag, New York.

Xin, H., Peiling, Y., Shumei, R., Yunkai, L., Guangyu, J., Lianhao, L. (2016). Quantitative response of oil sunflower yield to evapotranspiration and soil salinity with saline water irrigation. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(2), 63-73.

Simulation of a quantitative relationship between salinity and yield of pistachios

Mahnaz Eskandari[1*], Ali Zeinaldini[1], Mir Naser Navidi[1]

[1]Assistant Prof., Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

[*]mahnazskandari@yahoo.com

Abstract

Salinity is one of the most important factors affecting agricultural production in Iran. As a result, evaluating the amount of profit from the intended crop requires knowing the quantitative yield functions with salinity. The objective of this research was to model the quantitative relationship between salinity and yield of pistachios. First, 26 gardens were selected in the provinces of Kerman, Khorasan Razavi, Isfahan, Fars and East Azerbaijan. Selected orchards had almost similar management at the intermediate level and were mediocre in terms of input usage. In terms of climate, they selected in areas without restrictions. In each garden, a soil profile was drilled and physicochemical properties of each horizon were measured. The condition of soil properties except salinity such as percentage of exchangeable sodium, amount of lime and gypsum, gravels, soil and texture reaction, was suitable for pistachio cultivation and was not limited. Using salinity and yield, Van Genuchten and Hoffman (1984) equation for estimating pistachio yield was obtained. Then, the yield values for 26 sample orchards in this study were calculated using the obtained equation and compared with the actual yield of the orchards. The coefficient of explanation between the predicted and actual yield was obtained about 0.86, which indicates the acceptable accuracy of the proposed relationship.

Keywords: Soil salinity, Production function, Van Genuchten and Hoffman equation

تأثیر میزان شوری آب آبیاری و سایر عوامل تولید بر عملکرد محصول سیب‌زمینی در مزارع دشت همدان – بهار

سید محسن سیدان[1] و علی قدمی فیروزآبادی*[2]

[1]- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی وترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش وترویج کشاورزی، همدان، ایران،

[2]- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات،آموزش وترویج کشاورزی، همدان، ایران. (aghadami@gmail.com)

چکیده

افزایش تولیدات کشاورزی به دلیل رشد سریع جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز آبی در دهه‌های اخیر سبب برداشت بی رویه و افت سطح آب زیرزمینی این دشت شده است. این موضوع منجر به افت ممتد سطح آب زیرزمینی در این دشت شده و سبب شده تا در زمره دشت‌های بحرانی استان قرار گیرد. این پدیده علاوه بر خسارت به منابع آب‌های زیرزمینی موجب شوری آب شده است. هدف این تحقیق بررسی اثر شوری آب زیرزمینی بر عملکرد محصول سیب‌زمینی است. در تعیین تأثیر شوری آب و سایر عوامل تولید بر تغییرات عملکرد سیب‌زمینی، از برآورد تابع عملکرد در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ استفاده شده است. با بکارگیری روش نمونه گیری تصادفی ۳۰ چاه و ۱۱۹ مزرعه انتخاب و داده‌های لازم جمع آوری شده است. مقدار شوری آب در دو مرحله در آزمایشگاه اندازه‌گیری شده است. بر اساس معیارها و آزمون انجام گرفته تابع تولید به فرم تابع درجه دوم جهت برآورد روابط میان متغیرها انتخاب شد. نتایج این پژوهش بیانگر این موضوع است که با افزایش یک واحد در میزان شوری آب میزان تولید این محصول ۸۶۰ کیلوگرم کاهش یافته است. نتایج دیگر این پژوهش نشان داد که بهره‌رداران منطقه، مقدار آب را کمتر از مقدار بهینه، بذر را در حد بهینه و کود حیوانی، کود شیمیایی و سموم شیمیایی را بیش از مقدار بهینه استفاده می‌کنند.

واژهای کلیدی: تابع عملکرد، عوامل تولید، نمونه گیری تصادفی

مقدمه

پیش‌بینی‌های سازمان ملل نشان دهنده آن است که تا سال ۲۰۵۰ میلادی محدودیت منابع آبی شدیدتر و اصلی‌ترین موضوع مورد بحث جهانی است. این وضعیت برای ایران به دلیل اینکه در کمربند خشکی آب و هوایی جهان قرار گرفته، هشدار دهنده‌تر است. متوسط بارندگی ایران ۲۵۰ میلی‌متر است که در مقایسه با ۷۵۰ میلی‌متر متوسط بارندگی جهان بسیار پایین‌تر است (سازمان تحقیقات منابع آب، ۱۳۷۹). کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک، اغلب وابسته به آب آبیاری است، که بیشتر از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. در سال‌های اخیر با توجه به خشکسالی‌های مداوم و برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، این منابع دچار بیلان منفی شده است (جهانی،۱۳۷۹). یکی از پیامدهای ناشی از اضافه برداشت آب زیرزمینی، شور شدن آب و پیشروی آب شور به سمت آب شیرین است. محدودیت منابع آب باعث شده تا کشاورزان از آب‌های با کیفیت نامناسب استفاده کنند. در نتیجه استفاده مداوم از این منابع آبی موجب تجمع بیش از حد نمک‌ها در خاک شده، به طوریکه بخش کشاورزی را با مشکلاتی مواجه کرده است. بنابراین به تدریج در این مناطق، شوری خاک عامل اصلی محدود کننده توسعه کشاورزی و تولید گیاهان زراعی و باغی به شمار می‌رود. در صورتیکه افت سطح آب زیرزمینی این دشت همچنان ادامه یابد، علاوه بر تهی شدن منابع آب زیرزمینی منجر به شوری این منابع خواهد شد. شوری خاک از عوامل مهم در کاهش عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. لذا این مشکل استفاده از ارقام مقاوم به شوری را

اجتناب ناپذیر میسازد (فرهنگیان کاشانی و مونم،۲۰۱۰). تحقیقات متعددی در زمینه اثر آب شور بر عملکرد محصولات در سطح ایران و جهان صورت گرفته است. باغانی و همکاران (۱۳۹۴) برای بررسی اثر سطوح شوری آب آبیاری و زمان شروع آبیاری با آب شور و لب شور بر خصوصیات کمی خربزه دیررس، آزمایشی را با ۷ تیمار و ۳ تکرار در قالب بلوک های کامل تصادفی با استفاده از روش آبیاری قطره‌ای نواری، در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی انجام داد. تیمارهای آبیاری عبارت بودند از: ۱- آبیاری با آب شیرین (۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر) از ابتدای کاشت تا انتهای فصل برداشت، ۲- آبیاری با آب با شوری ۳ دسی زیمنس بر متر از ابتدا تا انتهای فصل داشت، ۳-آبیاری با آب با شوری ۶ دسی زیمنس بر متر از ابتدا تا انتهای فصل، ۴- آبیاری با آب با شوری ۶ دسی زیمنس بر متر از ۲۰ روز بعد از جوانه زنی تا انتها، ۵- آبیاری با آب با شوری ۳ دسی زیمنس بر متر از ۲۰ روز بعد از جوانه زنی تا انتها، ۶- آبیاری با آب با شوری ۶ دسی زیمنس بر متر از ۴۰ روز بعد از جوانه زنی تا انتها و ۷- آبیاری با آب با شوری ۳ دسی زیمنس بر متر از ۴۰ روز بعد از جوانه زنی تا انتهای فصل داشت. نتایج نشان داد که، شوری آب بر عملکرد کل، عملکرد اقتصادی و کارآیی مصرف آب آبیاری تاثیر معنی‌داری دارد. بالاترین عملکرد کل و عملکرد اقتصادی و کارآیی مصرف آب آبیاری از تیمار شاهد بدست آمد که تفاوت آن‌ها با تیمارهای آب شور و لب شور معنی‌دار بود. در ضمن تفاوت بین عملکردهای تیمارهای شور و لب شور معنی‌دار نبودند. آبیاری با آب شیرین در اوایل دوره رشد باعث افزایش محصول نشده بلکه، باعث وارد شدن تنش بیشتر به گیاه می‌شود. خاقانی و همکاران(۱۳۹۱) به منظور بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر افزایش شوری خاک و اثر تنش-های شوری بر عملکرد محصولات زراعی مهم، مطالعه‌ای در دشت قزوین با طرح آماری بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام داد. نتایج این مطالعه نشان داد که شوری خاک در اراضی مورد مطالعه در اثر تغییر کیفیت آب آبیاری و افت سطح ایستابی منابع آب‌های زیرزمینی به شدت افزایش یافته و وسعت اراضی شور در منطقه حدود ۸ درصد افزوده شده است. به طور کلی تأثیر شوری بر عملکرد محصولات گندم، جو، یونجه، سیب زمینی و گوجه فرنگی به ترتیب به میزان ۲۲، ۲۰، ۴۰، ۵۰ و ۲۷ درصد محاسبه شده است. آبیار و کیانی(۱۳۸۶) برای بررسی تأثیر شوری آب و خاک زراعی و میزان مصرف نهاده‌ها بر تغییرات عملکرد گندم در مزارع گندمکاری شمال استان گلستان با رهیافت تابع تولید پژوهشی را انجام داده است. برای این منظور تعدادی از مزارع گندمکاری مناطق شمالی استان که با مسائل شوری آب و خاک مواجه هستند، بطور هدفمند انتخاب گردیدند و پس از تهیه و جمع آوری داده‌های مورد نیاز، تابع تولید گندم با فرم تابعی مناسب برآورد شده است. نتایج این مطالعه بیانگر آن است که تولید نهایی حجم آب، شوری و نسبت جذب سدیم آب زراعی، شوری خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر ، کودهای فسفات و پتاس و سطح کشت به ترتیب ۶/۱، ۳۷/۵-، ۲۷- ، ۲۱۷-، ۵/۹ ، ۲/۶ و ۲۳- کیلوگرم در هکتار و ارزش تولید نهایی (منافع یا زیان اقتصادی) هر یک از عوامل مذکور به ترتیب ۱۸۰۵، ۶۴۰۹۰-، ۴۵۹۰۰-، ۳۶۸۹۰۰، ۹۹۷۹، ۳۳۸۰- و ۳۸۸۴۵- ریال در هکتار است. مقدار مطلوب شوری آب زراعی ۵/۲ دسی زیمنس است، که بیشترین عملکرد گندم در این سطح شوری حاصل شد. بیشترین تأثیر شوری خاک در عمق ۳۰-۰ و در اوایل دوره کاشت، استقرار و رشد گیاه بود. با کاهش شوری خاک به میزان ۱ دسی زیمنس در این مقطع زمانی، عملکرد گندم به میزان ۲۱۷ کیلوگرم و درآمد آن ۳۶۸۹۰۰ ریال در هکتار قابل افزایش است. مصرف کودهای فسفات و پتاس بهینه نبوده و با تعدیل مصرف آنها ضمن افزایش عملکرد، بهبود در آمد نیز حاصل خواهد شد. ضریب تخمینی متغیر سطح کشت بیانگر کاهش عملکرد محصول در سطوح کشت وسیع است. آزمایشی در قالب طرح کاملا تصادفی با ۶ سطح شوری (صفر، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) و در ۳ تکرار در بررسی اثرات تنش شوری بر پارامترهای جوانه‌زنی بذر در سه رقم گوجه فرنگی انجام شد. نتایج آزمایش نشان داد با افزایش تنش شوری به طور معنی‌دار از سرعت، و درصد تجمع جوانه زنی، طول ریشه چه و ساقه چه، شاخص بنیه، وزن تر گیاهچه و نسبت طول ساقه چه به ریشه چه کاسته شد (

P≤0/01). همچنین اثر متقابل رقم و میزان شوری در درصد تجمعی جوانه زنی و نسبت ریشه‌چه به ساقه‌چه معنی‌دار گردید (P≤0/05) (عبادی و همکاران، ۲۰۰۸). بنابر این با توجه به شرایط منطقه و برای بررسی اثرات کیفیت آب تلاش شده است تا در این مطالعه، اثرات شوری آب بر عملکرد سیب‌زمینی مورد بررسی قرار گیرد. هدف از این تحقیق برآورد رابطه شوری و میزان عملکرد محصول سیب‌زمینی است که در این رابطه دو سؤال مطرح شده است. اول اینکه آیا رابطه معنی‌داری میان میزان شوری آب و عملکرد محصول سیب زمینی وجود دارد؟ و دومین سؤال اینکه با افزایش شوری آب بهره‌وری محصول سیب‌زمینی چگونه تحت تأثیر قرار می‌گیرد؟ این اطلاعات می‌تواند مبنای دقیقی برای تحقیقات و تصمیمات مدیریتی در زمینه بهره‌برداری از زمین‌های خشک و شور در منطقه مورد مطالعه را فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دشت همدان – بهار استان همدان که بیش از ۵۷ درصد سطح زیر کشت این دشت به محصول سیب زمینی تختصاص یافته است، انجام شد. تحقیق حاضر از نظر میزان و درجه کنترل متغیرها، آزمایشی و تحلیلی، از نظر گرد-آوری داده‌ها، میدانی و از نظر تعمیم یافته‌ها از نوع پیمایشی محسوب و در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شده است. در این پژوهش داده‌های مورد استفاده از طریق آمار میدانی از بهره‌برداران کشاورزی منطقه گردآوری شده است. جامعه آماری در این رابطه کلیه کشاورزان تولید کننده سیب‌زمینی است. با استفاده از رابطه ۱ و از روش نمونه‌گیری تصادفی[1] تعداد نمونه مشخص شده است. (شیرانی،۱۳۶۴)،

$$n=\frac{N\times t^2\times s^2}{N\times d^2+t^2\times s^2} \qquad (۱)$$

در رابطه ۱: n تعداد نمونه مورد نیاز، N تعداد اعضاء جامعه (کشاورزان سیب‌زمینی‌کار)، t آماره t استیودنت، S واریانس نمونه اولیه، d خطای مورد نظر در برآورد است. برای این منظور ابتدا تعداد ۳۰ پرسشنامه انتخاب و واریانس عملکرد، ۰/۲۹ محاسبه شد. بنابراین براساس رابطه ۱ تعداد ۱۱۹ نفر نمونه انتخاب شد (رابطه۲).

$$n=\frac{۱۵۰۰\times(۱/۹۶)^۲(۰/۲۹)^۲}{۱۵۰۰\times(۰/۰۵)^۲+(۱/۹۶)^۲(۰/۲۹)^۲}=۱۱۹ \qquad (۲)$$

با مراجعه به بهره‌برداران سؤالاتی در خصوص مصرف نهاده‌های مصرفی، راندمان تولید مورد پرسش قرار گرفت و میزان شوری آب چاه در سه نوبت مورد سنجش قرار گرفت. گردآوری داده‌ها با استفاده از پرسشنامه انجام شده است. در این مطالعه برای بررسی روایی پرسشنامه از نظرات کارشناسان اقتصاد کشاورزی و آبیاری بهره گرفته و جهت بررسی پایایی سوالات از آزمون آلفای کرونباخ استفاده شده است. با نظر خواهی از گروهی از متخصصان کشاورزی، روایی محتوایی و صوری پرسشنامه تأیید گردید. برای تعیین اینکه پرسشنامه در شرایط یکسان تا چه اندازه نتایج یکسانی به دست می‌دهد (پایایی)، نسبت به تکمیل آن در یک نمونه ۳۰ تایی اقدام شد و مقدار آلفای کرونباخ ۰/۸۱ بدست آمد.

در این تحقیق و به منظور دستیابی به هدف پژوهش لازم است که تابع عملکرد سیب‌زمینی برآورد شود. تابع مورد نظر به صورت رابطه ۳ در نظر گرفته شده است.

$$Y_i=y_i(fe_i,s_i,po_i,l_i,Ec_i,W_i) \qquad (۳)$$

[1] Ratio Stratified Random Sampling

متغیرهای مورد استفاده در این مدل در جدول ۱ ارائه شده است. متغیر وابسته نشان دهنده عملکرد سیب‌زمینی و متغیرهای مستقل شامل میزان آب مصرفی، نیروی کار، شوری آب، بذر، کود شیمیایی و سموم شیمیایی است.

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده در تابع عملکرد سیب‌زمینی

متغیر	علائم
عملکرد محصول(کیلوگرم)	Y
میزان آب مصرفی (لیتر)	W
نیروی کار (روز - نفر)	L
بذر (کیلوگرم)	S
کود شیمیایی(کیلوگرم)	Fe
سموم شیمیایی (لیتر)	Po
شوری آب (دسی زیمنس بر متر)	EC

اساساً اشکال مختلف تابع تولید در واقع فناوری تولید را نشان می‌دهند و فناوری تولید نیز نحوه ترکیب نهاده‌های مختلف را مشخص می‌کند (حسین زاده و سلامی،۱۳۸۳). اختلاف موجود در شرایط تولید و مدیریت کشاورزان موجب می‌شود که نهاده‌های تولید به شیوه های گوناگون با هم ترکیب شوند. بنابراین نیاز به توابعی است که این اختلافات را بهتر نشان دهد. برای انتخاب فرم برتر، که به مناسبترین شکل روابط تولیدی مورد بررسی را نشان دهد، باید از معیارهای دیگری نیز بهره گرفت. گجراتی (۱۳۹۸) بیان داشت که تعداد پارامترهای کمتر، سادگی تفسیر، سادگی محاسباتی، خوبی برازش، قدرت تعمیم دهی و پیش‌بینی از جمله معیارهای دیگری هستند که در تعیین الگوی اقتصاد سنجی برای کارهای تجربی مفید هستند. در این تحقیق برای انتخاب فرم برتر دو نوع تابع تولید کاب داگلاس[1] و ترانسندنتال[2] برای بیان رابطه بین عوامل تولید و مقدار عملکرد سیب‌زمینی انتخاب و با استفاده از داده‌های جمع آوری شده برآورد شده است. فرم تابع ترانسندنتال (متعالی) و فرم تابع کاب داگلاس به ترتیب در رابطه ۵ و ۶ نشان داده شده است. تابع متعالی؛ شکل تغییر یافته ای از تابع کاب – داگلاس است که کلیه ویژگیهای تابع تولید نئو کلاسیک ها را تأمین می کند. از خصوصیات این تابع آن است که بازده نسبت به مقیاس در آن ثابت نیست، بلکه بستگی به مقدار مصرف نهاده ها دارد. به علاوه این فرم سه ناحیه تولیدی نئو کلاسیک ها را نشان می دهد. با توجه به این مجموعه ویژگی‌ها، تابع ترانسندنتال را می‌توان یکی از فرم های مناسب برای بیان روابط تولیدی بر اساس نظریه تولید نئوکلاسیک‌ها دانست.

$$LNY = LNa + \beta_1 LNw + \beta_2 LNl + \beta_3 LNs + \beta_4 LNfe + \beta_5 LNpo + \beta_6 LNec + \gamma_1 w + +\gamma_1 l + +\gamma_1 s + +\gamma_1 fe + +\gamma_1 po + +\gamma_1 ec \quad (۵)$$

$$LNY = LNa + \beta_1 LNw + \beta_2 LNl + \beta_3 LNs + \beta_4 LNfe + \beta_5 LNpo + \beta_6 LNec \quad (۶)$$

نتایج و بحث

بررسی متغیرهای اجتماعی مزارع مورد بررسی نشان داد که تعداد ۱۱۹ بهره‌بردار در جمعیت جامعه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، که مسن‌ترین کشاورز ۸۶ و جوان‌ترین آنها با ۱۹ سال سن داشتند. میانگین سن کشاورزان این نمونه برابر

[1]Cobb-Douglass Functional Form
[2]Transendental Functional Form

۵۱ سال بود. سابقه کشاورزی بهره‌برداران ۳۸ سال است. به استثناء ۲۴/۴ درصد این جمعیت که بی‌سواد هستند، اکثر کشاورزان حداقل سواد خواندن و نوشتن را داشتند و اندازه متوسط مزارع ۵ هکتار بود.

سطح زیر کشت مزارع در دشت همدان- بهار بسیار کوچک و پراکنده است. بطوریکه که ۷۹ درصد از اراضی زیر پوشش هر چاه کمتر از ۲۰ هکتار است. تنها ۱/۷ درصد از چاه‌ها، آب مورد نیاز اراضی بین ۴۱ تا ۶۰ هکتار را تأمین می-کنند.

شوری آب از تبعات عمیق شدن چاه است. این موضوع باعث افت کیفیت آب شده است (اخوان و همکاران، ۱۳۹۲). بررسی وضعیت آب چاههای مورد مطالعه در این پژوهش نشان داد که شوری آب در ۵۵/۱ درصد چاه‌ها بین ۱۰۰۰- ۵۰۱ میلی موس بر سانتیمتر، ۲۲/۳ درصد از چاه‌ها، شوری آب بین ۱۵۰۰- ۱۰۰۱ میلی موس بر سانتیمتر و حداکثر شوری ملاحظه شده بین ۲۰۷۰ - ۱۵۰۱ میلی موس بر سانتیمتر است که در ۶/۱ درصد نمونه‌ها مشاهده شده است. چاه هایی که در میانه دشت واقع شده به دلیل عمق بیشتر، شوری بالاتری دارند. متوسط شوری آب برابر ۸۶۲ میلی موس بر سانتیمتر است.

در خصوص انتخاب تابع تولید مناسب با توجه به نتایج تخمین دو مدل تابع کاب- داگلاس و ترانسندنتال (متعالی) جهت بررسی مشکلات نقض فروض کلاسیک (همخطی، ناهمسانی واریانس، خودهمبستگی، نرمال بودن جملات پسماند و خطای تصریح) از آزمون های وایت جهت بررسی ناهمسانی واریانس استفاده گردید. با توجه به نتایج حاصل آزمون ها، همسانی واریانس هر دو مدل مذکور پذیرفته شد. از آزمون دوربین واتسون برای بررسی فرض خودهمبستگی استفاده شد. نتایج حاصل از D.W عدم وجود خود همبستگی هر دو مدل را اثبات نمود. جهت بررسی خطای تصریح از آزمون رمزی استفاده گردید. با توجه به مقدار آماره F وجود خطای تصریح در سطح ۵ درصد در مدل درجه دوم پذیرفته ولی در تابع کاب داگلاس رد شد. همچنین از آزمون هیستوگرام نرمالیتی جهت بررسی نرمال بودن جملات پسماند استفاده گردید. لذا با توجه به آماره Jrque-Bera فرض نرمال بودن جملات پسماند در مدل ترانسندنتال (متعالی) پذیرفته ولی در تابع کاب داگلاس رد شد. بنابراین تابع ترانسندنتال (متعالی) براساس معیار اشاره شده برگزیده شده است. لذا با استفاده از این تابع اقدام به بررسی تأثیر شوری آب و سایر متغیرها بر عملکرد محصول شده است. نتایج برآورد پارامترها دو تابع ترانسندنتال (متعالی) و کاب داگلاس در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. مقایسه پارامترهای توابع عملکرد سیب‌زمینی

پارامترها	ترانسندنتال (متعالی)	کاب - داگلاس
cons	۳۲/۹*	۳/۸۹*
LNfe	-۸/۱*	۰/۰۵*
LNs	۲/۱*	۰/۲۳
LNpo	۳/۵	۰/۰۱*
LNw	۲/۰۳*	۰/۰۲**
LNEC	-۱۴/۷*	-۰/۰۱*
Lnl	-۵/۰۳	-۰/۰۶
Fe	-۱۵/۰۴*	-
S	۲/۰۰۳*	-
PO	1/1	-

W	۱۸/۰۳*	-
Ec	-۱۰۲/۱*	-
L	۱/۰۳	-

*و**و*** به ترتیب نمایانگر معنی دار بودن در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد است.

بر اساس نتایج ذکر شده بهترین فرم تابع عملکرد سیب‌زمینی تابع ترانسنتدنتال (متعالی) است. تابع به دست آمده بعد از حذف متغیرهای معنی‌دار نشده به صورت رابطه ۷ تنظیم شده است.

(۷)

$$lny = ۳۲.۹ - ۸.۱lnf + ۰.۱۲lns + ۳.۵lnpo + ۲.۰۳lnw - ۱٤.۷lnEc - ٥.۰۳lnl - ۱٥.۰٤Fe + ۲.۰۰۳S + ۱.۱Po + ۱۸.۰۳W - ۱۰۲.۱Ec + ۱.۰۳L$$

در این الگو ضریب تعیین تابع عملکرد برابر با ۰/۹۰ است. بالا بودن این ضریب به خوبی برازش مدل اشاره می‌کند. آماره F محاسباتی معنی‌دار است. بنابر این فرضیه صفر، یعنی صفر بودن همزمان متغیرها رد می‌شود. بر این اساس کود شیمیایی، شوری آب آبیاری، آب و بذر در تغییرات سیب‌زمینی به طور معنی‌داری تأثیرگذار هستند. لازم به ذکر است که متغیر سموم شیمیایی به علت ایجاد هم خطی با سایر متغیرها از مدل حذف گردید. به منظور تعیین اثر هر یک از عوامل مورد بررسی بر عملکرد محصول بهره‌وری نهایی و متوسط میزان آب مصرفی، بذر، کود شیمیایی و شوری آب محاسبه شده است. بر اساس نتایج حاصله، بهره‌وری نهایی و بهره وری متوسط عوامل و نهاده های معنی دار مدل به ترتیب در جدول ۳ و ۴ آورده شده است.

جدول۳- نتایج کلی محاسبه بهره وری متوسط عوامل تولید محصول

نهاده	بهره وری متوسط		
	میانگین	حداکثر	حداقل
میزان آب مصرفی	۴/۳	۵/۲	۳/۶
بذر	۷	۱۳	۲
کود شیمیایی	۴۸	۱۳۲	۱۵
شوری آب	-	-	-

جدول۴-نتایج کلی محاسبه بهره وری نهائی عوامل تولید محصول

نهاده	ارزش تولید نهایی	بهره وری نهائی (کیلوگرم)		
	(ریال)	میانگین	حداکثر	حداقل
آب مصرفی	۲۴۰۰	۰/۲	۰/۵	۰/۱
بذر	۲۷۶۰۰۰	۲۳	۳۶	۷
کود شیمیایی	۱۶۸۰۰۰	-۱۴	۱۸	-۲۲
شوری آب	۱۰۳۲۰۰۰۰	-۸۶۰	-۱۱۰۰	-۵۲۵

بحث و نتیجه گیری

تأثیر نهایی شوری آب آبیاری بطور متوسط ۸۶۰- است که نشان می‌دهد با ثابت بودن سایر متغیرها، افزایش یک واحدی شوری آب از مقدار میانگین موجب کاهش عملکرد سیب‌زمینی به مقدار ۸۶۰ کیلوگرم در هکتار می‌شود. منفی

بودن ضریب هدایت الکتریکی چاه‌های کشاورزی بدین مفهوم است که افزایش شوری آب چاه با توجه به دامنه داده‌های این متغیر (۲۰۷۰-۲۵۰)، باعث کاهش عملکرد سیب‌زمینی می‌شود. اثرات اقتصادی یا ارزش تولید نهایی شوری آب زراعی نیز منفی و برابر ۱۰۳۲۰- هزار ریال در هکتار است(جدول ۴). این شاخص نشان می‌دهد که با افزایش شوری آب به میزان یک میلی موس بر سانتیمتر تحت شرایط ثابت (با ثابت بودن مقادیر سایر متغیرها)، درآمد سیب زمینی در هر هکتار به میزان ۱۰۳۲۰ هزار ریال کاهش می‌یابد. لذا تعدیل شوری آب آبیاری و متعاقب آن شوری خاک اراضی با روش ها و فنون مختلف تأثیر مثبتی در افزایش درآمد سیب زمینی‌کاران خواهد داشت. این نتایج با یافته‌های وانگ، ۲۰۱۲ و خاقانی و همکاران، ۱۳۹۱ مطابقت دارد.

تأثیر نهایی آب زراعی بر عملکرد سیب زمینی برابر با ۰/۲کیلوگرم در هکتار است. این بدان معنا است که با افزایش مصرف یک متر مکعب آب در هر هکتار (بیشتر از مقدار میانگین آن در نمونه مورد مطالعه) و با ثابت بودن مقادیر سایر متغیرها، بطور متوسط ۲۰۰ گرم در هکتار بر عملکرد سیب زمینی افزوده می‌شود. بر مبنای متوسط عملکرد و قیمت محصول ارزش تولید نهایی هر متر مکعب آب زراعی نیز مثبت و برابر با ۲۴۰۰ ریال در هکتار است. این شاخص نشان می-دهد که با افزایش مصرف آب به مقدار یک متر مکعب در هکتار و فرض ثابت بودن سایر شرایط در هر هکتار بطور متوسط ۲۴۰۰ ریال بر درآمد مزارع سیب زمینی افزوده خواهد شد. این یافته‌ها موید نتایج تحقیقات وارسته و ارسلان بد (۱۳۹۴) است. نتایج تحقیقات افراد مذکور نیز بیانگر تأثیر مثبت و معنی دار حجم آب زراعی بر عملکرد سیب زمینی است.

بهره وری متوسط نهاده بذر برابر با ۷ بدست آمده است (جدول ۳). به این معنی که در مزارع مورد بررسی به ازای استفاده از هریک کیلوگرم بذر بطور متوسط ۷ کیلوگرم محصول حاصل خواهد شد. بهره‌وری نهایی بذر برابر با ۲۳ است، این شاخص بدین مفهوم است که با افزایش مصرف یک کیلوگرم بذر در هر هکتار(بیشتر از مقدار میانگین آن در نمونه مورد مطالعه) و با ثابت بودن مقادیر سایر متغیرها، بطور متوسط ۲۳ کیلوگرم در هکتار بر عملکرد سیب زمینی افزوده می‌شود (جدول ۴). بر مبنای متوسط عملکرد و قیمت محصول ارزش تولید نهایی هر کیلوگرم بذر نیز مثبت و برابر با ۲۷۶ هزار ریال در هکتار است. این یافته‌ها موید نتایج تحقیقات حاجی رحیمی، و عبدل قوزلوجه (۱۳۹۱)است. نتایج تحقیقات افراد مذکور نیز بیانگر تأثیر مثبت و معنی دار بذر بر عملکرد سیب زمینی است.

بهره وری نهایی کود شیمیایی برابر با ۱۴- است و این بدین مفهوم است که آخرین واحد این نهاده ۱۴کیلوگرم از محصول کم می‌گردد و ارزش تولید نهایی آن برابر با ۱۶۸ هزار ریال در هکتار است (جدول ۴). لذا با افزایش مصرف آن تا سطح بهینه میتوان عملکرد درآمد سیب زمینی را افزایش داد. بنابر این مدیریت مصرف نهاده ها ایجاب می کند که نسبت به مصرف بهینه و کارآمد این نهاده نیز اقدام گردد.

منابع:

۱. آمارنامه کشاورزی. ۱۳۹۴. سازمان جهاد کشاورزی استان همدان. معاونت برنامه‌یزی و امور اقتصادی. سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳.

۲. اخوان س.، بلالی ح.، رضایی ی .۱۳۹۲. بررسی آثار اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی پایین رفتن سفره آب زیرزمینی و اثرات آن بر سرمایه‌گذاری و تولید بخش خصوصی. مطالعه موردی دشت همدان - بهار. همایش بحران مدیریت منابع آب زیرزمینی کشور.

۳. باغانی، ج؛ علیزاده، ا؛ انصاری، ح و عزیزی، م.۱۳۹۴.اثر کیفیت آب و مدیریت کاربرد آب شور در سیستم آبیاری قطر های بر عملکردو کارآیی مصرف آب در خربزه دیررس. *فصلنامه آب و خاک* (۳) ۲۹.

۴. حاجی رحیمی،م و عبدل قوزلوجه، ع.۱۳۹۱. تحلیل بهره وری نهاده آب و محاسبه ارزش اقتصادی آب آبیاری در تولید محصول سیب زمینی در دشت بهار. مدیریت اطلاعات پوهشی دانشگاه کردستان.

۵. خاقانی. ر؛ محمودی. ش؛ پذیرا. ا و مسیح آبادی. م .ح. ۱۳۹۱. بررسی تغییرات شوری خاک و تأثیر آن بر عملکرد محصولات عمده زراعی در دشت قزوین. تولید گیاهان . تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش های محیطی. سال چهارم. شماره سوم.

۶. شیرانی، پ. ۱۳۶۴. نظریه نمونه گیری. مرکزنشر دانشگاهی، تهران.

۷. فرهنگیان کاشانی، س. و منعم، ر. ۱۳۸۹. بررسی اثر تنش شوری بر خصوصیات جوانه زنی بذر ده ژنوتیپ گل راعی (Hypericum perforatum L)پژوهش های به زراعی(تنش های محیطی در علوم گیاهی). دوره ۲، شماره ۱: ۸۱-۷۵.

۸. گجراتی، د.۱۳۹۸. مبانی اقتصاد سنجی. ترجمه حمید ابریشمی. انتشارات دانشگاه تهران(چاپ سیزدهم).

۹. نوذری ح، و زالی ع.۱۳۹۲. بررسی وضعیت برداشت از آب زیر زمینی آبخوان دشت همدان - بهار. نشریه دانش آب و خاک، شماره ۲۳.

۱۰. وارسته.م؛ ارسلان بد. م. ر. ۱۳۹۴. اندازه گیری و تحلیل بهره وری تولید کنندگان سیب زمینی شهرستان اصفهان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه. دانشکده کشاورزی.

11. Wang.2012.Efects of Irrigation Water Quality and Drip Tape Arrangement on Soil Salinity, soil Moisture Distribution, and cotton Yield (Gossypium hirsutum L.) Under Mulched Drip Irrigation in Xinjiang, China. Journal of Integrative Agriculture. Vol 11:502-511.

The Effect of Irrigation Water Salinity and Other Production Factors on Potato Crop yield in Hamadan – Bahar Plain

Seyed Mohsen Seyedan[1] and Ali Ghadami Firozabadi[2]

[1-] Research Assistant Professor of Economic, Social and Extension Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Hamedan, Iran.

[2-] Research Assistant Professor of Economic, Social and Extension Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization. (Corresponding Author: aghadami@@gmail.com)

Abstract

Hamedan Plain - Bahar is one of the most important fertile plains in Hamadan province. Increasing agricultural production due to the rapid growth of the population and, consequently, the increase in water demand in recent decades has caused uncontrolled withdrawal and a drop in groundwater levels in the plain. This has led to a sustained drop in groundwater level in the plain and has led to the inclusion of critical areas of the province. This phenomenon has caused water salinity in addition to damage to groundwater resources. The purpose of this study was to investigate the effect of groundwater salinity on potato yield. Estimation of yield function has been used in determining the effect of salinity and other factors on yield changes in potato yields in the period of 2018-19. Using random sampling method, 30 wells and 119 fields were selected and data were collected. The amount of water salinity has been measured in two steps in the laboratory. Based on the criteria and the test, the production function was selected in the form of a quadratic function for estimating the relationships between variables. The results of this study indicate that with an increase of one unit in the amount of water salinity, the production of this product has decreased by 860 kg. Other results of this study showed that the operators of the region used the optimum amount of water less than the optimum amount, optimum seed and animal manure, chemical fertilizer chemical poison more than optimal amount.

Key word: yield Function, Production Factors, Random Sampling

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

مقایسه شاخص‌های مختلف گیاهی ماهواره لندست ۸ در پیش‌بینی برخی از پارامترهای مزارع نیشکر جنوب غربی خوزستان

علیرضا ظهیرنیا[1*]، حمیدرضا متین فر[2]

۱- دانشجو دکتری علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان arzahirnia@gmail.com

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه لرستان

چکیده

به منظور بررسی و پایش پوشش گیاهی در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای دسترسی به هنگام به داده‌های میدانی یا صحرایی معمولا دشوار و محدود می باشد. ترکیب نتایج حاصل از مشاهدات و اندازه گیری‌های مزرعه‌ای با داده‌های سنجش از دور می‌تواند نقشه‌های به هنگام خصوصیات محصولات را ارائه نماید. استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی که امروزه در سطح وسیعی از آنها استفاده می‌شود، برای کمی کردن تولید خالص سالانه و تفکیک پوشش گیاهی در مقیاس‌های قاره‌ای، جهانی و ناحیه‌ای به کار گرفته می‌شود. تحقیق حاضر با هدف یافتن روشی سریع همراه با دقتی قابل قبول برای شناسایی و طبقه بندی انواع پوشش گیاهی در مزارع تحت کشت نیشکر در منطقه جنوب غربی خوزستان، تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های مختلف گیاهی را مورد استفاده قرار داده است. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد از حدود دو ماه قبل از برداشت، شاخص‌هایی مانند NDVI و TSAVI این قابلیت را دارند که عملکرد مزارع را به ترتیب با تخمین ۶۴/۴۲ و ۶۶/۰۱ درصد پیش‌بینی نمایند که این امر می‌تواند در پیش‌بینی دقیق مقدار نیشکر تولید شده در هریک از مزارع و مدیریت کلی برداشت نقش بسیار مفیدی داشته باشد.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی عملکرد نیشکر، شاخص‌های گیاهی، ماهواره لندست۸، مدیریت مزرعه.

مقدمه

کسب آگاهی و دانش در رابطه با پوشش گیاهی و کیفیت و کمیت آن در مدیریت مزارع نقش مهمی دارد. تولید یک نقشه پوشش گیاهی دقیق یکی از ابزارهای مهم در برنامه‌ریزی و توسعه به شمار می‌آید. با روش‌های سنتی بررسی و پایش پوشش گیاهی به داده‌های به هنگام میدانی یا صحرایی معمولا دشوار، محدود و بسیار وقت‌گیر است. سنجش از دور تکنولوژی بسیار مفیدی است که می‌توان آن را برای به دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی از خاک و پوشش گیاهی بکار برد (Choudhury, B. J. 1994). خصوصیاتی نظیر فراهم ساختن دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرارپذیری، سهل‌الوصول بودن اطلاعات، دقت بالای اطلاعات حاصله، توالی زمانی مشخص تصاویر و صرفه جویی در زمان از ویژگی‌هایی است که استفاده از این گونه اطلاعات را برای بررسی پوشش گیاهی و کنترل تغییرات آن نسبت به سایر روش‌ها ارجحیت می‌بخشد. بر همین اساس محققین زیادی به منظور بررسی پوشش گیاهی از داده‌های سنجش از دور استفاده نموده و این تکنیک را مناسب این گونه مطالعات ارزیابی نموده‌اند (Bausch, W. C. 1993, Gonzales, J. 2003). هدف اصلی در اغلب تحلیل‌های سنجش از دور که برای بررسی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شود این است که داده‌های حاصل از محاسبات انجام شده بر روی باندهای طیفی مختلف را که می‌تواند بیانگر پارامترهایی نظیر درصد پوشش گیاهان، زیست توده و شاخص سطح برگ باشد را به یک مقدار واحد در هر پیکسل ارتباط دهد. در واقع دیدگاه رایج جدید در زمینه‌ی بررسی و پایش پوشش‌های گیاهی استفاده از شاخص‌های سنجش از دور پوشش گیاهی است (Cuesta, A. 2004). این شاخص‌ها یک ترکیب ریاضی از باندهای متعدد تصاویر رقومی ماهواره‌ای هستند که از اختلاف معنی‌دار بازتابش پوشش گیاهی در طول موجهای آبی، قرمز، سبز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌کنند. این شاخص‌ها به صورت یک عملیات ریاضی مانند جمع، تفریق، نسبت‌گیری و یا دیگر ترکیبات خطی می‌باشند که ارزش

هر پیکسل در باندهای مختلف را به یک شاخص عددی تغییر می دهند. (Makkink, G. F. 1957). از کاربرد شاخص‌های گیاهی برای اهداف مختلف چند دهه می‌گذرد و هنوز هم در سطح وسیعی استفاده می‌شوند (ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص‌های NDVI[1] و SAVI[2] هر دو از شاخص‌های پوشش گیاهی جهانی بوده و به عنوان پرکاربردترین شاخص‌ها شناخته شده و در تعیین اطلاعات مکانی و زمانی انواع مختلف پوشش‌های گیاهی بکار می‌روند (Manly, B. F. J. 2001). بخصوص شاخص NDVI که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات مشخص شده است. این شاخص بر پایه این اصل که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نور مادون قرمز نزدیک را منعکس سازد استوار است. این شاخص با استفاده از فرمول NDVI (جدول ۱) محاسبه شده و مقدار آن بین اعداد ۱+ تا ۱- تغییر می کند. مقادیر منفی در این شاخص حاکی از عدم حضور پوشش گیاهی است. مقدار این شاخص و نیز شاخص های دیگر پوشش گیاهی تحت تاثیر عواملی قرار می گیرند که آگاهی از آنها نقش کلیدی و مهمی را در مطالعات پوشش گیاهی دارند که در این تحقیق به برخی از آنها اشاره شده است. اثرات مستقیم وضعیت اقلیمی بر روی زیست توده و الگوهای فنولوژیکی پوشش گیاهی به وسیله NDVI تخمین زده شده و در بسیاری از اکوسیستم ها بیان شده است. بر روی این شاخص فاکتورهای زیادی نظیر ساختار گیاهی، اثرات متقابل با تاج پوشش گیاهی، ارتفاع گیاه، ترکیب (نا خالصی) گونه ای، سلامتی و شادابی گیاه، ویژگی های برگ و تنش گیاه، توپوگرافی و ارتفاع اثر دار می باشند. از آنجایی که این شاخص، همبستگی مستقیم با تولیدات پوشش گیاهی دارد بنابراین تعداد زیادی از کاربردهای مثبت این شاخص برای اهداف اکولوژیکی نیز بیان شده است (Manly, B. F. J. 2001). این شاخص امکان مطالعه اطلاعاتی را درباره گسترش مکانی و زمانی اجتماعات پوشش گیاهی، زیست توده گیاهی، کیفیت پوشش گیاهی و میزان توسعه تخریب خاک را در اکوسیستم های متنوع مهیا می سازد. این شاخص می‌تواند برای کمی کردن تولید خالص سالانه در مقیاس های متفاوت و تفکیک پوشش گیاهی به کار گرفته شود.

داده‌های سنجش از دور برای پیش بینی میزان عملکرد محصولات نیز می‌توانند به دو روش به کار گرفته شوند. در روش اول تمرکز بر روی مدل های رشد گیاه است که این مدل ها نیازمند داده‌های اگرونومیکی و هواشناسی می باشند که معمولا به راحتی قابل دسترس نبوده و در مقیاس های مکانی دلخواه موجود نمی باشند. در روش دوم تخمین عملکرد گیاه بر اساس شاخص های گیاهی امکان پذیر می گردد. در بسیاری از تحقیقات شواهدی از همبستگی بالا بین عملکرد ذرت و محصول سویا و شاخص NDVI ارائه شده است. همچنین نتایج تحقیقات نیز نشان می دهد که با محاسبه NDVI در طول مرحله پر شدن دانه می‌توان به بهترین شکل عملکرد گیاهان خانواده غلات را تخمین زد (Choudhury, B. J. 1994). گووستا و همکاران نشان دادند که ترکیب نتایج حاصل از مشاهدات و اندازه گیری های مزرعه ای با داده‌های سنجش از دور می‌تواند نقشه های به هنگام خصوصیات محصولات را ارائه نماید که در اعمال کشاورزی دقیق بسیار ارزشمند است (Cuesta, A. 2004).

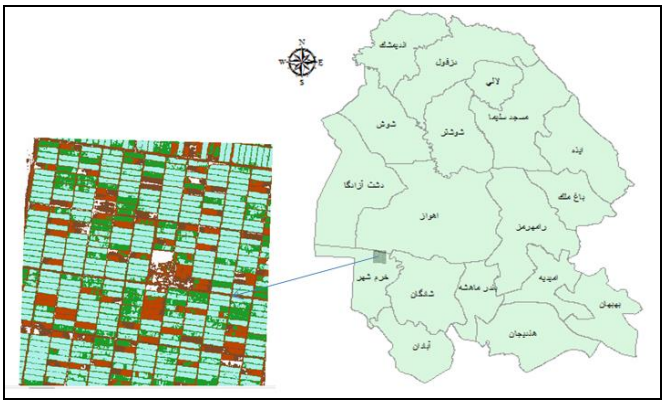
رابطه بین NDVI و پوشش گیاهی می‌تواند بر اساس پراکنش پوشش گیاهی که به صورت ضعیف و پراکنده یا به صورت متراکم باشد بنا شود به این معنی که در مناطقی که پوشش گیاهی پراکنده است و شاخص سطح برگ LAI[3] کمتر از ۳ باشد، NDVI به شدت تحت تاثیر انعکاس خاک قرار می گیرد. بنابراین در این مناطق، کاربرد شاخص تعدیل یا اصلاح شده پوشش گیاهی، SAVI به جای NDVI پیشنهاد شده است. این شاخص به یک کالیبراسیون محلی نیازمند است زیرا پیش بینی اثرات خاک در مناطقی با مقیاس های بزرگ که مجموعه ای از خاک ها و پوشش های گیاهی متفاوتی را دارند بسیار مشکل است. شاخص NDVI به شدت تحت تاثیر متغیرهای روشنایی خاک در زمینه تاج پوشش گیاهی قرار می گیرد و این مساله شناسایی تفاوتهای موجود بین پوششهای گیاهی را مشکل می

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Soil Adjusted Vegetation Index
3. Leaf Area Index

سازد. مشکلات به خصوصی نیز در هنگامی که هدف استخراج خصوصیات خاک از روی اطلاعات پوشش گیاهی باشد وجود دارد. تحقیق حاضر با هدف بررسی شاخص‌های مختلف پوشش گیاهی و با انگیزه یافتن روشی سریع همراه با دقتی قابل قبول برای شناسایی و رده بندی انواع پوشش گیاهی و پیش بینی عملکرد محصول با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ در برخی از مزارع شرکت کشت و صنعت میرزا کوچک خان انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل مزارع نیشکر شرکت و صنعت میرزا کوچک خـان واقـع در جنـوب غربـی اسـتان خوزسـتان می‌باشد. این منطقه که بین حد شمالی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه و حد جنـوبی ۳۰ درجـه و ۴۶ دقیقـه، حـد شـرقی ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه و حد غربی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه واقع شده است. حد شرقی آن را رودخانه کارون و حد غربی آن را جاده اهواز- خرمشهر در بر می‌گیرد. کشت غالب این منطقه را واریته های مختلف نیشکر پوشش داده و در برخی موارد سایر محصولات مانند گندم، کلزا، گلرنگ بصورت محدود کشت می‌شود (ظهیرنیا و متین فر، ۱۳۹۸).



شکل ۱- محل قرار گیری مزارع نیشکر مورد مطالعه بر روی نقشه استان خوزستان

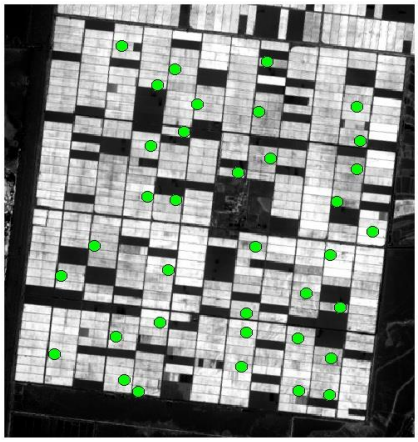
- داده‌های ماهواره‌ای

داده‌های ماهواره لندست ۸ به علت چند طیفی بودن امـکان مـطالعه منابع مخـتلف را در باندهای متنوعی از مرئی تا مادون قرمز و امواج راداری فراهم آورده است. از ویژگی های دیگر این داده ها متنوع بودن آنها می باشد که برای تمام فصول و یا حتی ماههای مختلف تصویرها و داده‌های جدیدی دارد که به کاربران مختلف امکان بررسی سریع و به موقع تغییرات پدیده های مختلف مانند تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی را فراهم می آورد. داده‌های ماهواره لندست ۸ رقومی می باشند و برای سیستم های مختلف جغرافیایی کاربرد دارند. از ویژگی های دیگر تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به دقت و کیفیت بالا، به روز بودن اطلاعات و به حداقل رساندن هزینه ها و صرفه جویی در وقت را می‌توان نام برد.

جهت انجام این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ قابل دسترس در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ استفاده گردید در طول فصل زراعی کشت نیشکر، هشت تصویر قابل دانلود در سایت http://earthexplorer.usgs.gov وجود داشت که تصویر مربوط به تاریخ ۲۸ آگوست ۲۰۲۰ (۶ شهریور ۱۳۹۹) مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر بوده و از لحاظ شرایط هواشناسی، بدون ابر می‌باشند. داده‌های این ماهواره شامل ۱۱ باند می باشند که هر ۱۶ روز یک بار توسط سنجنده تصویربرداری می‌شوند در حال حاضر این داده‌ها را می‌توان به عنوان دقیق ترین داده‌های ماهواره‌ای معرفی نمود.

- داده های زمینی

در منطقه مورد مطالعه ۳۶ نقطه به طور تصادفی انتخاب گردید که مربوط به مزارع تحت کشت نیشکر می باشد. برای هر نقطه مقادیر شاخص‌های گیاهی NDVI[1], SAVI[2], TSAVI[3], MSI[4], TWC[5], RAI[6] با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای محاسبه شده است. در شکل زیر موقعیت نقاط بر روی تصویر ماهواره‌ای نشان داده شده اند.



شکل ۲ - محل قرار گیری نقاط مورد محاسبه

- برآورد شاخص‌های پوشش گیاهی

بطور کلی شاخص‌های گیاهی حاصل روابط ریاضی بین رفلکتنس‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند که در ماهواره لندست ۸ به ترتیب در باندهای ۴ و ۵ ارائه شده‌اند. روابط ریاضی لازم برای محاسبه شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه در این تحقیق در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه

ردیف	نام اندیس	فرمول
۱	NDVI	(B5-B4)/(B4+B5)
۲	SAVI	((B5-B4)/(B5+B4+L))*(1+L)
۳	TSAVI $_{(X=0.08)}$	(s.(B5-S.R-a)/(a.B5 + R - a.S + x.(1+S^2)) a, s به ترتیب شیب و عرض از مبدا خط خاکی هستند)

1- Normalized Difference Vegetation Index
2- Soil Adjusted Vegetation Index
3- Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
4- Moisture Stress Index
5- Leaf Water Content
6- Reflectance Absorption Index

۴	Moisture Stress Index (MSI)	B6/B5
۵	Leaf Water Content (LWC)	B6/B8
۶	Reflectance Absorption Index(RAI)	B4/(B3+B5)

پس از محاسبه هر یک از شاخص‌های گیاهی و همچنین مشخص شدن عملکرد هریک از مزارع منتخب در این تحقیق، رابطه رگرسیونی بین هریک از شاخص‌ها و عملکرد، درصد ازت و رطوبت غلاف تعیین و اعداد همبستگی مشخص گردید. کلیه پردازش‌های تصویری در محیط نرم افزارهای ENVI 5.3 و ARC GIS 10.5 انجام گرفت و همچنین محاسبات آماری توسط نرم افزار SPSS 24.0 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان می‌دهد که در بین تمام شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه، دو شاخص MSI و LWC دارای همبستگی پایینی با عملکرد واقعی بوده و سایر شاخص‌ها همبستگی بالای ۶۰ درصد را با عملکرد نشان می‌دهند. در بین شاخص‌های مذکور، شاخص TSAVI دارای بالاترین همبستگی با عملکرد بوده (۶۶/۰۱ ٪) که این امر احتمالا به علت تاثیر پارامترهای مربوط به خط خاکی[۱] تصویر و اصلاح اثرات خاک زمینه محصول در محاسبات می‌باشند (جدول ۲).

پس از شاخص مذکور به ترتیب شاخص‌های NDVI، SAVI و RAI قرار می‌گیرند. مبنای محاسبه این شاخص‌ها بر اساس تاج پوشش و کیفیت و کمیت گیاهان موجود در تصویر بوده و به همین علت به خوبی (با همبستگی بیش از ۶۰ ٪) توانسته‌اند عملکرد مزرعه، که هدف اصلی این تحقیق می‌باشد، را پیش بینی نمایند (جدول ۲).

دو پارامتر درصد ازت برگ و درصد رطوبت غلاف گیاه با شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه دارای همبستگی بسیار پایینی هستند بطوریکه حداکثر همبستگی محاسبه شده ۷/۳۹ ٪ و مربوط به شاخص MSI می‌باشد (جدول ۲). که این امر احتمالا به علت زمان انتخاب شده برای تصویر باشد (۶ شهریور) که حدود ۶۰ روز از آخرین مرحله کوددهی به مزارع گذشته و مقدار ازت به کمترین مقدار در برگ‌های گیاه رسیده است. به نظر می‌رسد همبستگی شاخص‌های گیاهی با درصد ازت برگ در تصاویری که با مراحل انتهایی کوددهی ازت همزمان باشند، بالاتر باشد.

این پدیده همچنین در مورد درصد رطوبت غلاف گیاه نیز صادق است بطوریکه در زمان تصویر تهیه شده (۶ شهریور) گیاه به تدریج از شرایط رشد حداکثری و مطلوب خود فاصله گرفته و درصد رطوبت غلاف آن نیز نسبت به قبل کاهش یافته است. (پدیده های ذکر شده برای درصد ازت برگ و رطوبت غلاف در نمودارهای استاندارد کراپ لاگ نیز کاملا مشخص می‌باشد) به نظر می‌رسد بررسی سایر تصاویر که در زمان‌های مناسبتری از نظر مرحله رشدی گیاه تهیه شده باشند (حدود اوایل تیرماه)، همبستگی بالاتری را با اعداد بدست آمده از شاخص‌های محاسبه شده از خود نشان خواهند داد. نتایج بدست آمده از این تحقیق بطور خلاصه شده در جدول شماره ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- همبستگی محاسبه شده بین پارامترهای مزرعه‌ای و شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه

شاخص گیاهی / پارامتر مزرعه‌ای	NDVI	SAVI (L=0.50)	SAVI (L=1.00)	TSAVI	MSI	LWC	RAI
عملکرد(ton/ha)	۶۴/۴۲	۶۴/۴۲	۶۴/۴۲	۶۶/۰۱	۴۷/۴۴	۱/۹۴	۶۱/۸۹
درصد ازت برگ	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۰/۹۱	۴/۶۱	۲/۵۳	۶/۶۰

۱- خط خاکی: خطی است که با استفاده از مقادیر عددی بازتابش نقاط دارای خاک بدون هر گونه پوشش باند ۴(IR) در محور x و باند ۵ (NIR) در محور y ایجاد میشود.

درصد رطوبت غلاف	۴/۹۶	۴/۹۶	۴/۹۶	۴/۷۰	۷/۳۹	۲/۲۳	۶/۶۰

منابع مورد استفاده

۱- ثنایی نژاد. ح، آستارایی. ع، میرحسینی. پ، کشاورزی. ع، قائمی. م. ۱۳۹۳. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعات پوشش گیاهی. مجموعه مقالات پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون.

۲- درویش صفت، ع. ا. دماوندی، م. ح، جعفری، م، زهتابیان، غ. ر. ۱۳۷۹. بررسی امکان طبقه بندی اراضی شور با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره لندست TM. مجله بیابان،جلد ۵ ، شماره ۲.

۳- ظهیرنیا. ع و متین فر. ح. ۱۳۹۸. تعیین تناسب اراضی مزارع نیشکر مبتنی بر شاخص کیفیت خاک با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). سال ۲۳. شماره ۲.

4- Bausch, W. C. 1993. “Soil background effects on reflectance-based crop coefficients for corn. ” Remote Sens. Environ. , 46, 213–222. Bausch, W. C. 1995. “Remote sensing of crop coefficients for improving the irrigation scheduling of corn. ” Agric. Water Manage. , 27, 55–68.

5- Choudhury, B. J. , Ahmed, N. U. , Idso, S. B. , Reginato, R. J. , and Daughtry, C. S. T. 1994. “Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. ” Remote Sens. Environ. , 50, 1–17.

6- Cuesta, A. , Montoro, A. , Jochum, A. , López Fuster, P. , and Calera, A. 2004. “Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. ” Proc., 22nd Congreso Nacionalde Riegos, Logroño, Spain.

7- Gonzalez-Piqueras, J. , Calera, A. , and Gilabert, M. A. 2003. “Estimation of crop coefficients by means of optimized vegetation indices for corn. ” Proc SPIE, Vol. 5232, Barcelona, Spain, 110–118.

8- Makkink, G. F. 1957. “Testing the Penman formula by means of lysimeters. ”J. Inst. Water Eng. , 113, 277–288.

9- Manly, B. F. J. 2001. Statistics for environmental science and management, Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Fla. Monteith, J. L. 1965. “Evaporation and environment. ” Proc. , Symp of the Society for Experimental Biology: The State and Movement of Water in Living Organisms, G. E. Fogg, ed. , Vol. 19, Academic, New York, 205–234.

Comparison of different plant indices of Landsat 8 satellite in predicting some parameters of sugarcane fields in southwest Khuzestan

Alireza Zahirnia*[1] , Hamidreza Matinfar[2]

1. PhD student in Soil Science Engineering, Lorestan University (arzahirnia@gmail.com)
2. Associate Professor, Department of Soil Science Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran

Abstract:

Acquiring knowledge and knowledge about vegetation and its health plays an important role in the proper and scientific management of farms. In order to study and monitor vegetation on a global and regional scale, timely access to field or field data is usually difficult and limited. Also, estimating the quality and quantity of vegetation in the usual way, in addition to being time consuming, does not provide very accurate information. Combining the results of field observations and measurements with remote sensing data can provide timely maps of product characteristics. The use of vegetation indices, which are widely used today, is used to quantify annual net production and segregate vegetation on a continental, global, and regional scale. The present study aims to find a fast method with acceptable accuracy to identify and classify the types of vegetation in sugarcane fields in the southwestern region of Khuzestan, using satellite images and various plant indicators. The results of the present study showed that about two months before harvest, indices such as NDVI and TSAVI have the ability to predict farm performance by estimating 64.42 and 66.01 percent, respectively, which can accurately predict the amount of sugarcane production. Has a very useful role in each farm and overall harvest management.

A] Commented [۱]: ؟؟؟

A] Commented [۲]: ??? No subject!!!!

Keywords: Sugarcane Yield Prediction, Plant Indicators, Landsat 8 Satellite, Farm Management.

ارزیابی و تعیین شاخص بهینه CWSI و WDI در برنامه‌ریزی آبیاری گندم (مطالعه موردی ایرانشهر)

حسین جعفری

استادیار و عضو هیئت علمی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج، ایران.

Jafari52_h@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش، امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین زمان آبیاری گندم به‌عنوان کشت غالب استان پهناور سیستان و بلوچستان شهرستان ایرانشهر بررسی شد. بدین ترتیب برای گیاه گندم ابتدا خط مبنای بالا و پایین تنش در نمودار ایدسو با برداشت‌های میدانی و ضلع بالا و پایین ذوزنقه پیشنهادی موران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۹ ترسیم و معادله‌های آن استخراج شد. برای برآورد شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) و شاخص کمبود آب (WDI) بهینه چهار تیمار شامل ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گندم در ۴ تکرار اجرا شد. پس از برداشت گندم در انتهای فصل رشد، کارایی مصرف آب هر تیمار محاسبه گردید و ضمن مقایسه شاخص‌های CWSI و WDI کرت‌های متناظر با استفاده از ضریب تبیین (R^2)، تیماری که بالاترین کارایی مصرف آب را داشت به عنوان شاخص بهینه CWSI و WDI معرفی شد. نتایج حاکی از وجود ضریب همبستگی ۰/۹۴ بین WDI و CWSI بود که موثر بودن استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را در تعیین زمان آبیاری گندم نشان می‌دهد. همچنین در این منطقه میانگین WDI و CWSI بهینه به ترتیب برابر با ۰/۳۸۷ و ۰/۳۶ بدست آمد.

کلید واژه: شاخص تنش آبی گیاه، شاخص کمبود آب ،تصاویر ماهواره‌ای و گندم

مقدمه

برای استفاده بهینه از آب شناخت زمان نیاز گیاه به آب ضروری است تا قبل از آنکه گیاه دچار تنش آبی و کاهش عملکرد شود نسبت به آبیاری اقدام گردد. استفاده از دمای سطح پوشش گیاهی کاراترین روش برای آگاهی از تنش آبی محصول می‌باشد. وقتی که گیاه تحت تنش کمبود آب قرار می‌گیرد، هدایت روزنه‌ای و تبادل گرمای نهان کاهش یافته و اثر خنک‌کنندگی تبخیر کاهش می‌یابد و در نتیجه برگ‌های گیاه نسبت به شرایطی که گیاه تحت تنش نمی‌باشد گرم‌تر می‌شود از این خاصیت و با اندازه‌گیری دمای آسمانه گیاه برای ارزیابی وضعیت آب گیاه می‌توان استفاده کرد. یکی از معتبرترین شاخص‌ها که در آن با استفاده از دمای آسمانه گیاهی می‌توان تنش در یک گیاه را بررسی و در برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار داد شاخص تنش آبی ایدسو است (Idso, 1982).

روش‌های RS با استفاده از بخش حرارتی طیف می‌تواند نشان دهنده وضعیت آب کشاورزی باشد. خروجی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در تعیین زمان آبیاری بسیار پایدار است بنابراین پیشنهاد می‌شود از این روش برای مدیریت آبیاری استفاده گردد (Rud et al., 2014; Bai et al., 2017).

Moran et al. (1994) ایده استفاده از ذوزنقه دما-پوشش گیاهی را به‌منظور توصیف رابطه اختلاف دمای هوا و سطح زمین در برابر میزان تراکم مختلف پوشش گیاهی (NDVI) تشریح کردند و از طریق تعریف شاخص کمبود آب (WDI[1]) وضعیت تبخیر- تعرق را در هر دو پوشش گیاهی متراکم و ضعیف بررسی کردند.

Banzragch et al. (2018) در بررسی شاخص WDI مزرعه گندم به روش ذوزنقه موران در Tsgaannu مغولستان با استفاده از سنجش از دور و تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ و به منظور تعیین زمان آبیاری، نتیجه گرفتند که شاخص کمبود آب

1- Water Deficit Index

با استفاده از تکنیک دورسنجی، یک ابزار مفید برای ارزیابی وضعیت آب کشاورزی به ویژه گندم است و می‌تواند بـرای برنامـه-ریزی آبیاری مفید باشد.

Tanriverdi et al. (2017) در مقایسه CWSI و WDI با استفاده از سنجش از دور، دقیق‌ترین و ساده‌ترین روش برای به دست آوردن شاخص کمبود آب آبیاری هر مزرعه را تعیین پوشش گیاهی (شـاخص NDVI) آن مزرعـه دانسـتند. در ایـن پژوهش سنجش از دور (RS) را به عنوان یک روش مناسب برای جمع‌آوری داده ها در سطح وسـیع و تعیـین شـاخص‌هـای تنش آبی معرفی نمودند و شاخص های تنش آبی مثل WDI را به عنوان ابزارهای مفید بـرای جلـوگیری از اثـرات خشـکی و خشکسالی و تعیین برنامه‌ریزی آبیاری توصیه نمودند.

قربانی و همکاران (۱۳۹۴) در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه با استفاده از شاخص CWSI ، با آبیاری سطحی درشرایط اقلیمی اهواز، مقدار شاخص تنش آبی گیاه برای آبیاری سطحی در شهریور ۰/۱۴ و در مهرماه ۰/۱۵ برآورد کردند .معادله خط مبنای پایینی تنش به روش ایدسو در ماههای شهریور و مهر به شرح زیر محاسبه

$(Tc\text{-}Ta)_{l.l}=2.6183-0.2092VPD$

$(Tc\text{-}Ta)_{l.l}=2.7693-0.2303VPD$

.و خط مبنای بالایی تنش برای ماههای شهریور و مهرماه به ترتیب به صـورت $(Tc-Ta)u.l=5.059$ و $(Tc-Ta)u.l=4.703$ ارائه دادند.

جودی (۱۳۹۰) خط مبنای پایینی رابرای گیاه آفتابگردان برای ماههای فروردین و اردیبهشت به ترتیـب بـه صـورت زیـر محاسبه کرد:

$(Tc-Ta)_{l.l}=1.362\text{-}0.188VPD$

$(Tc-Ta)_{l.l}=1.525\text{-}0.204VPD$

ایشان خط مبنای بالایی را برای ماههای فروردین و اردیبهشت به ترتیب ۴/۶ و ۴/۴۲ درجه سانتیگراد تعیین کرد.

طاهری قناد (۱۳۸۱) خط مبنای پایینی را برای ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان در ماههای اردیبهشت و خـرداد بـه ترتیب $(Tc-Ta)_{l.l}=1.1\text{-}0.216VPD$ و $(Tc-Ta)l.l=2.28 - 0.2074VPD$ به دست آورد.

(Bozkurt Çolak, et all., 2021) دریافتند که شاخص CWSI با پتانسیل آب برگ گیـاه، مقـدار عملکـرد، شـاخص سطح برگ، و مقدار رطوبت خاک در سطوح مختلف آبیاری رابطه غیرمستقیم دارد همچنین CWSI بهینه بـرای گیـاه کوینـا در آمریکای لاتین ۰/۳۵ معرفی کردند.

مقدار آستانه CWSI برای فلفل قرمز جهت تولید حداکثری محصول بازای تیمار آبیاری کامل، در روش آبیاری جویچه‌ای ۰/۳۸ گزارش شد (Metin, et al., 2014).

به منظور برنامه‌ریزی آبیاری قطره‌ای کلم بروکلی تحت پنج سطح آبیاری با فواصل هفت روز، از شـاخص تـنش آبـی گیـاه استفاده شد، نتایج نشان داد که در CWSI برابر ۰/۵۱ برای قبل از آبیاری، بین حداکثر عملکرد محصول تولید شده با شاخص تنش آبی گیاه، همبستگی بالایی برقرار است که این مطلب موید کلیدی بودن شاخص تنش آبی گیاه جهت برنامه‌ریزی آبیاری است. همچنین حداکثر دمای ۴/۵ درجه سانتیگراد به عنوان حد مبنای بالا کلم بروکلی گزارش شد (Erdem, et al., 2010).

Orta et al. (2003) برنامه‌ریزی آبیاری هندوانه به کمک شاخص تنش آبی را در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با پـنج تیمار ۰ ، ۲۵ ، ۵۰ ، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و شرایط دیم در سه تکرار با روش آبیاری قطره‌ای اجراکردنـد، طبـق نتـایج آنهـا بیشترین عملکرد درشاخص تنش خشکی معادل ۰/۱۵حاصل شد.

با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه، به منظور به دست آوردن زمان مناسب آبیاری در مراحـل توسـعه نیشـکر، اخـتلاف دمای سطح پوشش سبز گیاه و هوای مجاور در محدوده ۲ تا ۵ درجه سانتیگراد اعلام شد (Garcia and Pitelli, 2018).

(Alghory et al., 2019) در بررسی شاخص CWSI در مقادیر مختلف آب آبیاری بر روی گندم در سامانه آبیاری بارانی در ترکیه دریافتند که از CWSI می‌توان در پیش بینی عملکرد استفاده نمود و در CWSI کمتـر از ۰/۲۶ بیشـترین عملکـرد دانه گندم بدست آمد. خشکی طولانی مدت در اوایل مرحله پر شدن دانه منجر به کاهش پتانسیل آب بـرگ و کـاهش شـدید عملکرد دانه شد.

بررسی CWSI در سطوح مختلف آبیاری بر روی بادمجان نشان داد که بادمجان در CWSI بین ۰/۱۸ تا ۰/۲ در کشور ترکیه بالاترین کارایی مصرف آب را دارد (Bozkurt Çolaka et all., 2015).

خرسند و همکاران سال ۲۰۲۱ در یک گزارش فنی در مورد ارتباط شاخص¬های گیاه و خاک برای مدیریت تنش آبی طی یک آزمایش در منطقه ارومیه روی ماش سیاه، مقدار CWSI را برای سه سطح آبیاری شامل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰درصد نیاز آبی به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۲۳، ۰/۱۵ و بیشترین اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا که در آن ماش سیاه قادر به تعرق نیست در چهار مرحله رشد شامل گلدهی، تشکیل غلاف، پرشدن دانه و غلاف و رسیدن فیزیولوژی را به ترتیب ۲/۶۳، ۶/۲۵، ۲/۷۹، ۷/۷۳ اعلام کردند (Khorsand, et all., 2021).

تحقیق دیگری در تارسوس(ترکیه) روی فلفل قرمز با سیستم سطحی(فارو) جهت تعیین CWSI انجام گرفت .برای خط مبنای بالا و پایین (Tc-Ta) و کمبود فشار بخار آب هوا [۲] (VPD) به ترتیب روابط $(Tc-Ta)_{UI}=2.86 + 0.005VPD$ و $(Tc-Ta)_{II}=0.1 – 49.1\ VPD$ تعیین شد و مقدار آستانه CWSI برای حداکثر عملکرد در سطحی ۰/۳۸ قبل از آبیاری به‌دست آمد (Sezen et al., 2014).

در تحقیقی که در لرستان(خرم‌آباد) روی سویا با چهار تیمار ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی صورت گرفت، متوسط CWSI طی دوره رشد محصول برای تیمارهای فوق الذکر به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۳۷، ۰/۶۱ و ۰/۸۴ به‌دست آمد. همچنین مبنای محاسبه زمان آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی، حد آستانه CWSI=۰/۱۸ (تیمار بدون تنش یا همان تیمار 100درصد نیاز آبی) قرار گرفت .در نهایت بین (Tc-Ta) و VPD، رابطه‌ای به صورت $(Tc-Ta) = ۱/۰۴ – ۰/۱۳\ VPD$ جهت تعیین زمان آبیاری سویا برای کل دوره رشد محصول ارائه گردید (Ahmadi et al., 2017).

بر اساس تحقیقات انجام شده شاخص *WDI*، با مزایایی که دارد به عنوان روش دقیق برای برنامه‌ریزی معرفی شد. اما اولین سوال اینست که آیا این شاخص در شرایط اقلیمی استان سیستان و بلوچستان دقت لازم را دارد یا خیر؟ بنابراین ارزیابی شاخص *WDI* برای شرایط منطقه که از طریق مقایسه آن با شاخص *CWSI* صورت می‌گیرد ضروری به نظر می‌رسد. دومین سوال در مورد این شاخص اینست که در صورت دارا بودن دقت لازم، مقدار بهینه آن برای استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری گندم چیست؟ پاسخ به این دو سوال یعنی ارزیابی این شاخص و مقدار بهینه آن از اهداف این پژوهش است.

مواد و روش ها

به منظور ارزیابی کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در تعیین زمان آبیاری گندم در منطقه بلوچستان با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی، آزمایشی در چهار مزرعه با وسعت حداقل ۵ هکتار از اراضی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی ایرانشهر که بر اساس ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گندم آبیاری می‌شدند در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد.

قبل از کاشت گندم، از خاک محل آزمایش نمونه‌برداری صورت گرفت و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و همچنین میزان کود مورد نیاز به آزمایشگاه ارسال شد . مقدار آب مورد نیاز کرتی که به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گندم آب دریافت می‌کرد، از رابطه (۱) محاسبه و مقدار آب مورد نیاز سایر کرت‌ها بر اساس آن محاسبه گردید:

$$d_n=(\theta_{fc}-\theta_i)\times\rho_b\times Z \qquad (۱)$$

که در آن d_n : عمق خالص آبیاری (cm)، θ_{fc}: رطوبت ظرفیت زراعی خاک مزرعه (درصد جرمی)، θ_i: رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد جرمی)، ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک (gr/cm^3) و Z : عمق ریشه گیاه (سانتیمتر) می¬باشد.

کاشت گندم در ۱۵ آبان انجام شد و چون یکی از شروط استفاده از نمودار ایدسو در تعیین شاخص تنش خشکی گیاهان، تراکم کامل مزرعه است بنابراین محاسبات و ارزیابی‌ها در ماه‌های بهمن، اسفند و فروردین که مزرعه دارای پوشش کامل بود انجام شد. برداشت گندم در تاریخ ۱۰ اردیبهشت برداشت آغاز شد. برنامه آبیاری کرت‌ها به گونه‌ای تنظیم شدکه در روز عبور ماهواره لندست ۸، مطابق برنامه ذکر شده آبیاری انجام شود.

7- Air Vapor Pressure Deficit

برای بررسی امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برنامه‌ریزی آبیاری از دو نمودار پیشنهادی ایدسو (۱۹۸۲) و موران و همکاران (۱۹۹۴) استفاده شد. بر این اساس اندازه‌گیری و محاسبات برخی اطلاعات مورد نیاز، به دو صورت انجام شد یکی برداشت‌های میدانی نظیر دمای پوشش گیاهی (Tc)، دمای هوا (Ta) و محاسبه کمبود فشار بخار اشباع (VPD) براساس رطوبت نسبی (RH) و دمای هوا برای رسم نمودار ایدسو و دیگری شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده (NDVI) و دمای پوشش گیاهی از تصاویر ماهواره‌ای برای رسم نمودار ذوزنقه‌ای شکل موران. پس از رسم هر یک از نمودارها برای مقایسه دو روش در نمودار ایدسو شاخص تنش آبی (CWSI) گندم و در نمودار موران شاخص کمبود آب آبیاری (WDI) محاسبه شدند که جزئیات آن به شرح ذیل می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک و آب محل آزمایش به شرح جدول ۱ و ۲ می‌باشد. مطابق این جداول آب آبیاری بدون محدودیت و خاک مزرعه محل آزمایش به نسبت سبک می‌باشد.

جدول۱- تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک	EC	PH	N	p.(Av.)	OC	رس	سیلت	شن	بافت
(Cm)	dS/m		%		%	٪	٪	٪	
۰-۳۰	۲/۴۷	۷/۵۲	۴۱	۱۰	۰/۴۱	۶	۳۴	۶۰	S-L

جدول۲- تجزیه شیمیایی آب محل آزمایش

EC	pH	Ca+mg	Na	Co_2H^-	So_4^{2-}
dS/m		Meq/L			
۲/۵	۷/۴۴	۱۰/۴	۱۴/۷	۴/۹	۲/۹۶

پس از برداشت و تهیه داده‌های مورد نیاز بصورت میدانی و ماهواره‌ای، مطابق دستورالعمل، نمودار پیشنهادی ایدسو (۱۳۸۲) و موران (۱۹۹۴) برای گندم در منطقه ایرانشهر که به ترتیب در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است ترسیم گردید. معادله خط مبنای پایین و بالا در نمودار موران به ترتیب به صورت زیر بدست آمد:

$$(Tc\text{-}Ta)_{l.l.}=-0.41(VPD)+0.23 \quad \text{و} \quad (Tc\text{-}Ta)_{u.l.}=0.01\,(VPD)+3.96 \approx 3.96$$

همچنین معادله خط برازش داده شده ضلع پایین و بالا ذوزنقه موران (۱۹۹۴) به ترتیب به صورت زیر حاصل شد:

$$(Tc\text{-}Ta)_{l.l.}=3.4\,(NDVI)-9.5 \quad \text{و} \quad (Tc\text{-}Ta)_{u.l.}=-3.5\,(NDVI)+6.1$$

برای برآورد شاخص CWSI و WDI رسم این دو نمودار ضروری است. هر نوع مدیریتی اعم از کم‌آبیاری، آبیاری با آب شور، تغییر سامانه آبیاری و غیره در مزرعه از طریق این دو شاخص قابل ارزیابی است. در یک VPD در نمودار ایدسو و یا در یک NDVI در نمودار موران به تعداد نقاط بین خط مبنای بالا و پایین مدیریت آبیاری وجود دارد. بدیهی است که از بین این نقاط فقط یک نقطه وجود دارد که اگر بر اساس آن برنامه‌ریزی آبیاری انجام شود کارایی مصرف آب بالاترین خواهد بود. بر این اساس برای دستیابی به شاخص CWSI و WDI بهینه، بین تیمارهای تعریف شده، شاخص CWSI و WDI تیماری که بالاترین کارایی مصرف آب را داشت اولا به عنوان شاخص CWSI و WDI بهینه برای گندم در منطقه معرفی شد و ثانیا ملاک ارزیابی شاخص‌های CWSI و WDI سایر تیمارها قرار گرفت. در بین تیمارهای آزمایشی تیمار تأمین نیاز آبی گندم به میزان ۱۰۰درصد، بالاترین کارایی مصرف آب (WUE) به مقدار ۰/۶۳ کیلوگرم بر مترمکعب در هکتار را داشت (جدول ۳). مقدار بهینه شاخص CWSI برای گندم در این منطقه از کشور ۰/۳۴ معرفی می‌شود. Bozkurt Çolaka et all., (2015)، هم در بررسی CWSI در سطوح مختلف آبیاری بر روی بادمجان نشان دادند که بادمجان در CWSI بین ۰/۱۸ تا ۰/۲ در کشور ترکیه بالاترین کارایی مصرف آب را دارد. قربانی و همکاران سال (۱۳۹۴) مقدار شاخص CWSI بهینه برای ذرت

تابستانه درشرایط اقلیمی اهواز، در شهریور ۰/۱۴ و در مهرماه ۰/۱۵ و Bozkurt Çolak, et al. (2021)، CWSI بهینه برای گیاه کوینا در آمریکای لاتین ۰/۳۵ معرفی کردند. Metin, et al., (2014) مقدار آستانه CWSI برای فلفل قرمز جهت تولید حداکثری محصول بازای تیمار آبیاری کامل، در روش آبیاری جویچه‌ای ۰/۳۸ گزارش کردند.

بالا بودن شاخص CWSI دز تیمار ۶۰درصد نیاز آبی به دلیل عدم کفایت آبیاری در این تیمار و بالا رفتن دمای پوشش گیاهی می‌باشد و در تیمار ۱۲۰درصد نیاز آبی، گیاه بیش از کفایت آبیاری شده و به دلیل افزایش تبخیر و تعرق دمای پوشش گیاهی پایین آمده و سبب می‌شود که شاخص CWSI در این تیمار کاهش پیدا کند. Khorsand, et all., (2021)، طی یک آزمایش در منطقه ارومیه روی ماش سیاه، مقدار CWSI را برای سه سطح آبیاری شامل ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰درصد نیاز آبی به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۲۳، ۰/۱۵ اعلام کردند. همچنین Ahmadi et al., (2017)، در تحقیقی که در لرستان(خرم‌آباد) روی سویا با چهار تیمار ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی صورت گرفت، متوسط CWSI طی دوره رشد محصول برای تیمارهای فوق الذکر به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۳۷، ۰/۶۱ و ۰/۸۴ به‌دست آوردند. همچنین مبنای محاسبه زمان آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی، حد آستانه CWSI=۰/۱۸ (تیمار بدون تنش یا همان تیمار 100 درصد نیاز آبی) قرار گرفت .

مطابق دستورالعمل در تیمارهای مختلف ۴۰ زوج CWSI و WDI متناظر محاسبه گردید که با برقرار کردن رابطه رگرسیون ضریب تبیین برابر ۰/۹۴ بین آنها بدست آمد (شکل ۵) و نشان داد که می‌توان از فناوری سنجش از دور برای مقاصد آبیاری با اطمینان خاطر کمک گرفت و ضمن جلوگیری از اتلاف وقت و ورود خطای زیاد در تعمیم برداشت‌های میدانی نقطه‌ای به کل دشت، از داده‌های ماهواره‌ای در برنامه‌ریزی آبیاری گندم در این منطقه از کشور استفاده نمود. در استفاده از نمایه گیاهی برای برنامه‌ریزی آبیاری حتما باید پوشش گیاهی کامل می‌بود اما با استفاده از تکنیک سنجش از دور برای گیاهان با تراکم کم هم می‌توان زمان و مقدار آب آبیاری را تعیین کرد.

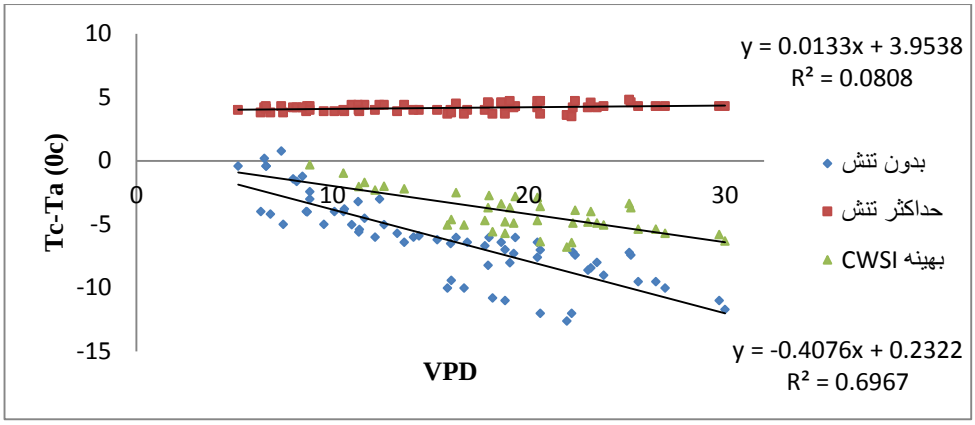
جدول۳- میانگین عملکرد، آب مصرفی و کارایی مصرف آب تیمارها

تیمار	عملکرد (Kg)	آب مصرفی (m^3)	WUE	CWSI
٪۶۰	۲۶۷۰	۴۸۱۰	۰/۵۴	۰/۴۱
٪۸۰	۳۷۸۰	۶۴۱۰	۰/۵۹	۰/۳۷
٪۱۰۰	۴۹۷۵	۸۰۱۰	۰/۶۳	۰/۳۴
٪۱۲۰	۴۹۰۰	۹۶۱۰	۰/۵۲	۰/۳۲

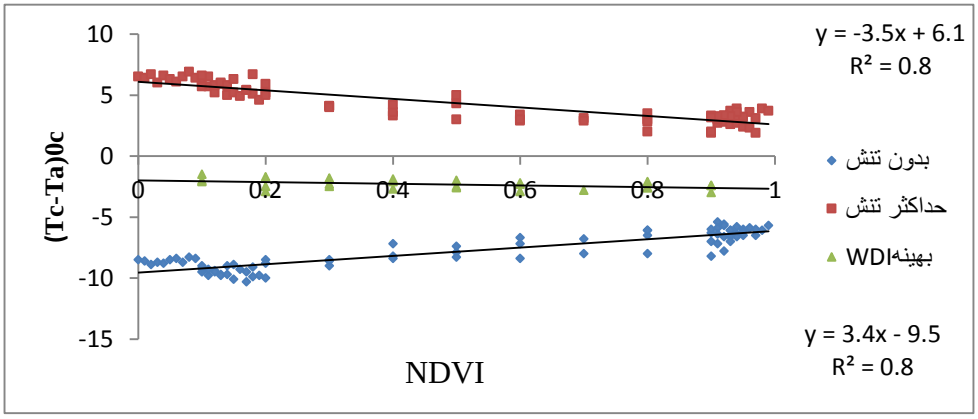
جدول ۴- میانگین CWSI و WDI در ماههای مختلف

ماه	CWSI	WDI
بهمن	۰/۳۴	۰/۳۷
اسفند	۰/۳۸	۰/۴۱
فروردین	۰/۳۷	۰/۳۸
میانگین	۰/۳۶	۰/۳۸۷

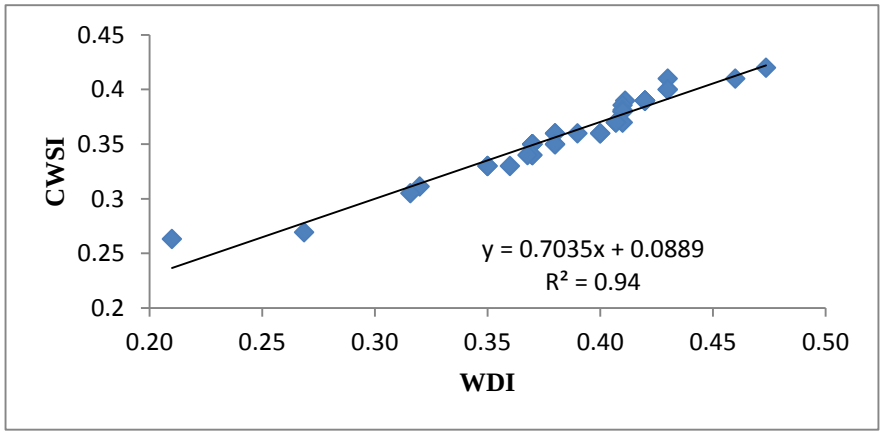
میانگین مقدار WDI و CWSI بهینه در طول سه ماه بهمن، اسفند و فروردین، به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۳۶ بدست آمد (جدول ۴) که متناظر با اختلاف دمای (Tc-Ta) به ترتیب ۶/۳ – و ۲/۸- درجه سانتیگراد می‌باشد. یعنی برای دستیابی به بالاترین کارایی مصرف آب در این اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا باید آبیاری صورت گیرد. تفاوت (Tc-Ta) در این دو شاخص به دلیل ثبت دمای پوشش گیاهی و خاک مزرعه به صورت همزمان می‌باشد. Garcia and Pitelli, (2018)، اختلاف دمای سطح پوشش سبز گیاه و هوای مجاور برای زمان مناسب آبیاری نیشکر در محدوده ۲ تا ۵ درجه سانتیگراد اعلام کردند.



شکل ۳: نمودار خط مبنای بالا و پایین گندم در بهمن، اسفند و فروردین



شکل ۴- ذوزنقه پیشنهادی موران برای گندم در بهمن، اسفند و فروردین ماه



شکل ۵- رابطه بین WDI و CWSI

فهرست منابع

جودی، ف. ۱۳۹۰. استفاده از دماسنج مادون قرمز در برنامه‌ریزی آبیاری گیاه آفتابگردان در خوزستان .پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

طاهری‌قناد، س. ۱۳۸۱ .استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه جهت برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان .پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

قربانی، م.، برومندنسب، س.، سلطانی‌محمدی، ا. و مینایی، س. ۱۳۹۴. برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه تحت دو نوع آبیاری سطحی و بارانی با استفاده از شاخص CWSI درشرایط اقلیمی اهواز. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۸ ، شماره ۴. ۱۱ص.

Ahmadi, H., Nasrolahi, A. H., Sharifipour, M. and Eisavand, H. R. (2017). Soybean irrigation scheduling using the temperature difference between the air and canopy cover. Journal of Water and Irrigation Management, 7(1), 121-133.

Alghory, A., Yazar, A. (2019). Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for deficit irrigation management of sprinkler-irrigated wheat. Irrig Sci 37, 61–77 https://doi.org/10.1007/s00271-018-0603-y

Banzragch, B. M., N. M. Damdinpurev and E. M. Batzorig. 2018. Monitoring Drought Stress Index in Wheat Field of Mongolia Using Remote Sensing. 14th international conference on precision agriculture june 24th-27th.

Bozkurt Çolaka, Y. Yazarb, A., Çolakc, I., Akçaa, H. and Duraktekina, G. (2015). Evaluation of Crop Water Stress Index (CWSI) for Eggplant under Varying Irrigation Regimes Using Surface and Subsurface Drip Systems. Agriculture and Agricultural Science. Pp: 372 – 382. (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Bozkurt Çolak, Y., Yazar, A., Alghory, Tekin S. (2021). Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for differentially irrigated quinoa with surface and subsurface drip systems. Irrig Sci 39, 81–100 (2021). https://doi.org/10.1007/s00271-020-00681-4

Erdem, Y., Arin, L., Erdem, T., Polat, S., Deveci, M., Okursoy, H. and Guitas, T. (2010). Crop water stress index for assessing irrigation scheduling of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica). Agricultural Water Management. 98: 148-156.

Garcia B. R and Pitelli T. J. (2018) Water stress index on sugarcane in different developmental phases. Ciencia Agrotecnologia 42(2): 204-215.

Khorsand, KH., Rezaverdinejad, V., Asgarzadeh, H., Majnooni-Heris, A., Rahimi, A., Besharat, S. & Sadraddini, A. A.. (2021). Linking plant and soil indices for water stress management in black gram. Scientific report. www.nature.com/scientificreports

Metin, S. S., Yazar, A., Dasgan, Y., Yucel, S., Akyildiz, A., Tekin, S. and Akhoundnejad, Y. (2014). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with dripand furrow irrigation under varying irrigation regimes. Agricultural Water Management. 143: 59-70.

Moran M. S., Clarke T. R., Inoue Y., and Vidal. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface air temperature and spectral vegetation index, Remote Sens. Environ., 49,246–263.

Orta, A. H., Erdem, Y. and T Erdem. 2003. Crop water stress index for Watermelon. Scientia Horticulture, 98: 121-130.

Sezen, S. Metin & Yazar, Attila & Daşgan, Yıldız & Yucel, Seral & Akyıldız, Asiye & Tekin, Servet & Akhoundnejad, Yelderem, 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. Agricultural Water Management. Vol 143. Pages 59-70.

Tanriverdi, c., A. Atilgan, H. Degirmenci and A. Akyuz. 2017. Comparasion of crop water stress index (CWSI) and water deficit index (WDI) by using remote sensing (RS). Polish Academy of Sciences, Cracow Branch, pp. 879–894.

بررسی شوری و ماده آلی خاک در شرایط ماندابی و غیرماندابی با استفاده از داده‌های طیفی ماهواره‌ی لندست ۸

شکوفه شکری[۱]، حمیدرضا متین‌فر[۲]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک دانشگاه شهید چمران اهواز(sh-shokri@stu.scu.ac.ir)

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه لرستان (matinfar.h@lu.ac.ir)

چکیده

ماده آلی و شوری ازجمله مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک است که بیانگر کیفیت خاک و شرایط مدیریت اراضی هستند. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات شوری و کربن آلی خاک‌های متأثر از شرایط ماندابی و غیرماندابی بااستفاده داده‌های طیفی لندست۸ است. به‌منظور برآورد میزان شوری و کربن آلی خاک، همبستگی بین داده‌های طیفی با داده‌های آزمایشگاهی در سطح احتمال ۹۵ درصد محاسبه گردید. همبستگی کربن آلی در شرایط غیر ماندابی با باندهای ۲، ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱ به‌ترتیب، ۰/۳۴، ۰/۳۸ ، ۰/۴، ۰/۴۱ و ۰/۴، اما در شرایط ماندابی به‌دلیل تشابهات طیفی کربن آلی و رطوبت، همبستگی پایین است. شوری در هردو شرایط، به‌دلیل میزان کمِ نمک و ماهیت کمپلکس خاک، همبستگی پایینی داشت. به‌منظور مقایسه‌ی خصوصیات خاک، آزمون مقایسه میانگین در سطح احتمال ۹۵ نشان داد، مقادیر آزمایشگاهی کربن آلی و شوری خاک به‌ترتیب با ضرایب ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۳ در وضعیت ماندابی و غیر ماندابی متفاوت هستند. شاخص NDVI (شاخص پوشش گیاهی نرمال شده) با ضریب ۰/۰۰۴ قادر به تفکیک شرایط موجود است. نتایج نشان داد، داده‌های طیفی، به‌تنهایی قادر به تخمین شوری تحت پوشش گیاهی غیر شور و میزان کمِ‌شوری با پراکندگیِ کم نیستند. در این شرایط اندازه‌گیری‌های میدانی می‌تواند منجر به نتایج بهتر شود.

واژگان کلیدی: شرایط ماندابی و غیرماندابی، کربن آلی، لندست ۸، هدایت الکتریکی عصاره اشباع

مقدمه

شناسایی خاک نیازمند مطالعات میدانی و اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن است. این‌گونه مطالعات به روش متداول پرهزینه و وقت‌گیر است، از طرف دیگر پایش مداوم خاک‌ها نیاز ضروری مدیران و برنامه ریزان منابع آب‌وخاک است. یافتن روش‌های جایگزین که بتواند با صرف وقت و هزینه کمتر اطلاعات لازم را در اختیار قرار دهد یکی از چالش‌های امروز بخش کشاورزی و منابع طبیعی می‌باشد.

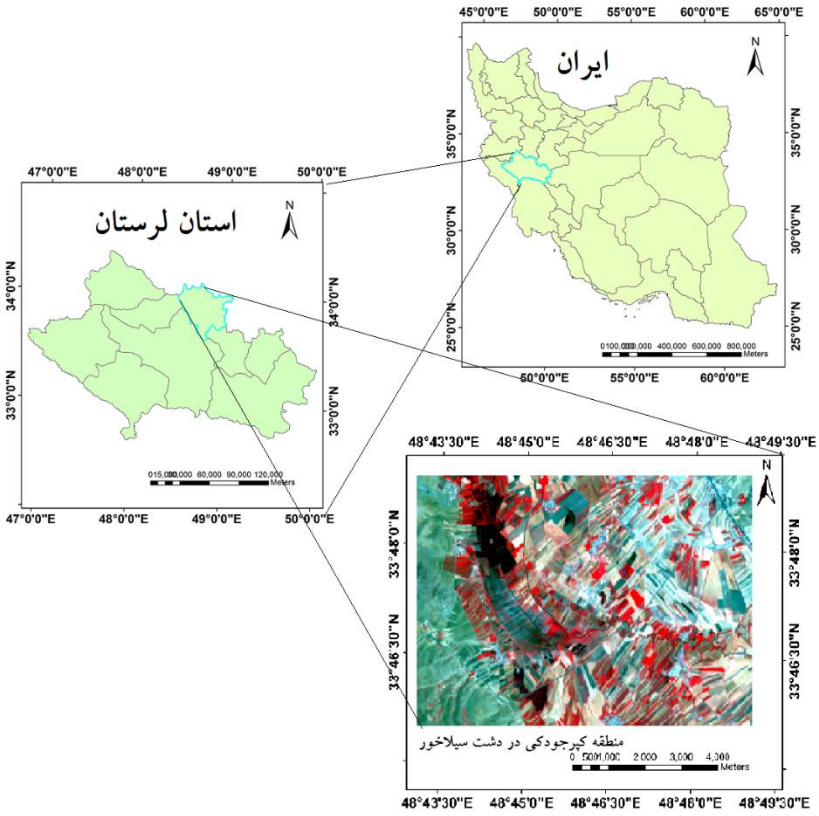
شوری خاک با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از مطالعات میدانی، ماهواره‌ای و شاخص‌های مستقیمی که به خصوصیات قابل‌مشاهده‌ی نمک در سطح خاک اشاره دارد و همچنین، شاخص‌های غیرمستقیمی که با خصوصیات ترکیبی نظیر؛ حضور گیاهان شورپسند بومی یا میزان عملکرد محصولات مقاوم به شوری ارتباط دارد، مشخص می‌شود (Farifteh *et al.*, 2006).محاسبه شاخص‌های تفاضلی و نسبت‌های مختلف تصاویر در باندهای مادون‌قرمز و مرئی، یکی از رایج‌ترین روش‌ها در تشخیص پدیده شوری است. ماده آلی نیز اثر قابل‌توجهی روی ناحیه طیفی مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز میانی دارد. برای دستیابی به میزان ماده آلی کربن آلی خاک را بررسی مس‌شود.. اعمال چرخه‌های خشک و مرطوب شدن خاک باعث کاهش مقدار کربن آلی محلول در مقایسه با خاک دائماً مرطوب می‌شود (Lakziyan *et al.*, 2010).

به‌کارگیری نرم‌افزارها و سیستم‌های پردازش اطلاعات، نقش مهمی در مدیریت منابع آب‌وخاک دارد. این فناوری‌ها اغلب موجب کاهش هزینه و افزایش دقت و سرعت در انجام پروژه‌ها می‌گردد. اطلاعات و داده‌های ماهواره‌ای حاوی اطلاعات بسیار سودمند و سازنده‌ای، از ویژگی‌های خاک سطحی شامل بافت و مواد معدنی خاک، ماده آلی، شوری و مانند آن می‌باشند(Alavipanah& Pouafar., 1998). مشکل منطقه مطالعاتی آبگرفتگی ناشی از نشت آب، از دایک احداثی بر روی رودخانه در منطقه است که

سبب ایجاد پدیده‌ی شوری و تجمع ماده آلی در قسمت ماندابی شده است. هدف از این پژوهش امکان استفاده و بررسی کارایی نسبت‌های باندی و شاخص‌های طیفی برای شناسایی و طبقه بندی اراضی شور و میزان کربن آلی در شرایط ماندابی و غیر ماندابی است.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه در استان لرستان در دشت سیلاخور، با مساحت تقریبی ۱۵۰۰ هکتار و در طول جغرافیایی ´۳۵ º ۴۸ تا ´۵۷ º ۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ´۴۷ º ۳۳ تا ´۵۹ º ۳۳ شمالی واقع شده است. شکل ۱ محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

ماتریس همبستگی (پیرسون) بین خصوصیات اندازه‌گیری شده‌ی آزمایشگاهی و درجات روشنایی حاصل از باندهای طیفی و شاخص‌های به‌دست‌آمده از نسبت‌های باندی محاسبه گردید. پس از تعیین باندها یا شاخص‌های برگزیده، در مرحله مدل‌سازی با روش رگرسیون چند متغیره، اطلاعات مربوط به تصویر به‌عنوان متغیر مستقل با کربن آلی، هدایت الکتریکی خاک سطحی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد، اما مدل ارتباطی بین این متغیرها با ضریب تبیین (R^2) بالایی نداشت. درنهایت امکان تهیه نقشه ماده آلی و شوری بر اساس مدل به دست نیامد. در نتیجه جهت بررسی کارایی داده‌های طیفی، از آزمون آماری مقایسه میانگین ها (آزمون لوین) نیز به‌منظور مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و داده های طیفی در دو شرایط اراضی ماندابی و غیر ماندابی پرداخته شد.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیوکوشیمیایی خاک ها طبق آنالیزهای انجام شده در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های آماری خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌ها

	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	بیشینه مقدار	کمینه مقدار	دامنه تغییرات
شوری (dS/m)	۳۵	۲/۸۵	۲/۹۲	۱۱	۰/۳۷	۱۰/۳۶
اسیدیته	۳۵	۷/۹۶	۰/۴	۸/۶۲	۷/۱۳	۱/۴۹
درصد کربن آلی	۳۵	۱/۰۴	۰/۶	۲/۵	۰/۰۷	۲/۳۴
کلسیم (meq/l)	۳۵	۹/۵۴	۱۰/۷	۳۸	۲/۲	۳۵/۲
منیزیم (meq/l)	۳۵	۷	۱۰/۲۰	۵۸/۸	۰/۰۳	۵۸/۷۷
سدیم(meq/l)	۳۵	۱۳/۲۸	۱۵/۳۴	۶۸/۶	۰/۴۲	۶۸/۱۸
نسبت جذب سدیم	۳۵	۴/۱۸	۳/۶۷	۱۳/۵۲	۰/۲۹	۱۳/۲۳

نتایج حاصل از آزمون همبستگی بین درجات روشنایی حاصل از باندها و شاخص‌های طیفی با مقادیر هدایت الکتریکی عصاره‌ی اشباع در اراضی غیر ماندابی در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول۲: همبستگی بین شوری و داده‌های طیفی در اراضی غیرماندابی و ماندابی

	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۷	باند۱۰	باند۱۱	شاخص SI	شاخص NDSI	شاخص SAVI
Ece غیرماندابی	۰/۱	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۶
ECe ماندابی	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۲۶	۰/۱۷	-۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۱۷	۰-/۲	۰/۱۳

*: معنی‌دار بودن در سطح ۵ درصد

در بررسی کربن آلی (جدول۳)، همبستگی مثبتی در اراضی غیر ماندابی با درجات روشنایی باندهای انعکاسی ۲، ۶ و ۷ به ترتیب با ضرایب ۰/۳۴، ۰/۳۸ و ۰/۴ و با درجات روشنایی باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ به ترتیب با ضرایب ۰/۴۱ و ۰/۴ در سطح احتمال ۹۵ درصد به‌دست آمد.

جدول۳: همبستگی کربن آلی و درجات روشنایی باندها و شاخص‌های طیفی در اراضی غیرماندابی و ماندابی

	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۷	باند۱۰	باند۱۱	شاخص BI	شاخص NDVI	شاخص SAVI
درصد کربن آلی غیرماندابی	۰/۳۴*	۰/۳۰	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۳۸*	۰/۴۰*	۰/۴۱*	۰/۴۰*	۰/۲۱	-۰/۱۵	-۰/۰۶

درصد کربن آلی ماندابی	۰/۱۷	۰/۱	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱۳	-۰/۱

در جدول ۴ میزان همبستگی بین کربن آلی در نقاط دارای پوشش گیاهی و باند انعکاسی ۶، ۰/۶۱ و با باند حرارتی ۱۰، ۰/۶۴ است. نتایج این همبستگی نشان می‌دهد، پوشش گیاهی می‌تواند به‌طور غیرمستقیم در برآورد کربن آلی خاک که جزء اصلی ماده آلی می‌باشد استفاده شود.

جدول۴: همبستگی کربن آلی با درجات روشنایی داده‌های طیفی در اراضی دارای پوشش گیاهی

	باند۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۷	باند۱۰	باند۱۱	شاخص BI	شاخص NDVI	شاخص SAVI
درصد کربن آلی	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۴۷	۰/۶۱ *	۰/۵۶	۰/۶۴ *	۰/۵۶	۰/۴۶	۰/۱۷	۰/۰۷

نتایج مربوط به آزمون تساوی مسانگین‌ها برای مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی آزمایشگاهی کربن آلی و شوری خاک به ترتیب دارای سطح معنی‌داری ۰/۰۰۹ و ۰/۰۴ است، یعنی میزان این دو فاکتور اندازه گیری شده در دو شرایط اراضی ماندابی و غیر ماندابی متفاوت است (جدول۵).

جدول۵: آزمون مقایسه میانگین کربن آلی و شوری خاک

آزمون برابری واریانس‌ها	f آماره	Sig معیار برابری واریانس‌ها	t آماره	Df آماره	Sig.(2-tailed) معیار تصمیم برابری میانگین‌ها
با فرض برابری واریانس‌ها(کربن آلی)	۰/۰۴	۰/۸۳	-۲/۷۸	۳۳	۰/۰۰۹
با فرض نابرابری واریانس‌ها(کربن آلی)			-۳/۲۳	۱۹/۰۴	۰/۰۰۴
با فرض برابری واریانس‌ها(شوری)	۴/۸۴	۰/۰۳	۱/۹۳	۳۳	۰/۰۴۲
با فرض نابرابری واریانس‌ها(شوری)			۳/۲۳	۲۷/۸۶	۰/۰۰۳

با توجه به آزمون انجام‌شده برای شاخص‌های طیفی که نتایج آن در جدول ۶ آمده است؛ شاخص BI با سطح معنی داری ۰/۰۵۷ قابلیت تفکیک دو شرایط را ندارد. شاخص NDVI با ضریب ۰/۰۰۴ با اطمینان ۹۵ درصد تفاوت میانگین دو شرایط اراضی ماندابی و غیر ماندابی را تصدیق می‌کند. دلیل بالا بودن اطمینان این شاخص، عدم وجود پوشش گیاهی در منطقه ماندابی است. شاخص NDVI یک شاخص بارزکننده‌ی پوشش گیاهی است و به‌طور رضایت بخشی قادر به تمایز شرایط ماندابی که فاقد پوشش گیاهی است از غیر ماندابی شده‌است. ثنایی نژاد و همکاران (Sanai nezhad et al., 2010)، نیز بیان نمودند که مطالعه شوری خاک هرچند با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور و تصاویر لندست، ETM^+ امکان‌پذیر است ولی به دلیل شباهت در انعکاس طیفی خاک‌ها دارای پیچیدگی‌هایی می‌باشد و نتایج طبقه‌بندی تصویر و تجزیه‌های آماری این مسئله را تأیید می‌کند.

جدول۶: آزمون مقایسه میانگین شاخص‌ها طیفی

آزمون برابری واریانس‌ها	F آماره	Sig معیار برابری واریانس‌ها	T آماره	df آماره	Sig.(2-tailed) معیار تصمیم برابری میانگین‌ها
با فرض برابری واریانس‌ها (شاخص BI)	۰/۲۶	۰/۶۰	-۱/۹۶	۳۳	۰/۰۵۷
با فرض نابرابری واریانس‌ها(شاخص BI)			-۱/۸۲	۲۷/۸۶	۰/۰۹۳

با فرض برابری واریانس‌ها(شاخص NDVI)	۵/۱۷	۰/۰۳	۰/۰۷۳	۳۳	۰/۰۰۴
با فرض نابرابری واریانس‌ها(شاخص NDVI)			۰/۱	۲۹/۴۳	۰/۰۰۴
با فرض برابری واریانس‌ها(شاخص SI)	۰/۷	۰/۴	-۲/۲۵	۳۳	۰/۰۳۱
با فرض نابرابری واریانس‌ها(شاخص SI)			-۲/۰۱	۱۱/۷۲	۰/۰۶
با فرض برابری واریانس‌ها(شاخص NDSI)	۵/۲۱	۰/۰۲	-۰/۷۸	۳۳	۰/۴۴
با فرض نابرابری واریانس‌ها(شاخص NDSI)			-۱/۱	۳۰/۸۲	۰/۲۷
با فرض برابری واریانس‌ها(شاخص SAVI)	۰/۰۲۵	۰/۸۷	۰/۸۹	۳۳	۰/۳۷
با فرض نابرابری واریانس‌ها(شاخص SAVI)			۰/۹۰	۱۴/۳۵	۰/۳۷

شاخص شوری SI و NDSI به ترتیب با ضریب‌های ۰/۰۶ و ۰/۲۷در سطح ۹۵ درصد دارای تساوی میانگین در دو شرایط بوده و به‌هیچ‌عنوان قادر به تفکیک این دو منطقه نیست. این دو شاخص بارزکننده‌ی شوری هستند که مقادیر بالای شوری را به درستی تشخیص می‌دهند اما قابلیت آن‌ها برای نواحی با شوری کم به اثبات نرسیده است. در این پژوهش میزان و پراکندگی شوری و بازتاب طیفی ناشی از پوسته های روشن ناشی از نمک، کمتر از حدی است که بتوان با استفاده از این شاخص‌ها به آن‌ها پی برد. شاخص SAVI که شاخص تعدیل‌کننده خاک زمینه و پوشش گیاهی متأثر از شوری است نیز با سطح معنی‌داری ۰/۳۷ تساوی میانگین‌ها را تأیید می‌کند که دلیل چنین نتیجه ای عدم وجود پوشش گیاهی تحت تنش شوری در منطقه است.

نتیجه‌گیری

برآورد کربن آلی خاک با استفاده از پوشش گیاهی در نقاط دارای پوشش گیاهی، نتایج مثبتی داشت به همین دلیل پوشش گیاهی می‌تواند به‌طور غیرمستقیم در برآورد کربن آلی خاک استفاده شود. همچنین در بین شاخص‌های طیفی فقط شاخص پوشش گیاهی NDVI به این دلیل که پوشش گیاهی را بارز می‌نماید، قادر به تشخیص تفاوت در دو شرایط ماندابی و ماندابی شد. از آن‌جایی که شناسایی خاک‌های با استفاده از سنجش‌ازدور موانعی دارد، با دلایلی نظیر تداخل طیفی خصوصیات خاک، نمی‌توان برآورد صحیحی از هرکدام از فاکتورهای خاک داشت. هم چنین هر کدام از باندهای طیفی بخشی از پدیده‌های بارز می نماید پس انتظار همبستگی بالا امکان‌پذیر نیست. این شرایط دلیل مستحکمی بر وجود همبستگی‌های پایین عوامل مذکور با درجات روشناییِ تصاویر ماهواره‌ای است.

فهرست منابع

Alavipanah SK, and Pouyafar A. 2004. Potential and constraint of soil salinity studies in two different conditions of Iran using Jandsat TM data. Internatinol Symposim om Remote Sensing of Enviroment Saint Petersburg.

Dehni A and M Lounis. 2012. Remote Sensing Techniques for Salt Affected Soil Mapping: Application to the Oran Region of Algeria: Procedia Engineering 33.p 188 – 198.

Farifteh J, Farshad A and Georg RJ. 2006. Assessing salt-affected soil using remote sensing, solute modeling, and geophysics. Geoderma, 130: 191-206.

Ferna´ndez-Buces N, Siebe C, Cram S and Palacio JL. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texcoco, Mexico. Journal of Arid Environments 65, 644–667.

Lakziyan A, Hallaj niya A and Rahmani H. 2010. The effect of alternate wetting and drying cycles, soil organic carbon, organic and inorganic solution Fsfrvnytrvzhn Journal of Soil and Water (AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY), 2: 234-243.

Sanainejad Q H, Astarai A, Ghaemi M, Mir-Hosseini P. 2010. Survey Landsat ETM image capabilities in

studies of soil salinity. Journal of agricultural research, Volume 9, Number 3,. 355-348 P.
Shatai Sh, Hoseynalizadeh M and Ayoubi Sh. 2007. Assessment the capability of spectral ETM + sensor to estimate the amount of soil organic matter (Case study MEHR watershed rangeland). Journal of Rangeland, 1: 76-78 P.

Investigating soil salinity and soil organic matter under logging and unlogged conditions using spectral data of Landsat 8

Shokoufeh Shokri, Hamidreza Matinfar
PhD student Soil Resources Management, Shahid Chamran University of Ahvaz (sh-shokri@stu.scu.ac.ir)
Associate Professor Department of Soil Science and Engineering, Lorestan University (matinfar.h@lu.ac.ir)

Abstract

Organic matter and soil salinity are among of the most important physical and chemical properties that Organic matter represents soil quality and soil salinity humidity and land management. A method which is able to estimate the properties by spending minimum time and cost can help the environment and soil monitoring. The purpose of this study was to evaluate the changes in salinity and organic carbon spectral in water logging and common conditions. Aiming at obtaining an equation to estimate the amount of paint, salinity and soil organic carbon, the correlation between spectral data with laboratory data was calculated at the level of 95 percent. The results showed a correlation, organic carbon in common conditions area with bands of 2, 6, 7, 10 and 11, is a correlation coefficients, respectively, 0.34, 0.38, 0.40, 0.41 and 0.4. The correlation coefficients were low due to water logging conditions and the same effect in reducing carbon and water reflections. Salinity both in terms has low correlation coefficients. Because low-salt, non-salty-friendly vegetation and complex soil environment. In order to compare under logging and unlogged conditions in the test compares the average level of 95% was used. The results showed Organic carbon and salinity with coefficients 0.004 and 0.003 respectively, with the average non-equal coefficients, the status of the two are different. This difference is caused by lack decomposition and accumulation of organic matter and also, evapotranspiration in these conditions, due to leaving salt on the soil surface. Spectral indieces different coefficients higher than average5% conditions were not capable of separating. But NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) with a coefficient of 0.004 was able to distinguish conditions. The results show the spectral characteristics of conventional, non-saline vegetation are not able to estimate the salinity. In these situations, field measurements can lead to better results.

Keywords: organic carbon, saturation extract electrical conductivity, logging and unlogged conditions, Landsat 8.

قابلیت استفاده از داده‌های طیفی مرئی–مادون قرمز در برآورد اجزای بافت خاک

سحر طاقدیس[1*]، محمدهادی فرپور[2]، مجید محمودآبادی[2]،مجید فکری[2]

[1]. دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان staghdis@gmail.com

[2]. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده

تخمین کمی توزیع اندازه ذرات خاک برای درک، حفظ و بهبود کیفیت خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. یکی از راههای نیل به این هدف استفاده از تکنیک طیف سنجی مرئی-مادون قرمز می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی توانایی تکنیک طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) در برآورد توزیع اندازه ذرات خاک (شن، سیلت و رس) تحت تاثیر روش‌های مختلف پیش‌پردازش طیفی انجام گرفت. بدین منظور تعداد ۱۰۰ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی-متر) از اراضی واقع در حدفاصل شهرستان‌های نی‌ریز تا استهبان در شرق استان فارس جمع‌آوری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها اندازه‌گیری شد. در ادامه بازتاب طیفی نمونه‌ها در محدوده (۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر) ثبت گردید. انواع روش‌های پیش‌پردازش طیفی بر روی داده‌ها اعمال گردید. در انتها مدل‌سازی با استفاده از روش PLSR انجام گرفت. با توجه به مقادیر R^2 و RMSE، نتایج حاکی از توانایی قابل قبول این روش (۲< RPD >۱/۴) برای تخمین شن، سیلت و رس داشت. همچنین روش پیش‌پردازش مشتق اول+فیلتر ساویتزکی و گلای برای شن و رس و روش مشتق دوم+فیلتر ساویتزکی و گلای برای سیلت عملکرد بهتری نشان دادند. تکنیک طیف سنجی (Vis-NIR) می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید و قابل اطمینان در پیشبرد مطالعات خاکشناسی، مدیریت خاک و کشاورزی بسیار موثر عمل کند.

کلمات کلیدی: بافت خاک، پیش پردازش، طیف‌سنجی بازتابی، PLSR

مقدمه

بافت خاک یکی از ویژگی‌های فیزیکی مهم خاک می‌باشد که نقش کلیدی در فرآیندهای تخریب خاک و انتقال توسط آب، کنترل کیفیت خاک و بهروری آن دارد بنابراین به عنوان یکی از پارامترهای مهم محیطی خاک شناخته می‌شود (Hillel, 1980).

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های سنجش از دور و نزدیک، بدون تخریب محیطی و دارای توان برآورد چندین ویژگی خاک رواج پیدا کرده‌است (McBratney et al., 2006) طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز (Vis-NIR) بر مبنای حساسیت ترکیبات آلی و معدنی خاک به امواج برخوردی و بازتاب آنها در محدوده مرئی و مادون قرمز استوار شده است و از این ویژگی برای مطالعات کشاورزی و زیست محیطی خاک‌ها استفاده می‌شود. محدوده مرئی و مادون قرمز طیف الکترومغناطیس حاوی اطلاعات مهمی از خصوصیات خاک از جمله کربن‌آلی، بافت خاک، کانی‌شناسی رسی، کربنات‌ها، گچ و نمک و عناصر غذایی خاک می‌باشد (Stenberg et al., 2010). از مهمترین مزایای این روش غیرمخرب بودن، سرعت زیاد، نیاز به حداقل آماده‌سازی نمونه و جلوگیری از کاربرد مواد شیمیایی را می‌توان نام برد (Yitagesu,2011). برای بررسی ارتباط میان پارامترهای طیفی ثبت شده نمونه‌های خاک به وسیله اسپکترورادیومتر و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها از مدل‌های مختلف رگرسیونی استفاده می‌گردد. از مهم-ترین و پرکاربردترین این روش‌ها، رگرسیون حداقل مربعات جزئی ((Partial Least Square Regression (PLSR) است. مهمترین برتری این روش، کارایی زیاد آن در صورت کم بودن شمار نمونه‌ها و شناسایی متغیرهای تاثیرگذار از بین تعداد متغیرهای مستقل زیاد است (Kawamura et al., 2017). طیبی و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از روش‌های (PCR) و (PLSR) بیشترین مقادیر R^2 و

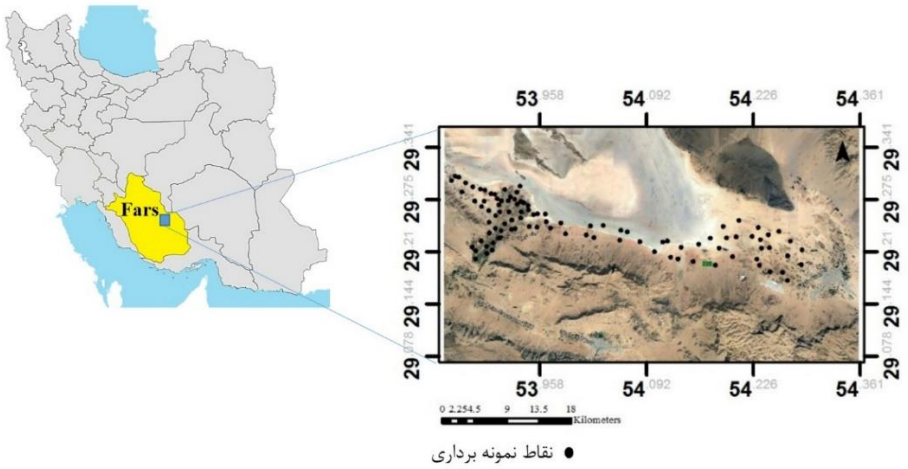
کمترین RMSE را برای رس، شن و سیلت در روش PLSR بدست آورند. با توجه به مقادیر انحراف پیش‌بینی باقیمانده (RPD) پیش‌بینی مدل برای درصد رس و سیلت قابل قبول و برای شن ضعیف گزارش شد.

همان‌گونه که اشاره شد، تکنیک طیف‌سنجی به‌عنوان یک روش جایگزین برای برخی از تجزیه‌های خاکی، بر بسیاری از محدودیت-های روش‌های سنتی غلبه کرده و از مقبولیت بالایی برخوردار است (McBratney *et al.*, 2006). پیش‌بینی خصوصیات مبنایی خاک که تاثیر مهمی بر روی کشاورزی و مدیریت اراضی دارند و نیازمند تجزیه و تحلیل تعداد نمونه‌های بیشتری از خاک هستند، ضرورت کاربرد روش‌های نوین جهت تسهیل و دستیابی به مجموعه داده‌ها را بیشتر می‌نماید. انتظار می‌رود ارائه مدل‌های پیش-بینی‌کننده ویژگی‌های خاک با استفاده از تکنیک طیف‌سنجی برای نیل به این هدف مناسب باشد. علاوه بر آن، دستیابی به واسنجی رضایت‌بخش با ابزار و روش‌های مقرون به صرفه، سهولت برآورد خصوصیات خاک را به دنبال دارد. در پژوهش حاضر، توانایی تکنیک طیف‌سنجی مرئی-مادون قرمز در برآورد توزیع اندازه ذرات خاک (شن، سیلت و رس) مورد ارزیابی قرار گرفته و تأثیر روش‌های مختلف پیش‌پردازش طیفی بر دقت مدل‌سازی به روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) مورد مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در حدفاصل شهرستان‌های نی‌ریز تا استهبان در شرق استان فارس واقع گردیده است. رژیم‌های رطوبتی خاک حاکم در منطقه به‌ترتیب شامل اریدیک و زریک خشک و رژیم حرارتی غالب آن ترمیک است. میانگین بارندگی سالیانه بر اساس دوره آماری سی ساله از ۱۹۸ میلی‌متر در نی‌ریز تا ۲۲۶ میلی‌متر در استهبان متغیر است. مواد مادری منطقه عمدتاً از نوع آبرفت آهکی بوده که شامل سنگ آهک، ماسه سنگ، مارن و کنگلومرا می‌باشند.

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری را نمایش می‌دهد. تعیین نقاط نمونه‌برداری به صورت تصادفی انجام شد که در نتیجه این عمل دامنه تغییرات ویژگی‌های خاک بیشتر و کل منطقه پوشش داده شد و در مجموع تعداد ۱۰۰ نمونه خاک سطحی از عمق (۲۰-۰ سانتی‌متر) منطقه مورد مطالعه برداشت گردید. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC) و واکنش خاک (pH) به ترتیب در عصاره و گل اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی و pHمتر مدل Jenway، درصد کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک (Page et al.,1982)، کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkley and Black, 1934)، گچ به روش استون (Nelson, 1982) و بافت خاک به روش پیپت (Gee and Bauder, 1986) اندازه‌گیری شد.



شکل۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی به همراه نقاط نمونه‌برداری

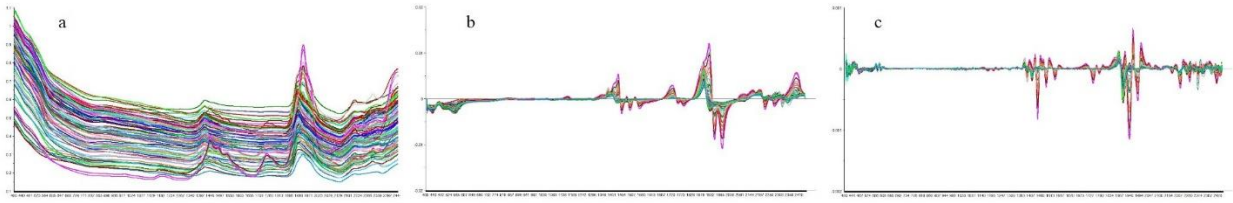
بازتاب طیفی نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه اسپکترورادیومتر زمینی (FieldSpec®3, ASD, FR, USA) با دامنه طیفی کامل (۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر) با روش پروب تماسی و در اتاق تاریک به‌منظور جلوگیری از ورود هرگونه نور و بازتاب اضافی انجام شد. برای هر نمونه خاک، پنج تکرار انجام شد و در مجموع ۵۰۰ منحنی طیفی ثبت گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار View Spec Pro Version 6.0 یک میانگین از منحنی‌های طیفی برای هر نمونه خاک محاسبه شد. هر منحنی طیفی ثبت‌شده دارای تفکیک طیفی یک نانومتر بود؛ به‌گونه‌ای که در گستره ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر هر منحنی شامل ۲۱۵۱ بازتاب طیفی می‌باشد.

پیش‌پردازش داده‌های طیفی نقش مؤثری در بهبود واسنجی دارد (Gomez et al., 2008). هدف از پیش‌پردازش داده‌های طیفی، حذف و به حداقل رساندن خطاها یا نوفه‌ها و سایر عوامل ناخواسته و استفاده کارآمد از داده‌ها طی فرآیند تخمین است. تکنیک-های پیش‌پردازش طیفی شامل روش‌های مختلف ریاضی هستند که برای اصلاح پراش نور در اندازه‌گیری‌های بازتابشی و بهبود کیفیت اطلاعات پیش از استفاده از آن‌ها در مدل‌های پیش‌بینی کننده بر داده‌های طیفی خاک اعمال می‌شوند (Gomez and Coulouma, 2018). بدین منظور، ابتدا دو بخش ابتدایی و انتهایی طیف‌ها در محدوده ۴۰۰-۳۵۰ و ۲۵۰۰-۲۴۵۰ نانومتر که دارای آشفتگی نوفه‌ای زیاد بودند حذف گردید (Gomez et al., 2008) سپس با استفاده از رابطه زیر، مقادیر انعکاس به جذب تبدیل شد:

$$A=\log (1/R) \quad (۱)$$

که R درصد بازتاب و A جذب ظاهری است.

در این پژوهش از روش‌های پیش‌پردازش مختلف از جمله مشتق اول به همراه فیلتر ساویتزکی و گلای (Savitzky-Golay)، مشتق دوم به همراه فیلتر ساویتزکی و گلای، متغیر نرمال استاندارد (Standard normal variate) (SNV) بر روی داده‌های طیفی استفاده و مدل‌سازی با کمک نرم‌افزار The Unscrambler X 10.4 انجام گردید. در شکل ۲ طیف‌های بدست آمده از نمونه خاک‌های مورد مطالعه قابل مشاهده است.



شکل۲. نمایی از a: طیف‌های جذبی نمونه‌های خاک، b: داده‌های طیفی پیش‌پردازش شده به روش مشتق اول به همراه فیلتر ساویتزکی و گلای و c: داده‌های طیفی پیش‌پردازش شده به روش مشتق دوم به همراه فیلتر ساویتزکی و گلای

به‌منظور برآورد خصوصیات خاک از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) استفاده شد. در این پژوهش، به‌دلیل پایین بودن تعداد نمونه‌های خاک، از روش اعتبارسنجی متقابل (Leave one out-cross validation) به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد (Williams et al.,2017). مدل‌های آماری PLSR استفاده شده در این پژوهش، با پارامترهای ضریب تبیین (R^2)، جذر حداقل مربعات خطا (RMSE) و شاخص انحراف نسبی (RPD) که نسبت انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری شده (SD) به حداقل مربعات خطای مدل می‌باشد، ارزیابی و با روابط زیر تعیین گردیدند (Chang et al., 2001).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}i-\bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Yi-\bar{Y})^2} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}i-Y)^2}{n}} \quad (۳)$$

$$RPD = \frac{SD}{RMSE} \quad (۴)$$

که در روابط بالا، Y، $\hat{Y}$ و $\bar{Y}$ به‌ترتیب، مقادیر اندازه‌گیری شده، مقادیر پیش‌بینی شده و میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده، n تعداد نمونه خاک و SD انحراف استاندارد می‌باشند.

لازم به ذکر است که برای تعیین عملکرد مدل از آماره RPD استفاده گردید. بر این اساس، چنانچه مقدار RPD بیش از ۲ باشد پیش‌بینی مدل کاملاً مناسب، اگر مقدار RPD بین ۱/۴ تا ۲ باشد پیش‌بینی قابل قبول و در صورتی‌که کمتر از ۱/۴ باشد پیش‌بینی‌های ارائه شده به وسیله مدل ضعیف است (Chang et al., 2001).

نتایج و بحث

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، بافت خاک در منطقه از رسی تا لوم‌شنی متغیر می‌باشد. مقادیر شن، سیلت و رس به ترتیب با ضریب تغییرات ۵۵، ۲۰ و ۵۳ درصد تنوع بافتی قابل قبولی را نشان داد. میانگین قابلیت هدایت الکتریکی در خاک‌های مورد مطالعه ۴۴/۹ دسی‌زیمنس بر متر بوده و بیشترین ضریب تغییرات (۲۱۶٪) را به خود اختصاص داده است. همچنین، مقادیر گچ در منطقه مورد مطالعه پس از قابلیت هدایت الکتریکی، بیشترین میزان ضریب تغییرات در میان متغیرهای مطالعه را دارد. مقدار کربنات کلسیم معادل در منطقه مورد مطالعه نسبتاً بالا بوده و دارای مقدار میانگین ۳۶/۳ ٪ با ضریب تغییرات ۳۰ ٪ می‌باشد. این موضوع را می‌توان به نوع مواد مادری غالب در منطقه مورد مطالعه نسبت داد.

جدول ۱. توصیف آماری ویژگی‌های مورد مطالعه خاک

ویژگی خاک	میانگین	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی	انحراف استاندارد	%CV
کربنات‌ها (٪)	۳۶/۳	۷	۷۸	۰/۳	۲/۱۵	۱۱/۱۲	۳۰
کربن آلی (٪)	۰/۸۶	۰	۲/۲۶	۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۴۶	۵۳
گچ (٪)	۴/۷	۰	۳۵	۱/۹۴	۲/۶۳	۸/۹	۱۹۰
EC ($dS\ m^{-1}$)	۴۴/۹	۰/۴۶	۵۳۰	۳/۶۶	۱۳/۵۹	۹۷/۲	۲۱۶
pH	۷/۵	۶/۵	۸/۳	-۰/۴	۰/۳۶	۰/۳	۴
شن (٪)	۲۴/۹۴	۱/۶	۶۷/۶	۰/۸۶	۰/۳۸	۱۳/۹	۵۵
سیلت (٪)	۵۲	۲۱/۶	۷۱/۲	-۰/۵۳	۰/۲۵	۱۰/۵	۲۰
رس (٪)	۲۲/۹	۶/۸	۶۷/۲	۱/۱	۱/۳	۱۲/۲	۵۳

جدول ۲ مقادیر حاصل از برآورد خصوصیات خاک با استفاده از نرم‌افزار The Unscrambler X 10.4 کاربرد مدل حداقل رگرسیون مربعات جزئی (PLSR) به همراه شاخص‌های R^2، RMSE و RPD در حالت واسنجی و اعتبارسنجی را نشان می‌دهد. در این جدول بهترین مدل PLSR برازش داده شده با روش‌های پیش‌پردازش مختلف میان پارامترهای بافت خاک و طیف‌های خروجی با بیشترین مقادیر R^2، کمترین مقدار RMSE و آماره RPD آورده شده است. با توجه به آماره RPD می‌توان پیش‌بینی مدل PLSR را برای رس، سیلت و شن (۲> RPD >۱/۴) قابل قبول عنوان کرد. Dematte et al., (2017) با استفاده از روش آنالیز مولفه اصلی (PCA) برخی خصوصیات خاک از جمله رس، شن، کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی را پیش‌بینی کردند. تخمین کربن آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی با R^2 بیشتر و خطای کمتری نسبت به رس و شن همراه بود. این محققین بیان کردند که تخمین بافت خاک (شن، سیلت و رس) برخی اوقات به دلیل اثرات پوشانندگی سایر خصوصیات همانند کربن آلی، گچ، کربنات کلسیم و غیره بر طیف بازتابی می‌تواند با ضریب تبیین کمتر و خطای بیشتری مواجه گردد.

جدول ۲. نتایج مدل‌سازی خصوصیات مورد مطالعه با استفاده از روش رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR)

	فاکتور بهینه	واسنجی			اعتبارسنجی		
		R^2	RMSE	RPD	R^2	RMSE	RPD
رس	۵	۰/۶۱	۷/۳۶	۱/۶۶	۰/۵۱	۸/۳۲	۱/۴۶
سیلت	۵	۰/۵۲	۶/۲	۱/۶۸	۰/۴	۷	۱/۵
شن	۶	۰/۷۱	۶/۵۴	۲/۱۲	۰/۴۲	۹/۴	۱/۴۷

جدول ۳ عملکرد مدل PLSR را در پیش‌بینی ویژگی‌های خاک تحت روش‌های پیش‌پردازش مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌گردد برای کلیه پارامترهای مورد مطالعه روش‌های مختلف پیش‌پردازش نتایج نزدیک به هم ارائه دادند. برای رس و شن با توجه به مقادیر ضریب تبیین، جذر حداقل مربعات خطا و آماره RPD روش مشتق دوم+ فیلتر ساویتزکی و گلای و برای سیلت روش مشتق اول+ فیلتر ساویتزکی و گلای نسبتاً عملکرد بهتری نشان دادند. روش‌های مشتق‌گیری از پرکاربردترین روش-های پیش‌پردازش در مطالعات طیف‌سنجی محسوب می‌گردند. در روش‌های مشتق‌گیری سیگنال‌های ضعیف ثبت‌شده تقویت می-گردند و باعث بهبود برآورد خصوصیات خاکی می‌شوند (Stenberg *et al.*, 2010).

جدول ۳. عملکرد مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) با استفاده از روش‌های پیش‌پردازش مختلف

ویژگی خاک	روش پیش پردازش	واسنجی			اعتبارسنجی		
		R^2	RMSE	RPD	R^2	RMSE	RPD
رس	جذب بدون پیش پردازش	۰/۶۰	۷/۴۹	۱/۶۲	۰/۴۷	۸/۷	۱/۴
	مشتق اول+فیلتر ساویتزکی و گلای	۰/۶۱	۷/۳۶	۱/۶۶	۰/۵۱	۸/۳۲	۱/۴۶
	مشتق دوم+فیلتر ساویتزکی و گلای	۰/۶۶	۶/۹	۱/۷۷	۰/۴۵	۸/۸	۱/۴۰
	SNV	۰/۶	۷/۴	۱/۶۴	۰/۵۱	۸/۳	۱/۴۶
سیلت	جذب بدون پیش پردازش	۰/۵۵	۶	۱/۷۵	۰/۳۳	۷/۴۸	۱/۴
	مشتق اول+فیلتر ساویتزکی و گلای	۰/۵۲	۶/۲	۱/۶۸	۰/۴	۷	۱/۵
	مشتق دوم+فیلتر ساویتزکی و گلای	۰/۲۵	۷/۸	۱/۳۳	۰/۰۵	۸/۹	۱/۱۷
	SNV	۰/۵۲	۶/۲	۱/۷	۰/۲۸	۷/۷۵	۱/۳۵
شن	جذب بدون پیش پردازش	۰/۶	۷/۷۴	۱/۸	۰/۳۹	۹/۶۴	۱/۴۵
	مشتق اول+فیلتر ساویتزکی و گلای	۰/۶۲	۷/۵۵	۱/۸۴	۰/۴۳	۹/۳۳	۱/۴۹
	مشتق دوم+فیلتر ساویتزکی و گلای	۰/۷۱	۶/۵۴	۲/۱۲	۰/۴۲	۹/۴	۱/۴۷
	SNV	۰/۵۲	۸/۴۶	۱/۶۴	۰/۳۵	۹/۹۴	۱/۴

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر توانایی تکنیک طیف سنجی با استفاده از روش PLSR در تخمین توزیع اندازه ذرات خاک (شن، سیلت و رس) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهنده برآورد قابل قبول مقادیر شن، سیلت و رس با توجه به مقادیر RPD، RMSE و R^2 بود. با توجه به تاثیرگذاری قابل توجه بافت خاک بر خصوصیات طیفی، پایین بودن مقادیر ضریب تبیین و بالا بودن RMSE در تخمین این خصوصیات را می‌توان ناشی از تاثیر پوشانندگی برخی فاکتورها از جمله گچ، کربنات‌ها و نمک در خاک‌های مناطق خشک بر طیف‌های بازتابی در نظر گرفت. از میان روش‌های پیش‌پردازش داده‌های طیفی روش مشتق دوم+ فیلتر ساویتزکی و گلای برای شن و رس و روش مشتق اول+ فیلتر ساویتزکی و گلای برای سیلت نتایج بهتری ارائه دادند. با توجه به نتایج حاصل شده تکنیک طیف سنجی با همه محدودیت‌ها و ظرفیت‌ها می‌تواند در شرایط مختلف به عنوان یک ابزار مناسب برای پیش‌بینی خصوصیات خاک مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

۱. طیبی، م، نادری، م، محمدی، ج، حسینجانی‌زاده، م. (۱۳۹۷). مقایسه روش‌های مختلف آماری در برآورد اجزای بافت خاک با استفاده از داده‌های طیفی در محدوده مرئی-فروسرخ نزدیک و کوتاه. نشریه آب و خاک. ۳۲(۱)، ۷۳-۸۵.

2. Chang, C-.W., Laird, D. A., Mausbach, M. J., and Hurburgh, C. R. (2001). Near-infrared reflectance spectroscopy–principal components regression analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65(2), 480-490 .

3. Chapman, H. (1965). "Cation-exchange capacity." Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties, **9**, 891-901.

4. Demattê, J. A. M., I. Horák-Terra, R. M. Beirigo, F. da Silva Terra, K. P. P. Marques, C. T. Fongaro, A. C. Silva and P. Vidal-Torrado (2017). Genesis and properties of wetland soils by VIS-NIR-SWIR as a technique for environmental monitoring. *Journal of environmental management*, 197**,** 50-62.

5. Gee, G.W. (2002). Particle size analysis. In: Jacobe H. D. and Clarke GT(ed), Metohds of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods. SSSA. Madison, WI. Pp: 201-214.

6. Gomez, C., P. Lagacherie, and G. Coulouma. (2008). Continuum removal versus PLSR method for clay and calcium carbonate content estimation from laboratory and airborne hyperspectral measurements. *Geoderma*,148,141-148.

7. Gomez, C., and Coulouma, G. (2018). Importance of the spatial extent for using soil properties estimated by laboratory VNIR/SWIR spectroscopy: Examples of the clay and calcium carbonate content. *Geoderma*, 330, 244-253

8. Hillel D. Applications of Soil Physics. Academic Press Inc. 1980

Kawamura, K., Tsujimoto, Y., Rabenarivo, M., Asai, H., Andriamananjara, A., and Rakotoson, T. (2017). Vis-NIR spectroscopy and PLS regression with waveband selection for estimating the total C and N of paddy soils in Madagascar. *Remote Sensing*, 9(10), 1081.

9. McBratney, A.B., Minasny, B. and Viscarra Rossel, R.A. (2006) Spectral Soil Analysis and Inference Systems: A Powerful Combination for Solving the Soil Data Crisis, *Geoderma*, 136, PP. 272-278.

10. Nelson, R.E.(1982). Carbonate and gypsum. In: Page, A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Agron. Monger. vol. 9. ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 181–196.

11. Page, A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. (1982). Methods of Soil Analysis, S econd edition. Part2: Chemical and Biological Properties. *Soil Science Society of America Journal*. Inc. Publisher.Walkey, A., and Black, I. A. (1934).

12. Stenberg, B.O., Rossel, RAV, Mouazen, A.M ,Wetterlind, J. (2010). Visible and nearinfrared spectroscopy in soil science. *Advances in Agronomy*, 107, 163-215.

13. Williams, P., Dardenne, P., and Flinn, P. (2017). Tutorial: Items to be included in a report on a near infrared spectroscopy project. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 25(2), 85-90 .

14. Yitagesu, F. A., van der Werff, H., van der Meer, F., and Hecker, C. (2011). On the relationship between plasticity and spectral characteristics of swelling soils: The 3–5 μm wavelength region. *Applied clay science*, 69, 67-78 .

Capabilty of Vis-NIR Spectral Data for Estimation of Soil Particles

S. Taghdis[1], M. H. Farpoor[2], M. Mahmoodabadi[2], M. Fekri[2]

Ph.D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman
Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

Abstract

Quantitative assessment of the soil particle size distribution is very crucial to understand, maintain, and improve the soil quality. One way to achieve this goal is using Vis-NIR spectroscopy.This study was aimed to investigate the capability of soil spectral data in estimating soil particle size distribution and comparing of different spectral preprocessing methods in determining the performance of the partial least squares regression (PLSR) model. For this purpose, 100 soil surface samples (0-20cm) were collected from the study area which was located between Neyriz and Estahban regions in the east of Fars Province and Physico-chemical properties were determined. Then, the

spectral reflectance of the soil samples was recorded in the range of 350-2500nm. Various spectral pre-processing methods were applied to the data. Afterwards, the soil properties were estimated using PLSR. The result showed acceptable ability of PLSR for prediction of sand, silt and clay (2< RPD< 1.4). Also, the best pre-processing method for sand and clay were obtained as the first derivative with Savitzky-Golay smoothing method (FD-SG) and for silt was the second derivative with SG smoothing method (SD-SG). Overall, Vis-NIR spectroscopy technique can be used as a useful and reliable tool for applications in pedological assessments and agricultural manegemant.

Keywords: pre-processing methods, PLSR, Reflectance spectroscopy, soil texture

بررسی کارایی تصاویر ماهواره‌ی لند ست ۸ در تهیه نقشه شوری خاک

۱- داود اخضری ۲-احمد اسدی می‌آبادی ۳- مهدی بحرینی

۱- استاد گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر Email: d_akhzari@yahoo.com

۲- دانشجوی ارشد مرتعداری دانشگاه ملایر Email: ahmad.a.meyabadi@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد Email: mahdibahreini@yahoo.com

چکیده

شوری یکی از عوامل مهم محدودیت کاربری اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که می‌تواند با تغییر نوع تاج پوشش و بیومس گیاهی، باعث کاهش تولیدات عرصه های منابع طبیعی شود(۱۳). شناسایی و پهنه‌بندی خاک‌های شور که بر اساس مشاهدات میدانی انجام می شوند، به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی شوری، پرهزینه و زمان‌بر بوده و با چالش‌های فراوانی همراه است. به‌منظور دستیابی به راه‌حلی برای این اشکال بهره‌گیری از سنجش‌ازدور و GIS (سیستم اطلاعات جغرافیا) اجتناب‌ناپذیر است.

در این پژوهش برای انتخاب بهترین شاخص ماهواره‌ای شوری از تصاویر ماهواره ای لند ست ۸ استفاده شد. به این منظور ابتدا در ۷۷ نقطه از منطقه دشت ملایر (دشت ملایر در استان همدان واقع شده است). نمونه گیری خاک انجام شد. پس از اندازه گیری های آزمایشگاهی، نقشه‌های پراکنش سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم،EC (هدایت الکتریکی) و PH در منطقه موردمطالعه تهیه گردید. سپس با استفاده از روش رگرسیون فضایی، همبستگی بین نقشه‌های تولیدشده با ۶ متغیر به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، شامل شاخص‌های شوری (BI،NDSI،SI3،SI2،SI1)، و شاخص COSRI (پاسخ طیفی ترکیبی) بررسی شدند.

نتایج نشان داد که بهترین شاخص برای آشکارسازی عناصر اندازه گیری شده خاک در منطقه مورد مطالعه، شاخص NDSI (شاخص افتراقی شوری نرمال شده) است. همچنین رابطه معنی داری بین قلیائیت و اطلاعات ماهواره ای در منطقه مورد مطالعه دیده نشد.

نتایج تحقیق نشان داد که تصاویر ماهواره‌ی لند ست ۸ کارایی مناسبی در تهیه نقشه شوری خاک در دشت ملایر دارد. با توجه به قرار گرفتن دشت ملایر در اراضی با شوری کم ، نتایج این تحقیق می‌تواند اهمیت زیادی در دقت پهنه‌بندی اراضی ازنظر شوری داشته باشد.

کلمات کلیدی: دشت ملایر، رگرسیون فضایی، شاخص‌های شوری EC، PH.

مقدمه

شوری یکی از عوامل مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که از طریق محدود کردن رشد گیاه باعث کاهش تولیدات کشاورزی می‌شود .شناسایی و پهنه‌بندی خاک‌های شور غالباً، به دلیل تغییرپذیری زمانی و مکانی آن، مشکل است (13). به‌منظور تهیه نقشه‌های موضوعی با استفاده از روش‌های سنتی به آنالیز تعداد زیادی نمونه در آزمایشگاه نیاز است که با صرف هزینه و زمان همره است .در این میان، کاربرد روش‌های دورکاوی ماهواره‌ای باعث صرفه‌جویی زیادی در هزینه و زمان می‌شود و حتی موجب افزایشِ دقت تخمین‌ها می‌گردد (۲۸). از سوی دیگر، فن آوری سنجش از دور، با توجه به وسعت منطقه تحت پوشش، اطلاعات طیف های متعدد و مشاهده تقریباً ثابت، می تواند یک جایگزین مناسب برای روش های سنتی فراهم کند(۳،۸،۱۲،۲۴،۲۶،۳۲،2) استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توسط محققان زیادی در زمینه علوم خاک با اهداف مختلفی بررسی‌شده است

(۱۱، ۱۴، ۳۰) .از اولین کاربردهای تصاویر ماهواره‌ای در شناخت اراضی شور، استفاده از سنجنده MSS از ماهواره لند ست است، در سال ۱۹۶۹،Dwivedi با استفاده از تحلیل عاملی بر باندهای 1 تا 4 این سنجنده به این مهم دست یافت (۹). بعدازآن، در سال ۱۹۸۶،Menenti و همکاران با استفاده از باندهای 1 تا ۵ و ۷ سنجنده TM اقدام مشابهی نمودند(۲۳).Rao و همکاران (1995) ضمن تائید داده‌های ماهواره‌ی لند ست برای تهیه نقشه شوری و قلیاییت گزارش کردند که تفکیک‌پذیری خاک‌های به‌شدت شور و سدیمی از خاک‌های نسبتاً شور و سدیمی امکان‌پذیر است و بر اساس آن به محاسبه مقادیر موردنیاز گچ و اصلاح‌کننده‌های دیگر پرداختند(۲۹). خان و همکاران (۲۰۰۱)، با استفاده از داد ه های سنجنده LISS-II ،نقشه شوری منطقه فیضل آباد پاکستان، را تهیه نمودند که بهترین نتیجه در فصل خشک(مارچ، آوریل) به دست آمد(۱۹). در این تحقیق مناطق مسکونی از عوامل مزاحم در تشخیص نواحی متأثر از نمک شناخته شدند .فرناندز -بوسس و همکاران (2006) برای نقشه‌برداری شوری خاک در حوالی تکسکوکو مکزیک از داده‌های رقومی +ETM و عکس‌های هوایی استفاده کردند. در این میان با تعدیل کردن شاخص پوشش گیاهی (NDVI) شاخص طیفی جدیدی به نام (Cosri) تهیه نمودند(۱۳). وجود همبستگی بسیار بالا بین خصوصیات خاک(SAR، EC) باارزش‌های طیفی این باند ترکیبی (به ترتیب ۰،۸۸۵ و ۰،۸۵۷)، به‌صورت یک مدل رگرسیونی برای تهیه نقشه شوری خاک ارائه شد .در ایران نیز محققینی توانسته‌اند با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدوری به مطالعه شوری و استخراج پهنه‌های آن در مناطقی از کشور بپردازند ازجمله: خواجه الدین (1998) از داده‌های چند زمانه MSS برای بررسی جوامع گیاهی و نیز فاکتورهای مختلف خاک در منطقه جازموریان استفاده کرده است(۱۸). وی رابطه مناسبی بین داده‌های MSS و فاکتورهای مختلف اندازه‌گیری شده خاک نظیر درصد شن، سیلت، رس، درصد پوشش سنگ و سنگ‌ریزه، کلسیم و پتاسیم پیدا نکرد ولی رابطه مناسبی بین EC و غلظت سدیم با داده‌های ماه جولای به دست آورد. نائیج نوری (2001) در تفکیک اراضی شور و گچی با داده‌های ر قومی TM در منطقه دشت کاشان و با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و آنالیزهای رگرسیونی به روش چند متغیره خطی بین باندهای TM6،TM5،TM1 با مقادیرEC سطحی و باندهای TM3و TM6،TM5 و TM7 با تغییرات گچ سطحی حداکثر همبستگی را نشان داد(۲۷) .دشتکیان و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لند ست در منطقه مروست پس از بررسی و مقایسه، روش‌های مختلف با نقشه شوری خاک حاصل از اطلاعات میدانی، مناسب‌ترین روش جهت تهیه نقشه شوری خاک را، روش میانگین رگرسیون‌ها با باندهای استانداردشده ،۱ 2و 3 تشخیص دادند و در این مطالعه روش شاخص شوری در مرتبه دوم قرار گرفت(۶) .هدف اصلی از انجام این مطالعه، بررسی روش‌های موجود و یافتن روش مناسب جهت تعیین شوری خاک با استفاده از لندست ۸ در منطقه موردمطالعه است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه موردمطالعه :دشت ملایر در بخش حوزه آبریز علیای رودخانه‌ی کرخه واقع‌شده و میان دو استان همدان (شهرستان ملایر) و استان مرکزی (شهرستان اراک) قرار دارد. این حوزه در محدوده‌ی جغرافیایی ´ ۳۰ ,°۳۴ تا ´ ۷ ,°۳۴ عرض شمالی و ´ ۳۰ ,°۴۸ تا ´ ۱ ,°۴۹ طول شرقی واقع شده است. وسعت کل حوزه، ۲۹۶۵ کیلومترمربع، شامل ۸۰۰ کیلومترمربع دشت و ۲۱۶۵ کیلومترمربع ارتفاعات حاشیه است. تصویر موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی دشت ملایر در شکل ۱ نشان داده‌شده است.

روش مطالعه

برای پایش ماهواره‌ای شوری از تصویر لندست (سنجنده OLI به مسیر و ردیف ۱۶۶ و ۳۶ به تاریخ ۱ سپتامبر سال ۲۰۱۴ میلادی با اندازه پیکسل‌ها برای دو باند حرارتی (باند ۱۰ و ۱۱) ۱۰۰ متر، باند پانکروماتیک (باند ۸) ۱۵ متر، و سایر باندها ۳۰ متر) بهره گرفته شد، که از درگاه اینترنتی USGS دانلود گردید. نرم‌افزارهای ENVI۵، ۹,۳ ARC GIS و Google Earth۷.۱.۲ جهت تصحیحات اولیه و طبقه‌بندی نهایی بکار گرفته شدند. در مراحل پیش‌پردازش اقدامات موردنیاز بر روی تصویر مانند زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ و تصحیحات اتمسفری بر پایه روش کسر عددی پیکسل‌های تیره، انجام شد. در این پژوهش ارتباط بین شاخص‌های شوری حاصل از داده‌های ماهواره‌ای، و نقشه پراکنش سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، هدایت الکتریکی و PH حاصل از مطالعات میدانی با استفاده از روش رگرسیون فضایی و با نرم‌افزار EDRISI KLIMANJARO بررسی‌شده است. در بررسی‌های آمار فضایی موقعیت و مکان داده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد، این‌گونه داده‌ها، داده‌های فضایی نامیده می‌شوند. در نظر گرفتن موقعیت فضایی و هم‌چنین وابستگی فضایی بین مشاهدات، به شناخت بیشتر جامعه موردبررسی کمک می‌کند (۲۵). در این مدل رگرسیونی شاخص شوری ماهواره‌ای،SI1 ،SI2،SI3،NDSI،BI، و COSRI به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای: نقشه شوری خاک، نقشه پراکنش Mg، Ca،Na ،K، و نقشه پراکنش PH منطقه موردمطالعه در سال ۲۰۱۴ به‌عنوان متغیرهای مستقل وارد معادله شده‌اند. این تحلیل رگرسیونی با استفاده از تصاویر TIF هشت بیتیانجام گردید.

برداشت اطلاعات صحرایی و تهیه اطلاعات جانبی:

نمونه‌برداری از عمق صفر تا 10 سانتیمتری در ۷۷ نقطه به‌صورت تصادفی و از سه کاربری مرتع، دیم و باغ انجام شد، در هر روستا از هر کاربری ۲ نمونه با پراکنش مناسب برداشته شد، به‌منظور افزایش دقت علاوه بر نمونه‌برداری از نقطه اصلی، نمونه‌های کمکی در چهار جهت با زاویه ۹۰ درجه و بافاصله ۳۰ متر از نقطه اصلی برداشت شد و با نمونه اصلی مخلوط گردید. پیمایش صحرایی و نمونه‌برداری از خاک، منطبق بر زمان اخذ تصاویر ماهواره‌ای و مختصات دقیق نقاط نمونه‌برداری به کمک سامانه مکان‌یابی جغرافیایی (GPS) ثبت گردید (شکل ۲). نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در معرض هوای آزاد و سایه‌خشک شدند. نمونه‌های خشک‌شده از الک با قطر 2mm عبور داده و برای آنالیز EC و PH استفاده شدند. برای اندازه‌گیری EC (هدایت الکتریکی) و PH از نسبت ۱:۵ خاک به آب مقطر استفاده گردید. PH نمونه‌ها توسط دستگاه PH متر و EC توسط دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد. نمونه‌های الک شده، برای سنجش غلظت سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم با استفاده از روش اسپوزیتو با اسید نیتریک ۴ مولار هضم شدند. برای تعیین مقدار منیزیم و کلسیم از روش تتراسیون استفاده شد جهت بررسی سدیم و پتاسیم، ۱ میلی‌لیتر از محلول رقیق‌شده پس از مقایسه با منحنی استاندارد تعیین درصد گردید، میزان سدیم و پتاسیم در محلول، با دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

برای تهیه نقشه پراکنش سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، هدایت الکتریکی و PH حاصل از مطالعات میدانی از تکنیک های درون یابی در نرم افزار ARC GIS V.9.3 استفاده شده است، بدیهی است، هر چه تعداد نمونه بیشتر باشد دقت نقشه نیز افزایش می‌یابد، ولی با توجه به اینکه نمونه‌ها به روش تصادفی انتخاب‌شده بودند و با توجه به هزینه نمونه‌برداری، از نمونه‌های یادشده برای درون‌یابی استفاده گردید.

طبق اظهارات کراوشینکو و بلاک (۱۹۹۹) هنگامی‌که داده‌های کافی وجود داشته باشد ($N \geq 50$) روش کریجینگ، میانیابی مناسبی برای ویژگی‌های خاک را انجام می‌دهد(۲۱). حسینی و همکاران (۱۹۹۴) در تهیه نقشه‌های هم‌مقدار خاک در استان خوزستان روش کریجینگ را دقیق‌تر از سایر روش‌ها دانستند(۱۶). لاسلت و همکاران (1987) به بررسی تغییرات pH به روش‌های کریجینگ و فاصله معکوس پرداختند و کریجینگ را روش بهتری معرفی کردند(۲۲). مطالعات مشابهی توسط باوسن و زیمنگ (۲۰۰۳) برای بررسی تغییرات pH و پهنه‌بندی خاک در ایالت سائو برزیل صورت گرفت و نتایج مشابهی به دست آمد(۴). احمدالی و همکاران (۱۳۸۷) در بررسی ارزیابی روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ در تخمین شوری و اسیدیته عمقی خاک در منطقه بوکان به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ برتری زیاد محسوسی نسبت به کریجینگ ندارد. با در نظر گرفتن پیچیدگی روش کوکریجینگ در شرایطی که تعداد نمونه‌ها برابر باشد و مدل برازش شده برداده‌ها یکسان باشد، روش کریجینگ توصیه می‌شود(۱). با توجه به مطالعات انجام‌شده از بین روش‌های درون‌یابی، برای تهیه‌ی نقشه‌های پراکنش سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، هدایت الکتریکی و PH حاصل از مطالعات میدانی، از روش کریجینگ استفاده شد (شکل ۳،۴ و ۵).همچنین از بین روش‌های درون‌یابی، برای تهیه‌ی نقشه‌های پراکنش ، از روش کریجینگ استفاده شد (شکل ۳،۴ و ۵). جدول ۱ کلیاتی از متغیرهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

میانگین شوری در منطقه ۰،۱ دسی زیمنس بر متر است که نشان‌دهنده شوری بسیار کم منطقه مورد بررسی است. دامنه تغییرات شوری بین ۰،۰۲ تا ۱،۰۵ دسی زیمنس است. بیشترین مقدار شوری مربوط به قسمت شوره‌زار دشت ملایر است که پوشش گیاهی چندانی ندارد، کمترین مقدار شوری مربوط به ارتفاعات با پوشش مرتعی درجه سوم واقع در غرب منطقه مطالعاتی است.

۳-۲- متغیرهای مهم استخراج‌شده از داده‌های ماهواره‌ای لند ست ۸

تفکیک‌پذیری خاک‌های شور توسط داده‌های سنجش‌ازدور به ویژگی‌های بازتاب طیفی این خاک‌ها برمی‌گردد مطالعات صحرایی و اندازه‌گیری‌های رادیومتری نشان می‌دهد که در بیشتر موارد خاک‌های شور و قلیایی بازتاب طیفی بیشتری در ناحیه مرئی و مادون‌قرمز نسبت به خاک‌های غیر شور دارند(۲۰). متغیرهای مهم استخراج‌شده در جدول ۲ ارائه‌شده است. برای پردازش تصاویر و محاسبه شاخص‌ها از نرم‌افزار ENVI5 استفاده شد. در این پژوهش شش شاخص SI1،SI2،SI3،NDSI،BI، و COSRI در این نرم‌افزار محاسبه، و تصاویر خروجی از طریق آستانه گذاری طبقه‌بندی شد، مقادیر آستانه با توجه به شرایط منطقه، اطلاعات جانبی و علم و تجربه تعیین و اعمال می‌شود. در این پژوهش مناطق مسکونی از عوامل مزاحم در تشخیص نواحی متأثر از نمک شناخته شدند، که با نتایج خان و همکاران(۲۰۰۱) مطابقت دارد(۱۹). آستانه گذاری می تواند اثر عوامل مزاحم را از بین ببرد. شکل ۶،۷، و ۸ تصاویر شاخص‌های شوری استخراج‌شده از داده‌های ماهواره‌ای لند ست ۸ را نشان می‌دهد.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که همبستگی بالایی بین مقادیر بازتاب در تصاویر ماهواره‌ای با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سطح خاک، به‌ویژه شوری خاک، وجود دارد (۱۳). این ارتباط معمولاً با استفاده از روش‌های رگرسیونی بررسی‌شده است .بر این اساس، با در اختیار داشتن اطلاعات رقومی باندهای مختلف ماهواره‌ای می‌توان به شناسایی ویژگی‌های خاک اقدام نمود (۱۵، ۳۴).

۱. ۳-۳- مدل رگرسیونی چند متغیره فضایی

معادله‌های رگرسیونی ارائه‌شده در جدول ۳ ضرایب هریک از متغیرهای مستقل و ضریب ثابت را نشان می‌دهند. ضرایب رگرسیونی نشان دهنده اثر هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته هستند. نتایج حاصل از رگرسیون چندگانه بین شاخص شوری BI،NDSI،SI3،SI2،SI1، و COSRI منطقه با نقشه‌های پراکنش متغیرهای اندازه‌گیری شده در مطالعات میدانی نشان می‌دهد که متغیرهای K،Mg و Ec رابطه مثبت با همه‌ی شاخص‌های استخراج‌شده دارند، متغیرCa رابطه مثبت با تمام شاخص‌ها به‌جز شاخصCOSRI دارد. متغیر Na به میزان بسیار کم‌تری بر شاخص‌هایBI،SI3،SI2، SI1 اثر می‌گذارد و رابطه منفی با شاخصNDSI و COSRI داشته است. متغیرهای PH نیز رابطه منفی با شاخص BI،NDSI،SI3،SI2،SI1 داشته و رابطه مثبت با شاخصCOSRI دارد.

در مورد این معادله رگرسیونی پس از اصلاح اثرات مربوط به تعداد متغیرها تغییر چشم‌گیری در مقادیر R و R2 مشاهده نمی‌شود. در این معادله ضریب معادله رگرسیونی دارای F-statistic، برای هر یک از شاخص‌های BI،NDSI،SI3،SI2،SI1، و COSRI به ترتیب برابر ،۴۰۹۰۱۹۱۲۹۰۸۱۵۴،2863605،8887848،3656755 و 3324636 است که نشان می‌دهد این معادله در سطح ۹۹ درصد معنادار است. با استناد به نقشه پراکنش سدیم،پتاسیم،منیزیم،کلسیم،EC وPH حاصل از اطلاعات میدانی و با ایجاد همبستگی بین این نقشه ها و شاخص های ماهواره ای (جدول ۳)، بهترین شاخص برای آشکارسازی عناصر اندازه گیری شده شاخص NDSI است که ضریب همبستگی بسیار بالایی با عناصر اندازه گیری شده دارد. از طرفی با توجه به اینکه ضریب PH خاک در ارتباط با شاخص NDSI منفی است(جدول ۴)، بنابراین رابطه معنی داری بین قلیائیت و اطلاعات ماهواره ای در منطقه مورد مطالعه دیده نشد.

نتیجه‌گیری

شوری به‌عنوان یکی از عوامل مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از طریق محدود کردن رشد گیاه باعث کاهش تولیدات کشاورزی می‌شود. خاک‌های شور دارای مقدار زیادی املاح محلول هستند. وجود این املاح موجب تغییراتی در خواص فیزیکی، شیمیایی و مرفولوژیکی آن‌ها می‌شود، که درمجموع محیط را برای رشد گیاهان نامناسب می‌کند. برای شناخت بیشتر خاک‌های مناطق شور و قلیا تنها بررسی مشخصات فیزیکی، شیمیایی و مرفولوژیکی خاک‌ها کافی نیست، بلکه بهتر است جهت مطالعه و بررسی این مناطق در مقیاس وسیع‌تر از فن سنجش‌ازدور نیز بهره گرفته شود. استفاده از این فن در مطالعه خصوصیات مناطق خشک و نیمه‌خشک ضمن اینکه محدودیت‌های مکانی را کاهش می‌دهد، موجب صرفه‌جویی در زمان نیز می‌شود. در این پژوهش برای انتخاب بهترین شاخص ماهواره‌ای شوری از تصاویر ماهواره ای لند ست ۸ استفاده شد. به این منظور ابتدا با ۷۷ نقطه اندازه‌گیری، نقشه‌های پراکنش سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم،EC و PH در منطقه موردمطالعه تهیه شد. سپس با استفاده از روش رگرسیون فضایی، همبستگی بین نقشه‌های تولیدشده با 6 متغیر به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، شامل شاخص‌های شوری (BI،NDSI،SI3،SI2،SI1)، و شاخص COSRI بررسی شد.

نتایج نشان می‌دهد که از هر شش شاخص استفاده شده برای تشخیص شوری در منطقه مورد مطالعه، می‌توان برای جداسازی اراضی شور استفاده کرد، اما دقت و قدرت تفکیک آن‌ها متفاوت است. همچنین نتایج نشان داد که بهترین شاخص برای آشکارسازی عناصر خاک در منطقه مورد مطالعه، شاخص NDSI (شاخص افتراقی شوری نرمال شده) است. همچنین رابطه معنی

داری بین قلیائیت و اطلاعات ماهواره ای در منطقه مورد مطالعه دیده نشد. نتایج این تحقیق با مطالعات رائو و همکاران (۱۹۹۵) خان و همکاران (۲۰۰۱)، وود و همکاران(۲۰۰۴)، الحداد و گارسیا (۲۰۰۵) و فرناندز- بوسس و همکاران(۲۰۰۶) همخوانی دارد. همچنین با نتایج تحقیق خواجه الدین(۱۹۹۸) در مورد ارتباط بین داده‌های ماهواره ای با غلظت کلسیم و پتاسیم مطابق نیست. اما با نتایج مربوط به EC و غلظت سدیم مطابقت دارد.با توجه به اینکه دشت ملایر جزء اراضی با شوری کم محسوب می‌شود، از نتایج این تحقیق می توان در پهنه‌بندی اراضی شور استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده ضمن افزایش دقت نمونه‌ها و استفاده از روش‌های دیگر درون یابی از تصاویر با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالاتری استفاده شود.از طرفی سنجنده ها تنها سطح خاک را اسکن می کنند در حالی که تمامی پروفیل خاک تحت تأثیر شوری می باشد؛ این محدودیت ضرورت استفاده از سایر تکنیک ها و داده ها را درمطالعهٔ شوری مشخص می کند. در مطالعات آینده می توان از ترکیب سنجش از دور با مدلسازی حرکت املاح و استفاده از روشهای پیشرفته ژئوفیزیکی(EM)، برای پیشگویی و تعیین شوری استفاده کرد.

منابع

1. Ahmadali, Kh., Nikmehr, S., Liaghat, A. 2008. A Comparison between Kriging and Cokriging methods in estimating soil salinity and pH (Case study: Boukan region). Iranian Journal of Water Research. 2(3): 55-64.

2. Bell, D.,Menges, C.,Ahmad,W.,van Zyl, J.J., 2001. The application of dielectric retrieval algorithms for mapping soil salinity in a tropical coastal environment using airborne polarimetric SAR. Remote Sens. Environ. 75 (3), 375–384.
3. Bierwirth, P.N.,Brodie, R.S., 2008. Gamma-ray remote sensing of aeolian salt sources in the Murray-Darling Basin, Australia. Remote Sens. Environ. 112 (2), 550–559.
4. Bucence L.C. and Zimback C.R.L. 2003. Comparison of methods of interpolation and spatial analysis of pH data in Botucatu, SP.IRRIGA. 8(1): 21-28.

5. Cerda A., and Martinez, V. (1998), Nitrogen fertilization under saline conditions in tomato and cucumber plants, J. Hortic. Sci. 63: 451–458.
6. Dashtekian, K., Pakparvar, M., Abdollahi, J. 2008. Study of soil salinity preparing methods by using landsat images in Marvast. Iranian journal of Range and Desert Reseach. 15 (2): 139-157.
7. Dewan, M. L. and Famouri, J. (1964). The soils of Iran. FAO, Rome.

8. Douaoui, A.E.K.,Nicolas, H.,Walter, C., 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. Geoderma 134 (1–2),217–230.
9. Dwivedi, R.S., 1969. Monitoring of Salt-affected Soils of the Indo-Gangetic Alluvial Plains using Principal Components Analysis, International Journal of Remote Sensing, 17(10): 1907-1914.
10. El-haddad, A. and Garcia L.A., 2005, detecting soil salinity levels in agricultural lands using satellite imagery.,presented in hydrology days, Colorado.
11. Farifteh, J., and Farshad, A. 2002. Remote sensing and modeling of top soil properties, a clue for assessing land degrading, p 865 17th-World-Congress-of-Soil-Science-Bangkok-Thailand-14-20-August.
12. Farifteh, J.,Van der Meer, F., Atzberger, C.,Carranza, E.J.M., 2007. Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: a comparison of two adaptive methods (PLSRand ANN). Remote Sens. Environ. 110 (1), 59–78.
13. Fernandez-Buces, N., Siebe, C., Cram, S., and Palacio, J.L. 2006. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation:(a case study in the former lake Texcoco, Mexico), J. Arid Environments, 65:644-667.
14. Goldshleger, N., Ben-Dor, E., Benyamini, Y., and Agassi, M. 2004. Soil reflectance as a tool for assessing physical crust arrangement of four typical soils in Israel. Soil Science, 169: 10. 677-687.

15. Goulard, M., Voltz, M. (1992). Linear coregionalization model: tools for estimation and choice of cross variogram matrix. Mathematical Geology, 24: 269-286.
16. Hosseini, E., Gallichand, J.D., and Marcotte. 1994. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for salinity analysis. Trasc, ASAE. 36: 1799-1807.
17. niper, S. and Abbott, L. K. (2006). Soil salinity delays germination and limits growth of hyphae from propagules of arbuscular mycorrhizal fungi. Mycorrhiza. 16:371–379.
18. Khajeddin, S.J. 1998. Use of MSS5 satellite data in investigation of vegetation types and saline soils of jazmourian. P 41-48, Proceeding of 2nd National to Combat Desertification. Forestry and Rangelnad organization. Teharan, Iran.(In Persian)
19. Khan, N., Rastoskuev, V., Shalina, E., and Sato, Y.,2001. Mapping salt-affected soils using remote sensing indicators-A simple approach with the use of GIS IDRISI.22nd Asian Congress on Remote Sensing, 5-9 November,Singapore.
20. Khodadadi, M., Askari, M, S., Sarmadian, Ph., Heidari, A., Refahi, H., Norouzi, A, A., Matinfar, H, R. 2008. Saline and alkaline soil mapping using ETM+ data in the Qazvin Plain. Pajouhesh & Sazandegi. 80: 77-90.
21. Kravchenko, A., and Bullock, D.G. 1999. A comparative study of interpolation methods for mappiug soil properties. Agron. J. 91, 393-400.
22. Laseltt G.M. McBratney A.B. Pahl P.J. and Hutchinson M.F. 1987. Comparison of several spatial predictioin methods for soil pH. Soil Science. 38: 325-341.
23. Menenti, M., Lorkees, A., and Vissers, M., 1986. An application of Tematic Mapper Data in Tunisia, ITC Journal, 1: 35-42.
24. Metternicht, G.I., Zinck, J.A., 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints.Remote Sens. Environ. 85 (1), 1–20.
25. Mohammadzadeh, M. 2012. Spatial Statistics and Its Applications. Tarbiat Modares University Publications. 401 pp.
26. Mulder, V.L.,de Bruin, S.,Schaepman, M.E.,Mayr, T.R., 2011. The use of remote sensing in soil and terrain mapping — a review. Geoderma 162 (1–2), 1–19.
27. Naigenouri, R. 2001. Investigation on possibility of detecting salty and gypsy areas kashan plain using TM data, M.Sc. thesis, Isfahan university of technology, Faculity of Natural Resources, 108p. (In Persian)
28. Rao, B., Dwivedi R., Venkataratnam L.,Ravisankar T., Thammappa, R.sharama S., and das.S. 1995. Spectral behavior of salt affected soils .International Journal of Remote Sensing, Vol. 16,2125-2136.
29. Saxsena, R.K., K.S.Verma, R. Srivastava, J.Y., Patel, N.K., Nasre, R.A.,Barthwal, A.K., Shiwalkar, A.A., and Londhe, S.L. 2003. Spectral reflectance properties of some dominant soils occurring on different altitudinal zones in Uttaranchal Himalayas. Agropedology, 13: 2. 35-43.
30. Siadat, H., Bybordi, M. and Malakouti, M.J. (1997). Salt-affected soils of Iran: A country report. International symposium on "Sustainable Management of Salt Affected Soils in the Arid Ecosystem". Cairo. Egypt.
31. Taghizadeh-Mehrjardi, R.,Minasny, B., Sarmadian, F.,Malone, B.P., 2014. Digital mapping of soil salinity in Ardakan region, central Iran. Geoderma 213, 15–28.
32. Tripathi,N.K., RAI, B.K. and Dwivedi, P.,1997,spatial modeling of soil salinity in GIS environment using IRS data, proc. 18th asian conference onremote sensing (ACRS) , PP 20-24.
33. Van der Meer, F. (2000). Geostatistical approaches for image classification and assessment of uncertainty in geologic processing. In: Advances in remote sensing and GIS analysis. P.M. Atkinson and N.J. Tate (Eds.), 147-166.
34. Wood G.A., Love land P.J. and Kibblewhite, M.G.,2004, The use of remote sensing todelivel soil monitoring. Areport prepared for the department,Food and rural affairs, national soil resources institute, Granfield University, silsoe, Bedfordshire,UK.

کاربرد زمین آمار در تهیه نقشه‌های سه بُعدی درصد رطوبت اشباع خاک (مطالعه موردی : دشت سیستان)

یونس جمال‌زئی ثمره[۱]، علی شهریاری[۲]، محمدرضا پهلوان‌راد[۳]، علیرضا ضیائی جاوید[۴]، ابوالفضل بامری[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران: younessamareh@gmail.com

۲- استادیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- استادیار، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران

۴- محقق، بخش تحقیقات تشکیل، طبقه بندی و شناسایی خاک، موسسه تحقیقات آب و خاک کشور، کرج، ایران

۵- مربی، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

خاک از تخریب فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی مواد مادری درطول زمان طولانی به وجود می‌آید و حیات بشر به آن وابسته است. درصد رطوبت اشباع یکی از خصوصیات سهل الوصول فیزیکی خاک است که در ارتباط با برخی خصوصیات نظیر اندازه ذرات خاک، ظرفیت نگهداری آب خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و ... می‌باشد. از این رو هدف از پژوهش حاضر استفاده از روش های زمین آماری در تهیه نقشه های سه بعدی درصد رطوبت اشباع خاک در دشت سیلابی سیستان بود. برای این منظور از اطلاعات ۵۸۴ خاکرخ در مساحتی حدود ۱۹۸هزار هکتار در اراضی دشت سیستان استفاده شد و مقدار میانگین وزنی درصد رطوبت اشباع در عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتیمتری برای هر خاکرخ محاسبه شد. سپس باروش‌های رایج زمین آماری مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که درصدرطوبت اشباع خاک متاثر از بافت خاک (متوسط تا متوسط درشت) منطقه بوده و به نظر می‌رسد با تغییرات آن تغییر می‌کند و با افزایش عمق کمی افزایش می‌یابد. درصدرطوبت اشباع خاک در تمام اعماق همبستگی مکانی متوسطی را نشان داد و بهترین مدل تغییرنما نیز در عمده اعماق مدل نمایی بود. روش کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی DEM در عمده اعماق بهترین روش پیش‌بینی و تهیه نقشه برای درصدرطوبت اشباع خاک بود. به نظر می‌رسد روش‌های زمین آماری که از روش‌های نقشه برداری رقومی هستند، جهت تهیه نقشه های سه بُعدی خاک به صورت عمودی و افقی کارا بوده و تغییرات را به خوبی نشان می دهند.

واژگان کلیدی: رطوبت خاک، بافت خاک، خاک‌های دلتایی، مدلسازی مکانی.

مقدمه

خاک براثر تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ ها و فعالیت موجودات زنده به وجود می آید و از ذراتی به وجود آمده که نحوه آرایش فضایی ذرات نسبت به یکدیگر و درصد نسبی اجزای تشکیل دهنده آن، نوع ساختمان و بافت خاک را تعیین می کند (احمدی و محمدی، ۱۳۸۹). خاک محیطی زنده ، طبیعی و پویا می باشد که حیات بشر تا حد زیادی به آن وابسته است. خاک از مهمترین اجزائ اکوسیستم هاست و برای کار کرد مناسب اکوسیستم ها، تعادل فیزیکی ،شیمیایی و بیولوژیکی آن اهمیت دارا می باشد (Sokouti et al, 2010). خاک محصول فرآیندهای متفاوتی است که به طور پیوسته و تدریجی در مکان و زمان تغییر می کند (Ighbal et al, 2005). همچنین خصوصیات خاک ها دارای پیوستگی مکانی اند و همبستگی متقابلی وجود دارد که تحت تأثیر

خصوصیات ذاتی (فاکتورهای تشکیل خاک مانند توپوگرافی، میکروارگانیسم، مواد مادری خاک، پوشش گیاهی، زمان) و عوامل غیرذاتی (مانند کود دهی، فرسایش، عملیات مدیریتی و تناوب زراعی) قرار دارند (جلالی و همکاران، ۱۳۹۲).

درصد رطوبت اشباع خاک[1] (SP) به مقدار آبی گفته می‌شود که در حالت اشباع در خاک وجود دارد و در مطالعات هیدرواکولوژیکی یکی از شاخص های مهم درصد رطوبت اشباع خاک است. درصد رطوبت اشباع خاک در اتباط با اجزای سازنده خاک است و می تواند به عنوان پارامتری جهت برآورد و تخمین کمی ظرفیت تبادل کاتیونی، اجزاء بافت خاک و ظرفیت نگهداری آب خاک بکار گرفته شود (Ahmad Aali et al, 2009). همچنین درصد رطوبت اشباع خاک منعکس کننده برخی خصوصیات مکانیکی خاک نیز می‌باشد (Stivent and Khan, 1996). شایان ذکر است که درصد رطوبت اشباع خاک نشان دهنده میزان دسترس بودن آب برای گیاه و همچنین میزان حرکت املاح معدنی و آلی درخاک و به تبع آن فرایندهای خاکسازی و تکامل پروفیلی متاثر از آن می‌باشد (Ahmad Aali et al, 2009).

یکی از شاخه های علم آمار ،زمین آمار است که برای تخمین تغییر پذیری مکانی یک متغیر با روش های مختلفی توسعه یافته است(Li and Heap, 2011). همچنین علم زمین آمار امروزه در علوم خاک و آب کاربردهای فراوانی پیدا کرده است. خصوصا در چند سال اخیر، که تحقیقات زیادی در رابطه با تغییرات مکانی و مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند بافت خاک و عناصر شیمیایی موجود در خاک به عمل آمده است (Bijanzadeh et al, 2014; Nayanaka et al, 2010; Morales et al, 2011; Vieira et al, 1983).

همچنین زمین آمار در سال های اخیر، بعنوان یک ابزار مفید و موثر برای بررسی درون یابی و تهیه نقشه های عناصر غذایی خاک و تغییرات مکانی مورد توجه و استفاده قرار گرفته است (Yasrebi et al, 2009). یکی از روش های اساسی درون یابی، کریجینگ است و یک تخمینگر خطی ناأریب برای تغییرات مکانی یک متغیر وابسته است.یکی دیگر از روش های درون یابی که از یک متغیر ثانویه که دارای همبستگی بامتغیر اولیه می باشد، کوکریجینگ است که برای کاهش واریانس خطای تخمین و افزایش دقت استفاده می کند(Wu et al, 2009).

با توجه به اینکه در اکثر مطالعات اطلاعات درصد رطوبت اشباع خاک در خاکرخ نیز ارائه می‌شود، میتوان تهیه نقشه‌های درصد رطوبت اشباع خاک و توصیف آن انجام شود و از این نقشه‌ها برای نشان دادن تغییرات کمی در بافت خاک نیز استفاده شود (Ahmad Aali et al, 2009). یکی از مسائل فیزیکی دشت‌های سیلابی تغییرات بافتی خاک و یا به اصطلاح انقطاع‌های بافتی خاک هستند که تهیه نقشه‌های بافت خاک را با مشکل روبرو می‌کنند. بنابراین تهیه نقشه های درصد رطوبت اشباع خاک بادقت بالا به صورت سه بعدی برای مدلسازی زیست محیطی و هیدرولوژیکی و سایر فعالیت های مدیریتی و حفاظتی خاک ضروری است. لذا این مطالعه با هدف تهیه نقشه های سه بعدی درصد رطوبت اشباع خاک در دشت سیستان با بکارگیری روش های زمین آماری انجام شد.

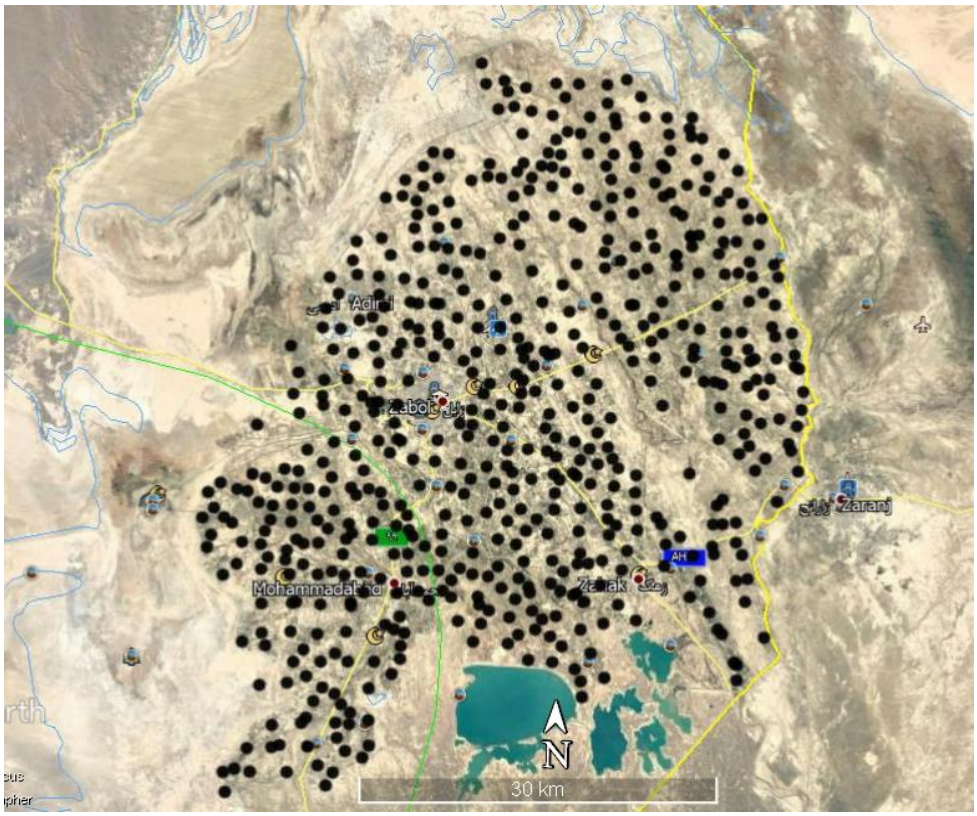
مواد و روش‌ها

منطقه سیستان در جنوب غرب آسیا و جنوب شرق کشور ایران و در شمال استان سیستان و بلوچستان بر روی دلتای رودخانه هیرمند واقع شده است. ارتفاع متوسط این منطقه از سطح دریا ۴۸۵ متر، متوسط بارندگی سالیانه ۵۵ میلی متر و تبخیر و تعرق سالانه در این منطقه ۴۵۰۰ الی ۵۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد که بسیار بالا است. بادهای نیرومند ۱۲۰ روزه در این منطقه منحصر به فرد بوده و یکی از مهمترین عوامل دخیل در مقدار بالای تبخیر و تعرق علاوه بر دمای بالای منطقه، است. رژیم رطوبتی و دمایی خاک منطقه به ترتیب اریدیک و هایپرترمیک می‌باشد (Mirakzehi et al. 2018). کاربری زمین‌های منطقه شامل کشاورزی، مرتع و همچنین زمین‌های غیرقابل استفاده می‌باشند. منطقه مسطح (دشت سیلابی) با شیب کم، حدود ۲-۱ درصد می‌باشد.

مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ۱۹۸ هزار هکتار بود و اطلاعات درصد رطوبت اشباع خاک مورد استفاده در این پژوهش از تعداد ۵۸۴ خاکرخ مورد مطالعه قرار گرفته توسط پهلوان‌راد (۱۳۹۵) و ضیائی جاوید (۱۳۹۹) بدست آمد (شکل ۱). شایان ذکر است که درصد رطوبت اشباع بس از تهیه گل اشباع برای هر افق به روش معمول اندازه‌گیری شد و سپس به صورت وزنی برای همه دیتاها به

[1] Saturation Percentage of Soil (SP)

دست آمد و با استفاده از روش میانگین وزنی مقدار درصد رطوبت اشباع در عمق‌های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ سانتیمتری برای هر خاکرخ محاسبه شد. به دلیل محدودیت اطلاعات برخی خاکرخ‌ها برای عمق آخر (۸۰-۱۰۰ سانتیمتر) تعداد ۵۷۶ خاکرخ مورد استفاده قرار گرفت. جهت بررسی خصوصیات آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰، مدل سازی مکانی از روش های کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، کوکریجینگ معمولی ،کوکریجینگ ساده و روش وزن دهی معکوس (IDW) با توان های ۱ و ۲و ۳ استفاده شد و برای اندازه گیری خصوصیات مورد ارزیابی از نرم‌افزارهای GS+ و ArcGIS نسخه ۱۰,۴ استفاده گردید و نرم افزار Excel نسخه ۲۰۱۹ به منظور مدیریت داده ها به کار برده شد. شایان ذکر است که مدل رقومی ارتفاع[2] استفاده شده در مدل‌سازی زمین آماری درصد رطوبت اشباع خاک، از اطلاعات ماهواره ALOS[3] PALSAR با دقت ۱۲/۵ متر بدست آمد.



شکل ۱- موقعیت خاکرخ‌های مورد مطالعه در دشت سیستان

نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی بعضی از خصوصیات آماری درصد رطوبت اشباع خاک در اعماق مختلف در جدول ۱ آمده است. خصوصیاتی مانند کشیدگی و چولگی داده ها نشان میدهد که در همه اعماق داده ها از نظر آماری نرمال تا تقریبا نرمال هستند و ضریب تغییرات (CV) که معیار تغییر پذیری نسبی است، اگر CV≤۲۰٪ نشان دهنده تغییر پذیری اندک، CV < ۵۰% ≤ ۲۱٪تغییر پذیری متوسط و اگر ۵۰ ٪ ≤ CV < ۱۰۰٪ تغییر پذیری بالا است (Karimi Nezhad et al, 2015). که در این مطالعه ضریب تغییرات بین ۲۱تا ۵۰ قرار دارد و نشان میدهد درصد رطوبت اشباع تغییر پذیری متوسطی دارد.

[2] Digital Elevation Model (DEM)
[3] Advanced Land Observing Satellite

مقادیر میانگین درصد رطوبت اشباع نشان دهنده بافت خاک متوسط تا متوسط درشت است که با افزایش عمق اندازه ذرات ریزتر کمی غالب می‌شوند. پژوهش‌های متعدد نشان داده بافت خاک سطحی در دشت سیستان عمدتا متوسط (لومی) تا متوسط درشت (لومی شنی) و مناسب است (Mirakzehi et al. 2018؛ Pahlavan-rad and Akbarimoghaddam, 2018، Shahriari et al. 2019). روند تغییرات بافت خاک متاثر از تغییرات رژیم هیدرولوژیکی و رسوبگذاری رودخانه هیرمند و همچنین فرایند فرسایش بادی و رسوبگذاری آن در منطقه است (Mirakzehi et al. 2018).

جدول۱- برخی خصوصیات آماری درصد رطوبت اشباع خاک در منطقه مورد مطالعه

عمق	میانگین	میانه	حداقل	حداکثر	واریانس	چولگی	کشیدگی	انحراف معیار	ضریب تغییرات
۰-۲۰	۳۴/۰۷۲	۳۳/۱	۲/۸۳	۶۱/۶	۵۸/۵۶۲	۰/۳۷۴	۰/۷۲۸	۷/۶۵۲	۲۲/۴۵۸
۲۰-۴۰	۳۶/۵۰۲	۳۴/۰۸۲	۲/۹	۷۷/۳	۱۱۴/۸۵۲	۱/۰۲۳	۱/۰۲۵	۱۰/۷۱۶	۲۹/۳۵۷
۴۰-۶۰	۳۸/۶۳۹	۳۶/۱۲۵	۲/۹	۷۴/۹	۱۳۶/۶۱	۰/۸۳۳	۰/۵۵۱	۱۱/۶۸۸	۳۰/۲۴۹
۶۰-۸۰	۳۹/۳۸۱	۳۶/۸	۵/۷۵	۷۵/۴	۱۵۵/۷۵۲	۰/۷۶۵	۰/۱۳۳	۱۲/۴۸	۳۱/۶۹
۸۰-۱۰۰	۳۹/۲۲۸	۳۶/۹۵	۶/۷	۷۵/۹	۱۵۰/۱۹۳	۰/۷۰۹	-۰/۰۱۰	۱۲/۲۵۵	۳۱/۲۴

نتایج بررسی برخی پارامترهای تغییرنما و معیارهای انتخاب مدل و کنترل اعتبار تغییرنما در جدول ۲ ارائه شده است. برای انتخاب بهترین مدل تغییر نما از بین مدل های نمایی، کروی، خطی و گوسی جهت برازش بهترین تغییر نما از پارامتری به نام مجموع ضریب تغییرات (RSS)و ضریب تبیین(R^2) استفاده شد. بهترین مدل تغییر نما که برای همه عمق های درصد رطوبت اشباع خاک مدل نمایی بود، اما در عمق ۸۰-۶۰ مدل کروی بعنوان بهترین مدل انتخاب شد. این نتایج برای مدل نمایی با نتایج جعفرنیا و اکبری نیا (۱۳۹۳) و اصغری و همکاران (۱۳۹۳) و برای مدل کروی با نتایج مرزوان و همکاران (۱۳۹۴) همراستا بود. از سوی دیگر برخی تحقیقات انجام شده نیز نشان می دهد که بهترین مدل ها جهت برازش بر تغییرات مکانی برخی از ویژگی های خاک، مدل های کروی و نمایی هستند (Jiang et al, 2012 ;Liu et al, 2008). همچنین تناسب مکانی در عمق ۲۰-۰ قوی و عمق های ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰، ۸۰-۶۰ و ۱۰۰-۸۰ در تناسب مکانی متوسط قرار گرفتند.

جدول۲- پارامترهای تغییرنما و معیارهای انتخاب مدل و کنترل اعتبار تغییرنما

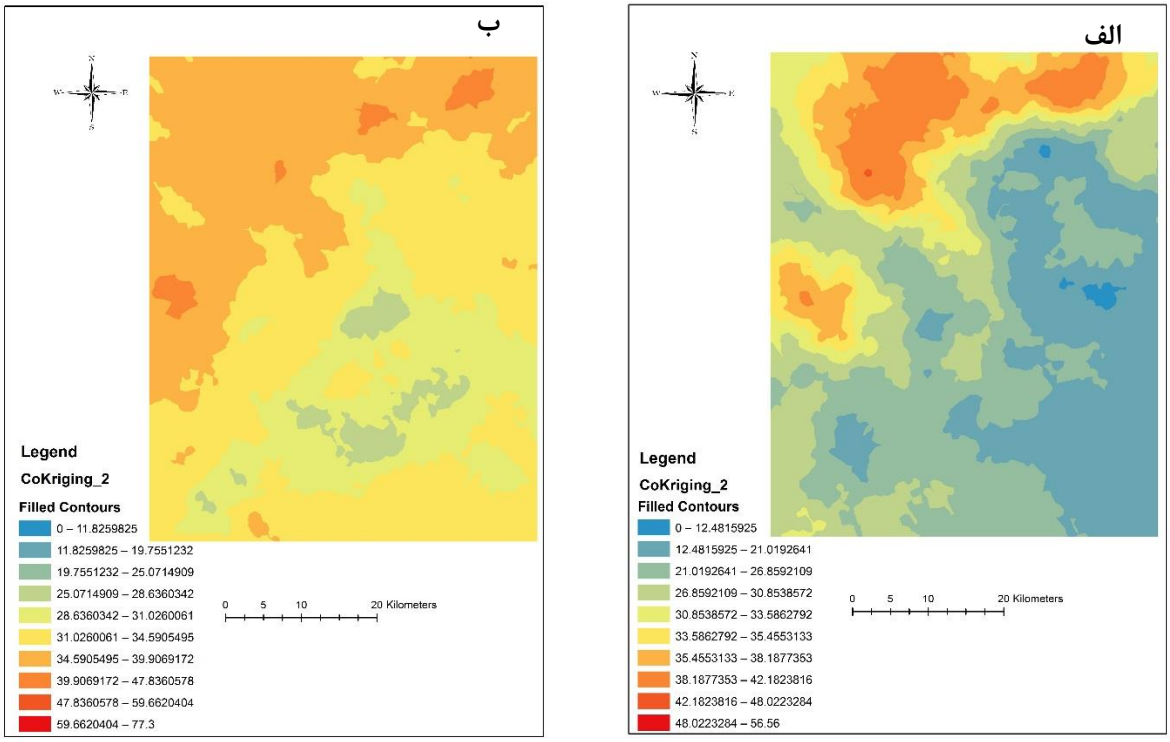
عمق	مدل	اثرقطعه ای C_0	آستانه C_0+C	شعاع تأثیر A_0	تناسب مکانی $C/(C_0+C)$	RSS	R^2
۲۰-۰	نمایی	۸/۵	۴۷/۲۴	۱۲۴۰	۰/۸۲۵	۱۶۰	۰/۸۹۱
۴۰-۲۰	نمایی	۳۴/۵	۸۷/۳۱	۱۴۹۰	۰/۶۰۵	۴۶۵	۰/۸۵۴
۶۰-۴۰	نمایی	۷۱	۱۴۲/۱	۶۳۷۰	۰/۵	۳۷۸۷	۰/۴۰۴
۸۰-۶۰	کروی	۱۱۶/۲	۲۵۲/۱	۱۲۵۰۰۰	۰/۵۳۹	۵۷/۸	۰/۹۹
۱۰۰-۸۰	نمایی	۱۱۳/۲	۲۲۶/۵	۲۱۱۰۰	۰/۵	۹۹/۵	۰/۵۶۳

نتایج حاصل از مقایسه روش های زمین آماری مورد استفاده در پهنه بندی درصد رطوبت اشباع خاک در منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. براساس مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان می دهد که در عمق های ۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰و ۱۰۰-۸۰سانتی متری عمق خاک روش کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی DEM و در عمق ۸۰-۶۰سانتی متری روش کریجینگ

ساده دارای مقدارRMSE کمتری نسبت به سایر روش‌ها بودند و بعنوان بهترین و مناسب ترین روش زمین آماری انتخاب گردید. بر این اساس می‌توان نقشه های سه بعدی درصد رطوبت اشباع خاک برای هر عمق تهیه کرد (شکل ۲).

جدول۳- مقایسه روش‌های زمین آماری رطوبت اشباع در منطقه مورد مطالعه

عمق	روش	متغیرکمکی	مدل	RMSE	ME
۰-۲۰	کریجینگ	-	معمولی	۱۷/۶۰۴	-۰/۱۷۹
			ساده	۱۶/۸۹۵	۰/۹۶۱
	کوگریجینگ	DEM	معمولی	۱۹/۸۷۴	۰/۰۳۶
			ساده	۱۶/۸۶۳	۰/۸۹۹
	IDW	-	توان ۱	۱۷/۴۴۸	۰/۲۷۳
			توان ۲	۱۸/۵۹۷	۰/۵۰۵
			توان ۳	۱۹/۸۸۹	۰/۷۶۱
۲۰-۴۰	کریجینگ	-	معمولی	۱۶/۲۹۳	۰/۰۸۵
			ساده	۱۵/۲۲۸	۰/۱۱۴
	کوکریجینگ	DEM	معمولی	۱۶/۸۰۷	۰/۲۲۴
			ساده	۱۵/۰۱۳	۰/۲۰۲
	IDW	-	توان ۱	۱۵/۶۳۲	-۰/۱۲۸
			توان ۲	۱۶/۴	۰/۰۰۴
			توان ۳	۱۷/۳۶	۰/۱۰۸
۴۰-۶۰	کریجینگ	-	معمولی	۱۸/۰۵	۰/۰۵۷
			ساده	۱۷/۲۹۷	۰/۱۲۵
	کوکریجینگ	DEM	معمولی	۱۹/۹۷۱	۰/۲۱۴
			ساده	۱۷/۲۲۴	۰/۱۳
	IDW	-	توان ۱	۱۷/۶۰۳	-۰/۱۱۸
			توان ۲	۱۸/۱۹۴	۰/۱۳۴
			توان ۳	۱۸/۹۴۵	۰/۳۶۵
۶۰-۸۰	کریجینگ	-	معمولی	۲۰/۶۲۹	-۰/۱۷۹
			ساده	۲۰/۴۸۱	۰/۰۱۸
	کوکریجینگ	DEM	معمولی	۲۱/۳۳	-۰/۱۸۳
			ساده	۲۰/۴۹۲	۰/۳۷۷
	IDW	-	توان ۱	۲۱/۱۳۱	۰/۱۲
			توان ۲	۲۲/۲۹۱	۰/۴۱۵
			توان ۳	۲۳/۶۴۶	۰/۶۸۸
۸۰-۱۰۰	کریجینگ	-	معمولی	۲۳/۰۸۶	-۰/۲۱۵
			ساده	۲۱/۱۱۷	-۰/۰۸۲
	کوکریجینگ	DEM	معمولی	۲۳/۴۶	-۰/۱۰۹
			ساده	۲۰/۹۵۵	-۰/۰۲۵
	IDW	-	توان ۱	۲۲/۷۶	۰/۱۷۹
			توان ۲	۲۴/۸۸۲	۰/۴۸۶
			توان ۳	۲۷/۱	۰/۸۴



شکل۲-نمونه نقشه میانیابی شده درصد رطوبت اشباع خاک درعمق‌های الف: ۲۰-۰ سانتیمتری و ب: ۴۰-۲۰ سانتیمتری

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر که با هدف تهیه نقشه های سه بعدی درصد رطوبت اشباع خاک با استفاده از روش‌های زمین آماری در دشت سیستان بود، نشان داد که درصدرطوبت اشباع خاک متاثر از بافت خاک (متوسط تا متوسط درشت) منطقه بوده و به نظر می‌رسد با تغییرات آن تغییر می‌کند. درصدرطوبت اشباع خاک در تمام اعماق همبستگی مکانی متوسطی رانشان داد و بهترین تغییرنمای انتخاب شده جهت برازش این خصوصیت در عمده اعماق مدل نمایی بود. همچنین روش کوکریجینگ ساده با متغیر کمکی DEM در عمده اعماق بهترین روش پیش‌بینی و تهیه نقشه برای درصدرطوبت اشباع خاک بود. به نظر می‌رسد روش‌های زمین آماری که از روش‌های نقشه برداری رقومی هستند، جهت تهیه نقشه های سه بُعدی خاک به صورت عمودی و افقی کارا بوده و تغییرات را به خوبی نشان می دهند.

منابع

احمدی، ح.، محمدی، ع. ا. ،(۱۳۸۹). بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدلهای تجربی با تأثیر عوامل ژئومورفولوژی (مطالعه موردی :حوزه آبخیز ده نمک) فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۷ ، شماره ۳: ۳۵۲-۳۴۰.

اصغری، ش.، دیزجقربانی اقدم، ث. و اسمعلی عورکی، الف. (۱۳۹۳). ارزیابی تغییرپذیری مکانی برخی از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در شالیزار های دشت فومنات با استفاده از زمین آمار. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۶): ۱۲۷۱-۱۲۸۳.

جعفرنیا، ش. و اکبری‌نیا، م. (۱۳۹۳). بررسی توزیع مکانی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب جنگل های مانگرو جزیره قشم با استفاده از زمین آمار. فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۲۲ شماره ۴: ۶۸۶-۶۷۳.

جلالی، ق.، طهران، م. م.، برومند، ن. ،سنجری ،ص.، (۱۳۹۲). مقایسه روشهای زمین آمار در تهیه نقشه پراکنش مکانی برخی عناصر غذایی در شرق استان مازندران. مجله پژوهش های خاک (علوم خاک و آب)، دوره ۲۷، شماره ۲: ۲۰۴-۱۹۵.

مرزوان، س.، اسدی، ح.، دواتگر، ن.، (۱۳۹۴). اثر مدیریت خاک ورزی بر تغییرات مکانی برخی ویژگی های خاک در اراضی شیب دار. مجله مدیریت خاک و تولید پایدار، جلد ۵، شماره ۱: ۱۱۱-۹۷.

Ahmad Aali, K., Parsinejad, M., Rahmani, B., (2009). Estimation of Saturation Percentage of Soil Using Multiple Regression,ANN, and ANFIS Techniques. Computer and Information Science, Vol.2, No.3 :127-136

Bijanzadeh, E., Mokarram, M., and Naderi, R., (2014). Applying Spatial Geostatistical Analysis Models for Evaluating Variability of Soil Properties in Eastern Shiraz, Iran. Iran Agricultural Research, 33(2): 35-46.

Iqbal, J., Thomasson, A., Jenkins, J.N., Owens, P.R., and Whisler, F.D., (2005). Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. Soil Sci. Soc. Am J. 69: 1338-1350.

Jiang, H.L., Liu, G.S., Liu, S.D., Li, E.H., Wang, R., Yang, Y.F. and Hu, H.C. (2012). Delineation of sitespecific management zones based on soil properties for a hillside field in central China. Archives of Agronomy and Soil Science, 58(10): 1075-1090.

Karimi Nezhad, M. T., Tabatabaii, S. M. and Gholami, A., (2015). Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. J. Geochem. Explor., 152, 91-109.

Li, J., and Heap, A.D., (2011). A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: performance and impact factors. Ecological Informatics 6(3-4), 228-241.

Liu, G.S.,Wang, X.Z., Zhang, Z.Y., Zhang, C.H. (2008). Spatial variability of soil properties in a tobacco field of central China. Soil Science, 173(9): 659–667.

Mirakzehi, K., Pahlavan-Rad, M. R., Shahriari, A., & Bameri, A. (2018). Digital soil mapping of deltaic soils: A case of study from Hirmand (Helmand) river delta. Geoderma, 313, 233-240.

Morales, L. A., Vázquez, E. V., and Paz-Ferreiro, J., (2011). Spatial and temporal variability of Mehlich-1 extractable Fe, Mn and Zn over a rice field as a function of lime amendment. Stochastic environmental research and risk assessment , 25(8): 1039-1048.

Nayanaka, V. G. D., Vitharana, W. A. U., and Mapa, R. B., (2010). Geostatistical Analysis of Soil Properties to Support Spatial Sampling in a Paddy Growing Alfisol. Tropical Agricultural Research, 22(1): 34-44.

Pahlavan-Rad, M., and Akbarimoghaddam, A.(2018). Spatial variability of soil texture fractions and pH in a flood plain (case study from eastern Iran). Catena, 160: 275-281.

Shahriari, M., Delbari, M., Afrasiab, P. and Pahlavan-Rad, M.(2019). Predicting regional spatial distribution of soil texture in floodplains using remote sensing data: A case of southeastern Iran. Catena, 182: 104149. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104149.

Sokouti Oskooei, R., Mahdian, M., Mahmoodi, S., and Masihabadi, M., (2010). Spatial variability of some soil characteristics in Uromieh Plain, watershed engineering and management. 2: 3. 161-169.

Stivent, G. A., and Khan, M. A., (1996). Saturation Percentage as a Measure of Soil Texture in the Lower Indus Basin, Journal of SOU Sdence, Vol. 17. No. 1. :255-263.

Vieira, S. R., Hatfield, J. L., Nielsen, D. R., and Biggar, J. W., (1983). Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties: University of California, Division of Agricultural Sciences. 75 p.

Wu, C., Wu, J., Luo, Y., Zhang, L., and DeGloria, S.D. (2009). Spatial prediction of soil organic matter content using cokriging with remotely sensed data. Soil Science Society of America Journal 73(4), 1202-1208.

Yasrebi, J., Saffari, M ,.Fathi, H., Karimian, N., Moazallahi, M., and Gazni, R., (2009). Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some soil chemical parameters. Research Journal of Biological Sciences, 4(1), 93-102.

Application of geostatistics in preparing three-dimensional maps of saturation percentage of soil (Case study: Sistan plain)

Younes Jamalzai Samareh[1], Ali Shahriari[2], Mohammad Reza Pahlavan-Rad[3], Alireza Ziaee Javid[4], Abolfazl Bameri[5]

[1]MSc Student, Dep. of Soil Science and Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran
[2]Assistant Prof., Dep. of Soil Science and Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran
[3]Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran
[4]Researcher, Devision of Soil Formation, Classification and Survey Researches, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran
[5]Academic Staff, Dep. of Soil Science and Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

Abstract
Soil is formed from the physical, chemical and biological degradation of parent material over a long period of time and human life depends on it. Saturation percentage (SP) of soil is one of the easily-available physical properties of soil, which is related to some properties such as soil particle size, soil water holding capacity, cation exchange capacity, etc. Therefore, the purpose of this study was to use geostatistical methods in preparing three-dimensional maps of saturation percentage of soil in the floodplain of Sistan. For this purpose, the data of 584 soil profiles were used in an area of about 198000 hectares in the Sistan plain and the average weighted percentage of SP was calculated for each profile in the depths of 0-20, 20-20, 60-40, 80-60 and 100-80 cm. Then, common geostatistical methods were studied and analyzed. The results showed that the SP content of the soil was affected by soil texture (medium to medium coarse) in the region and seemed to change with its changes and increased slightly with increasing depth. The SP at all depths showed a moderate spatial correlation and the best variogram model was the exponential model at most depths. Simple cokriging method with DEM auxiliary variable was the best method for predicting and mapping the SP at most depths. It seems that geostatistical methods, which are one of the digital soil mapping methods, are effective for preparing three-dimensional soil maps vertically and horizontally and show the changes well.

Keywords: Soil moisture, Soil texture, Deltaic soils, Spatial modeling.

مقایسه کارایی برخی روش های زمین آماری برای پیش بینی پراکنش مکانی شوری خاک، مطالعه موردی مسیر خرم آباد– بروجرد

احمد یارمحمدیان مقدم[۱]، ولی بهنام[۲]، محمد فیضیان[۳]، اکبر سهرابی[۴]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی

۲- دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی

۳ و۴ استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی

Vali_behnam2012@yahoo.com

چکیده

شور شدن خاک در ایران یکی از مهمترین عواملی است که سبب از بین رفتن پوشش گیاهی طبیعی و نهایتاً به تخریب اراضی و بیابان زایی می شود. این تحقیق با هدف ارزیابی و تحلیل تغییرات مکانی شوری خاک، مقایسه روش‌های مختلف زمین آماری در برآورد آن و تهیه نقشه پراکنش مکانی شوری خاک انجام شده است. تعداد ۶۰ نمونه خاک از عمق ۰- ۳۰ سانتی متر برداشت و همزمان طول و عرض جغرافیایی با استفاده از GPS ثبت گردید. برای برآورد شوری خاک از روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله در محیط GS+ استفاده شده است. برای ارزیابی روش‌های زمین آمار، از روش ارزیابی متقاطع با کمک دو پارامتر آماری MAE و MBE استفاده شده است. نتایج نشان داد که مدل کروی بهترین مدل نیم تغییرنما برای تغییرات مکانی شوری خاک می باشد. همچنین بررسی نتایج حاکی از آن بود که روش کریجینگ در مقایسه با سایر روش‌های به کار رفته از دقت بالایی برای برآورد مقادیر شوری برخوردار است. خطای برآورد این روش ۰/۰۵و انحراف آن۰/۲۴دسی زیمنس بر متر بدست آمده است.

کلمات کلیدی: روش های زمین آمار، شوری خاک، نیم تغییرنما

مقدمه

شور شدن خاک در ایران یکی از مهمترین عواملی است که سبب از بین رفتن پوشش گیاهی طبیعی و نهایتاً به تخریب اراضی و بیابان زایی می‌شود. روش‌های مختلفی برای برآورد داده‌های مکانی وجود دارد که از معمولترین این روش‌ها می‌توان به میانگین حسابی، گرادیان، روش تیسن و روش هیپسومتریک اشاره نمود(Hosseini et al, 1993) اگرچه محاسبات این روش‌ها سریع و آسان است. ولی دارای معایبی نیز می‌باشد که گاهی منجر به ارائه نتایج غیرقابل قبول و با دقت کم می‌گردند. Corwin و همکاران (Corwin et al, 1992) اشاره نموده اند که اشکالات روش‌های ذکر شده، ضرورت استفاده از روش‌های زمین آماری را مطرح می‌نماید. در این رابطه، روش‌های زمین آماری مانند تخمین گرهای آماری ناپارامتری نظیر میانگین متحرک وزن‌دار و یا روش‌های پارامتری زمین آماری نظیر کریجینگ و کوکریجینگ مطرح می‌باشد. روش‌های زمین آماری به دلیل در نظر گرفتن همبستگی مکانی داده‌ها از اهمیت زیادی در بررسی‌های مربوط به پراکنش داده‌های زمینی برخوردار هستند و تخمین‌های بهتری از شوری خاک بدست می‌دهند(Hajrasuliha et al, 1980). اهمیت شوری خاک از آنجا ناشی می‌شود که درصد قابل توجهی از زمین‌های تحت آبیاری جهان در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا(حدود ۱۵۰ میلیون هکتار) واقع شده‌اند(حق نیا و همکاران، ۱۳۷۶). در این مناطق غالب خاک‌ها حاوی مقدار زیادی نمک است که آبیاری این اراضی باعث انتقال نمک به ناحیه رشد ریشه و در نتیجه افزایش فشار اسمزی و کاهش جذب عناصر غذایی گیاه و کاهش محصول می شود. در ایران نیز شوری از مهمترین مشکلات کشاورزی است که به دلیل زیاد بودن تبخیر از سطح خاک، بارندگی کم، پستی و بلندی زمینها و سنگ‌های مادری است(برزگر، ۱۳۷۹). بهنام و همکاران در سال ۱۳۹۲ به بررسی تغییرات مکانی شوری خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار پرداختند و به این نتیجه رسیداند که روش وزن

دهی معکوس فاصله(IDW) با توجه به خطا و انحراف کمتر از دقت بالاتری در برآورد شوری خاک نسبت به روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ برخوردار است. Yang و همکاران (۲۰۰۷) یک مطالعه زمین آماری بر روی خصوصیات شوری خاک در چین انجام دادند و برای تخمین شوری خاک در مکان‌های نمونه برداری نشده از سه روش کریجینگ معمولی، کوکریجینگ و کریجینگ – رگرسیون استفاده کردند. در ایران برای اولین بار نظریه زمین آمار در بررسی و تجزیه و تحلیل تغییرات شوری خاک مورد استفاده قرار گرفت(محمدی، ۱۳۸۵). احمدالی و همکاران(۱۳۸۸) با بررسی‌های روش‌های مختلف برآورد مکانی به منظور برآورد شوری، اسیدیته و درصد آهک خاک به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ با حداقل میزان MAE برای شوری، اسیدیته و درصد آهک خاک به ترتیب ۰/۲۱۸، ۰/۱۵۶ و ۷/۳۵۳ بیشترین دقت را داشت. Mohammadi, (۱۹۹۸) با استفاده از تخمین‌گرهای زمین آماری پراکنش مکانی برخی از ویژگی‌های خاک سطحی شامل هدایت الکتریکی، درصد رطوبت اشباع، نسبت جذب سدیم و درصد آهک را با روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و رگرسیون خطی بررسی نمود. نتایج بدست آمده از این تحقیق حاکی از آن است که تخمین‌گری‌های زمین آماری نسبت به روابط همبستگی خطی از برتری نسبی برخوردار بوده و روش کریجینگ به عنوان روش برتر برآورد داده‌های مکانی پارامترهای خاک معرفی شد. این نتایج نشان داد که برآورد به روش کریجینگ با واقعیت‌های منطقه مطابقت بیشتری دارد. بنابراین برآورد شوری و دیگر پارامترهای خاک در نقاط نمونه برداری نشده و تهیه نقشه‌های پراکنش مربوط به آنها در یک منطقه برای برنامه ریزی اصلاح خاک و نیز انتخاب روش مناسب میانیابی از جمله اهمیت کاربرد روش‌های زمین آماری محسوب می شود . لذا این تحقیق با هدف ارزیابی و تحلیل ساختار مکانی شوری، مقایسه روش‌های مختلف زمین آمار در برآورد پراکنش مکانی شوری خاک انجام شده است.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

استان لرستان یکی از استان‌های غربی کشور است. بروجرد و خرم آباد از شهرستان‌های استان لرستان می باشند این منطقه بین عرض‌های جغرافیایی″۳۵ ´۲۸ °۳۳ و ″۴۵ ´۳۳ °۳۳ و طول‌های جغرافیایی″ ۳۱ ´۲۶ °۴۸ و ″۶۴ ´۵۳ °۴۸ می‌باشد. متوسط بارش سالانه ۴۷۹ میلیمتر و حداکثر و حداقل سالانه دما به ترتیب ۳۴/۴ و ۸/۴ درجه سانتی‌گراد است. میزان تبخیر سالیانه ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ میلیمتر و ارتفاع از سطح دریا ۴۸۹/۲ می‌باشد زراعت عمده منطقه و مناطق اطراف گندم و سورگوم می‌باشد.

در این پژوهش به منظور نمونه برداری خاک از روش شبکه‌ای منظم استفاده شد تعداد ۶۰ نمونه خاک از فاصله ۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ متری از دو طرف جاده برداشت شد. عمق نمونه‌برداری ۰-۳۰ سانتی متر می‌باشد. پس از عملیات نمونه برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال یافت و پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلیمتری عبور داده شد. از نمونه‌ها با نسبت ۱:۵ عصاره‌گیری و سپس هدایت الکتریکی به وسیله دستگاه هدایت سنج اندازه گیری شد. برای تهیه نقشه شوری خاک به روش زمین آمار، با استفاده از نرم افزارSPSS19 اطلاعات اولیه نمونه‌ها، توزیع فراوانی داده‌ها و شاخص‌های آماری مانند میانگین، میانه، واریانس، چولگی و کشیدگی محاسبه گردید پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها و تبدیل داده‌های غیرنرمال به نرمال، الگوهای تغییرنما با استفاده از نرم افزار+GS رسم و بهترین الگوی تغییرنما انتخاب گردید. برای بررسی تغییرات مکانی و برآورد شوری خاک از روش های زمین آماری کریجینگ، کوکریجینگ، وزن دهی معکوس فاصله و مدل های مختلف تغیرنما(دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی) در محیط نرم افزار +GS استفاده شده است.

به منظور ارزیابی روش های میان یابی از تکنیک ارزیابی متقابل[1] و پارامتر آماری *MAE*[2] و *MBE*[3] استفاده شده است *MAE* مشخص کننده خطای نتایج و *MBE* انحراف نتایج روش استفاده شده را نشان می دهد. در شرایطی که MAE و MBE برابر صفر یا نزدیک صفر هستند، نشان دهنده این است که روش استفاده شده واقعیت را خوب شبیه سازی می کند. پارامترهای MAE و MBE و با استفاده از روش های زیر محاسبه می‌شوند

---

[1]- CrossValidation
2-Mean Absolute Error
3- Mean Bias Error

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{n}|R_S-R_0|}{n} \quad (۱)$$

$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{n}(R_S-R_0)}{n} \quad (۲)$$

R_S :مقدار برآورد شده

R_0 : مقدار اندازه گیری شده

n : تعداد داده‌ها

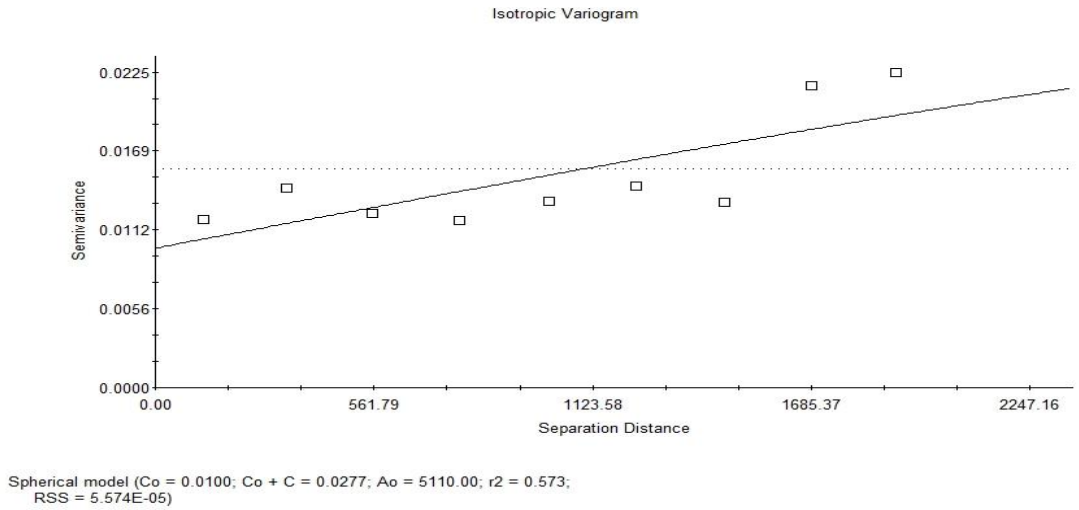
نتایج و بحث

ابتدا داده‌های شوری خاک مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و شاخص‌های آماری آن نظیر مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدکی بدست آمد(جدول۱). میانگین شوری خاک در منطقه ۰/۳۲دسی زیمنس بر متر است. محدوده EC نمونه های خاک بین ۰/۹۵۵ تا ۰/۲۰۳دسی زیمنس بر متر می باشد که نشان می دهد خاک‌های این منطقه خاک های غیرشور هستند. بر اساس طبقه بندی ویلکاکس، هدایت الکتریکی کمتر از ۰/۲۵ دسی زیمنس برمتر در کلاس اراضی کم شور و بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ دسی زیمنس بر متر در کلاس اراضی با شوری متوسط هستند. نتایج به دست آمده از تخمین هدایت الکتریکی در خاک های کنار جاده ای خرم آباد بروجرد نشان می دهد که قسمت عمده ای از خاک های این منطقه دارای شوری متوسط و بخش اندکی دارای شوری کم می باشد. به طور کلی می توان گفت کیفیت این خاک ها از نظر شوری در حد مناسبی می باشد. ضریب تغییرات آن کمتر از ۵۰ درصد می باشد که بیانگر عدم وجود تغییرات خیلی زیاد در منطقه مورد مطالعه است.

تغییرنما ابزار اساسی برای تخمین به وسیله کریجینگ و کوکرجینگ است بنابراین انتخاب مدل مناسب و تعیین پارامترهای دقیق آن از اهمیت فوق العاده ای برخوردار بوده و باید درستی مدل‌های تغییرنما به نحو بهینه‌ای کنترل گردد. بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که مدل کروی مدل مناسبی برای این نیم تغیر نما است. دامنه تاثیر این نیم تغییرنما معادل ۵۱۱۰متر، اثر قطعه‌ای برابر ۰/۰۰۹ و آستانه معادل ۰/۰۲۷ متر با ضریب همبستگی ۰/۵۷ بدست آمده است (جدول۲و شکل۱).

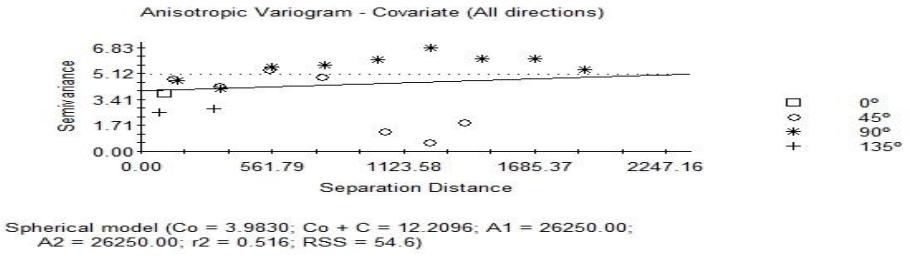
جدول ۲- پارامترهای تغییرنمای شوری خاک در مدل های انتخابی

متغیر	مدل	اثر قطعه ای(C0)	دامنه تاثیر	حد آستانه (A1)	ضریب همبستگی
شوری خاک	کروی	۰/۰۰۹	۵۱۱۰	۰/۰۲۷	۰/۵۷



شکل۱. واریوگرام داده های شوری خاک

بررسی های به عمل آمده نشان داد که بین شوری و آهک خاک همبستگی وجود دارد. لذا در روش کوکریجینگ از آهک به عنوان متغیر کمکی استفاده شد. بررسی به عمل آمده نشان داد که مدل کروی مدل مناسبی برای آن نیم تغییر نما می باشد. دامنه تاثیر این نیم تغییر نما معادل ۲۶۲۵۰ متر، اثر قطعه ای برابر ۳/۹۸و آستانه معادل ۱۲/۲۰متر با ضریب همبستگی۰/۵۱ بدست آمده است(شکل۲).



شکل۲- واریوگرام داده های شوری خاک در ۴ جهت

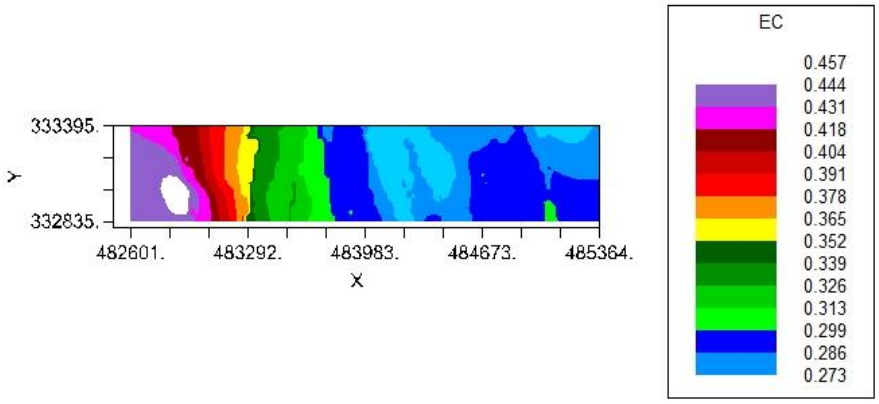
در جدول ۳ مقادیر دقت و انحراف روش های کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزن دار ارائه شده است. بر اساس این جدول ملاحظه می گردد که روش کریجینگ با خطای ۰/۰۵ دسی زیمنس بر متر، از دقت بیشتری برای برآورد شوری خاک برخوردار است. به این ترتیب روش کریجینگ با داشتن دقت بالاتر به عنوان مدل مناسب برآورد منطقه ای شوری خاک انتخاب شد

.

جدول۳ - نتایج ارزیابی روش های زمین آمار در برآورد شوری خاک

روش ارزیابی	کریجینگ	کوکریجینگ	میانگین متحرک وزن دار
خطا MAE	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۲
انحرافMBE	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۱۹

نقشه پراکنش شوری خاک با استفاده از روش کریجینگ در شکل ۴ نشان داده شده



شکل ۳. نقشه پراکنش شوری خاک منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش کریجینگ

نتیجه گیری

در مجموع روش کریجینگ اگرچه انحراف بیشتری از روش کوکریجینگ دارد اما از خطای کمتری برخوردار است، لذا از دیدگاه دقت و انحراف به موضوع نگاه شود روش کریجینگ به دلیل دقت بیشتر در رتبه بالاتر قرار گرفته که این نتایج با نتایج محمدی(۲۰۰۰) و نوربخش(۱۳۸۲) مطابقت دارد.

منابع

احمدالی، خ. نیک مهر، س. لیاقت، ع. ۱۳۸۸. ارزیابی روش های مختلف برآورد مکانی در برآورد شوری، اسیدیته و درصد آهک خاک(مطالعه موردی: منطقه بوکان). مجله آب و خاک. جلد ۲۳، شماره ۲. ۴۶ – ۵۴.

حق نیا، غ. ح. ع. کوچکی، ۱۳۷۶. مدیریت پایدار خاک. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۰۴ صفحه.

برزگرف ۱۳۷۹. خاکهای شور و سدیمی: شناخت و بهره وری. انتشارات دانشگاه شهید چمران. ۲۷۳ صفحه.

بهنام، و. غلامعلی زاده آهنگر، ا. بامری. ا.۱۳۹۲ارزیابی روش های زمین آمار جهت تخمین شوری خاک، مطالعه موردی مسیر زابل-زاهدان. دومین همایش ملی توسعه پایدار کشاورزی و محیط زیست سالم.

نوربخش، ف. ا. و ح. بقایی، ۱۳۸۲. مطالعه تغییرات مکانی پراکنش شوری خاک در مقیاس مزرعه. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران. جلد دوم. صفحه ۸۲۱- ۸۲۳.

محمدی، جهانگرد. ۱۳۸۵. پدومتری. جلد دوم(آمار مکانی)، انتشارات پلک، ۴۳۵ ص.

Hosseini, E., J. Gallichand and J. Caron. 1993; Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in southwest Iran. ASAE, 36 (6): 1687- 1693.

Corwin, D.L., M. Sorensen and J.D. Rhoades. 1992; Using GIS to locate salinity on irrigated soils. Proc. 8th Conf. Computing in Civil Engineering in Conjunction with A/E/C system '92, TCCP/ASCE-Dallas, TX, June 7-9, pp. 468-485.

Hajrasuliha, Sh., N. Baniabassi, J. Metthey and D. R. Nielsen. 1980; Spatial variability of soil sampling for salinity studies in southwest Iran. Irrig. Sci. 1: 197- 208.

Yang, L. I., Zho, S. H., Fang, W. U., Hong, Y. L. I., Feng, L. I. (2007) Improved prediction of sampling density for soil salinity by different geostatistical methods. *Agricultural Sciences in China.*Vol, 6. No, 7. Pp: 632-841.

Mohammadi, J. 1998; Geostatistical mapping of environmental soil hazards. Fourth Iranian International Statistics Conference. Shahid Beheshti Univ., Teheran, Iran. pp: 42-43.

Mohammadi, J. 2000; Evaluation and mapping of soil salinity hazard in Ramhormoz area (Khuzestan) using disjunctive Kriging. Journal of Agricultural Research, 25(6):45-57.

Abstract

Comparing the applicability of some geostatistic methods to predict the variability of soil Soil Salinity, a case study Hkormabad- Brogerd Road

Ahmad Yarmohammadian Moghadam [1], Vali Behnam [2], Mohammad Faizian [3], Akbar Sohrabi [4]

1- 2M.Sc student in Soil Science, Lorestan University, Faculty of Agriculture

2-PhD student in Soil Science, Shiraz University, Faculty of Agriculture

3 and 4 Assistant Professor, Department of Soil Sciences, Lorestan University, Faculty of Agriculture

Soil salinization in Iran is one of the most important factors that cause the loss of natural vegetation and ultimately to land degradation and desertification. This study was conducted in order to evaluate the spatial variability of Soil Salinity using geostatistical methods in roadside of Hkormabad- Brogerd. Soil sampling method was systematic and a total of 60 soil samples were collected from an area and Soil Salinity, sand, clay and silt were determined. For geostatistic methods evaluation, Mean Error and Root Mean Square Error with the Cross Validation method were used. The results showed that Spherical model is the best model for Soil Salinity semi-variorum. Also, the results showed that the kriging method has a high accuracy for estimating salinity compared to other methods used. The estimation error of this method is 0.05 and its deviation is 0.24 dS / m.

Keywords Geostatistical methods, soil salinity, semi-variance

بررسی عملکرد، بهره وری و میزان آب مصرفی چغندرقند در آبیاری مدرن و سنتی

محمد کریمی[1]، محمد جلینی[2]

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران، پست الکترونیکی: karimi.irri@gmail.com

۲- دانشیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

چکیده

هدف از انجام این تحقیق اندازه‌گیری حجم آب مصرفی، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب چغندرقند در منطقه تربت حیدریه و مقایسه میزان آب مصرفی با نیاز آبی خالص چغندرقند در این منطقه بوده است. مزارع طوری انتخاب شدند که عوامل مختلف از قبیل روش آبیاری، مدیریت آبیاری، بافت خاک و کیفیت آب آبیاری را پوشش دهند. اطلاعات پایه شامل مشخصات و مختصات جغرافیایی مزارع، بافت خاک، هدایت الکتریکی آب آبیاری و عصاره اشباع خاک تعیین شدند. تاریخ کاشت، تاریخ برداشت، طول دوره رشد، رقم چغندرقند، متوسط عمق آب در هر بار آبیاری، تعداد کل نوبتهای آبیاری انجام شده، حجم کل آب مصرفی و نیاز آبشویی اندازه گیری، محاسبه و یا از طریق پرسش از کشاورزان بدست آمد. متوسط میزان آب مصرفی در مزارع چغندرقند در روشهای آبیاری مدرن و سنتی به ترتیب برابر با ۱۱۰۳۸ و ۱۲۴۳۷ مترمکعب در هکتار، میانگین عملکرد محصول برابر با ۶۴۹۷۱ و ۴۳۲۳۲ کیلوگرم در هکتار و متوسط بهره‌وری مصرف آب نیز برابر با ۵/۹۸ و ۳/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. با تغییر روش آبیاری از سنتی به آبیاری مدرن، عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب به ترتیب ۵۰/۲۸ و ۷۲/۸۳ درصد افزایش و میزان آب مصرفی ۱۱/۲۵ درصد کاهش پیدا کرده است.

واژه‌های کلیدی: آب مصرفی، بهره وری مصرف آب، تربت حیدریه، چغندرقند، عملکرد

مقدمه

تخمین نسبتاً دقیق و یا تعیین شاخص‌های مدیریت مصرف آب از جمله مقدار آب مصرفی، راندمان آبیاری و بهره‌وری آب محصولات زراعی و باغی مختلف در کشور از مهم‌ترین ابزارها و شاخص‌های کلیدی در برنامه‌ریزی‌های کلان مربوط به تأمین، تخصیص و مصرف اصولی از آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی است. از نظر میزان مصرف آب در بخش‌های مختلف، در ایران نیز همانند سایر کشورها، بخش قابل توجهی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. هرچند، تاکنون حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی به طور دقیق تعیین یا برآورد نشده و این موضوع همواره از دغدغه‌های اصلی متولیان و برنامه‌ریزان صنعت آب کشور بوده و است. در شرایط فعلی که تناقضاتی در آب مصرفی محصولات مختلف بین سازمان‌های مختلف و بطور خاص بین وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی وجود دارد، انجام یک کار پژوهشی در سطح کشور که بتواند به اعداد متقنی در باره حجم آب مصرفی محصولات مختلف در کشور منتهی شود، امری لازم و ضروری بوده و نتایج آن می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیری مسئولین مرتبط با آب و کشاورزی بنماید. لذا، هدف اصلی از انجام این تحقیق، اندازه‌گیری مستقیم و مزرعه‌ای آب مصرفی چغندرقند تحت مدیریت کشاورزان بوده است. استان خراسان رضوی با مساحت ۱۱۶۴۹۳/۳۹ کیلومتر مربع یکی از قطب های تولید چغندر قند در کشور است. سطح زیرکشت چغندر قند آبی در این استان ۱۱۷۹۹هکتار با میانگین عملکرد ۵۵۱۳۴ کیلوگرم درهکتار می‌باشد. سطح زیرکشت چغندر قند در شهرستان تربت حیدریه ۲۱۵۰ هکتار و عملکرد متوسط آن ۵۳۱۸۶ کیلوگرم در هکتار است (سالنامه آماری بخش کشاورزی، ۱۳۹۸). موسسه تحقیقات خاک و آب بر اساس نتایج مطالعات انجام شده و نتایج هواشناسی در استانهای کشور و با استفاده از روش تجربی معتبر پنمن مانتیث، نیاز آبی گیاه چغندرقند و سایر گیاهان زراعی و باغی کشور را بررسی و

حاصل را در دو جلد کتاب" برآورد آب مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی کشور "ارائه نموده است. در جلد یک این مجموعه، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه چغندرقند را در شهرستان تربت حیدریه ۱۱۷۰ میلیمتر و باران مؤثر ۸۰ میلیمتر و نیاز خالص آبیاری این گیاه را ۱۰۹۰ میلیمتر بیان نموده است (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶). بر اساس داده های ارائه شده در نرم افزار Netwat، نیاز خالص آبیاری چغندرقند در منطقه تربت حیدریه ۱۱۰۵ میلیمتر و در جلگه رخ ۸۹۷ میلیمتر می باشد. گزارشاتی توسط مراکز تحقیقاتی، دانشگاهها و سازمانهای اجرایی، از آب مصرفی داده شده است که برای نمونه، زارع ابیانه و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به مدت ۴ سال نیاز آبی چغندرقند را با استفاده از لایسیمتر تعیین نمود و تاثیر تغییرات آن را بر صفات کمی و کیفی محصول چغندرقند مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داد که حجم آب مصرفی چغندرقند طی ۴ سال (۱۳۷۳ الی ۱۳۷۶) به ترتیب ۸۴۲۷، ۷۳۲۸، ۱۰۲۵۶ و ۹۰۲۶ مترمکعب در هکتار بوده است. میانگین ۴ ساله حداکثر ضریب گیاهی در مرحله میان فصل ۱/۰۴ و حداقل آن در مرحله آغازین برابر ۰/۴۲ به دست آمد. اشرف و همکاران (۱۳۹۱) با ارزیابی تغییر مصرف آب چغندرقند با توجه به اثرات تغییر اقلیم در دو دهه آتی، مقادیر تبخیر -تعرق پتانسیل، تبخیر - تعرق واقعی و بارندگی مؤثر دوره رشد چغندرقند در ایستگاه های معرف دشت های منتخب استان خراسان رضوی را برای دوره پایه (۱۳۸۹-۱۳۷۰) و دوره (۱۴۰۹-۱۳۹۰) محاسبه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که تبخیر -تعرق پتانسیل، تبخیر - تعرق واقعی و بارندگی مؤثر در دوره پایه برای منطقه تربت حیدریه به ترتیب ۹۷۱، ۹۶۹ و ۱۷ میلیمتر بوده است. تبخیر -تعرق پتانسیل، تبخیر - تعرق واقعی و بارندگی مؤثر برای دوره (۱۴۰۹-۱۳۹۰) در منطقه تربت حیدریه با استفاده از سناریوی بدبینانه (رشد سریع اقتصادی و جمیتی جهان) به ترتیب ۹۸۴، ۹۷۸ و ۲۳ میلیمتر، با استفاده از سناریوی متوسط (رشد جمعیت جهان همراه با رشد اقتصادی ناهمگن در نقاط مختلف) به ترتیب ۹۸۲، ۹۷۸ و ۲۲ میلیمتر و با استفاده از سناریوی خوشبینانه (همگرایی جمعیت جهان و تغییر در ساختار اقتصاد ی باکاهش مواد آلاینده و معرفی منابع فناوری پاک و مؤثر) به ترتیب ۹۸۳، ۹۸۰ و ۲۵ میلیمتر بدست آمد. سالمی و همکاران (۱۳۹۲) مقدار آب مصرفی کشاورزان را برای تولید چغندر قند در مناطق خوراسگان و مبارکه با روش آبیاری جویچه ای و قطره‌ای معادل ۱۱۷۰۰ و ۷۱۰۰ و در مزارع بلداجی و فرادنبه معادل ۹۲۵۰ و ۶۳۰۰ متر مکعب در هکتار اندازه‌گیری کردند. ابراهیمی پاک و غالبی (۱۳۹۳) تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی چغندرقند را در منطقه شهرکرد با استفاده از لایسیمتر اندازه گیری کردند. نتایج نشان داد که مجموع تبخیر و تعرق گیاه چغندرقند در فصل رشد برابر ۱۰۱۶/۶ میلیمتربود. ضریب گیاهی چغندرقند در مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۷۲، ۰/۸۱، ۱/۰۴ و ۰/۷۰ بدست آمد. دولت آبادی و همکاران (۱۳۹۳) میزان مصرف و مدیریت آب را در نظامهای کشت چغندرقند (سنتی، نیمه مکانیزه و مکانیزه) در منطقه جوین مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که بیشترین مصرف آب متعلق به مزارع سنتی با ۱۴۱۶۱/۳۴ مترمکعب در هکتار و پس از آن مزارع نیمه مکانیزه و مکانیزه به ترتیب ۱۲۷۲۶ و ۹۱۹۸ مترمکعب در هکتار بود. حقایقی و همکاران (۱۳۹۴) نیاز خالص آبیاری چغندرقند در مشهد را بر اساس محاسبهٔ نیاز آبی در سند ملی آب حدود ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار اعلام کردند. برای تأمین نیاز کامل آبیاری چغندرقند پاییزه نیز در دورهٔ رشد حجم آب مصرفی در منطقهٔ مشهد در سال زراعی ۹۳-۹۲ بین ۵۱۰۰ تا ۶۲۰۰ مترمکعب در هکتار اندازه گیری شد. ابراهیمی پاک و تافته (۱۳۹۶) با تعیین تابع تولید محصول- آب مصرفی چغندرقند در منطقه قزوین نتیجه گرفتند که نیاز آبی گیاه چغندرقند در کل دوره رشد برابر ۱۰۲۸ میلیمتر بوده است. در این تحقیق، ضریب گیاهی چغندرقند در مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۸، ۱/۳۵ و ۰/۶ بدست آمد. توپاک و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی اثر رژیمهای مختلف آبیاری قطره‌ای در کشت چغندرقند بهاره را برای منطقهٔ نیمه خشک قونیه در کشور ترکیه بررسی و گزارش کردند که عملکرد ریشهٔ چغندرقند در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی یعنی با آب مصرفی ۹۷۷، ۷۳۳ و ۴۸۸ میلیمتر به ترتیب برابر با ۷۷/۳، ۷۰/۶ و ۵۰/۳ تن در

هکتار بوده است(Topak et al., 2010). تائو (۲۰۱۷) در تحقیقی تبخیر و تعرق واقعی و ضریب گیاهی چغندرقند را تحت شرایط آبیاری قطره‌ای سطحی و با استفاده از لایسیمتر وزنی مورد بررسی قرار داد. در طی دو دوره رشد ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ و ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۶، تبخیر و تعرق گیاه چغندرقند بین ۵۴۰ تا ۸۷۰ میلیمتر متغییر بوده است. متوسط ضریب گیاهی چغندرقند در مرحله ابتدایی رشد بین ۰/۴۷ تا ۰/۵۲، در مرحله میانی ۰/۹۳ تا ۱/۲۶ و در محله نهایی رشد بین ۰/۷ تا ۰/۹۲ متغییر بوده است(Thao, 2017) .

مواد و روش ها

در این تحقیق آب داده شده توسط کشاورزان برای تولید چغندرقند در طول یک فصل زراعی و بدون دخالت کارشناس در بحث مدیریت آبیاری، اندازه‌گیری شد. در ابتدا در استان خراسان رضوی ۹ مزرعه (تعداد مزارع انتخابی باید حداقل ۶ مزرعه می بود) در منطقه تربت حیدریه انتخاب گردید. ۷ مزرعه از بخش جلگه رخ (عمده ترین سطح زیرکشت چغندرقند شهرستان تربت حیدریه مربوط به این بخش می‌باشد) و ۲ مزرعه از بخش مرکزی این شهرستان انتخاب شد. از ۹ مزرعه انتخاب شده، ۳ مزرعه به روش قطره‌ای (تیپ)، ۲ مزرعه به روش بارانی (آبفشان غلطان)، ۱ مزرعه به روش بارانی (آبفشان دوار) و ۳ مزرعه به روش سطحی (شیاری) آبیاری می‌شدند. مزارع طوری انتخاب شدند که عوامل مختلف از قبیل روش آبیاری، مدیریت آبیاری، بافت خاک و کیفیت آب آبیاری را پوشش دهند. مزارع مذکور با پیشنهاد و توصیه کارشناسان آب و خاک و زراعت مدیریت جهاد کشاورزی تربت حیدریه و مرکز جهاد کشاورزی جلگه رخ در شهرستان تربت حیدریه انتخاب گردید. اطلاعات پایه شامل مشخصات و مختصات جغرافیایی مزارع، بافت خاک، هدایت الکتریکی آب آبیاری و عصاره اشباع خاک با استفاده از نمونه برداری از آب و خاک مزارع تعیین شدند. میزان دبی منبع آبی با استفاده از فلوم اندازه‌گیری گردید. علاوه بر اطلاعات پایه و میزان دبی هر منبع آبی، تاریخ کاشت، تاریخ برداشت، طول دوره رشد، رقم چغندقند کشت شده، متوسط عمق آب در هر بار آبیاری، تعداد کل نوبتهای آبیاری انجام شده، حجم کل آب مصرفی و نیاز آبشویی اندازه گیری، محاسبه و یا از طریق پرسش از کشاورز بدست آمد. مقادیر اندازه‌گیری شده آب مصرفی با مقادیر سند ملی و کتاب نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶) نیز مقایسه شد. نیاز آبی خالص به روش پنمن - مانتیث با استفاده از داده‌های سال جاری و داده‌های ۱۰ ساله ایستگاه هواشناسی شهرستان تربت حیدریه و ایستگاه هواشناسی اسدآباد واقع در جلگه رخ تعیین شد. آب مورد نیاز برای آبشویی (کسر و یا نسبت آبشویی) مزارع مورد مطالعه بر اساس نشریه فائو ۲۹ در روشهای آبیاری از روابط زیر برآورد گردید:

- روش آبیاری بارانی و سطحی:

$$LR = \frac{EC_w}{5(ECe) - EC_w} \quad (۱)$$

- روش آبیاری قطره ای:

$$LR = \frac{EC_w}{2 * EC\max} \quad (۲)$$

در این روابط:

LR = نسبت و یا کسر آبشویی

EC_w = هدایت الکتریکی آب آبیاری

ECe = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک- آستانه تحمل گیاه

ECmax = شوری با عملکرد صفر

آستانه تحمل با ۱۰ و ۱۰۰ درصد کاهش عملکرد برای چغندرقند به ترتیب برابر با ۸/۷ و ۲۴ دسی زیمنس بر متر توسط فائو گزارش شده است. عملکرد محصول در پایان فصل زراعی نیز اندازه‌گیری و بهره‌وری مصرف آب در هر یک از

مزرعه‌های انتخابی تعیین و با همدیگر مقایسه شد. از تقسیم میزان عملکرد بر حسب کیلوگرم در هکتار بر میزان آب مصرفی بر حسب مترمکعب در هکتار، مقدار بهره‌وری مصرف آب برای هر کدام از مزارع انتخابی بدست آمد.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج اندازه‌گیری و یادداشت برداری از مزارع چغندرقند مربوط به شهرستان تربت حیدریه در جدول‌های ۱ و ۲ منعکس شده است. منبع آبی تمام مزارع چاه عمیق بود. میزان دبی و یا حقابه در مزارع انتخابی بین ۲۱ تا ۴۳ لیتر در ثانیه متغیر بود. متوسط دبی در مزارع ۳۱/۶۵ لیتر در ثانیه بود. میزان شوری آب آبیاری بین ۱/۱۰ دسی زیمنس بر متر تا حداکثر ۲/۸۶ دسی زیمنس بر متر با متوسط ۲/۱۷ دسی زیمنس بر متر بود. سطح زیرکشت چغندرقند نیز حداقل، حداکثر و میانگین بترتیب برابر با ۵، ۲۰ و ۱۱/۶۷ هکتار در مزارع انتخابی بود. میزان شوری خاک بین ۲/۱ دسی زیمنس بر متر تا حداکثر ۴/۹۵ دسی زیمنس بر متر با میانگین ۳/۲۶ دسی زیمنس بر متر بود. طول دوره رشد چغندرقند در مزارع انتخابی بین ۱۷۰ تا ۲۳۳ با میانگین ۱۸۸ روز بود. تعداد کل نوبتهای آبیاری نیز بین ۹ تا ۱۹ بار با میانگین ۱۵ بار متغیر بوده است.

جدول ۱- اطلاعات و داده های برداشت شده از مزارع چغندرقند انتخابی در شهرستان تربت حیدریه

شماره مزرعه	سطح زیر کشت(ha)	رقم چغندرقند	بافت خاک	شوری خاک (dS/m)	روش آبیاری	دبی (لیتر در ثانیه)	شوری آب آبیاری(dS/m)
۱	۲۰	سمنتا	سیلتی کلی لوم	۴/۳	قطره ای (تیپ)	۴۳	۲/۸۶
۲	۱۳	بریجیتا	سیلتی کلی لوم	۴/۳	قطره ای (تیپ)	۴۳	۲/۸۶
۳	۱۰	بریجیتا	سیلتی کلی لوم	۴/۳	بارانی ویل موو	۴۳	۲/۸۶
۴	۹	پائولتا	رسی لومی	۲/۱	بارانی (سنتر پیوت)	۲۱	۱/۴۰
۵	۱۹	بتاسید و توکان	رسی لومی	۲/۵	سطحی	۳۴	۱/۶۷
۶	۵	دوروتی	رسی لومی	۴/۹۵	سطحی	۲۸/۸۴	۳/۳
۷	۵	دوروتی	شنی رسی	۳/۶۰	سطحی	۱۲	۲/۴
۸	۱۲	پائولتا	سیلتی لوم	۱/۶۵	قطره ای (تیپ)	۳۰	۱/۱
۹	۱۲	پائولتا	سیلتی لوم	۱/۶۵	بارانی ویل موو	۳۰	۱/۱

جدول ۳- مقادیر داده های اندازه گیری شده از مزارع چغندرقند انتخابی در شهرستان تربت حیدریه

شماره مزرعه	متوسط عمق آب هرآبیاری(میلیمتر)	تعداد کل نوبت های آبیاری	حجم کل آب مصرفی m^3/ha	نیاز آبی(میلیمتر) بر اساس			نیاز آبشویی %	عملکرد محصول kg/ha	بهره وری مصرف آب kg/m^3
				سندملی	کتاب نیاز آبی	داده های هواشناسی			
۱	۷۱/۰۸	۱۳	۹۲۴۰/۰۰	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۸۰	۵/۹۶	۵۹۶۴۵	۶/۴۶
۲	۱۲۸/۰۰	۱۲	۱۵۳۶۰/۰۰	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۳۵	۵/۹۶	۷۳۶۴۰	۴/۷۸
۳	۶۳/۱۰	۱۴	۸۸۳۳/۳۳	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۴۷	۷/۰۴	۵۰۲۵۴	۵/۶۹
۴	۷۹/۸۶	۱۳	۱۰۳۸۲/۴۰	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۰۴۰	۳/۳۳	۷۱۳۴۳	۶/۸۷
۵	۹۶/۶۱	۹	۸۶۹۴/۵۷	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۷۵	۳/۹۹	۲۹۵۸۱	۳/۴۰
۶	۷۳/۶۲	۲۰	۱۴۷۲۴/۱۲	۱۱۰۵	۱۰۹۰	۱۵۲۸	۸/۲۱	۵۵۴۵۰	۳/۷۷
۷	۷۳/۱۲	۱۹	۱۳۸۹۳/۱۲	۱۱۰۵	۱۰۹۰	۱۵۷۱	۵/۸۴	۴۴۶۶۵	۳/۲۱
۸	۷۱/۶۷	۱۶	۱۱۴۶۶/۵۰	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۷۷	۲/۲۹	۶۶۱۶۷	۵/۷۷
۹	۶۸/۴۱	۱۶	۱۰۹۴۶/۱۶	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۸۴	۲/۵۹	۶۸۹۶۰	۶/۳۰

میانگین آب مصرفی اندازه‌گیری شده در مزارع برابر با ۱۱۵۰۴ مترمکعب در هکتار بود. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات سالمی و همکاران (۱۳۹۲)، دولت آبادی و همکاران (۱۳۹۳) و حقایقی و همکاران (۱۳۹۴) مطابقت دارد. متوسط میزان آب مصرفی در مزارعی که به روش قطره ای (تیپ) آبیاری می‌شدند برابر با ۱۲۰۲۲ مترمکعب در هکتار، در روش آبیاری بارانی برابر با ۱۰۰۵۴ و در روش آبیاری شیاری ۱۲۴۳۷ مترمکعب در هکتار بود. با مقایسه میانگین آب مصرفی اندازه‌گیری شده و نیاز آبی محاسبه شده بر اساس داده های هواشناسی ۱۰ سال اخیر (جدول ۲) این نتیجه حاصل شد که اکثر کشاورزان در مزارع چغندرقند کم آبیاری اعمال می نمایند. کمترین میزان عملکرد برابر با ۲۹۵۸۱ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن ۷۳۴۶۰ کیلوگرم در هکتار بوده است. میانگین عملکرد در مزارع انتخابی ۵۷۷۲۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمده است. میانگین عملکرد در ۳ مزرعه آبیاری قطره‌ای برابر با ۶۶۴۲۴ کیلوگرم در هکتار، در ۳ مزرعه با روش آبیاری بارانی برابر با ۶۳۵۱۹ کیلوگرم در هکتار و در ۳ مزرعه با روش آبیاری سطحی برابر ۴۳۲۳۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمده است. به عبارتی دیگر، با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و از سطحی به قطره ای، عملکرد محصول به ترتیب ۴۶/۹۳ و ۵۳/۶۵ درصد افزایش پیدا کرده است. کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب برابر با ۳/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب و بیشترین آن ۶/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. میانگین بهره‌وری مصرف آب در تمام مزارع چغندرقند انتخابی شهرستان تربت حیدریه برابر با ۵/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد. میانگین بهره‌وری در مزارعی که با روش سطحی (شیاری) آبیاری می شدند برابر با ۳/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده است در صورتی که در روش آبیاری قطره‌ای و بارانی به ترتیب برابر با ۵/۶۷ و ۶/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شده است. به عبارتی دیگر، با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و از سطحی به قطره ای، بهره وری مصرف آب به ترتیب ۸۱/۷۹ و ۶۳/۸۷ درصد افزایش پیدا کرده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان آب مصرفی چغندرقند در مزارع انتخابی بین ۸۶۹۵ تا ۱۵۳۶۰ مترمکعب در هکتار متغییر بوده است. متوسط میزان آب مصرفی در مزارع چغندرقند مجهز به سیستم نوین آبیاری برابر با ۱۱۰۳۸ و در مزارع چغندرقند با روش آبیاری سنتی ۱۲۴۳۷ مترمکعب در هکتار بدست آمد. البته میزان آب مصرفی در روش آبیاری قطره‌ای در بیشتر مزارع اعداد بالایی را نشان داد که ناشی از رعایت نکردن دور آبیاری و عمق آب آبیاری طراحی و مدیریت ضعیف بهره‌برداری در این سیستم بوده است. کمترین میزان عملکرد برابر با ۲۹۵۸۱ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن ۷۳۴۶۰ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد در مزارع انتخابی ۵۷۷۲۵ کیلوگرم در هکتار بدست آمده است. میانگین عملکرد در مزارع چغندرقند مجهز به سیستم نوین آبیاری ۶۴۹۷۱ و در مزارع چغندرقند با روش آبیاری سنتی ۴۳۲۳۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمده است. کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب برابر با ۳/۲۱کیلوگرم بر مترمکعب و بیشترین آن ۶/۸۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. میانگین بهره‌وری مصرف آب در مزارع چغندرقند مجهز به سیستم نوین آبیاری برابر با ۵/۹۸ و در مزارع چغندرقند با روش آبیاری سنتی ۳/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شد. با تغییر روش آبیاری از سنتی به آبیاری مدرن، عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب به ترتیب ۵۰/۲۸ و ۷۲/۸۳ درصد افزایش و میزان آب مصرفی ۱۱/۲۵ درصد کاهش پیدا کرده است.

فهرست منابع

ابراهیمی پاک، ن. تافته، ا. (۱۳۹۶). تعیین تابع تولید محصول-آب مصرفی چغندرقند در قزوین. مجله چغندرقند ۳۳(۱). ۴۷-۶۳.

ابراهیمی پاک، ن. غالبی، س. (۱۳۹۳). تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی چغندرقند با استفاده از لایسیمتر و مقایسه آن با روش های تجربی در شهرکرد. مجله چغندرقند ۳۰(۱). ۵۸-۴۱.

اشرف، ب. موسوی بایگی، م. کمالی، غ. داوری، ک. (۱۳۹۱). ارزیابی تغییر مصرف آب گندم و چغندرقند با توجه به اثرات تغییر اقلیم در دو دهه آتی در دشت های منتخب استان خراسان رضوی. مجله آبیاری و زهکشی ایران ۶ (۲). ۱۰۵- ۱۱۷.

حقایقی مقدم، ا. علیزاده، ا. احمدی، م. بنائیان، م. انصاری، ح. (۱۳۹۴). تاثیر رژیم های مختلف آبیاری بر کرآیی مصرف آب چغندرقند پائیزه در منطقه مشهد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۱۶ (۳).۱۵- ۳۰.

دولت آبادی، م. رسام، ق. دادخواه، ع. خشنود یزدی، ا. (۱۳۹۳). بررسی میزان مصرف و مدیریت آب در نظامهای کشت چغندرقند جوین. دومین همایش ملی مهندسی و مدیریت کشاورزی، محیط زیست و منابع طبیعی پایدار، نهران.

زارع ابیانه، ح. فرخی، ا. بیات ورکشی، م. احمدی، م. (۱۳۹۰). تعیین نیاز آبی و تاثیر تغییرات آن بر برخی صفات کمی و کیفی محصول چغندرقند. مجله چغندرقند ۲۷(۲). ۱۶۷-۱۵۳.

سالمی، ح. جهاداکبر، م. نیکیویی، ع. (۱۳۹۲). آرزیابی روش های آبیاری قطره ای نواری و جویچه ای در مزارع چغندرقند. مجله چغندرقند. ۲۹(۲). ۱۸۸-۱۷۵.

Thao, T. (2017). Developing Crop Coefficients (Kc) for Sugar Beet (Beta vulgaris L.) Grown under Drip Irrigation Using Weighing Lysimeters. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Plant Science in the Jordan College of Agricultural Sciences and Technology, California State University, Fresno.

Topak, R., Suheri, S., Acar, B. (2010). Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region. Energy J. 35: 5464-5471.

Investigation of yield, water productivity and water consumption of sugar beet in modern and traditional irrigation

Mohammad Karimi[1], Mohammad Jolaini

1- Assistant Professor of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. Email: karimi.irri@gmail.com

2- Associate Professor of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.

Abstract

The purpose of this study was to measure the amount of water consumed, yield and water productivity of sugarbeet under farmers management in Torbat Heydarieh region and the comparison of water consumption with water requirement of sugarbeet in this region. The fields were selected to cover various factors such as irrigation method, irrigation management, soil texture and irrigation water quality. Basic information including geographical characteristics and coordinates of fields, soil texture, electrical conductivity of irrigation water and soil saturated extract were determined. The date of planting, harvest date, growth period, sugar beet cultivar, average water depth per irrigation, total number of irrigation times performed, total volume of water consumed and leaching requirement was measured, calculated or obtained from farmers. The average water consumption in sugar beet farms in modern and traditional irrigation methods is 11038 and 12437 m^3/ha, respectively, the average crop yield is 64971 and 43232 kg/ha and the average water productivity is 5.98 and 3.46. Kg/m^3 was obtained. By changing the irrigation method from traditional to modern irrigation, crop yield and water productivity have increased by 50.28 and 72.83 percent, respectively, and water consumption has decreased by 11.25.

Keywords: sugarbeet, Torbat heydarieh, water consumption, water productivity, yield

نیاز آبی ارقام گل رز در گلخانه هیدروپونیک با استفاده از لایسیمتر

فاطمه کیخایی[1]، قاسم زارعی[2]

۱- نویسنده مسئول، عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات خاک و آب. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی.کرج. ایران.Email:Keykhaei80@gmail.com

۲- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. کرج. ایران.ghzarei4554@yahoo.com

چکیده

یکی از راهکارهای کاهش تلفات آب در کشاورزی، برنامه‌ریزی صحیح آبیاری است که اساس آن را برآورد دقیق نیازآبی گیاهان تشکیل می‌دهد. به‌منظور تعیین نیاز آبی سه رقم گل رز، تحقیقی به‌مدت یک سال در گلخانه‌ای هیدروپونیک مجهز به سیستم آبیاری قطره ای در شهرستان اراک و با استفاده از لایسیمترهای زهکش‌دار انجام شد. میزان تبخیر - تعرق مرجع با استفاده از یک میکرولایسیمتر زهکش‌دار دارای کشت چمن، برای محاسبه نیاز آبی از روش بیلان آبی استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار کل تبخیر - تعرق مرجع در گلخانه طی یک سال انجام پژوهش، ۱۶۰۸ میلی‌متر بود. همچنین مقدار کل تبخیر- تعرق رز رقم آتشی در این دوره رشد، ۱۴۲۳/۵میلی‌متر، رقم لب صورتی ۱۴۸۰/۲ میلی‌متر و رقم سفید، ۱۳۱۳/۸ میلی‌متر و متوسط تبخیر-تعرق ارقام رز در طول سال برابر ۳/۸ میلیمتر در روز بدست آمد .

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، گل رز، هیدروپونیک، لایسیمتر.

مقدمه

افزایش توسعه گلخانه‌ها با توجه به خشکسالی‌ها و بحران کم آبی در کشور، اجتناب ناپذیر است. یکی ازمهم‌ترین عوامل در افزایش تولید در محصولات گلخانه‌ای، برنامه ریزی و مدیریت مناسب آبیاری است که در آن تعیین نیاز آبی نقش اساسی دارد. چنانچه نیاز آبی گیاه در برنامه‌ریزی آبیاری کمتر از مقدار نیاز آبی واقعی گیاه لحاظ گردد باعث بروز علائم ناشی از تنش خشکی در گیاه مانند توقف رشد، کوچک‌تر شدن برگ، کوتاه شدن فاصله میان گره‌ها، بدشکل شدن و ریزش برگ‌ها، سوختگی حاشیه برگ‌ها و نیز کاهش عملکرد می‌شود (امیری و همکاران، ۱۳۸۷). گل‌های شاخه بریده سهم عمده‌ای در تولید گل و گیاهان زینتی ایران نیز دارند به‌طوریکه در سال ۱۳۹۶ مساحت گلخانه های گل‌های شاخه بریده در کشور برابر ۱۹۹۹/۵ هکتار از ۲۴۶۹/۷ هکتار مربوط به گل و گیاهان زینتی بود و در استان مرکزی مساحت گلخانه های استان برابر ۴۴۰/۲ هکتار بود که ۲۶۸ هکتار آن به گل‌های شاخه بریده اختصاص داشت (عباد زاده و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به موارد یاد شده، تعیین نیاز آبی این گیاهان به‌منظور داشتن یک مدیریت خوب و مؤثر در آبیاری در شرایط کنترل شده گلخانه، امری اجتناب‌ناپذیر است. دلاور و همکاران (۱۳۹۴) در شهرستان ورامین نیاز آبی گل مریم در گلخانه را برای فصل رشد، ۱۴۴روزه، ۳۵۰ میلی‌متر به‌دست آوردند. متوسط تبخیر- تعرق واقعی این گل ۲/۵ میلی متر در روز گزارش شده است. در تحقیق هاشمی‌نسب و همکاران (۱۳۹۳) نیازآبی گل همیشه بهار توسط لایسیمتر، ۳۲۰/۶ میلی متر برآورد شد.

در پژوهشی در کشور هند، تبخیر-تعرق گل رز و ضریب گیاهی به روش بیلان آب در خاک از کاشت تا گلدهی در شرایط گلخانه بدست آمد. بیشترین مقدار روزانه تبخیر تعرق برابر ۴/۹۹ و آب مورد نیاز برابر ۹۹۹/۵ میلیمتر بدست آمد (سینگ و همکاران، 2016). رز شاخه بریده را هم می‌توان بصورت خاکی و هم هیدروپونیک کشت کرد، اما باتوجه به گرانی پایه

گل رز بهتر است به‌صورت هیدروپونیک کشت گردد تا بتوان بستر آن را راحت‌تر کنترل کرد و مواد غذایی را به آن رساند. میزان نیاز آبی گل رز بستگی به خاک و فصل کشت دارد و خاک‌های سبک نیاز به تعداد دفعات آبیاری بیشتری نسبت به خاک‌های سنگین دارند (بی‌نام، ۱۳۹۲). همچنین بستر رشد باید از زهکشی مناسبی برخوردار باشد تا آب اضافی را از خود عبور دهد، چرا که ایستابی آب باعث آسیب دیدن ریشه گل می‌شود.

این تحقیق با هدف تعیین تبخیر- تعرق سه رقم گل رز به‌صورت کشت هیدروپونیک در شرایط گلخانه، انجام شد.

روش بررسی

این تحقیق در گلخانه‌ای هیدروپونیک واقع در شهرک گلخانه‌ای امان‌آباد شهرستان اراک به مدت یک سال از تاریخ ۹۴/۵/۱ الی ۹۵/۴/۳۱ اجرا شد. اقلیم شهر اراک بر اساس طبقه‌بندی دومارتن نیمه‌خشک و بر اساس طبقه‌بندی آمبروژه، نیمه‌خشک سرد است. درجه حرارت مطلوب گلخانه گل رز در منطقه اراک با سیستم هیدروپونیک ۲۱ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. آزمایش در گلخانه‌ای با تیپ اسپانیایی (آرک گاتیک)، ارتفاع زیر ناودان ۴ متر، ارتفاع نهایی ۶ متر، نوع پوشش دیواره‌ها پلی‌کربنات دو جداره به ضخامت ۶ میلی‌متر، سقف پلی‌اتیلن شفاف ۱۸۰ میکرون مجهز به ابزار لازم برای اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی شامل دماسنج، رطوبت‌سنج، تشت تبخیر و تشعشع سنج در داخل و خارج گلخانه و نیز دارای تجهیزات گرمایشی از نوع هوای گرم و سیستم خنک کننده و نیز سیستم افزایش رطوبت مه‌پاش سقفی، انجام شد. در سقف سالن دریچه‌هائی قرارداشت که در صورت لزوم، امکان تهویه را خودکار فراهم می‌نمود. گل‌ها در گلخانه‌ای با مساحت ۳۶۰۰ متر و اندازه دهانه‌های ۸ متر، تعداد ۲۷۰۰ بوته در ۵۴ ردیف در بستر دارای مخلوط کوکوپیت و پرلیت با PH =۶/۵ و EC=۷ dS/m کشت شده بودند.

برای تعیین تبخیر-تعرق (نیازآبی) و مقدار آب مصرفی گل رز، سه رقم گل رز با نام‌های رز سفید[1]، لب صورتی[2] و آتشی[3] انتخاب شدند. رز سفید از نظر سطح برگ در بین ارقام تحت مطالعه، بیشترین سطح‌برگ را دارا بود. رزها سه ساله و در بسترهایی به طول ۴۲ متر و عرض ۵۰ سانتی‌متر، به صورت هیدروپونیک کشت شده بودند. در دو بستر رز آتشی و لب‌صورتی، ۵۰۰ بوته رز و در بستر رز سفید به دلیل سطح برگ بیشتر آن، ۴۵۰ بوته رز استقرار داشتند. میزان آب ورودی و خروجی هر یک از بسترهای آزمایش به‌وسیله حجم‌سنج دیجیتال که روی لوله ورودی آب مصرفی هر بستر و لوله خروجی آب زهکشی آن بستر نصب شده بودند، اندازه‌گیری می‌شد. تفاوت اعداد حجم‌سنج در دو روز متوالی در شروع اولین آبیاری میزان آب مصرفی هر بستر را در روز قبل نشان می‌داد و برای اندازه‌گیری میزان زهکشی نیز حجم‌سنج‌ها هر روز در همان ساعت قرائت می‌شدند. تفاوت میزان آب مصرفی و میزان آب زهکشی شده از هر بستر میزان تبخیر- تعرق بوته‌های رز آن بستر را نشان می‌دادند. عملیات سم‌پاشی و کوددهی براساس توصیه کارشناسان به طور یکنواخت در تمام سطح گلخانه انجام شد. کلیه عملیات نگهداری و برداشت رزها طبق سال‌های پیش و مطابق استانداردهای لازم، انجام شد. هم‌چنین آب و کود لازم از راه سیستم قطره‌ای و به‌صورت خودکار توسط سیستم‌های کودآبیاری تامین شدند و برنامه آبیاری نیز به صورت روزانه، انجام می‌شد. قابل ذکر است که سیستم گردش آب و کود (محلول غذائی) در این گلخانه به‌صورت باز بوده و آب خروجی از بسترها که برای آبشویی مداوم استفاده می‌شد، توسط لوله‌های خروجی از بستر (زهکشی) جمع‌آوری و سپس به خارج از گلخانه هدایت و وارد سیستم فاضلاب می‌شد.

برای تعیین میزان تبخیر - تعرق مرجع در طی دوره آزمایش، از یک میکرولایسیمتر زهکش‌دار تحت کشت چمن در بستر ترکیب کوکوپیت و پرلیت از چهل روز پیش از شروع اندازه‌گیری‌ها در شرایط گلخانه استفاده شد. در هنگام اندازه‌گیری تبخیر – تعرق گیاه مرجع، آبیاری‌ها معمولاً به‌صورت روزانه و با اعمال حداقل تنش رطوبتی انجام می‌شد.

1 - White rose
2 - Dolcevita rose
3 -Utopia rose

به‌همین لحاظ عمق توسعه ریشه چمن در چنین شرایطی حتی از مقدار یک متر نیز کمتر خواهد بود (اورگاس و همکاران، ۲۰۰۵). در این تحقیق از معادله بیلان آب برای تعیین تبخیر- تعرق رز و چمن استفاده شد.

معادله بیلان آب شامل پارامترهای زیر است:

$$ETc = P + I - R - D \pm \Delta W \quad (۱)$$

در معادله ETc تبخیر-تعرق یا نیاز آبی خالص محصول (میلی متر)، P بارندگی (میلی متر)، I عمق آب آبیاری (میلی متر)، R رواناب سطحی (میلی متر)، D عمق آب زهکشی شده از منطقه ریشه (میلی متر) و ΔW تغییر در ذخیره آب خاک (میلی‌متر) می‌باشد. با توجه به اینکه آب حاصل از بارندگی در گلخانه صفر و هم‌چنین میزان جریان‌های جانبی و رواناب سطحی در هر رخداد آبیاری صفر می‌باشد، از این‌رو معادله یک ساده سازی شده و به صورت زیر ارائه شد (تایواری و همکاران، 2003):

$$ETc = I - D \pm \Delta W \quad (۲)$$

تغییر در میزان آب در خاک در داخل لایسیمتر (ΔW)، از اختلاف بین رطوبت های مشاهداتی خاک در طی دو روز متوالی محاسبه می‌شود (تایوان وهمکاران، ۲۰۱۴). هم‌چنین در برخی از مطالعات تعیین ET_C گیاهان گلخانه‌ای، بیشتر تمرکز بر تعرق گیاه می‌باشد و تبخیر از خاک را در نظر نمی‌گیرند (کیو و همکاران،۲۰۱۳). ضریب گیاهی (Kc) به روش یک جزئی و با روش ارائه شده در نشریه FAO- 56 توسط آلن و همکاران (۱۹۹۸) محاسبه شد:

$$ETc = ETo\ green \times Kc \quad (۳)$$

ETo green که به اختصار در بیشتر معادلات به صورت ETo نشان داده می شود، تبخیر-تعرق گیاه چمن در شرایط استاندارد بوده و توسط FAO به عنوان تبخیر-تعرق مرجع معرفی شده است.

لایسیمتر یا جعبه کشت یک تانک با ابعاد مشخص است که امکان اعمال معادله بیلان جرمی آب در آن وجود دارد. چگونگی تامین نیاز آبی چمن به این صورت بود که در آبیاری اول، بستر کشت درون میکرولایسیمتر زهکش‌دار داخل گلخانه از آب اشباع و پس از خارج شدن آب ثقلی از بستر، رطوبت بستر برابر رطوبت ظرفیت زراعی می‌شد. با تبخیر آب از سطح بستر و نیز مصرف آب توسط گیاه، از میزان رطوبت خاک تا آبیاری بعدی کاسته می‌شد. با آبیاری دوباره، رطوبت بستر دوباره به میزان رطوبت در ظرفیت زراعی می‌رسید و تغییرات رطوبت بسیار ناچیز بود. از این رو میزان تبخیر-تعرق گیاه برابر اختلاف مقدار آب ورودی و خروجی فرض می‌شد. حجم آب ورودی و خروجی به لایسیمتر چمن در کل دورهٔ مورد مطالعه، به صورت روزانه اندازه‌گیری و گیاه چمن به عنوان مرجع درنظر گرفته شد. بستر کشت چمن نیز مانند بستر بوته‌های گل رز، ترکیبی از کوکوپیت و پرلیت انتخاب شد. نیازآبی‌گیاه اختلاف مقدار آب ورودی به بستر و آب زهکشی‌شده محاسبه شد که مقدار آب زهکشی‌شده توسط حجم‌سنج دیجیتال در انتهای هر بستر در هر دور آبیاری اندازه‌گیری شد. آبیاری به صورت روزانه و براساس حفظ رطوبت در حد ظرفیت زراعی انجام می شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها و با داشتن حجم آب مصرفی و زهکشی شده روزانه دو گیاه گل رز و چمن، تبخیر- تعرق این دو گیاه در گلخانه به‌صورت روزانه و هفتگی در کل دوره رشد، محاسبه شد. باید توجه داشت که گل رز مطالعه شده در این تحقیق گل رز سه ساله بود که در تمام فصل‌های سال گل می‌دادند و بوته از نظر پوشش سبز در کل دوره رشد کامل بوده و سطح برگ با هرس شاخه‌ای گیاه، تقریباً ثابت نگه داشته شد. لازم به ذکر است بوته رز در طول سال در مرحله رشد کامل بوده و دارای دوره رشد ۳۶۵ روزه است.

نتایج و بحث

بیشترین مقدار تبخیر- تعرق مرجع ماهانه چمن در مرداد ماه با ۱۷۸ میلی‌متر و کمترین مقدار در ماه دی برابر با ۱۱۸ میلی‌متر بود. دهه سوم مرداد با ۶۱ میلی‌متر بیشترین مقدار و دهه دوم و سوم دی ماه نیز با ۳۹ میلی‌متر، کمترین

تبخیر- تعرق مرجع را در ده روز داشتند. مقدار کل تبخیر - تعرق مرجع در گلخانه طی یک سال انجام پژوهش، ۱۶۰۸ میلی‌متر بوده است.

مقدار کل تبخیر- تعرق گل رز رقم آتشی در دوره رشد یک ساله، معادل ۱۴۲۳/۵ میلی‌متر و مقدار متوسط تبخیر- تعرق روزانه این رقم در طی دوره رشد برابر۳/۹ میلیمتر در روز حاصل شد. بیشترین نیاز آبی خالص این رقم در مرداد ماه با ۱۶۳/۴ میلی‌متر و کمترین مقدار ماهانه آن در دی و بهمن برابر ۹۳ میلی متر بدست آمد. روشن است که برنامه‌ریزی برای تامین آب گلخانه، بر پایه بیشترین نیاز آبی خالص (اوج مصرف) رخ می‌دهد. بیشترین نیاز آبی خالص (تبخیر - تعرق) در دورهٔ ده روز برای رقم رز آتشی در دههٔ دوم مرداد و برابر ۵۶ میلی‌متر به‌دست آمد.

مقدار کل تبخیر- تعرق گل رز رقم لب صورتی در دوره رشد مورد نظر ۱۴۸۰/۷ میلی‌متر (جدول ۲) و میانگین تبخیر- تعرق روزانه آن برابر۴ میلیمتردر روز بود. بیشترین نیاز آبی خالص ماهانه این رقم در مرداد ماه با ۱۶۶/۴ میلی‌متر، بیشترین مقدار آن درهر دهه در دهه سوم مردادماه با ۵۵/۹ میلی‌متر و کمترین مقدار ماهانه آن در دی و بهمن ماه برابر۹۷/۴ میلی‌متر به‌دست آمد. مقدار کل تبخیر- تعرق گل رز رقم سفید در دوره رشد حدود ۱۳۱۳/۵ میلی‌متر و میانگین تبخیر-تعرق روزانه آن برابر۳/۶ میلیمتر در روز بود. بیشترین نیاز آبی خالص این رقم در مرداد ماه با ۱۴۹/۸ و کمترین مقدار ماهانه آن در بهمن ماه برابر ۸۶/۴ میلی‌متر به‌دست آمده‌اند. همچنین دهه دوم مردادماه با ۵۰/۳ میلی‌متر، بیشترین مقدار را در دورهٔ ده روز دارا بوده‌است.

برپایه نتایج بدست آمده از این تحقیق میانگین نیازآبی خالص ارقام گل رز در شرایط یادشده ۱۴۰۶۰ مترمکعب درهکتاردر سال بدست آمد. به‌دلیل اینکه در کشت هیدروپونیک از خاک به عنوان بستر استفاده نمی‌شود، برای کنترل شرایط بستر و حفظ PH مطلوب، آبشویی مداوم باید انجام شود. هم‌چنین آب آبیاری عناصر غذایی و معدنی را به گیاه انتقال می‌دهد. این عوامل موجب افزایش آب مصرفی و به دنبال آن افزایش زهاب می‌شود. براساس اندازه گیری مقدار آب خروجی از زهکش ها در طول اجرای تحقیق، آب خروجی از زهکش بستر رز رقم آتشی برابر ۴۷ درصد، رقم لب صورتی ۴۵ درصد و رقم رز سفید ۴۶ درصد مقدار نیاز آبی هریک از ارقام بودند که موجب کاهش کارایی مصرف آب و کود در این گلخانه ها می شود. کارایی مصرف آب و کود (با توجه به مغذی‌بودن فاضلاب‌ها) را می‌توان با استفاده از سیستم مدار بسته گلخانه که با تصفیه دوباره این پساب و بازچرخانی آنها امکان‌پذیر است، افزایش داد.

نتیجه‌گیری

گل رز شاخه بریده از جمله محصولات گلخانه‌ای‌است که دارای نیازآبی بالایی است و تصور استفاده از سیستم گلخانه در شرایط محدودیت آب در خصوص رز به ظاهر صدق نمی‌کند. این امر نشان می‌دهد که بدون داشتن برنامه‌ای جامع از الگوی کشت شهرک‌های گلخانه‌ای، برنامه‌ریزی برای تأمین و توزیع آب واحدها صحیح نخواهد بود و ممکن است برخی از واحدها را پس از راه‌اندازی با مشکلات جدی در خصوص حق‌آبه و تامین آب مورد نیاز مواجه نماید. هم‌چنین مقادیر آب مصرفی ارائه شده در این تحقیق در شرایط استاندارد گلخانه می باشد و با تغییر شرایط قرارگیری بسترها، تراکم بوته‌ها و فاصله آزاد بین بسترها و نیز استفاده از بسترهای طبقاتی مقدار آب مصرفی تغییر خواهد نمود.. با توجه به این‌که آب مصرفی در کشت هیدروپونیک علاوه بر رفع نیاز آبی گیاه، وظیفه انتقال عناصر غذایی و شستشوی املاح موجود در محیط ریشه را نیز برعهده دارد، میزان آب مصرفی در گلخانه و به‌دنبال آن هدررفت آب به‌صورت خروجی از زهکش بستر، افزایش می‌یابد که ضروری است برنامه ریزی مناسب برای استفاده دوباره از زهاب‌ها بمنظور افزایش بهره‌وری آب در گلخانه های هیدروپونیک انجام شود.

منابع مورد استفاده

امیری، م.ج.، عابدی کوپایی، ج و س.، اسلامیان. ۱۳۸۷. تعیین ضریب تشت کاهش یافته و کلاس A به منظور تخمین نیازآبی گیاهان گلخانه‌ای. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز. دانشکده مهندسی علوم آب. ۷ ص.

بی‌نام. ۱۳۹۲. رز. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی. موسسه تحقیقات علوم باغبانی. ۱۲۵ص.

دلاور، ا.، میرلطیفی، س.م و ق.، زارعی. ۱۳۹۴. برآورد نیازآبی و ضریب گیاهی گل مریم در شرایط کشت گلخانه‌ای شهرستان ورامین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۳، جلد ۹. صفحات ۴۸۹- ۴۸۱.

عبادزاده، ح.ر.، احمدی، ک.، محمدنیا افروزی، ش.، طاقانی، ر.ع.، عباسی، م و ش.، یاری. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی. جلد دوم. وزارت جهادکشاورزی معاونت برنامه ریزی و اقتصادی مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات. ۴۱۸ ص.

هاشمی‌نسب، ف.ا.، موسوی بایگی، م.، علیزاده، ا و ب.، بختیاری. ۱۳۹۳. برآورد ضرایب گیاهی و نیازآبی گیاه دائمی همیشه بهار در اقلیم نیمه خشک کرمان. نشریه هواشناسی کشاورزی. جلد ۲. شماره ۲. صفحات ۶۹-۶۲.

Allen, R.G. Pereira, L.S. Raes, D and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. In: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Roma, Italy.

.

Orgas., F. Fernandes., M.D. Bonachele., S. Galardo., M and E. Fereres E. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in a unheated plastic greenhouse. Agricultural Water Management. 72: 81-96.

Qiu., R.J. Kang., S.Z. Du., T.S. Tong., L. Hao., X.M. Chen., R.Q. Chen., J.L and F.S. 2013. Effect of convection on the Penman-Monteith model estimates of transpiration of hot pepper grown in solar greenhouse. Science Horticulture. 160. 163–171.

Singh., K. V. Tiwari., K.N and D.T Santosh. 2016. Estimation of Crop Coefficient and Water Requirement of Dutch Roses (Rosa hybrida) under Greenhouse and open field conditions. Irrigation Drainage System Engineering, 5(3):1-9.

Tiwari., K.N. Kumar., M. Santosh., D.T. Singh., V.K and M.K. Maji. 2014. Influence of drip irrigation and plastic mulch on yield of Sapota (Achras zapota) and Soil Nutrients. Irrigation and Drainage System Engineering. 3: 116-124.

Tiwari., K.N. Singh., A and P.K Mal. 2003. Effect of drip irrigation on yield of cabbage (Brassica oleracea L. var. capitata) under mulch and non-mulch conditions. Agricultural Water Management. 58: 19-28.

Water Requirement of Rose in Hydroponic Greenhouse using Lysimeter

Fatemeh Keykhaei and Ghasem Zaerei

Abstract:

One of the strategies to reduce water losses in agriculture is proper irrigation planning, which is the basis of accurate estimation of crop water requirement. In order to determine the evapotranspiration rate of three rose varieties, a one year study was conducted in a hydroponic greenhouse equipped with drip irrigation system in Arak plain using drainage lysimeters. Reference evapotranspiration was also determined using a drained microlysimeter with grass. The results showed that the total amount of reference evapotranspiration in the greenhouse was 1608 mm.Also, the total evapotranspiration value of Utopia rose during this growth period was 1423.5mm, Dolcevita rose 1480.2 mm and White rose 1313.8 mm. The average amount of evapotranspiration of rose cultivars was determined 3.8 mm/day in a year.

Keywords: Irrigation Planning, , Hydroponic, lysimeter.

شبیه‌سازی جریان باد در بخشی از شهر شیراز بوسیله دینامیک سیالات محاسباتی

فاطمه سادات علوی[۱*]، عبدالمجید ثامنی[۲]، سید علی اکبر موسوی[۲]، محمدامین نعمت اللهی[۳] ،مهروز رضایی[۴]، احمدرضا مهدوی پناه[۵]،

[۱] دانشجوی دکتری بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[۲] دانشیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[۳] استادیار بخش بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[۴] استادیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[۵] دانشجوی دکتری بخش هوا و فضا، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز

چکیده

جمعیت شهرنشینی به شدت رو به افزایش است این مسئله سبب تغییراتی در ماهیت زمین، اوضاع اقلیمی و نحوه توزیع جریان هوا و در نتیجه موجب کاهش کیفیت هوای شهر و تاثیر بر سلامت انسان می‌شود. از این رو پیش‌بینی الگوی جریان هوا در شهر و یافتن الگویی برای کاهش و پیشگیری هر چه بیشتر مخاطرات ذکر شده ضروری است. مطالعه حاضر روشی را برای شبیه‌سازی الگوی جریان باد با مدل مقیاس بزرگ مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای تخمین بهتر گردش باد بر روی ساختمان‌های موجود در منطقه شهری (گویم تا شهرک گلستان) با توپوگرافی واقعی پیشنهاد می‌کند.دامنه مورد بررسی به صورت مکعب مستطیل با ارتفاع 2200متر، طول 21000 متر و عرض 17000 متر در مقیاس ۱۰۰۰: ۱ با شرایط مرزی سرعت ورودی باد ۳ متر بر ثانیه و شبکه‌بندی دامنه محاسباتی ساختار یافته است. برای اعتبارسنجی نتایج سرعت باد از بادسنج در ۲۰ مکان و داده-های ایستگاه هواشناسی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. نتایج میانگین سرعت و فشار باد با خطای ۱۵ درصدی با خروجی‌های شبیه‌سازی هم‌خوانی داشت. بنابراین این روش می‌تواند برای مناطقی که نیاز است رفتار جریان هوا در آن‌ها پیش‌بینی شود بسیار مفید باشد.

واژگان کلیدی: دینامیک سیالات محاسباتی(CFD)، الگوی جریان هوا، مقیاس بزرگ، شبیه‌سازی، فشار باد، سرعت باد

مقدمه

جمعیت شهرنشینی به شدت رو به افزایش است (ورنی، ۲۰۱۴). این مسئله سبب تغییراتی در ماهیت و سطح زمین، اوضاع اقلیمی و نحوه توزیع جریان هوا و در نتیجه موجب پایین آمدن کیفیت هوای شهر و تاثیر بر سلامت انسان می‌شود (سالاتا و همکاران، ۲۰۱۷). جریان هوا نقش مهم و تاثیرگذاری بر پراکندن آلودگی جوی دارد (فن و ژنگ، ۲۰۱۷). علاوه بر این، توپوگرافی پیچیده طبیعی همراه با موقعیت ساختمان‌ها و سازه‌های آنها به عنوان موانعی در یک منطقه شهری، بر جهت، توزیع، سرعت و فشار باد نیز تأثیر می‌گذارد (مو و همکاران، ۲۰۱۷). از این رو پیش‌بینی الگوی جریان هوا در شهر و یافتن الگویی جهت کاهش و پیشگیری هر چه بیشتر مخاطرات ذکر شده ضروری است. بنابراین، درک جزئیات مربوط به مناطق شهری برای پیش‌بینی تنوع باد و جزئیات آن بسیار مهم است. به دلایل ذکر شده، کاربرد روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در مهندسی باد می‌تواند به عنوان یک گزینه جایگزین برای شبیه‌سازی مناسب جریان باد در اطراف ساختمان‌ها در مناطق شهری با توپوگرافی پیچیده در نظر گرفته شود (لی، ۲۰۱۶). نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که CFD پرکاربردترین ابزار برای شبیه‌سازی جریان هوا است (یو کووک و همکاران، ۲۰۱۷). زیرا این مدل بر پایه معادلات فیزیک و اثرات هندسی سه بعدی و شرایط محیطی است (جال، ۲۰۰۳). CFD از روش های عددی برای حل معادلات مختلف معادله رینولد میانگین با ناویر استوکس (RANS) (بوردین و ویلسون، ۲۰۰۸) و شبیه‌سازی بزرگ ادی (LES) (پاتون و همکاران، ۱۹۹۸) استفاده می‌کند. برای حل معادلات حرکت RANS، چندین روش تلاطم پیشنهاد شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به مدل‌های دو معادله‌ای مانند مدل‌های k-ε و k-ω اشاره کرد (عشنی عشری،۲۰۱۶). مطالعه حاضر روشی را برای شبیه‌سازی الگوی جریان باد با مدل مقیاس بزرگ مبتنی بر CFD برای تخمین بهتر گردش باد بر روی ساختمان‌های موجود در زمین‌های پیچیده در منطقه شهری پیشنهاد می‌کند. انتظار می‌رود این روش درک

* ایمیل نویسنده مسئول: fatemeh.sadat68@yahoo.com

بهتری از میزان باد، سرعت باد، توزیع باد و فشار و الگوهای آنها بر روی ساختمان‌های موجود در زمین پیچیده شیراز (گویم تا شهرک گلستان) را فراهم کند.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی جریان هوا در منطقه وسیعی از شهر شیراز

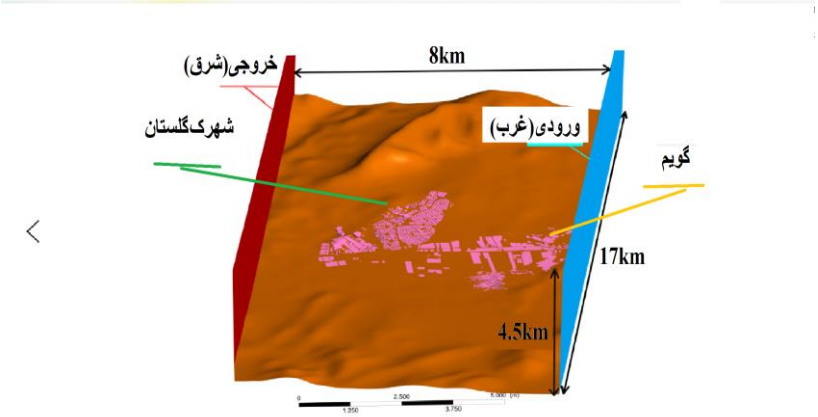
شبیه‌سازی جریان هوا (الگوی باد) در بخشی از شهر شیراز با توجه به داده‌های DEM انجام می‌شود. در این شبیه‌سازی از windographer به عنوان مدل هواشناسی و داده‌های هواشناسی از ایستگاه هواشناسی و سایر نرم‌افزارها مانند Google Mapper، Sketchup 17، Rhinoceros 5، Solid Works 19، Ansys نرم افزار Meshing 19.1، اتوکد... که برای مدل‌سازی باد استفاده شد. این شبیه‌سازی‌ها بر اساس مدل‌های CFD و معادلات RANS انجام شده است (تورنو و همکاران، ۲۰۱۱) که فرآیندهای حرکت، گرما و انتقال جرم را توصیف می‌کنند. این روش منطقه مورد مطالعه را به حجم کنترل‌های کوچک تقسیم می‌کند، جایی که معادلات ناویر- استوکس به صورت گسسته و حل شده تکرار می‌شود (تورنو و همکاران، ۲۰۱۱). از معادله پیوستگی به شرح زیر در روش مدل‌سازی CFD استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla.(\rho U) = 0 \qquad (1)$$

که در آن ρ چگالی ، ∇ اپراتور واگرایی ، U بردار سرعت و t زمان است.

شرایط مرزی حل

قسمت غربی شیراز، به عنوان جریان ورودی، شرق به عنوان جریان خروجی، بخش های شمالی, جنوبی و سمت بالا (آسمان) نیز به عنوان شرایط محیط تکراری در نظر گرفته شدند. سرعت باد ۳ متر بر ثانیه در نظر گرفتهشد شکل(۱).



شکل ۱. نمای شماتیک شرایط مرزی حاکم

برای مدل‌سازی جریان باد در منطقه مورد مطالعه، مدل توربولانسی $\kappa-\varepsilon$ برای حل سیستم معادلات حاکم بر شرایط مسئله استفاده شد (سونگ و همکاران ، ۲۰۱۴). و همچنین ورودی دامنه، سرعت باد، خروجی دامنه، فشار محیط و دیواره‌ها به عنوان شرایط Symmetry در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب این مدل این است که این مدل بالاترین ثبات را از نظر شرایط مرزی نشان می دهد.

دراین مطالعه پروفیل های سرعت باد با داده های تجربی و سه مدل عددی یعنی (CFD، power-law و logarithmic law) در دو نقطه با توپوگرافی متفاوت (در سطح زمین و دامنه تپه) بررسی شد.

power-law و logarithmic law دو روش تجربی محبوب برای بررسی مشخصات باد است. هر دو روش تحت تأثیر اصطکاک سطح بر سرعت باد توسط زبری سطح است.در لایه سطحی بالاتر از سطح صاف یا ربر ، مقدار متوسط سرعت باد جایی که اثر تنش برشی با ارتفاع تقریباً ثابت باشد،مطابق قانون لگاریتمی است:.

$$U(z)=\frac{u_*}{k}\ln(\frac{z}{z_0}) \qquad (10)$$

z ارتفاع از سطح زمین (متر) است ؛ k ضریب ون کارمان است که در بیشترین مطالعات لایه مرزی از ۰/۳۵ تا ۰/۴ متغیر است ، u_* فشار سطح یا اصطکاک سطح است. z_0 زبری سطح است که با طول زبری آیرودینامیکی سطح نشان داده می شود و به عنوان ارتفاعی که سرعت باد صفر است، تعریف می شود (گو و همکاران ،۲۰۱۲) .

power-law ، مشخصات متوسط سرعت را با یک تابع توان ساده از ارتفاع ، به عنوان معادله زیر توصیف می کند (دونگ و همکاران ، ۲۰۰۷).

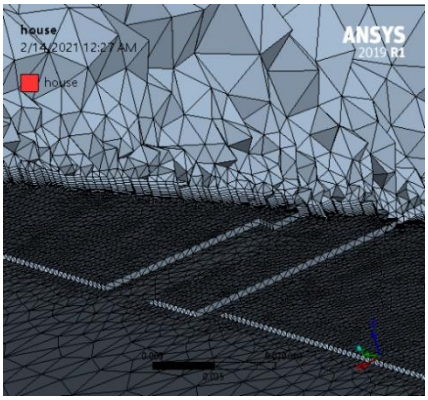
$$U(z)=U_{z0}(\frac{z}{z_0})^b \qquad (11)$$

b در محدوده بین ۰,۱ و ۰,۲ قرار می گیرد و با سرعت باد افزایش می یابد. این توان مربوط به طول زبری بر اساس معادله زیر است:

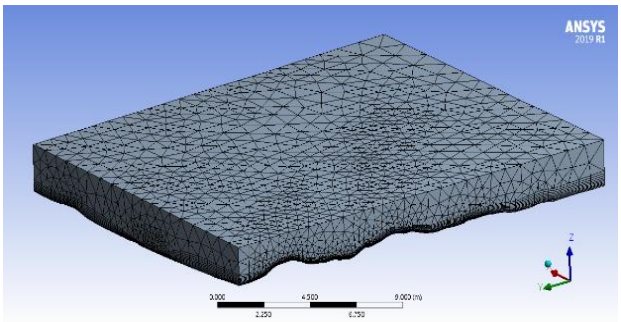
$$b=\left(\frac{1}{\log_e(\frac{z_{ref}}{z_0})}\right) \qquad (12)$$

شبکه بندی دامنه حل

دامنه حل انتخاب شده، مربوط به قسمت غربی شهر شیراز حد فاصل ورودی شهر (گویم) تا شهرک گلستان به ترتیب با طول، عرض و ارتفاع X × Y × Z = 17000 × 8000 × 4400 متر است (شکل‌های ۲ و۳). دامنه با۲×۱۰۶ سلول، که در نزدیکی سطح تراکم سلول افزایش می‌یابد، مش‌بندی و جواب‌ها از تعداد سلول‌ها مستقل شد. در این مطالعه مقیاس مدل ۱۰۰۰: ۱ انتخاب و از اثرات تعداد رینولدز صرف نظر شد (تانگ و همکاران، ۲۰۱۹). برای شبیه‌سازی زمین، زبری سطح با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.



شکل ۲ - نمایش شبکه در نزدیکی های سطح زمین در منطقه غرب شهر شیراز



شکل ۳- نمایش شبکه بندی کلی دامنه منطقه مورد مطالعه(گویم تا شهرک گلستان)

روش های شبیه سازی پیشنهادی با استفاده از داده های مشاهده (برای تجزیه و تحلیل سرعت باد) به دست آمده با داده های اندازه گیری هواشناسی و تجربی اعتبارسنجی شد.

نتایج و بحث

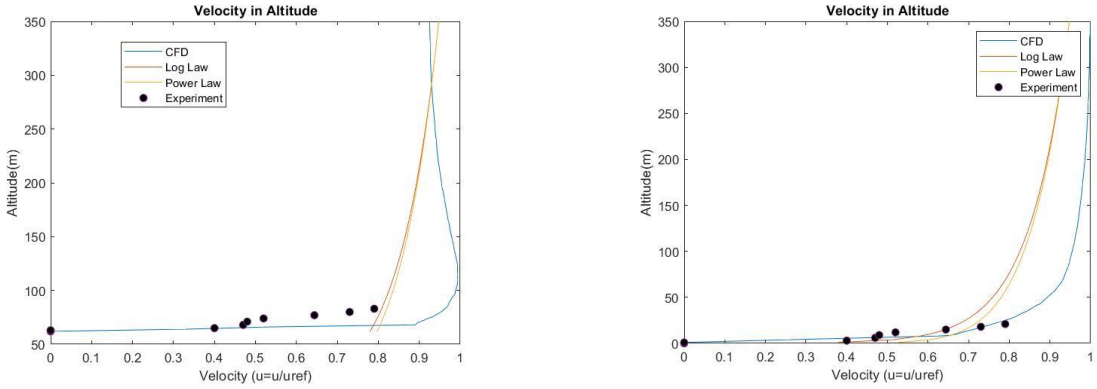
در این پژوهش، توزیع سرعت با نرم افزار CFD با توپوگرافی واقعی و در مقیاس بزرگ (از گویم تا شهرک گلستان) مطالعه و نتایج بدست آمده با داده های تجربی ارزیابی و تأیید شد.

توزیع سرعت باد در دو نقطه (سطح زمین و دامنه تپه)

به عنوان بخشی از مطالعه، پروفیل های سرعت باد با داده های تجربی و سه مدل عددی یعنی (CFD، power-law و logarithmic law) در دو نقطه با توپوگرافی متفاوت (در سطح زمین و دامنه تپه) بررسی شد. شکل۴ توزیع واقعی و شبیه سازی شده باد را در دو نقطه فوق الذکر نشان می دهد. اندازه گیری صفات (خصوصیات) باد بالاتر از ۲۵ متر به دلیل عدم وجود امکانات اندازه گیری، غیرممکن بود. نتایج CFD در مقایسه با دو مدل عددی کاربردی دیگر (قانون توابعی و قانون لگاریتمی) ، توافق بهتری با داده های تجربی در شرایط واقعی داشته است. بنابراین، در مطالعه حاضر، از روش CFD برای کل تجزیه و تحلیل استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که با افزایش ارتفاع، مقدار سرعت تا ارتفاع نزدیک به ۵۰ متر افزایش می‌یابد. این ارتفاع را می‌توان ضخامت لایه مرزی دانست که در آن تنش برشی ناچیز است. تغییرات در پروفیل سرعت و جهت باد به دلیل عوامل مختلفی از جمله نوع زمین، ویژگی‌های توپوگرافی و غیره است (لیو و همکاران، ۲۰۱۹). ویکس و همکاران (۲۰۱۰) نیز در مطالعه خود بر روی یک منطقه با ناهمواری‌های مختلف نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

توزیع سرعت باد در جهت عمودی

در شکل(۵) نمودارهای کانتور توزیع سرعت باد در جهت عمودی برای نشان دادن جزئیات بهتر از شیب سرعت باد و لایه مرزی بر

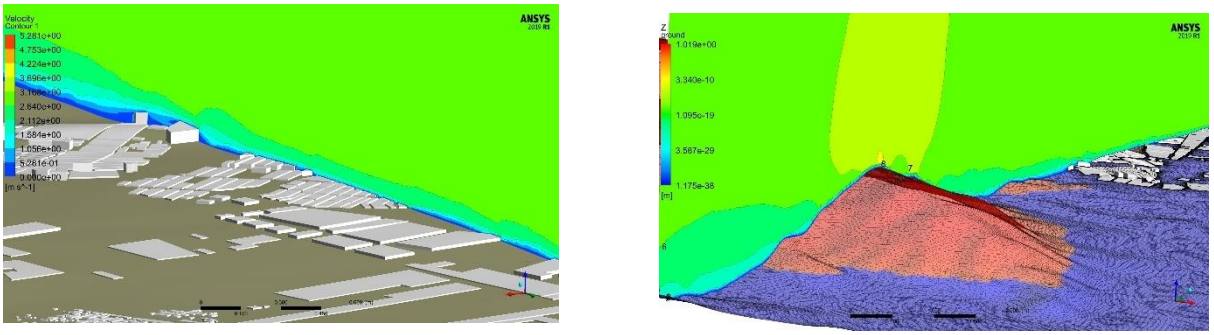


(ب) (الف)

شکل ۴: مقایسه سرعت باد شبیه‌سازی شده با مدل های مختلف (CFD، power-law و logarithmic law) با مقادیر اندازه‌گیری شده برای نقاط مختلفدر سطح زمین (الف) و روی دامنه تپه (ب)

روی توپوگرافی‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.

سرعت باد بالای قله تپه (شکل ۵ب) در مقایسه با سرعت باد در اطراف تپه ها تا۱۴/۳۲ درصد افزایش یافت. علاوه بر این، منطقه چرخشی که در بین ساختمان‌ها تشکیل شده است، در شکل ۵-الف آشکار است که به دلیل عبور جریان از سقف و گوشه ساختمان ها و ضربه به سایر موارد رخ می‌دهد. نشان داده شده که با افزایش ارتفاع، سرعت باد افزایش می‌یابد. این نتایج همچنین توسط عبد الال و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است. آنان در مطالعه خود در مورد توزیع سرعت باد در اطراف خانه های ویلایی با در نظر گرفتن اثر ویژگی‌های زمین دریافتند که خصوصیات توپوگرافی بر سرعت و جریانات باد تاثیر می‌گذارد.

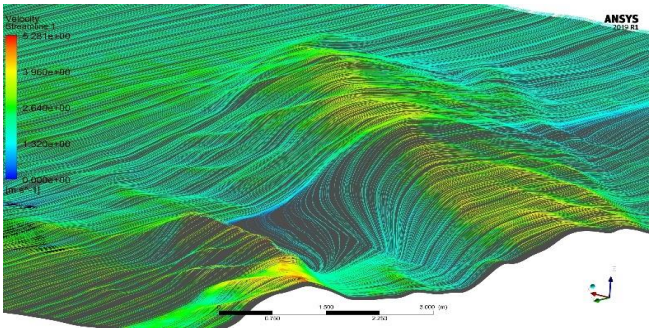


(ب) (الف)

شکل ۵- کانتور سرعت باد در امتداد صفحه سطح مقطع (الف) بر روی ساختمان‌ها و (ب) برروی تپه

توزیع جریان باد

برای بررسی بهتر خصوصیات جریان باد، سعی شد خطوط جریان ترسیم شود. شکل (۶) الگوی خطوط جریان را برای بخش‌های مختلف توپوگرافی نشان می‌دهد. بدیهی است که بالاترین (رنگ قرمز) و کمترین (رنگ آبی) مقادیر سرعت به ترتیب در نزدیکی بالای تپه‌ها و دره‌ها رخ می دهد. همچنین، تغییر جهت باد برای توپوگرافی‌های مختلف (دره ، تپه ها ، قله و سطح زمین) در شکل مشخص است.



شکل۶ : نمودار ساده جریان در منطقه مورد مطالعه برای توپوگرافی های مختلف

نتیجه‌گیری

دراین مطالعه الگوی سرعت و فشار باد برمنطقه شهری با توپوگرافی واقعی درمقیاس بزرگ بررسی شد. جریان باد تاثیر زیادی بر کیفیت هوا و سلامتی انسان دارد. از این رو شبیه‌سازی خصوصیات جریان باد ابزاری مهم برای پیش بینی سرعت و فشار باد برای برنامه ریزی شهری و بهداشت عمومی است. بنابراین، توصیه می شود تأثیر توپوگرافی‌ها و موانع مختلف در توپوگرافی واقعی در مقیاس بزرگ بر توزیع جریان باد در نظر گرفته شود.

Simulating wind flow over some parts of the Shiraz city using computational fluid dynamics (CFD)

Alavi*[1], F.S., Sameni [2], A., Moosavi, A.A. [1],M.A. Nematollahi[2], Rezaie, M.[3] , Mahdavi Panah, A.R[4]

[1] Ph.D. Student, Department of Soil Science and Engineering, , College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
[2] Associate Prof.,
Department of Soil Science and Engineering, , College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
[3] Assistant Prof.,
Department of Soil Science and Engineering, , College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

Corresponding author, Email: fatemeh.sadat68@yahoo.com

[4] Ph.D. Student, Department of Energy-Aerospace Engineering, , School of Mechanical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

Abstract

Population of cities are growing very fast, therefore, it causes changes to the environment, climate around the earth, distribution of air flow, thermal environment, and pollution. Therefore, it is necessary to predict the air flow pattern in the city and find a pattern to reduce and prevent the mentioned hazard as much as possible. The present study proposes a method for simulating the wind flow pattern with a large scale model based on CFD to better estimate the wind circulation on buildings in the urban area (Gouyom to Golestan town) with real topography. The studied domain is a rectangular cube with a height of 2200, length 21000m and width 17000m in a scale of 1: 1000. The boundary condition of the wind speed was considered as 3 m/ s, the computational domain structure is structured and the turbulence model is K-Ɛ. To validate the results, an anemometer in 20 locations and meteorological station data (in the covered area) is used. The average results has a 15% error with simulation outputs. Therefore, this method is very useful for areas where airflow behavior is required.

Keywords: Computational fluid dynamics (CFD), Air flow pattern, large scale, simulation,Wind velocit

References

Asnaashari, A. A. (2016). Experimental and numerical investigation of the flow field in the gradual transition of rectangular to trapezoidal open channels. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, *10*(1), 272–282.

Li, Z. L. (2007). Comparison between current and future environmental satellite images on cloud classification using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, *108*(3), 311-326.

Yu, X., Xie, Z., Zhua, J., & Gu, M. (2015). Interference effects on wind pressure distribution between two high-rise buildings. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *142*, 188-197.

Pan , Y., Zhang , B., Wu, Y., & Tian , Y. (2021). Sustainability assessment of urban ecological-economic systems based on emergy analysis: A case study in Simao, China. *Ecological Indicators*, *121*, 107-151. doi:doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107157

Liu, Y., Kumar, M., Katul, G. G., & Porporato , A. (2019). Reduced resilience as a potential early warning signal of forest mortality. *Ecological Society of America Annual Meeting*, *9*(11), 1-6. doi:10.1038/s41558-019-0583-9

Bourdin, P., & Wilson, J. D. (2008). Windbreak Aerodynamics: Is Computational Fluid Dynamics Reliable?. *Boundary-Layer Meteorology*, *126*(2), 181-208.

El-Sayed Abd-Elaal, Julie E. Mills, & Xing Ma. (2018). Numerical simulation of downburst wind flow over real topography. *Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, *172*, 85-95.

Guo, L., & Maghirang, R. (2012). Numerical simulation of airflow and particle collection by vegetative barriers. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, *6*(1), 110-122.

Mou, B., He, B.-J., Zhao, D.-X., & Chau, K.-w. (2019). Numerical simulation of the effects of building dimensional variation on wind pressure distribution. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, *11*(1), 293-309. doi:10.1080/19942060.2017.1281845

Patton, G. C., Carlin, J. B., Coffey, C., & Wolfe, R. (1998). Depression, anxiety, and smoking initiation: a prospective study over 3 years. *American Journal of Public Health*, *88*, 1518-22.

Perez, A., Jaster, D., Thill, J., & Porte-Agel, F. (2007). Wind velocity profiles and shear stresses downwind from a canopy: Experiments in a wind tunnel. University of Minnesota: St. *Anthony Falls Laboratory*.

Salata, F., Golasi, I., Petitti, D., Vollaro, L. E., Coppia, M., & Vollaroa, A. L. (2017). Relating microclimate, human thermal comfort and health during heat waves: An analysis of heat island mitigation strategies through a case study in an urban outdoor environment. *Sustainable Cities and Society*, *30*, 79-96.

Song, C.-F., Peng, L., Cao, J.-J., Mu, L., Bai, H.-L., & Liu, X.-F. (2014). Numerical Simulation of Airflow Structure and Dust Emissions behind Porous Fences Used to Shelter Open Storage Piles. *Aerosol and Air Quality Research*, *14*, 1584–1592.

Tang, D., Bao, S., Luo, L., Zhu, H., & Cui, H. (2019). A CFD/CSD coupled method with high order and its applications in flow induced vibrations of tube arrays in cross flow. *Annals of Nuclear Energy*, *130*, 347–356. doi:10.1016/j.anucene.2019.03.003.

TORNO, S., TORAÑO, J., MENÉNDEZ, M., GENT, M., & ÁLVAREZ, I. (2011). Experimental and numerical study of fence effects on dust emission into atmosphere from open storage piles. *Journal of Central South University of Technology*, *18*, 411-419.

Vernay , D. G., Raphael, B., & Smith, I. (2014). Augmenting simulations of airflow around buildings using field measurements . *Advanced Engineering Informatics*, *28*(4), 412–424. doi:10.1016/j.aei.2014.06.003

Wakes, S., Maegli , T., Dickinson, K., & Hilton, M. (2010). Numerical modeling of wind flow over a complex topography. *Environmental Modelling and Software*, *25*(2), 237-247. doi:10.1016/j.envsoft.2009.08.003

برآورد نیاز آبیاری گیاه یونجه در شبکه آبیاری یامچی واقع در دشت اردبیل

مریم صارمی[1*]، محسن براهیمی[2]، جمشید نوذری[3]

۱*- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه صنعتی اصفهان، کارشناس شرکت مهندسین مشاور آبگستران میهن،
ایمیل: m.saremi@ag.iut.ac.ir

۲- دکترای عمران، مدیر عامل و عضو هیئت مدیره شرکت مهندسین مشاور آبگستران میهن

۳- کارشناس، مدیر پروژه شبکه یامچی (شرکت مهندسین مشاور آبگستران میهن)

چکیده

تبخیروتعرق یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژی است که نقش قابل توجهی در مدیریت منابع آب دارا می‌باشد. یکی از کاملترین برنامه‌های نرم‌افزاری محاسبه تبخیروتعرق، برنامه REF-ET می‌باشد که در سال ۲۰۰۰ توسط آلن و همکارانش در دانشگاه آیداهو ارائه شده است. مطالعه‌ای به منظور برآورد نیاز آبی گیاه مرجع یونجه با استفاده از این نرم‌افزار، در شبکه آبیاری یامچی واقع در شهرستان اردبیل انجام گرفت. در این آزمایش با اخذ پارامترهای هواشناسی در دوره آماری ۲۱ ساله از ایستگاه سینوپتیک اردبیل (شامل دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل، سرعت باد در ارتفاع دو متری و ساعت آفتابی) مقادیر نیاز آبی گیاه یونجه با ۶ روش ترکیبی بر پایه پنمن محاسبه شد. براساس نتایج این تحقیق، مقدار نیاز آبیاری سالانه گیاه یونجه با روش فائو-پنمن- مانتیث ۴۷۴/۱۶ میلی‌متر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اردبیل، داده‌های هواشناسی، فائو- پنمن- مانتیث، نیاز آبی

مقدمه

حدود ۹۳/۵ درصد آب استحصالی از منابع سطحی و زیرزمینی کشور در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و در عین حال کمبود آب عامل اصلی محدود کننده‌ی تولید است (نورجو و همکاران، ۱۳۸۵). این در حالی است که رشد جمعیت و افزایش نیاز غذایی، نیازمند افزایش تولید از همان منابع محدود آب می‌باشد. بر همین اساس مدیریت صحیح بر منابع آبی مورد استفاده در اراضی کشاورزی و راهکارهای مربوطه جزء چالش‌های مهم خواهد بود. یکی از این راهکارها برآورد دقیق میزان نیاز آبی گیاهان است. بیش از ۵۰ روش تخمین تبخیروتعرق گیاه مرجع در قالب روش‌های ترکیبی، آئرودینامیک و تجربی ارائه شده است (Grismer et al, 2002). این نکته حائز اهمیت است که روش‌های تخمین تبخیروتعرق تابع شرایط اقلیمی می‌باشند و هر کدام از این روش‌ها برای اقلیم بخصوصی مناسب می‌باشند (Kodal, 1982).

استفاده از کامپیوتر از دهه ۱۹۶۰ سبب ایجاد مدل‌های کامپیوتری به منظور سرعت، سهولت و دقت در تعیین تبخیروتعرق بوده است. از جمله نرم‌افزارهایی که با استفاده از داده‌های هواشناسی تبخیروتعرق را بر مبنای روش پنمن مانتیث اصلاح شده محاسبه می‌نماید CROPWAT است (نیازی و همکاران، ۱۳۸۴). نرم‌افزارهایی به این سبک کاربران را محدود به استفاده از یک روش می‌سازد (Allen, 1997). Hess (1995) دو نرم‌افزار AWSET3 و DAILYET ارائه نمود که تبخیروتعرق را به صورت روزانه از طریق اطلاعات هواشناسی به روش ترکیبی پنمن مانتیث و شکل‌های مختلفی از معادله پنمن برآورد می‌نمایند. در سال ۲۰۰۴ دانشگاه لون بلژیک نرم‌افزار BUDGET را براساس معادله بیلان جرمی آب و نمک در حجم مشخصی از خاک پیشنهاد داد. نرم‌افزارهای فوق خاص ایستگاه‌های تحقیقاتی مجهز به دستگاه‌های ثبت اتوماتیک هستند. Allen et al (2000) ضمن توجه به قابلیت‌ها و محدودیت‌های نرم‌افزارهای پیشین با ارائه نرم‌افزار REF-ET توانستند محدودیت‌هایی نظیر تعداد روش‌های محاسباتی و قابلیت به کارگیری در ایستگاه‌های غیر استاندارد را مرتفع

سازند. در این برنامه از ۱۷ روش محاسبه تبخیروتعرق گیاه مرجع که از طرف سازمان خوار و بار کشاورزی مورد تأیید قرار گرفته‌اند استفاده شده است که برای دو نوع گیاه (چمن به عنوان گیاه مرجع کوتاه و یونجه به عنوان گیاه مرجع بلند) محاسبات را انجام می‌دهد. روش‌های لحاظ شده در نرم‌افزار شامل ۱۰ روش ترکیبی بر پایه پنمن، سه روش ترکیبی تشعشعی- دمایی، دو روش دمایی، یک روش تشعشعی و روش تشتک هستند. به نظر می‌رسد این نرم‌افزار یکی از کامل-ترین برنامه‌های محاسباتی تبخیروتعرق است که به منظور آسان‌سازی مقایسه بین روش‌های مختلف همراه با توانایی مقایسه آن‌ها با داده‌های لایسیمتری ارائه شده است. تحقیقات زیادی جهت برآورد تبخیروتعرق گیاه مرجع با استفاده از نرم‌افزار REF-ET صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

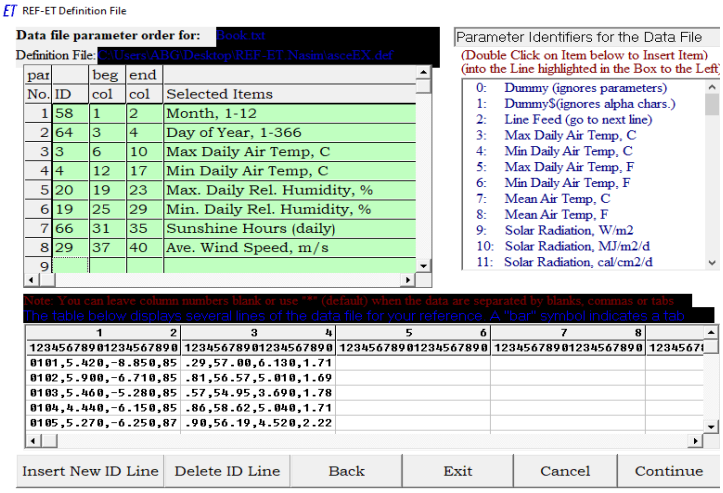
هاشمی گرم دره و همکاران (۱۳۸۵) تبخیروتعرق سالیانه اصفهان را با استفاده از پارامترهای هواشناسی ۴۳ ساله و نرم‌افزار REF-ET محاسبه کردند. بر همین اساس میزان تبخیروتعرق پتانسیل برای ۹ ماه از سال (بجز فصل زمستان) با استفاده از روش‌های پنمن فائو، تشعشی فائو، هارگریوز، پریستلی تیلور، ماکینگ و تورک به ترتیب برابر با ۱۵۴۲، ۱۸۴۸، ۱۳۴۷، ۱۱۷۲، ۱۱۰۷ و ۱۴۵۰ میلی‌متر بدست آمد. قاسمی و زارع ابیانه در همدان نیاز آبی چمن را با استفاده از نرم‌افزار REF-ET محاسبه کردند. بر همین اساس تبخیروتعرق بالقوه گیاه مرجع چمن، طی سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ به ترتیب ۱۲۰۳ و ۱۳۳۲ میلی‌متر برآورد گردید (قاسمی و زارع ابیانه، ۱۳۸۶). احمدپری و همکاران (۱۳۹۷) در مرودشت با استفاده از داده-های هواشناسی دوره آماری ۳۰ ساله و ۹ روش معتبر در نرم‌افزار REF-ET تبخیروتعرق پتانسیل را محاسبه کردند. بر اساس نتایج، روش پنمن ۱۹۴۸ به عنوان بهترین روش در محدوده مورد مطالعه تشخیص داده شد. Irmak et al (2003)، Dehghani_Sanij et al (2004) و Lopes- Urrea et al (2006) نشان دادند که ET_O محاسبه شده با استفاده از روش پنمن- مانتیث در اقلیم‌های مختلف به مقادیر اندازه‌گیری شده با لایسیمتر نزدیکتر می‌باشد. Dehghani_Sanij et al (2004) برای ایستگاه کرج فرمول پنمن- مانتیث را به عنوان مناسب‌ترین فرمول تعیین کردند.

با توجه به اهمیت کشت یونجه در شبکه آبیاری یامچی و با توجه به اینکه اندازه‌گیری نیاز آبی یونجه به روش مستقیم (لایسیمتری) بسیار پر هزینه و زمان‌بر می‌باشد، لذا این پژوهش با هدف برآورد تبخیروتعرق گیاه یونجه به روش غیرمستقیم با استفاده از نرم‌افزار REF-ET (۶ روش)، به منظور صرفه‌جویی و مدیریت آب در اراضی کشاورزی شبکه انجام شد.

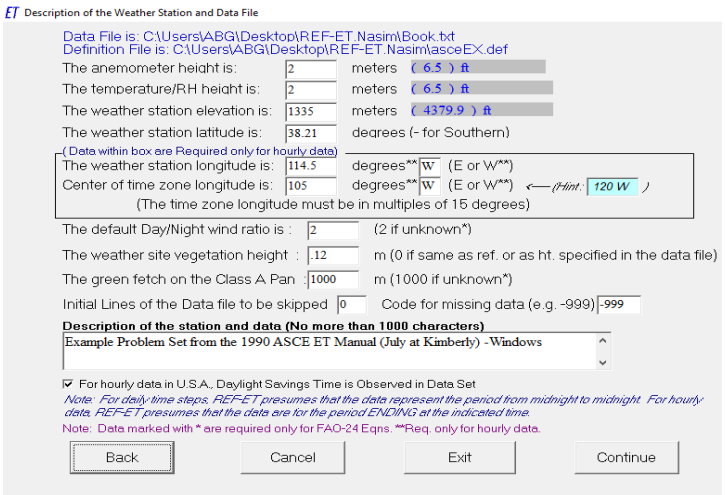
مواد و روش‌ها

شبکه آبیاری و زهکشی اردبیل در محدوده‌های مابین '۵ °۳۸ الی '۲۵ °۳۸ عرض شمالی و '۱۰ °۴۸ الی '۳۰ °۴۸ طول شرقی در شهرستان اردبیل واقع شده است. این منطقه از لحاظ موقعیت در غرب و شمال شهرستان اردبیل قرار دارد. اجزای این شبکه عبارتند از: بند انحرافی الماس، دریاچه شورابیل (مقدس اردبیلی)، سیستم انتقال آب، شبکه آبیاری و زهکشی یامچی و شبکه آبیاری علی‌بلاغی. اراضی شبکه در سه واحد آرایش یافته‌اند. برای تأمین آب مورد نیاز اراضی کشاورزی و همچنین دریاچه شورابیل در محل بند الماس آبگیری بعمل آمده و توسط کانال آب‌آور شورابیل تا حوالی روستای شام اسبی منتقل می‌گردد. سیستم آبیاری اراضی بالادست شبکه به صورت تحت‌فشار و سیستم آبیاری اراضی پایین‌دست شبکه به صورت تلفیقی شامل تحت‌فشار و سطحی اجرا شده است. آب مورد نیاز شبکه از سد اردبیل و حوضه میانی تأمین می‌شود.

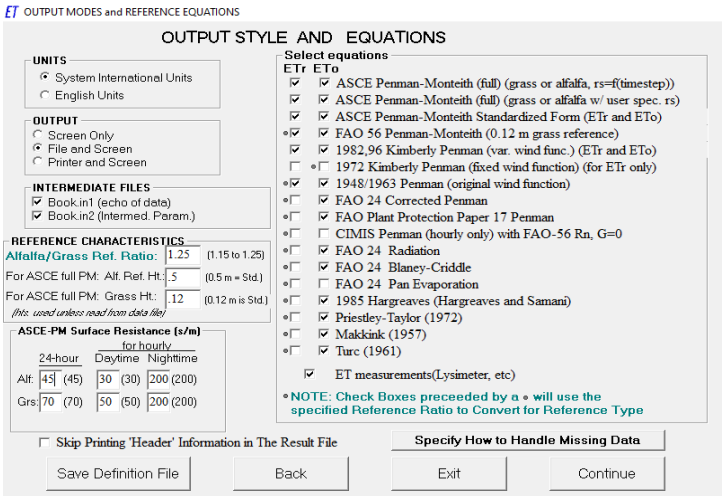
در حال حاضر در دشت اردبیل و در شبکه آبیاری یامچی، گیاه یونجه در سطح وسیعی کشت می‌شود که براساس دانش بومی منطقه و مصاحبه با جامعه هدف، این گیاه جزء محصولات پرمصرف شبکه می‌باشد. در این تحقیق به منظور تعیین نیاز آبیاری گیاه یونجه در شبکه آبیاری یامچی، از نرم‌افزار REF-ET استفاده گردید. بدین منظور اطلاعات مورد نیاز از جمله پارامترهای هواشناسی روزانه (میانگین داده‌های روزانه در دوره آماری ۲۱ ساله از ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ میلادی شامل دمای ماکزیمم و مینیمم، رطوبت نسبی ماکزیمم و مینیمم، سرعت باد و ساعات آفتابی که از ایستگاه سینوپتیک واقع در شهرستان اردبیل اخذ شده بود)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا)، اطلاعات مربوط به ایستگاه هواشناسی (ارتفاع بادسنج، ارتفاع دماسنج و رطوبت سنج، نسبت سرعت باد روز به شب، ارتفاع گیاه مرجع، مساحت فضای سبز اطراف تشت کلاس A و شماره سطری که اطلاعات هواشناسی در فایل اطلاعات شروع می-شود) وارد نرم‌افزار REF-ET گردید (شکل‌های ۱ و ۲)، سپس در صفحه‌ی مربوط به انتخاب معادلات، روابط مورد نظر با توجه به نوع گیاه مرجع، نوع خروجی، واحدهای آن و نحوه نمایش خروجی انتخاب شد (شکل ۳). در نهایت خروجی نرم-افزار شامل مقادیر تبخیر و تعرق روزانه گیاه یونجه بود.



شکل ۱- معرفی پارامترهای هواشناسی به نرم‌افزار REF-ET



شکل ۲- معرفی موقعیت ایستگاه هواشناسی به نرم‌افزار REF-ET



شکل ۳- انتخاب مدل‌های برآورد تبخیر- تعرق در نرم‌افزار REF-ET

در این تحقیق تبخیر- تعرق گیاه مرجع یونجه توسط ۶ مدل بصورت روزانه برآورد گردید. روابط استفاده شده برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه یونجه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- روابط استفاده شده برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاه مرجع یونجه

گروه	مدل استفاده شده برای گیاه مرجع یونجه	علامت اختصاری
	پنمن- مانتیث- فائو ۵۶	FAO56 PM
ترکیبی	پنمن ۱۹۴۸	1948 Pen
بر	کیمبرلی- پنمن ۱۹۹۶	1996 Kpen
پایه	پنمن- مانتیث آمریکا	ASCE PM
پنمن	پنمن- مانتیث اصلاح شده	ASCE PMrs
	پنمن- مانتیث استاندارد آمریکا	ASCEst PM

مرحله‌ی بعدی تعیین طول دوره رشد یونجه می‌باشد. جهت مشخص نمودن طول دوره رشد از اطلاعات ارائه شده در نشریه ۵۶ فائو و همچنین اطلاعات بومی منطقه استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به اینکه نرم‌افزار REF-ET مستقیماً به برآورد نیاز آبیاری یونجه می‌پردازد، لذا نیاز آبیاری روزانه‌ی گیاه مذکور با ۶ روش ترکیبی بر پایه پنمن (شامل پنمن- مانتیث آمریکا، پنمن- مانتیث اصلاح شده، پنمن- مانتیث استاندارد آمریکا، پنمن- مانتیث- فائو ۵۶، کیمبرلی- پنمن ۱۹۹۶ و پنمن ۱۹۴۸) محاسبه شد. نتایج مربوط به محاسبات نیاز آبیاری یونجه بصورت ۱۰ روزه از اول فروردین (۲۰ مارس) تا ۲۰ آذر (۱۰ دسامبر) در قالب جدول (۲) ارائه شده است. همانطور که گفته شد برای تعیین طول دوره رشد یونجه از اطلاعات بومی منطقه استفاده شده است.

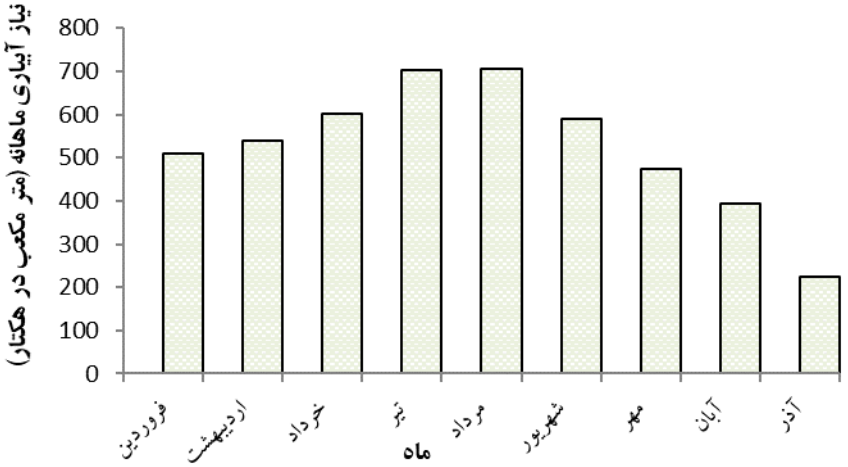
جدول ۲- خروجی مدل REF-ET برای محاسبه نیاز آبیاری یونجه در کل فصل رشد

Month	Decade	ماه	Irr.Req (mm/dec)					
			ASCE PM	ASCE PMrs	ASCEst PM	FAO56 PM	۱۹۹۶-۱۹۸۲ KPen	1948 Pen
Mar	3		۱۸/۹۳	۱۸/۹۰	۱۹/۱۵	۱۶/۶۰	۱۳/۰۸	۱۷/۴۱
Apr	1	فروردین	۱۷/۹۷	۱۷/۹۴	۱۸/۱۷	۱۴/۸۳	۱۱/۵۱	۱۴/۷۹
Apr	2		۲۳/۸۵	۲۳/۸۳	۲۴/۱۴	۱۹/۴۵	۱۵/۲۳	۱۸/۷۹
Apr	3		۲۳/۲۹	۲۳/۲۹	۲۳/۵۷	۲۰/۲۴	۱۶/۸۶	۲۰/۷۰
May	1	اردیبهشت	۲۱/۱۲	۲۱/۱۰	۲۱/۳۸	۱۷/۱۷	۱۴/۲۹	۱۶/۸۶
May	2		۱۹/۳۸	۱۹/۳۷	۱۹/۶۰	۱۶/۶۴	۱۴/۷۷	۱۷/۱۶
May	3		۲۳/۹۵	۲۳/۹۳	۲۴/۲۱	۲۱/۴۶	۱۹/۳۷	۲۲/۷۸
Jun	1	خرداد	۲۰/۴۲	۲۰/۴۰	۲۰/۶۲	۱۷/۵۳	۱۶/۶۸	۱۸/۰۴
Jun	2		۲۴/۴۸	۲۴/۴۸	۲۴/۷۴	۲۱/۲۴	۱۹/۳۵	۲۱/۶۸
Jun	3		۲۸/۸۲	۲۸/۸۰	۲۹/۱۱	۲۵/۸۳	۲۳/۶۱	۲۶/۶۰
Jul	1	تیر	۲۴/۲۷	۲۴/۲۴	۲۴/۵۲	۲۰/۸۴	۱۹/۳۴	۲۱/۱۳
Jul	2		۲۶/۸۹	۲۶/۸۵	۲۷/۱۴	۲۳/۵۱	۲۱/۳۹	۲۳/۹۳
Jul	3		۳۱/۴۷	۳۱/۴۵	۳۱/۷۷	۲۷/۹۷	۲۵/۴۵	۲۸/۷۳
Aug	1	مرداد	۲۵/۴۴	۲۵/۴۲	۲۵/۷۰	۲۱/۵۶	۲۰/۰۵	۲۲/۰۹
Aug	2		۲۳/۹۴	۲۳/۹۳	۲۴/۲۱	۲۱/۰۵	۲۰/۰۵	۲۱/۵۵
Aug	3		۲۷/۱۷	۲۷/۱۴	۲۷/۴۳	۲۴/۲۷	۲۲/۵۷	۲۵/۰۱
Sep	1	شهریور	۲۱/۲۶	۲۱/۲۴	۲۱/۵۲	۱۷/۸۴	۱۷/۱۳	۱۷/۶۹
Sep	2		۱۹/۲۸	۱۹/۲۷	۱۹/۵۰	۱۷/۰۱	۱۵/۹۷	۱۷/۴۹
Sep	3		۲۰/۹۹	۲۰/۹۸	۲۱/۲۱	۱۸/۶۸	۱۶/۵۷	۱۹/۳۷
Oct	1	مهر	۱۶/۳۶	۱۶/۳۳	۱۶/۵۵	۱۳/۹۸	۱۲/۶۰	۱۴/۶۸
Oct	2		۱۶/۸۳	۱۶/۸۱	۱۷/۰۳	۱۴/۸۰	۱۲/۸۴	۱۵/۶۵
Oct	3		۱۷/۴۰	۱۷/۳۹	۱۷/۶۰	۱۵/۸۱	۱۳/۵۶	۱۶/۸۵
Nov	1	آبان	۱۳/۱۷	۱۳/۱۶	۱۳/۳۵	۱۱/۴۸	۱۰/۰۷	۱۲/۲۶
Nov	2		۱۳/۵۶	۱۳/۵۴	۱۳/۷۳	۱۱/۹۸	۹/۹۶	۱۲/۹۷
Nov	3		۱۵/۰۶	۱۵/۰۴	۱۵/۲۵	۱۳/۴۴	۱۱/۴۵	۱۴/۵۶
Dec	1	آذر	۱۰/۱۱	۱۰/۰۷	۱۰/۲۳	۸/۹۵	۷/۳۵	۹/۶۱
Dec	2							
Dec	3							
Jan	1	دی						
Jan	2							
Jan	3							
Feb	1	بهمن						
Feb	2							
Feb	3							
Mar	1	اسفند						
Mar	2							
مقدار آب مورد نیاز برای کل فصل رشد			۵۴۵/۴۱	۵۴۴/۹۰	۵۵۱/۴۳	۴۷۶/۱۶	۴۲۱/۱۰	۴۸۸/۳۸

براساس نتایج جدول (۲)، مقدار آب مورد نیاز آبیاری گیاه یونجه حاصل از روش‌های پنمن- مانتیث آمریکا، پنمن- مانتیث اصلاح شده، پنمن- مانتیث استاندارد آمریکا، پنمن- مانتیث- فائو ۵۶، کیمبرلی- پنمن ۱۹۹۶ و پنمن ۱۹۴۸ به ترتیب برابر با ۵۴۵۴/۱، ۵۴۴۹، ۵۵۱۴/۳، ۴۷۴۱/۶، ۴۲۱۱ و ۴۸۸۳/۸ متر مکعب در هر هکتار می‌باشد. بر همین اساس روش پنمن- مانتیث استاندارد آمریکا با ۵۵۱۴/۳ متر مکعب در هکتار مقدار نیاز آبیاری را بیشتر از سایر روش‌ها برآورد کرده است. روش کیمبرلی- پنمن ۱۹۹۶ با مقدار ۴۲۱۱ متر مکعب در هکتار نیز کمترین برآورد را از نیاز آبیاری داشته است.

با توجه به اینکه روش فائو- پنمن- مانتیث از سوی سازمان خواروبار کشاورزی به عنوان روش استاندارد برای محاسبه نیاز آبی پیشنهاد شده است؛ لذا در این تحقیق از بین ۶ روش موجود در نرم‌افزار REF-ET که نیاز آبیاری گیاه یونجه را برآورد کردند روش فائو- پنمن- مانتیث مبنای محاسبات و مقایسات قرار داده شده است. بر همین اساس و با توجه به نتایج جدول (۲) روش پنمن ۱۹۴۸ با اندکی اختلاف، نتایج مشابهی با روش فائو- پنمن- مانتیث ارایه داد . روش‌های پنمن- مانتیث آمریکا، پنمن- مانتیث اصلاح شده و پنمن- مانتیث استاندارد آمریکا برآورد مشابهی از نیاز آبیاری یونجه داشتند و مقادیر برآوردی حاصل از این سه روش بیشتر از روش فائو- پنمن- مانتیث می‌باشد. همچنین روش کیمبرلی پنمن ۱۹۹۶ نسبت به روش فائو- پنمن- مانتیث مقدار نیاز آبیاری را کمتر برآورد می‌کند.

براساس نتایج جدول (۲)، تغییرات نیاز آبی گیاه یونجه در طول فصل رشد حاصل از ۶ روش مختلف مدل REF-ET از روند مشابهی تبعیت می‌کند. در شکل (۴) روند تغییرات ماهانه نیاز آبی گیاه یونجه در شبکه یامچی حاصل از روش فائو- پنمن- مانتیث نمایش داده شده است.



شکل ۴- روند تغییرات ماهانه نیاز آبیاری گیاه یونجه حاصل از مدل REF-ET (روش فائو- پنمن- مانتیث)

با توجه به شکل (۴)، میزان نیاز آبیاری حداکثر در مرداد و میزان نیاز آبیاری حداقل در آذر ماه اتفاق افتاده است.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این تحقیق، مقدار آب مورد نیاز آبیاری گیاه یونجه حاصل از روش‌های پنمن- مانتیث آمریکا، پنمن- مانتیث اصلاح شده، پنمن- مانتیث استاندارد آمریکا، پنمن- مانتیث- فائو ۵۶، کیمبرلی- پنمن ۱۹۹۶ و پنمن ۱۹۴۸ به ترتیب برابر با ۵۴۵/۴۱، ۵۴۴/۹، ۵۵۱/۴۳، ۴۷۴/۱۶، ۴۲۱/۱ و ۴۸۸/۳۸ میلی‌متر می‌باشد و روش پنمن ۱۹۴۸ با روش فائو-

پنمن- مانتیث همخوانی بیشتری دارد. بطور کلی مقادیر برآورد شده حاصل از این تحقیق جهت برنامه‌ریزی آبیاری بسیار حائز اهمیت است و لذا استفاده از نرم‌افزارهایی همچون REF-ET جهت تعیین نیاز آبی گیاهان پیشنهاد می‌گردد.

منابع

احمدپری، ه. معصومی، م. حمزه، س. پاک پرور، م. (۱۳۹۷). برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با استفاده از روش‌های موجود در مدل REF-ET و مقایسه روش‌های مورد بحث با روش فائو پنمن مانتیث (مطالعه موردی: شهرستان مرودشت). چهارمین همایش بین‌المللی مهندسی کشاورزی و محیط زیست با رویکرد توسعه پایدار. شیراز.

قاسمی، ع. زارع ابیانه، ح. (۱۳۸۶). ارزیابی نرم‌افزار REF-ET در تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان.

نورجو، ا. عباسی، ف. بقایی کیا، م. جدایی. ع. (۱۳۸۵). تأثیر کم آبیاری بر کمیت و کیفیت چغندرقند در منطقه میاندوآب. مجله چغندرقند. ۲۲(۲):۶۶-۵۳.

نیازی، ج.ا. فولادمند، ح.ر. احمدی، س.ح. وزیری. ژ. (۱۳۸۴). نیازآبی و ضریب‌گیاهی گندم در منطقه زرقان استان فارس. مجله علوم و فنون کشاورزی در منابع طبیعی. ۹(۱):۷-۱.

هاشمی گرم‌دره، س. ا. مصطفی‌زاده، ب. حیدرپور، م. (۱۳۸۵)، راهنمای استفاده از برنامه REF-ET جهت برآورد تبخیر تعرق (مطالعه موردی: منطقه اصفهان). اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده-رود. دانشگاه شهرکرد. ۱۹۸۲-۱۹۷۵.

Allen, R.G., (2000). Manual REF-ET: Reference evapotranspiration calculation software, university of Idaho, Version3.1.15 for windows. Available online at http://www. Kimberly.aidaho.edu/. Lastaccess date: 27 Nov. 2013.

Allen, R.G., (1997). A self-calibration method for estimating solar radiation from air temperature, Journal of Hydrologic Engineering (ASCE). 2(2):56-67.

Dehghani_Sanij, H., Yamamoto, T., Rasiah, V., (2004). Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semiarid environments. Agricultural Water Management, 64(2):91-106.

Grismer, M.E., Orange, M., Snyder, R., Matyac, R., (2002). Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128(3):180-184.

Hess, T.M., (1995). Potential evapotranspiration for automatic weather stations (Version2.01) [AWSET]. Silso College. UK.

Irmak, S., Irmak, A., Allen, R.G., Jones, J.W., (2003). Solar and net radiation- based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 129(5):336-347.

Kodal, S., (1982). A research on determination of proper evapotranspiration method in central Anatolia, Turkey.Ph.D. Irrigation Department, Ankara University, Ankara.

Lopes- Urrea, R., Martin de santa Olalla, F., Fabeiro, C., Moratalla, A., (2006). Testing evapotranspiration equation using lysimeter observations in a semiarid climate. Agricultural Water Management, 85:15-26.

Estimation of alfalfa irrigation Requirement in Yamchi irrigation network located in Ardabil plain

Maryam Saremi [1*], Mohsen Barahimi [2], Jamshid Nozari [3]

1. Phd Student at Irrigation and Drainage in Isfahan University of Technology, Expert of Abgostaran Mihan Consulting Engineers Company, Email: m.saremi@ag.iut.ac.ir

2. PhD in Civil Engineering, Managing director and member of the board of directors of Abgostaran Mihan Consulting Engineers Company
3. Expert, Yamchi Network Project Manager (Abgostaran Mihan Consulting Engineers Company)

Abstract

Evapotranspiration is one of the main components of the hydrological cycle that plays a significant role in the management of water resources. One of the most complete software programs for calculating evapotranspiration is the REF-ET program, introduced in 2000 by Allen and colleagues at the University of Idaho. A study was conducted to estimate the water requirement of alfalfa reference crop using this software in Yamchi irrigation network located in Ardabil city. In this experiment, by obtaining meteorological parameters in a 21-year statistical period from Ardabil synoptic station (including maximum and minimum temperature, maximum and minimum relative humidity, wind speed at a height of 2 meters and sundial), alfalfa water requirement values with 6 combined methods based Penman was calculated. According to the results of this study, the annual irrigation requirement of alfalfa crop by FAO-Penman-Monteith method is 474.16 mm.

Keywords: Ardabil, FAO-Penman-Monteith, Meteorological Data, Water Requirement

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

برآورد سطح زیر کشت برنج در منطقه لنجان با استفاده از داده‌های سنجش از دور

علی مرشدی[1*]

۱- استادیارپژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی،شهرکرد،ایران

*نویسنده مسئول: alimorshedi@hotmail.com

چکیده

در سال‌های اخیر، استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات کشاورزی گسترش فراوانی پیدا کرده است. تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی از نیازهای اساسی برای مدیریت و نظارت زیست محیطی است. هدف این تحقیق، تعیین سطح زیر کشت برنج در محدوده مورد مطالعه (اراضی برنجکاری در اصفهان) با استفاده از سه تصویر ماهواره لندست ۸ بود. طبقه‌بندی اراضی و برآورد و محاسبات آماری از منطقه مورد مطالعه حاکی از آن است که از کل پهنه که برابر با ۲۶۳۴ کیلومترمربع برآورد شده است، نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۵ اراضی با پوشش برنج (شالیکاری) برابر با ۴۹۰۰ هکتار، سال ۱۳۹۷ (۲۶۷۰ هکتار) و سال ۱۳۹۸ (۹۸۳۰ هکتار) می‌باشند. به منظور صحت‌سنجی از برآوردهای صورت گرفته ناشی از پردازش داده‌های ماهواره‌ای بر نقاط کنترل زمینی، صحت آمار مذکور بیش از ۹۰ درصد برآورد می‌شود.

واژگان کلیدی: اصفهان، برنج، لندست، طبقه‌بندی اراضی

مقدمه

در سال‌های اخیر، استفاده از تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات کشاورزی و تهیه نقشه‌های موضوعی گسترش فراوانی پیدا کرده است. تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی از نیازهای اساسی برای مدیریت و نظارت زیست محیطی است. این نقشه‌ها در برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌ها در بخش‌های مختلف استفاده می‌شوند. مطالعه مکان‌های زیر کشت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای موجود و تهیه نقشه اراضی زیر کشت آن در هر سال می‌تواند دولت را در مدیریت بهینه این اراضی و برنامه‌ریزی برای توزیع محصولات کمک کند (خلفی و داورپناه، ۱۳۸۷). پژوهش‌های فراوانی در زمینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شده است از جمله احمدپور و همکاران (۲۰۱۴) از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و IRS استفاده کرده و با سه روش حداقل فاصله از میانگین، متوازی‌السطوح و حداکثر احتمال به طبقه‌بندی اراضی در استان خراسان پرداختند. در پژوهش آنها روش حداکثر احتمال بهترین کارایی را نشان داد (احمدپور و همکاران، ۲۰۱۴). احمد و کوگان (۲۰۱۳) نیز در پژوهشی از تصاویر Landsat 7 و روش حداکثر احتمال برای طیقه‌بندی استفاده کردند و مشاهده نمودند که روش حداکثر احتمال دقت بالاتری را نسبت به طبقه بندی نظارت شده نشان داد. طی پژوهشی ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) از تصاویر ماهواره MODIS و شاخص NDVI استفاده کردند تا مساحت اراضی برنج، سویا و ذرت را تعیین کنند. این پژوهشگران مشاهده کردند که آمار بدست آمده با تصاویر ماهواره ای نسبت به آمار سازمان فائو کمتر از ۱۰ درصد اختلاف را برای هر سه کشت نشان داد.

به منظور طبقه‌بندی محصولات کشاورزی با کمک تصاویر چند زمانه سنتینل ۲ طی دو سال زراعی، نتایج نشان داد که در ابتدای فصل رشد، دقت نسبتاً پایینی برای طبقه‌بندی بدست آمد ولی پیش‌بینی مدل جنگل تصادفی برای ۹ محصول با دقت کلی ۹۵ درصد بود (Vuolo et al., 2018). از تصاویر سنتینل دو، برای تعیین مساحت اراضی و طبقه‌بندی محصولات زراعی در منطقه‌ای در ایتالیا، استفاده شد و دقت کلی ۰/۹۱ به دست آمد (Khaliq et al., 2018). کامکار و همکاران (۱۳۹۸) نیز سطح زیرکشت برنج و سویا را با تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و فاصله ماهالانوبی در استان گلستان بررسی کرده و نشان دادند که روش حداکثر احتمال با ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب معادل ۹۲ درصد و ۹۵/۵ درصد، مناسب بوده است.

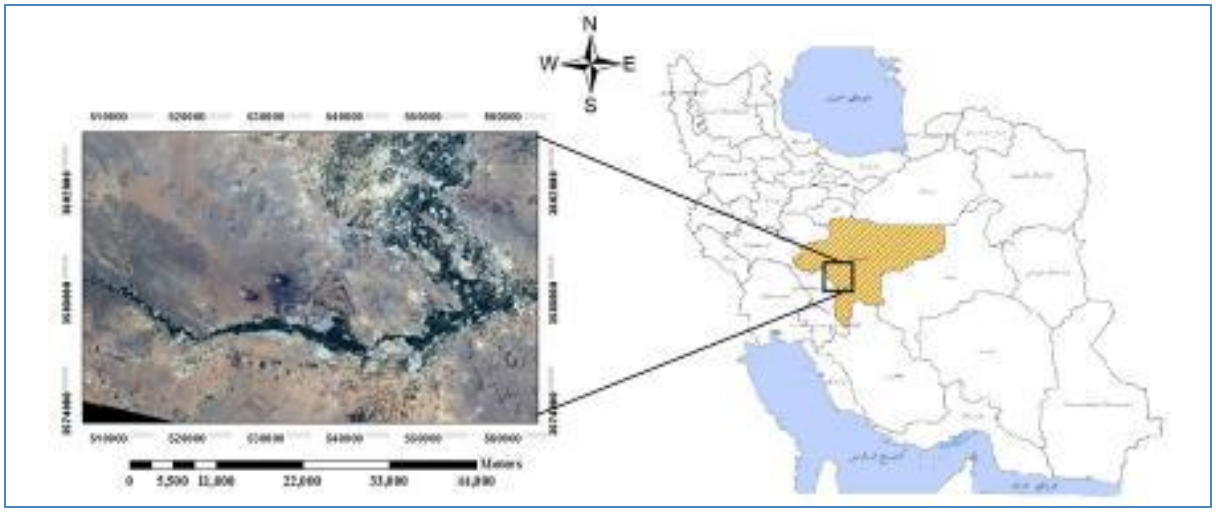
مواد و روش‌ها

مساحت منطقه مورد مطالعه برابر با ۲۶۳۴ کیلومترمربع و بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵۷۰۹۶۰ تا ۳۶۱۰۱۴۰ شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۹۶۰۲۰ و ۵۶۳۲۵۰ شرقی واقع شده است. در این تحقیق با توجه به هدف‌گذاری تهیه سطح زیر کشت برنج در محدوده مورد مطالعه و بررسی تقویم کشت برنج از سه تصویر ماهواره لندست ۸ مربوط به مسیر گذر ۱۶۴ و ردیف گذر ۳۷ در روزهای ژولیوسی ۲۳۶ (۲۳ آگوست سال ۲۰۱۶ برابر با ۲ شهریور ۱۳۹۵)، ۲۴۱ (۲۹ آگوست سال ۲۰۱۸ برابر با ۷ شهریور ۱۳۹۷) و ۲۴۴ (اول سپتامبر۲۰۱۹ برابر با ۱۰ شهریور ۱۳۹۸) استفاده شد. به منظور تشخیص بهتر کاربری‌های اراضی در محدوده مورد بررسی از تصاویر فصل زمستان (۱۱ دی برابر با اول ژانویه) سال‌های مشابه نیز استفاده شد تا تشخیص، تفسیر و طبقه‌بندی صحیح‌تری از پوشش‌های گیاهی دائمی (جنگل و باغ) و پوشش‌های گیاهی موقتی (مرتع، زراعت و آیش) به عمل آید. تصاویر ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای مرئی و ۶۰ متر برای باند حرارتی و قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر برای باند پانکروماتیک استفاده شد. قدرت تفکیک رادیومتریک برای لندست ۸ برابر با ۱۶ بیت می‌باشد.

تعداد ۵۰ مزرعه برنج به عنوان نقاط تعلیمی انتخاب شد و شاخص NDVI مبنای ارزیابی قرار گرفت. مقدار عددی این شاخص بین مثبت ۱ و منفی ۱ قرار دارد و مقادیر مثبت نشان از افزایش تراکم و مقادیر اندک ، حاکی از تراکم اندک پوشش گیاهی را نشان می‌دهد (Adamchuk, Perk, & Schepers, 2003).

$$NDVI = (NIR-Red)/(NIR+Red) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه ۱ پارامتر NIR رفلکتانس مادون‌قرمز نزدیک (باند ۵) و پارامتر RED رفلکتانس قرمز (باند ۴) در ماهواره لندست ۸ است. این باندهای ماهواره دارای قدرت تفکیک ۳۰ متری هستند.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و اراضی با سابقه کشت برنج (شالیکاری)

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

منظور از طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای، تفکیک مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی تصاویر به گروه‌ها یا طبقاتی است که در هر طبقه، طیف‌ها با یک ارزش واحد قرار می‌گیرند (زبیری و مجد، ۱۳۷۵). اساس کار طبقه‌بندی اطلاعات، بر مقایسه ارزش طیفی پیکسل‌های تصویر با نمونه‌هایی است که مفسر آن‌ها را معرفی کرده یا با کلاس‌ها یا با طبقات اولیه‌ای است که به طور خودکار هنگام تفسیر رقومی، تشکیل می‌شوند. به این‌ترتیب، پیکسل‌هایی که ارزش طیفی آن‌ها از نظر آماری، اختلاف معنی داری ندارند در یک گروه یا طبقه طیفی قرار می‌گیرند. در حقیقت فرآیند طبقه‌بندی تصویر، تبدیل داده‌ها به اطلاعات قابل درک است (مونتراکیس، ۲۰۱۱). اساس طبقه‌بندی رقومی تصاویر سنجش از دور بر این مبنا است که اثر طیفی مربوط به

هر عارضه، پوشش‌دهنده تصویر منحصر به فرد است (اومن، ۲۰۰۸). به‌طورکلی برای طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای از دو روش اصلی استفاده می‌شود که عبارتند از طبقه‌بندی با نظارت[۱] و طبقه‌بندی بدون نظارت[۲]. در این تحقیق، از طبقه‌بندی نظارت‌شده به همراه تلفیقی از تجارب بصری و مطالعات میدانی مفسر برای کلاسه‌بندی پیکسل‌ها استفاده شد.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

صحت اطلاعات در واقع میزان احتمال درستی اطلاعات است (رایت و موریس،۱۹۹۷). برای ارزیابی دقت و صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده با مطابقت دادن نقشه‌های طبقه‌بندی شده با نقشه واقعیت زمینی حاصل از مطالعات میدانی، ماتریس خطا[۳] تشکیل و بر اساس آن صحت کلی[۴] و ضریب کاپا[۵] محاسبه شد. در معادله‌های مورد استفاده، Po عبارت است از درستی مشاهده شده، Pc توافق تصادفی، Xij عناصر قطر اصلی جدول ماتریس خطا، N تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده در جدول ماتریس خطا، Xi مجموع پیکسل‌های ردیف i ام و Xj مجموع پیکسل‌های ردیف j ام جدول ماتریس خطا.

رابطه ۲ – ضریب کاپا

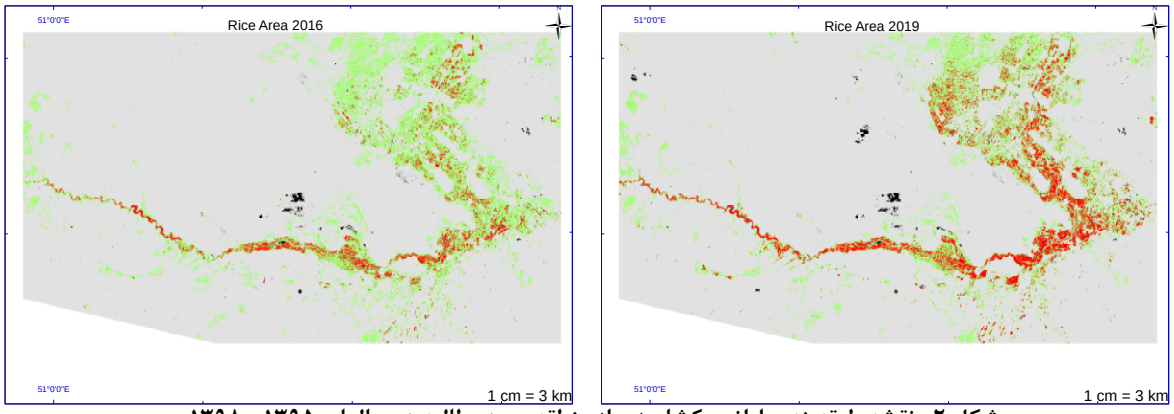
$$KIA = \frac{(P_o - P_c)}{(1 - P_c)}$$

رابطه ۳ – درستی مشاهده شده

$$P_o = \frac{\Sigma(X_j)}{N}$$

نتایج و بحث

بر اساس تصویر ماهواره لندست ۸ در روز ۲۳ آگوست سال ۲۰۱۶ برابر با ۲ شهریور ۱۳۹۵ و تهیه تصویر کاذب رنگی (FCC[۶]) از محدوده مورد مطالعه، مناطق زیر کشت برنج به رنگ قرمز، سایر محصولات زراعی به رنگ سبز، پهنه‌های آبی با رنگ سیاه و سایر اراضی به رنگ خاکستری نمایش داده می‌شوند. طبقه‌بندی اراضی و برآورد و محاسبات آماری از منطقه مورد مطالعه حاکی از آن است که از کل پهنه که برابر با ۲۶۳۴ کیلومترمربع برآورد شده است، نتایج بدست آمده نشان می‌دهد در سال ۱۳۹۵ اراضی با پوشش برنج (شالیکاری) برابر با ۴۹۰۰ هکتار، سال ۱۳۹۷ (۲۶۷۰ هکتار) و سال ۱۳۹۸ (۹۸۳۰ هکتار) می‌باشند. به منظور صحت‌سنجی از برآوردهای صورت گرفته ناشی از پردازش داده‌های ماهواره‌ای بر نقاط کنترل زمینی، صحت آمار مذکور حدود ۹۰ درصد برآورد شد.



شکل ۲- نقشه طبقه‌بندی اراضی کشاورزی از منطقه مورد مطالعه در سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۸

[1] Supervised Classification
[2] Unsupervised Classification
[۳] Confuse Matrix
[۴] Overall Accuracy
[۵] Kappa Coefficient
[۶] False Color Composite, FCC

به منظور مقایسه تاریخی از تغییرات حاصل در سطح زیر کشت در منطقه مطالعاتی مشاهده میشود که سطح زیر کشت برنج به میزان بسیار گسترده‌ای در طول سه سال تحقیق متفاوت بوده و مطابق و ناشی از تخصیص آب کشاورزی در سال‌های پژوهش به کشت برنج بوده است.

منابع

۱. احمدپور، ا.، سلیمانی، ک.، شکری، م.، و قربانی، ج. (۲۰۱۴). مقایسهٔ میزان کارآیی سه روش رایج طبقه بندی نظارت شده داده های ماهواره ای در مطالعهٔ پوشش گیاهی. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۳)، ۷۷-۸۹.

۲. خلفی، ج. و غ. ر. داورپناه. ۱۳۸۷. تخمین سطح و تهیه نقشه اراضی زیر کشت گندم دیم با استفاده از GIS و سنجش از دور در حوزه آبخیز زنجانرود. همایش ژئوماتیک ۸۷، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران.

۳. زبیری، م . و ع. مجد. ۱۳۷۵. آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد آن در منابع طبیعی، اطلاعات ماهواره‌ای، عکس هوایی و فضایی. انتشارات دانشگاه تهران.

۴. کامکار، ب.، دشتی مرویلی، م.، و کاظمی، ح. (۲۰۱۹). تفکیک اراضی زیر کشت برنج و سویا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در الگوهای کاشت تابستانه جهت تحلیل تغییرات سطح زیر کشت دو محصول در چهار حوضه آبخیز استان گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۶(۱)، ۱۵۱-۱۶۷.

5. Adamchuk, V. I., Perk, R. L., & Schepers, J. S. (2003). EC03-702 Precision Agriculture: Applications of Remote Sensing in Site-Specific Management .
6. Ahmad, A., & Quegan, S. (2013). Comparative analysis of supervised and unsupervised classification on multispectral data. Applied Mathematical Sciences, 7(74), 3681-3694 .
7. Jin L. and Young W. 2001.Water use in agriculture in china. Water Policy, 3:215-228.
8. Khaliq, A., Peroni, L., & Chiaberge, M. (2018). Land cover and crop classification using multitemporal sentinel-2 images based on crops phenological cycle. Paper presented at the 2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS).
9. Wu T.L. 2008. Eco-economic efficiency analysis on different cropping pattern in North China Plain. Master Dissertation of China Agriculture University.

Estimation of area under rice cultivation in Lenjan region using remote sensing data

Ali Morshedi [1*]

1- Dept. of Soil and Water Res., Chaharmahal and Bakhtiari Agric. and Natural Resour. Res. Center, AREEO Shahrekord, Iran.
*Corresponding author E-mail: alimorshedi@hotmail.com

Abstract
In recent years, the use of remote sensing techniques and GIS in agricultural studies has become widespread. Land use planning and land cover are basic needs for environmental management and monitoring. The aim of this study was to determine the area under rice cultivation in the study area (rice fields in Isfahan) using three Landsat 8 satellite images. Land classification and estimates and statistical calculations from the study area indicated that the total area, which is estimated at 2634 square kilometers, the results show that in 1395 lands with rice cover (paddy) equal to 4900 hectares, in 1397 (2670 hectares) and the year 1398 (9830 hectares). In order to verify the estimates made by processing satellite data at ground control points, the accuracy of these statistics is estimated to be 90%.

Keywords: Isfahan, Rice, Landsat, Land Classification

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

توسعه معادله نفوذ آب بر اساس رطوبت اولیه و میزان جریان ورودی در آبیاری شیاری

محمد جواد نحوی‌نیا[۱]، داودخسروی[۲]، محمد عشایری[۳]

۱-استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، javad.nahvinia@gmial.com

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه اراک

۳—دانش آموخته مقطع کارشناسی علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک

چکیده

معادلاتی که برای نفوذ در آبیاری جویچه‌ای توسعه یافته‌اند، توابع تک متغیره‌ای از طول شیار و فرصت زمان نفوذ می‌باشند. در صورتی که میزان نفوذ آب خود از رطوبت اولیه خاک و دبی ورودی تاثیر می‌پذیرد. در این تحقیق پیش بینی متوسط میزان نفوذ در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از رطوبت اولیه‌ی خاک و دبی ورودی به شیار به روش رگرسیون گام به گام مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور از یک سری آزمایش های صحرایی که به روش آبیاری شیاری در پنج مزرعه آزمایشی گلمکان مشهد، توتون ارومیه، مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول، دانشگاه بیرجند و موسسه اصلاح بذر کرج در طی دوره‌ی زمانی تابستان ۱۳۷۶ تا تابستان ۱۳۹۵ انجام شده و دارای طیف گسترده ای از نظر بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) بودند، استفاده شد. برای تعیین عوامل معادله‌ی نفوذ کوستیاکوف لوییس از روش بیلان حجم در آبیاری جویچه‌ای استفاده گردید. ارتباط بین میزان نفوذ و پارامترهای رطوبت اولیه‌ی خاک و دبی ورودی به جویچه به شکل معادلات مختلف به دست آمد. صحت توابع ایجاد شده با استفاده از آماره‌های R^2 و RMSE ارزیابی شد. نتایج نشان داد که این معادله در خاک‌های سنگین در مقایسه با خاک‌های متوسط و سبک از کارایی بالاتری برخوردار است.

کلمات کلیدی: آبیاری شیاری، روش دو نقطه‌ای، مدل رگرسیونی ، نفوذ

مقدمه

در مدیریت آبیاری سطحی، تابع نفوذ از اهمیت زیادی برخوردار است. به دلیل تغییر پذیری زمانی و مکانی این ویژگی، اندازه گیری مستقیم آن نیاز به نمونه برداری فراوانی دارد. معادلات فیزیکی و تجربی فراوانی برای کمی کردن فرآیند نفوذ آب به داخل خاک وجود دارد (Hanks, 1992; Horton, 1940; Kao and Hunt, 1996; Mein and Larson, 1973; Philip, 1957a,b) که هر یک در شرایطی معین، مناسب ترین برازش را با داده‌های تجربی داشته‌اند. معادلات تجربی نفوذ با توجه به آزمایش‌های نفوذ، آمار و ارقام بدست آمده و با استفاده از همبستگی و یا برازش یک منحنی از بین داده‌ها بدست می‌آیند. لذا اثر کلیه‌ی عوامل شناخته شده و ناشناخته در ضرایب آن‌ها منعکس می‌شود و مستقیما به مشخصات فیزیکی خاک به عنوان ورودی نیاز ندارند. از جمله‌ی این توابع می‌توان به معادله Kostiakov (1932)، کوستیاکوف- لویس (Mezencev, 1984)، Philip (1957b) و Horton (1940) اشاره کرد. تاثیر گرفتن از شرایط مکانی و زمانی و نارسایی پارامترهای معادلات در تبیین مفاهیم فیزیکی، از نقص‌های عمده این گونه معادلات می باشد (Hanks 1992; Hillel 1998). توابع تجربی نفوذ، مقدار نفوذ را تنها به صورت تابعی از زمان نفوذ بیان می کند، بدست می آید. این در حالی است که تاثیر عواملی چون رطوبت اولیه، دبی ورودی به جویچه، و خصوصیات مختلف فیزیکی خاک از جمله بافت و ساختمان خاک و درجه اشباع بر میزان نفوذ ثابت شده است (محمدی و رفاهی، ۱۳۸۴). بدیهی است که این اثرات در ضرایب معادله‌ی نفوذ نیز منعکس می‌شود. افزایش دبی با افزایش سطح تماس خاک با آب و کاهش میزان رطوبت اولیه‌ی خاک با افزایش پتانسیل ماتریک خاک سبب افزایش میزان نفوذ

می‌گردند. در طراحی آبیاری شیاری معمولاً مشخصات نفوذ، سطح مقطع جریان، میزان جریان ورودی، رطوبت اولیه خاک و ضریب زبری را در طول فصل کشت و در تمام سطح مزرعه ثابت در نظر می‌گیرند، اما این عوامل شرایط بروز تغییرات در مرحله پیشروی و به تبع آن اختلاف آب نفوذ کرده در طول شیارهای مختلف در یک مزرعه را فراهم می آورند. هرچند میزان جریان ورودی و رطوبت اولیه خاک از عوامل اثر گذار بر نفوذ به شمار می روند، لیکن تاکنون تأثیر ترکیبی این پارامترها در معادلات تجربی مورد بررسی قرار نگرفته است. چنانچه این معادلات براساس عوامل مذکور اصلاح شوند، مدیریت قویتری را می توان در طول فصل کشت و متناسب با وضعیت موجود اعمال نمود.

معادلات رگرسیونی که پارامترهای هیدرولیکی دیریافت را با استفاده از اطلاعات موجود خاک تخمین می زنند، توابع انتقالی خاک نامیده می شوند (Amini *et al.*, 2005) که در ارائه آنها از روش های رگرسیون گیری چندگانه (خطی، غیرخطی) استفاده می شود (نوابیان، ۱۳۸۲). مطالعه حاضر بر اساس تخمین میزان نفوذ آب در آبیاری جویچه‌ای به وسیله پارامترهای های فیزیکی ساده نظیر رطوبت اولیه‌ی خاک و دبی ورودی به شیار با استفاده از مدل رگرسیونی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

الف) جمع آوری اطلاعات صحرایی

در این تحقیق از داده های اندازه گیری شده در آزمایش‌های صحرایی به روش آبیاری جویچه‌ای که طی دوره‌ی زمانی تابستان ۱۳۷۶ تا تابستان ۱۳۸۵ در ایستگاه‌های تحقیقاتی کشاورزی گلمکان مشهد، توتون ارومیه، مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد دزفول (محمدی و رفاهی، ۱۳۸۴)، مزرعه آزمایشی دانشگاه بیرجند و موسسه اصلاح بذر کرج انجام شده بود (گنجه، ۱۳۸۵)، استفاده گردید. مشخصات بافت خاک و مزارع تحت مطالعه (جدول۱) نشان می‌دهد که خاک مزارع تحت مطالعه دارای طیف گسترده ای از نظر بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) می باشد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک و جویچه‌های مزارع آزمایشی

مزرعه‌ی آزمایشی	بافت خاک	میانگین هندسی قطر ذرات (dg) (mm)	انحراف معیار هندسی (σ_g)	فاصله شیار (m)	طول شیار (m)	شیب شیار
گلمکان مشهد	لوم سیلتی	۰/۰۲۶	۸	۰/۷	۵۰ -۲۵۰	۰/۰۰۱ -۰/۰۱۱۷
ارومیه	لوم رسی	۰/۰۳	۱۷	۰/۷۵	۵۰-۲۵۰	۰/۰۰۱ -۰/۰۱۶۳
دزفول	لوم رسی سیلتی	۰/۰۱۵	۹	۰/۷	۵۰ -۲۵۰	۰/۰۰۱ -۰/۰۱
کرج	لوم	۰/۰۶	۱۲	۰/۷	۱۶۰ -۱۷۵	۰/۰۰۵۶ -۰/۰۱
بیرجند	لوم شنی	۰/۰۲	۲۵	۰/۷۵	۵۰ -۱۳۰	۰/۰۰۶۴ -۰/۰۱

در هر یک از مناطق مورد مطالعه، طول و فاصله جویچه ها بر اساس بافت خاک، توصیه های اداره حفاظت خاک آمریکا[1] (SCS) (USDA ,1979) و پستی و بلندی محل انتخاب شده است. به منظور کنترل جریان ورودی به جویچه، دستگاه نشان داده شده در (شکل۱) در ابتدای هر مزرعه آزمایشی نصب گردید. در قسمت‌های فوقانی مخزن آب سرریزی قرار دارد که آب مازاد از طریق آن خارج می شود و در نتیجه فشار آب و جریان ورودی به هر جویچه در تمام مدت آزمایش ثابت می‌ماند. برای هر آبیاری با استفاده از روش بیلان حجم، عوامل معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس برای جویچه تعیین گردید. در این روش ابتدا با استفاده از هیدروگراف‌های جریان ورودی و جریان خروجی جویچه، سرعت نفوذ نهایی خاک محاسبه گردید:

[1] Soil Conservation Service

$$f_0 = \frac{(Q_{in} - Q_{out})}{L} \quad (1)$$

که در آن f_0: سرعت نفوذ نهایی خاک ($m^3\ m^{-1}\ min^{-1}$)، Q_{in}: دبی جریان ورودی ($m^3 min^{-1}$)، Q_{out}: دبی جریان خروجی (m^3 min^{-1}) و L: طول چویچه (m) می‌باشند. روش مورد استفاده برای تخمین عوامل معادله نفوذ کوستیاکف-لوییس حل معادله بیلان حجم به روش دو نقطه (وسط و انتهای جویچه) بود. با تبدیل لگاریتمی و حل دو معادله و دو مجهول، عوامل مجهول که همان ضریب k و نمای معادله نفوذ (a) هستند تعیین گردید.

از آنجا که بدلیل مشکل بودن پایش رطوبت خاک تا لحظه رسیدن به رطوبت مورد نظر انجام آزمایش و اندازه گیری‌ها در یک رطوبت از پیش معین شده میسر نبود، اندازه گیری میزان نفوذ در رطوبت‌های مختلف موجود در خاک بعد از گذشت زمانی معین از آبیاری صورت گرفت. در طول هر جویچه ۶ نمونه از ابتدا، وسط و انتها و در عمقهای ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتیمتر تهیه و رطوبت هر نمونه بطور جداگانه اندازه‌گیری شد. میانگین شش رطوبت یاد شده محاسبه و در تجزیه و تحلیل داده ها به عنوان رطوبت اولیهٔ خاک مورد استفاده قرار گرفت. در هر آزمایش، بی درنگ پس از تعیین رطوبت اولیه، آبیاری با دبی ثابت انجام گرفت.

رگرسیون چندگانه خطی (MLRM)[1]: برای تعیین میزان نفوذ با استفاده از رگرسیون چندگانه، از رگرسیون خطی به روش گام‌به‌گام[2] استفاده گردید. جهت تخمین میزان نفوذ میزان دبی ورودی، رطوبت اولیه خاک، شیب طولی جویچه، متوسط فرصت زمان نفوذ در طول جویچه، میانگین هندسی قطر ذرات (d_g)، انحراف معیار هندسی (σ_g) و چگالی ظاهری خاک به عنوان متغیرهای ورودی انتخاب شدند. در روش تجزیه و تحلیل رگرسیونی، دو فرض اولیه آن یعنی آزمون نرمال بودن و غیر همراستایی داده ها به وسیله نرم افزار Minitab مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین وجود یا عدم وجود همراستایی در توابع ایجاد شده از آماره‌ی عامل تورم واریانس (VIF)[3] استفاده گردید. اگر هرکدام از VIF ها از ۱۰ بزرگتر باشد، ضعف براورد ضرایب رگرسیون براثر همراستایی چندگانه مشهود است (Horton, 1940). انتخاب متغیر مستقل برای ورود به مدل، بر اساس آزمون آماری F در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد.

پارامترهای ارزیابی: پارامترهای آماری جهت ارزیابی مدل‌های آماری و تجربی مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: میزان ضریب همبستگی (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE).

نتایج و بحث

در جدول ۲ مقادیر شیب، دبی ورودی، رطوبت اولیه و چگالی ظاهری در جویچه‌های آزمایشی ارائه شده است. نفوذ تجمعی با توجه به عوامل معادله بر حسب مترمکعب بر متر محاسبه می‌شود. دامنه‌ی وسیع پارامترهای استفاده شده در این مطالعه، جامعیت مدل‌های استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. تعداد داده های موجود برابر ۲۴۰ است که ۸۰ درصد اولیه (۱۹۲ داده) جهت تولید و بسط مدل رگرسیونی و ۲۰ در صد باقیمانده (۴۸ داده) به عنوان داده های آزمایشی جهت آزمون مدل انتخاب و مشخص شدند. برای بررسی و مقایسه‌ی عملکرد مدل‌ها، میزان متوسط عمق آب نفوذ یافته در طول شیار برای مجموعه اطلاعاتی که برای ارزیابی مدل‌ها انتخاب شده بودند، محاسبه شد. سپس پارامترهای آماری ضریب همبستگی (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر تخمین زده شده‌ی میزان نفوذ و زمان پیشروی محاسبه گردید (جدول ۳).

[1] Multiple Linear Regression Model
2) Stepwise
3) Variance Impact Factor

جدول ۲- دامنه‌ی تغییر مقادیر شیب، دبی ورودی، چگالی ظاهری و رطوبت اولیه در جویچه‌های آزمایشی

مزرعه‌ی آزمایشی	دبی ورودی(L/S)	رطوبت اولیه	چگالی ظاهری (gr/cm^3)
مشهد	۰/۲۵ -۱/۵	۵/۳۵ -۱۲/۱۴	۱/۵۳ -۱/۶
ارومیه	۰/۰۵ -۰/۷۵	۱۳/۵ -۲۲/۷	۱/۳ -۱/۵
دزفول	۰/۱ -۱/۵	۱۲/۸ -۲۳/۷۵	۱/۶۷ -۱/۷۶
کرج	۱/۱ -۱/۴	۵/۳۹ -۲۷/۲۲	۱/۳۴ -۱/۴۷
بیرجند	۰/۵ -۲	۵/۶۹ -۱۰/۴۶	۱/۳۹ -۱/۵

جدول ۳- فرم نهایی و نتایج حاصل از عملکرد ساختار بهینه مدل رگرسیونی در پیش‌بینی میزان نفوذ

	مدل	آموزش		آزمون	
		R^2	RMSE	R^2	RMSE
نفوذ	$Z=0.0134\ d_g^{0.44}\ (8.23^Q)\ \Theta^{-0.435}T^{0.732}$	۰/۸۹	۰/۰۲۶۸	۰/۸۴	۰/۰۸۶۶

رگرسیون چندگانه: در روش تجزیه و تحلیل رگرسیونی، طبق نتایج بدست آمده پارامترهای فرصت نفوذ، دبی ورودی، رطوبت اولیه از توزیع نرمال تبعیت کردند. لیکن میانگین هندسی قطر ذرات (d_g)، انحراف معیار هندسی (σ_g)، چگالی ظاهری، شیب جویچه، نفوذ تجمعی پس از اعمال تبدیل‌های لگاریتمی به صورت نرمال در آمد. نتایج آزمون آماری F نشان داد که در تخمین میزان نفوذ اثر پارامتر انحراف معیار هندسی (σ_g)، چگالی ظاهری و شیب شیار معنی دار نشده است و این پارامترها تاثیر بسیار ناچیزی در تبیین واریانس متغیر وابسته داشته است و به این لحاظ از فهرست متغیرهای ورودی حذف شده است. نتایج آزمون همراستایی نیز نشان داد که مقادیر VIF متغیرهای ورودی به ۱۰ نرسیده است و بزرگترین VIF بدست آمده در تخمین میزان نفوذ مربوط به دبی ورودی و معادل ۱/۷۱ می باشد. با بررسی روابط مختلف بین پارامترهای ورودی و خروجی بر اساس ضریب همبستگی(R^2_{adj}) بالاتر فرم نهایی رابطه‌ی چهار متغیره نفوذ انتخاب شد (جدول۳).

توسعه نفوذ معادله کوستیاکف بر اساس میزان جریان ورودی به شیار: چنانچه متغیر رطوبت خاک (θ) را از از رابطه رگرسیونی نفوذ (جدول ۳) حذف کنیم، رابطه زیر حاصل می شود:

$$Z = \alpha T^{\omega} e^{\beta Q} \qquad (۲)$$

از مقایسه رابطه فوق با معادله نفوذ کوستیاکف داریم :

$$Z = kT^{a}(e^{BQ}) \qquad (۳)$$

همانطور که مشاهده می شود با ضرب جزء ($e^{\beta Q}$) در معادله نفوذ کوستیاکف می توان، میزان نفوذ را به ازای دبی‌های مختلف تعیین کرد. بدیهی است که در رابطه فوق با تغییر دبی، مقادیر ضرایب تجربی ثابت می مانند. به منظور تعیین ضرایب معادله ۳، از روش دو نقطه‌ای Elliot and Walker (1982) استفاده گردید. با این تفاوت که می بایست از اندازه‌گیری‌های سرعت پیشروی به ازای دو دبی مختلف استفاده شود. چنانچه معادله بیلان حجم به ازای دو نقطه میانی و انتهایی مزرعه و به ازای هر دو دبی نوشته شود، خواهیم داشت:

$$Q_1 t_{1L} = LA_1\sigma_y + \sigma_z k t_{1L}^a e^{\beta Q_1} L$$
$$2Q_1 t_{\frac{1L}{2}} = LA_1\sigma_y + \sigma_z k t_{\frac{1L}{2}}^a e^{\beta Q_1} L \quad (۴)$$

$$Q_2 t_{2L} = LA_2\sigma_y + \sigma_z k t_{2L}^a e^{\beta Q_2} L$$
$$2Q_2 t_{\frac{2L}{2}} = LA_2\sigma_y + \sigma_z k t_{\frac{2L}{2}}^a e^{\beta Q_2} L \quad (۵)$$

با لگاریتم گرفتن و حل همزمان معادلات ۴ و ۵ و در نهایت متوسط گیری از مقادیر حاصله پارامتر a به دست خواهد آمد.

$$a = average\{\frac{Ln(\frac{V_{1L}}{V_{1\frac{L}{2}}})}{Ln(\frac{t_{1L}}{t_{1\frac{L}{2}}})}; \frac{Ln(\frac{V_{2L}}{V_{2\frac{L}{2}}})}{Ln(\frac{t_{2L}}{t_{2\frac{L}{2}}})} \quad (۶)$$

$$V_{1L} = \frac{Q_1 t_{1L}}{L} - \sigma_y A_1$$
$$V_{1\frac{L}{2}} = \frac{Q_1 t_{1\frac{L}{2}}}{L} - \sigma_y A_1 \quad (۷)$$

اگر تفاضل معادلات ۶ را بر تفاضل معادلات ۷ تقسیم کنیم خواهیم داشت :

$$\frac{Q_1}{Q_2} \times \frac{t_{1L} - 2t_{1\frac{L}{2}}}{t_{2L} - 2t_{2\frac{L}{2}}} = e^{\beta(Q1-Q2)} \times \frac{t_{1L}^a - t_{1\frac{L}{2}}^a}{t_{2L}^a - t_{2\frac{L}{2}}^a} \quad (۸)$$

مجهول رابطه فوق β می باشد.اگر آن را بر حسب β مرتب کنیم داریم :

$$\beta = \frac{\ln(\frac{Q_1}{Q_2}) + \ln(\frac{X}{Y})}{Q_1 - Q_2} \quad (۹)$$

$$X = \frac{t_{1L} - t_{1\frac{L}{2}}}{t_{2L} - t_{2\frac{L}{2}}}$$
$$Y = \frac{t_{1L}^a - t_{1\frac{L}{2}}^a}{t_{2L}^a - t_{2\frac{L}{2}}^a} \quad (۱۰)$$

که با مشخص شدن پارامتر a و β، پارامتر k از رابطه ۱۱ قابل محاسبه است :

$$K = \frac{V_{1L}}{\sigma_z t_{1L}^a e^{BQ1}} \quad (۱۱)$$

که σ_Z = فاکتور شکل ذخیره تحت الارضی که بصورت زیر تعریف می‌شود.

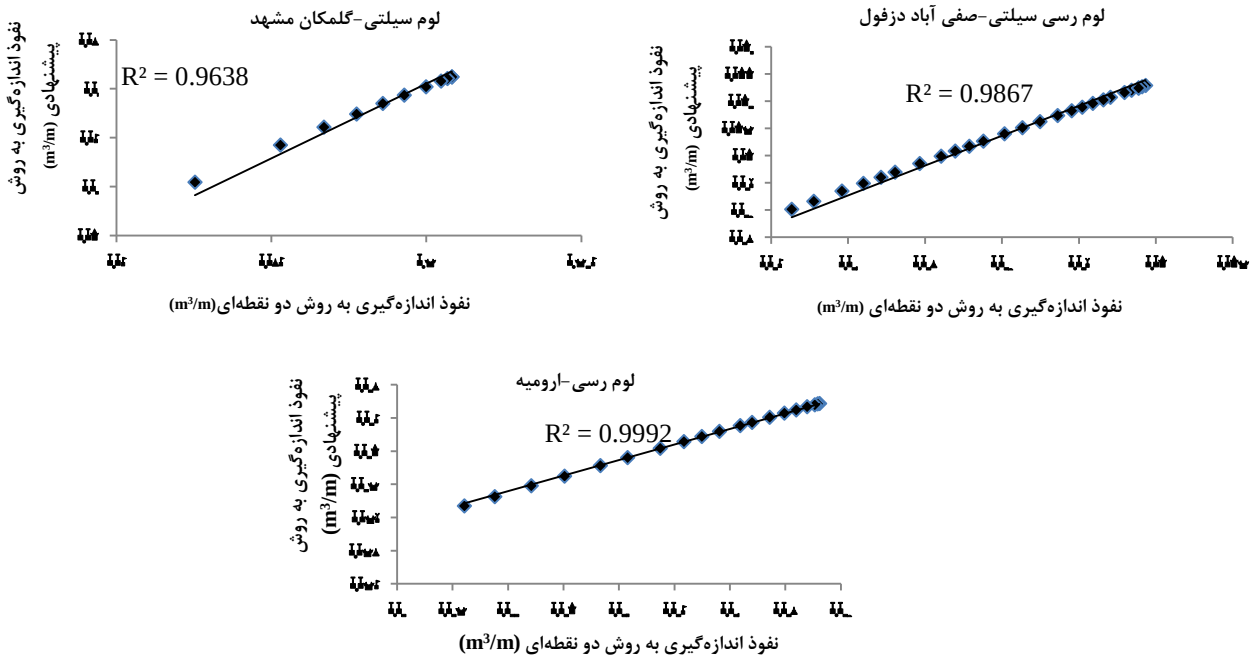
$$\sigma_z = \frac{a + r(1+a) + 1}{(1+a)(1+r)} \quad (۱۲)$$

ارزیابی روش‌های پیشنهادی جهت تخمین نفوذ: به منظور ارزیابی روش‌های پیشنهادی جهت تخمین نفوذ در شیار، در سه مزرعه‌ی آزمایشی صفی آباد دزفول، گلمکان مشهد و توتون ارومیه، ضرایب معادله ۳ با استفاده از داده های پیشروی دو شیار که دارای جریان ورودی متفاوت و رطوبت اولیه یکسان بودند، محاسبه گردید (جدول ۴).

جدول۴- اطلاعات شیارهای مورد آزمایش جهت ارزیابی روش‌های پیشنهادی جهت تخمین نفوذ در جویچه

پارامتر	گلمکان مشهد		صفی آباد دزفول		توتون ارومیه	
	شیار ۱	شیار ۲	شیار ۱	شیار ۲	شیار ۱	شیار ۲
Q(L/S)	۰/۶۹	۱/۱	۰/۵۴۵	۰/۹۵	۰/۷۷	۰/۹۵
L(m)	۱۰۰	۱۰۰	۱۸۰	۱۸۰	۲۵۰	۲۵۰
S(m/m)	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۱۷	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۸۲
Θm	۵/۳۵	۵/۳۵	۲۲/۷	۲۲/۷	۲۳/۷۵	۲۳/۷۵
T_L(min)	۶۸	۳۰/۵	۷۶/۵	۴۱/۴	۷۶/۵	۴۸/۶۳
$T_{0.5L}$(min)	۱۰	۱۷	۱۸	۲۶	۲۲	۲۸

مقادیر نفوذ را به ازای دبی و فرصت های نفوذ در طول شیار در این مزارع، با استفاده از روش پیشنهادی بدست آورده و با مقادیر نفوذ رابطه کوستیاکف-لوئیس که برای هر دبی به صورت جداگانه با روش دو نقطه‌ای محاسبه شده است، مورد مقایسه قرار گرفت (شکل ۱).



شکل ۱- نمایش ضریب همبستگی بین میزان نفوذ محاسبه شده توسط روش دو نقطه‌ای و روش پیشنهادی

با بررسی شکل ۱ مشاهده می‌شود که در خاک‌های سنگین لوم رسی (ارومیه) در مقایسه با خاک‌های متوسط لوم رسی سیلتی (صفی آباد دزفول) و نسبتا سبک لوم سیلتی (گلمکان مشهد) میزان انطباق بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش بینی شده توسط مدل رگرسیونی بیشتر است. در خاک‌های متوسط و نسبتا سبک فرآیند نفوذ از پیچیدگی بیشتری برخوردار است. در این خاک‌ها، تاثیر منافذ درشت خاک در نفوذ آب به خاک بیشتر می‌گردد و خصوصیات منافذ درشت (اندازه، آرایش و پیوستگی)، نفوذ آب به خاک را کنترل می‌کند (قربانی و همایی، ۱۳۸۲). تعمق و نگرشی به عملکرد توابع اشتقاق یافته نشان می‌دهد که پارامترهای ورودی قادر به بیان کامل تغییرات نفوذپذیری خاک نبوده‌اند. این مطلب را می‌توان به دو علت دانست. نخست، ماهیت بسیر تغییر پذیر فرآیند نفوذ موجب می‌گردد تا واریانس تغییرات آن بسیار زیاد باشد و در نتیجه، واریانس متغیرهای مورد استفاده قابلیت پوشش همه‌ی آن را نداشته باشد. دیگر اینکه متغیری که بتواند اثر ساختمان و منافذ درشت خاک را به طور کامل و کمی نشان دهد، وجود ندارد. لذا در خاک‌های متوسط و نسبتا سبک خطای برآورد مدل افزایش می‌یابد. از آنجا که نفوذ آب به خاک به شدت تحت تاثیر منافذ درشت خاک بوده و چگونگی این منافذ متاثر از نوع ساختمان خاک است، وجود متغیری کمی برای بیان اثر ساختمان بر نفوذ آب به خاک اجتناب ناپذیر است. اگرچه یکی از شاخص‌های کمی ساختمان خاک، جرم ویژه ظاهری خاک است، لیکن این ویژگی تاثیر معنی داری در تبیین واریانس نفوذ نداشته است. از این رو، برای بیان کمی اثر ساختمان خاک بر فرآیند نفوذ نیاز به معرفی شاخص‌هایی جدید است.

نتیجه گیری

این مطالعه جهت تخمین میزان نفوذ در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از رطوبت اولیه‌ی خاک و دبی ورودی به شیار به وسیله‌ی رگرسیون خطی چندگانه انجام شد. نتایج آزمون آماری F نشان داد که در تخمین میزان نفوذ اثر پارامتر انحراف معیار هندسی (σ_g)، چگالی ظاهری و شیب جویچه در میزان نفوذ معنی دار نشده است. مقادیر همبستگی بین میزان نفوذ بدست آمده و برآورد شده بر پایه مدل رگرسیونی (R^2=۰/۸۲) بدست آمد. نتایج همچنین نشان داد دقت روابط بدست آمده در خاک‌های سنگین در مقایسه با خاک‌های متوسط و سبک بیشتر است. به منظور بهبود کارایی این روابط، وجود شاخص‌هایی برای بیان اثر کمی ساختمان خاک ضروری است. معادلات نفوذ و پیشروی که بر اساس دبی ورودی به شیار توسعه یافتند، نیازمند ارزیابی های بیشتر می باشند. لذا توصیه می شود در مزارع تحت کشت نیز معادلات مذکور بررسی شوند. پیشنهاد می شود، توابع انتقالی در تحقیقات آتی جهت مدل سازی فرآیندهای نفوذ و پیشروی در آبیاری نواری نیز، مورد بررسی قرار گیرند.

فهرست منابع:

قربانی دشتکی، ش. همایی، م. (۱۳۸۶). برآورد پارامتر های برخی مدل های نفوذ آب به خاک با استفاده از توابع انتقالی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱ (۱). ۲۱-۳۸.

گنجه، ا. (۱۳۸۵). ارزیابی یکنواختی کود آبیاری در آبیاری جویچه‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه تهران.

محمدی، م.ح. رفاهی، ح. (۱۳۸۴). تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک. نشریه علوم کشاورزی ایران. ۳۶ (۶). ۱۳۹۸-۱۳۹۱.

نوابیان، م.۱۳۸۲. تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از توابع انتقالی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه تهران.

Amini, M., Abbaspour, K. C., Khademi, H., Fathianpour, N., Afyoni, M., Schulin, R. (2005). Neural Network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. *European Journal Soil Science*. 56, 551-559.

Elliot, R. L., Walker, W. R. (1982). Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Trans. ASAE* 15 (2), 369–400.

Hanks, R. J. (1992). Applied soil physics. 2nd Ed. Springer Verlag. New York. NY. 234p

Hillel, D. (1998). Environmental soil physics. Academic press. Sand Diego. CA. 345p.
Horton, R.E. (1940). Aproach toward a physical interpretatation of infiltration capacity. *Soil Society American Journal*, 5, 339-417.
Kao, C.S., Hunt, J.R. (1996). Prediction of wetting front movement during one-dimensional infiltration into soils. *Water Resources Research*, 9(2): 384-395.
Kostiakov, A. V. (1932). On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamics point of view for purposes of amelioration. Transactions of the Sixth Commission of *International Society of Soil Science*, 1, 17-21.
Mein, R.G., Larson. C.L. (1973). Modeling infiltration duting a steady rain. *Water Resources Research, 9(2),384-395.*
Mezencev, V.J. (1984). Theory of formation of the surface runoff (In Russian). *Meteorologia Igidrologia*, 3,334-346.
Philip, J.R. (1957a). The theory of infiltration: 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Science*, 83, 345-357.
Philip, J.R. (1957b). The theory of infiltration: 2. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Science*, 83, 257-260.
USDA. (1979). Furrow irrigation. Serv. Natl. Eng. Hand book. 720p.
Walker, W. R. Skogerboe, G. V. (1987). Surface irrigation theory and practice, U.S.A. prentce hall. 679p.

Development of infiltration equation based on initial soil moisture content and inflow rate in furrow irrigation

Mohammd javad nahvinia[1], Davoud khosravi[2], Mohammd Ashaeri[3]

1- Assistant Professor, Department of water sciences and engineering, Faculty of agriculture and environment, Arak University

2-Msc Student, Department of water sciences and engineering, Faculty of agriculture and environment, Arak University

3-Graduated Student, Department of water sciences and engineering, Faculty of agriculture and environment, Arak University

Abstract:

The equations that have been developed for infiltration are generally functioning of infiltration opportunity time and length of Furrow, respectively. Whereas infiltration is affected by using initial soil moisture content and inflow rate of furrow. In this study prediction of average depth of infiltration in furrow evaluated is using stepwise regression method according to initial soil moisture content and furrows inflow rate. Field studies were conducted in five different cities during 1998-2016, under various soil textures. To develop coefficients of Kostiakoff Luis infiltration volumetric water balance method was used. The relation between of infiltration and initial soil moisture content, inflow rate of furrow were obtained different equations. The accuracy of functions was evaluated by R^2 and RMSE. Results showed that this function was more accurate in heavier soils than medium and light textured soils.

Keywords: infiltration, furrow irrigation, regression method and two point method.

پهنه بندی بارش در سطح کشور با استفاده از روش های زمین آمار

آناهیتا جباری[۱]، نیازعلی ابراهیمی پاک[۲]، آرش تافته[۳]، عزیز مجیدی[۴]، سینا ملاح [۵]

۱ و ۴- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران، a.jabbari@areeo.ac.ir

۲- دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۵- محقق بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

چکیده

کمبود آب محدودیت بسیار مهمی در توسعه کشاورزی در بسیاری از نقاط دنیا محسوب می شود بنابراین واضح است که مدیریت بهینه منابع موجود از مهمترین ابعاد چالش های امروز مدیریتی می باشد. بنابراین آگاهی از بیلان آبی حوضه های آبریز و پارامتر های مربوط به آن مهمترین پیش نیاز این مدیریت بهینه به شمار می آید. بارش به عنوان مهمترین پارامتر این معادله در ایستگاه های هواشناسی کشور اندازه گیری می شود. اما آنچه که اهمیت دارد این است که در محل هایی که ایستگاه هواشناسی وجود ندارد مقدار یک پارامتر چگونه باید اندازه گیری شود. روش های زمین آماری به عنوان یکی از روش های محبوب درون یابی این مشکل را حل کرده اند. در این مطالعه با استفاده از روش کریجینگ پس از ساخت یک نمونه نرمال اقدام به ساخت نقشه پهنه بندی شد. ضریب رگرسیون ۰/۸ و مقدار NRMSE حدودا ۳۰ درصد نشان از کارکرد قابل قبول روش کریجینگ در ارائه تصویر کلی در سطح پهنه وسیع کشوری دارد.

واژگان کلیدی: بارش، SPSS، زمین آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

مقدمه

کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد، از این رو بارشهای جوی به عنوان منبع عمده تأمین آب کشور از اهمیت ویژه ای برخوردار است. از آن جا که تغییرات مکانی و زمانی این عنصر مهم اقلیمی از پیچیدگی های خاصی برخوردار است از اینرو آگاهی از توزیع جغرافیایی الگوهای بارش به دلیل استفاده گسترده آن در کشاورزی، منابع آب، صنعت، توریسم و بهره برداری از سدها میتواند ما را در طراحی و مدیریت پروژه های مختلف یاری کند (امینی و همکاران، ۱۳۹۷). عوامل مهمی در توسعه کشاورزی نقش بازی می کند که آب و زمین مهمترین آنها به شمار می رود. آب شاخص بسیار مهمی به خصوص در بسیاری از نقاط خشک دنیا به شمار می رود، بنابراین واضح است که مدیریت بهینه منابع موجود از مهمترین ابعاد چالش های امروز مدیریتی می باشد. یکی از مهمترین عوامل موفقیت در مدیریت منابع آگاهی از بیلان آبی حوضه ها و به عبارتی ورودی و خروجی حوضه هاست، بارش مهمترین جزء ورودی معادله بیلان در این معادله نقش اساسی بازی می کند. این شاخص در ایستگاه های هواشناسی اندازه گیری می شود اما با توجه به اهمیت آن و در نظر گرفتن این موضوع که شبکه ایستگاه های هواشناسی کشور در بسیاری از مناطق پوشش مناسبی ندارند دانستن این شاخص در مناطقی که مقدار آن به طور مستقیم اندازه گیری نمی شود معضلی جدی است که در

این شرایط باید از روش های درون یابی بهره برد. درون یابی داده های نقطه ای را پهنه ای تبدیل می کند که در نهایت می توان با تخمین خوبی که هزینه های تحقیق را نیز بسیار کاهش می دهد به این داده ها دست یافت. از آنجایی که وجود داده در هر نقطه علاوه بر این که امکان پذیر نیست، با هزینه های فراوانی (مثلا ساخت ایستگاه هواشناسی) همراه است، ایجاد نقشه های پهنه بندی به کمک مدل های مختلف درون یابی امری بسیار الزامی در این راستا می باشد. مهمترین هدف مطالعه حاضر ارائه نقشه پهنه بندی این داده به نحوی است که بتوان تخمین مناسبی از مقدار بارش به دست آورد.

به فرایند برآورد ارزش های کمی، برای نقاط فاقد داده، به کمک نقاط مجاور و معلوم (که به نام پیمونگاه، نمونه و یا مشاهده) موسومند درون یابی (interpolation) می گویند. این فرایند به دلیل محدودیت داده های نقطه ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه های هم ارزش انجام می گیرد. به عنوان مثال می توان مقدار یک کمیت اندازه گیری نشده را در به کمک نقاط مجاور که مقدار آنها اندازه گیری شده است، برآورد نمود. این کار معمولا برای یک شبکه یا گره یا تمامی سلول های یک پهنه انجام می شود. بنابراین درون یابی به معنای تبدیل داده های نقطه ای به داده های پهنه ای می باشد (Chang, 2006). روش مورد استفاده برای این درون یابی در این مطالعه روش زمین آمار به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی می باشد. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، علاوه بر تحلیل های مکانی فراوان قابلیت تحلیل ها و پیش بینی های زمین آماری را نیز دارد. تحلیل های زمین آماری مربوط به اطلاعات مکانی[1] به دلایلی همچون هزینه های بالای اندازه گیری داده ها یا عدم امکان دسترسی به تمامی اطلاعات یک جامعه مکانی می تواند نقش مهمی در مطالعات علمی و طرح های اجرایی داشته باشد.

شالوده زمین آمار به کارگیری مدل های درون یابی متناسب با اهداف و نوع متغیرها با استفاده از اطلاعات معلوم نقاط نمونه گیری شده از یک منطقه می باشد که اطلاعات سایر نقاط نامعلوم آن منطقه را پیش بینی می نماید. انواع روش های درون یابی در سیستم اطلاعات جغرافیایی قابلیت های زیادی برای تخمین صحیح و دقیق متغیرهای پیوسته مکانی داشته و می توانند در حیطه های مختلف، برای تخمین پراکنش عوامل زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی، تحقیقی، بهداشتی، آموزشی، حقوقی، و سایر مطالعات بکار گرفته شوند. زمین‌آمار به عنوان روشی که در طول سالهای اخیر به شدت گسترش یافته است، روشی است برای ترکیب مختصات زمانی و مکانی مشاهدات در پردازش داده‌ها (Houlding, 2000). این موضوع دیسیپلین نسبتاً جدیدی بوده که از دهه ۱۹۶۰ و ابتدا با تلاش‌های مهندسین معدن بنا نهاده شد چراکه با مشکل ارزیابی مخازن قابل احیا دست‌به‌گریبان بودند. کاربردهای زمین‌آمار از شکل اولیه اصلی خود در مهندسی معدن به سایر علوم نیز گسترش یافت: علوم خاک، اقیانوس شناسی، هیدروژئولوژی، کشاورزی، علوم زیست‌محیطی، و در همین اواخر در علوم پزشکی (Berke, 2004).

پایه های علم زمین آمار بر اساس تئوری های آمار کلاسیک و احتمالات در اوایل قرن بیستم بنا بناده شد. افرادی همچون Weiner، Kolmogorov، Matern و Gangin از اولین دانشمندان فعال این عرصه بودند. فیشر در طول ۱۰ سال (از ۱۹۲۴)، انقلابی بزرگ در آمار کشاورزی به وجود آورد، وی در سال ۱۹۲۵ در کتاب خود این موضوع را به صورت گسترده تری بیان می کند. به طوری که می توان گفت وی اثرات فضایی را در مطالعات خود این موضوع را به صورت گسترده تری بیان می کند. واژه زمین آمار[2] برای اولین بار توسط هارت[3] در یک متن جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفت (۱۹۵۴). زمین آمار کاربردی به شکل کنونی خود در دهه هفتاد میلادی توسط Krige و Sichel که مهندسان معدن آفریقای

[1] Spatial
[2] geostatistical
[3] Hart

جنوبی تبار بودند و همچنین Matheron از فرانسه مطرح گردید (سال ۱۹۶۳ میلادی برای تخمین ذخایر مواد معدنی در یک منطقه با داده های توزیعی).

در برآورد مقدار بارش نیز مطالعات فراوانی در سطح کشور و در جهان انجام شده است، امینی و همکاران (۱۳۹۷)، به کمک شش روش متداول درون یابی، شامل عکس مجذور فاصله و روش های کریجینگ پهنه بندی بارش های میانگین ماهانه، فصلی و سالانه برای ۳۵۴ ایستگاه همدیدی اصلی، تکمیلی و فرودگاهی کشور در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ را ارائه دادند. نتایج نشان داد در برآورد کلی بارش کشوری روش عکس مجزور فاصله نتایج بهتری ارائه می دهد. لی و همکارانش در مطالعه ای مروری به منظور بررسی تفاوت بین روش های مختلف درونیابی زمین آماری بارش به بررسی کاربرد آن در هیدرولوژی کاربردی و مدل سازی هیدرولوژی در مقیاس حوضه پرداختند (Ly et al., 2013). علی جهان و خسروی چنار نیز در مطالعه ای به تحلیل پهنه بندی بارش سالانه در خراسان رضوی پرداختند. مطالعه آنها نشان داد روش کوکریجینگ با پارامتر کمکی ارتفاع نتایج خوبی در تخمین بارش ارائه می دهد (Aalijahan and Khosravichenar, 2021). کانتت نیز در ۲۰۱۷ بارش متوسط سالانه و ماهانه را در جزیره ای با توپوگرافی پیچیده با تنها ۳۵ ایستگاه هواشناسی به روش کریجینگ مورد مطالعه پهنه ای قرار داد (Cantet, 2017). جواری از مدل سازی زمین آماری برای شبیه سازی تغییرات بارش روزانه در ایران استفاده نمود. این مطالعه با استفاده از ۱۷۰ ایستگاه و سری زمانی بارش سالهای ۲۰۱۴-۱۹۷۵ و روش های زمین آماری و قطعی با ترکیب پارامترهای مختلف (جمعا ۶۴ ترکیب) به مطالعه پهنه بندی بارش پرداخت (Javari, 2017).

مواد و روش‌ها

یکی از مهمترین راهکارها در تحلیل های هواشناختی درون یابی داده های مکانی است. زمین آمار راهی را برای توصیف پیوستگی مکانی داده ها که یکی از ویژگی های بنیادی فرآیندهای طبیعی است فراهم می آورد. مساله اساسی از این جا نشات می گیرد که علی رغم اهمیت داده های بارش، اندازه گیری آنها به صورت همه گیر در همه نقاط ممکن نبوده و این مقادیر تنها در ایستگاه های هواشناسی می توانند اندازه گیری شده و یا مورد محاسبه قرار گیرند. بنابراین روش های درون یابی فرصت مناسبی را برای تخمین این مقادیر برای بقیه نقاط نمونه برداری نشده در نزدیکی و یا محوطه تخمین ایجاد می کنند. فرایند درون یابی به دلیل محدودیت داده های نقطه ای و ضرورت تدوین نقشه از کل یک پهنه، به منظور تهیه نقشه های هم ارزش انجام می گیرد. درون یابی به شیوه های جبری و زمین آماری هر دو به یک دلیل اصلی ضرورت دارند: دسترسی به داده (تخمین مقدار) در نقاط فاقد داده برای داده های زمینی. آمار کلاسیک این امکان را فراهم نمی کند اما در زمین آمار با ارتباط روش های آمار کلاسیک به پیوستگی مکانی این نیاز به خوبی رفع شده است. مطالعه حاضر در پهنه کشوری با هدف پهنه بندی زمین آماری داده های بارش می باشد. در این مطالعه ۴۱۵ ایستگاه هواشناسی در سراسر کشور به عنوان جامعه آماری موجود مورد مطالعه و بررسی قرار گرفتند. با استفاده از روش کریجینگ که در اغلب مطالعات برتری آن نسبت به سایر روش ها مشخص شده است اقدام به درون یابی زمین آماری در پهنه کشور شد. در این راستا از امکانات فراوانی که سیستم اطلاعات جغرافیایی در اختیار قرار می دهد استفاده شد. به این ترتیب که برای درون یابی و ایجاد نقشه های پهنه بندی از الحاقیه ArcGIS Geostatistical Analyst در محیط نرم افزار Arc GIS استفاده شد.

ابزار آنالیز زمین آماری نرم افزار Arc GIS مجموعه ابزارهایی را برای مدل سازی و پیش بینی متغیرها با استفاده از مدل های دترمینیستیک و روش های زمین آماری فراهم می آورد. ابزارهایی که در این مجموعه گردآوری شده اند، کاملا با محیط مدل سازی GIS تلفیق گردیده، و این امکان را برای کاربران حرفه ای پدید می آورند تا مدل های درون یابی را

تولید نموده و کیفیت آنها را قبل از استفاده در هر گونه تحلیل بعدی، ارزیابی نمایند. خروجی های مدل تهیه شده توسط این ابزار را می توان در ساختار Model Builder و یا محیط پایتون، و یا سایر الحاقیه های این نرم افزار همچون ابزار آنالیز مکانی (ArcGIS Spatial Analyst Extension) و یا ابزار آنالیز سه بعدی (ArcGIS 3D Analyst Extention) به کار برد.

ویزارد زمین آمار امکان دسترسی به یک سری از ابزارهای درون یابی را فراهم می کند که به دو دسته کلی قطعی و زمین آماری تقسیم میشوند. در روش های زمین آماری فرض بر این است که حداقل تعدادی از تغییرات مکانی مشاهده شده در فرآیندهای طبیعی را می توان توسط مدل های توابع تصادفی، با گنجاندن مدل های تغییر نما که پیوستگی مکانی را نشان می دهند، مدل سازی نمود. روش های زمین آماری را می توان برای توصیف و مدل سازی پیوستگی مکانی بین متغیرها (با استفاده از تغییر نما) و تخمین مقدار متغیر مجهول در مکان هایی که مقداری برای آنها در دست نیست، استفاده نمود و عدم قطعیت مرتبط با این روش ها را تعیین نمود. ویزارد زمین آمار روش های مختلفی را برای تخمین متغیر ارائه می دهند که عبارتند از : کریجینگ معمولی[۱]، کریجینگ ساده[۲]، کریجینگ عمومی[۳]، کریجینگ ایندیکاتور[۴]، کریجینگ منفصل[۵]، درون یابی ناحیه ای[۶]، بایسین تجربی[۷].

روش های کریجینگ بر اساس روش های ریاضیاتی و آماری استوار هستند. افزودن یک مدل آماری شامل احتمالات این روش را از روش های قطعی (دترمینیستیک) مجزا می سازد. در کریجینگ (که نام خود را از مهندس معدن آفریقایی جنوبی دانی کریج[۸]به یادگار دارد)، به همراه پیش بینی ها، احتمالاتی نیز مورد محاسبه قرار میگیرند، به این معنی که مقادیر به طور دقیق از مدل آماری قابل پیش بینی نمی باشند. روش های کریجینگ بر مفهوم خود همبستگی تکیه کرده اند. همبستگی اغلب به صوت تمایل دو متغیر برای ایجاد رابطه مستقیم یا معکوس تعریف می شود. اما گاهی در خود یک متغیر نیز همبستگی وجود دارد که به این نوع همبستگی خود همبستگی گفته می شود. یعنی مقادیر یک متغیر اگر در فواصل کمتری نسبت به هم قرار گیرند همبستگی (شباهت) بیشتری به هم دارند. بنابراین خود همبستگی تابعی از فاصله است. این در واقع تعریف اصلی زمین آمار است. آمار کلاسیک مشاهدات را مستقل و غیر وابسته در نظر میگرد، یعنی هیچ همبستگی ای بین مشاهدات وجود ندارد. در زمین آمار، اطلاعات موجود در خصوص مکان های جغرافیایی به کاربر اجازه می دهد که فواصل بین مشاهدات را محاسبه نموده و خود همبستگی را به عنوان تابعی از فاصله مدل سازی نماید. ضمنا باید در نظر داشت که متغیر خود همبسته به طور کلی با زمان هم متغیر است که به این مفهوم روند گفته می شود.

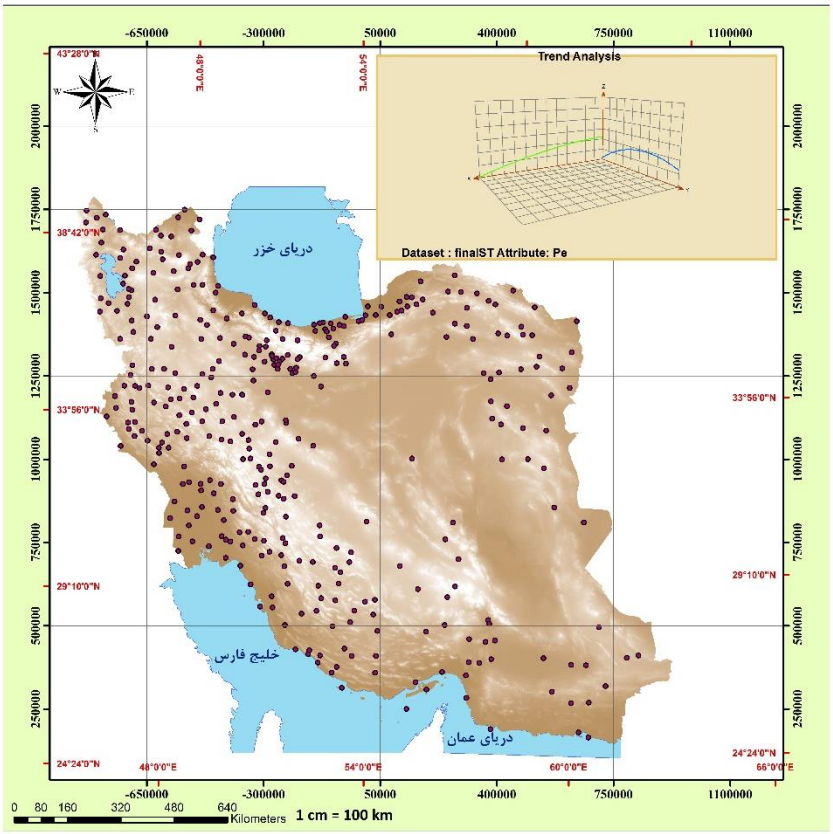
نتایج و بحث

با بررسی اولیه داده ها در الحاقیه Geostatistical Analyst، نرمال بودن داده ها باید تایید شود (کورتوسیس نزدیک ۳ و چولگی نزدیک صفر)، بنابراین پیش شرط اولیه استفاده از روش های کریجینگ و به طور کلی ارائه ضریب رگرسیون نرمال بودن داده ها است که باید مورد بررسی قرار گیرد. در مورد نرمال بودن داده ها در این افزونه نمی توان مطمئن شد. بنابراین در نرم افزار spss تست کلوموگروف اسمرینوف برای داده ها (بیش از ۳۰ جفت داده وجود دارد) اعمال شد

[1] Ordinary Kriging
[2] Simple Kriging
[3] Universal Kriging
[4] Indicator Kriging
[5] Disjunctive Kriging
[6] Areal Interpolation
[7] Emprical Bayesian Kriging
[8] Danie Krige

و نتایج حاکی از عدم نرمالیته شدید داده ها داشت که با حذف داده های پرت و برخی جفت داده های پرت از سمی واریوگرام داده ها در نرم افزار GS^+ و همچنین تغییر لگاریتمی داده ها نرمال بودن داده ها محقق شد. استفاده از برخی از تبدیلات مانند تبدیل لگاریتمی و تبدیل Box Cox در الحاقیه زمین آمار ممکن است بتواند داده ها را نرمال کند که با اعمال تبدیلات روی داده ها و تست مجدد آنها در spss نرمال بودن آنها احراز شد.

برای حذف داده های پرت علاوه بر آزمون داده های پرت، ۴۱۵ داده موجود مورد بررسی قرار گرفتند و معلوم شد که تعداد ایستگاه هایی که داده های بزرگ را برداشت می کنند پایین است و به عبارتی پراکنش ایستگاه ها برای ارائه تصویر درست از شرایط متوسط کشور درست نیست، بدین معنی که تعداد اعداد واقع شده در بازوی چپ هیستوگرام فراوانی داده ها در اکثریت بوده (به واسطه ساخت ایستگاه بیشتر یعنی نمونه برداری غلط) و داده ها دارای چولگی چپ می باشند. در نهایت پس از خذف داده های پرت و برخی از جفت داده های پرت در سمی واریوگرام داده ها، ۳۸۰ داده بارش با میانگین ۱۵۰ میلی متر برای شروع تحلیل زمین آماری باقی ماند.



با بررسی روند کلی داده ها می توان گفت روند تغییر داده ها شدید نیست و روند آرامی در تغییرات به چشم میخورد. روند در راستای محور y به صورت قوسی بوده و با حرکت از شمال کشور به طرف جنوب کشور روند خطی نمی باشد. در مرکز کشور مقادیر بارش نسبت به شمال و جنوب کشور افزایش نامحسوسی نشان می دهد. با حرکت از غرب به شرق کشور روند کاهشی در داده ها دیده می شود (شکل ۱).

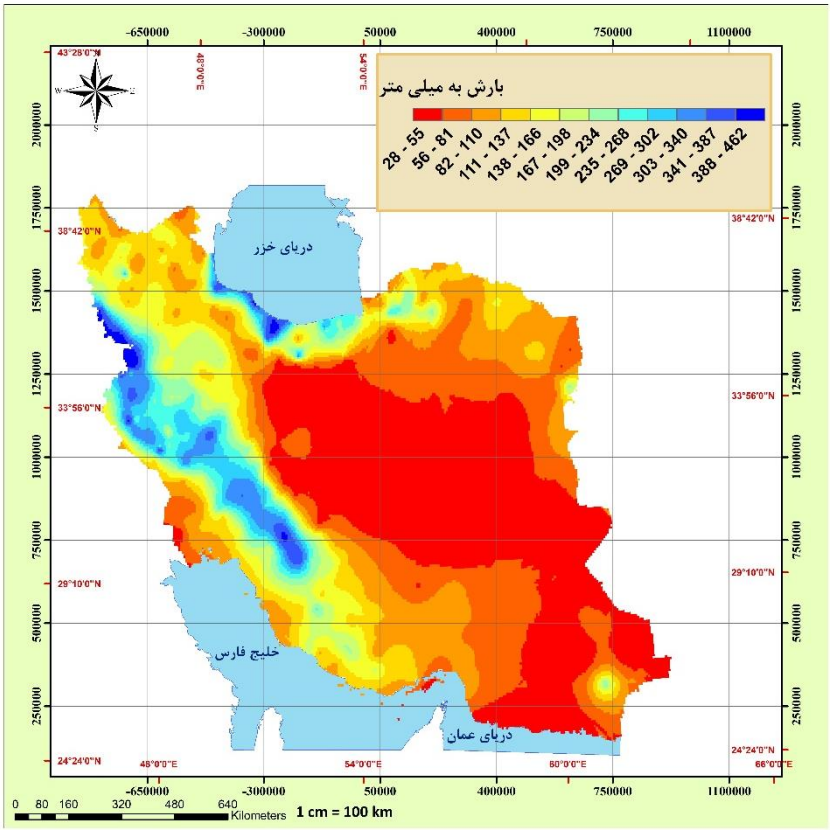
شکل ۱- روند طولی و عرضی داده های بارش در کشور

به دلیل وجود متغیرهای کمکی همچون داده های تبخیر تعرق و ارتفاع در هر ایستگاه از روش کوکریجینگ و مدل نمایی سمی واریوگرام که برتری آن در نرم افزار GS^+ قابل بررسی است، نقشه های پهنه بندی بارش در سطح کشور استخراج شد.

مرجع

نتیجه گیری

در نهایت NRMSE مقداری برابر ۳۰ درصد به دست آمد. مقدار RMS برابر ۴۸ و معادله خط رگرسیون نیز در افزونه زمین آمار استخراج شد. با توجه به پهنه عظیم مورد مطالعه در سطح کشوری و با توجه به مقدار نسبتا قابل قبول NRMSE و همچنین ضریب رگرسیون استخراجی از نمونه نرمال شده، میتوان گفت تخمین مقدار بارش در مکان های بدون ایستگاه توسط روش های زمین آماری به طور نسبتا قابل قبولی، قابل انجام است. به شرطی که اصول آماری حاکم بر مبنای مطالعات به خوبی احصا گردد



شکل ۲- پهنه بندی بارش در سطح کشور

می توان با تکیه بر این روش ها نقشه های پهنه بندی را با درجات بالای همبستگی ارائه داد. معادله خط رگرسیون برابر Y= 0.8X+33.71 می باشد. مقدار میانگین بارش پیش بینی شده در سطح کشور برابر ۱۰۶ است که با میانگین داده های مشاهداتی (۱۵۰) قرابت خوبی در پهنه کشوری نشان نمی دهد. در حالت کلی به نظر می رسد روش کوکریجینگ مورد استفاده در این مطالعه با توجه به نوع داده ها (دارای کران های بالا و پایین شدید) برای درون یابی داده ها بهترین نمی باشد ولی برای ارائه یک تصویر کلی و با حداکثر سی درصد خطا قابل اتکا می باشد. ضمنا نقشه پهنه بندی از نظر منطقه وقوع بارش های بالا و پایین و پیش بینی آنها به خوبی عمل کرده است. آنچه که واضح است حداکثر بارش ها در ارتفاعات و دامنه های البرز و زاگرس می باشد که در نقشه پهنه بندی نیز به خوبی قابل مشاهده است.

تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می دانند از مجموعه تیم علمی طرح نیاز آب در موسسه تحقیقات خاک و آب کشور به خاطر تامین داده های اولیه مورد نیاز برای ایستگاه های مورد مطالعه در این تحقیق تشکر نمایند.

منابع

امینی، م.، هدایتی دزفولی، ا.، و آزادی، م. (۱۳۹۷). مقایسه پهنه بندی بارش بر روی ایران با استفاده از روش های مختلف درونیابی در یک حالت موردی. مجله علمی و ترویجی نیوار، ۱۰۱-۱۰۰: ۷۴-۶۷.

Aalijahan, M., & Khosravichenar, A. (2021). A Multimethod Analysis for Average Annual Precipitation Mapping in the Khorasan Razavi Province (Northeastern Iran). Atmosphere, 12(5), 592.

Berke, O. (2004). Exploratory disease mapping: kriging the spatial risk function from regional count data. International Journal of Health Geographics, 3(1), 1-11.

Cantet, P. (2017). Mapping the mean monthly precipitation of a small island using kriging with external drifts. Theoretical and Applied Climatology, 127(1-2), 31-44.
Chang, K. T. (2006). Introduction to geographic information systems: McGraw-Hill Higher Education. Boston. 464p.
Javari, M. (2017). Geostatistical modeling to simulate daily rainfall variability in Iran. Cogent Geoscience, 3(1), 1416877.
Ly, S., Charles, C., & Degré, A. (2013). Different methods for spatial interpolation of rainfall data for operational hydrology and hydrological modeling at watershed scale: a review. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 17(2), 392-406.
Houlding, S. (2000). Practical geostatistics: modeling and spatial analysis. Manual: Springer Science & Business Media. 179 p.

Zoning of Rainfall in the country using geostatistical methods

Anahita Jabbari[1], NiazAli Ebrahimi Pak[2], Arash Tafteh[3], Aziz majidi[4], Sina Mallah[5]
1,4: Assistant Professor of Soil and Water Research Department, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran. Email: a.jabbari@areeo.ac.ir
2: Associate professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3: Assistant professor of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
5: Researcher of Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Abstract
Text Water scarcity is an important limitation for agricultural development in many parts of the world, so it is obvious that the optimized management of acceptable water resources is one of the most critical management challenges these days. So the knowledge of water balance in watersheds is the most important prerequisite for this optimal management. Rainfall as the most crucial part of this equation is measured in meteorological stations. But the noticeable point is that how the parameter should be measured in areas without stations. The Geostatistical methods as favorite interpolation methods solve the problem. In the current study after making a Normal distributed sample and by the use of kriging method, the zoning maps are presented. The regression coefficient of 0.8 and NRMSE about 30 percent illustrates the acceptable functionality of Kriging method through the large area of the country in showing the overall look og the data zoning.

Keywords: Rainfall, SPSS, Geostatistics, Geographic Information System.

توسعه رابطه پیشروی بر اساس رطوبت اولیه و میزان جریان ورودی در آبیاری شیاری

محمد جواد نحوی‌نیا[1]، داودخسروی[2]

۱-استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، javad.nahvinia@gmial.com

۲-دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه اراک

چکیده

زمان پیشروی آب در خاک، یکی از معیارهای مدیریت سیستم‌های آبیاری و به خصوص تعیین زمان قطع جریان است. روابطی که تاکنون برای زمان پیشروی در آبیاری شیاری توسعه یافته‌اند، توابع تک متغیره‌ای از طول شیار و زمان پیشروی می‌باشند. در صورتی که سرعت پیشروی از پارامترهای مختلفی نظیر رطوبت اولیه و دبی ورودی به شیار تاثیر می‌پذیرد. در این تحقیق پیش‌بینی زمان پیشروی در آبیاری شیاری با استفاده از رطوبت اولیه‌ی خاک و دبی ورودی به شیار به روش رگرسیون گام‌به‌گام مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور از یک سری آزمایش‌های صحرایی که به روش آبیاری شیاری در پنج مزرعه آزمایشی گلمکان مشهد، توتون ارومیه، مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول، دانشگاه بیرجند و موسسه اصلاح بذر کرج در طی دوره‌ی زمانی تابستان ۱۳۷۶ تا تابستان ۱۳۹۵ انجام شده و دارای طیف گسترده‌ای از نظر بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) بودند، استفاده شد. ارتباط بین زمان پیشروی و پارامترهای رطوبت اولیه‌ی خاک و دبی ورودی به شیار به شکل معادلات مختلف به دست آمد. صحت توابع ایجاد شده با استفاده از آماره‌های R^2 و RMSE ارزیابی شد. نتایج نشان داد که این رابطه در خاک‌های سنگین در مقایسه با خاک‌های متوسط و سبک از کارایی بالاتری برخوردار است.

کلمات کلیدی: آبیاری شیاری، روش دو نقطه‌ای، زمان پیشروی، مدل رگرسیونی

۱- مقدمه:

آبیاری شیاری یکی از روش‌های آبیاری سطحی است که در آن آب هم به صورت جانبی و هم به صورت عمودی وارد خاک می‌شود و نسبت به دیگر روش‌های آبیاری سطحی، امکان مدیریت بهتر آب در مزرعه را فراهم می‌نماید. منحنی پیشروی و زمان رسیدن آب به انتهای جویچه یکی از معیارهای مدیریت سیستم‌های آبیاری و به خصوص تعیین زمان قطع جریان است. ساده ترین و معمول‌ترین رابطه‌ای که برای پیشروی آب در شیار استفاده می شود یک رابطه توانی بصورت زیر است (Elliot and Walker, 1982):

$$(T_a)_x = p' x^{r'} \qquad (۱)$$

در این معادله : x = فاصله پیشروی از ابتدای جویچه، $(T_a)_x$ = زمان لازم برای پیشروی آب از ابتدای جویچه به نقطه‌ای که به فاصله x از آن قرار دارد.'p و 'r = ضرایب ثابت برازش منحنی می‌باشند. روابط تجربی مختلفی جهت تخمین زمان پیشروی ارائه شده که از جمله‌ی این روابط می‌توان به معادله Elliot and Walker (1982)، وزارت کشاورزی آمریکا[1](SCS) (Walker and Skogerboe,1987)، Scaloopi *et al.*, (1995)، Willardson and Bishop (1967) و Alvarez (2003) اشاره کرد. پیشروی فرآیندهای پیچیدای هستند که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله خصوصیات نفوذپذیری خاک، رطوبت اولیه خاک، مقدار جریان ورودی به مزرعه، سابقه قبلی خیس شدگی، عملیات زراعی و عوامل ناشناخته دیگری قرار دارند. در طراحی آبیاری شیاری معمولاً مشخصات نفوذ، سطح مقطع جریان، میزان جریان ورودی، رطوبت اولیه خاک و ضریب زبری را در طول فصل کشت و در تمام سطح مزرعه ثابت در نظر می‌گیرند، اما این عوامل شرایط بروز تغییرات در مرحله پیشروی و

[1] Soil Conservation Service

به تبع آن اختلاف آب نفوذ کرده در طول شیارهای مختلف در یک مزرعه را فراهم می‌آورند. هرچند میزان جریان ورودی و رطوبت اولیه خاک از عوامل اثرگذار بر زمان پیشروی به شمار می‌روند، لیکن تاکنون تأثیر ترکیبی این پارامترها در معادلات تجربی مورد بررسی قرار نگرفته است. چنانچه این معادلات براساس عوامل مذکور اصلاح شوند، مدیریت قویتری را می توان در طول فصل کشت و متناسب با وضعیت موجود اعمال نمود. معادلات رگرسیونی که پارامترهای هیدرولیکی دیریافت را با استفاده از اطلاعات موجود خاک تخمین می زنند، توابع انتقالی خاک نامیده می شوند (Amini *et al.*, 2005) که در ارائه آنها از روش‌های رگرسیون چندگانه (خطی، غیرخطی) استفاده می شود (نوابیان،۱۳۸۲). مطالعه حاضر بر اساس تخمین زمان پیشروی آب در آبیاری شیاری به وسیله پارامترهای فیزیکی که به آسانی قابل تعیین می باشند، نظیر رطوبت اولیه‌ی خاک و دبی ورودی به شیار با استفاده از مدل رگرسیونی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری اطلاعات صحرایی: در این تحقیق از داده‌های اندازه گیری شده در آزمایش‌های صحرایی به روش آبیاری شیاری که طی دوره‌ی زمانی تابستان ۱۳۷۶ تا تابستان ۱۳۹۵ در ایستگاه‌های تحقیقاتی کشاورزی گلمکان مشهد، توتون ارومیه، مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول (محمدی و رفاهی، ۱۳۸۴)، مزرعه آزمایشی دانشگاه بیرجند و موسسه اصلاح بذر کرج انجام شده بود (گنجه، ۱۳۸۵)، استفاده گردید. مشخصات بافت خاک و مزارع تحت مطالعه (جدول۱) نشان می‌دهد که خاک مزارع تحت مطالعه دارای طیف گسترده ای از نظر بافت خاک (سبک، متوسط و سنگین) می باشد.

جدول۱- مشخصات فیزیکی خاک و شیارهای مزارع آزمایشی

مزرعه‌ی آزمایشی	بافت خاک	میانگین هندسی قطر ذرات (dg) (mm)	انحراف معیار هندسی (σ_g)	فاصله شیار (m)	طول شیار (m)	شیب شیار
مشهد	لوم سیلتی	۰/۰۲۶	۸	۰/۷	۵۰ -۲۵۰	۰/۰۰۱ -۰/۰۱۱۷
ارومیه	لوم رسی	۰/۰۳	۱۷	۰/۷۵	۵۰-۲۵۰	۰/۰۰۱ -۰/۰۱۶۳
دزفول	لوم رسی سیلتی	۰/۰۱۵	۹	۰/۷	۵۰ -۲۵۰	۰/۰۰۱ -۰/۰۱
کرج	لوم	۰/۰۶	۱۲	۰/۷	۱۶۰ -۱۷۵	۰/۰۰۵۶ -۰/۰۱
بیرجند	لوم شنی	۰/۰۲	۲۵	۰/۷۵	۵۰ -۱۳۰	۰/۰۰۶۴ -۰/۰۱

در هر یک از مناطق مورد مطالعه، طول و فاصله شیارها بر اساس بافت خاک، توصیه‌های اداره حفاظت خاک آمریکا[1] (SCS) (USDA ,1979) و پستی و بلندی محل انتخاب شده است. برای هر آبیاری با استفاده از روش بیلان حجم، عوامل معادله نفوذ کوستیاکف- لوییس برای شیار تعیین گردید.

از آنجا که بدلیل مشکل بودن پایش رطوبت خاک تا لحظه رسیدن به رطوبت مورد نظر انجام آزمایش و اندازه‌گیری‌ها در یک رطوبت از پیش معین شده میسر نبود، اندازه‌گیری زمان پیشروی در رطوبت‌های مختلف موجود در خاک بعد از گذشت زمانی معین از آبیاری صورت گرفت. در طول هر شیار ۶ نمونه از ابتدا، وسط و انتها و در عمقهای ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتیمتر تهیه و رطوبت هر نمونه بطور جداگانه اندازه‌گیری شد. میانگین شش رطوبت یاد شده محاسبه و در تجزیه و

[1] Soil Conservation Service

تحلیل داده‌ها به عنوان رطوبت اولیهٔ خاک مورد استفاده قرار گرفت. در هر آزمایش، بی درنگ پس از تعیین رطوبت اولیه، آبیاری با دبی ثابت انجام گرفت.

رگرسیون چندگانه خطی (MLRM)[1]: برای تعیین زمان پیشروی با استفاده از رگرسیون چندگانه، از رگرسیون خطی به روش گام‌به‌گام[2] استفاده گردید. برای تخمین زمان پیشروی در شیار میزان دبی ورودی، رطوبت اولیه خاک، شیب طولی شیار، طول شیار، میانگین هندسی قطر ذرات (dg)، انحراف معیار هندسی (σg) و چگالی ظاهری خاک به عنوان متغیرهای ورودی انتخاب شدند. در روش تجزیه و تحلیل رگرسیونی، دو فرض اولیه آن یعنی آزمون نرمال بودن و غیر همراستایی داده ها به وسیله نرم افزار Minitab مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین وجود یا عدم وجود همراستایی در توابع ایجاد شده از آماره‌ی عامل تورم واریانس (VIF)[3] استفاده گردید. اگر هرکدام از VIF ها از ۱۰ بزرگتر باشد، ضعف برآورد ضرایب رگرسیون براثر همراستایی چندگانه مشهود است (Horton, 1940). انتخاب متغیر مستقل برای ورود به مدل، بر اساس آزمون آماری F در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد.

پارامترهای ارزیابی: پارامترهای آماری جهت ارزیابی مدل‌های آماری و تجربی مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: میزان ضریب همبستگی (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) .

نتایج و بحث

در جدول ۲ مقادیر دبی ورودی، رطوبت اولیه و چگالی ظاهری در شیارهای آزمایشی ارائه شده است. دامنه‌ی وسیع پارامترهای استفاده شده در این مطالعه، جامعیت مدل‌های استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. تعداد داده های موجود برابر ۲۴۰ است که ۸۰ درصد اولیه (۱۹۲ داده) جهت تولید و بسط مدل رگرسیونی و ۲۰ در صد باقیمانده (۴۸ داده) به عنوان داده های آزمایشی جهت آزمون مدل انتخاب و مشخص شدند. برای بررسی و مقایسه‌ی عملکرد مدل‌ها، زمان پیشروی در طول شیار برای مجموعه اطلاعاتی که برای ارزیابی مدل‌ها انتخاب شده بودند، محاسبه شد. سپس پارامترهای آماری ضریب همبستگی (R^2) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر تخمین زده شده‌ی میزان زمان پیشروی محاسبه گردید (جدول ۳).

جدول ۲- دامنه‌ی تغییر مقادیر دبی ورودی، چگالی ظاهری و رطوبت اولیه در شیارهای آزمایشی

مزرعه‌ی آزمایشی	دبی ورودی(L/S)	رطوبت اولیه	چگالی ظاهری (gr/cm^3)
مشهد	۰/۲۵ -۱/۵	۵/۳۵ -۱۲/۱۴	۱/۵۳ -۱/۶
ارومیه	۰/۰۵ -۰/۷۵	۱۳/۵ -۲۲/۷	۱/۳ -۱/۵
دزفول	۰/۱ -۱/۵	۱۲/۸ -۲۳/۷۵	۱/۶۷ -۱/۷۶
کرج	۱/۱ -۱/۴	۵/۳۹ -۲۷/۲۲	۱/۳۴ -۱/۴۷
بیرجند	۰/۵ -۲	۵/۶۹ -۱۰/۴۶	۱/۳۹ -۱/۵

رگرسیون چندگانه: نتایج آزمون آماری F نشان داد که در تخمین زمان پیشروی اثر پارامتر میانگین هندسی قطر ذرات (d_g)، انحراف معیار هندسی (σ_g) و چگالی ظاهری معنی دار نشده است و این پارامترها تاثیر بسیار ناچیزی در تبیین واریانس متغیر وابسته داشته است و به این لحاظ از فهرست متغیرهای ورودی حذف شده است.

[1] Multiple Linear Regression Model
2 Stepwise
3 Variance Impact Factor

جدول۳- فرم نهایی و نتایج حاصل از عملکرد ساختار بهینه مدل رگرسیونی در پیش‌بینی میزان زمان پیشروی

	مدل	آموزش		آزمون	
		R^2	RMSE	R^2	RMSE
زمان پیشروی	$t= 0.0068x^{1.26}Q^{-0.698}\ S^{-0.146}\ 0.96^{\Theta}$	۰/۹۱	۰/۲۸۸	۰/۷۱	۰/۱۷

نتایج آزمون همراستایی نیز نشان داد که مقادیر VIF متغیرهای ورودی به ۱۰ نرسیده است و بزرگترین VIF بدست آمده در تخمین زمان پیشروی مربوط به طول شیار و معادل ۲/۴۶۲ می باشد. با بررسی روابط مختلف بین پارامترهای ورودی و خروجی بر اساس ضریب همبستگی (R^2_{adj}) بالاتر فرم نهایی رابطه‌ی چهار متغیره پیشروی انتخاب شد (جدول۳).

توسعه رابطه توانی پیشروی بر اساس میزان جریان ورودی به شیار: با حذف پارامتر شیب و رطوبت اولیه خاک از رابطه رگرسیونی زمان پیشروی (جدول۲) مستقیماً به شکل توسعه یافته رابطه‌ی توانی پیشروی (رابطه ۶) دست یافت. چنانچه متغیر شیب و رطوبت اولیه خاک حذف شوند، ضریب رابطه تغییر خواهد کرد. با حذف این پارامتر اثر تغییرات رطوبت اولیه خاک و شیب بر زمان پیشروی با توجه به تجربی بودن رابطه، در ضرایب جدید پدیدار خواهد شد.

$$t = \alpha X^{r} Q^{y} \qquad (۶)$$

رابطه‌ی فوق را می توان شکل توسعه یافته رابطه توانی پیشروی دانست که بر اساس دبی ورودی به شیارها اصلاح گردیده است. که در آن، t: زمان پیشروی (دقیقه)، x: فاصله پیشروی از ابتدای شیار (متر)، Q: میزان جریان ورودی به شیار (متر مکعب بر دقیقه)، α,r,γ: ضرایب تجربی. روشی که در این بخش برای ارزیابی ضرایب رابطه توسعه یافته پیشروی استفاده می‌شود بر پایه اطلاعات پیشروی حاصل از اندازه گیری‌های مزرعه‌ای بنا نهاده شده است. بدین منظور در دو شیار که شرایط مشابهی (رطوبت اولیه خاک، طول، سطح مقطع و ...) داشته باشند، به ازای دو جریان ورودی مختلف، پیشروی اندازه گیری می‌شود. ارزیابی‌های انجام شده نشان می‌دهد، بهترین نتیجه زمانی حاصل می‌شود که اطلاعات پیشروی ایستگاه های میانی و انتهایی هر یک از شیارهای مورد آزمایش مورد استفاده قرار گیرد. چنانچه همزمان زمان پیشروی آب تا نصف طول شیار و پیشروی تا انتها را برای هر یک از شیارها جداگانه حل کنیم؛ متوسط مقادیر به دست آمده برابر است با توان x.

$$Q_1\{\begin{matrix} t_1(0.5L) \\ t_{1l} \end{matrix}; \quad Q_2\{\begin{matrix} t_2(0.5L) \\ t_{2l} \end{matrix} \qquad (۷)$$

$$r = average\{\frac{Ln(t_1(0.5L)/t_{1L})}{Ln(0.5)}; \frac{Ln(t_2(0.5L)/t_{2L})}{Ln(0.5)}\} \qquad (۸)$$

برای تعیین توان Q، یکبار زمان پیشروی ایستگاه میانی و بار دیگر زمان پیشروی ایستگاه پایانی شیارها را همزمان حل می کنیم و سپس از مقادیر حاصله میانگین می‌گیریم.

$$Y = averagr\{\frac{Ln(t_1(0.5L)/t_2(0.5L))}{Ln(\frac{Q_1}{Q_2})}; \frac{Ln(t_{1L}/t_{2L})}{Ln(\frac{Q_1}{Q_2})}\} \qquad (۹)$$

با مشخص شدن توان هریک از متغیرهای رابطه (۶)، با استفاده از یکی از داده‌ها می توان مقدار ضریب معادله مذکور را محاسبه کرد:

$$\alpha = \frac{t_2 L}{L^{\beta}.Q_2^{\gamma}} \qquad (۱۰)$$

ارزیابی روش‌های پیشنهادی جهت تخمین زمان پیشروی: به منظور ارزیابی روش‌های پیشنهادی جهت تخمین زمان پیشروی در شیار، در سه مزرعه‌ی آزمایشی صفی‌آباد دزفول، گلمکان مشهد و توتون ارومیه، ضرایب معادلات (۶) با استفاده از داده های پیشروی دو شیار که دارای جریان ورودی متفاوت و رطوبت اولیه یکسان بودند، محاسبه گردید (جدول ۳).

جدول۳- اطلاعات شیارهای مورد آزمایش جهت ارزیابی روش‌های پیشنهادی جهت تخمین زمان پیشروی در شیار

پارامتر	گلمکان مشهد		صفی آباد دزفول		توتون ارومیه	
	شیار ۱	شیار ۲	شیار ۱	شیار ۲	شیار ۱	شیار ۲
Q(L/S)	۰/۶۹	۱/۱	۰/۵۴۵	۰/۹۵	۰/۷۷	۰/۹۵
L(m)	۱۰۰	۱۰۰	۱۸۰	۱۸۰	۲۵۰	۲۵۰
S(m/m)	۰/۰۱۱۷	۰/۰۱۱۷	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۸۲
Θm	۵/۳۵	۵/۳۵	۲۲/۷	۲۲/۷	۲۳/۷۵	۲۳/۷۵
T_L(min)	۶۸	۳۰/۵	۷۶/۵	۴۱/۴	۷۶/۵	۴۸/۶۳
$T_{0.5L}$(min)	۱۰	۱۷	۱۸	۲۶	۲۲	۲۸

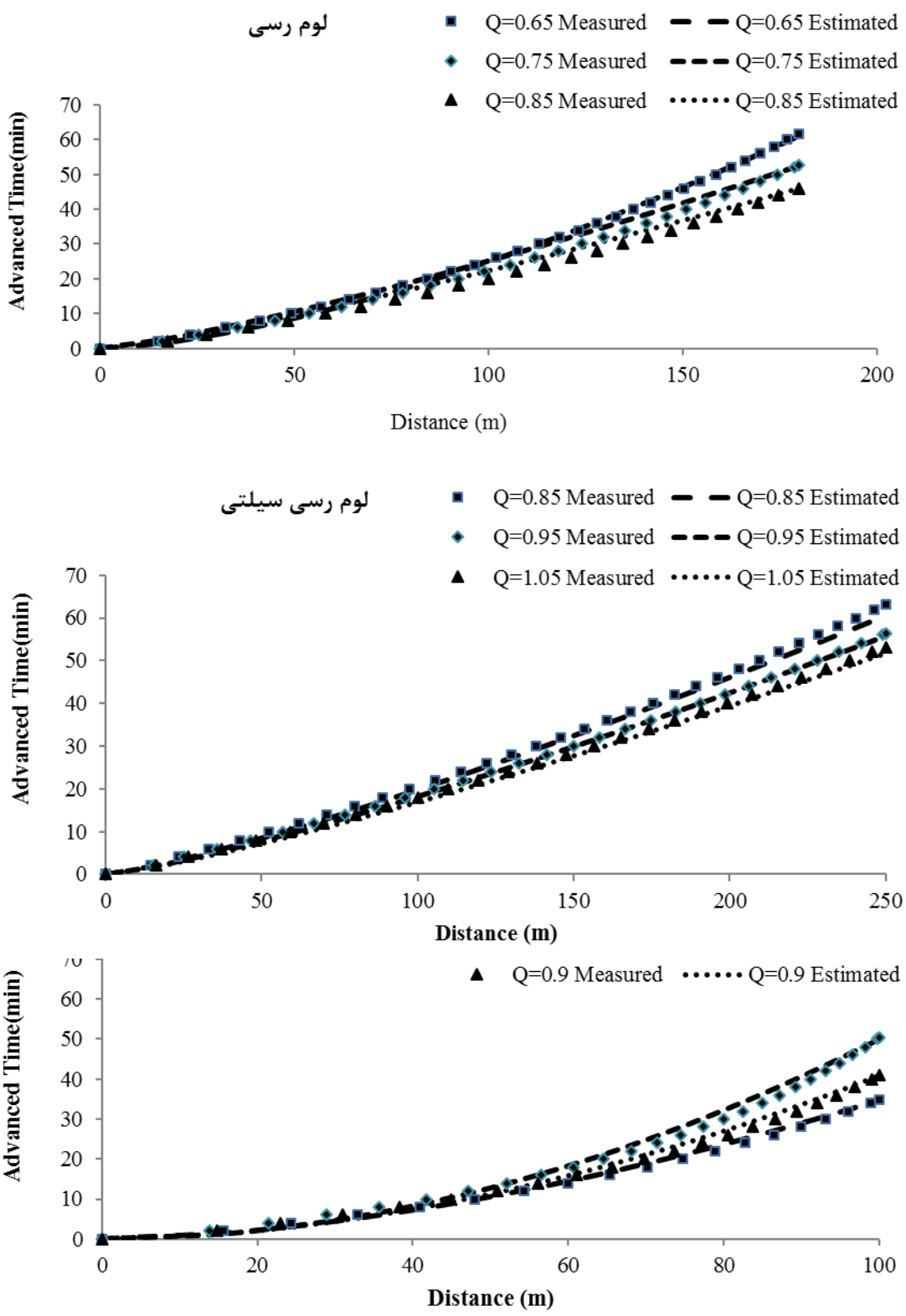
با جایگذاری ضرایب محاسبه شده در رابطه (۶) ، معادله پیشروی برای هر یک از مزارع آزمایشی تعیین شد.

مزرعه گلمکان مشهد (سیلتی لوم) : $t= 0.00863.\ x^{1.803}.\ Q^{-1.429}$

مزرعه صفی آباد دزفول(لوم سیلتی رسی) : $t= 0.0641.\ x^{1.219}.\ Q^{-0.737}$

مزرعه توتون ارومیه (لوم رسی) : $t= 0.0195\ x^{1.464}\ Q^{-0.998}$

جهت بررسی دقت رابطه فوق، زمان‌های پیشروی برای سایر دبی‌ها که اطلاعات پیشروی آنها در دست بود، محاسبه شد. در شکل ۱ زمان‌های پیشروی محاسبه شده با مقادیر واقعی مقایسه شده‌اند. نتایج بیانگر دقت قابل قبول روش ارائه شده می باشد.



شکل ۱- نمودارربین زمان پیشروی مشاهده‌ای و محاسبه شده توسط روش پیشنهادی در خاک‌های مختلف

نتیجه گیری:

این مطالعه جهت تخمین زمان پیشروی در آبیاری شیاری با استفاده از رطوبت اولیه‌ی خاک و دبی ورودی به شیار به وسیله‌ی رگرسیون خطی چندگانه انجام شد. نتایج آزمون آماری F نشان داد که در تخمین زمان پیشروی اثر پارامتر میانگین هندسی قطر ذرات (d_g)، انحراف معیار هندسی (σ_g) و چگالی ظاهری معنی دار نشده است. مقادیر همبستگی بین زمان پیشروی بدست آمده و برآورد شده بر پایه مدل رگرسیونی (R^2=۰/۹۴) بدست آمد. نتایج همچنین نشان داد دقت روابط بدست آمده در خاک‌های سنگین در مقایسه با خاک‌های متوسط و سبک بیشتر است. به منظور بهبود کارایی این روابط، وجود شاخص‌هایی برای بیان اثر کمی ساختمان خاک ضروری است. معادلات پیشروی که بر اساس دبی ورودی به شیار توسعه یافتند، نیازمند ارزیابی های بیشتر می باشند. لذا توصیه می شود در مزارع تحت کشت نیز معادلات مذکور بررسی شوند. پیشنهاد می شود، توابع انتقالی در تحقیقات آتی جهت مدل سازی فرآیند پیشروی در آبیاری نواری نیز، مورد بررسی قرار گیرند.

فهرست منابع:

گنجه، ا. ۱۳۸۵. ارزیابی یکنواختی کود آبیاری در آبیاری جویچه‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه تهران.

محمدی، م.ح. و رفاهی، ح. ۱۳۸۴. تخمین پارامترهای معادلات نفوذ توسط خصوصیات فیزیکی خاک. مجله علوم کشاورزی ایران. ۳۶ (۶) : ۱۳۹۸-۱۳۹۱.

نوابیان، م.۱۳۸۲. تخمین هدایت هیدرولیکی اشباع با استفاده از توابع انتقالی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه تهران.

Alvarez, J. A. R. (2003). Estimation of advance and infiltration equations in furrow irrigation for untested discharges. J. *Agricultural Water Management*, 60(3), 227–239.

Amini, M., Abbaspour, K. C., Khademi, H., Fathianpour, N., Afyoni, M. Schulin, R. (2005). Neural Network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. *European Journal Soil Science*, 56(3), 551-559.

Elliot, R. L., Walker, W. R. (1982). Field evaluation of furrow infiltration and advance functions. *Trans, ASAE*, 15(2), 369–400.

Horton, R.E. (1940). Aproach toward a physical interpretatation of infiltration capacity. *Soil Society American Journal*, 5(3): 339-417.

Scaloopi, E. J., Markely, G.P., Willardson, L. S. (1995). Intake parpmeter from advance and wetting phase of surface irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 121(7), 57-69.

USDA. (1979). Furrow irrigation. Serv. Natl. Eng. Hand book. 720p.

Walker, W. R. Skogerboe, G. V. (1987). Surface irrigation theory and practice, U.S.A. prentce hall. 679p.

Willardson, L. S., Bishop, A. A. (1967). Analysis of surface irrigation application efficiency. *Journal of the irrigation and drainage division, ASCE*, 93(2), 167-184.

Development of advanced time relation based on initial soil moisture content and inflow rate in furrow irrigation

Mohammd javad nahvinia[1], Davoud khosravi[2]

1- Assistant Professor, Department of water sciences and engineering, Faculty of agriculture and environment, Arak University

2-Msc Student, Department of water sciences and engineering, Faculty of agriculture and environment, Arak University

Abstract:

Advanced time of water in Furrow is very important in management of surface irrigation. Mathematical relations that have been developed for advanced time are generally functioning of time and length of Furrow, respectively. Whereas advanced time are affected by using different parameters like the initial soil moisture content and inflow rate of furrow. In this study prediction of advanced time in furrow evaluated is using stepwise regression method according to initial soil moisture content and furrows inflow rate. Field studies were conducted in five different cities during 1998-2016, under various soil textures. The relation between of advanced time and initial soil moisture content, inflow rate of furrow were obtained different equations. The accuracy of functions was evaluated by R^2 and RMSE. Results showed that this function was more accurate in heavier soils than medium and light textured soils.

Keywords: advanced time, furrow irrigation, two point method, and regression method.

اعتبارسنجی چند روش مختلف برآورد شدت تابش خورشید با تمرکز بر میزان تأثیر آنها بر دقت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع

یونس خوشخو[1]، سیده انیسه قضائی[2]

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان؛ (y.khoshkho@uok.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هیدروانفورماتیک، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان؛ (anis.ghazaei@gmail.com)

چکیده

شدت تابش خورشید یکی از پارامترهای اصلی جهت برآورد نیاز آبی گیاهان است و نقشی مهم در مدلسازی فرایندهای مرتبط با سیستم خاک-گیاه-آتمسفر دارد. در این تحقیق کارایی سه مدل آنگستروم، بلک و هارگریوز جهت برآورد شدت تابش روزانه در ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره آماری ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۸ و ۲۰۲۰-۲۰۱۶ به ترتیب جهت واسنجی و اعتبارسنجی انتخاب شدند. در ادامه، از مقادیر شدت تابش برآورد شده توسط هر کدام از این مدل‌ها در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع روزانه به روش فائو-پنمن-مانتیث استفاده شد و کارایی این روش‌ها با حالتی که داده‌های واقعی شدت تابش در مدل فائو-پنمن-مانتیث قرار داده شده بودند مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که هر سه مدل آنگستروم، بلک و هارگریوز در حالت واسنجی‌شده برآوردهای دقیق‌تری در مقایسه با مدل‌های واسنجی نشده بدست می‌دهند. در بین مدل‌های مذکور، مدل واسنجی‌شده آنگستروم منجر به حصول برآوردهای دقیق‌تر شدت تابش خورشید و به تبع آن تبخیر و تعرق مرجع روزانه شد و در صورت در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز آن، در مطالعات مربوط به برآورد تبخیر و تعرق بعنوان یک روش مناسب جهت برآورد شدت تابش پیشنهاد می‌گردد.

واژگان کلیدی: مدل آنگستروم، مدل بلک، مدل هارگریوز، ایستگاه تبریز

مقدمه

میزان انرژی رسیده از خورشید به زمین یک پارامتر اصلی و مهم در برآورد نیاز آبی و تبخیر و تعرق گیاهان است و برآورد دقیق آن از اصول اولیه طراحی شبکه‌های آبیاری و برنامه‌ریزی آبیاری است (آقاشریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۱). شدت تابش خورشید بطور معمول در ایستگاه‌های هواشناسی توسط آکتینوگراف و یا پیرانومتر اندازه‌گیری می‌شود. در بین عوامل مختلف هواشناسی که در ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند شدت تابش خورشید بطور محدود و توأم با خلاهای آماری زیاد اندازه‌گیری می‌شود و خطای موجود در داده‌های اندازه گیری شده آن هم در مقایسه با سایر متغیرهای هواشناسی بیشتر است (خوشخو و همکاران، ۱۳۹۸). بر این اساس، روش‌های تجربی متعددی جهت برآورد شدت تابش ارائه شده‌اند که مبتنی بر وجود ارتباط بین متغیرهایی نظیر طول ساعات آفتابی، ابرناکی، دماهای حداقل و حداکثر هوا و ... با شدت تابش هستند. جهت پیاده‌سازی این ارتباط در قالب مدل‌های تجربی، در برخی از مدل‌ها مثل مدل آنگستروم[1] از مدل خطی و در برخی مدل‌ها مثل بلک[2] و هارگریوز[3] از مدل‌های

[1] Angstrom
[2] Black
[3] Hargreavs

غیرخطی استفاده شده است (خلیلی و رضایی صدر، ۱۳۷۶؛ آقاشریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۰؛ Allen et al., 1998). از مدل‌های مذکور در تحقیقات متعددی از جمله Zhao و همکاران (۲۰۱۳)، معینی و همکاران (۱۳۸۹)، زارعی و همکاران (۱۳۹۴) و فلاح قالهری و شاکری (۱۳۹۵) استفاده شده است. با توجه به اینکه شدت تابش خورشید یکی از اصلی‌ترین متغیرهای ورودی مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع از جمله مدل فائو- پنمن - مانتیث، که جزو معتبرترین مدل‌های برآورد تبخیر و تعرق مرجع محسوب می‌شود، می‌باشد لذا در این تحقیق سعی شده است که کارایی چند مدل خطی و غیرخطی برآورد شدت تابش خورشید با تمرکز بر میزان تأثیر آنها بر دقت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع مورد اعتبارسنجی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

جهت انجام این تحقیق، ایستگاه سینوپتیک تبریز انتخاب شد. دوره آماری مورد مطالعه، بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰ بود که معیار انتخاب این دوره، در دسترس بودن داده‌های شدت تابش واقعی برای ایستگاه مورد مطالعه بود. در کنار داده‌های شدت تابش، متغیرهای هواشناسی مختلفی شامل طول ساعات آفتابی، ابرناکی و مقادیر حداقل و حداکثر دمای هوا نیز مورد استفاده قرار گرفتند که بعنوان متغیرهای ورودی برای محاسبه شدت تابش بر اساس مدل‌های مختلف تابش مورد نیاز هستند. داده‌های سرعت باد و رطوبت نسبی نیز به این داده‌ها اضافه شدند تا جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع روزانه به روش فائو – پنمن – مانتیث مورد استفاده قرار گیرند. داده‌های مربوط به کلیه متغیرهای فوق در دوره آماری۲۰۲۰-۲۰۰۸ در مقیاس روزانه از سازمان هواشناسی کشور تهیه شدند و بر اساس آنها، هم تبخیر و تعرق مرجع روزانه به روش فائو – پنمن – مانتیث محاسبه شد و هم شدت تابش خورشید بر اساس سه مدل آنگستروم (رابطه ۱)، مدل بلک (رابطه ۲) و مدل هارگریوز (رابطه ۳) به شرح زیر محاسبه شد:

$$\frac{R_S}{R_{S0}} = a + b\frac{n}{N} \quad (۱)$$

$$\frac{R_S}{R_{S0}} = b_0 + b_1 C + b_2 C^2 \quad (۲)$$

$$R_S = K_{RS}\sqrt{(T_{MAX} - T_{MIN})}R_A \quad (۳)$$

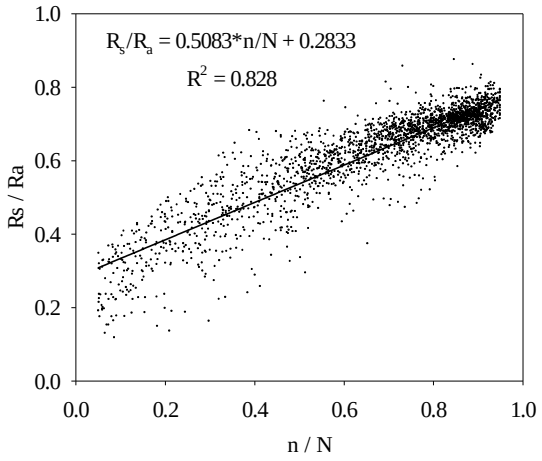
که در رابطه‌های فوق: n طول ساعات آفتابی اندازه گیری شده، C میانگین ابرناکی برحسب دهک و T_{max} و T_{min} به ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل دمای هوا بر حسب درجه سلسیوس هستند. N هم بیانگر حداکثر ساعات آفتابی ممکن و R_s و R_{so} نیز شدت‌های تابش روزانه دریافتی بر سطح افقی به ترتیب در سطح زمین و در بالای جو (فرازمینی) بر حسب مگاژول بر متر مربع بر روز هستند که این سه پارامتر بر اساس یک سری روابط نظری که وابسته به عواملی مثل عرض جغرافیایی، شماره روز سال و ... هستند قابل محاسبه هستند (Allen et al., 1998). ضرایب a، b، b_0، b_1، b_2 و K_{RS} در معادلات فوق نیز ضرایبی تجربی هستند که باید مورد واسنجی قرار گیرند. در حالت عدم واسنجی، مقادیر پیش‌فرض و پیشنهادی برای ضرایب a و b در فرمول آنگستروم به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۵، برای ضرایب b_0، b_1 وb_2 در فرمول بلک به ترتیب ۰/۸۰۳، ۰/۳۴- و ۰/۴۵۸- و برای K_{RS} مابین ۰/۱۶ (برای مناطق غیرساحلی) تا ۰/۱۹ (برای مناطق ساحلی) است. در این تحقیق، در کنار استفاده از ضرایب تجربی فوق بعنوان حالت عدم واسنجی این مدل‌ها، این ضرایب بر اساس داده‌های شدت تابش واقعی مورد واسنجی قرار گرفتند. لذا سه مدل تابش مذکور در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی مورد استفاده و مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. استخراج ضرایب واسنجی شده هر کدام از معادلات فوق بر این اساس بود که کمترین اختلاف بین مقادیر مدل‌سازی شده و اندازه‌گیری‌شده شدت تابش حاصل آید. در ادامه، مقادیر روزانه شدت تابش خورشید بر اساس هر سه مدل مذکور و در هر دو حالت واسنجی و عدم واسنجی (جمعاً ۶ حالت) در فرمول محاسباتی مدل فائو-پنمن-مانتیث جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع قرار داده شدند و کارایی هر کدام از این ۶ مدل با حالتی که از داده-های اندازه‌گیری شده شدت تابش در مدل فائو -پنمن- مانتیث استفاده شده بود مورد مقایسه قرار گرفتند. جهت سنجش و ارزیابی

هر کدام از این مدل‌ها نیز از شاخص میانگین قدرمطلق خطا[1] (MAE) استفاده شد که با محاسبه تفاضل بین مقادیر مدل سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه قدرمطلق آنها و در نهایت میانگین‌گیری کردن از مقادیر قدرمطلق گیری شده در مقیاس روزانه بدست می‌آید.

نتایج و بحث

واسنجی ضرایب تجربی مدل‌های تابش

با در نظر گرفتن داده‌های روزانه ایستگاه تبریز طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۸ جهت واسنجی مدل‌ها، ضرایب تجربی مدل‌های آنگستروم، بلک و هارگریوز که به ترتیب مبتنی بر داده‌های طول ساعات آفتابی، ابرناکی و مقادیر حداکثر و حداقل دمای هوا هستند مورد واسنجی قرار گرفتند. نتایج حاصل از واسنجی مدل آنگستروم در شکل ۱ منعکس شده است و دیده می‌شود که در معادله ۱، ضرایب واسنجی شده a و b برای ایستگاه تبریز به ترتیب برابر با ۰/۲۸۳ و ۰/۵۰۸ بدست آمده‌اند.

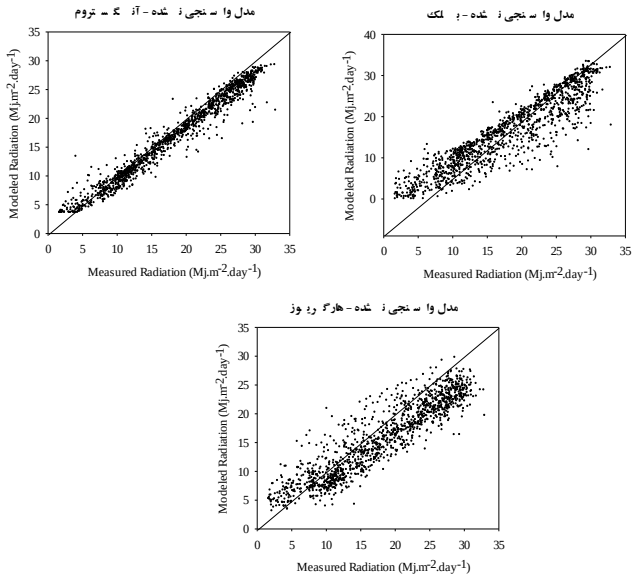


شکل ۱ – واسنجی ضرایب تجربی مدل آنگستروم برای ایستگاه تبریز طی دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۸

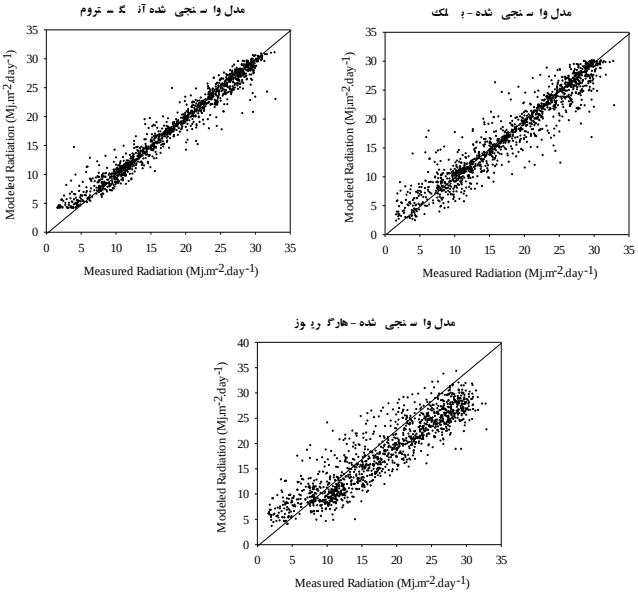
در ارتباط با مدل بلک، بر اساس داده‌های ابرناکی و با در نظر گرفتن یک مدل رگرسیون غیرخطی به فرم معادله ۲، ضرایب b_0، b_1 و b_2 برای ایستگاه تبریز به ترتیب برابر با ۰/۷۱۶، ۰/۱۰۴ و ۰/۶۶۱- حاصل آمدند. برای مدل هاگریوز نیز مقدار واسنجی شده ضریب K_{RS} برای ایستگاه تبریز برابر با ۰/۱۸۴ بدست آمد. بر اساس ضرایب تجربی واسنجی شده فوق برای هر سه مدل مورد مطالعه، مقادیر شدت تابش روزانه در دوره اعتبارسنجی ۲۰۲۰-۲۰۱۶ برای ایستگاه تبریز برآورد شد و با مقادیر اندازه‌گیری شده شدت تابش مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین کارایی هر سه مدل فوق در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی با هم مورد مقایسه قرار گرفت. در شکل‌های ۲ و ۳ خط نیمساز و دیاگرام پراکنش مقادیر مدل‌سازی شده و اندازه گیری شده شدت تابش در مقیاس روزانه برای دوره اعتبارسنجی بر اساس مدل‌های واسنجی نشده و واسنجی شده نشان داده شده است. بدیهی است که هر چقدر پراکنش نقاط نزدیکتر به خط نیمساز باشد حاکی از عملکرد بهتر مدل است که بر اساس این شکل‌ها برای مدل واسنجی شده آنگستروم، بهترین نتایج بدست آمده است. مقایسه دیاگرام پراکنش نقاط حول خط نیمساز در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی حاکی از آن است که برای هر سه مدل مورد مطالعه، پراکنش نقاط در حالت واسنجی در مقایسه با حالت عدم واسنجی به خط نیمساز نزدیکتر شده است. به جهت نشان دادن کمی نتایج حاصله، در شکل ۴ مقادیر شاخص میانگین قدرمطلق خطا (MAE) برای دو دوره واسنجی ۲۰۱۵-۲۰۰۸ و اعتبارسنجی ۲۰۲۰-۲۰۱۶ برای هر سه مدل تابش مورد مطالعه در دو حالت واسنجی و

[1] Mean Absolute Error

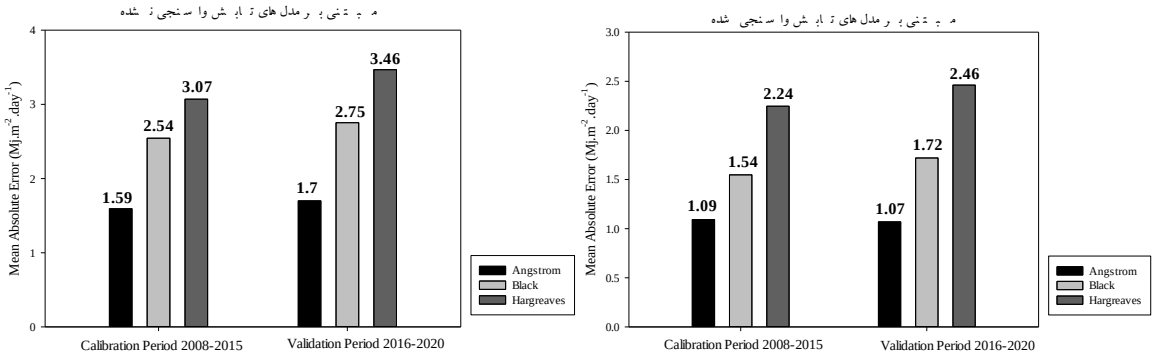
عدم واسنجی نشان داده شده است. مقادیر شاخص MAE نشان می‌دهد که اولاً در تمامی مدل‌های مورد مطالعه، مقدار شاخص MAE چه در دوره واسنجی و چه در دوره اعتبارسنجی در مدل‌های واسنجی شده در مقایسه با مدل‌های واسنجی نشده بهبود چشمگیری داشته است. بعنوان مثال برای مدل هارگریوز، مقدار شاخص MAE در دوره اعتبارسنجی در حالت عدم واسنجی مدل برابر با ۳/۴۶ مگاژول بر متر مربع بر روز بوده است و در حالت واسنجی شده، این مقدار به ۲/۴۶ مگاژول بر متر مربع بر روز تقلیل یافته است که حاکی از بهبود عملکرد این مدل دارد. ثانیاً به لحاظ مقایسه بین مدل‌های مختلف، مدل آنگستروم به طور چشمگیری نسبت به دو مدل دیگر کارایی بهتری جهت مدلسازی مقادیر روزانه شدت تابش از خود نشان داده است.



شکل ۲- خط نیمساز و دیاگرام پراکنش مقادیر مدل‌سازی شده و اندازه گیری شده شدت تابش روزانه برای دوره اعتبارسنجی در حالت مدل-های واسنجی نشده آنگستروم، بلک و هارگریوز

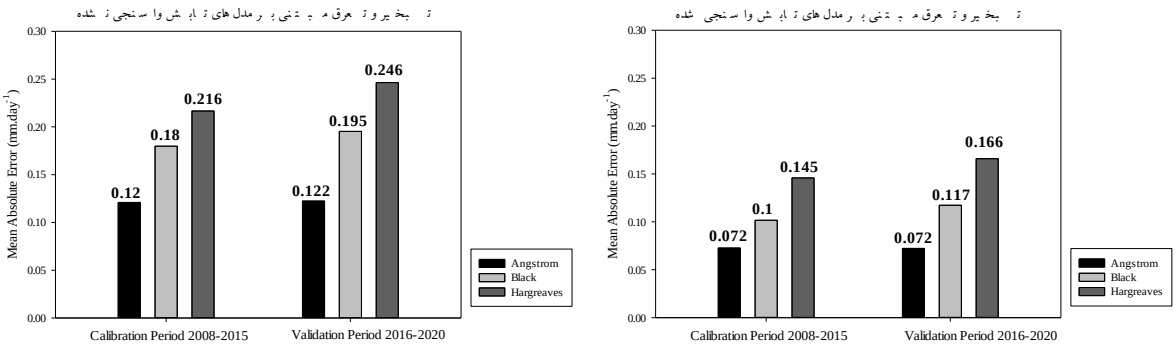


شکل ۳- خط نیمساز و دیاگرام پراکنش مقادیر مدل‌سازی شده و اندازه گیری شده شدت تابش روزانه برای دوره اعتبارسنجی در حالت مدل‌های واسنجی‌شده آنگستروم، بلک و هارگریوز



شکل ۴- مقادیر شاخص میانگین قدرمطلق خطا (MAE) برای هر سه مدل تابش مورد مطالعه طی دوره واسنجی ۲۰۱۵-۲۰۰۸ و اعتبارسنجی ۲۰۲۰-۲۰۱۶ در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی مدل‌ها

با توجه به اینکه هدف اصلی این تحقیق، اعتبارسنجی روش‌های مختلف برآورد شدت تابش خورشید با تمرکز بر میزان تأثیر آنها بر دقت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع بوده است در ادامه، مقادیر روزانه شدت تابش برآوردشده توسط مدل‌های آنگستروم، بلک و هارگریوز در هر دو حالت واسنجی و عدم واسنجی مدل‌ها در فرمول محاسباتی تبخیر و تعرق مرجع به روش فائو – پنمن – مانتیث جاگذاری شدند و با تبخیر و تعرق مرجع روزانه محاسبه شده بر اساس داده‌های مشاهداتی شدت تابش مورد مقایسه قرار گرفتند. اهمیت این مقایسه از آن جهت است که مشخص شود حساسیت مدل فائو – پنمن – مانتیث به شدت تابش در چه حدی است و با قرار دادن مقادیر شدت تابش توسط مدل‌های با دقت مختلف، مقادیر روزانه تبخیر و تعرق مرجع روزانه به چه شکل تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در شکل ۵ مقادیر شاخص میانگین قدرمطلق خطای (MAE) حاصل از این کار برای دو دوره واسنجی ۲۰۱۵-۲۰۰۸ و اعتبارسنجی ۲۰۲۰-۲۰۱۶ برای هر سه مدل تابش مورد مطالعه و در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی نشان داده شده است. مقادیر شاخص MAE حاصل از برآورد تبخیر و تعرق مرجع میتنی بر مدل‌های مختلف تابش و مقایسه آن با حالتی که داده-های واقعی تابش جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع استفاده شوند نشان می دهد که مشابه با شکل ۴، اولاً در تمامی مدل‌های مورد مطالعه، مقدار شاخص MAE چه در دوره واسنجی و چه در دوره اعتبارسنجی در مدل‌های واسنجی شده در مقایسه با مدل‌های واسنجی نشده عملکرد بهتری داشته است. بعنوان مثال برای مدل بلک، مقدار شاخص MAE در دوره اعتبارسنجی در حالت عدم واسنجی مدل برابر با ۰/۱۹۵ میلیمتر بر روز بوده است و در حالت واسنجی شده، این مقدار به ۰/۱۱۷ میلیمتر روز کاهش یافته است که حاکی از بهبود عملکرد مدل دارد. ثانیاً به لحاظ مقایسه بین مدل‌های مختلف، تبخیر و تعرق مرجع برآوردشده توسط مدل آنگستروم نسبت به دو مدل دیگر کارایی مناسبتری جهت مدلسازی مقادیر روزانه شدت تابش از خود نشان داده است اما این تفاوت به چشمگیری تفاوتی که در شکل ۴ برای برآورد شدت تابش مشاهده شد نبوده است.



شکل ۵- مقادیر شاخص میانگین قدرمطلق خطا (MAE) برای تبخیر و تعرق مرجع مبتنی بر داده‌های شدت تابش مدل‌سازی شده توسط هر سه مدل طی دوره واسنجی ۲۰۱۵-۲۰۰۸ و اعتبارسنجی ۲۰۲۰-۲۰۱۶ در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی مدل‌ها

نتیجه‌گیری

در این تحقیق کارایی سه مدل واسنجی شده و واسنجی نشده آنگستروم، بلک و هارگریوز جهت برآورد شدت تابش روزانه با تمرکز بر میزان تأثیر آنها بر دقت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه سینوپتیک تبریز مورد ارزیابی و اعتبارسنجی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر سه مدل آنگستروم، بلک و هارگریوز در حالت واسنجی‌شده برآوردهای دقیق‌تری بدست می‌دهند و مدل واسنجی شده آنگستروم منجر به حصول برآوردهای دقیق تری می‌گردد. روش های واسنجی شده بلک و هارگریوز نیز اگرچه دقت پایین تری نسبت به مدل واسنجی شده آنگستروم از خود نشان دادند اما در حالت محدودیت داده می‌توانند با دقت نسبتاً قابل قبول جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

- آقاشریعتمداری، ز. خلیلی، ع. ایران نژاد، پ. و لیاقت، ع. (۱۳۹۰). واسنجی و تغییرات سالانه ضرایب رابطه آنگستروم-پرسکات. نشریه آب و خاک. ۲۵(۴). ۹۱۱-۹۰۵.

- آقاشریعتمداری، ز. اطمینان، ز، و رفیعی فر، ف (۱۳۹۱). مطالعه تطبیقی مقادیر برآورشده تبخیر تعرق با استفاده از روش تشت تبخیر و مدل FAO56-PM واسنجی شده بر مبنای مؤلفه تابش. نشریه جغرافیا. ۲۳. ۴۰-۳۲.

- خوشخو، ی.، پورحمیدیان، س. و دارپرنیان، ر. (۱۳۹۹). واسنجی ضرایب آنگستروم جهت برآورد شدت تابش خورشید دریافتی بر روی سطح افقی در استان کردستان. ششمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم. ۱۴ و ۱۵ اسفندماه. تهران. ایران.

- خلیلی، ع. و رضایی صدر، ح. (۱۳۷۶). برآورد تابش کلی خورشید در گستره ایران بر مبنای داده‌های اقلیمی. مجله تحقیقات جغرافیایی، ۴۶. ۳۵-۱۵.

- زارعی، م.ا.، طباطبایی، س.ح.، بابازاده، ح. و صدقی، ح. (۱۳۹۴). تعیین مناسب ترین مدل تابش در معادله هارگریوز- سامانی در دشت شهرکرد با استفاده از داده های لایسیمتر. مجله پژوهش آب ایران. ۹(۳). ۵۶-۴۷.

- فلاح قالهری, غ و شاکری، ف. (۱۳۹۵). واسنجی ضرایب رابطه آنگستروم-پرسکات در ایستگاه‌های منتخب استان خراسان رضوی. دانش آب و خاک. ۲۶(۳). ۲۴۱-۲۲۹.

- معینی، س؛ جوادی، ش؛ کوکبی، م و دهقان منشادی، م. (۱۳۸۹). برآورد تابش خورشیدی در ایران با استفاده از یک مدل بهینه. نشریه انرژی ایران. ۱۳(۲). ۱۰-۱.

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper*, No. 56. FAO, Rome. 300p

- Zhao, N., Zeng, X. and Han, Sh. (2013). Solar radiation estimation using sunshine hour and air pollution index in China, *Energy conversion and Management*, 52, 846-851.

Validation of different solar radiation estimating methods with focusing on their impact on the accuracy calculation of reference evapotranspiration

Younes Khoshkhoo[1], Sayyedeh Aniseh Ghazaei[2]
[1,2] Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Abstract
Solar radiation intensity is one of the main parameters in plant water requirement estimation and has an important role in modeling soil-plant-atmosphere system processes. In this research, the efficiency of three solar radiation estimating models including Angstrom, Black and Hargreaves was evaluated for Tabriz synoptic station during the 2008-2020 period. 2008-2015 and 2016-2020 were considered as calibration and validation periods, respectively. Then, the estimated values of solar radiation of these models in both calibration and validation periods were used to calculating daily reference evapotranspiration values based on the FAO-Penman-Monteith model and the efficiency of these solar radiation models were compared with the case that the measured solar radiation had been used in FAO-Penman-Monteith equation. The results showed that the calibrated models of Angstrom, Black and Hargreaves models have a better performance compared to non-calibrated models. Among these models, the calibrated Angstrom model showed more accurate estimations of solar radiation and consequently reference evapotranspiration and in the case of having its required data, it is suggested as an appropriate model to estimating solar radiation.

Keywords: Angstrom model, Black model, Hargreaves model, Tabriz station

برآورد تبخیر و تعرق واقعی روزانه با استفاده از الگوریتمSEBAL

احمد مختاری[۱]، حمید قیومی محمدی[۲]

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران ah.mok2001@gmail.com

۲- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

چکیده

برآورد صحیح تبخیر و تعرق اهمیت زیادی در مدیریت منابع آبی دارد. اهمیت این مسئله درصورتی‌که محدوده موردنظر در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار داشته باشد به‌وضوح قابل‌مشاهده است. به این منظور پس از پردازش تصویر لندست ۸ الگوریتم SEBAL اجرا گردید و ابتدا میزان تابش خالص (Rn) باتوجه‌به دمای سطح زمین و پوشش گیاهی و میزان انرژی‌های رسیده به زمین محاسبه گردید سپس شار گرمایی خاک (G) به دست آمد تا میزان قابلیت انتقال گرما به داخل خاک مشخص شود سپس برای محاسبه میزان شار گرمای محسوس (H) که تعیین‌کننده هدررفت انرژی از خاک به سمت فضا است، تعیین گردید. سرانجام پس از تعیین مقدار شار گرمای محسوس، تبخیر و تعرق محاسبه گردید. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل با مقدار تبخیر و تعرق به‌دست‌آمده در ایستگاه‌ها هواشناسی منطقه، RMSE به میزان ۰/۱، بیانگر مناسب بودن نتایج به‌دست‌آمده از این اجرای این الگوریتم در محاسبه تبخیر و تعرق بود؛ بنابراین، می‌توان گفت که سنجش‌ازدور با در دست‌داشتن الگوریتم‌های متفاوت و حداقل اطلاعات زمینی، دارای پتانسیل مناسبی برای تخمین تبخیر و تعرق واقعی (ETA) است.

واژگان کلیدی: پیکسل سرد، پیکسل گرم، آلبیدوی سطحی، NDVI، معادله توازن انرژی سطح

مقدمه

تخمین تبخیر و تعرق در طرح‌های آبیاری، کمبود آب مخازن، محاسبه بیلان، تعیین رواناب و مطالعات هواشناسی، ضروری است ابوالحسنی و زائری (۱۳۹۵). درواقع، تبخیر و تعرق تابعی از ویژگی‌های خاک، آب‌وهوا، کاربری اراضی، وضعیت گیاهی و توپوگرافی منطقه است که این پارامترها در زمان و مکان متغیر هستند؛ بنابراین تخمین و یا تعیین مقادیر شاخص این پارامترها در یک منطقه مشکل می‌باشد. روش‌های اندازه‌گیری تبخیر و تعرق از سطح زمین ازجمله همبستگی ادی نسبت باون و لایسیمتر وزنی (هاشمی گرم درهو همکاران ۱۳۸۵). برای کاربرد پیوسته در فاصله‌های مناسب در منطقه، بسیار پرخرج و وقت‌گیر است. به‌علاوه، چون این اندازه‌گیری‌ها نقطه‌ای بوده، به‌خاطر شرایط متغیر منطقه‌ای، قابل‌تعمیم به حوزه‌های بزرگ نیست (میریعقوب‌زاده و همکاران ۲۰۱۴). این محدودیت سبب استفاده از داده‌های دورسنجی و تصاویر ماهواره‌ای برای برآورد تبخیر - تعرق در مناطق پهناور شده است. مزیت اصلی دورسنجی در برآورد مقادیر تبخیر - تعرق در آن است که می‌تواند بدون محاسبات پیچیده هیدرولوژیکی آن را محاسبه نماید. تبخیر - تعرق در فضا و زمان متغیر است. متغیر بودن فضایی آن به دلیل تنوع فضایی گسترده بارش، ویژگی‌های هیدرولیک خاک و تراکم و نوع پوشش گیاهی است. متغیر بودن زمانی آن نیز به دلیل تنوع اقلیمی است. تصاویر ماهواره‌ای قادر هستند ساختار زمانی و فضائی تبخیر - تعرق را شناسایی کرده و به‌صورت نقشه نمایش دهند.

الگوریتم توازن انرژی سطح (SEBAL)

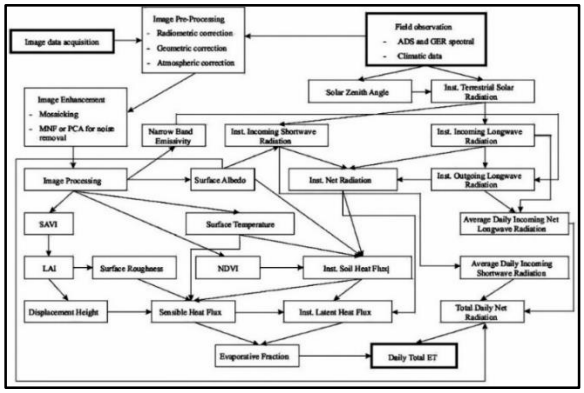
یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های شار انرژی برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از سنجش‌ازدور است. نیاز اندک به داده‌های میدانی، استفاده از مفهوم فیزیکی (و درنتیجه قابلیت کاربرد در اقلیم‌های مختلف)، لازم نداشتن نقشه کاربری اراضی، عدم نیاز به دخالت داده‌های موردنیاز مدل‌های هیدرولوژی و مرحله‌بندی بودن شیوه کار؛ از عوامل ارجحیت الگوریتم SEBAL نسبت به دیگر الگوریتم‌هایی است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جهت تخمین تبخیر و تعرق مورداستفاده قرار می‌گیرند. در همین رابطه پژوهش‌های زیادی صورت‌گرفته است. باستیانسن و همکاران (۱۹۹۸) به معرفی مدل جدیدی پرداختند که بتواند تخمین توزیع مکانی انرژی سطح با پوشش گوناگون با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور انجام دهد. این مدل که الگوریتم توازن انرژی سطحی (The Surface Energy Balance for Land یا SEBAL) نام داشت، می‌توانست تغییرات مکانی پارامترهای مهم هواشناسی ازجمله دما و رطوبت (تبخیر و تعرق) را تخمین بزند. شار از پوشش سطح را محاسبه کند و تصاویر مادون‌قرمز حرارتی را در قدرت تفکیک مختلف را به کار گیرد و رابطه تجربی را در مناطق جغرافیایی و زمان تصاویر تنظیم کند. این دانشمندان با به‌کاربردن این روش نوین، به‌طورکلی به این نتیجه رسیدند که شار تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از روش SEBAL قابل‌استفاده در مقیاس بزرگ است و هرچه مقیاس بزرگ‌تر باشد صحت داده‌های به‌دست‌آمده بیشتر می‌گردد، زیرا هرچه مقدار پیکسل همگن زیادتر شود مقدار خطا کاهش پیدا می‌کند. باستیانسن (۲۰۰۰) عملکرد SEBAL در تعیین تبخیر و تعرق و شار گرمایی محسوس را با مقادیر به‌دست‌آمده با استفاده از روش‌های همبستگی ادی و سوسوسنج (Scintillometer) ، مورد مقایسه قرارداد که درنتیجه دقت SEBAL مورد تأیید قرار گرفت. باستیانسن و همکاران (۲۰۰۵) برای مدیریت صحیح منابع آب اطلاعات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق واقعی را بسیار کارا و مفید معرفی می‌کنند و در این مطالعه به تأثیر مقیاس مکانی و فواصل زمانی بر روی دقت و صحت الگوریتم SEBAL در تعیین ET واقعی پرداخته شده است. در مطالعه موردی رودخانه یاکیما واشنگتن نشان می‌دهد که به طور میانگین در مقیاس مزرعه‌ای صحت داده‌های SEBAL، ۸۵٪ در مقیاس روزانه و در مقیاس فصلی به ۹۵٪ و در مقیاس مکانی یک حوزه آبخیز بزرگ به طور سالانه ۹۶٪ صحت داده قابل‌قبول است پس استفاده از الگوریتم SEBAL در مقیاس وسیع زمانی و مکانی در این مطالعه توصیه‌شده است. جاسس و همکاران (۲۰۱۵) ، در پژوهش خود، به‌منظور ارزیابی زمانی–مکانی تبخیر تعرق واقعی (Eta) از الگوریتم تعادل انرژی سطح زمین (SEBAL) و روش بیلان آبی حوزه‌ی الخیر گومال واقع در شمال کشور عراق استفاده کردند. نتیجه کاربرد هر دو روش مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نهایی این پژوهش نشان داد که کاربرد الگوریتم SEBAL نتایج بهتر داشته است و می‌توان آن روش برای مطالعات بیشتر در تخمین بیلان آبی حوزه‌های آبخیز بهره برد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه یک محدوده انتخابی در ۴۰ کیلومتری شرق شهر اصفهان بود. این محدوده که دشت سگزی را هم در برمی‌گیرد، یکی از کانون‌های بحران آب در استان اصفهان است و سالانه بیشترین هدررفت آب را دارد. طبق اطلاعات ایستگاه هواشناسی متوسط بارش سالیانه منطقه ۱۰۶ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۵/۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین تبخیر و تعرق سالیانه در منطقه ۲۲۰۱/۵ میلی‌متر است.

تبخیر تابعی از ویژگی‌های خاک، آب‌وهوا، کاربری اراضی، وضعیت گیاهی و توپوگرافی منطقه است که این پارامترها در زمان و مکان متغیر هستند؛ بنابراین تخمین و یا تعیین مقادیر شاخص این پارامترها در یک منطقه مشکل می‌باشد. روش‌های اندازه‌گیری تبخیر از سطح زمین از جمله همبستگی ادی، نسبت باون و لایسیمتر وزنی، برای کاربرد پیوسته در فاصله‌های مناسب در منطقه، بسیار پرخرج و وقت‌گیر است. همچنین چون این اندازه‌گیری‌ها نقطه‌ای بوده، به‌خاطر شرایط متغیر منطقه‌ای، قابل تعمیم به حوضه‌های بزرگ نمی‌باشد؛ بنابراین تخمین به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای و سنجش‌ازدور در زمین‌های وسیع بسیار تواناتر می‌باشد. در این پژوهش از الگوریتم توازن انرژی سطح (SEBAL) که در واقع یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین روش‌های شار انرژی برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از سنجش‌ازدور است، استفاده شد. چنان‌که در نمودار گردشی شکل (۱) ملاحظه می‌شود، الگوریتم توازن انرژی سطح

برای خشکی (SEBAL)، مقدار تبخیر و تعرق واقعی را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و حداقل داده‌های زمینی موردنیاز و بر اساس معادله توازن انرژی محاسبه می‌نماید.



شکل ۱ - فرایند شبیه‌سازی تبخیر و تعرق در الگوریتم SEBAL

معادله توازن انرژی سطح به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$\lambda ET=R_n-G-H \qquad (1)$$

λET شار گرمای نهان (انرژی که برای تبخیر آب به کار می‌رود به واحد) و R_n تشعشع خالص در سطح و G شار گرمای خاک و Hشار گرمای محسوس به هوا است. تمامی واحدها به‌صورت W/M^2 می‌باشد.

تابش خالص خورشید R_n: تابش خالص خورشید بیان‌کننده میزان انرژی تابشی واقعی موجود در سطح زمین است که بر اساس بقای انرژی تعیین می‌شود.

شار گرمای خاک (G): شار گرمای خاک میزان ذخیره گرمای داخل خاک و پوشش گیاهی در اثر هدایت مولکولی است. در مدل SEBAL ابتدا نسبت $\frac{G}{Rn}$ برای نیمه‌روز با استفاده از رابطه تجربی زیر که با استفاده از باستیانسن (۲۰۰۰)توسعه یافت محاسبه می‌شود.

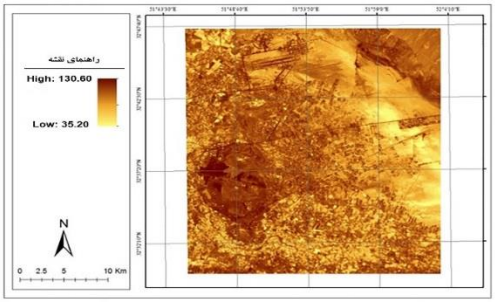
شار گرمای محسوس (H):شار گرمای محسوس عبارت است از میزان هدررفت گرما به هوا به‌وسیله همرفت و هدایت مولکولی و براثر اختلاف دما است. در این روش ابتدا دو پیکسل آستانه انتخاب می‌گردد. یکی از این پیکسل‌ها که پیکسل سرد نامیده می‌شود؛ مربوط به منطقه‌ای کاملاً پوشیده از گیاه و آبیاری شده است؛ دمای سطح در این پیکسل نزدیک به دمای هواست و تبخیر و تعرق معدل تبخیر و تعرق مرجع دارد. پیکسل دوم که پیکسل گرم نام دارد زمین کشاورزی بدون پوشش گیاهی و خشک است؛ بنابراین مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می‌شود؛ بنابراین مقدار شار گرمای نهان تبخیر در این پیکسل صفر فرض می‌شود. در روش SEBAL ابتدا شار گرمای محسوس برای این دو پیکسل محاسبه می‌شود سپس برای سایر پیکسل‌ها تخمین زده می‌شود.

انتخاب پیکسل سرد و گرم: اجرای صحیح مدل SEBAL منوط بر انتخاب دقیق پیکسل‌های سرد و گرم می‌باشد. این مرحله از پژوهش خروجی مناسب و موردنظر تبخیر و تعرق را تحت شعاع خود قرار می‌دهد. به‌طوری‌که در صورت کوچک‌ترین خطایی در انتخاب این دو پیکسل مقادیر تبخیر و تعرق خلاف واقعیت را نشان می‌دهد. منظور از پیکسل سرد و گرم بیشترین و کمترین دما نیست بلکه منظور از پیکسل سرد پیکسلی است که اخیراً آبیاری شده باشد و شاخص پوشش گیاهی بین ۰/۴ تا ۰/۶ را داشته باشد و همچنین میزان آلبیدوی آن بین ۰/۲۲ تا ۰/۲۴ باشد و از طرفی دیگر منظور از پیکسل گرم زمین تقریباً بدون پوشش را شامل می‌شود که میزان پوشش گیاهی آن بین صفر تا ۰/۴ و آلبیدوی آن بین ۰/۱ تا ۰/۲ باشد.

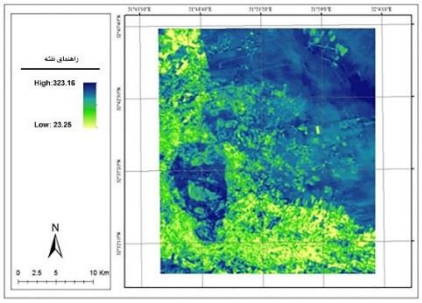
دمای سطح زمین: برای محاسبه دمای سطح زمین در لندست ۸ از شاخص دمای درخشندگی استفاده می‌شود باتوجه‌به اینکه در تصاویر لندست ۸ دو باند حرارتی وجود دارد (باندهای ۱۰ و ۱۱) برای باندهای یادشده فرمول های دمای سطح به‌صورت مجزا محاسبه می‌گردد و درنهایت دمای سطح به‌دست‌آمده حاصل از دو باند از همدیگر میانگین‌گیری می‌شود.

نتایج و بحث

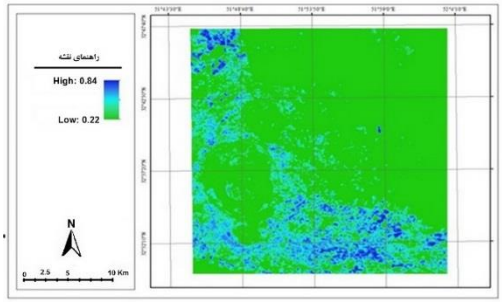
شاخص‌های و پارامترهای مؤثر در تبخیر و تعرق آلبیدوی سطحی. دمای سطح شاخص پوشش گیاهی NDVI تابش ورودی و خروجی موج‌کوتاه می‌باشند. کمترین مقدار آلبیدو مربوط به مناطق دارای پوشش گیاهی متراکم است که در منطقه به‌صورت باغات و کشاورزی قابل‌مشاهده است. همچنین دمای سطحی به‌دست‌آمده در دامنه‌ای بین ۲۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کمترین این مقادیر مربوط به محدوده‌هایی است که دارای پوشش گیاهی بوده و بیشترین این مقدار مربوط به مناطق لخت و بدون پوشش است. از شاخص‌های دیگر در محاسبه تبخیر و تعرق میزان شار گرمای خاک که نشان‌دهنده قابلیت هدایت و انتقال گرما با استفاده از ذرات خاک به داخل آن است و میزان شار گرمای محسوس که میزان هدررفت گرما از زمین به سمت آسمان است. در شکل ۲ تا ۵ این دو پارامتر و تبخیر و تعرق روزانه و لحظه‌ای را نشان می‌دهد. آلبیدوی سطحی به‌دست‌آمده که نسبتی از تشعشع انعکاس یافته عوارض زمین نسبت به تشعشع رسیده از خورشید است بین ۰/۲ تا ۰/۸۵ بوده است.



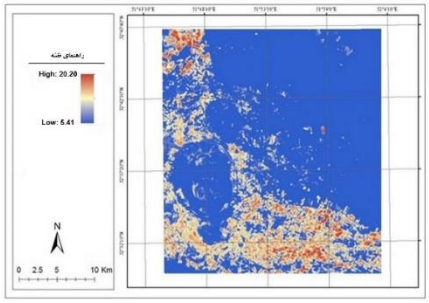
شکل ۲- شار گرمایی خاک (w/m2)



شکل ۳- گرمای محسوس خاک (H) (w/m2)



شکل ۴- تبخیر و تعرق لحظه‌ای



شکل ۵- تبخیر و تعرق روزانه

شکل ۲ نشان می‌دهد که بخش‌هایی از منطقه که قابلیت کمتری در انتقال گرما داخل خاک را دارند محدوده‌هایی هستند که دارای پوشش گیاهی بوده و خاک پوشش بیشتری دارد به این دلیل که پوشش گیاهی مانع از انتقال گرمای خاک به داخل زمین می‌شود. در مقابل، شکل ۳ نشان می‌دهد که خاک بدون پوشش، نقش مهمی در هدررفت و انتقال گرمای زمین به سمت هوا دارد به‌طوری‌که بیشترین بخش‌هایی از منطقه که انرژی هدر می‌رود و به سمت آسمان انتقال می‌یابد محدوده‌هایی هستند که زمین بدون پوشش بوده و خاک لخت می‌باشد و از طرفی دیگر پوشش گیاهی در جلوگیری از هدررفت انرژی نقش مهمی بازی می‌کند. بیشترین تبخیر و تعرق محاسبه‌شده در منطقه در بخش‌های جنوبی و حاشیه شمال غربی دشت بوده. جایی که پوشش گیاهی بیشتری دارد در این محدوده میزان تبخیر و تعرق لحظه‌ای ۰/۸ (شکل ۴) و میزان تبخیر و تعرق روزانه ۲۰ میلی‌متر است (شکل ۵) درحالی‌که در محدوده‌های بدون پوشش و خاک لخت شمال شرقی محدوده میزان تبخیر و تعرق لحظه‌ای ۰/۲ و روزانه ۵ میلی‌متر محاسبه‌شده است. در ارزیابی دقت مدل مورداستفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک شرق اصفهان به دلیل اینکه داده‌های تبخیر و تعرق ساعتی

در دسترس نبوده درنتیجه از میانگین سه‌ساعته استفاده‌شده است. خطای RMS میزان ۰/۱ به‌دست‌آمده که نشان از کارایی و قابلیت مدل SEBAL برای بررسی و محاسبه تبخیر و تعرق در منطقه است. به منظور ارزیابی نتایج پژوهش انجام گرفته، یافته های پژوهش با مطالعات سایر دانشمندان مورد مقایسه قرار گرفت. ضیایی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه خود الگوریتم‌های سنجش‌ازدوری SEBAL وSEBS در برآورد تبخیر ماهانه از سطح آزاد آب دریاچه ارومیه مورد مقایسه و ارزیابی قراردادند. این پژوهشگران نتیجه گرفتند که هر دو الگوریتم SEBAL و SEBS در مقیاس روزانه و ماهانه نتایج نسبتاً قابل قبولی در برآورد تبخیر نشان می‌دهند. این تحقیق هم از حیث نتایج به نتایج به‌دست‌آمده در این مقاله انطباق خوبی را نشان می‌دهد. قمر نیا و رضوانی (۱۳۹۳) بااستفاده از این الگوریتم سبال برای محاسبه آلبیدوی سطح، دمای سطحی و شاخص وضعیت پوشش گیاهی از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی مودیس در کنار اطلاعات هواشناسی مورد نیاز استفاده کردند. این پژوهشگران در نهایت تبخیر- تعرق در دشت میان دربند واقع در غرب ایران را محاسبه و نقشه- های تبخیر- تعرق منطقه راتهیه گردید.از طرف دیگر دراین کار علمی، تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از روش مرسوم فائو برای محصول گندم در این دشت محاسبه شد و با روش سبال مور مقیسه قرر گرفت. خروجی های به دست آمده، نشان داد که همبستگی بالایی (۰/۸۴) بین این دو روش وجود دارد و الگوریتم سبال از توانایی بالایی در تعیین تبخیر- تعرق برخوردار است. که از این حیث با نتایج به دست آمده با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

مدل SEBAL تبخیر و تعرق را در محدوده‌هایی که دارای پوشش گیاهی غالباً کشاورزی و باغات هستند به‌خوبی پیش‌بینی نموده است به‌طوری‌که میزان هدررفت آب از طریق بخار شدگی را نزدیک به مقادیری پیش‌بینی کرده است که در ایستگاه‌های سینوپتیک ثبت‌شده است. میزان خطای به‌دست‌آمده در محاسبه SEBAL، ۰/۱ درصد بوده است. به‌طورکلی، نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر و انطباق خوب آن با کارهای علمی مشابه، نشان از قدرت مدل SEBAL در برآورد تبخیر و تعرق در منطقه موردمطالعه دارد که نشان می‌دهد، می‌توان نتایج مدل را به‌کل دشت سگزی تعمیم داد و در مدیریت منابع آبی منطقه از آن بهره جست.

Assessment of Daily Actual Evapotranspiration with SEBAL Algorithm
(Case Study East of Isfahan City)

Ahmad Mokhtrari[1], Hamid Ghaiumi mohammadi[2]
1- Assistant Professor, Research Division of Soil Conservation and Watershed Management, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
2- Assistant Professor, Research Division of Soil and Water (SWRI), Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Abstract
Accurate estimation of evapotranspiration is very important in water resources management. The importance of this issue can be clearly seen if the area in question is in an arid and semi-arid region. For this purpose, after processing the Landsat 8 image, SEBAL algorithm was performed and first the amount of net radiation (Rn) was calculated according to the surface temperature and vegetation and the amount of energy reached the ground, then the soil heat flux (G) was obtained to determine the heat transfer capacity into the soil and then to calculate the amount of tangible heat flux (H) that determines the energy loss from the soil to space. Finally, after determining the amount of sensible heat flux, evaporation and transpiration were calculated. SEBAL algorithm calculates the energy balance equation to calculate the actual evapotranspiration of the plant. Therefore, in this study, various parameters such as soil surface temperature, DVI and SAVI vegetation indices and surface albedo and the amount of net radiation reached the surface for the study area. Comparison of the results obtained from the implementation of the model with the amount of evapotranspiration obtained in the meteorological stations of the region, RMSE by 0.1, indicates the appropriateness of the results obtained from the implementation of this algorithm in the calculation of evapotranspiration. Therefore, it can be said that remote sensing, with different algorithms and minimal ground information, has good potential for estimating actual evapotranspiration (ETA).

Keywords: Cold Pixel, Hot Pixel, Surface Albedo, NDVI, Surface Energy Balance Equation

فهرست منابع

۱) میریعقوب‌زاده، م. سلیمانی، ک. حبیب‌نژاد روشن، م. شاهدی، ک. عباس‌پور، ک. اخوان، س. (۲۰۱۴). تعیین و ارزیابی تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور؛ مطالعه موردی حوزه آبخیز تمر گلستان. نشریه علمی‌پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۴(۳), ۸۹-۱۰۲.

۲) هاشمی گرم‌دره، س. مصطفی زاده، بهروز. حیدرپور، م. (۱۳۸۵). بررسی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق برای منطقه اصفهان. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. اصفهان.

3) Abolhasani, K., Zareei, H., (1395). Spatial Interpolation and Reference Evapotranspiration using Geostatistitical methods and Geographic Information system. *Journal of Water Science Engineering*, *6*(13), 7-21.

4) Bastiaanssen, W.G.M.،Menenti, M.،Feddes, R.A. ، Holtslag, A.A.M. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, *212/213*(1/4), 198-212.

5) Bastiaanssen, W. G. M. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, *229*(1), 87-100. doi:https://doi.org/10.1016/S0022-1694(99)00202-4

6) Bastiaanssen, W. G. M.،Noordman, E. J. M.،Pelgrum, H.،Davids, G.،Thoreson, B. P. ،Allen, R .G. (2005). SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *131*(1), 85-93. doi:doi:10.1061/ (ASCE)0733-9437(2005)131:1(85)

7) Ghamarnia, H., Rezvani, S. V. (1393). Calculation and Zoning of Evapotranspiration using SEBAL method In the West of Iran (Miandarband Plain). *Journal of Water and Soil*, *28*(1). Retrieved from https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=240598

8) Jassas, H.،Kanoua, W. ،Merkel, B. (2015). Actual Evapotranspiration in the Al-Khazir Gomal Basin (Northern Iraq) Using the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) and Water Balance. *Geosciences*, *5*(2), 141-159. Retrieved from https://www.mdpi.com/2076-3263/5/2/141

9) Ziaee, R.،Moghaddasi, M.،Paimozd ,S. ،Bagher, M. H. (2019). Comparison of SEBS and SEBAL Algorithms in Evaporation Estimation from Open Water Surface with the Assessment of the Salinity Effect. *Journal of Water and Soil Science*, *22*(4), 317-329. doi:10.29252/jstnar.22.4.317

ارزیابی تبخیر و تعرق گندم درشرایط استاندارد و بررسی آبشویی نیترات در کشت گندم

رقیه رضوی[1]، زهرا محمد اسماعیل[1] ، نرگس رضوی[2] ، حسن وطن خواه [2]
۱ محققان مؤ سسه تحقیقات خا ک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران کرج
razyasbah@yahoo.com
۲کارشناسان بهداشت حرفه ای مرکز بهداشت آذربایجان شرقی

چکیده

به منظور ارزیابی مجدد میزان تبخیر و تعرق گیاه گندم و مقایسه آبشوئی نیترات از منبع دو نوع کود اوره و اوره با پوشش گوگردی آزمایشی با کشت گندم در چهار عدد لایسیمتر و ۴۰۰ متر مربع اطراف هر لایسیمتر به مدت دو سال به مورد اجرا گذاشته شد. در لایسیمترهای ۱و۲ از منبع کودی اوره و در لایسیمترهای ۳و۴ از منبع کودی scu استفاده شد براساس نتایج حاصله میانگین کل تبخیر و تعرق چهار لایسیمتر گندم بترتیب ۴۶۱ و۴۹۲ و۵۳۴ و۴۹۸ میلی متر و میانگین کل تبخیر و تعرق گندم ۴۹۶ میلی متر شده است و از نظر نوع منبع کودی حداکثر عملکرد دانه گندم به مقدار۸/۲ تن در هکتار مربوط به لایسیمترهای با مصرف اوره حاصل شده است. نتایج حاصله نشان می دهد که در کشت گندم میزان نیتروژن شسته شده ازتیمار منبع کودی اوره برابر۵۵/۲۲ کیلو گرم در هکتار و منبع کودی اوره با پوشش گوگردی برابر ۳۲/۲۹ کیلو گرم در هکتارو در اوره حدود ۷۰ درصد بیشتر می باشد و علت آن حلالیت بیشتر اوره می‌باشد که باعث تجمع نیترات در آب زیر زمینی می‌شود. لذا باتوجه به آبشویی کمتر، مصرف کود اوره با پوشش گوگردی برای تامین تبخیر و تعرق گندم در شرایط استاندارد قابل توصیه است.

واژگان کلیدی: آبشویی، اوره با پوشش گوگردی، تبخیر تعرق، گندم ، نیتروژن .

مقدمه

با توجه به اینکه اغلب زارعین در منطقه گندم را بدون توجه به نیازهای آن در مراحل مختلف رشد آبیاری می کنند که این مسئله منجر به عدم جذب آب کافی در مراحل حساس به رشد شده و یا در مراحلی که آب کمتری مورد نیاز است منجر به شستشوی مواد غذایی از منطقه ریشه می‌شود.رطوبت کافی در ناحیه ریشه عامل مهمی برای استفاده کارآمد از عناصر غذائی موجود به شمار می‌آید. مدیریت کود نیتروژن به گونه‌ای اجتناب ناپذیر به مدیریت آبیاری وابسته است. مدیریت آب و کود باید هر دو به دقت هماهنگ گردد تا بدین وسیله اطمینان حاصل شود که عناصر غذائی از محوطه ریشه هدر نرفته و وضعیت عناصر غذایی در خاک، جذب سریع توسط ریشه‌های گیاهی را تسهیل نماید. کودهای ازته و مدیریت آبیاری سهم اساسی در آبشوئی نیترات و آلودگی آبهای زیر زمینی و همچنین کاهش کارآیی مصرف کود دارند. نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذائی مورد نیاز گندم است و مدیریت مصرف بهینه آن برای موفقیت در افزایش تولید دانه و پروتئین از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این عنصر عمدتا به شکل نیترات (NO3) و مقداری نیز به شکل آمونیوم (NH4) جذب گیاه می‌گردد. به دلیل پویایی و تحرک نیتروژن در خاک، مدیریت مصرف آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است تا اثرات تخریبی زیست محیطی ایجاد نکرده، سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی نگردد. زیادی نیتروژن در خاک رسیدن گندم را به تاخیر می‌اندازد. چنانچه نیتروژن اضافی به گیاه رسیده و آب بیشتری جذب پروتوپلاسم گیاه گشته و در نتیجه ترد، شکننده و مستعد ظهور بیماری‌ها، آفت‌ها و خوابیدگی می‌گردد. متاسفانه مصرف بیش از اندازه کودهای نیتروژن دار در بین کشاورزان مارایج شده است این در حالیست که انتخاب نوع کود نیتروژنه متناسب کمتر مورد توجه قرارگرفته است. درنیتجه بخش زیادی از کودهای مصرفی از دسترس گیاه خارج میشود و نهایتاً راندمان کودهای مصرفی را پایین می آورد . لذا کشاورزان به منظور تامین نیتروژن مورد نیاز هر ساله مبادرت به مصرف مقادیر بسیار زیادی کود نیتروژنه بخصوص اوره می

نمایند. در این نحوه مصرف مقادیر قابل توجهی ازت از منطقه ریشه شسته شده و به هدر می رود و به تبع آن هزینه تولید در واحد سطح افزایش می یابد(ملکوتی،۱۳۷۹).

ویتر و مالگر (۱۹۹۰) دریافتند که مقدار کل ازت بکار رفته مهمترین عامل آبشوئی نیترات در پائیز از نیمرخ خاک است. آنها در بررسی خود بر روی ذرت آبی نتیجه گرفتندکه بخش عمده نیتروژن شسته شده با حجم زهکشی ارتباط دارد و آبیاری غلظت نیترات را در آب زیر زمینی افزایش می دهد. توشیح و همکاران (۱۳۷۵)در بررسی اثر زمان و میزان مصرف کود اوره و اوره با پوشش گوگردی در عملکرد گندم آبی نتیجه گرفتند که با مصرف اوره با پوشش گوگردی تقسیط کود نیتروژن ضروری نخواهد بود. امامی و همکاران (۱۳۷۱) در طول ۵/۵ ماه از دوره رشد چغندرقند میزان نیتروژن نیتراته و آمونیاکی شسته شده را برابر ۱۲۶/۸ و ۱/۱ کیلوگرم در هکتار اندازه گیری نمودند.

اسمیکاو همکاران (۱۹۷۶) میزان هدر روی ازت نیتراتی را در خاکهای شنی بررسی نموده اند و اظهار داشته اند که سالانه از هر هکتار بطور متوسط ۹ تا ۱۴ کیلو گرم نیتروژن خالص به صورت نیترات تلف می‌شود و اضافه می کنند که به ازاء هر سانتیمتر آب نفوذی سالانه حدود ۱/۱۲ کیلو گرم نیترات از هر هکتار آبشویی می شود. ویتر و مالگر (۱۹۹۰ نیز در پژوهشهای خود در مورد اثر ممانعت کنندگان نیترات سازی در مقدار آبشویی نیترات به این نتیجه رسیدند که وقتی ۹۰ تا ۱۴۰ کیلو گرم ازت خالص در هکتار به خاک دارای بافت متوسط زیر کشت ذرت اضافه می شود به ترتیب ۸۰ و ۳۰ درصد آن از طریق آبشویی تلف می شود.

طبق گزارش آلن و همکاران (۱۹۹۸)تنش آبی کمی بعد از جوانه زدن گندم ممکن است تاثیر چندانی در کاهش رشد گیاه نداشته باشد حتی ممکن است رسیدن محصول را تسریع نماید. در مرحله گلدهی ممکن است رشد ریشه در اثر کمبود آب کاهش یابد و حتی احتمال دارد متوقف شده و صدمهٔ قابل ملاحظه ای در این مرحله به گیاه وارد شود.. طبق گزارش ابراهیمی پاک (۱۳۸۲) مقدار تبخیر- تعرق گیاه گندم با استفاده از لایسیمتر در شهر کرد برابر با ۶۰۴/۴ میلی‌متر شده است. بر اساس نتایج پژوهشی در منطقه زرقان فارس توسط لایسیمتر، نیاز آبی گندم در سه سال آزمایش به ترتیب برابر ۷۲۰، ۷۱۲ و ۶۷۴ میلی‌متر وضریب گیاهی مراحل چهارگانه رشد گندم به ترتیب برابر ۰/۳۷، ۰/۶۸، ۱/۱۱ و ۰/۵۱ به دست آمد(نیازی و همکاران، ۱۳۸۴). رضوی(۱۳۷۹) مقدار تبخیر- تعرق گندم را ۴۰۶ میلی متر و ضرائب گیاهی گندم در مراحل چهار گانه رشد را به ترتیب ۰/۶ و ۰/۸ و ۱/۱۷ و ۰/۷۶ با استفاده از لایسیمتربرای ارومیه تعیین کرد. فرشی و همکاران (۱۳۷۶) مقدار آب مورد نیاز گندم را ۵۳۲ میلی متر و ضرائب گیاهی گندم در مراحل چهار گانه رشد را به ترتیب ۰/۴۰ و ۰/۷۸ و ۱/۳۰ و ۰/۷۸ برای ارومیه برآورد کرده‌اند.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی مجدد میزان تبخیر و تعرق گیاه گندم و مقایسه آبشوئی نیترات از منبع دو نوع کود اوره و اوره با پوشش گوگردی آزمایشی با کشت گندم در چهار عدد لایسیمتر و ۴۰۰ متر مربع اطراف هر لایسیمتر به مدت دو سال در ارومیه اجرا شد. در لایسیمترهای ۱و۲ از منبع کودی اوره و در لایسیمترهای ۳و۴ از منبع کودی scu استفاده شد. سطح لایسیمترها ی ۱و۲ برابر ۱/۵ و سطح لایسیمترهای ۳و۴ برابر۱/۸ متر مربع بوده و دارای کف شیبدار بودند که دارای لولهٔ زه آب بودند و زهکشی بطریقهٔ پمپاژ از لولهٔ زه آب انجام گرفته است . نصب لایسیمتر مطابق شرایط استاندارد با ایجاد زهکش در کف آن بود. با استفاده از فرمول:

$$ETP= P + I – D -+ d W$$

P = مقدار بارندگی به میلیمتر

I = مقدار آبیاری به میلیمتر

D = مقدار آب زهکشی شده به میلیمتر

dW = تغییرات رطوبت خاک (در دوره های ده روزه با نمونه برداری خاک تعیین شده است)

ETP= مقدار تبخیر و تعرق به میلیمتر

مقادیر تبخیر و تعرق لایسیمترها در دوره های ده روزه و یک ماهه با اندازه گیری آب آبیاری ومیزان بارندگی و مقدار زه آب هرلایسیمترتعیین گردید قبل از کشت نمونه خاک از محل آزمایش تهیه شد.

جدول (۱) خصوصیات شیمیائی و فیزیکی محل‌های اجرای طرح

مشخصات نمونه	آمونیم NH4+ ppm	هدایت الکتریکی ds/m	اسیدیته گل اشباع (PH)	درصد مواد خنثی شونده %T.N.V	No-3 PPm	کربن آلی %oc	ازت کل ٪	فسفر قابل جذب PPm	پتاسیم قابل جذب PPm	شن درصد	سیلت درصد	رس درصد
لایسیمتر۱	۴/۲	۱/۱۸	۷/۷	۵	۵/۶	۱/۸۹	۰/۱۸	۱۷/۹	۲۴۰	۴۱	۴۹	۱۰
لایسیمتر ۲	۰/۷	۱/۳۴	۷/۷	۳/۵	۷	۰/۷۲	۰/۰۷۲	۹/۹	۲۵۰	۴۴	۴۵	۱۱
لایسیمتر۳	۱/۴	۱/۴۱	۷/۷	۴	۱۱/۲	۰/۶۹	۰/۰۶۹	۷/۷	۳۲۰	۴۵	۴۴	۱۱
لایسیمتر۴	۱/۴	۱/۳۵	۷/۸	۴	۱۰/۵	۰/۶۷	۰/۰۶۷	۹	۲۱۰	۴۶	۴۲	۱۲

شوری خاک برای نباتات زراعی مناسب و خاک دارای اسیدیته (pH) قلیائی متوسط , مواد آلی خاک کم تا متوسط و فسفر و پتاسیم قابل جذب متوسط تا زیاد و بافت خاک از نوع لومی (Loam) می باشد. مطابق آزمون خاک و توصیه کارشناسان کود مصرف شد.کود اوره به مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار و اوره با پوشش گوگردی به مقدار ۴۴۰ کیلوگرم در هکتار و همچنین سایر کودها بطوریکنواخت استفاده شد.

جدول ۲ نتایج تجزیهٔ آب آبیاری

هدایت الکتریکی Ec*106	اسید یته PH	بر B p.p.m	نسبت جذب سدیم S.A.R	نیترات NO3 — p.p.m	آمونیوم NH4+ p.p.m	میلی‌اکی‌والان در لیتر						
						کربنا ت	بیکربنا ت	کلر Cl-	سولفات So42-	کلسیم Ca2+	منیزیم Mg2+	سدیم Na+
۴۹۴	۷/۱	۰/۳	۱/۴	۴/۲	۱/۴	۰	۳/۴	۱/۴	۰/۱	۳/۰	۱/۰	۱/۰

با توجه به نتایج تجزیه، آب آبیاری بر اساس طبقه‌بندی ویل‌کوکس، در کلاس C2S1 قرار داشته و کیفیت آب محدودیتی برای گندم و ذرت ندارد. همچنین، مقدار سدیم، بر، نیترات، بیکربنات و PH آب آبیاری در حد طبیعی و بدون محدودیت بود. براساس نتایج تجزیهٔ فیزیکی خاک، مقدار آب خاک در حد ظرفیت مزرعه ۱۳/۹ درصد وزنی و در نقطه پژمردگی ۶/۲ درصد وزنی و جرم ویژهٔ ظاهری آن ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده است. زمان کاشت گندم هر سال اول آبان و و زمان برداشت اواخر تیر بود.

نتایج و بحث

جدول ۳، میانگین مقادیر آب آبیاری وزه آب و بارندگی به میلی متر لایسیمترهای گندم

	آب آبیاری				زه آب خروجی				بارندگی	تبخیر وتعرق			
لایسیمتر	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴		۱	۲	۳	۴
آبان	۲۶/۶	۰	۲۶/۶	۲۷/۸	۱۶/۵	۲۴/۲	۸/۳	۱۶/۹	۱۸/۳	۲۸/۳	۱۷/۹	۱۷/۲	۲۰/۶
آذر	۰	۰	۰	۰	۰	۵/۱	۶/۲	۶/۲	۲۱/۹	۲۱/۹	۲۱/۹	۲۰/۲	۲۰/۲
فروردین	۲۶/۶	۲۶/۶	۳۵/۵	۳۵/۵	۲۹/۷	۰	۰	۰	۴۶/۶	۴۸/۹	۷۳/۳	۸۲/۳	۸۲/۳
اردیبهشت	۲۱۵/۵	۲۲۲	۳۲۷	۲۰۹/۷	۶۱/۲	۰/۷	۲۸	۰/۵	۲۹/۲	۲۳۵/۳	۲۵۰/۳	۲۰۱/۳	۲۳۷/۹
خرداد	۱۴۲	۱۱۵	۱۶۱/۱	۱۱۸/۷۵	۵۲/۴	۰	۲۸/۷	۰/۸	۵/۳	۱۱۶/۴	۲۴۱/۱	۱۳۷/۴	۱۲۳/۸

جمع کل تبخیر وتعرق چهار لایسیمتر به ترتیب برابر۴۶۱ و۴۹۲ و۵۳۴ و۴۹۸ میلی متر شده است جمع کل بارندگی در طول فصل رشد گندم نیز ۱۲۲ میلی متر شده است. میانگین کل تبخیر- تعرق گندم ۴۹۶ میلی‌متر می‌باشد، در کتاب برآورد نیاز آبی محصولات زراعی و باغی فرشی و همکاران (۱۳۷۶) مقدار آب مورد نیاز گندم را برای ۵۳۲ میلی‌متر برآورد کرده‌اند که مقدار تبخیر- تعرق حاصل از این آزمایش ۹۳ درصد برآورد فوق می باشد

جدول ۴، مقادیر نیترات خاک و نیترات زه آب لایسیمتر گندم

نیترات	عمق c m	اوره	اوره با پوشش گوگردی
نیترات قبل از کشت ppm	۰-۳۰ ۳۰-۶۰	۵/۸ ۴/۲	۶/۳ ۵/۹
نیترات بعد از برداشت ppm	۰-۳۰ ۳۰-۶۰	۱۶/۴ ۱۶/۶	۱۶/۳ ۱۴/۲
نیترات تجمعی زه آب ppm مقدار زه آب میلی متر	- -	۸۱/۲ ۱۰۲	۵۵/۱ ۱۰۵/۵

جدول۵، میانگین مقدار آب ورودی و زه آ ب خروجی و مقدار ازت نیتراتی زه آب لایسیمتر گندم

منبع کودی	آب ورودی به هر لایسیمتر(لیتر)	آب خروجی از هرلایسیمتر (لیتر)	نیتروژن نیتراتی آب خروجی میلی کرم در لیتر	نیتروژن نیتراتی کل (میلی کرم)	نیتروژن نیتراتی شسته شده درهکتاربه کیلوگرم
اوره	۸۵۹/۳	۱۰۲	۸۱/۲	۸۲۸۲/۴	۵۵/۲۲
اوره با پوشش گوگردی	۹۸۳/۴	۱۰۵/۵	۵۵/۱	۵۸۱۳/۰۵	۳۲/۲۹

میانگین کل عملکرد دانه گندم در لایسیمترهای با مصرف اوره ۸/۲ تـن در هکتـار و در لایسـیمترهای بـا مصـرف اوره بـا پوشـش گوگردی برابر ۷/۵ تن در هکتار شده است. میانگین تبخیر- تعرق حاصل از لایسیمترهای با مصرف اوره برابـر ۴۷۶۶ مترمکعـب در هکتار و برای لایسیمترهای با مصرف اوره با پوشش گوگردی برابر۴۹۱۲ مترمکعب در هکتـار شـده اسـت. مقـدار عملکـرد دانـه در لایسیمترهای با مصرف اوره حدود ۹٪ بیشتر از لایسیمترهای با مصرف اوره با پوشش گوگردی شده اسـت. میـانگین کـل نیتـروژن خالص داده شده درزمان رشد گندم از طریق کود اوره برابر ۱۵۰ و برای منبع کودی اوره با پوشش گوگردی برابر ۱۳۰ کیلـوگرم در هکتار شده است ولی مطابق جدول ۵ میزان نیتروژن شسته شده در هکتار از تیمار منبع کودی اوره برابر۵۵/۲ و کود اوره با پوشش گوگردی برابر ۳۲/۳ کیلوگرم در هکتار بود که حدود ۷۰ درصد بیشتر از اوره با پوشش گوگردی است. میزان تلفات مربوط بـه کـود اوره برابر ۳۵ درصد کود مصرفی و میزان تلفات مربوط به کود اوره با پوشش گوگردی برابر ۲۵درصد کود مصرفی بوده است.

اسمیکا و همکاران (۱۹۷۶) میزان هدر روی ازت نیتراتی را در خاک‌های شنی بررسی نموده‌اند و اظهار داشته‌اند کـه سـالانه از هـر هکتار بطور متوسط ۹ تا ۱۴ کیلوگرم ازت خالص به صورت نیترات تلف می‌شود و اضافه می‌کنند کـه بـه ازای هـر سـانتی‌متـر آب نفوذی سالانه حـدود ۱/۱۲ کیلـوگرم نیتـرات از هـر هکتـار آبشـویی مـی‌شـود. مطـابق جـدول ۹ مقـدار آب آبیـاری گنـدم بـرای لایسیمترهای با مصرف اوره (باتوجه به مساحت ۱/۵ مترمربع هر لایسیمتر) برحسب سانتی‌متر برابر با ۵۷/۲۸ و برای لایسیمترهای با مصرف اوره با پوشش گوگردی (باتوجه به مساحت ۱/۸ مترمربع هر لایسیمتر) برابر ۵۴/۶۳ سانتی‌متر به کار برده شـده اسـت. در این آزمایش مقدار ازت تلف شده به ازای هر سانتی‌متر آب آبیاری ۰/۹۷ کیلوگرم در هکتار برای کود اوره و ۰/۶ کیلوگرم در هکتـار برای کود اوره با پوشش گوگرد حاصل شده است.

نتیجه‌گیری

بالا بردن عملکرد محصول تابع عوامل خاصی از جمله آبیاری مناسب در مراحل مختلف رشد گندم است که ضمن تامین نیـاز آبـی به مسایل زیست محیطی نیز باید توجه نمود.

در مراحل چهارگانه رشد مقدار تبخیر و تعرق گندم و ضریب گیاهی آن به صورت زیر می باشد:

در مرحله اولیه رشد (initial stage) که بعد از سبز شدن گندم در پاییزحدود ۳۵ روز تا رکـود طـول کشـیده اسـت. میـانگین کـل تبخیر و تعرق گندم در این مرحله ۴۵ میلیمتر و ضریب گیاهی آن (Kc) برابر ۰/۶ شد..

در مرحله توسعه رشد (Crop development) که بعد از رکود و مصادف با پنجه زدن و شروع ساقه رفتن است و حدود ۳۵ روز طول کشیده است . به دلیل سرد بودن نسبی هوا و وقوع بارندگیهای هوایی ، بیشتر نیاز آبی گیاه از طریق بارندگی تامین شده است . میانگین کل تبخیر و تعرق گندم در این مرحله۸۱ میلی متر و ضریب گیاهی (KC) برابر ۰/۸۰ شد .

در مرحله میان فصل (Mid season) که مصادف با مراحل خوشه رفتن و گلدهی گندم میباشد که حدود ۵۰ روز بوده و آب مصرفی نسبت به سایر مراحل بسیار بالا بوده و بطور متوسط ۲۷۲ میلی متر شده است . چنانچه گندم با کمبود آب مواجه شود تعداد خوشه های پوک افزایش یافته و سنبله اش عقیم می شود و ضریب گیاهی گندم در این مرحله ۱/۱۶ شد.

در مرحله پایان فصل رشد (Late seson) که ۲۵ روز آخر رشد تا برداشت گندم را شامل می شود آب زیادی مصرف نشده زیرا به هنگام رسیدن دانه طول ساقه ، تعداد سنبلچه وتعداد دانه مشخص و با زرد شدن شاخ و برگ مقدار تبخیر و تعرق نیز کاهش می یابد.میانگین کل تبخیر و تعرق در این مرحله ۹۸ میلیمتر و ضریب گیاهی (KC) برابر ۰/۷ شده است .

در این منطقه اغلب زارعین در مراحل ظهور خوشه و گلدهی به دلیل مصادف شدن با بارندگی‌های بهاره (علیرغم ناکافی بودن این بارندگی‌ها) از آبیاری گندم اجتناب نموده و در مقابل در مرحله دانه بستن آب بسیار زیادی می دهند که منجر به کاهش عملکرد گندم (حدود ۳ تن در هکتار) می‌شود. نتایج حاصل از این آزمایش می‌تواند راهکار مناسبی جهت آبیاری گندم در مراحل رشد ارائه نماید.

همانطورکه محققان مختلف نیز اشاره نموده‌اند میزان تلفات ازت نیتراتی، به میزان‌کود ازته، زمان مصرف، نحوه مصرف و از هم مهم‌تر به میزان آب مصرفی(بارندگی و آبیاری) بستگی داشته است. در این پژوهش معلوم‌گردیده است‌که علاوه برعوامل فوق، نوع‌کود ازته نیز درمیزان تلفات نیتراتی بسیار حائز اهمیت است. بنا براین توصیه می‌شود که جهت جلوگیری از تجمع نیترات درخاک و یا آب زیرزمینی از کودهای کند رها از جمله اوره با پوشش گوگردی در زراعت گندم استفاده شود.

فهرست منابع

ابراهیمی پاک، نیازعلی .۱۳۸۲. تعیین تبخیر- تعرق واقعی گندم با استفاده از لایسیمتر در شهرکرد. مجموعه مقالات هشتمین کنگره علوم خاک ایران.

امامی، عاکفه .۱۳۷۱. گزارش نهایی طرح تعیین میزان میزان شستشوی مواد غذایی اصلی در آبیاری چغندرقند، موسسه تحقیقات خاک وآب، شماره ۸۷۴، سال ۱۳۷۱.

توشیح، وفا، پرویز عبدالملکی و نادر نجم الدین ۱۳۷۵، بررسی اثرات زمان و میزان کود اوره معمولی اوره با پوشش گوگردی. مجموعه مقالات پنجمین کنگره علوم خاک ۱۳۷۵.

رضوی، ر. ۱۳۷۶ .گزارش نهایی طرح تعیین آب مصرفی گندم با استفاده از لایسیمتر ، شماره ۷۶/۳۲۹، موسسه تحقیقات خاک وآب.

رضوی، ر . ۱۳۹۳ .گزارش نهایی طرح بررسی آبشوئی نیترات از منابع کودی scu واوره در لایسیمتر ، شماره ۴۵۹۳۳، موسسه تحقیقات خاک وآب.

ملکوتی، محمد جعفر .۱۳۷۹. تغذیه متعادل گندم، نشر آموزش کشاورزی.

نیازی، ج، فولادمند،ح ، احمدی، س ح ، وزیری، ژ . ۱۳۸۴. نیاز آبی و ضریب گیاهی سویا در منطقه زرقان استان فارس. مجله علوم آب و خاک - علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی

Alen, G Richard and Luis S.Pereira,Drik Raes ,Martin Smith. 1998. " Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements",Food and Agriculture Organization of the United Nations,Rom, No 56.

Smika,D.E.et all. 1977. Nitrate – N percolation through irrigated sandy soil as affected by water management. soil water and air science. ARS/U. S.D.A.

Wslyrtd, F.Y.snf G.L.Malger. 1990 Nitrogen management and nitrifieation in hihtor affects on nitrogen 0-15 urea. II- Nitrogen leaching and balance. Soil sci. soc. Am.J.54:122-131.

Evaluation of wheat evapotranspiration under standard conditions and study of nitrate leaching in wheat cultivation

R. Razavi [1],Z. Mohamad Esmaeil [1], N,Razavi[2,] H. Vatan khah[2]
1Researcher and scince staff member of soil & Water Research Center, Agricultural Research & Education Organization, 2, 2 occupational health experts of East Azarbaijan Health Center center

Abstract

In order to re-evaluate the evapotranspiration of wheat and compare compare nitrate leaching from two types of urea and urea with solfur coating (SCU) fertilizer and evaluation of wheat and maize evapotranspiration in Urmia, an experiment was conducted in four lysimeters for three years. In two lysimeters, urea fertilizer resource was used and in the next two lysimeter, a scu fertilizer resource was used. Acording the results, the average of total evapotranspiration of four lysimeters of wheat is 461, 492, 534 and 498 mm, respectively, and the average of total evapotranspiration of wheat is 496 mm.. The maximum grain yield of wheat was 8.2 t / ha of urea lysimeters. Nitrogen leaching from urea fertilizer in wheat was 22/55 and in sulfur cover in urea fertilizer in 32/32 kg ha-1. The amount of leaching from urea fertilizer in wheat and corn was 70 and 94% higher than scu, which results in nitrate accumulation in groundwater, respectively.

Key words: evapotranspiration, Urea,nitrogen, sulfur coated Urea, wheat.

نقشه‌برداری رقومی شوری خاک با مدل‌های رگرسیون خطی تعمیم‌یافته، تصمیم‌گیری درختی توسعه‌یافته و جنگل تصادفی در دشت سیستان

محمدرضا پهلوان راد[۱]، علی شهریاری[۲]، خداداد دهمرده[۳]، علیرضا اکبری مقدم[۳] ، مجتبی هادی زاده[۳]، ابوالفضل بامری[۲]، نادرمحمد نیا[۳]، فاطمه طالع فراهی[۲]

[۱] بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان.pahlavanrad@gmail.com

[۲] دانشگاه زابل

[۳] بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل

چکیده

تمایلات جدید به موضوع خاک در کشور سبب افزایش تقاضا برای نقشه‌های با دقت بیشتر، به‌روزشده و با بزرگ‌نمایی بالا گردیده است. تحقیق حاضر با هدف تعیین توزیع مکانی شوری خاک با استفاده از نقشه‌برداری رقومی خاک در سطح حدود ۲۲۷۰۰۰ هکتار از اراضی دشت سیستان با استفاده از تکنیک‌های داده‌کاوی جنگل تصادفی[۱]، رگرسیون خطی تعمیم یافته[۲] و تصمیم‌گیری درختی توسعه‌یافته[۳] اجرا شد. تعداد ۳۱۷ نمونه خاک از دو عمق ۲۰-۰ و ۵۰-۳۰ سانتیمتر تهیه و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری گردید. متغیرهای کمکی محیطی جهت استفاده در مدل‌سازی از مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره استخراج شدند. نتایج نشان داد که مقدار شوری خاک در عمق ۲۰- ۰ سانتی‌متر بیشتر از ۵۰-۳۰سانتیمتر بود که علت آن زیاد بودن تبخیر در منطقه و تجمع نمک در لایه‌های سطحی است. نتایج نشان داد مه مهمترین متغیرهای کمکی در سه مدل، شاخص‌های سنجش از دور بودند. بین سه روش بررسی شده تفاوت زیادی مشاهده نشد ولی نقشه‌های تولیدشده با روش‌های جنگل تصادفی و تصمیم-گیری درختی توسعه‌یافته با واقعیت زمینی مطابقت بیشتری داشتند. به‌علت تغییرپذیری زیاد خاک‌ها در دشت سیستان میزان صحت نقشه‌ها پایین بود.

واژگان کلیدی: تغییرپذیری مکانی، مدل‌سازی، متغیر کمکی، مناطق خشک

مقدمه

استفاده از روش‌های رقومی برای تهیه نقشه‌های خاک را شاید بتوان از مهم‌ترین تحولات انجام مطالعات خاک شناسی در عهد حاضر به حساب آورد. نقشه‌برداری رقومی خاک[۴] شامل روش‌ها و مدل‌هایی است که بین ویژگی‌های خاک (کلاس‌ها یا خصوصیات خاک) و داده‌هایی که به آسانی از طریق روش‌های سنجش از دور، تصاویر و عکس‌ها و داده‌های ژئومورفومتری بدست می‌آیند و

---

۱ Random forest
۲ Generalized linear model
۳ Boosted Regression Tree
4 Digital Soil Mapping

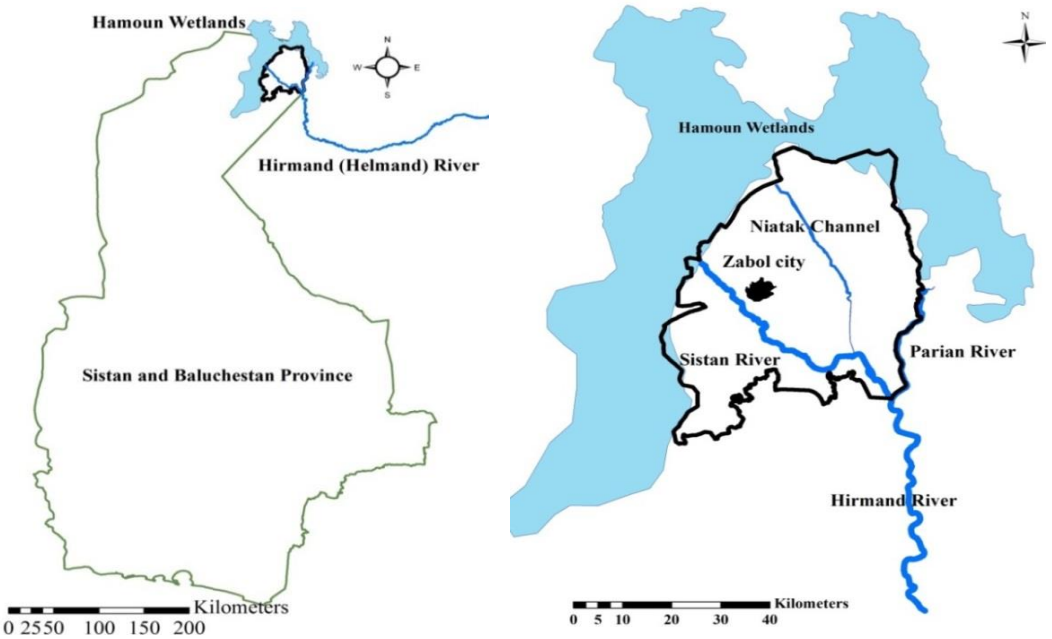
تحت عنوان متغیرهای کمکی محیطی[۵] نامیده می‌شوند، ارتباط بر قرار می‌کند. در این روش از مدل‌های ریاضی و آماری برای تولید و بهبود کیفیت نقشه‌های خاک استفاده می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به زمین آمار، منطق فازی، هندسه فراکتال، توابع رگرسیونی، شبکه‌های عصبی، درخت تصمیم گیری و ..... اشاره کرد. اگر چه تکنیک‌های مورد استفاده در نقشه‌برداری رقومی خاک بر روی محاسبات عددی استوار است ولی اساس آن بر روی معادلات تشکیل خاک قرار دارد. یکی از تکنیک‌های قوی نقشه‌برداری خاک، رگرسیون درختی توسعه یافته می‌باشد که توزیع مکانی کلاس‌های خاک و ویژگی‌های خاک را می‌تواند پیش‌بینی کند (*et* Jafari *al.*,2014؛Schillaci *al.*,2017). Jafari *al.*,2014 در نقشه‌برداری رقومی افق‌های مشخصه و گروه‌های بزرگ خاک در منطقه زرند کرمان نتیجه گرفتند که متغیرهای استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع در مدل رگرسیون درختی توسعه-یافته از اهمیت بالای برخوردار می‌باشد. Zeraatpisheh *al.*,2018جهت پیش‌بینی مکانی ویژگی‌های خاک از جمله کربن‌آلی خاک، کربنات‌کلسیم معادل و رس از روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل جنگل‌تصادفی عملکرد قابل قبولی است و متغیرهای کمکی مستخرج از مدل رقومی ارتفاع مهمترین متغیرها در پیش‌بینی رس خاک هستند.

Pahlavan-Rad *al.*,2020 در پیش‌بینی توزیع مکانی نفوذپذیری خاک‌های دشت سیستان با روش‌های جنگل تصادفی و رگرسیون خطی ساده مشاهده کردند که هر دو مدل نتایج مشابهی نشان دادند ولی نقشه تولیدشده با مدل جنگل تصادفی به مشاهدات میدانی نزدیک‌تر بود.آنها همچنین مشاهده کردند که شبکه‌کانال‌ها، مقدار ماسه خاک، شاخص شوری مهمترین متغیرها با روش جنگل تصادفی و فاصله از رودخانه و مقدار شن مهمترین متغیرها با روش رگرسیون خطی بودند.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی دشت سیستان، در شمال استان سیستان و بلوچستان با مساحت ۲۲۷۰۰۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱). دشت سیستان دارای اقلیم خیلی خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است. درجه حرارت سالیانه بیش از ۲۲ درجه سانتیگراد و متوسط بارندگی سالیانه حدود ۵۵ میلیمتر و میزان تبخیر حدود ۴۵۰۰ میلیمتر است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب اریدیک و هایپرترمیک است. محدوده مورد مطالعه دارای شیب نسبتا مسطح با مقدار ۲-۱ درصد می‌باشد و جهت آن از جنوب به سمت شمال می‌باشد. منبع آب منطقه سیستان رودخانه هیرمند بوده که از کوه‌های هندوکوش در افغانستان سرچشمه گرفته و پس از ۱۱۰۰ کیلومتر وارد خاک ایران شده و در محل ورود به خاک ایران به دو شاخه سیستان و پریان مشترک تقسیم می‌شود (شکل ۱)

۵ Environmental covariates



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

تعداد ۳۱۷ محل نمونه‌برداری با روش نمونه‌برداری تصادفی نظارت شده تعیین و از دو عمق ۲۰-۰ و ۵۰-۳۰ سانتیمتر نمونه تهیه و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک اندازه‌گیری گردید. مدل رقومی ارتفاع منطقه مطالعاتی از سایت استر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر دانلود و متغیرهای محیطی از قبیل شیب، ارتفاع، انحنای طولی[۶]، شاخص همگرایی[۷]، موقعیت نسبی شیب[۸]، شبکه کانال-ها[۹]، اختلاف جزئی شیب[۱۰]، سطح ویژه حوزه[۱۱]، فاصله عمودی به شبکه کانال[۱۲]، عمق دره[۱۳]، انحنای سطح[۱۴]، انحنای نیمرخ[۱۵] و

[۶] Longitudinal curvature
[۷] Convergence Index
[۸] Relative slope position
[۹] Channel net worke base level
[۱۰] Analytical hilshading
[۱۱] Catchment Area
[۱۲] Vertical distance to channel net worke
[۱۳] Valley depth
[۱۴]- Plan Curvature
[۱۵]- Profile Curvature

شاخص خیسی[۱۶] با استفاده از نرم‌افزار ساگا استخراج شدند. همچنین فاصله از رودخانه نیز تهیه گردید. همچنین باندهای مختلف ماهواره و شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده[۱۷] و شاخص شوری(NDSI) نیز استخراج و در مدل‌سازی استفاده شدند.

مدل‌سازی

از سه مدل مدل‌های خطی تعمیم یافته، رگرسیون درختی توسعه‌یافته و مدل جنگل تصادفی جهت ایجاد ارتباط بین متغیرهای کمکی و مقادیر هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک استفاده شد و نقشه پیش‌بینی در دو عمق تهیه شد. مدل‌سازی‌ها با نرم افزار R 4.0.4انجام گرفت.

جهت تعیین صحت مدل‌ها از روش اعتبارسنجی دوجانبه ۱۰ مرتبه استفاده شد. از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا[۱۸] (بیان‌گر دقت میانگین پیش‌بینی است و شدت خطا منتظره را نشان می‌دهد) (رابطه ۱)، خطای میانگین[۱۹] (برای تعیین اریب و تمایل به کم یا بیش برآورد) (رابطه ۲) که واحد اندازه‌گیری‌شان درصد است استفاده شد. همچنین ضریب تبیین[۲۰] (رابطه ۳) نیز محاسبه شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i - p_i)^2} \qquad (۱)$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|y_i - p_i| \qquad (۲)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_1^N \left(Z(yi) - \overline{Z(yi)}\left(Z(pi) - \overline{Z(pi)}\right)\right)}{\sqrt{\sum_1^N (X(yi) - \overline{Z(yi)})^2 (Z(pi) - \overline{Z(pi)})^2}}\right] \qquad (۳)$$

که در این روابط N تعداد نقاط، yi مقدار تخمین زده شده و pi مقدار واقعی است.

نتایج و بحث

نتایج (جدول ۱) نشان داد که شوری خاک یکی از محدودیت‌های منطقه سیستان بوده و از مقادیر کم کمتر از یک تا ۲۲۳ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. بیشترین شوری خاک در عمق ۲۰-۰سانتیمتر با میانگین ۲۲ دسی زیمنس بر متر بود که علت آن بالابودن تبخیر و صعود شعریه نمک‌ها به سطح خاک و تجمع در این قسمت خاک می‌باشد.

۱۶- Wetness Index

۱۷ NDVI

۱۸- Root Mean Square Error

۱۹- Mean Error

۲۰- Coefficient of Determination

جدول ۱- آماره‌های توصیفی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر)

عمق (سانتیمتر)	تعداد	میانگین	انحراف معیار	واریانس	حداقل	حداکثر	چولگی	کشیدگی
۰-۲۰	۳۱۷	۲۲/۱	۳۸/۷	۴۹۰	۰/۰۵	۲۲۲/۶	۳/۰۲	۹/۳۳
۲۰-۵۰	۳۱۷	۱۱/۸	۱۷/۷	۳۱۴	۰/۸	۱۲۵/۶	۲/۹۹	۱۱/۰

نتایج ارزیابی مدل‌ها

جدول۲نتایج اجرای سه‌مدل را در عمق‌های مختلف برای هدایت الکتریکی عصاره اشباع نشان می‌دهد. نتایج نشان می-دهد که همه مدل‌ها ضریب تبیین پایینی نشان دادند که علت آن تغییرپذیری زیاد خاک در منطقه سیستان می‌باشد. نتایج نشان داد که در عمق ۲۰-۰ مدل GLM اندکی دارای صحت بیشتری نسبت به روش‌های دیگر داشت. در عمق ۵۰-۲۰ سانتیمتر دو مدل GLM و RF نتایج مشابهی داشتند.

جدول ۲ -ارزیابی صحت مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی شوری (هدایت الکتریکی عصاره اشباع) خاک در عمق‌های مختلف

عمق (سانتیمتر)	BRT			RF			GLM		
	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE	R^2
۰-۲۰	۲۳/۵	۳۷/۵	۰/۰۷	۲۴/۴	۳۸/۳	۰/۰۶	۱۸/۳	۳۷/۹	۰/۱۳
۲۰-۵۰	۱۰/۸	۱۶/۸	۰/۱۰	۱۰/۸	۱۶/۶	۰/۱۲	۱۰/۸	۱۶/۳	۰/۱۴

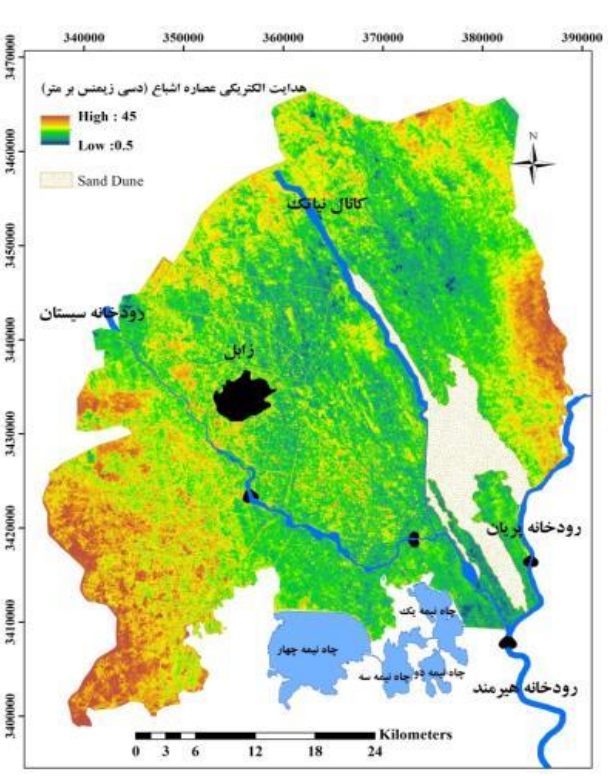
اهمیت متغیرها

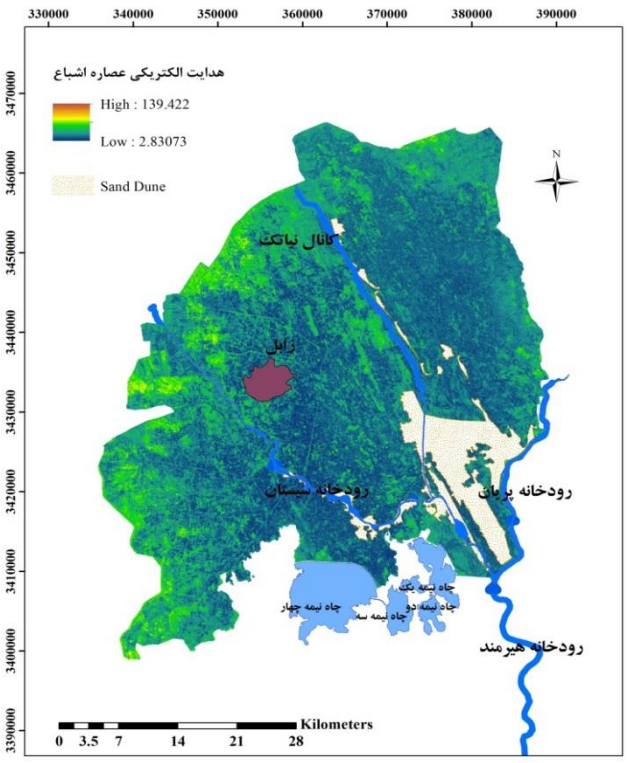
نتایج نشان داد که مهمترین متغیر در پیش‌بینی توزیع مکانی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق ۲۰-۰سانتیمتر با مدل GLM، باندهای ۶، ۷ ، نسبت باند ۴ به ۳، عمق دره و شاخص شوری بودند. در عمق ۵۰-۲۰سانتیمتر، مهمترین متغیرها با مدل RF، باندهای ۵، ۴، ۳، شاخص اندازه ذرات، باندهای ۷ و ۸ و ارتفاع بودند. نتایج بدست‌آمده برتری متغیرهای مستخرج از تصاویر ماهواره در پیش‌بینی شوری و اسیدیته خاک بر سایر متغیرها در این منطقه را نشان داد.Fan et al, (2015) نیز دریافتند که باندها آبی و مادون قرمز نزدیک مهمترین متغیرها در تخمین شوری خاک بودند. .Li et al, (2019) در پیش‌بینی توزیع مکانی شوری خاک در چین مشاهده کردند که با روش‌های رگرسیون خطی، جنگل تصادفی و رگرسیون وزن داده‌شده جغرافیایی مشاهده کردند که باندهای مستخرج از تصاویر لندست ۸ در فصل خشک با هدایت الکتریکی خاک همبستگی معنی‌دار داشتند

توزیع مکانی شوری خاک

اگرچه براساس نتایج صحت نقشه‌ها در عمق ۲۰-۰ روش GLM انکی بهتر بود ولی نقشه‌های تولیدشده با روش‌های جنگل تصادفی و تصمیم‌گیری درختی توسعه‌یافته با واقعیت زمینی مطابقت بیشتری داشتند. نتایج توزیع مکانی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق‌های ۲۰-۰ سانتیمتر و ۲۰ تا ۵۰ سانتیمتر با روش RF در شکل ۲ ارائه شده است. بیشترین شوری خاک مربوط به عمق ۲۰-۰سانتیمتر بود و عمق پایین‌تر دارای شوری کمتری نسبت به لایه ۲۰ سانتیمتر سطحی داشتند. در این دو عمق در قسمتی از شرق، شمال و جنوب غربی بیشترین مقدار شوری وجود دارد. کمترین مقدار شوری هم در جنوب شرقی، جنوب و قسمت‌هایی از مرکز بودند.

بالا بودن تبخیر در دشت سیستان (حدود۴۵۰۰ میلیمتر در سال) سبب صعود موئینه املاح همراه رطوبت به سطح خاک شده سبب تجمع املاح در افق‌های سطحی می‌گردد. در افق‌های سطحی بیشترین شوری خاک در مناطق شرق، جنوب غربی و شمال شرقی بود که علت آن در شرق و جنوب غربی نرسیدن آب کافی به این مناطق جهت کشت و کار و در نتیجه آبشویی نمک به‌علت دوری از رودخانه‌های تامین‌کننده آب (سیستان و پریان مشترک) می‌باشد. همچنین بافت در مناطق شمال شرقی و جنوب غربی مقدار رس خاک بیشتر می‌باشد.





شکل ۲-توزیع مکانی هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در عمق‌های ۲۰-۰ سانتیمتر (سمت راست) و ۵۰-۲۰ سانتیمتر(سمت چپ) با روش RF

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که شوری خاک یکی از محدودیت کننده‌های تولید در دشت سیستان می‌باشد. ویژگی‌های خاک‌های دشت سیستان مانند شوری به‌دلیل سیلابی‌بودن، و وجود فرسایش و رسوب شدید بادی دارای تغییرپذیری مکانی زیادی هستند. نقشه-های تولیدشده ویژگی‌های خاک دارای صحت پایینی بودند که علت آن تغییرپذیری زیاد این ویژگی‌ها در دشت سیستان می‌باشد. بنابراین برای به‌دست آوردن نقشه‌های با صحت بیشتر برای ویژگی‌های خاک، تعداد نمونه‌برداری‌های خاک افزایش یابد و حتی تعداد نقاط بهینه در این منطقه تعیین گردد. نقشه‌برداری رقومی خاک اطلاعات ارزشمندی از توزیع مکانی خاک ارائه می دهد.

فهرست منابع

Fan X.W., Y.B. Liu and J. Tao .2015. Soil salinity retrieval from advanced multi-spectral sensor with partial least square regression. Remote Sensing, 7: 488–511. doi: 10.3390/ rs70100488

Jafari, A., H. Khademi, P. Finke, J. Van de Wauw and S Ayoubi, S. 2014. Spatial prediction of soil great groups by boosted regression trees using a limited point dataset in an arid region, southeastern Iran. Geoderma, 232: 148-163.

Li, Z., Y. Li, A. Xing, Z. Zhuo, S. Zhang, Y. Zhang and Y. Huang. 2019. Spatial Prediction of Soil Salinity in a Semiarid Oasis: Environmental Sensitive Variable Selection and Model Comparison. Chinese Geographical Science, 29(5): 784–797. https://doi.org/10.1007/s11769-019-1071-x

Pahlavan-Rad, M.R., K.H. Dahmardeh, M. Hadizadeh, G. Keykha, N. Mohammadnia, M. Gangali, M. Keikha, N. Davatgar, C. Brungard. 2020. Prediction of soil water infitration using multiple linear regression and random forest in a dry flod plain, eastern Iran. Catena, 194(2020) 104715.

Schillaci, C., M. Acutis, L. Lombardo, A. Lipani, M. Fantappie, M. Märker and S. Saia. 2017. Spatio-temporal topsoil organic carbon mapping of a semi-arid Mediterranean region: The role of land use, soil texture, topographic indices and the influence of remote sensing data to modelling. Science of The Total Environment, 601: 821-832.

Zeraatpisheh, M., S. Ayoubi, A. Jafari, S. Tajik and P. Finke 2018. Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. *Geoderma* .https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.006

Digital mapping of soil salinity using generalized linear model models, boosted regression tree and random forest in Sistan plain

Mohammad Reza Pahlavan-Rad[1], Ali Shahriari[1], Khodadad Dahmardeh[3], Alirea Akbarimoghadam[3],Mojtaba Hadizadeh[3], , Abolfal Bameri[2], Nader Mohammmadnia, Fatemeh Talea Farahi

[1]Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran

[2]Zabol university, Zabol

[3]Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran

Abstract

New trends in the subject of soil in the country have increased the demand for more accurate, updated and high magnification maps. The aim of this study was to determine the spatial distribution of soil salinity using digital soil mapping in about 227,000 hectares of Sistan plain lands using random forest, Generalized linear model and boosted regression tree models. 317 soil samples were prepared from two depths of 0-20 and 30-50 cm and the electrical conductivity of soil saturated extract was measured. Auxiliary environmental variables were extracted from digital altitude model and satellite images for use in modeling. The results showed that the salinity of the soil at a depth of 0.20 cm was more than 30-50 cm due to high evaporation in the area and the accumulation of salt in the surface layers. The results showed that the most important auxiliary variables in the three models were remote sensing indices. There was not much difference between the three methods studied, but the produced maps were more in line with the ground reality with random forest and developed tree decision making methods. Due to the high variability of soils in the Sistan plain, the accuracy of the maps was low.

Keywords:Variability, Covariate, Modeling, Dry regions

روش‌های واسنجی حسگر نوترونی اشعه کیهانی در مدیریت آبیاری

مهدی قمقامی[۱]، و جواد پیرولی بیرانوند[۲*]

۱- پژوهشگر پسادکتری، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، mghamghami@ut.ac.ir

۲- استادیار و عضو هیأت علمی، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران،

* نویسنده مسئول jpirvali@aeoi.org.ir

چکیده

مقاله حاضر به توصیف انواع روش‌های واسنجی فناوری نوین هسته‌ای پایش غیرچشمی محتوای رطوبت خاک مشهور به حسگر نوترونی اشعه کیهانی یا CRNS می‌پردازد. در مقایسه با روش‌های رایج پایش رطوبت خاک نظیر روش‌های سنجش نقطه‌ای و یا روش‌های مبتنی بر سنجش از دور، CRNS یک ابزار قوی برای پایش رطوبت و کنترل ناهمگونی محتوای رطوبت خاک و آب معادل زیست‌توده (BWE) است. نوترون‌های سنجش شده توسط CRNS منشأ کیهانی دارند و با باران به زمین می‌آیند و حاوی انرژی جنبشی بالایی هستند و در برخورد با ذرات هم جرم خود کند می‌شوند که به این فرآیند حرارتی شدن می‌گویند. هیدروژن موجود در آب باعث کند شدن نوترون‌ها شده و با سنجش نوترون های کند شده (حرارتی) معیاری برای سنجش رطوبت به وجود می‌آید. سه روش عمده برای واسنجی مدل پایش رطوبت خاک وجود دارد که عبارتند از روش نمونه‌گیری تخریبی، روش استفاده از شاخص‌های سنجش از دور، و روش ارتباط بین نوترون‌ها و آب معادل زیست‌توده. هر کدام از این روش‌ها معایب و مزایای خود را دارند. مهم‌ترین موضوع در واسنجی ضرایب، حذف سیگنال‌های اضافی آب در محیط مانند آب معادل زیست‌توده است، که به عنوان منابع خطا در نظر گرفته می‌شوند. در کشور مطالعه‌ای در زمینهٔ کاربرد این ابزار تاکنون نشده است. با هدف زمینه‌سازی اجرای تحقیقات داخلی در آینده، مقاله حاضر مروری جامع از تحقیقات انجام شده در دنیا ارائه می‌دهد.

واژگان کلیدی: CRNS؛ سنجش از دور؛ محتوای رطوبت خاک؛ آب معادل زیست‌توده؛ فرآیند حرارتی شدن.

مقدمه

تقریباً ۷۰٪ از آب شیرین در دنیا توسط بخش کشاورزی مصرف می‌شود (Han et al., 2016) و این رقم برای کشور ما بیش از ۹۰٪ است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۶). از این رو افزایش راندمان مصرف آب و کاهش نیاز به آب برای تولیدات کشاورزی در کنار حفظ عملکرد گیاهان ضروری است (توکلی و عبدالرحمانی، ۱۳۸۶). کشاورزان معمولاً از روش‌های تجربی و مشاهده یعنی از روی وضعیت رطوبت خاک و حالت شادابی گیاهان اقدام به برنامه‌ریزی و زمان‌بندی آبیاری می‌کنند. به دلیل عدم آگاهی کافی کشاورزان، اغلب راندمان مصرف آب با روش‌های تجربی یا چشمی پائین خواهد بود. حسگرهایی برای اندازه‌گیری رطوبت خاک وجود دارند، نظیر TDR[۱]، که البته نقطه‌ای بوده و دارای مقیاسی کوچکتر از یک مزرعه معمولی هستند (IAEA, 2000). از این رو حسگرهای متداول سنجش رطوبت خاک در برابر ناهمگونی گستردهٔ محتوای رطوبت خاک ناکارآمد هستند (Singh et al. 2019). استفاده از فناوری سنجش از دور برای پایش رطوبت خاک تا حدی مسئله ناهمگونی مکانی محتوای رطوبت خاک را مرتفع می‌سازد، با این وجود، عدم دسترسی سریع به این تصاویر، توان تفکیک مکانی و زمانی اغلب پائین، و مسائلی از قبیل ایجاد نوفه‌های ابرناکی[۲] و غیره باعث می‌شود که کاربرد این تصاویر برای مزارع کوچک تا متوسط با محدودیت روبرو باشد (Montzka et al., 2013). یک روش جدید استفاده از نوترون‌های اشعه کیهانی است که بسیار سریع هستند و در برخورد با ذرات هم جرم خود از سرعت آن‌ها کاسته می‌شود (Zreda et al., 2012). این روش قادر است مقدار رطوبت را در منطقه جذب آب توسط ریشه گیاه اندازه‌گیری و زمان لازم برای انجام آبیاری را تعیین نماید. ابزاری که برای این منظور در دنیا استفاده می‌شود، حسگر نوترونی اشعه

[1] Time Domain Reflectometry

[2] Cloudy noises

کیهانی یا CRNS[1] نام دارد که محققین مختلفی نظیر Jakobi et al. (2018)، Vather et al. (2020) و غیره این ابزار را در تحقیقات خود کاربردی کرده‌اند. در ادامه پس از معرفی این روش و نحوهٔ کاربرد آن در مدیریت آبیاری به روش‌های مختلف واسنجی ابزار پرداخته خواهد شد.

منشأ نوترون‌ها

در روش CRNS برخلاف روش کاوشگر نوترون‌متری (IAEA, 2008)، نوترون‌ها منشأ طبیعی دارند. نوترون‌های اشعه کیهانی محصول جانبی زنجیره واکنش‌های انجام شده در بالای جو هستند. ذرات اولیه اشعه کیهانی که منشأ کیهانی دارند شامل پروتون و هستهٔ هلیم هستند. با رسیدن به جو زمین با مولکول‌های هوا برخورد می‌کنند و هسته‌های هلیم به پروتون، نوترون و سایر ذرات زیر-اتمی[2] تجزیه می‌شوند. این نوترون‌ها با باران به زمین می‌آیند و حاوی انرژی جنبشی بالایی هستند و در برخورد با زمین از انرژی آنها کاسته می‌شود (Desilets et al., 2010). نوترون‌های پر سرعت در اثر برخورد کشسانی با هستهٔ اتم، مقداری از انرژی جنبشی خود را از دست می‌دهند و به اصطلاح کُند می‌شوند. به این فرآیند، حرارتی شدن[3] گفته می‌شود (عباسعلیان و همکاران، ۱۳۹۷). در فرآیند حرارتی شدن، انرژی نوترون‌ها به حدود انرژی حرارتی اتم‌های یک عنصر در دمای اتاق کاهش می‌یابد. هیدروژن سبک (^1H) دارای جرم و اندازه‌ای برابر نوترون‌هاست. از این رو، اثر کندکنندگی این عنصر بر نوترون‌های پر سرعت بیش از هر عنصر دیگر می‌باشد (Zhang et al., 2019). آب در ترکیب ساختمانی خود هیدروژن دارد، بنابراین این ماده به نحو چشمگیری نوترون‌ها را کند یا حرارتی می‌کند. تراکم نوترون‌های حرارتی به سهولت توسط یک آشکارساز قابل اندازه‌گیری است. به منظور تعیین رطوبت خاک باید این متغیر در مقابل رطوبت حجمی خاک واسنجی گردد.

واسنجی CRNS در مزرعه

حسگر نوترونی اشعه کیهانی قادر به تخمین رطوبت خاک در مقیاس میدانی (تقریباً ۲۰ هکتار)، از طریق آشکارسازی هیدروژن سبک درون مولکول‌های H_2O خاک است (Franz et al., 2013). این فناوری به برداشت اطلاعات رطوبت خاک مربوط به مکان-هایی که توسط حسگرهای نقطه‌محور نظیر کاوشگر نوترون‌متری، TDR و ... مغفول مانده‌اند، کمک می‌کند. با توجه به ماهیت تکنیک CRNS به عنوان آشکارساز تغییرات جرم هیدروژن، یک تابع واسنجی در روش طراحی شده گنجانده می‌شود که کمیت سایر منابع هیدروژن محیطی را که قادرند خطا را به سیگنال CRNS وارد کنند، تعیین می‌کند (Hornbuckle et al., 2012).

یکی از اصلی‌ترین منابع خطا، آب موجود در زیست‌توده گیاه است. از این رو، تخمین زیست‌توده گیاه در واسنجی مناسب یک CRNS مهم است. میزان آب موجود در پوشش‌گیاهی در حال رشد، که به معادل آب زیست‌توده (BWE[4]) مشهور است، منبع قابل توجهی از هیدروژن شناسایی شده در منطقهٔ اثر CRNS است که برای خالص‌سازی سهم رطوبت خاک باید از سیگنال کلی جدا شود. روش‌های سنتی تخمین BWE شامل برداشت فیزیکی گیاهان در مزرعه است که در ابتدا وزن آنها به دست می‌آید، سپس خشک می‌شوند و دوباره وزن می‌شوند تا درصد وزن آب تعیین شود. در حالی که این روش از نظر مقیاس گیاه به گیاه دقیق است، سنجش ناهمگونی مکانی زیست‌توده مستلزم انجام اقدامات نمونه‌برداری گسترده و وقت‌گیر برای تعیین کمیت BWE است (Wahbi et al., 2018).

حل مسأله ناهمگونی زیست‌توده زراعی در مقیاس وسیع می‌تواند چالش برانگیز باشد. با این حال، استفاده از فناوری‌های سنجش از دور (RS[5]) مبتنی بر ماهواره این امکان را می‌دهد که بر مشکلات ذاتی نمونه‌گیری تخریبی غلبه شود. تصاویر برداشت شده از سطح زمین در اثر بازتاب نور و گسیل تابشی زمین قابل تحلیل هستند. این داده‌ها روابط تنگاتنگی با زیست‌تودهٔ روی سطح دارند (Ghamghami et al., 2020) و به همین ترتیب می‌توانند به جای نمونه‌برداری تخریبی از آن استفاده کنند. بعلاوه، اندازه‌گیری

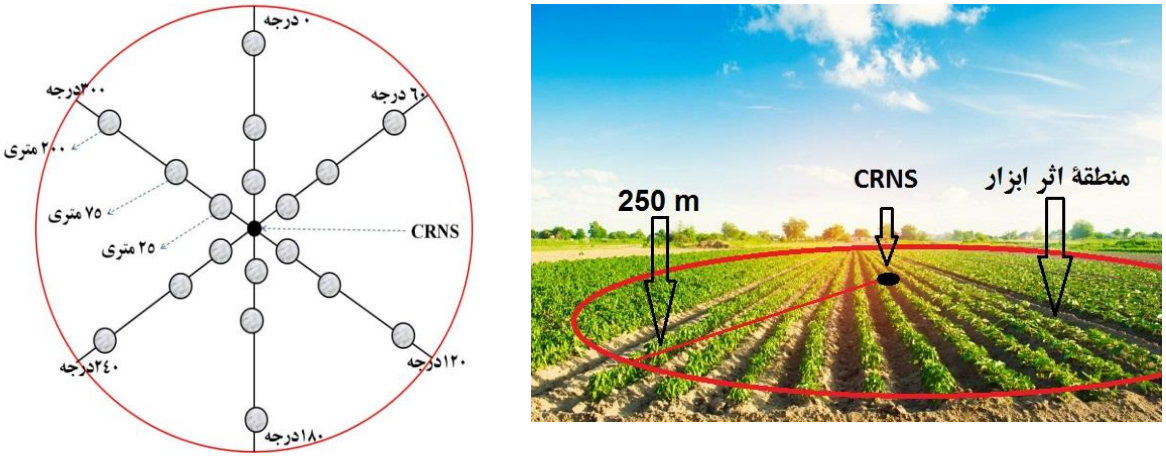
[1] Cosmic Ray Neutron Sensor
[2] Sub-atomic particles
[3] Thermailzation
[4] Biomass Water Equivalent
[5] Remote sensing

نوترون‌ها از طریق برقراری ارتباط بین نوترون‌ها و زیست‌توده نیز پتانسیل خوبی برای تخمین زیست‌توده گیاه (و در نهایت BWE) دارد. در ادامه به توصیف هر کدام از روش‌ها و معایب و مزایای آن پرداخته می‌شود.

روش نمونه‌گیری تخریبی

ابزار CRNS به عنوان ردیاب هیدروژن، دارای منطقهٔ اثر به صورت یک دایره با شعاع ~ ۲۵۰ متر است (شکل ۱). فرآیند واسنجی برای تکنیک CRNS بسیار مفصل بوده و یک نمونه اصلی کنترل ناهمگونی در اراضی کشاورزی است (Franz et al., 2016؛ Avery et al., 2016). روش واسنجی CRNS اولین بار توسط Desilets et al. (2010) ارائه شده است. در وهله اول در اطراف ساختار نمونه‌برداری در منطقهٔ اثر، یک دایره (با شعاع ~ ۲۵۰ متر) طراحی می‌شود. ۶ مقطع با زاویه ۶۰ درجه از هم تفکیک می‌شوند و در امتداد هر مقطع سه محل نمونه‌برداری در فاصله ۲۵، ۷۵ و ۲۰۰ متر از نقطه مرکز در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱). بنابراین در مجموع ۱۸ نقطه نمونه‌برداری وجود دارد.

از هر سایت نمونه‌برداری، نمونه‌های خاک به همراه نمونه‌های گیاهی برداشت می‌شود. به طور متداول، یک تا سه گیاه به طور تصادفی انتخاب و از خاک جدا می‌شوند. برای اطلاع از جزئیات بیشتر از نحوهٔ نمونه‌گیری به Franz et al. (2015) مراجعه شود. اساساً، ابزار CRNS تمام هیدروژن‌های محیطی موجود در منطقهٔ اثر خود را که هیدروژن موجود در مولکول‌های رطوبت خاک نیز شامل آن می‌شود، ردیابی می‌کند. منابع مختلف هیدروژن محیطی به دو دسته کلی از نقطه‌نظر تغییر با زمان تقسیم‌بندی می‌شوند: گذرا[1] و مانا[2] (Wahbi et al., 2018). منابع گذرا شامل رطوبت خاک، آب بین‌سلولی و بخار آب جو است. منابع مانا شامل آب داخل مواد معدنی خاک، جریان آبهای سطحی و زیرزمینی، آبهای مصرف شهری و ... است. به این ترتیب، مؤلفه اصلی زیست‌توده گیاهان که نوسانات زیادی به سیگنال CRNS وارد کند، آب بین‌سلولی است.



(ب) (الف)

شکل ۱. (الف) توصیف نحوه استقرار و منطقهٔ اثر حسگر نوترونی اشعه کیهانی (CRNS)؛ و (ب) الگوی نمونه‌برداری تخریبی از منطقهٔ اثر حسگر نوترونی اشعه کیهانی

اصطلاح معادل آب زیست‌توده (BWE) که بر حسب میلی‌متر H_2O بیان می‌شود، در توابع واسنجی CRNS برای توصیف مقدار معادل آبی استفاده می‌شود که برای حیات زیست‌توده گیاهان مورد نیاز است. مقدار BWE به شرح زیر به دست می‌آید که در آن SWB و SDB به ترتیب زیست‌توده مرطوب و خشک بر حسب کیلوگرم در متر مربع است:

$$BWE = SWB - SDB + f_{WE} \times SDB \quad (۱)$$

[1] Transient
[2] Static

و f_{WE} = 0.494 فرض شده و نسبت استوکیومتری[1] نام دارد. نسبت استوکیومتری در واقع نسبت مولکول H_2O به مولکول‌های کربن در ساختار آلی سلولزی در گیاه است (Avery et al., 2016). واحدهای موجود در معادله در واحد سطح بوده که می‌توانند به ارتفاع آب بر حسب میلی‌متر تبدیل شوند. در طی نمونه‌برداری تخریبی از یک پلات ۱ مترمربعی بین یک تا سه گیاه انتخاب می‌شود. در ادامه عملیات توزین و محاسبه معادله (۱) و تبدیل واحدها انجام خواهد شد. بدین ترتیب، میزان آب معادل زیست‌توده به دست آمده و می‌تواند از شمارش کلی نوترون‌های کند شده کسر شده و حجم رطوبت خاک به دست آید.

چنانچه روشن است، فرایند واسنجی ابزار CRNS شامل نمونه‌برداری درجا از زیست‌توده بوده و برای تعیین کمیت هیدروژن در ساختار سلولی است. نمونه‌گیری تخریبی از زیست‌توده، یک روشی سنتی برای غلبه بر مسأله ناهمگونی اراضی کشاورزی است و تغییرات مکانی خاک، آب و ویژگی‌های پوشش گیاهی را بوسیلهٔ یک الگوی نمونه‌گیری شعاعی کنترل می‌کند. با وجود دقت روش در مقیاس اندازه‌گیری یک گیاه، محدودیت اصلی این شکل از نمونه‌گیری صرفِ زمان زیاد برای آن است. بعلاوه این روش برای مزارعی که ابزار به صورت ثابت در آن مستقر یابد و بخواهد تنها BWE مربوط به آن مزرعه محاسبه شود، ممکن است عملکرد خوبی داشته باشد؛ اما هنگامی‌که نسخه‌های سیار ابزار CRNS استفاده شوند (چه زمانی که برای چند مزرعه به صورت همزمان استفاده شود و چه برای مزارع بسیار بزرگ یا بیش از ۲۰ هکتار)، استفاده از این روش نمونه‌گیری با مشکلات عدیده‌ای همراه است.

کاربرد سنجش از دور

سنجش از دور مبتنی بر ماهواره بر اصول دریافت امواج الکترومغناطیسی از پوشش‌گیاهی توسط سنجنده‌های مستقر بر ماهواره استوار است. بیشتر سنجش از دور به آشکارسازی تابش خورشید بازتابی از سطح زمین و بخشی از آن به تابش گسیل شده از سطح متکی است، و در بسیاری از رشته‌ها کاربرد دارد. مزیت اصلی سنجش از دور به عنوان یک تکنیک این است که مقیاس بزرگ مکانی را می‌تواند پوشش دهد که به خاصیت ذاتی سنجندهٔ مستقر بر ماهواره برمی‌گردد.

انرژی بازتابی یا گسیل‌شده از سطح زمین به تنهایی نمی‌تواند معیاری از پارامترهای بیوفیزیکی فرایندهای زیست‌کره باشد، چرا که فرآیندهای انتقال انرژی در سطوح مختلف اعم از سطوح پوشش گیاهی، خاک لخت وغیره پیچیده هستند. این مسأله تاحدی با ترکیب دو یا چند باند طیفی حل می‌شود که شاخص به‌دست‌آمده به عنوان یک شاخص سنجش از دور محسوب می‌شود. ترکیب باندها می‌تواند تجربی یا نیمه‌تجربی باشد. در تحقیقی، Tucker et al. (1981) نشان دادند که زیست‌توده گیاهان با شاخص‌های پوشش‌گیاهی[2] مستخرج از اندازه‌گیری‌های رادیومتریک در دامنه امواج کوتاه مرتبط است. بر این اساس، این شاخص‌ها با پارامترهای مختلف گیاهی اعم از فرایند نمو گیاه، شاخص سطح برگ، زیست‌توده و ... همبستگی دارند.

همانطور که پیش‌تر ذکر شده است، ابزار CRNS همه اَشکال هیدروژن را در منطقهٔ اثر خود آشکار می‌کند. هیدروژن موجود در زیست‌تودهٔ در حال رشد یکی از این منابع است. از این رو، برای دستیابی به واسنجی مناسب، باید معادل آب زیست‌توده (BWE) در منطقهٔ اثر ابزار CRNS مستقر در مزرعه تعیین شود. مطالعات نشان داده‌اند که می‌توان از شاخص‌های پوشش‌گیاهی مستخرج از تصاویر سنجش از دور برای تخمین قابل قبول BWE استفاده کرد (Nguy-Robertson and Gitelson, 2015؛ Nguy-Robertson et al., 2012). فناوری سنجش از دور به تازگی در زمینه واسنجی CRNS توسعه یافته است. Avery et al. (2016) گزارش کردند که تصویربرداری ماهواره‌ای، لزوم انجام کارهای زمان‌بر و هزینه‌بر در زمینه نمونه‌گیری تخریبی را مرتفع می‌کند. بعلاوه، فناوری سنجش از دور امکان بکارگیری دستگاه‌های سیار CRNS برای پایش رطوبت خاک در مناطق بزرگتر بدون نیاز به چندین عملیات گستردهٔ نمونه‌برداری تخریبی را فراهم می‌کند.

---

[1] Stoichiometric ratio

[2] Vegetation Indices

براساس مطالعات Nguy-Robertson and Gitelson (2015) و Nguy-Robertson et al. (2012) شاخص پوشش‌گیاهی GrWDRVI[1] به عنوان نسخهٔ اصلاح شده شاخص NDVI[2]، بهترین رابطهٔ شناخته شده تاکنون برای بیان ارتباط بین شاخص سنجش از دور و زیست‌تودهٔ گیاه است که برای ذرت و سویا آزمایش شده است. توسعهٔ این شاخص در راستای تلاش برای بهبود روابط تجربی بین داده‌های ماهواره‌ای و زیست‌تودهٔ سطح (که از طریق نمونه‌گیری تخریبی به دست می‌آیند) بوده است. در این شاخص به جای استفاده از کل باند مرئی از طول موج مربوط به سبز (۵۴۵ تا ۵۶۵ نانومتر) استفاده می‌شود:

$$GrWDRVI = \frac{0.1 \times NIR - Green}{0.1 \times NIR + Green} \quad (۲)$$

توجه به این نکته مهم است که این شاخص، زیست‌توده مرطوب را محاسبه می‌کند اما زیست‌توده خشک به دست نمی‌آید. از این رو، استفاده از سنجش از دور برای محاسبه BWE به دانش اولیه از مرحله رشد محصول و مدل‌های زراعی وابسته است که قادر است تخمینی از نسبت زیست‌توده مرطوب به خشک ارائه دهد. از آنجایی که رفتار بازتابی مواد درونی گیاه در طول دورهٔ رشد با زمان تغییر می‌کند، روابط بین زیست‌توده و شاخص سنجش از دور نیز باید از آغاز رشد (سبزینگی) تا میانه‌های فصل رشد (اوج فتوسنتز) و تا انتهای فصل رشد، باید متغیر باشد. از این رو محاسبات باید براساس معادلات مجزا انجام شود:

$$SWB_i \propto GrWDRVI \quad (۳)$$

که i اشاره به مرحلهٔ فنولوژی رشد دارد. هر معادله شامل ضرایبی است که برای یک نوع محصول خاص به دست آمده است. این ضرایب برای سایر محصولات متفاوت بوده و مجموعه داده‌های جدید از مقادیر GrWDRVI و زیست‌توده (براساس نمونه‌گیری تخریبی) باید برای هر نوع محصول، احتمالاً ضرایب و در نتیجه معادلات جدیدی بوجود آورند. همچنین ضرایب و معادلات برای یک محصول در شرایط دیم یا آبیاری متفاوت است (Nguy-Robertson and Gitelson, 2015؛ Nguy-Robertson et al., 2012). برای تبدیل زیست‌تودهٔ مرطوب به زیست‌تودهٔ خشک سه رویه وجود دارد: ۱) فرض کنیم حدود ۷۰ الی ۸۰٪ زیست‌توده از آب تشکیل شده است (براساس وزن نهایی محصول)؛ ۲) با کمک نمونه‌گیری تخریبی در هر مرحلهٔ فنولوژی، این نسبت محاسبه شود؛ و ۳) از مدل‌های زراعی برای برآورد این نسبت استفاده شود. با برآورد زیست‌تودهٔ خشک، معادل آب زیست‌توده یا BWE برای واسنجی مناسب ابزار CRNS براحتی با استفاده از معادلهٔ (۱) به دست خواهد آمد.

رابطهٔ بین نوترون‌های کندشده و BWE

بیشتر تحقیقات فعلی و گذشته در مورد ابزار CRNS در محیط‌های کشاورزی بر استفاده از آن به عنوان حسگر رطوبت خاک استوار است. با این حال، تحقیقاتی در مورد استفاده از آن به عنوان ابزاری برای تخمین زیست‌تودهٔ در حال رشد نیز انجام شده است (Baatz et al., 2015؛ Hawdon et al., 2014). چنانچه پیش‌تر ذکر شد، منابع هیدروژن دیگری به غیر از مولکول‌های آب موجود در خاک در محیط وجود دارند که یک سری معادلات واسنجی برای تعیین کمیت و از بین بردن این منابع هیدروژن توسط محققین مختلفی ارائه شده است تا بتوان سیگنال رطوبت خاک را جدا کرد (Zerda et al., 2012). McJannet et al. (2014) نشان داد که رطوبت خاک بیشترین سهم هیدروژن در سیگنال CRNS است و زیست توده در حال رشد سهم کمی دارد. همچنین یافته‌های این محققین نشان داد که بیشترین خطای وارد شده به سیگنال از آب موجود در ساختارهای معدنی خاک (که در دمای بیش از ۱۰۰ درجه نیز تا ۲۴ ساعت بخار نمی‌شوند) و بخار آب جو است. با این وجود، سیگنال زیست‌توده عامل نوسانات در تعداد نوترون‌ها بوده و با عدم قطعیت بالایی همراه است، به خصوص برای یک زیست‌تودهٔ با رشد سریع. به این دلیل، حذف آن از سیگنال رطوبت خاک موضوعی چالش برانگیز است. این امر مستلزم استفاده از ردیاب‌های بزرگ (نرخ شمارش بالا در محدودهٔ آشکارسازی کم) برای به حداقل رساندن عدم قطعیت و برخی از محدودیت‌های تشخیص زیست‌توده است. با این وجود این تکنیک از نظر تئوریک صحیح بوده و حوزهٔ تحقیقات فعالی دارد (Wahbi et al., 2018).

[1] Green Wide Dynamic Range Vegetation Index
[2] Normalized Difference Vegetation Index

طی فرآیند واسنجی CRNS، متغیر N_0 برای هر نقطه در یک آزمایش معین محاسبه می‌شود. کمیت N_0 میزان شمارش نظری نوترون‌های تشخیص داده شده توسط CRNS در محیطی عاری از پوشش گیاهی با خاک سیلیس خشک است که در منطقهٔ اثر دستگاه وجود دارد. سپس این مقدار با شمار نوترون‌های مراحل مختلف رشد گیاه مقایسه می‌شود.

نقش کمیت N_0 در عملکرد واسنجی توسط Desilets et al. (2010) توضیح داده شده است. Hawdon et al. (2014) از CRNS به عنوان ابزاری برای نقشه برداری مکانی زیست‌توده به جای رطوبت خاک استفاده کردند. این محققان در مطالعه خود تعیین کردند که در حدود ۸۰٪ از تغییر در N_0 به دلیل همین زیست‌توده است که پس از کمّی‌سازی، سایر منابع هیدروژن نظیر رطوبت موجود در خاک به دست آمده است.

Franz et al. (2015) یک رابطه خطی بین معادل آب زیست‌توده (BWE) و N_0 با استفاده از یک CRNS سیّار در مزرعه ذرت کشاورزی در ایالت نبراسکا، ایالات متحده تعریف کردند. این محققان به ازای هر ۱ کیلوگرم در مترمربع BWE یک درصد کاهش در N_0 پیدا کردند (R^2 از ۰٫۵۱ به بالا). علاوه بر این، نتایج، Baatz et al. (2015) رابطه مشابهی بین زیست‌توده زمینی و نرخ شمارش CRNS نشان داد.

تعیین زیست‌توده گیاهان از طریق تنها CRNS ممکن است به آزمایشات اولیه نیازمند باشد. چنانچه در نقاط مشخصی از مزرعه مورد مطالعه برای هر پروژه تحقیقاتی، باید بین نرخ شمارش N_0 اندازه‌گیری شده توسط CRNS و معادل آب زیست‌توده که از طریق نمونه‌گیری تخریبی یا روش سنجش از دور تعیین می‌شود، ارتباطی برقرار کرد. پس از ایجاد چندین مجموعه داده طی چند سال، می‌توان بین دو متغیر رابطه تجربی برقرار کرد. در ادامه، کمیت N_0 می‌تواند به عنوان یک متغیر پیش‌بینی کننده برای زیست‌توده همان محصول و در همان شرایط دیم یا آبی مورد استفاده قرار گیرد.

برخی محققان مانند Andreasen et al. (2016) و Andreasen et al. (2017) قابلیت CRNS را برای محاسبهٔ مستقیم BWE مورد آزمایش قرار داده‌اند. غالباً عضو حساس آشکارساز CRNS یا برهنه است و یا دارای حفاظ پلاستیکی و یا از جنس کادمیوم می‌باشد. ثابت شده است که نسبت شمارش نوترون‌ها در حالت برهنه و در حالت حفاظ پلاستیکی همبستگی مستقیم با برآوردهای BWE دارد (Andreasen et al., 2017). همچنین براساس گزارش Wahbi et al. (2018) با آگاهی از محتوای رطوبت خاک در عمق ۵ سانتی‌متر (بدون نیاز به تخریب) و شمارش نوترون‌ها در حالت برهنه و دارای حفاظ پلاستیکی می‌توان تغییرات BWE را با زمان تخمین زد:

$$BWE = a + b \times M + c \times BM \quad (۴)$$

که در آن، a، b و c ضرایب مدل دو متغیره هستند، M شمارش نوترون‌ها تعدیل شده براساس اطلاعات رطوبت خاک، و BM نسبت شمارش نوترون‌ها در حالت برهنه به حفاظ پلاستیکی است. ترکیب ابزار CRNS با مدل‌های زراعی موجود می‌تواند به دقت عملکرد نهایی مدل و بهینه‌سازی مصرف آب کمک شایانی کند.

تحقیقات انجام شده در دنیا

Hornbuckle et al. (2012) بررسی کردند که آیا حضور پوشش گیاهی در تخمین CRNS از مقدار آب خاک تأثیر می‌پذیرد یا خیر. این محققین نتیجه گرفتند که در تحقیقات بیشتری باید منابع مختلف هیدروژن را بررسی کرد. Franz et al. (2013) از CRNS برای تخمین زیست توده با اندازه‌گیری و حذف سایر منابع هیدروژن در محدودهٔ اندازه‌گیری حسگر استفاده کردند. Bogena et al. (2013) دقت CRNS را برای برآورد محتوای آب خاک در یک جنگل مرطوب بررسی کرد. این مطالعه به این نتیجه رسید که هیدروژن موجود در زیست توده، شدت نوترون و دقت کلی CRNS را کاهش می دهد.

Jakobi et al. (2018) از فناوری CRNS برای اندازه‌گیری همزمان محتوای رطوبت خاک و آب معادل زیست توده (BWE) استفاده کردند. این محققین ارتباط خطی بین نسبت نوترونی و زیست‌تودهٔ روی سطح زمین یافتند که به پایش مستمر زیست‌تودهٔ خشک روی سطح زمین کمک می‌کرد. این محققین توصیه کردند که برای افزایش دقت تخمین محتوای رطوبتی خاک، سایر منابع هیدروژنی مانند برگاب، برف و غیره نیز تخمین و از سیگنال کلی دریافت شده حذف شوند. Vather et al. (2020) همچنین از

فناوری CRNS برای تخمین محتوای رطوبتی خاک در حضور زیست‌توده استفاده کردند. آن‌ها جمع‌بندی کردند که وجود زیست-توده منجر به کاهش ۱۲,۴۳٪ شدت نوترون‌های حرارتی و کاهش ۱۳,۸٪ شمارش نوترون‌های اولیه می‌شود. همچنین این محققین ارتباط بسیار قوی بین نسبت نوترون‌ها با شاخص‌های پوشش گیاهی نظیر NDVI[1] پیدا کردند.

جمع‌بندی

کشور ما کشور کم‌آبی است و از این رو صرفه‌جویی آب در بخش کشاورزی بسیار برای استمرار حیات آیندگان ضرورت دارد. مهم-ترین راهکار برای مدیریت مصرف در کنار حفظ وضعیت تولید و عملکرد در بخش کشاورزی افزایش راندمان مصرف آب در مزارع کشاورزی است. براساس مطالعات صورت گرفته در دنیا، روش هسته‌ای CRNS یک روش نوین برای افزایش راندمان مصرف آب در مزارع کشاورزی است. این روش در کنار سایر روش‌های نوین مانند روش‌های پیشرفتهٔ سنجش از دور قادر است رطوبت خاک را برآورد و زمان ورود به تنش رطوبتی را تعیین نماید. باید روش‌های مختلف واسنجی ضرایب مدل تعیین رطوبت گنجانده شده در روش CRNS در عرصه میدانی مورد آزمایش قرار گیرند و مقایسه درونی روش‌ها انجام شود.

فهرست منابع

توکلی ا. و عبدالرحمانی ب. ۱۳۸۶. افزایش بهره وری آب (WP) و تعیین مقدار و زمان بهینه تک آبیاری برای کلزای بهاره دیم. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۸(۲): ۷۹-۹۲.

عباسعلیان ح. رودپیما م. و بستانی ع. ۱۳۹۷. امکان سنجی تعیین رطوبت خاک در عمق زراعی به روش کند شدن نوترون ها. چهارمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار.

مرکز آمار ایران ۱۳۹۶. تحلیل آمار و اطلاعات منابع آب کشور. سازمان برنامه و بدوجه کشور.

Andreasen, M., Jensen, K.H., Desilets, D., Franz, T., Zreda, M., Bogena, H.R., and Looms, M.C. 2017. Status and perspectives of the cosmic-ray neutron method for soil moisture estimation and other environmental science applications. Vadose Zone Journal, 16(8). https://doi.org/10.2136/vzj2017.04.0086

Andreasen, M., Jensen, K.H., Zreda, M., Desilets, D., Bogena, H., Looms, M.C. 2016. Modeling cosmic ray neutron feld measurements. Water Resour Res 52:6451

Avery, W.A., Finkenbiner, C., Franz, T.E., Wang, T., Nguy-Robertson, A.L., Suyker, A., Arkebauer, T., Munoz-Arriola, F. 2016. Incorporation of globally available datasets into the roving cosmic ray neutron probe method for estimating feld-scale soil water content. Hydrol Earth Syst Sci 20:3859

Baatz, R., Bogena, H.R., Hendricks Franssen, J., Huisman, A., Montzka, C., and Vereecken, H. 2015. An empirical vegetation correction for soil water content quantifcation using cosmic ray probes. Water Resour Res 51:2030

Bogena, H.R., Huisman, J.A., Baatz, R., Hendricks Franssen, H.J., and Vereecken, H. 2013. Accuracy of the cosmic-ray soil water content probe in humid forest ecosystems: The worst case scenario. Water Resources Research, 49, 5778–5791. https://doi.org/10.1002/wrcr.20463

Desilets, D., Zreda, M., and Ferre, T.P.A. 2010. Nature's neutron probe: land surface hydrology at an elusive scale with cosmic rays. Water Resour Res 56:W11505

Franz, T.E., Wahbi, A., Vreugdehil, M., Weltin, G., Heng, L., Oismueller, M., Strauss, P., Dercon, G., Desilets, D. 2016. Using cosmic ray neutron probes to monitor landscape scale soil water content in mixed land use agricultural ecosystems. Appl Environ Soil Sci 2016:11

Franz, T.E., Wang, T., Avery, W., Finkenbiner, C., and Brocca, L. 2015. Combined analysis of soil moisture measurements from roving and fxed cosmic ray neutron probes for multiscale real-time monitoring. Geophys Res Lett 42:3389

Franz, T.E., Zreda, M., Rosolem, R., Hornbuckle, B.K., Irvin, S.L., Adams, H., Kolb, T.E., Zweck, C., and Shuttleworth, W.J. 2013. Ecosystem-scale measurements of biomass water using cosmic ray neutrons. Geophys. Res. Lett. 2013, 40, 3929–3933.

Ghamghami, M., Ghahreman, N., Irannejad, P., and Pezeshk, H. 2020. A parametric empirical Bayes (PEB) approach for estimating maize progress percentage at field scale. Agricultural and Forest Meteorology 281 (2020) 107829. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107829

Han, X., Franssens, J., Rosolem, R., Jiménez Bello, MA., Bogena, H., Martínez Alzamora, F., Chanzy, A. 2016. Simultaneous soil moisture and properties estimation for a drip irrigated field by assimilating cosmic-ray neutron intensity. Journal of Hydrology. 539:611- 624. doi:10.1016/j.jhydrol.2016.05.050.

Hawdon A, McJannet D, Wallace J (2014) Calibration and correction procedures for cosmic ray neutron soil moisture probes located across Australia. Water Resour Res 50:5029

[1] Normalized Difference Vegetation Index

Hornbuckle, B., Irvin, S., Franz, T., Rosolem, R., and Zweck, C. 2012. The Potential of The Cosmos Network to be a Source of New Soil Moisture Information for SMOS and SMAP. In Proceedings of the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Munich, Germany, 22–27 July 2012.

IAEA, 2000. Comparison of soil water measurement using the neutron scattering, time domain reflectometry and capacitance methods. ISSN 1011-4289, Vienna, Austria: IAEA.

IAEA, 2008. Field Estimation of Soil Water Content: A Practical Guide to Methods, Instrumentation and Sensor Technology. ISSN 1018–5518, Vienna, Austria: IAEA.

Jakobi, J., Huisman, J.A., Vereecken, H., Diekkrüger, B., and Bogena, H.R. 2018. Cosmic ray neutron sensing for simultaneous soil water content and biomass quantification in drought conditions. Water Resources Research, 54, 7383–7402. https://doi.org/10.1029/ 2018WR022692

McJannet, D., Franz, T.E., Hawdon, A., Boadle, D., Baker, B., Almeida, A., Silberstein, R., Lambert, T., and Desilets, D. 2014. Field testing of the universal calibration function for determination of soil moisture with cosmic ray neutrons. Water Resour Res 50:5235

Montzka, C. et al., 2013. Brightness Temperature and Soil Moisture Validation at Different Scales During the SMOS Validation Campaign in the Rur and Erft Catchments, Germany. Ieee T Geosci Remote, 51(3): 1728-1743.

Nguy-Robertson, A.L., Gitelson, A.A. 2015. Algorithms for estimating green leaf area index in C3 and C4 crops for MODIS, Landsat TM/ETMC, MERIS, Sentinel MSI/OLCI, and Venus sensors. Remote Sens Lett 6:1336

Nguy-Robertson, A.L., Gitelson, A., Peng, Y., Viña, A., Arkebauer, T., Rundquist, D. 2012. Green leaf area index estimation in maize and soybean: combining vegetation indices to achieve maximal sensitivity. Agron J 104:360

Singh, A.K., Bhardwaj, A.K., Verma, C.L., et al. 2019. Soil Moisture Sensing Techniques for Scheduling Irrigation. Journal of Soil Salinity and Water Quality 11(1), 68-76.

Tucker C.J., B.N. Holben, J.H. Elgin, and J.E. McMurtrey. 1981. Remote sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat. Remote Sens. Environ., vol. 11, pp. 171-189.

Vather, T., Everson, C.S., and Franz, T.E. 2020. The Applicability of the Cosmic Ray Neutron Sensor to Simultaneously Monitor Soil Water Content and Biomass in an Acacia mearnsii Forest. Hydrology 7, 48, doi:10.3390/hydrology7030048

Wahbi, A., Heng, L., and Dercon, G. 2018. Cosmic Ray Neutron Sensing: Estimation of Agricultural Crop Biomass Water Equivalent. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69539-6

Zhang. Y. Shi. P. Song. J. and Li. Q. 2019. Application of Nitrogen and Oxygen Isotopes for Source and Fate Identification of Nitrate Pollution in Surface Water: A Review. Appl. Sci. 9(18): 2-17. doi:10.3390/app9010018

Zreda, M., Schuttleworth, W.J., Zeng, X., Zweck, C., Desilets, D., Franz, T., Rosolem, R. 2012. COSMOS: the cosmic ray soil moisture observing system. Hydrol Earth Syst Sci 16:4079

Methods for calibration of Cosmic Ray Neutron Sensor in managing irrigation

Mahdi Ghamghami[1], and Javad Pirvali Beiranvand[*2]

[1] PostDoc. Researcher, Agricultural Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Iran. Email: mghamghami@ut.ac.ir

[2] Assistant Prof., Agricultural Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Email: jprivali@aeoi.org.ir [*] Corresponding author

Abstract

The current study aims to depict the methods for calibrating the Cosmic Ray Neutron Sensor (CRNS) as a novel nuclear technology in monitoring soil moisture content (SMC). Compared to the common methods for monitoring SMC and remote sensing ones, CRNS is a powerful tool for this purpose. Additionally, it is able to control the heterogeneity existing in the spatial distribution of SMC or biomass water equivalent (BWE). Measured neutrons by CRNS are originated from the upper atmosphere and reach to earth through the rain. They are very fast and have high kinetic energy. Nevertheless, hydrogens existing in water into the environment decreases their velocity and makes them thermalized. This could be a criterion for the measurement of SMC. There are three major approaches to calibrate a CRNS: destructive sampling, remote sensing indices, and the relationship between neutrons and BWE. The most important issue is to diminish additional signals such as BWE. In the country, no study in this regard was conducted so far. In order to carry out further researches in this regard, the current study provides an overview of researches conducted in the world.

Keywords: CRNS; SPEI; Remote Sensing; Soil Water Content; Biomass Water Equivalent; Thermalization.

ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای روشهای مختلف در دشت ریمکان

پیوند پاپن، محمد الباجی، وحید مرادی نسب

۱- دکتری خاکشناسی، کارشناس سازمان آب و برق خوزستان

۲- استادیار دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دکتری خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

هدف اصلی این تحقیق مقایسه روش‌های مختلف آبیاری بر اساس سیستم ارزیابی پارامتریک در مساحت ۳۰۵۸ هکتار در دشت ریمکان واقع در استان خوزستان در جنوب غربی ایران است. خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه مانند بافت، عمق، هدایت الکتریکی، زهکشی، مقدار کربنات کلسیم و شیب از مطالعه نیمه تفصیلی دقیق خاک دشت ریمکان در مقیاس ۱: ۲۰۰۰۰ حاصل شد. پس از آنکه خصوصیات خاک مورد تجزیه و تحلیل و ارزیابی قرار گرفت با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های تناسب برای روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای تولید شد. نتایج به دست آمده نشان داد که ۱۶۲ هکتار (۵,۳٪) اراضی برای آبیاری سطحی و قطره‌ای توصیه شده است. در حالی که برای ۶۳۲,۲ هکتار (۲۰/۷ درصد) از اراضی برای آبیاری بارانی بسیار کارآمد و مناسب است علاوه بر این برای همه سیستم‌های آبیاری اراضی نامناسب وجود ندارد. با استفاده از آبیاری قطره‌ای به جای روش آبیاری بارانی و سطحی تناسب ۱۷۴۸/۸ هکتار (۵۷/۲ درصد) در دشت ریمکان بهبود می-یابد. در این منطقه عامل اصلی محدود کننده در استفاده از روش‌های آبیاری سطحی و یا بارانی بافت خاک و محتوای کربنات کلسیم بود و عامل اصلی محدود کننده در استفاده از روش های آبیاری قطره‌ای محتوای کربنات کلسیم خاک بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، آبیاری قطره ای، ارزیابی تناسب اراضی، روش پارامتریک.

مقدمه

آب منبع مهمی برای جامعه بشری است و حفاظت از این منابع طبیعی به طور مؤثر تبدیل به یکی از چالشهای اصلی این قرن شده است .با توجه به مصرف قابل توجه آب در بخش کشاورزی ضروری است اقدامات اساسی به منظور مصرف بهینه آب در این بخش صورت پذیرد .یکی از مهمترین راهکارها افزایش را ندمان آبیاری از طریق اصلاح و بهبود سامانه‌های آبیاری می باشد. در اولین گام انتخاب صحیح سامانه آبیاری متناسب با شرایط هر منطقه امری ضروری است.انتخاب سامانه آبیاری تحت تاثیر عوامل متعدد می باشد که ممکن است در مناطق مختلف متفاوت باشند .مهمترین عوامل تاثیر گذار بر انتخاب یک سامانه آبیاری، مشخصات اقلیمی، وضعیت توپوگرافی، خصوصیات فیزیکی خاک، کمیت و کیفیت آب، نوع محصول، شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی منطقه می باشد. مقادیر مربوط به هر کدام از این پارامترها در سطح یک منطقه متفاوت بوده و لذا بررسی تغییرات مکانی از طریق تهیه نقشه های پهنه‌بندی ضروری است. برای این منظور می‌توان از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) کمک گرفت(فرهادی با سوله و همکاران،۱۳۹۶). تعیین و شناسایی مکان‌های مناسب اراضی ازنظر نوع روش آبیاری که سازگار با شرایط موجود منطقه باشد یکی از گام‌های اولیه و درعین حال اساسی در مصرف بهینه آب در بخش کشاورزی به شمار می‌رود .البته به شرطی که انتخاب، طراحی و اجرای سامانه آبیاری با دقت کافی و به طور اصولی انجام گیرد(صدقیایی و همکاران، ۲۰۱۵). روش‌های مختلفی در پژوهش‌های مرتبط با موضوع مکان‌یابی واولویت بندی توسعه و مورد ارزیابی قرار گرفته است که از جمله آنها می‌توان به روش‌های پارامتریک، تحلیل شبکه ای،تاپسیس،تحلیل سلسله مراتبی ... اشاره داشت. روش‌های اشاره شده با یکدیگر تفاوت‌های زیادی دارد و هرکدام از مدل‌ها دارای نقاط قوت و ضعف هستند. در پژوهشی قابلیت کاربرد روش‌های مختلف آبیاری با استفاده از سامانه ارزیابی پارامتریک در ۳۵۷۵هکتار از اراضی دشت

لالی واقع در استان خوزستان مطالعه شد. بیشتر اراضی مناسب اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای بوده و دربرخی نقاط کربنات کلسیم و بافت خاک به عنوان عوامل محدودکننده تعیین شد(ناصری و همکاران، ۲۰۰۹). تناسب اراضی برای دوروش آبیاری قطره‌ای و سطحی در شیری آباد شوشتر واقع درخوزستان با استفاده از سامانه ارزیابی پارامتریک بررسی و مشخص گردید که ۹۰ / ۸ درصد از اراضی برای روش آبیاری قطره ای مناسب میباشد .علاوه بر این مهمترین عامل محدود کننده برای استفاده ازاین روش آبیاری، شوری و قلیایت خاک گزارش شد (غلامی و دلاوری،۲۰۱۲).

الباجی و همکاران(۲۰۱۴) از روش ارزیابی پارامتریک به منظور بررسی تناسب ساما نه‌های مختلف آبیاری در دشت جایزان استفاده نمودند قابلیت زهکشی اراضی و میزان کربنات کلسیم خاک به عنوان مهمترین عوامل محدوده کننده در اجرای آبیاری قطره‌ای شناخته شد. با این وجود روش آبیاری قطره‌ای نسبت به سایر روش‌های آبیاری دارای کمترین محدودیت بود. سیدمحمدی(۲۰۱۶) به ارزیابی تناسب زمین و مدیریت بهینه مصرف آب درکشاورزی دقیق بر اساس ارزیابی پارامتریک در ۴۱۲۰۰ هکتار از اراضی گیلان پرداخت. نتایج نشان داد، سامانه آبیاری قطره‌ای مؤثرتر وکارآمدتر از روش آبیاری سطحی و بارانی می‌باشد. عامل محدودکننده روش‌های آبیاری در این منطقه زهکشی و بافت خاک شناخته شد .طی یک تحقیق ۷۷۷۰۶ هکتار از اراضی دشت شاوور خوزستان را برای آبیاری سطحی و قطره‌ای با استفاده از روش پارامتریک سایس مورد ارزیابی قرار دادند و با تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیکی خاک شامل بافت، عمق، شوری، زهکشی، میزان آهک و شیب و با کاربرد سیستم های اطلاع رسانی جغرافیائی (GIS) به این نتیجه رسیدند که ۱۴۹۵۲/۰۷ هکتار از اراضی منطقه مورد مطالعه برای آبیاری قطره ای بسیار مناسب (S_1) می‌باشد همچنین در منطقه مورد نظر اراضی بسیار مناسب برای آبیاری سطحی وجود ندارد و مهمترین عوامل محدودکننده برای آبیاری سطحی و قطره‌ای شوری خاک و زهکشی است و در نهایت نتایج بدست آمده نشانگر این بود که روش آبیاری قطره‌ای مناسب‌تر از روش آبیاری سطحی برای اراضی منطقه می‌باشد (الباجی و همکاران، ۲۰۰۸). هدف اصلی این پژوهش شناسایی مکان های مناسب به منظور اجرای سامانه آبیاری قطره‌ای با در نظر گرفت تمامی معیارهای موثر شامل عوامل کیفی آب، خصوصیات کمی و کیفی خاک، توپوگرافی و عوامل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی می‌باشد. اثر هر کدام از عوامل ذکر شده از طریق ایجاد و همپوشانی لایه-های اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS) و استفاده از روش پارامتریک مورد بررسی و در نهایت مناطق مستعد آبیاری قطره‌ای استخراج شد. هدف اصلی این تحقیق مقایسه روش‌های آبیاری مختلف (سطحی، قطره‌ای، بارانی) با در نظر گرفتن خصوصیات خاک و اراضی می‌باشد.

مواد و روشها

مطالعه حاضر در طی سالهای ۲۰۱۶-۲۰۱۷ در منطقه‌ای در حدود ۳۰۵۸ هکتار در دشت ریمکان، در استان خوزستان، واقع در جنوب غربی ایران انجام شده است. منطقه مورد مطالعه در ۱۰ کیلومتری شمال غربی شهر بهبهان، ۳۰ درجه ۲۶ درجه سانتیگراد تا ۳۰ درجه ۳۹ درجه شمالی و ۵۰ درجه ۱۴ درجه سانتیگراد تا ۵۰ درجه ۲۹ درجه سانتیگراد واقع شده است. متوسط دما و میزان بارندگی سالانه برای دوره ۳۰ ساله ۲۴ درجه سانتیگراد و ۳۳۱,۳ میلی متر بود. همچنین تبخیر سالانه منطقه ۱۹۶۰ میلی متر است(KWPA,2015). رودخانه مارون عمده آب مورد نیاز منطقه را تأمین می‌کند. کاربرد کشاورزی آبی در منطقه مورد مطالعه معمول بوده است. در حال حاضر سیستم‌های آبیاری مورد استفاده زمین های کشاورزی در منطقه طرح‌های آبیاری شیاری، آبیاری حوضه‌ای و آبیاری مرزی است. این منطقه از سه ویژگی فیزیوگرافیک متمایز تشکیل شده است به عنوان مثال دشت‌های آبرفتی سنگریزهای، مخروطه افکنه و فلات که واحد فیزیوگرافی دشت آبرفتی سنگریزه‌ای از ویژگی‌های غالب آن است. همچنین شش سری مختلف خاک در منطقه یافت شد.گزارش نیمه تفصیلی دقیق بررسی خاک دشت ریمکان (KWPA,2015) به منظور تعیین ویژگی‌های خاک استفاده شد. ارزیابی زمین براساس توپوگرافی و خصوصیات خاک منطقه تعیین شد. ویژگی‌های اراضی مورد

ارزیابی شامل خصوصیات توپوگرافی و خاک است. خصوصیات توپوگرافی شامل شیب بوده و خصوصیات خاک مشتمل بر عمق خاک، بافت خاک، میزان آهک، شوری و زهکشی می‌باشد در زمینه خصوصیات حاصلخیزی ویژگی‌هائی نظیر ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد اشباع بازی، مواد آلی و اسیدیته خاک مطرح هستند. سایس و همکاران (۱۹۹۱) معتقدند که خصوصیاتی مانند مواد آلی و درصد اشباع بازی در مناطق خشک نیازی به ارزیابی ندارند. از طرفی مقادیر ظرفیت تبادل کاتیونی رس بیش از حد گیاهان بوده و محدودیتی ایجاد نمی‌کند لذا خصوصیات حاصلخیزی در ارزیابی اراضی برای آبیاری بکار نمی‌روند. در این مطالعه منطقه ریمکان در استان خوزستان که در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۷ مورد مطالعه خاکشناسی نیمه تفصیلی دقیق قرار گرفته است انتخاب گردید(KWPA,2015). با توجه به کلیه اطلاعات حاصل از تشریح پروفیل‌ها و تجزیه‌های آزمایشگاهی آن دسته از خاک‌هایی که دارای خصوصیات مشابهی بوده و در یک واحد فیزیوگرافی قرار داشتند جزء یک سری خاک قرار داده شده و با شماره و نامگذاری مشخص بر اساس روش جامع طبقه بندی خاک تا مرحله فامیلی خاک طبقه بندی شده و آن دسته از خاک‌هائی که از نظر استفاده از اراضی شرایط متفاوتی را ایجاد می‌نمایند بصورت حالت خاک و با شماره مشخص شده‌اند و به این ترتیب نقشه خاک‌ها و راهنمای مربوطه تهیه گردید. در نهایت هفت سری خاک برای مناسب بودن سطح آبیاری، بارانی و قطره انتخاب شد. برای تعیین میانگین از خصوصیات بافت،آهک و شوری تا عمق ۱۵۰ سانتیمتری معیارهای وزنی ۲ ، ۱/۵ ، ۱ ، ۰/۷۵ ، ۰/۵ ، ۰/۲۵ برای شش بخش مساوی پروفیل اعمال شده است (KWPA,2015). استفاده از معیارهای وزنی به این دلیل است که به قسمت فوقانی پروفیل که توسعه ریشه در آن بیشتر است اهمیت زیادتری داده شود. برای ارزیابی تناسب اراضی برای آبیاری سطحی (غرقابی) و تحت فشار (قطره ای و موضعی) از سیستم ارزیابی پارامتریک سایس (۱۹۹۱) استفاده بعمل آمده است. این روش مبتنی بر خصوصیات مرفولوژیکی، فیزیکی و شیمیائی خاک می‌باشد. شش پارامتر شامل شیب، خصوصیات زهکشی، هدایت الکتریکی محلول خاک، وضعیت کربناتهای کلسیم، بافت خاک و عمق خاک نیز در نظر گرفته شد. هر کدام از ۶ پارامتر فوق الذکر طبق جداول مربوط(الباجی و همکاران، ۲۰۱۴) درجه‌بندی گردیدند و با استفاده از آنها شاخص قابلیت آبیاری (Ci) طبق فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$Ci = A * \frac{B}{100} * \frac{C}{100} * \frac{D}{100} * \frac{E}{100} * \frac{F}{100}$$

در این معادله A= درجه بندی بافت خاک، B= درجه‌بندی عمق خاک، C= درجه‌بندی مقدار آهک، D= درجه‌بندی هدایت الکتریکی، E= درجه‌بندی زهکشی، F= درجه‌بندی شیب می باشند.کلاس‌های تناسب اراضی با توجه به شاخص قابلیت آبیاری (Ci) به قرار زیر تعریف شده‌اند(جدول ۱).

جدول ۱- کلاسهای تناسب اراضی برای شاخص قابلیت آبیاری (Ci)

علامت	تعریف	شاخص قابلیت آبیاری
S1	اراضی بسیار مناسب	>۸۰
S2	اراضی نسبتا مناسب	۶۰-۷۹
S3	اراضی با تناسب بحرانی	۴۵-۵۹
N1	اراضی در حال حاضر مناسب	۳۰-۴۴
N2	اراضی دائما نامناسب	<۲۹

به منظور تهیه نقشه‌های تناسب اراضی برای روش‌های مختلف آبیاری از نقشه نیمه تفصیلی دقیق خاک(شکل۱) استفاده شد و تمام داده‌های مربوط به مشخصات خاک با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و در نقشه ادغام شد. در مجموع ۷ واحد نقشه مختلف زمین تعیین شد و برای تولید نقشه‌های نهایی تناسب برای سیستم‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای استفاده شد.

نتایج و بحث

در بیشتر مناطق دشت ریمکان استفاده از سیستم‌های آبیاری سطحی بطور خاص برای محصولات زراعی جهت تأمین نیاز آب گیاهان صیفی و زمستانه اعمال شده است. عمده محصولات آبیاری شامل گندم، جو و ذرت است علاوه بر آن میوه، خربزه، هندوانه و سبزیجاتی مانند گوجه فرنگی و خیار که در سطح وسیع در این منطقه کشت می‌شوند. موارد بسیار کمی از آبیاری بارانی و قطره‌ای در مزارع سطح وسیعی در دشت ریمکان وجود دارد .شش سری خاک یا واحد زمینی و بیست فاز سری از مطالعه نیمه دقیق خاک منطقه به دست آمد. واحدهای زمینی در شکل ۱ به عنوان مبنای عمل ارزیابی زمین نشان داده شده است. خاکهای منطقه رده Inceptisols و Entisols است. همچنین رژیم رطوبت خاک Ustic است در حالی که رژیم دمای خاک Hyperthermic است (KWPA.2015). همانطور که دزجداول ۲ و ۳ برای آبیاری سطحی نشان داده شده است فقط سری خاک کد شده ۲ (۱۶۲ هکتار – ۵/۳٪) بسیار مناسب (S_1) بود و سری خاک کدگذاری شده ۱ ، ۵ و ۶ (۴۹۱ هکتار - ۱۶/۱٪) به عنوان مناسب (S_2) طبقه بندی شدند، سری خاک کد ۳ و ۴ (۲۲۰۱,۶ هکتار - ۷۲٪) نسبتاً مناسب (S_3) طبقه‌بندی شدند. علاوه بر این هیچ زمین نامناسب (N_1 وN_2) برای آبیاری سطحی یافت نشد.

تجزیه و تحلیل نقشه های آبیاری مناسب برای آبیاری سطحی (شکل ۲) نشان می‌دهد که قسمت عمده‌ای از سطح زیر کشت در این دشت (واقع در مرکز) به دلیل خاک عمیق، زهکشی خوب، بافت، شوری و شیب منطقه مناسب و بسیار مناسب تلقی می‌شوند . منطقه نسبتاً مناسب به دلیل بافت خاک لوم شنی در جنوب و شمال این منطقه واقع شده است. زمین نامناسب فعلی را فقط در شمال شرقی دشت می‌توان مشاهده کرد زیرا محدودیت‌های فیزیکی به ویژه بافت خاک سنگریزه‌ای دارد. در این دشت زمین دائماً نامناسبی برای آبیاری سطحی وجود نداشت. در مورد آبیاری بارانی (شکل ۳) به دلیل عمیق بودن خاک، زهکشی مناسب، بافت، شوری و شیب مناسب، منطقه بسیار مناسب در بزرگترین قسمت منطقه زیر کشت در این دشت (واقع در مرکز و شمال) قابل مشاهده است. همانطور که از روی نقشه مشاهده می‌شود بخشی از سطح زیرکشت در این دشت به دلیل بافت خاک ماسه لومی نسبتاً مناسب برای آبیاری بارانی ارزیابی شد. اراضی نامناسب فعلی فقط در شمال شرقی دشت واقع شده‌اند و به دلیل وجود خاک ماسه‌ای، برای آبیاری بارانی نامناسب می‌باشند زمین‌های دائماً نامناسب در این دشت وجود نداشت. تقریباً برای کل منطقه مورد مطالعه شیب، عمق خاک، شوری، زهکشی و CaCO3 عوامل محدود کننده نبود. در مورد آبیاری قطره ای (شکل ۴) زمین‌های بسیار مناسب بیشترین قسمت دشت را (۵۲/۶۵ درصد) تحت پوشش قرار داده اند. شیب، بافت خاک، عمق خاک، کربنات کلسیم، شوری و زهکشی در شرایط خوبی بود. به دلیل محتوای متوسط کربنات کلسیم، می‌توان زمین‌های نسبتاً مناسبی را در قسمت بزرگی از دشت (قسمت‌های غربی ، شرقی و جنوبی) مشاهده کرد. زمین‌های نامناسب فعلی و زمین‌های نامناسب دائمی در این دشت برای آبیاری قطره‌ای وجود نداشت. در شکل ۵ مناسب‌ترین نقشه برای سیستم‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای در دشت ریمکان مطابق شاخص قابلیت (Ci) نشان داده شده است. همانطور که از این نقشه مشخص است بیشترین قسمت این دشت برای سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و برخی از قسمت‌های این منطقه برای سیستم‌های آبیاری بارانی مناسب بود. با این حال، فقط یک منطقه کوچک برای سیستم‌های آبیاری سطحی مناسب قلمداد شد.

مناسب ترین سیستم های آبیاری دشت ریمکان به ترتیب شامل آبیاری قطره‌ای، آبیاری بارانی و آبیاری سطحی بود. علاوه بر این عوامل اصلی محدود کننده در استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای محتوای کربنات کلسیم خاک و عوامل اصلی محدود کننده در استفاده از روش‌های آبیاری بارانی بافت خاک و میزان کربنات کلسیم بودند. در نهایت عامل اصلی محدود کننده در استفاده از روش‌های آبیاری سطحی بافت خاک بود. نتایج مقایسه بین نقشه‌ها نشان داد که معرفی یک سیاست مدیریت آبیاری متفاوت، یک راه حل بهینه فراهم می‌کند، به این ترتیب که استفاده از روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای می تواند مفید و سودمند باشد. این

استراتژی فعلی است که توسط شرکت‌های بزرگ کشت در منطقه اتخاذ شده و از نظر اقتصادی برای کشاورزان در درازمدت مقرون به صرفه است. چنین تغییری در شیوه‌های مدیریت آبیاری به معنای در دسترس بودن سرمایه‌های اولیه بزرگتر برای کشاورزان و همچنین یک بازار متفاوت است. از طرف دیگر به دلیل کمبود آب در آب و هوای مناطق خشک و نیمه خشک بهینه‌سازی بهره-وری مصرف آب و کمک به حل مشکلات کمبود آب در بخش کشاورزی محلی ضروری است. تغییر از آبیاری سطحی به فناوری - های آبیاری با تکنولوژی بالا به عنوان مثال سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای پتانسیل های قابل توجهی در مصرف آب فراهم می‌کند. از طرف دیگراز آنجا که سیستم‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای معمولاً مقدار کمتری آب (در مقایسه با روش‌های آبیاری سطحی) برای حفظ رطوبت خاک نزدیک به ظرفیت مزرعه استفاده می‌کنند، تغییر روش‌های آبیاری فعلی از سطحی به تحت فشار (بارانی و قطره‌ای) در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد شده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان و دانشگاه شهید چمران اهواز به واسطه حمایت‌های مالی قدردانی می‌نمایند.

منابع

فرهادی باسدوله ، ب.، احمدی، ش. و میرزایی تختگاهی، ح. ۱۳۹۶ .انتخاب سیستم مناسب آبیاری تحت فشار با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره(مطالعه موردی :شبکه آبیاری جامیشان). مدیریت آب آبیاری۱۴۹ – ۱۳۵ : ۱ . ۷ .

Albaji, M., Golabi, M., Piroozfar, V.R., Egdernejad, A. and Nazarizadeh, F. 2014. Evaluation of agricultural land resources for irrigation in the Ramhormoz plain by using GIS. Agriculturae Conspectus Scientificus. 79(2): 93-102.

Albaji, M., Landi, A., Boroomand Nasab, S., and Moravej, K. (2008). "Land Suitability Evaluation for Surface and Drip Irrigation in Shavoor Plain Iran." Journal of Applied Sciences, 8(4):654-659.

Gholami, A. and Delavari, A. 2012. Evaluation of the two methods of surface and drip irrigation based on the parametric system. Journal of Basic and Applied

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1976). "A Framework for Land Evaluation." Soil Bulletin No.32. FAO,Rome,Italy.72 .pp. http:// www.fao.org/docrep/x5310e/x5310e00.htm

Khuzestan Water & Power Authority. 2015. Meteorology Report of Raymakan Plain, Iran (in Persian). http://www.kwpa.com.

Khuzestan Water & Power Authority. 2015. Semi-detailed Soil Study Report of Raymakan Plain, Iran (in Persian). http://www.kwpa.com.

Naseri, A., Rezania, A.R. and Albaji, M. 2009. Investigation of soil quality for different irrigation systems in Lali Plain, Iran. Journal of Food, Agriculture and Environment. 7(2): 955-960.

Sedghkia, M., Nateghi, M.B., Kaviani Kocharkhizi, Sh. and Naghipoor, N. 2015. Evaluation and zoning of irrigation methods on etka organization lands in dorud, using analytical hierarchy process. Water Research in Agriculture. 28(4): 749-758.

Seyedmohammadi, J., Esmaeelnejad, L. and Ramezanpour, H. 2016. Land suitability assessment for optimum managegement of water consumption in precise agriculture. Modeling Earth Systems and Environment. 2(3): 162-172.

Sys, C., Van Ranst, E ., and Debaveye, J. (1991). "Land Evaluation, Part l, Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculations." International Training Centre for Post-graduate Soil Scientists, University Ghent. http://www.plr.ugent.be/publicatie.html.

Table 2-Ci values and suitability classes of surface ,sprinkle and drip irrigation for each Land Units.

Codes of Land Units	Surface Irrigation		Sprinkle Irrigation		Drip Irrigation	
	Ci	suitability classes	Ci	suitability classes	Ci	suitability classes
1	39.48	N_{1S}*	45.00	S_{3S}**	44.00	N_{1S}***
2	57.03	S_{3S}	67.50	S_{2S}	68.00	S_{2S}
3	57.03	S_{3S}	67.50	S_{2S}	68.00	S_{2S}
4	87.75	S_1	90.00	S_1	80.00	S_1
5	78.97	S_{2SW}	85.50	S_1	80.00	S_1
6	70.20	S_{2S}	72.00	S_{2S}	64.00	S_{2S}
7	70.20	S_{2SW}	81.00	S_1	80.00	S_1

* Limiting factors for surface irrigation: $_S$: (Soil texture) & $_W$ (Drainage).
** Limiting factors for sprinkle irrigation: $_S$: (Soil texture)
*** Limiting factors for drip irrigation: $_S$: (Soil texture & Calcium carbonate).

Table 3: Distribution of surface, sprinkle and drip irrigation suitability

suitability	Surface Irrigation			Sprinkle Irrigation			Drip Irrigation		
	Land unit	Area (ha)	Ratio (%)	Land unit	Area (ha)	Ratio (%)	Land unit	Area (ha)	Ratio (%)
S_1	4	705	18.7	4 , 5 , 7	908.2	24.1	4 , 5 , 7	908.2	24.1
S_2	5 , 6 , 7	576.5	15.4	2 , 3 , 6	2025.1	53.8	2 , 3 , 6	2025.1	53.8
S_3	2 , 3	1651.8	43.8	1	808.7	21.4	-	-	-
N_1	1	808.7	21.4	-	-	-	1	808.7	21.4
N_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
*Mis Land		28	0.7		28	0.7		28	0.7
Total		3770	100		3770	100		3770	100

Miscellaneous Land: (Hill, Sand Dune and River Bed) *

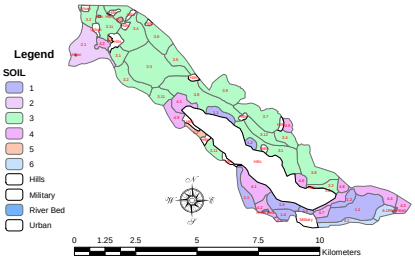


Fig 1: Soil Map of the Study Area.

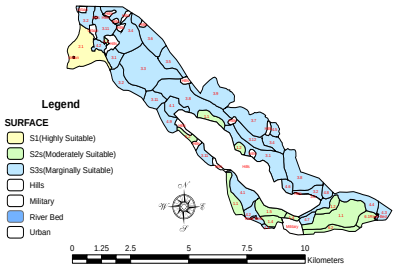
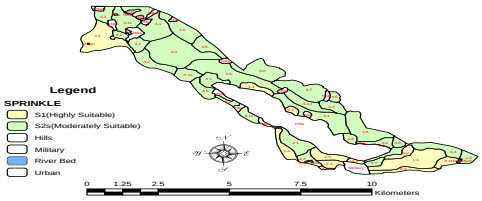


Fig 2: Land Suitability Map for Surface Irrigation



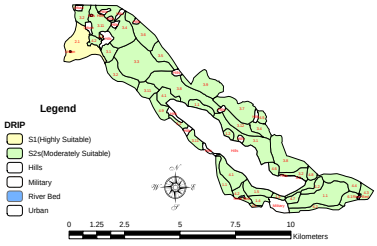


Fig 3: Land Suitability Map for Sprinkle Irrigation Fig 4: Land Suitability Map for Drip Irrigation

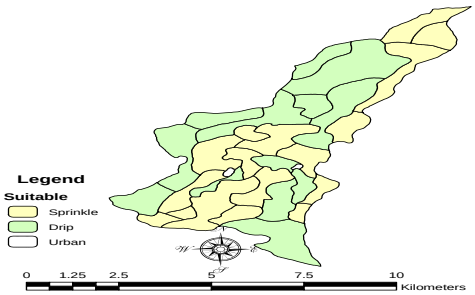


Fig 5: The most suitable map for different irrigation systems.

An Investigation of Land Characteristics for Different Irrigation Methods in Raymakan Plain

Payvand Papan[1], Mohammad Albaji[2], Vahid moradinasab[3]

[1] PhD in Soil Science, Expert of Khuzestan Water and Electricity Organization (KWPA)[2]Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran, [3]PhD in Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

Abstract

The main objective of this research is to compare different irrigation methods based upon a parametric evaluation system in an area of 3058 ha in the Raymakan plain located in the Khuzestan Province, in the Southwest of Iran. The Soil properties of the study area such as texture, depth, electrical conductivity, drainage, calcium carbonate content and slope were derived from a semi-detailed soil study carried out on the Raymakan plain on a scale of 1:20000. Once the soil properties were analyzed and evaluated, suitability maps were generated for surface, sprinkle and drip Irrigation methods using Remote Sensing (RS) Techniques and Geographic Information System (GIS). The obtained results showed that for 162ha (5.3%) of the study area surface and drip irrigations methods were highly recommended; whereas for 632.2ha.(20.7%) of the study area a sprinkle irrigation method would provide to be extremely efficient and suitable ;moreover, for all irrigation systems the unsuitable lands did not exist in this zone. The results demonstrated that by applying drip irrigation instead of sprinkle and surface irrigation methods, the arability of 1748.8 ha (57.2%) in the Raymakan Plain will improve. In addition by applying sprinkle Irrigation instead of drip and surface irrigation methods, the land suitability of 1105.8 ha (36.2%) of this Plain will improve. The comparison of the different types of irrigation techniques revealed that the drip and sprinkle irrigations methods were more effective and efficient than the surface irrigation methods for improving land productivity. It is of note however that the main limiting factor in using either surface or/and sprinkle irrigation methods in this area were soil texture and calcium carbonate content and the main limiting factor in using drip irrigation methods was soil calcium carbonate content **.**

Key words: Surface irrigation, sprinkle irrigation, drip irrigation, land suitability evaluation, parametric method, soil series.

ارزیابی مشاهده ای ارقام کنف در شرایط آبیاری با استفاده از زهاب مزارع نیشکر

علی مختاران[1]، پیوند پاپن[2]، قربان قربانی نصر آباد[3]

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.alimokhtaran@gmail.com

۲-کارشناس سازمان آب و برق خوزستانpayvand_p2006@yahoo.com

۳- استادیار پژوهشی موسسه تحقیقات پنبه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران ghorbang@yahoo.com

چکیده

تولید زهاب کشاورزی در جنوب غرب خوزستان یکی از مشکلات جدی است. به‌منظور استفاده بهینه از زهاب‌ها و جلوگیری از آلودگی‌های زیست محیطی، کشت گیاهان مقاوم به شوری مانند کنف بسیار پراهمیت است. کنف ازجمله گیاهانی است که به دلیل داشتن الیاف مناسب مورد توجه قرار گرفته است. در این راستا آزمایشی مشاهده‌ای به‌منظور تاثیر زه‌آب حاصل از کشت نیشکر بر روی ۳ رقم گیاه کنف شامل کوبا قرمزی، شماره ۲۳۷ و شماره ۷۶۴۹ در شرکت میرزا کوچک خان برای سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ طراحی و اجرا شد. کشت آزمایشی در ۸ خط ۷۵ متری با فاصله کاشت۲۰*۷۰ سانتی‌متر انجام گردید. قبل ازکاشت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، درصد رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با نمونه‌گیری تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک انجام شد. نتایج نشان داد که ارتفاع گیاه در هر سه رقم و شماره به‌طور متوسط تا ۲۱۰ سانتی‌متر افزایش یافت. میانگین عملکرد کنف با استفاده از زهاب برای رقم کوبا قرمزی ۲۷/۵ تن در هکتار، برای شماره (۲۳۷) به‌میزان ۲۲/۳ تن در هکتار و برای شماره (۷۶۴۹) به‌میزان ۲۴/۹ تن در هکتار بود. این در حالی است که عملکرد به‌میزان ٪۱۵ برای هر سه رقم و شماره مذکور نسبت به استفاده از آب با کیفیت کارون روندی کاهشی داشت.

واژه‌های کلیدی: کنف، آب شور، ژنوتیپ، عملکرد، نیشکر

مقدمه

کنف یک گیاه یک‌ساله متعلق به خانواده پنیرک است که درگذشته به‌طور گسترده برای الیاف، پوست آن در منطقهٔ گرگان کشت می‌شده است، اما با توسعهٔ تکنولوژی تولید الیاف مصنوعی به‌تدریج به فراموشی سپرده شد. این گیاه بومی شرق آفریقا است و از نظر تاریخی کشت و کار آن به ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در غرب سودان باز می‌گردد(Lemahieu et al, 2003). طبق یافته‌های(Dempesey,1975)، این گیاه روزکوتاه و یک‌ساله است. کنف بیشتر در مناطق گرمسیری و آب و هوای معتدل تا ارتفاع ۵-۶ متر رشد می‌کند. تحت این شرایط، تولید آن براساس وزن خشک به ۳۰ تن در هکتار می‌رسد(Webber,2002). بازده کنف تقریباً ۳ تا ۵ برابر الیاف کاج جنوبی است(Lemahieu et al,2003). در سال های اخیرکنف به‌عنوان یک محصول زراعی در کشورهای جهان سوم مطرح شده است که یکی از کاربردهای مهم آن در صنایع خمیر و کاغذ می‌باشد (Taylor,2003). از سابقه تاریخی کشت کنف در ایران اطلاع دقیقی در دست نیست ولی کشت آن به‌عنوان محصول فرعی در استان های گلستان، مازندران و گیلان معمول بوده است. سطح زیر کشت کنف در سال ۱۳۴۹

حدود ۴۰۰۰ هکتار با میانگین تقریبی ۱۲۵۰کیلوگرم الیاف در هکتار گزارش شده است .کنف پتانسیل تولید بیش از ۶۰۰۰ کیلوگرم الیاف در هکتار را دارا می‌باشد و عملکرد بیش از ۲۰۰۰ کیلوگرم مطلوب می‌باشد(خواجه پور،۱۹۹۴). از الیاف کنف در صنعت کمپوزیت به‌عنوان تقویت‌کننده در صفحات فشرده چگالی پایین، استفاده می‌شود(Anand,2001). همچنین از کنف به‌عنوان ماده تقویت کننده در الیاف شیشه برای ساخت صندلی ماشین، صفحات درب، قالب کفش و قطعات قوس‌دار استفاده می‌شود(Anonymous, 2005). روغن بذر کنف به‌عنوان روغن خوراکی، مارگارین، صابون، رنگ نقاشی، لاک الکل استفاده می‌گردد(Lemahieu et al, 2003). بازده ترکیبات لیفی ساقه، برگ و بذرها می‌توانند تحت تأثیر فاکتورها متعددی مانند واریته، طول فصل رویش، تراکم گیاهی و زمان بلوغ گیاه قرار گیرند(Webber, 2002). همچنین الیاف مغز ساقه کنف نیز به‌عنوان فیبر جایگزین در کاغذسازی مورد توجه قرار گرفته است (Kaldor,1990). با توجه به افزایش وسعت زمین‌های شور و کمبود منابع آبی در کشور، استفاده از منابع موجود به‌صورت صحیح و کاربرد آب‌های نامتعارف مانند آب خروجی زهکش‌ها، آب‌های شور و پساب‌ها یکی از مهمترین اهداف در بخش کشاورزی می‌باشد. در استان خوزستان تولید زه‌آب از فعالیت‌های مختلف به ویژه کشاورزی، یکی از مشکلات جدی است. در این استان در مجموع نزدیک چهار میلیارد مترمکعب زه‌آب در سال تولید می‌گردد(kwpa report. 2011). اگرچه کشت کنف به‌عنوان یک گیاه لیفی سابقه دیرینه در ایران به ویژه در استان های شمالی دارد ولی تاکنون مطالعه‌ای با هدف تعیین رقم مناسب درمنطقه خوزستان صورت نگرفته است هم چنین اطلاعات در زمینه میزان تولید این محصول وجود ندارد لذا این مطالعه با هدف بررسی موارد فوق الذکر انجام گردید.

مواد وروش‌ها

این آزمایش به‌منظور تاثیر زه‌آب کشاورزی حاصل از کشت نیشکر بر روی ۳رقم و شماره گیاه کنف شامل کوبا قرمزی، شماره ۲۳۷ و شماره ۷۶۴۹ در شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان واقع در ۷۵ کیلومتری جاده اهواز-خرمشهر در جنوب غرب خوزستان طی سال‌های ۱۳۹۷و ۱۳۹۸ طراحی و اجرا شد. طرح آزمایش به‌صورت مشاهده‌ای در ۸ خط ۷۵ متری با فاصله کاشت۲۰*۷۰ سانتی‌متر انجام شد. قبل از کاشت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک از قبیل بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، درصد رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی خاک با نمونه‌گیری تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح زمین انجام شد. عملیات کاشت در دهه سوم فروردین اجرا شد و در اوایل آذرماه نمونه گیری و برداشت انجام گردید. قطعه زمین مورد نظر در پاییز سال قبل از اجرای آزمایش شخم زده شد و در فرودین پس از دیسک زدن، علف‌کش و کوددهی، آماده کشت گردید. کوددهی بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی به‌میزان ۱۲۵ کیلوگرم فسفات، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاس و ۱۰۰ کیلوگرم اوره (۴۰ درصد قبل از کشت و ۶۰ درصد به‌صورت سرک) به زمین داده شد. آبیاری براساس کمبود رطوبت خاک صورت گرفت. قبل از آبیاری، نمونه رطوبت خاک گرفته شده و آبیاری تا عمق موثر ریشه انجام گردید. در مناطق مرکزی و جنوبی خوزستان به‌علت شوری بالای خاک، برای نتیجه بهتر، بذرها چند ساعت قبل از کشت در آب خیسانده شدند.

نتایج و بحث

در جدول (۱) نتایج بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ارائه شده است. جدول (۲) میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در مزرعه تحقیقاتی کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان بر اساس داده های هواشناسی و تطبیق آن با دوره کشت ارائه شده است .

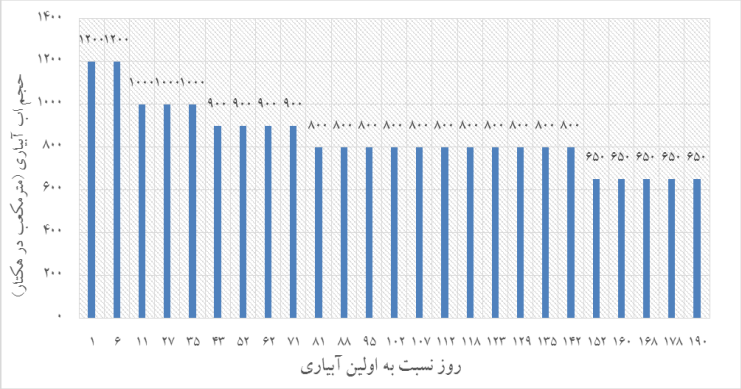
جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک محل آزمایش

عمق خاک (سانتی‌متر)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	نقطه پژمردگی (درصد حجمی)
۰-۲۵	لومی رسی	۱/۳۹	۴۰/۸۳	۱۹/۹۷
۲۵-۵۰	رس	۱/۳۷	۳۳/۵	۱۵/۰۹
۵۰-۷۵	لوم رسی سیلتی	۱/۴۶	۴۶/۹۸	۱۷/۲۲
۷۵-۱۰۰	لوم رسی سیلتی	۱/۴	۴۲/۲۸	۱۶/۱

جدول ۲- تبخیر وتعرق پتانسیل براساس داده های هواشناسی و تطبیق آن با دوره‌کشت

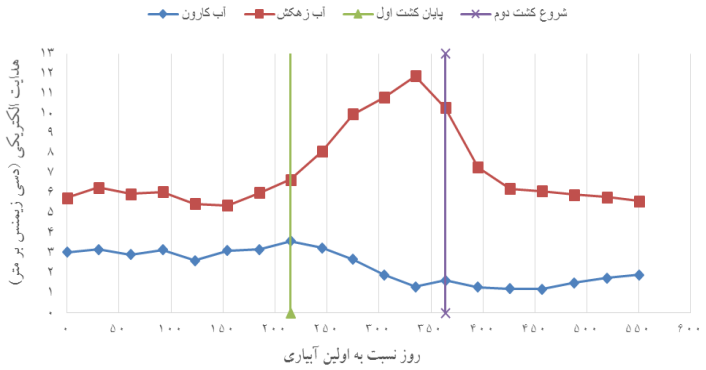
	حداقل	حداکثر	متوسط
دما حداقل(سانتی گراد)	۱۳	۳۳/۸	۲۲/۶
دما حداکثر(سانتی گراد)	۲۴/۶	۵۰	۴۱
رطوبت حداقل(درصد)	۱۲	۶۴	۲۲/۶
رطوبت حداکثر(درصد)	۲۷	۹۲	۶۰/۴
سرعت باد(متر بر ثانیه)	۰	۸/۲	۳/۳۵
ساعات آفتابی	۰	۱۳	۹/۹۴
تبخیر(میلی‌متر بر روز)	۲/۷	۲۹	۱۳/۳۷
تبخیر و تعرق پتانسیل(میلی‌متر بر روز)	۲/۲	۱۷/۶	۸/۵۳
ارتفاع گیاه(سانتی‌متر)	۰	۲۱۰	۱۰۵

عملیات آبیاری با توجه به تطابق مبانی طراحی با میزان کمبود رطوبت خاک و نمایه گیاهی که در مزرعه اندازه گیری می‌شد، انجام گردید. بر این اساس تعداد عملیات آبیاری، ۲۵ مرتبه انجام شد(شکل۱). میزان متوسط حجم آب آبیاری برای هر نوبت در مدت زمان تحقیق ۸۵ میلی‌متر بود. این درحالی است که حداکثر مقدارآب آبیاری به میزان ۱۲۰ میلی‌متر در اولین و دومین آبیاری به‌دلیل خشک بودن خاک اتفاق افتاد. تفاوت در میزان حجم آب آبیاری، وجود یا عدم وجود علف‌های هرز، رطوبت مزرعه و عملکرد زهکش‌ها بود. هرچند که در اواسط و انتهای دوره رشد گیاه، حجم آب آبیاری در رژیم های مختلف آبیاری ثابت شد(شکل۱). در صورت استفاده از آب با کیفیت(رودخانه کارون) با ۱۰درصد تلفات عمقی در جویچه و میزان درصد آبشویی ۷درصد برای عملکرد ۹۰ درصدی محصول با توجه به کیفیت آب در طول دوره رشد، حجم آب آبیاری ۲۰۹۶۲ متر مکعب به ازای هر هکتار اندازه گیری و برآورد شد. این در حالی است که در استفاده از زهاب مزارع نیشکر با در محاسبه درصد آبشویی ۱۶درصدی برای عملکرد محصول ۷۵ درصد با توجه به کیفیت زهاب، حجم آب آبیاری ۲۱۰۵۰ متر مکعب به ازای هر هکتار اندازه گیری گردید. همانطور که مشاهده می‌شود به‌علت مقاوم بودن گیاه کنف به شوری و همچنین انتظار برداشت محصول از منظر اقتصادی در استفاده از آب شور نسبت به آب شیرین، حجم آب کاربردی کنف تفاوت معنی‌داری نداشت.

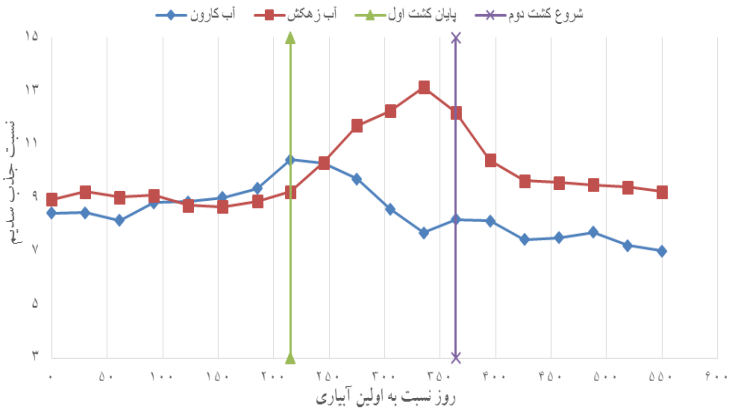


شکل۱- تغییرات حجم آب آبیاری درطول فصل رشد -استفاده از زهاب نیشکر

در بررسی تحلیل کیفی آب مصرفی، روند تغییرات از اسفندماه ۱۳۹۶ تا پاییز ۱۳۹۸ بررسی شد. در سال اول کشت (بهار تا پاییز ۹۷)، متوسط شوری آب رودخانه کارون(منبع تامین آب مزارع نیشکر)، ۳/۱دسی‌زیمنس بر متر بود. درسال دوم کشت(بهار تا پاییز۹۸)، به‌دلیل باران‌های مناسب در زمستان ۱۳۹۷ و بهار ۱۳۹۸در بالادست جلگه خوزستان و رهاسازی آب از پشت سدهای دز و حوضه رودخانه کارون به‌دلیل آورد سیلاب، میزان شوری به‌طور متوسط در رودخانه کارون تا ۱/۵ دسی زیمنس بر متر تقلیل یافت. این در حالی است که میزان متوسط شوری زهاب مزارع نیشکر برای سال اول کاشت، ۵/۹۷ دسی زیمنس برمتر و در سال دوم کاشت به ۶/۷۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. افزایش شوری زهاب برای دو دوره مشابه را می‌توان به‌دلیل کاهش حجم آب آبیاری مزارع نیشکر ناشی از بهبود کیفیت نسبی آب رودخانه کارون در سال دوم(بهار و تابستان ۹۸) دانست. بهبود کیفیت آب آبیاری برای مزارع نیشکر، حجم آب آبشویی را کاهش داده و در نتیجه کیفیت زهاب‌که قسمتی از آن متاثر از هجوم آب شور زیرزمینی می‌باشد را تقلیل می‌دهد. حداکثر شوری زهاب از دی‌ماه تا اسفندماه است به‌طوری‌که در اسفندماه شوری زهاب خروجی مزارع نیشکر تا ۱۰/۲۹ دسی‌زیمنس بر متر می‌رسد. این مسأله به‌دلیل کاهش میزان آب آبیاری مزارع نیشکر درآن مقطع زمانی است و از دهه سوم اسفندماه با افزایش آبیاری سنگین و در نتیجه افزایش حجم زهاب خروجی، وضعیت کیفی زهاب بهبود می‌یابد(شکل۲). همچنین میزان نسبت جذب سدیم(SAR) در سال اول تحقیق بین دو منبع آب آبیاری تغییرات معناداری نداشت اما در سال دوم که آب رودخانه کارون بهبود نسبی داشت میزان متوسط SAR برای رودخانه کارون ۷/۶ و برای زهاب ۱۰ بود(شکل۳).



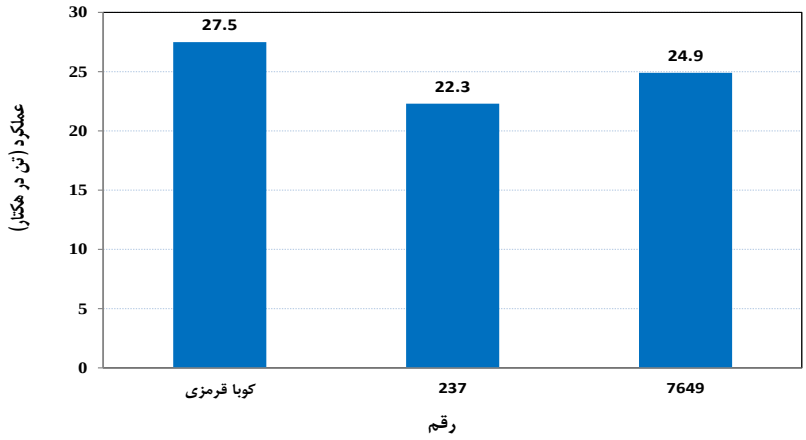
شکل ۲- تغییرات شوری آب مصرفی نسبت به زمان



شکل ۳- تغییرات نسبت جذب سدیم آب مصرفی نسبت به زمان

ارتفاع گیاه در هر سه رقم و شماره تا ۲۱۰ سانتی‌متر افزایش یافت(شکل۴) و توانست در مقابل بادهای گرم مقاومت کند. برداشت در سه تکرار و هر تکرار در یک خط ۱۵ متری انجام شد. میانگین عملکرد برای رقم کوبا قرمزی ۲۷/۵ تن در هکتار، شماره ۲۳۷ به‌میزان ۲۲/۳ تن در هکتار و شماره ۷۶۴۹ به‌میزان ۲۴/۹ تن در هکتار بود(شکل ۵). شاخص و همکاران(۱۳۸۸) در بررسی تأثیر ژنوتیپ و زمان برداشت بر عملکرد کنف نشان دادند که بین زمان‌های برداشت و ارقام کنف به‌نام‌های کوبا، نیجر،۹۲۷۷، کوبا ۲۰۳۲،۷۵۵۱،۷۵۶۶ از نظر عملکرد کل ماده خشک اختلاف معنی‌داری وجود دارد و رقم نیجر با پتانسیل تولید ۱۲۸۷۵ کیلوگرم در هکتار از نظر تولید و عملکرد الیاف بهتر از سایر ژنوتیپ ها بود.

شکل ۴- گیاه کنف –مزرعه تحقیقاتی ۱۵ مهرماه-جنوب غرب خوزستان



شکل ۵- میزان عملکرد ارقام مختلف کنف

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد که در شرایط مورد آزمایش و آبیاری با زهاب مزارع نیشکر، رقم کوبا قرمزی از نظر تولید و عملکرد الیاف بهتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. با توجه به نتایج حاضر و پتانسیل تولید ۲۷/۵ تن در هکتار در منطقه و امید بخش بودن کنف به‌عنوان یک محصول پیشنهاد می‌شود موضوع بررسی پتانسیل ژنوتیپ‌ها در چندین سال تکرارگردد تا ژنوتیپ‌های مناسب برای منطقه معرفی و زارعین به کشت کنف ترغیب گردند. بدین ترتیب کنف می‌تواند به عنوان گیاه لیفی فراموش شده سازگار و گرمادوست برای استفاده از منابع آب و خاک نامتعارف استان خوزستان در تناوب زراعی منطقه قرار داده شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان و شرکت کشت و صنعت میرزا کوچک خان به واسطه حمایت‌های مالی قدردانی می‌نمایند.

منابع

شاخص، ج. دهقانی فیروزآبادی، م. پهلوانی، م و زینلی، ا. ۱۳۸۸. تأثیر ژنوتیپ و زمان برداشت بر عملکرد و صفات مرتبط با آن در کنف، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، جلد دوم، شماره اول.

Anand, R., Snadi, J.F., Hunt and Caulfield, D.F. 2001. High Fiber-low matrix composites: Kenaf fiber/poly propylene. The sixth International Conference on Wood fiber-Plastic Composites.

Anonymous.2005.Leading the supply of environmentally sustainable materials. http://www.engineeringnews.co.za.Creamer Media's Engineering news online:Automotive Industry.

Khuzestan Water and Power Authoriy Company(Kwpa). (2011). Khuzestan province drainage management studies report.

Dempesey, J.M. 1975. Fiber Crops. The University Press of Florida, Gainesville.

Khajepoor, M. 1994. Industrial Plants. Esfahan University Press. Pp303-315.

Kaldor, A.F., Kargren, C., and Verwest, H. 1990. Kenaf-afast growing fiber source for Papermaking. TAPPI73:205-208.

Lemahieu, P.J., Oplinger, E.S., and Putnam, D.H. 2003. Kenaf. In Alternative Field http://www.corn. agronomy. Wisc.edu/FISC/Alternatives/kenaf.htm. crops Manual.

Taylor, C.S. 2003. Kenaf. http://www.hort.purdue.edu/newcrop/Crop Factsheets/Kenaf. Htm.

Webber, C.L., Bhardwaj, H.L., and Bledsoe, V.K. 2002. Kenaf production:fiber,feed, and seed. In Janick, J. and Whip key, A (eds). Trends in New Crops and New Uses. ASHS Press. Alexandria, VA. pp. 327-339.

Observational Evaluation Of Hemp Cultivars Under Irrigation Conditions Using Drainage Water of Sugarcane Fields

Ali Mokhtaran[1], Payvand Papan[2], Gorban gorbani nasrabad[3]

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran.alimokhtaran@gmail.com
2- Expert of Khuzestan Water and Electricity Organization. payvand_p2006@yahoo.com
3- Assistant Professor, Cotton Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Gorgan, Iran. ghorbang@yahoo.com

Abstract
Agricultural drainage water production in southwestern Khuzestan is one of the serious problems. In order to make the best use of drainage water and prevent environmental pollution, it is very important to grow salt-resistant plants such as hemp. Hemp is one of the plants that has been considered due to having suitable fibers. In this regard, an observational experiment was designed and implemented in Mirza Kuchak Khan Company for 2018 and 2019 in order to evaluate the effect of drainage water from sugarcane cultivation on 3 cultivars of hemp including Red Cuba, No. 237 and No. 7649. Experimental culture was performed in 8 lines of 75 meters with a planting distance of 70 x 20 cm. Before planting, soil physical and chemical parameters including soil texture, bulk density, Moisture content of field capacity and wilting point were sampled to a depth of 100 cm from the soil surface. The results showed that plant height in all three cultivars and numbers increased by an average of 210 cm. The average yield of hemp using drainage was 27.5 tons per hectare for Red Cuban cultivar, 22.3 tons per hectare for number(237) and 24.9 tons per hectare for number(7649). However, the yield of 15% for all three cultivars and the number compared to the use of Karun quality water had a decreasing trend.

Keywords: Hemp, brackish water, genotype, yield, sugarcane

تأثیر آبیاری با زه‌آب نیشکر بر خصوصیات شیمیایی خاک در جنوب خوزستان

پیوند پاپن[۱]، عبدلامیر معزی[۲]، مصطفی چرم[۳]، افراسیاب راهنما[۴]

۱- دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک دانشگاه شهید چمران اهوازوکارشناس سازمان آب و برق خوزستان

payvand_p2006@yahoo.com

۲- دانشیارگروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز،

۳- استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهید چمران اهواز،

۴- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

به منظور بررسی اثرات کاربرد نیتروژن و آبیاری با زهاب مزارع نیشکر بر برخی خصوصیات خاک تحت کشت کینوا، آزمایشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۱۳۹۷ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. در این آزمایش چهار سطح کود اوره (۰، ۷۵، ۱۵۰، ۲۲۵کیلوگرم در هکتار) به عنوان فاکتور اصلی و سه سطح آب آبیاری شامل شاهد (آب کارون با شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و آبیاری یک در میان (کارون – زهاب نیشکر) و آبیاری با زهاب نیشکر (با شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد اثر متقابل کاربرد تیمارها بر میانگین شوری خاک از لحاظ آماری معنی‌دار بود اما اثر معنادار بر غلظت نیتروژن،کلر و کلسیم و منیزیم خاک مشاهده نگردید. بیشترین میانگین شوری خاک، غلظت پتاسیم، کلر، کلسیم و منیزیم محلول خاک در تیمار آبیاری زهاب مشاهده گردید. تیمار آبیاری کارون موجب کاهش ۱/۴ برابری و آبیاری زهاب موجب افزایش ۱/۹ برابری شوری خاک در پایان فصل نسبت به آغاز فصل گردید و تیمار آبیاری یکدرمیان به دلیل شستشوی متناوب املاح به وسیله آب کارون، باعث افزایش اندک میانگین شوری خاک بعد از کشت کینوا نسبت به آبیاری کارون گردید.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، زهاب نیشکر، کینوا، نیتروژن.

مقدمه

استفاده از آب های نامتعارف به خصوص در مناطق خشک ونیمه خشک ازجمله راهکارهای مدیریت منابع آب به شمار می‌رود زهاب ازجمله آب‌های نامتعارف در کشاورزی محسوب می‌شود که استفاده از آن در سال‌های اخیر رو به گسترش بوده است(فیضی و همکاران، ۲۰۱۱) استفاده از زهاب علی رغم کاهش فشار بر منابع آب، خطرشور شدن خاک و ایجاد تنش شوری را ممکن است افزایش دهد این عوامل بر رشد گیاهان اثر گذاشته وسبب کاهش محصول می‌شود. مشکل اصلی آبیاری با آب شور در واقع پاسخ محصول به آبیاری نیست (که اساساً یک اثر کوتاه مدت است) بلکه تغییرات طولانی مدت در خصوصیات خاک است که ممکن است به طور جدی باروری آن را تغییر دهد(کوسی و همکاران، ۲۰۱۴). از جمله راهکارها برای کاهش تاثیر شوری در مزرعه می-تواند استفاده از آب مطلوب در مراحل ابتدایی رشد گیاه، مخلوط کردن آب زهکشی کشاورزی با آب با کیفیت خوب، توسعه ارقام متحمل به نمک و تناوب استفاده از آب با کیفیت خوب و آب شور باشد(فیضی و همکاران، ۲۰۱۱). نیتروژن یک عنصر غذایی تعیین کننده در تولید ماده خشک و محتوی پروتئین گیاهی است که در شرایط تنش شوری جذب آن بیش از سایر عناصر غذایی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. از عوامل مهم کاهش رشد گیاهان در شرایط شوری، کاهش جذب نیتروژن به وسیله شوری است و نیتروژن می‌تواند به عنوان معیاری در ارزیابی مقاومت به شوری گیاهان، در نظر گرفته شود(دوری و همکاران،۱۹۹۵).

کینوا با پتانسیل بالای رشد و تولید در شرایط نامساعد محیطی و تحمل بالا به انواع تنش‌های زنده و غیرزنده (خشکی و شوری) نسبت به غلات معمولی است(بسرا و همکاران،۲۰۱۴). کینوا به نیتروژن خاک بسیار حساس است و کود نیتروژنه برای رشد محصول در طول دوره رشد رویشی کینوا مهم است. در استان خوزستان در مجموع نزدیک چهار میلیارد مترمکعب زه‌آب در سال تولید می‌گردد(گزارش kwpa،۲۰۱۱). تجزیه و تحلیل تغییر خواص شیمیایی خاک در اثر مصرف آب‌های نامتعارف می-تواند در جهت ارایه راهکارهای مناسب در زمینه پیشگیری از تخریب منابع و ارایه مدیریت صحیح استفاده از آنها نقش مهمی را ایفاء نماید. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف کود اوره در شرایط آبیاری با زه‌آب مزارع نیشکر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک تحت کشت کینوا در طول یک فصل زراعی صورت گرفته است.

مواد وروش‌ها

این در شرکت کشت و صنعت نیشکر میرزا کوچک خان خرمشهر انجام گردید. خاک‌های منطقه دارای رژیم رطوبتی اریدیک و رژیم حرارتی مزیک می‌باشند. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ و کیفیت آب آبیاری در جدول ۲ نشان داده شده است. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کود اوره در چهار سطح (۰، ۷۵ ، ۱۵۰ ، ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار) به عنوان فاکتور اصلی و سه سطح آب آبیاری شامل شاهد (آب کارون با شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر) و آبیاری یک در میان (کارون – زهاب نیشکر) و آبیاری با زهاب نیشکر (شوری ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر) به عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. تیمار کودی نیتروژن در سه نوبت به صورت پایه و دو نوبت سرک در ابتدای مراحل ۴ تا ۶ برگی و شروع گل‌دهی بر اساس تیمارهای آزمایش اعمال گردید. اعمال تیمارهای آبیاری در مرحله استقرار گیاهچه انجام شد. دو آبیاری اول با آب کارون به فاصله ۵ روزه در جهت مقابله با سله خاک و جوانه‌زنی بهتر بذرها انجام گردید. قبل از آبیاری نمونه رطوبت خاک گرفته شده و رطوبت خاک به صورت وزنی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و با توجه به حداکثر تخلیه مجاز که با توجه به مقاوم بودن گیاه به خشکی و شوری معادل ۷۰ درصد ظرفیت نگهداری آب در خاک در نظر گرفته شد، آبیاری تا عمق موثر ریشه (۵۰ سانتی‌متر) انجام شد. تعداد آبیاری قطعه زراعی کینوا در طول دوره رشد ۷ مرتبه بود. در زمان بارندگی از پوشش پلاستیکی استفاده گردید.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق خاک cm	بافت خاک	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	نیتروژن کل (٪)	Na^+ ($meq\ L^{-1}$)	K^+ ($meq\ L^{-1}$)	Cl^- ($meq\ L^{-1}$)	فسفر قابل جذب (mg/Kg)	Ca2++Mg2+ (meq L-1)	SAR
۰-۲۵	لومی رسی	۵/۰۵	۷/۹۸	۰/۰۳۸	۲۸/۹۳	۰/۴۵	۲۶/۲۵	۱۷/۴۵	۳۲/۰۳	۷/۲۳
۲۵-۵۰	رس	۲/۵۵	۸/۰	۰/۰۲۴	۱۳/۲۵	۰/۱۶	۱۶/۲۵	۱۷/۱۵	۱۰/۴۵	۵/۸۱
۵۰-۷۵	لوم رسی سیلتی	۲	۸/۰۱	۰/۰۲۲	۱۱/۵۷	۰/۱۴	۱۲/۵	۱۶/۸۱	۹/۵	۵/۳۳

جدول ۲ – متوسط کیفیت آب آبیاری مورداستفاده

نوع آب آبیاری	EC ($dS\ m^{-1}$)	pH	TDS ($meq\ L^{-1}$)	SAR	کلر ($meq\ L^{-1}$)	کلسیم ($meq\ L^{-1}$)	منیزیم ($meq\ L^{-1}$)	سدیم ($meq\ L^{-1}$)
آب کارون	۲/۷۲	۸/۵۰	۱۷۹۲/۸۹	۸/۹۶	۱۸/۸۳	۴/۳۹	۴/۱۰	۱۸/۳۴
آب زهاب	۷/۷۵	۷/۸۸	۵۲۲۵/۶۲	۱۰/۲۰	۴۲/۳۷	۱۶/۷۰	۱۷/۳۵	۴۲/۶۰

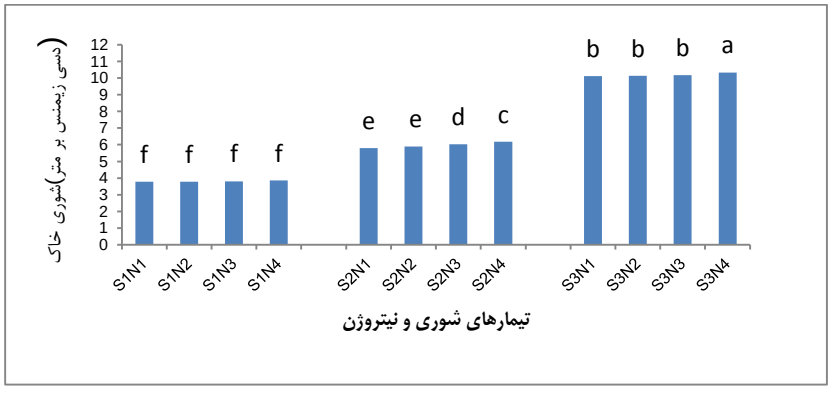
نمونه خاک در پایان دوره کشت از عمق ۵۰-۰ سانتیمتری هر کرت آزمایشی تهیه شد. اندازه‌گیری بافت خاک به‌روش هیدرومتری ، قابلیت هدایت الکتریکی (EC_e در عصارهٔ اشباع) با دستگاه هدایت‌سنج در دمای آزمایشگاه اندازه‌گیری و نسبت به دمای مبنای ۲۵درجه سلسیوس تصحیح شد، اسیدیته خاک به روش الکترومتریک با pH متر در خمیر اشباع ، غلظت نیتروژن به روش کجلدال، سدیم و پتاسیم به روش هضم خشک و فلیم فتومتر، یون‌های کلسیم و منیزیم به‌روش کمپلکسومتری از طریق تیترکردن با EDTA ، یون کلر به روش تیتراسیون با نیترات نقره اندازه‌گیری شد. محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها به روش LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر سطوح نیتروژن و آبیاری و برهم‌کنش آنها بر میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع (EC_e)، غلظت پتاسیم محلول خاک درسطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود اما اثر متقابل تیمارها بر نیتروژن کل، کلر محلول وکلسیم+منیزیم محلول خاک معنی دار نبود (جدول ۳).

هدایت الکتریکی خاک EC_e

در کلیه سطوح آبیاری افزایش سطح کود اوره از صفر به ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار باعث افزایش میانگین شوری خاک شد(شکل ۱). الگوی تغییرات هدایت الکتریکی خاک وابسته به شرایط خاک است و میزان آب و عناصر غذایی خاک مهمترین عامل کنترل کننده هدایت الکتریکی می‌باشند. کود نیتروژن احتمالاً عامل اصلی برای افزایش غلظت کاتیون‌ها در خاک می‌باشد ، نیتریفیکاسیون کود نیتروژن منجر به آزاد شدن پروتون‌ها و اسیدی شدن بیشتر خاک و در نهایت باعث آزاد شدن مستقیم کاتیون‌های بازی به محلول خاک و تسریع شوری محلول خاک شد. نتایج تغییرات هدایت الکتریکی در پایان دوره کشت کینوا، نشان دهنده آن است که به طور میانگین آب کارون با شوری ۲/۵ دسی‌زیمنس برمتر موجب کاهش ۱/۴ برابری شوری خاک در پایان فصل نسبت به آغاز فصل گردیده است از سوی دیگر، آبیاری با شوری زهاب موجب افزایش ۱/۹ برابری شوری خاک در پایان فصل نسبت به آغاز فصل گردید. با توجه به جدول کیفیت آب آبیاری مورد استفاده در دوره کشت (جدول ۲) می‌توان نتیجه گرفت بالاتر بودن هدایت الکتریکی و املاح موجود در زهاب مزارع کشاورزی نیشکر نسبت به آب کارون، باعث افزایش شوری عصاره اشباع خاک در تیمارهای آبیاری یکدرمیان و زهاب گردیده است. رجب و همکاران اعتقاد دارند که با افزایش شوری آب آبیاری، هدایت الکتریکی خاک به تدریج افزایش می‌یابد. این پژوهش‌گران مشاهده کردند که هدایت الکتریکی خاک در کرت‌های آبیاری شده با آب با شوری‌های ۴/۸ ، ۶/۶ و ۸/۹ دسی‌زیمنس برمتر به ترتیب ۵، ۸ و ۱۶ درصد افزایش یافت (رجب و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۱- تأثیر برهم‌کنش سطوح نیتروژن و شوری بر شوری خاک کینوا

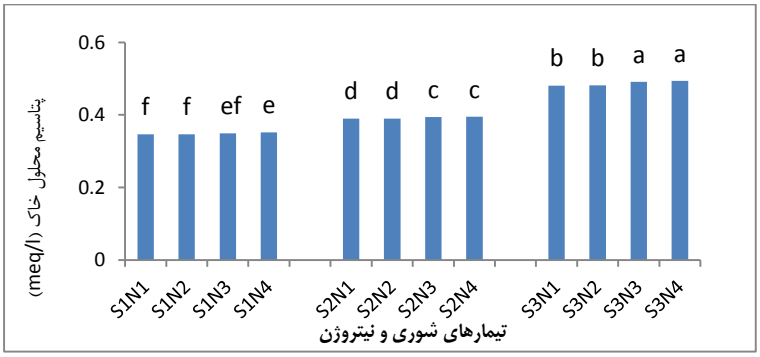
جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر سطوح نیتروژن و شوری بر غلظت عناصر خاک تحت کشت کینوا

منابع تغییر	درجه آزادی	EC	پتاسیم محلول	نیتروژن کل	کلر محلول	کلسیم+منیزیم محلول
بلوک	۲	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۰۰۱۰۳	۰/۰۰۰۰۰۲۵	۱۶/۲۴	۰/۰۲۸
شوری(S)	۲	۸۶/۱۷**	۰/۰۵۹**	۰/۰۰۰۰۲۲ **	۲۴۶۶/۵۵**	۷۸۰۴/۴**
خطای اول	۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۰۱۱۳	۰/۰۰۰۰۱۹	۵/۶۴	۰/۰۵۵
نیتروژن(N)	۳	۰/۰۴۱**	۰/۰۰۰۱۲۷**	۰/۰۰۰۰۱۷**	۰/۰۱ ns	۰/۱ *
S*N	۶	۰/۰۰۴**	۰/۰۰۰۰۱۸۴**	۰/۰۰۰۰۰۰۹ ns	۰/۰۱ns	۰/۰۶ ns
خطای کل	۱۷	۱۰/۱۴	۰/۰۰۷۰۸	۰/۰۰۰۰۲۹	۲۹۳/۴۲	۹۱۸/۳
CV%		۰/۰۳	۰/۴۱۷	۲/۹۵	۰/۱۱	۰/۴۸

**و * ،ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیرمعنی‌دار

پتاسیم محلول خاک

نتایج برهم‌کنش سطوح مختلف کود اوره و تیمار آبیاری نشان داد که بیشترین پتاسیم محلول خاک در تیمار آبیاری زهاب و دو سطح ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم کود اوره در هکتار بدون اختلاف معنی‌دار و کمترین میزان پتاسیم محلول خاک برای تیمار آبیاری کارون در تمام سطوح کود اوره بدون وجود اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است (شکل ۲). مقایسه فرآیند تثبیت یون‌های پتاسیم و آمونیم توسط کانی‌های رسی خاک‌های جنوب استان خوزستان نشان داد که مصرف زیاد آمونیم باعث آزادسازی پتاسیم گردید (پیشگر،۲۰۱۰). جعفری و باقرنژاد (۲۰۰۴) با بررسی تثبیت پتاسیم در سیستم‌های مختلف کشت در برخی از خاک‌ها و رس های خوزستان نشان داده‌اند که تثبیت پتاسیم در لایه سطحی خاک در اراضی که به طور مداوم تحت کشت نیشکر قرار داشته‌اند به مراتب بیشتر از اراضی بایر و یا اراضی که اصول تناوب زراعی در آن‌ها رعایت شده، بوده است. دلیل مقدار زیاد ظرفیت تثبیت پتاسیم در افق‌های سطحی خاک‌های تحت کشت نیشکر به تخلیه پتاسیم ازفضای بین لایه‌های کانی‌های رسی ایلایت در نتیجه کشت مداوم بوده است. به نظر می‌رسد افزایش نمک کلرید سدیم از طریق آب آبیاری به خاک، سدیم محلول در خاک افزایش یافته و در نتیجه جایگزین پتاسیم موجود در مکان‌های تبادلی شده و غلظت پتاسیم محلول در خاک افزایش پیدا کرده است.



شکل ۲- تأثیر برهم‌کنش سطوح نیتروژن و شوری بر پتاسیم محلول خاک کینوا

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده عامل سطوح مختلف نیتروژن وشوری بر غلظت عناصر خاک کینوا

تیمار	نیتروژن کل خاک (%)	کلر محلول (meq/lit)	کلسیم+منیزیم محلول (meq/lit)
سطوح اوره($kg\ ha^{-1}$)			
شاهد	۰/۰۳۷d	۳۷/۴۱ a	۴۵/۶۱b
۷۵	۰/۰۴۳c	۳۷/۳۲ a	۴۵/۷۱ ab
۱۵۰	۰/۰۴۶ a	۳۷/۳۵ a	۴۵/۸۳a
۲۲۵	۰/۰۴۶a	۳۷/۳۷ a	۴۵/۸۵a
LSD	۰/۰۰۱۳	۰/۱۱	۰/۲۱
شوری			
کارون	۰/۰۴۲b	۲۰/۷۰c	۲۴/۱۳ c
کارون - زهاب	۰/۰۴۲b	۳۵/۵۹b	۳۹/۲۸ b
زهاب	۰/۰۴۴a	۵۵/۸۱ a	۷۳/۸۸ a
LSD	۰/۰۰۱۶	۳/۳۱	۰/۸۴

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

نیتروژن خاک

افزایش مصرف کود اوره موجب افزایش میزان نیتروژن خاک شد (جدول ۴). در تیمار ۲۲۵ کیلوگرم کود اوره در هکتار مقداری از کود مصرف شده در انتهای فصل کشت در خاک باقی مانده است ولی قسمت اعظم آن به دلیل جذب گیاه و تلفات آبشویی، تصعید، نیترات‌زدایی از خاک خارج شده است. همچنین به علت بافت سنگین خاک، وزن مخصوص ظاهری بالا و کمبود ماده آلی خاک به تدریج در طول فصل کشت کینوا غلظت نیتروژن کل خاک کاهش یافت. ابوعمر و همکاران(۲۰۱۱) در بررسی تاثیر کود نیتروژن معدنی و مواد آلی بر میزان نیتروژن خاک در مزرعه تحت کشت کینوا نشان دادند با کاربرد بیشتر کود نیتروژن معدنی میزان نیتروژن خاک افزایش یافت و صرفه‌جویی در نیمی از کود نیتروژن معدنی و جایگزین کردن آن توسط کود آلی باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش هدررفت نیتروژن خاک شد. مقایسه میانگین اثر سطوح شوری آب آبیاری بر نیتروژن کل خاک نشان داد (جدول ۴) که با افزایش شوری آب آبیاری نیتروژن خاک تغییر معنی‌داری داشته است احتمالاً افزایش نیتروژن خاک تیمار آبیاری زهاب نسبت به آبیاری با آب کارون بدلیل وجود مواد مغذی حاصل از تغذیه گیاه نیشکر بخصوص نیتروژن در آب زهاب است

کلر خاک

بررسی نتایج مقایسه میانگین اثرسطوح شوری بر میزان کلر خاک تحت کشت کینوا نشان داد که با افزایش شوری مقدار کلر خاک نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد که شوری آب آبیاری موجب افزایش معنی‌دار در میزان کلر خاک شده است دلیلی این امر ناشی از کلر بالا در آب آبیاری زهاب مزارع نیشکر می‌باشد کلر بیشتر تمایل به واکنش با سدیم دارد و با افزایش شوری و سدیم آب آبیاری، کلر وارد محیط محلول می‌شود و افزایش کلر خاک را در پی دارد.از سوی دیگر با توجه به نوع خاک‌های منطقه نوع شوری خاک کلریدی است بنابراین هر نوع افزایش آب به خاک منجر به افزایش یون کلر می‌شود. آبیاری

با زهاب منجر به افزایش ۸۷ درصد میزان کلر خاک و آبیاری با تیمار کارون منجر به کاهش ۳۰ درصد میزان کلر خاک نسبت به شرایط اولیه خاک (میانگین وزنی کلر پروفیل خاک ۲۹/۷۹ میلی‌اکی والان بر لیتر) شد.

کلسیم و منیزیم خاک

با افزایش کاربرد کود اوره غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک افزایش یافت (جدول ۴). کود نیتروژن احتمالاً عامل اصلی برای افزایش غلظت کاتیون‌ها در خاک می‌باشد بر طبق نظر گندویس و همکاران (۲۰۱۱) و پرین و همکاران (۲۰۰۸) نیتریفیکاسیون کودهای نیتروژنه نقش اصلی در افزایش غلظت کلسیم و منیزیم محلول خاک دارد. با افزایش شوری غلظت کلسیم و منیزیم خاک نسبت به شاهد افزایش یافت(جدول ۴). در پایان فصل زراعی کینوا با افزایش میزان شوری آب آبیاری غلظت کلسیم و منیزیم خاک در تیمار آبیاری زهاب نسبت به آبیاری کارون ۲۰۰ درصد بیشتر گردید که دلیل این امر را می‌توان غلظت املاح ورودی آب آبیاری زهاب مزارع نیشکر به خاک دانست. میزان جذب کلسیم و منیزیم گیاه نسبت به کلسیم و منیزیم موجود در خاک بسیار کم است (تیسدل و همکاران، ۱۹۹۳). کانی‌های رسی خاک نیز با توجه به افزایش کاتیون‌های محلول در خاک، جذب بیشتری داشته اند. در این تحقیق با توجه به تبخیر و تعرق کم در دوره کشت کینوا و وجود زهکش زیرزمینی، آبشویی و شستشوی املاح با آب کارون به خوبی صورت گرفت. به طور کلی افزایش شوری آب آبیاری باعث افزایش غلظت عناصر شیمیایی خاک در انتهای سال زراعی کینوا شده است. مدیریت آبیاری با آب کارون تا مرحله‌ی جوانه‌زنی و پس از آن کاربرد آب زهاب به صورت یکدرمیان باعث کاهش میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول خاک شده است.

نتیجه‌گیری

استفاده اززهاب اراضی نیشکر جنوب استان خوزستان، باعث افزایش غلظت عناصرنیتروژن، پتاسیم و کلسیم و منیزیم محلول خاک نسبت به آب کارون گردید. به دلیل اینکه استفاده از تیمارهای زهاب باعث افزایش میزان نیتروژن خاک می‌گردد جهت حاصل-خیزی خاک تحت کشت کینوا می‌تواند مدنظر قرار گیرد و کاربرد زهاب باعث کاهش مصرف کود شیمیایی نیتروژن در کینوا خواهد گردید. هم چنین تیمار آبیاری یک در میان و آب کارون منجر به کاهش شوری خاک تحت کشت کینوا شدند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از دفتر پژوهش‌های کاربردی سازمان آب و برق خوزستان، دانشگاه شهید چمران اهواز و شرکت کشت و صنعت میرزا کوچک خان به واسطه حمایت‌های مالی قدردانی می‌نمایند.

منابع

Abou-Amer, A. I., & Kamel, A. S. 2011. Growth, yield and nitrogen utilization efficiency of quinoa (Chenopodium quinoa) under different rates and methods of nitrogen fertilization. Egypt. J. Agron, 33(2), 155-166.

Basra, S.M.A., Iqbal, S. & Afzal, I. 2014. Evaluating the response of nitrogen application on growth, development and yield of quinoa genotypes, International Journal of Agriculture and Biology, 16(5).

Cucci, G., Lacolla, G., & Rubino, P. 2013. Irrigation with saline-sodic water: Effects on soil chemical-physical properties. African Journal of Agricultural Research, 8(4), 358-365.

Durey, R.S. and M. Pessarakli. 1995. Physiological mechanism of nitrogen absorption and assimilation in plants under stress conditions. PP. 605- 625. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Physiology, Marcel Dekker Inc., New York.

Feizi, M., Farkhondeh, A., Mostafazadeh Fard, B.,Mousavi, S. F. (2011). Effect of Irrigation Water Quality on Cantaloupe Yield and Yield. *IranianJournal of Water Research in Agriculture(Formerly Soil and Water Science),* 24(2): 145-154.

Gandois L, Perrin AS, Probst A. 2011. Impact of nitrogenous fertiliserinduced proton release on cultivated soils with contrasting carbonate contents: a column experiment. Geochim Cosmochim Acta 75:1185–1198.

jafari, S. and Baghernegad, M. 2004. Investigation of wet effects of drying and cultivation systems on potassium fixation in some soils and clays of Khuzestan. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources. Isfahan University of Technology.75-90: (41). .(Translated in persion).
Khuzestan Water and Power Authoriy Company(Kwpa). 2011. Khuzestan province drainage management studies report.
Perrin AS, Probst A, Probst JL. 2008. Impact of nitrogenous fertilizers on carbonate dissolution in small agricultural catchments: implications for weathering CO2 uptake at regional and global scales. Geochim Cosmochim Acta 72:3105–3123.
peshger, M. 2010. Comparison of potassium and ammonium stabilization in lands with different uses. Master Thesis. Ramin University of Agriculture and Natural Resources, Khuzestan.(Translated in persion).
Ragab, A.A.M.M., F.A. Hellal, and M. Abd El-Hady. 2008. Irrigation water salinity effects on some soil water constants and plant. 12th International Water Technology Conference, Alexandria, Egypt.
Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D. and Havlin, J. L. (Eds.). 1993. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Company, New York, NY.

The effect of sugarcane drainage irrigation on soil chemical properties in southern Khuzestan

Payvand Papan[1], Abdoilamir Moezzi[2], Mostafa Chorom[3], Afrasyab Rahnama[4]

1. Ph.D Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Expert of KWPA.
2. Assistant Professor of Soil Science, Faculty of Soil Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahwaz. Iran.
3. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Soil Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahwaz. Iran.
4. Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agricultural Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz. Ahwaz. Iran

Corresponding Author Email: payvand_p2006@yahoo.com

Abstract

In order to investigate the effects of nitrogen application and irrigation by sugarcane fields on some soil characteristics under quinoa cultivation, a field experiment was conducted in the year 1397 in the form of split plots in a randomized complete block design with three replications. In this experiment, four levels of urea fertilizer (0, 75, 150, 225 kg / ha) as the main factor and three levels of irrigation water including control (Karun water with salinity of 2.5 dS / m) and one-in-one irrigation (Karun - Sugarcane drainage) and irrigation with sugarcane drainage (with salinity of 7.5 dS / m) were considered as sub-factors. The results showed that the interaction effect of the treatments on the mean soil salinity was statistically significant but no significant effect was observed on the concentration of nitrogen, chlorine, calcium and magnesium in the soil. The highest mean soil salinity, concentration of potassium, chlorine, calcium and magnesium of soil solution were observed in drainage irrigation treatment. Karun irrigation treatment decreased by 1.4 times and drainage irrigation increased soil salinity by 1.9 times at the end of the season compared to the beginning of the season. Quinoa cultivation was compared to Karun irrigation.
Keywords: Nitrogen, Quinoa, Potassium, Sugarcane drainage.

زهکشی نوین و تاثیر آن بر دبی و شوری زه‌آب در اراضی فاریاب با سطح ایستابی شور

علی مختاران[1]، عبدعلی ناصری[2] و حیدرعلی کشکولی[3]

۱-استادیار پژوهشی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.alimokhtaran@gmail.com

۲-استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز. ایران. abdalinaseri@yahoo.com

۳-استاد بازنشسته گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز. ایران. kashkulihda@gmail.com

چکیده

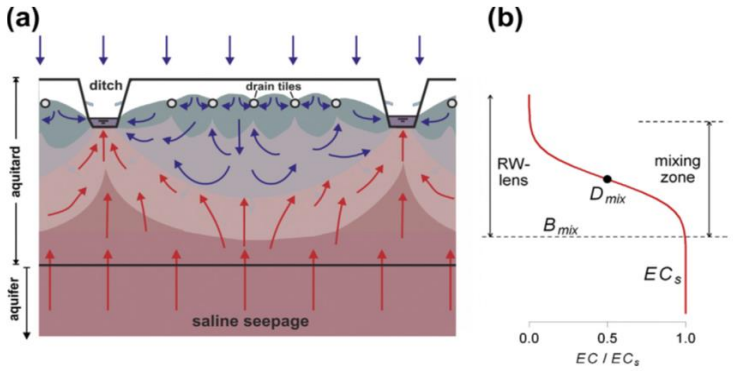
اراضی فاریاب در مناطق مرکزی و جنوبی استان خوزستان، زمین‌هایی با سطح ایستابی شور و کم عمق هستند که تلفات نفوذ عمقی آب به‌علت اختلاف چگالی به‌صورت شناور بر روی سفره آب زیرزمینی قرار می‌گیرند و منطقه اختلاط آب شور و شیرین را به وجود می‌آورند. در شرایط جدید زهکشی با کاهش عمق زهکش‌ها، مطالعه دینامیک منطقه اختلاط و تاثیر آن بر دبی و شوری زه‌آب اهمیت دارد. در این راستا تحقیقی در دو مزرعه کشت نیشکر با عمق‌های متوسط زهکشی۲ و ۱/۴متر در جنوب غرب خوزستان انجام شد. در این پژوهش هفت گروه پیزومتر در فواصل مختلف از جمع‌کننده زه‌آب و در اعماق مختلف سطح خاک(۰/۸تا ۵ متری) نصب شدند. نتایج نشان داد با شروع آبیاری سنگین، اختلاف بار هیدرولیکی بین لایه‌های پایین(۴ و۵ متری) نسبت به لایه‌های سطحی، هجوم عمودی آب شور به‌سمت بالا را برقرار می‌سازد. کاهش عمق زهکشی، باعث افزایش بار هیدرولیکی به‌میزان متوسط۱۲-۸ سانتی‌متر، افزایش ضخامت منطقه اختلاط تا ۱متر، کاهش اختلاف بار هیدرولیکی به‌میزان ۱۵سانتی‌متر بین لایه های پایین نسبت به لایه‌های سطحی، کاهش خط میانگین شوری به‌میزان ٪۸ و کاهش دبی زه‌آب شد. نتایج مشخص کرد که شوری زه‌آب علاوه بر شوری آب آبیاری تحت تاثیر شوری آب زیرزمینی، عمق زهکشی و موقعیت لایه محدودکننده است. همچنین با افزایش ضخامت منطقه اختلاط ناشی از کاهش بهینه عمق زهکشی، حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری به‌دلیل استفاده گیاه از این منطقه، کاهش می‌یابد.

واژهای کلیدی: زهکشی نوین، منطقه بینابین، لایه محدودکننده، غلظت املاح، پیزومتر

مقدمه

سامانه‌های زهکشی در مناطق خشک و نیمه خشک با آب زیرزمینی شور و کم عمق، با پایین نگه داشتن سطح ایستابی، از ورود آب و املاح زیرزمینی شور به عمق توسعه ریشه‌ها جلوگیری می‌کنند. اما امروزه در زمینه زهکشی نگرش‌های جدیدی مطرح گردیده است(اسدی کوپرچال و همکاران، ۱۳۹۲) از جمله کاهش دادن میزان زه‌آب خروجی از طریق کاهش عمق کارگذاری زهکش‌ها می‌باشد. در این نوع سامانه با بالا آوردن عمق زهکش‌ها و بالا نگه‌داشتن سطح سفره آب زیرزمینی در مجاورت عمق ریشه، صعود آب زیرزمینی به عمق ریشه و در نتیجه استفاده گیاه از آب زیرزمینی را ممکن می‌سازد. کیفیت این آب زیرزمینی در مناطق مرطوب مناسب و قابل استفاده گیاه می‌باشد(هاشمی‌نژاد و همکاران،۱۳۹۱) ولی در مناطق خشک به‌دلیل شور بودن آب زیرزمینی، اعمال این شیوه به‌منظور استفاده گیاه بدون اشکال نمی‌باشد. اراضی جنوبی جلگه خوزستان، زمین‌های شور و لم یزرع بودند که بعد از احداث سد بر روی رودخانه کارون و اجرای شبکه‌های آبیاری و زهکشی قابلیت احیاء شدن را پیدا کردند(نوذری، ۱۳۸۸). در این‌گونه اراضی، نفوذ عمقی پیوسته از تلفات آب در طول دوره آبیاری سنگین کشت‌های تابستانه مانند نیشکر و برنج، باعث شده که آب نسبتاً شیرین آبیاری در اعماق ۱ تا ۲ متری سطح زمین به‌علت اختلاف چگالی به‌صورت شناور بر روی سفره آب زیرزمینی

شور قرارگیرد و منطقه‌ای بینابین[۱] که در آن غلظت نمک بین حالت شور و شیرین قرار دارد به‌وجود آید(مختاران و همکاران،۱۳۹۲). توزیع شوری در این منطقه به‌علت پراکندگی[۲] املاح ناشی از آب آبیاری و تراوش روبه بالای آب شور زیرزمینی می‌باشد(De Louw et al, 2013)(شکل ۱).



شکل۱- مقطع (a) **شمایی از تشکیل عدسی[۳] با نفوذ آب آبیاری و یا باران و تراوش روبه بالای آب شور[۴]. مقطع**(b) **شکل عدسی، ضخامت عدسی[۵]، منطقه اختلاط[۶]،کف منطقه اختلاط**(B_{mix}) **و موقعیت میانگین منطقه اختلاط**(D_{mix})(De Louw et al , 2013)

درسال‌های اخیر در زمینه اختلاط قائم آب شور و شیرین و تشکیل منطقه بینابین تحقیقات بسیاری انجام شده است. (Vermue et al, 2010) در تحقیقی، دینامیک عدسی آب شیرین ناشی از باران در دو منطقه مختلف کشاورزی از کشور هلند را بررسی‌کردند. در این مطالعه تغییرات شوری نسبت به عمق را اندازه‌گیری کردند. آنها نشان دادند که این تغییرات درهرمحل نسبت به عمق، S شکل می‌باشد. (De Louw et al, 2011)در تعیین مشخصات و تغییرات مکانی عدسی‌های کم‌عمق آب باران در مناطق ساحلی هلند با اندازه‌گیری میدانی نشان دادند که اختلاف بار هیدرولیکی و چگالی، عامل شکل‌گیری عدسی‌های آب باران است. آنها نشان دادند که شار تراوش، عمق زهکشی و میزان تغذیه بر منطقه بینابین وعدسی تشکیل شده تأثیر دارد. همچنین (De Louw et al, 2013) با پژوهشی در قسمت جنوب غربی هلند نشان دادند که عدسی‌های آب باران و منطقه اختلاط در اثر تبخیر وتعرق و نفوذ آب باران به‌صورت روزانه در حال تغییر است و از حالت اشباع به غیراشباع و برعکس تبدیل می‌شوند. در دوره خشکی(تابستان)، ضخامت منطقه اختلاط کاسته شده وآب شور از پایین‌ترین لایه این منطقه در اثر خاصیت مویینگی وارد منطقه اختلاط شده و شوری افزایش یافته که باعث نفوذ به ناحیه ریشه می‌شود. (Oude Essink et al, 2010)در بررسی تغییرات عدسی‌های آب باران تشکیل شده بر روی آب شور زیرزمینی در جنوب غرب هلند با استفاده از اندازه‌گیری غلظت وتغییرات سطح آب دراعماق ۱، ۱/۳، ۱/۶، ۲، ۳ و۴ متری نشان دادند که عمق زهکش نقش مهمی در کنترل عدسی‌های آب شیرین داشته و نیمرخ تغییرات کلر نسبت به عمق توسط مدل ارائه شده با نتایج صحرایی تطابق خوبی داشته و عمق ناحیه اختلاط در۲ متری از سطح زمین اتفاق افتاد. (Pauw et al, 2015) در بررسی بالا آمدن عدسی‌های آب باران با استفاده از تغذیه مصنوعی همراه با زهکشی کنترل شده دراراضی کشاورزی هلند با اندازه‌گیری‌های صحرایی به‌مدت یک‌سال و شبیه‌سازی عددی نشان دادند

---

۱ - Transition zone

۲ - Dispersion

۳ -Lens

۴ -Saline seepage

۵-RW lens

۶ -Mixing zone

که عدسی‌های آب شیرین در اعماق ۱۵-۱۳ متر در عرض ۱۰ سال به ۸-۶ متر افزایش یافت. آنها بیان کردند که افزایش حجم عدسی‌های آب شیرین پس از ۱۰ سال حدود ۱۹۰،۰۰۰ مترمکعب درمنطقه‌ای به طول ۱۰۰۰ متر با ضخامت ۴۰ متر می‌باشد. این مقدار ۴۰٪ از کل تغذیه (تغذیه طبیعی و مصنوعی) خواهد بود. پناهی(۱۳۸۹) به‌منظور بررسی عوامل مختلف بر روی شوری زه‌آب در مناطق تحت آبیاری با آب زیرزمینی کم عمق و شور، در دو مزرعه از اراضی تحقیقاتی نیشکر واحد امیرکبیر در جنوب استان خوزستان، نشان داد که شوری آب زیرزمینی با افزایش عمق خاک روند صعودی داشته و نزدیکی شوری زه‌آب به‌شوری آب زیرزمینی درعمق‌های ۳/۵ تا ۴/۵ متری تأثیرگذاری جریان آب زیرزمینی را در این عمق بر روی جریان آب به طرف لاترال‌های زهکشی نشان می‌دهد. شکیبا و همکاران (۱۳۹۲)، درتحقیقی به‌منظور تعیین عمق اختلاط و بررسی عوامل مؤثر بر آن به‌عنوان پارامتر موثر بر شوری زه‌آب خروجی، از مدل فیزیکی استفاده کردند. آنها بیان کردند که عمق اختلاط قائم به‌صورت نوعی تابع خطی از بار هیدرولیکی است و در هنگام آبیاری افزایش بار هیدرولیکی سبب افزایش عمق اختلاط قائم می‌شود. در تحقیق حاضر به مطالعه دینامیک سطح آب زیرزمینی و نوسانات منطقه اختلاط قائم آب شور زیرزمینی و نسبتا شیرین آبیاری به‌عنوان عواملی موثر بر شوری زه‌آب خروجی با هدف بهبود کیفی زه‌آب در اراضی مرکز و جنوب غرب خوزستان پرداخته شده است. عواملی همچون فواصل آبیاری، عمق کارگذاری زهکش‌ها(به‌عنوان عامل موثر بر دبی خروجی زه‌آب)، نزدیک و دور بودن از لوله‌های فرعی زهکشی(لاترال‌ها)، بافت خاک، عمق لایه محدودکننده و عدسی‌های ماسه‌ای بر موقعیت، ضخامت و عمق منطقه اختلاط مورد تحلیل قرارگرفت و تاثیر آن بر دبی و شوری زه‌آب خروجی بررسی شد.

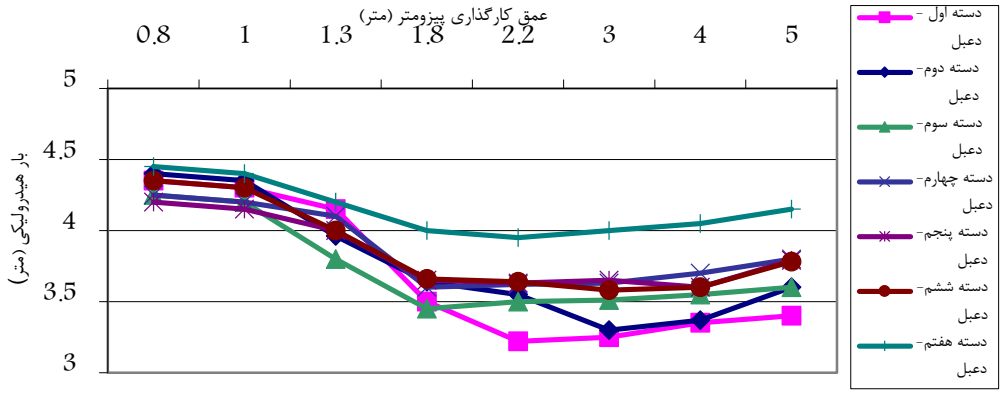
مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو مزرعهR9-11 وR8-7 که به‌ترتیب در واحدهای کشت وصنعت نیشکر دعبل خزاعی و سلمان فارسی در جنوب غرب خوزستان می‌باشند، اجرا شد. منبع تامین آب آبیاری، رودخانه کارون است. در مزرعه-R9 11 عمق نصب لوله‌های زهکش از ۱/۸ متری سطح زمین در ابتدا تا ۲/۲ متری در انتها متغیر است. این در حالی است که فاصله زهکش‌ها در این مزرعه ۶۵ متر بود. امّا در مزرعهR8-7، عمق نصب لوله‌های زهکش از۱/۲ متری سطح زمین تا ۱/۶ متری در انتهای مزرعه متغیر بود و فاصله زهکش‌ها در این مزرعه۴۲ متر است. در این تحقیق برای هر مزرعه هفت دسته پیزومتر احداث شد. هر دسته شامل هشت لوله پیزومتری بود که دراعماق ۰/۸، ۱، ۱/۳، ۱/۸، ۲/۲، ۳، ۴ و ۵ متری نسبت به سطح زمین بین دو لوله زهکش در فاصله‌های مشخص از جمع‌کننده زه‌آب، نصب شدند. دسته اول در فاصله ۵ متری، دسته‌های دوم تا هفتم به‌ترتیب درفاصله‌های۳۰ ، ۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ متری، از جمع‌کننده زه‌آب قرارگرفتند. لازم به‌ذکر است که در مزرعه R9-11 دعبل خزاعی پیزومترهای دسته‌های پنجم و ششم و در مزرعه R8-7 سلمان فارسی دسته‌های چهارم و ششم کنار لوله‌های زهکش در فاصله ۱/۵ متری از آنها نصب شدند. این مساله برای بررسی پایش غلظت املاح و بارهیدرولیکی در نزدیکی لاترال‌های زهکشی بود. این تحقیق برای کشت پلنت و در سه دوره آبیاری سنگین کشت نیشکر از فروردین تا مهرماه سال‌های ۱۳۹۲،۱۳۹۳و۱۳۹۶ انجام شد. در خوزستان مدت زمان آبیاری نیشکر برای اولین سال کشت (پلنت) ۱۴-۱۳ ماه و برای بازروئی(راتون) ۹-۸ ماه است. در هر دور آبیاری بسته به کیفیت آب کارون در آن سال و نیاز آبشویی، میزان حجم آب مصرفی متغیر است. این میزان بین ۱۵۰۰-۱۱۰۰ مترمکعب آب به ازای هر هکتار بود و در نتیجه حجم آب مصرفی در طول سال به طور متوسط تا ۳۲۵۰۰ مترمکعب در هر هکتار خواهد رسید. در طول دوره پژوهش برای هر دو مزرعه به‌صورت روزانه دبی و شوری زه‌آب خروجی از لوله‌های زهکشی اندازه‌گیری شد. همچنین تراز سطح آب درون لوله‌های پیزومتری در لایه‌های مختلف خاک برای تعیین بار هیدرولیکی، برداشت شد. در این پژوهش برای تعیین غلظت املاح، نمونه‌های آب آبیاری و آب زیرزمینی از

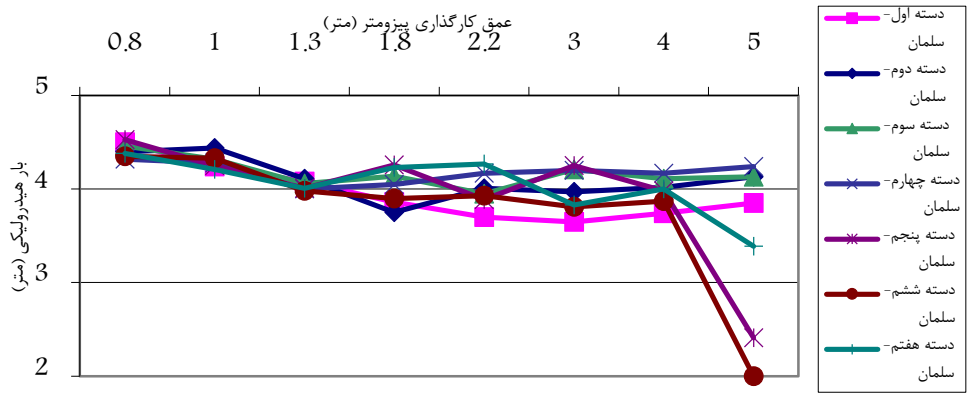
لوله های پیزومتری در زمان‌های پس از آبیاری، حد واسط دو آبیاری و یک روز قبل از آبیاری بعدی برای لایه‌های مختلف خاک تهیه شد.

نتایج و بحث

حداکثر میزان آب آبیاری ۱۵۰۰ مترمکعب در هرهکتار(۱۵۰ میلی‌متر) و در خردادماه بود. حداقل آن در فروردین و مهرماه به میزان ۱۲۰۰ مترمکعب در هر هکتار اندازه‌گیری شد. متوسط شوری آب آبیاری رودخانه کارون به‌عنوان منبع تامین آب ۲/۵ دسی‌زیمنس برمتر بود به‌طوری که حداکثر شوری درخردادماه به‌میزان متوسط ۲/۹۵ دسی‌زیمنس برمتر و حداقل آن در مردادماه با۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. در هر دو مزرعه با کاهش فواصل آبیاری و شروع آبیاری سنگین برای تمامی دسته‌ها هنگام آبیاری، افزایش تراز سطح آب و در فاصله بین آبیاری‌ها روند کاهش تراز آب برقرار بود. در شکل‌های(۲ و۳)، با در نظرگرفتن کف لایه محدود کننده به‌عنوان سطح مبنا، میانگین تغییرات بار هیدرولیکی در پیزومترهای هر دسته با توجه به عمق کارگذاری نشان داده شده است.



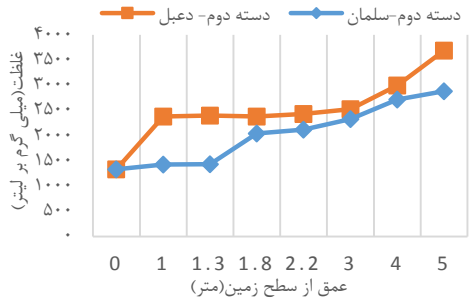
شکل ۲- میانگین بار هیدرولیکی دسته‌های پیزومتری در اعماق مختلف از سطح خاک در طول تحقیق- مزرعه R9-11



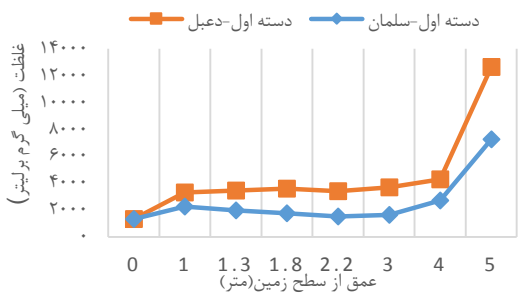
شکل۳- میانگین بارهیدرولیکی دسته‌های پیزومتری دراعماق مختلف از سطح خاک در طول تحقیق-مزرعه R8-7

در مزرعهR9-11 دعبل خزاعی(شکل ۲) برای دسته های اول و دوم (با فاصله‌های ۵ و ۳۰ متری از جمع کننده)، اختلاف بار هیدرولیکی به‌میزان ۲۰ سانتی‌متر بین پیزومترهای کارگذاری شده در عمق ۲/۲ متری به پایین نسبت به پیزومترهای بالایی برقرار بود. همچنین در دسته‌های سوم، چهارم، پنجم و ششم که از ۵۰ تا ۳۰۰ متر نسبت به جمع کننده فاصله داشتند، اختلاف بار هیدرولیکی به میزان ۲۰ سانتی‌متر تا عمق ۱/۸

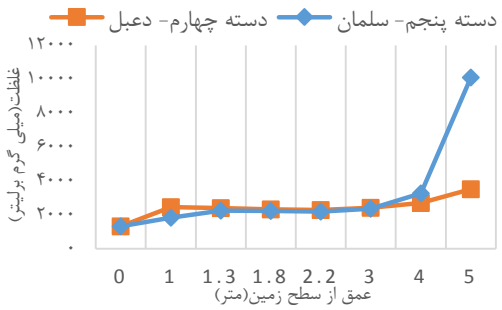
متری و برای دسته هفتم که در بالادست مزرعه قرار داشت به میزان ۱۰ سانتی‌متر و تا عمق ۱/۳ متری از سطح زمین بود. اختلاف بار هیدرولیکی باعث جریان عمودی و هجوم آب شـــور از لایه‌های پایین(حتی تا زیر لایه محدود کننده) به‌ســمت لایه‌های بالا شـد. این مساله باعث ایجاد عمق اختلاط در طی عملیات آبیاری سنگین شده و منطقه‌ای بینابین آب شور و شیرین را به‌وجود آورد. نوذری(۱۳۸۸) نشان داد که با افزایش بارهیدرولیکی ناشــی از افزایش عملیات آبیاری، عمق اختلاط افزایش یافته در نتیجه آب به‌سمت لایه‌های زیرین زهکش که دارای شوری بیشتری نسبت به لایه‌های رویی هستند، جریان پیدا کرده و باعث افزایش شوری زه‌آب خروجی از زهکش می‌شـود. در مزرعه R8-7 سلمان فارسی به‌دلیل کم عمق بودن لوله‌های زهکش، بالا آمدگی تراز سطح آب درتمامی دسته‌ها نسبت به مزرعه R9-11 نامحسوس بود(شکل ۲). دراین مزرعه اختلاف بارهیدرولیکی بین پیزومترها کمتر بود به‌طوری‌که در دسته های اول، دوم و سوم(با فاصله‌های ۵ ،۳۰ و ۵۰ متری از جمع‌کننده) اختلاف بار هیدرولیکی به‌میزان ۱۰ ســـانتی‌متر بین پیزومترهای کارگذاری شـــده در عمق ۲/۲ متری به پایین نســبت به پیزومترهای بالایی بود. درنتیجه جریان روبه بالای آب شـور ناشــی از اختلاف بار هیدرولیکی کمتر اتفاق افتاد. به‌همین دلیل می‌توان گفت یکی از راه‌های کاهش شوری زه‌آب‌ها، کم کردن عمق زهکش‌ها است. همچنین تغییرات غلظت املاح نسبت به عمق برای هر دسته در هر دو مزرعه تحقیقاتی در شکل (۴) آورده شده است. نقطه اول در هر شکل (عمق صفر) متوسط شوری آب آبیاری در طول دوره تحقیق است.



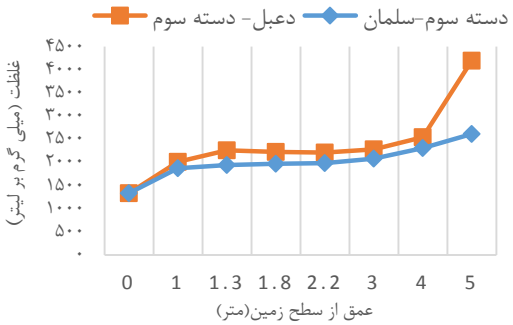
(b)



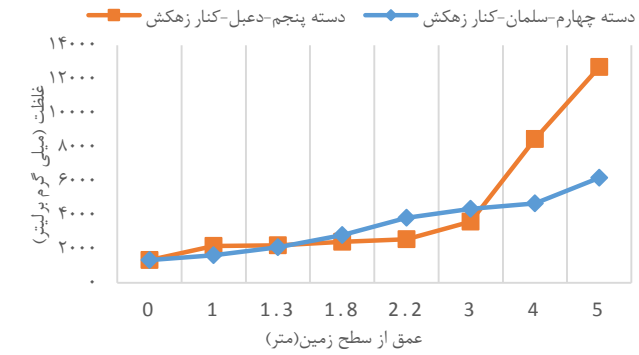
(a)



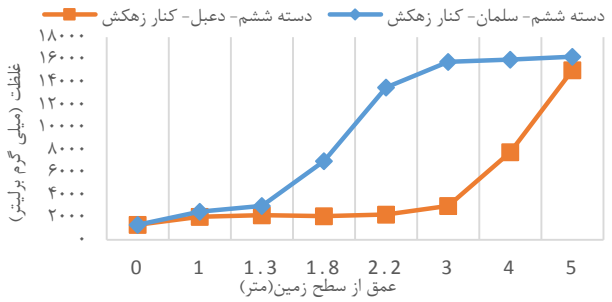
(d)



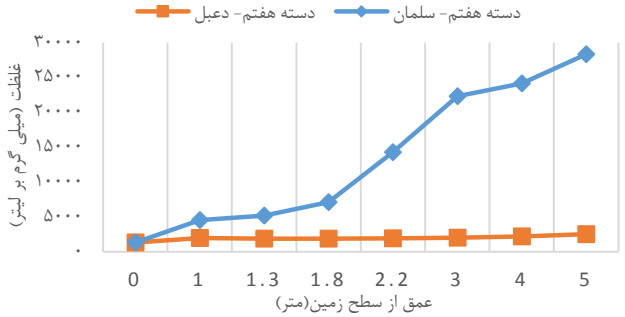
(c)



(e)



(f)



(g)

شکل۴- میانگین غلظت دسته‌های پیزومتری در عمق‌های مختلف از سطح خاک در دو مزرعه تحقیقاتی

با توجه به شکل(۴) میزان شوری در هر دو مزرعه برای تمامی دسته‌های پیزومتری با افزایش عمق از سطح زمین، افزایش داشت. این مهم به‌دلیل تجمع املاح ناشی از آب آبیاری تا نزدیکی لاترال‌های زهکشی و هجوم عمودی آب شور زیرزمینی از لایه‌های پایینی بود. میزان شوری با کاهش عمق نصب زهکش‌ها در مزرعهR8-7 سلمان فارسی نسبت به مزرعهR9-11 دعبل خزاعی کاهشی بود. کاهش شوری بین ۱۰ تا ۴۰ درصد با توجه به موقعیت دسته‌های پیزومتری و فاصله آنها از جمع‌کننده زه‌آب متغیر بود. این کاهش شوری در تمامی دسته‌ها بجز دسته‌های ششم و هفتم مزرعه سلمان فارسی نسبت به مزرعه دعبل خزاعی رخ داد. علت افزایش بسیار زیاد شوری در این دسته‌ها به‌علت وجود عدسی‌های ماسه‌ای بود(بخش‌های f&g از شکل۴). عدسی‌های ماسه‌ای باعث شد تا اختلاف بار هیدرولیکی بین لایه‌های پایین نسبت به لایه‌های سطحی برقرار نشده و در نتیجه آبیاری با آب نسبتا شیرین نتواند برکاهش شوری اثری داشته باشد. در هر دو مزرعه تحقیقاتی میزان شوری در عمق‌های مساوی برای دسته‌هایی که کنار زهکش جمع کننده زه‌آب و لوله‌های زهکش نصب شده بودند، نسبت به دسته‌های دیگر بیشتر بود. این افزایش شوری به‌دلیل اثر جریان شعاعی و نزدیک شدن خطوط جریان به‌طرف لوله‌های زهکش و در نتیجه کم‌شدن ضخامت منطقه اختلاط بود.

همچنین با دقت در شکل (۴) مشخص شد تغییرات شوری نسبت به عمق در هر دو مزرعه به‌دلیل ایجاد منطقه اختلاط آب شور و شیرین، شکلی S مانند به‌خود گرفت. نوسانات شوری زه‌آب در مزرعه R9-11 نشان داد که این تغییرات روند افزایشی نداشته و مشخص است که شوری آب زیرزمینی با شوری آب آبیاری به یک حالت تعادل رسیده است. این مساله به‌دلیل سال‌ها کشت نیشکر و عملیات آبیاری در این مزرعه بود(بیش از ۱۰ سال). اما در مزرعه R8-7 هرچند که لوله‌های زهکشی نسبت به مزرعهR9-11 در عمق کمتری کارگذاری شده بود اما به‌دلیل اولین سال کشت متوسط شوری زه‌آب خروجی از لاترال‌ها در مزرعهR8-7 (۶/۸۰ دسی‌زیمنس برمتر) نسبت به مزرعه R9-11 (۶/۴۲ دسی‌زیمنس برمتر) کمی بیشتر بود. انتظار می‌رود با افزایش آبیاری در سال‌های آینده و پایین آمدن شوری در بالادست مزرعه، میزان شوری زه‌آب خروجی در این مزرعه کاهش یابد. با اندازه‌گیری روزانه دبی زه‌آب از لوله‌های زهکشی، مشاهده شد که تغییرات دبی زه‌آب خروجی در مزرعه R8-7 بسیار کمتر از مزرعه R9-11 بود به‌طوری‌که میزان متوسط زه‌آب از لوله زهکشی در مزرعهR8-7 ، ۳/۳ میلی‌متر بر روز و این میزان برای مزرعهR9-11، ۱۰ میلی‌متر بر روز بود. این مساله تاثیر بسیار زیاد آب زیرزمینی، عمق کارگذاری لاترال‌های زهکشی و موقعیت لایه محدودکننده بر زه‌آب خروجی را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به مطالعه دینامیک سطح آب زیرزمینی و نوسانات منطقه اختلاط(بینابین) آب شور زیرزمینی و نسبتا شیرین آبیاری به‌عنوان عواملی موثر بر دبی و شوری زه‌آب در اراضی مرکزی و جنوبی خوزستان پرداخته شد. این تحقیق در دو مزرعه کشت نیشکر با عمق‌های متوسط زهکشی۲ و ۱/۴ متر طراحی و اجرا شد. در هر دو مزرعه با شروع عملیات آبیاری، بار هیدرولیکی افزایش یافت و اختلاف بار هیدرولیکی باعث هجوم آب شور از لایه‌های پایین به‌سمت بالا و در نتیجه افزایش عمق اختلاط شد و منطقه‌ای بینابین آب شور و شیرین را به‌وجود آورد. در این تحقیق میزان شوری با کاهش عمق نصب زهکش‌ها روندی کاهشی داشت. کاهش شوری بین۱۰ تا۴۰ درصد با توجه به موقعیت دسته‌های پیزومتری و فاصله آنها از جمع‌کننده زه‌آب متغیر بود. وجود عدسی‌های ماسه‌ای باعث افزایش شوری نسبت به عمق از سطح زمین حتی با وجود کاهش عمق کارگذاری زهکش‌ها بود. در هر دو مزرعه میزان شوری در عمق‌های مساوی برای دسته‌هایی که کنار زهکش جمع کننده زه‌آب و لوله‌های زهکش نصب شده بودند، نسبت به دسته‌های دیگر بیشتر بود. این مسئله به‌دلیل اثر جریان شعاعی در نزدیک لوله‌های زهکش و درنتیجه کم‌شدن ضخامت منطقه اختلاط(بینابین) بود. با کاهش عمق کارگذاری زهکش‌ها، ضخامت منطقه اختلاط به اندازه ۱ متر افزایش و میانگین شوری در این منطقه تا ۸ درصد کاهش یافت. با اندازه‌گیری شوری زه‌آب خروجی در هر دو مزرعه تحقیقاتی، تأثیر مستقیم آبیاری بر فرآیند شوری زه‌آب مشاهده شد. با افزایش آبیاری میزان شوری زه‌آب افزایش یافت و این مساله به‌دلیل افزایش عمق اختلاط بود. دبی زه‌آب خروجی از لاترال‌ها در مزرعه‌ای با عمق متوسط زهکشی ۲ متر نزدیک به ۳۰۰ درصد بیشتر از مزرعه ای با عمق متوسط زهکشی ۱/۴ متر بود. این مساله تاثیر بسیار زیاد آب زیرزمینی، عمق کارگذاری لاترال‌های زهکشی و موقعیت لایه محدودکننده بر زه‌آب را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش ضخامت منطقه اختلاط(بینابین) آب شیرین آبیاری و آب شور زیرزمینی ناشی از کاهش بهینه عمق زهکشی، حجم آب مصرفی در هر دور آبیاری به‌دلیل استفاده گیاه از این منطقه، کاهش می‌یابد. همچنین کاهش حجم و شوری زهاب خروجی ناشی از بهینه کردن عمق زهکشی عاملی موثر برای حفاظت منابع آب و خاک پایین دست خواهد بود.

مراجع

اسدی کپورچال، ص.، پذیرا، ا. و همایی، م . ۱۳۹۱. مدل‌سازی آب آبشویی مورد نیاز برای بهسازی خاک های شور. مجله حفاظت منابع آب و خاک،۲(۲):۸۴-۶۵.

پناهی، م. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر شوری آب زیرزمینی و آب آبیاری بر روی شوری آب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز ،۱۱۶ صفحه.

شکیبا، م.، لیاقت، ع. و میرزایی، ف. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر عمق اختلاط بر کیفیت زه‌آب خروجی از زهکش در اراضی با آب زیرزمینی کم عمق و شور. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۷ (۲): ۲۷۹- ۲۶۷.

مختاران، ع.، ناصری، ع.ع. و کشکولی، ح.ع. ۱۳۹۲. تعیین ضخامت فصل مشترک آب شور- شیرین در اراضی تحت آبیاری و آب زیرزمینی شور و کم عمق. دوازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران: دانشگاه تهران. ۸-۷ آبان.

نوذری، ح. ۱۳۸۸. مدیریت شوری و بهره‌برداری از زه‌آب کشاورزی با استفاده از تحلیل پویایی سیستم. پایان نامه دکتری، رشته هیدرولوژی و مدیریت منابع آب، دانشکده آب و خاک گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران،۱۳۶ صفحه.

هاشمی نژاد، ی.، غلامی، م. و سلطانی، و. ۱۳۹۱. بهینه سازی مصرف آب از طریق کنترل دقیق شوری خاک در شرایط ماندگار. مجله حفاظت منابع آب و خاک، ۱(۳):۶۸-۵۹.

De Louw, P.G.B., Eeman., S. and Oude Essink, G.H.P. 2011. Shallow rainwater lenses in deltaic areas with saline seepage. Hydrologe and Earth System Sciences Discussions., 8: 7657- 7707.

De Louw, P.G.B., Eeman., S., Oude Essink, G.H.P., Vermue, E. and Post, V.E.A. 2013. Rainwater lens dynamics and mixing between infiltrating rainwater and upward saline groundwater seepage beneath a tile-drained agricultural field. Hydrogeology Journal: 501(2013)133-145.

Oude Essink, G.H.P., Baaren, E.S. and De louw. P. G. B. 2010. Effects of climate change on coastal groundwater systems: A modeling study in the Netherlands. Water Resource research, 46:

Pauw, P.S., van Baaren, E.S., Visser, M., Delouw, P.G.B. and Oude Essink, G.H.P. 2015. Increasing a freshwater lens below a creek ridge using a controlled artificial recharge and drainage system: a case study in the Netherlands. Hydrogeology Journal: DOI 10.1007/s10040-015-1264-z.

Vermue, E., Delouw, P.G.B., Eeman, S., Oude Essink, G.H.P. and Vanderzee. S.E.T. 2010. Experimental evidence of rainwater lens dynamics in natural and agro-ecosystems in the Scheldt river region. Salt water Intrusion Meeting Azores, Portugal.

New Drainage and Its Effect on Drainage Water Discharge and Salinity in Faryab lands with saline water table

A. mokhtaran[1], A.A. Naseri[2], H.A. Kashkoli[3]

1-Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran.alimokhtaran@gmail.com

2-Professor of Irrigation and Drainage Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran. abdalinaseri@yahoo.com

3-Retired Professor of irrigation and drainage Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran. kashkulihda@gmail.com

Abstract:

Faryab lands in the central and southern regions of Khuzestan province are areas with saline and shallow water table where the losses of deep water infiltration due to the difference in density are floating on the groundwater aquifer and create a zone of mixing saline and fresh water. In the new drainage conditions, by reducing the depth of drains, it is important to study the dynamics of the mixing area and its effect on the drainage water discharge and salinity. In this regard, a study was conducted in two sugarcane farms with average drainage depths of 2 and 1.4 meters in southwestern Khuzestan. In this study, seven groups of piezometers was installed at different distances from the drainage collector and at different depths of the soil surface (0.8 to 5 meters). The results showed that with the onset of heavy irrigation, the difference in hydraulic load between the lower layers (4 and 5 m) compared to the surface layers, establishes the vertical influx of saline water upwards. Reducing the drainage depth increased the hydraulic load by an average of

8-12 cm, increased the thickness of the mixing zone up to 1 m, reduced the hydraulic load difference by 15 cm between the lower layers compared to the surface layers, reduced the average salinity line by 8% and reduced the drainage water discharge. The results showed that in addition to the salinity of irrigation water, the salinity of drainage water is affected by the salinity of groundwater, drainage depth and the position of the limiting layer. Also, with increasing the thickness of the mixing area due to the optimal reduction of drainage depth, the volume of water consumed in each irrigation cycle decreases due to plant use of this area.

Keywords: New drainage, Transition zone, impermeable layer, concentration of salts, piezometer

اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری طی دوره رشد بر عملکرد برنج رقم هیبرید

راضیه طلوعی نسب [۱*]، صفورا اسدی کپورچال[۲]، حسن رمضان‌پور [۳]، مجتبی رضایی [۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
raziehtoloueinasab@gmail.com

۲- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۴- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

چکیده

شوری منابع آب و خاک یکی از مشکلات برنج‌کاران در بخش‌هایی از استان گیلان به‌خاطر نزدیکی با دریای خزر است که سبب کاهش عملکرد برنج می‌شود. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری طی دوره رشد بر عملکرد برنج رقم هیبرید آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. فاکتور اول شوری آب آبیاری در چهار سطح ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر و فاکتور دوم زمان اعمال شوری بوده که در مراحل پنجه‌زنی، تشکیل خوشه، ظهور خوشه و رسیدگی اعمال شد. نتایج نشان داد تأثیر سطوح مختلف شوری و مرحله اعمال آن بر عملکرد برنج در سطح یک درصد معنی‌دار بود. مقدار عملکرد در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در مراحل رسیدگی و ظهور خوشه اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. بیشترین کاهش عملکرد در تیمارهای شوری مراحل اولیه رشد اتفاق افتاد. افت نسبی عملکرد تیمارهای شوری نسبت به شاهد در مرحله پنجه‌زنی به‌ترتیب ۴۸، ۵۸، ۷۶ و ۹۱ درصد و در مرحله تشکیل خوشه به‌ترتیب ۳۲، ۶۰، ۸۳ و ۹۵ درصد بود. جهت مدیریت بهینه آب‌های با کیفیت بهتر، می‌توان آب با کیفیت پائین‌تر را در مراحل انتهایی رشد استفاده کرد تا از کاهش عملکرد دانه برنج تا حدی جلوگیری شود.

واژگان کلیدی: پنجه‌زنی، رقم هیبرید، شوری، عملکرد

مقدمه

شوری منابع آب و خاک مشکلات زیادی در بخش‌های وسیعی از اراضی کشاورزی جهان را به‌دنبال داشته است. در ایران نیز خشکسالی‌های اخیر سبب کمبود منابع آب شده است. بخش‌هایی از استان گیلان نیز به‌سبب نزدیکی با آب دریای خزر با مشکل شوری منابع آب و خاک مواجه شده‌اند. برنج کشت غالب استان گیلان بوده و گیاهی حساس به شوری است به‌گونه‌ای که شوری منابع آب و خاک سبب کاهش عملکرد، تعداد خوشه، وزن دانه در خوشه و شاخص برداشت می‌شود (Kiani, 2006). پتانسیل اسمزی ناشی از وجود یون‌های موجود در آب سبب کاهش سطح برگ و تبخیر-تعرق و در نتیجه کاهش قابلیت استفاده گیاه از آب می‌شود. صرف‌نظر از منبع شوری آب آبیاری، شوری در دوره رشد رویشی تأخیر در گلدهی و رسیدگی و کاهش تعداد پنجه و بیوماس سطح برگ و در دوره رشد زایشی کاهش تعداد خوشچه پر شده، خوشه بارور، وزن صد دانه را سبب می‌شود (اسدی و همکاران، ۱۳۸۸).

بر اساس نتایج Mass and Hoffman, (1997) تا هدایت الکتریکی آستانه، کاهش محصول برنج صفر و پس از آن معادله افت عملکرد نسبی به ازای افزایش هر واحد شوری یا هدایت الکتریکی عصاره اشباع منطقه ریشه از نوع خطی درجه یک است. نتایج تحقیق Steppuhn *et al*. (2005) نشان داد که روند تغییرات عملکرد نسبی ارقام مختلف برنج به ازای تغییرات شوری غیر خطی است.

نخستین بررسی‌ها برای مطالعه تحمل به تنش شوری در برنج از سال ۱۹۷۵ در مؤسسه بین‌المللی تحقیقات برنج انجام شد (Singh *et al*., 2001). از جمله مطالعات انجام شده پیرامون بررسی اثر شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج می‌توان به مطالعات Sultana *et al*. (1999)، Asch *et al*. (2000)، Zeng and Shannon, (2000) و Castillo *et al*. (2007) اشاره کرد. در ایران نیز مطالعاتی پیرامون اثر شوری بر گیاه پژوهش انجام شده است. نتایج پژوهش فلاح و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که مصرف آب شور با هدایت الکتریکی ۶ دسی‌زیمنس بر متر و بیشتر سبب کاهش رشد گیاه برنج رقم PSBRC88 شد. در پژوهش دیگری واکنش رشد رویشی ده رقم برنج به نام‌های طارم، کادوس، شفق، تابش، خزر، فجر، ندا، نعمت، ساحل و هراز به تنش شوری بررسی شد. نتایج نشان داد که شوری، رقم و اثر متقابل آنها بر کلیه پارامترهای مورد بررسی از جمله تعداد ساقه در بوته، ارتفاع بوته، وزن خشک بوته و عملکرد معنی‌دار بود و اختلاف ارقام مقاوم و حساس به شوری در سطح شوری آب آبیاری ۸ دسی‌زمنس بر متر بسیار زیاد شد (قربانی و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج پژوهشی که بر روی چهار رقم IR58443-6B-10-3، IR54447-3B-10-2، اصلاح شده گیل و بومی دم‌سیاه انجام شد نشان داد که اثر شوری، رقم و اثر متقابل آنها بر اجزای عملکرد معنی‌دار بود (بیابانی و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به بحران آب و اهمیت مشکل شوری برای بسیاری از نقاط تحت کشت برنج در کشور و استفاده از آب‌های نسبتا شور در آنها پژوهش حاضر با هدف تخمین عملکرد برنج رقم هیبرید در شوری‌های متفاوت آب آبیاری در مراحل مختلف رشد و نیز دستیابی به بهترین زمان کاربرد آب شور با حداقل افت عملکرد انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر برای بررسی اثر سطوح مختلف شوری آب آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد گیاه برنج رقم هیبرید انجام شد. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. فاکتور اول شوری آب آبیاری در چهار سطح ۲، ۴، ۶ و ۸ دسی‌زیمنس بر متر با استفاده از NaCl و $CaSO_4$ با نسبت (۱:۲) و فاکتور دوم زمان اعمال شوری بوده که در ۴ مرحله پنجه‌زنی، تشکیل خوشه، ظهور خوشه و رسیدگی اعمال شد. تیمار شاهد نیز با سه تکرار جهت مقایسه در نظر گرفته شد. بستر کشت گلدان‌هایی با ارتفاع و قطر ۲۵ سانتی‌متر بوده که پس از پر شدن با خاک منطقه در هر گلدان ۳ نشاء کشت شد. در هفته ابتدایی کشت، گلدان‌ها با آب معمولی آبیاری شدند و سپس اعمال تیمارهای شوری بصورت غرقاب دائم به ارتفاع ۵ سانتی متر آغاز شد. پس از پایان هر مرحله رشد و اعمال تیمارهای شوری، آبشویی با آب معمولی و در ادامه آبیاری با آب معمولی انجام شد. پس از طی دوره رشد برای بررسی عملکرد برنج رقم هیبرید اندام هوایی گیاه برداشت و پارامترهای گیاهی اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون توکی در محیط نرم افزار SPSS و رسم نمودارها در محیط اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

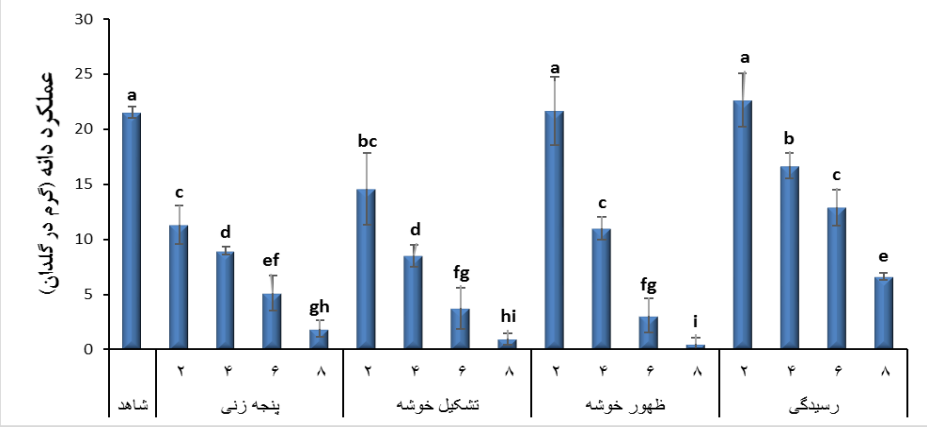
فاکتورهای اعمال شده در این پژوهش سطوح مختلف شوری آب آبیاری و زمان اعمال شوری بوده و نتایج حاصل از تجزیه واریانس آنها بر عملکرد رقم هیبرید در جدول ۱ ارائه شده است. طبق نتایج به دست آمده اثر ساده و متقابل سطوح مختلف شوری و مرحله اعمال آن بر عملکرد برنج رقم هیبرید معنی‌دار بوده ($P<0.01$) و مراحل مختلف رشد حساسیت‌های مختلفی داشتند. کاهش عملکرد با اعمال تیمارهای شوری توسط محققان زیادی از جمله فلاح و همکاران (۱۳۹۴)، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۵)، طلوعی نسب و همکاران (۱۳۹۹)، Hasanuzzaman *et al.* (2009) گزارش شده که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

جدول۱- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد برنج رقم هیبرید

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P-value
مرحله اعمال شوری	۳	۴۹۱/۹۰۵	۱۶۳/۹۶۸ **	۶۱/۹۵۷	۰/۰۰۰
سطح شوری	۳	۱۵۲۶/۳۹۱	۵۰۸/۷۹۷ **	۱۹۲/۲۵۵	۰/۰۰۰
مرحله × سطح شوری	۹	۱۶۲/۵۴۶	۱۸/۰۶۱ **	۶/۸۲۴	۰/۰۰۰
خطا	۳۴	۸۹/۹۸۰	۲/۶۴۶		
کل	۵۱	۷۸۹۴/۰۲۷			

ns، * و **، به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار درسطح ۵ درصد و معنی‌دار درسطح ۱ درصد

شکل ۱ نتایج اثر برهمکنش سطوح مختلف شوری و مرحله اعمال شوری بر عملکرد رقم هیبرید را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده عملکرد دانه با اعمال شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در مراحل ظهور خوشه و رسیدگی تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشته در حالیکه در مراحل پنجه زنی و تشکیل خوشه اختلاف معنی‌داری نسبت به شاهد دارد. به بیان دیگر برای رقم مورد مطالعه حساس‌ترین مرحله به اعمال شوری مرحله پنجه‌زنی و تشکیل خوشه و مقاوم‌ترین مراحل مرحله رسیدگی و ظهور خوشه است که با نتایج طلوعی نسب و همکاران (۱۳۹۹) بر روی رقم درفک و ابراهیمی راد و همکاران (۱۳۹۵) بر روی رقم هاشمی همخوانی دارد. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود برای هر یک از مراحل اعمال شوری اختلاف عملکرد در سطوح مختلف شوری نیز معنی‌دار بوده به‌طوریکه با افزایش سطح شوری عملکرد کاهش معنی‌داری داشته است.

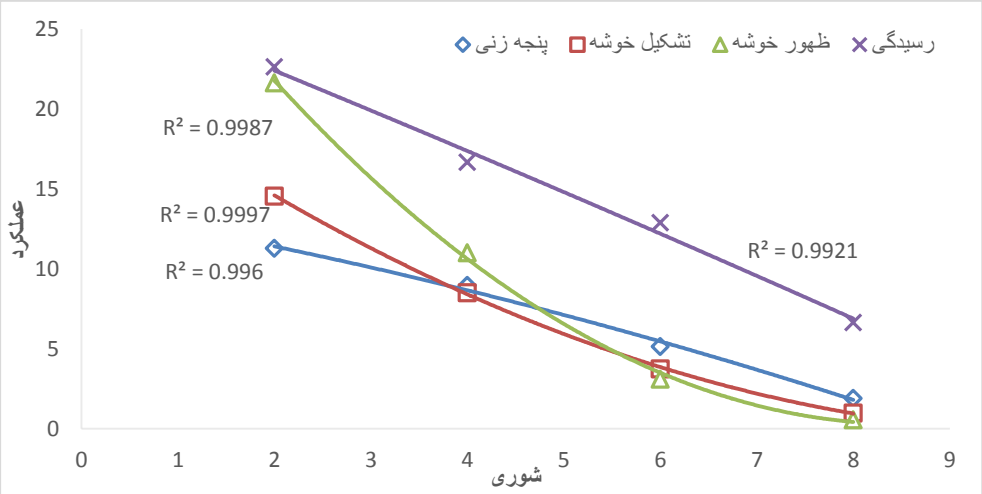


شکل ۱ - اثر برهمکنش سطوح مختلف شوری و مرحله اعمال شوری بر عملکرد دانه برنج در (حروف مشترک بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد است)

معادله تغییرات عملکرد در سطوح مختلف شوری در هر مرحله از رشد از نوع دوم بوده و همبستگی بسیار بالایی دارد که این معادلات در جدول ۲ و روند این تغییرات در شکل ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- معادلات تغییرات عملکرد رقم هیبرید در مراحل مختلف رشد با شوری‌های متفاوت

زمان کاربرد آب شور	معادله	R^2
مرحله پنجه زنی	$Y=-0.0569X^2-1.0318X+13.69$	0.996
مرحله تشکیل خوشه	$Y=0.2056X^2-4.332X+22.46$	0.999
مرحله ظهور خوشه	$Y=0.505X^2-8.61X+36.97$	0.998
مرحله رسیدگی	$Y=-0.0175X^2-2.413X+27.30$	0.992



شکل ۲- تغییرات عملکرد در سطوح مختلف شوری طی دوره رشد

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش هرچند تیمار شاهد (آبیاری با آب معمولی) بالاترین میزان عملکرد را داشته لیکن، میزان عملکرد در شوری ۲ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله رسیدگی و ظهور خوشه نیز اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت. بیشترین کاهش عملکرد در تیمارهای شوری اعمال شده در مراحل اولیه رشد اتفاق افتاد. در مجموع می‌توان گفت رقم هیبرید در مرحله رشد رویشی و ابتدای رشد زایشی بیشترین حساسیت و در مرحله ظهور خوشه و رسیدگی حساسیت کمتری به شوری آب آبیاری دارد. افت نسبی عملکرد تیمارهای شوری نسبت به شاهد در مرحله پنجه‌زنی به‌ترتیب ۴۸، ۵۸، ۷۶ و ۹۱ درصد و در مرحله تشکیل خوشه به‌ترتیب ۳۲، ۶۰، ۸۳ و ۹۵ درصد بود. در نهایت پیشنهاد می‌شود جهت مدیریت بهینه آب‌های با کیفیت بهتر، آب با کیفیت پائین‌تر در مراحل انتهائی رشد برنج استفاده شود تا علاوه‌بر صرفه‌جویی در مصرف آب شیرین از کاهش معنی‌دار عملکرد دانه برنج رقم مورد مطالعه نیز تا حدی جلوگیری شود.

فهرست منابع

ابراهیمی راد، ح.، بابازاده، ح.، رضایی، م. و امیری، ا. (۱۳۹۵). مدل‌سازی واکنش گیاه برنج رقم هاشمی به تغییرات شوری آب آبیاری در طول دوره رشد . نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۱): ۱۷۶-۱۶۸.

اسدی، ر. رضایی، م. امیری، ا. (۱۳۸۸). تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام اصلاح شده برنج. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی، ۱(۳): ۳۷-۲۴.

بیابانی، ع.، ح. صبوری و ع. نخزری مقدم. (۱۳۹۱). مطالعه اجزا عملکرد ارقام برنج تحت تنش شوری. مجله پژوهش‌های تولید گیاهی، ۱۹(۴): ۱۸۶-۱۷۳.

طلوعی نسب، ر. اسدی کپورچال، ص. رمضان‌پور، ح. و رضایی، م. (۱۳۹۹). تأثیر شوری آب آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد برنج رقم درفک. دومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست محیطی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری. ۶-۱.

فلاح، ا.، فرهمندفر، ا و مرادی، ف. (۱۳۹۴). تأثیر تنش شوری در مراحل مختلف رشد بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی دو رقم برنج در شرایط گلخانه. نشریه زراعت، ۲۸(۱۰۷): ۱۸۲-۱۷۵.

قربانی، م. ح.، ر. ا حسینی و م. زاهد. (۱۳۸۶). واکنش رشد رویشی ده رقم برنج به تنش شوری. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۴(۳): ۸۵-۷۸.

Asch, F., M. Dingkuhn and K. Dorffling. (2000). Salinity increases CO2 assimilation but reduces growth in field-grown irrigated rice. *Plant and Soil*, 218(1-2): 1-10.

Castillo, E.G., Phuc, T. Abdelbaghi, M.A. and Kazuyuki, I. (2007). Response to salinity in rice: Comparative effects of osmotic and ionic stress. *Plant Production Science*, 10(2): 159-170.

Hasanuzzaman, M. Fujita, M. Islam, M. Ahamed, KU. And Nahar, K. (2009). Performance of four irrigated rice varieties under different levels of salinity stress. *International Journal of Integrative Biology*, 6 (2): 85-90.

Kiani, R., Homaei, M and Latifi, M. (2006). Evaluation of water yield decrease in simultaneous condition of salinity and water scarcity. *Journal of water and soil science*, 20 (1): 73-83.

Mass,E.V and Hoffman,G.J. (1997). Crop salt tolerance current assessment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 103:115-134.

Singh, R.K, Gregorio, G.B. Javier, E.I. and Toledo, M.C. (2001). International rice soil stress tolerance observational nursery revisited from 1975-2000.

Steppuhn,H., Van Genuchten,M.Th and Grieve,C.M. (2005). Root-Zoon salinity:I. Selcting a product-Yield Index and Response Function for crop Tolerance. *Published in crop Science*, 45: 209-220

Sultana, N., Ikeda, T. and Itoh, R. (1999). Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany*, 42: 211-220.

Zeng, L. and Shannon, M.C. (2000). Effects of salinity on grain yield and yield components of rice at different seeding densities. *Agronomy Journal*, 92(3): 418-423.

Effect of different salinity levels of irrigation water during grow period on yield of rice, cultivar Hibrid

Razieh Tolouinasab[1*], Safoora Asadi Kapourchal[2], Hassan Ramezanpour[3] and Mojtaba Rezaei[4]

[1]MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. raziehtoloueinasab@gmail.com
[2]Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran.
[3] Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran.
[4]Research Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

Abstract
Salinity of water and soil resources is one of the problems of rice growers in some parts of Gilan province due to its proximity to the Caspian Sea, which reduces rice yield. In order to investigate the effect of different salinity levels of irrigation water during the grow period on yield of rice, cultivar Hibrid, a factorial experiment based on completely randomized design was conducted with 2 factors and 3 replications at the Rice Research Institute of Iran. The first factor was salinity including 4 levels of 2, 4, 6 and 8 dS/m and the second factor was the time of salinity application at different stages of tillering, panicle forming, heading and ripening. The results showed that effect of different levels of salinity and the time of salinity application was significant at 1% level, on yield. Also, there was no significant difference between the control treatment and 2 dS/m treatment in ripening and heading stages. The most yield reduction occurred in salinity treatments in the primary stages of growth. The yield relative decrease in salinity treatments compared to the control in the tillering stage was 48%, 58%, 76% and 91%, respectively, and in the panicle forming stage was 32%, 60%, 83% and 95%, respectively. For optimal management of good quality water, lower quality water can be used in the final stages of growth to prevent a reduction in rice grain yield.

Keywords: Hibrid, Salinity, Tillering, Yield

ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای کشت آبی محصولات باغی خرما و عناب در منطقه لیگ، استان ایلام

محمود رستمی‌نیا[۱]، علی چابک، علی فاضلی[۳]، اصغر رحمانی[۴]، سیدروح اله موسوی[۴]

۱- استادیار گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام (m.rostaminya@Ilam.ac.ir)

۲- کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

۳- کارشناس ارشد خاکشناسی و کارشناس سازمان جهاد کشاورزی استان ایلام

۴- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تهران

چکیده

هدف از این پژوهش تهیه نقشه تناسب اراضی دشت لیگ در استان ایلام برای کشت دو محصول خرما و عناب آبی با مساحت ۱۴۳ هکتار از اراضی می‌باشد. جهت نیل به این هدف ۱۱ خاکرخ مشاهداتی حفر، تشریح، نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن‌ها در آزمایشگاه تعیین و و در نهایت سه عدد از آنها به عنوان خاکرخ شاهد انتخاب شدند. نتایج تجزیه خاک‌ها نشان داد میانگین مقدار pH در خاک سطحی برابر ۷/۲ و در افق‌های زیرین به حدود ۷/۸ نیز می‌رسد و رند افزایشی را با عمق نشان داد. درصد کربن آلی خاک سطحی عموماً کمتر از ۱ بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. افق‌های مشخصه سطحی اکریک و زیرسطحی کلسیک و جیپسیک تشخیص داده شد. بر اساس سیستم رده‌بندی خاک آمریکایی، خاک‌ها در رده Inceptisols قرار دارند. از روش پارامتریک ریشه دوم اصلاح شده برای محاسبه درجه شاخص اراضی در منطقه استفاده گردید. اقلیم منطقه دارای تناسب مناسب است و اما خاک‌ها دارای محدودیت جدی درصد بالای گچ و سنگریزه برای کاشت خرما و برای عناب در منطقه به ترتیب میزان محدودیت شامل درصد بالای گچ و سنگریزه، درصد بالای آهک معادل و درصد پایین کربن آلی می‌باشند. به طور کلی کلاس نهایی تناسب اراضی مورد مطالعه برای کشت آبی خرما S3s و S2s (با مساحت ۱۲۰ و ۲۳ هکتار) و عناب S3s و N2st (با مساحت ۸۰ و ۶۳ هکتار) می‌باشد که بر اساس نتایج حاصل به دلیل تناسب بالاتر، کشت خرما نسبت به عناب در منطقه توصیه می‌گردد.

واژگان کلیدی: روش پارامتریک، کلاس تناسب اراضی، محدودیت خاک

مقدمه

در دهه‌های اخیر رشد فزاینده جمعیت موجب افزایش رو به رشد مصرف منابع و خسارت‌های غیر قابل جبران به منابع طبیعی به ویژه خاک و اراضی شده است (زاهدی، ۱۳۸۹). همچنین به دلیل عدم شناخت کافی کاربران از پتانسیل زمین و خاک خود و برخی مشکلات زیر بنایی، بیش از ۶۰ درصد از اراضی کشاورزی زیر کشت در ایران از نظر حاصلخیزی فقیر بوده و نیازمند توجه جدی به می‌باشند. این امر به نوبه خود استفاده صحیح و مدیریت منابع آب و خاک محدود در کشور را به عنوان یکی از عمده‌ترین مسائل کشاورزی ایران بیش از پیش نمایان می‌سازد (اصغرزاده و همکاران، ۱۳۸۳). بر همین اساس، منابع اراضی و ارزیابی تناسب آن در راستای توسعه پایدار، نقش اصلی را در اثر گذاری سیاست‌های مدیریت اراضی و برنامه‌ریزی خواهند داشت (Coyle *et al*. 2016). بنابراین در چهارچوب توسعه پایدار، برای انجام فعالیت‌های کشاورزی و باغداری با نگاه سودآوری پایدار و رعایت موارد زیست محیطی، لازم است منابع اراضی و خاک، مورد مطالعه و بررسی قرار گیرند تا با توجه به آن‌ها، بتوان در مورد نوع کاربری مورد نظر، نگهداری و مدیریت پایدار و اقتصادی آن تصمیم‌های مناسبی اتخاذ کرد که این روند در حوزه ارزیابی تناسب اراضی قرار دارد. یکی از مهم‌ترین اهداف ارزیابی اراضی، پیش‌بینی نتیجهٔ تغییرات در نوع استفاده از اراضی یا نحوهٔ مدیریت اراضی است (مروج و همکاران، ۱۳۹۷). تناسب اراضی شامل فرایند بررسی و گروه‌بندی واحدهای مختلف اراضی از نظر مناسب بودن آن‌ها با توجه به تیپ‌های بهره‌وری موردنظر است (Martin and Saha, 2009). پژوهشگران در زمینهٔ ارزیابی تناسب اراضی به منظور استفادهٔ بهینه و پایدار و نیز بررسی

جنبه‌های فیزیکی و اقتصادی، تلاش کرده‌اند شناخت بهتری از ویژگی‌های اراضی و عوامل اقلیمی و محیطی تأثیرگذار بر آن پیدا کنند از جمله، مطالعات Sulieman *et al.* (2015) در کشور سودان برای کشت گیاهان زراعی و درختان میوه، شامل نخل خرما، انگور و مرکبات نشان داد که اقلیم منطقه برای کاشت این گیاهان مناسب می‌باشد. توپوگرافی، زهکشی و خصوصیات خاک از عوامل محدودکننده برای کشت گیاهان زراعی و درختان میوه محسوب می‌شوند. کلاس تناسب اراضی این منطقه برای کاشت نخل خرما، متوسط و برای کاشت انگور و مرکبات، بحرانی به دست آمد. طی مطالعه‌ای در کشور مصر، Belal and Al-Ashri (2011) اقدام به ارزیابی تناسب اراضی به روش فائو برای کاشت درختان میوه چند ساله شامل نخل خرما، زیتون، انجیر و مرکبات نمودند. نتایج ایشان نشان داد که اغلب اراضی مورد مطالعه برای کاشت درخت خرما، زیتون و انجیر در کلاس‌های تناسب خیلی مناسب (S_1) تا نسبتاً مناسب (S_2) و برای کشت مرکبات در کلاس نامناسب (N) طبقه‌بندی می‌شوند. دراین تحقیق، ویژگی‌های بافت، شوری و میزان کربنات کلسیم معادل خاک مهمترین عوامل محدود کننده بودند. با انجام چنین تحقیقاتی می‌توان بهترین کاربری خاص را با توجه به شرایط محیطی منطقه (اقلیم، خاک و زمین‌نما) تعیین و اقدام به کشت آنها با رعایت نکات علمی، اقتصادی و در سطح مدیریتی بالا نمود. لذا، این تحقیق با اهداف شناسایی انواع خاک‌های منطقه و تهیه نقشه آن، ارزیابی تناسب اراضیمنطقه مورد مطالعه برای دو محصول باغی و اقتصادی خرما و عناب در بخش از اراض دشت لیگ در استان ایلام به منظور توسعه اراضی با قابلیت آبیاری صورت پذیرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در ناحیه جنوب غربی کشور، در بخش صالح‌آباد شهرستان مهران، استان ایلام، در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی ۳۷۱۳۳۵۶ تا ۳۷۱۴۷۲۸ شمالی و طول جغرافیایی ۵۸۹۷۸۷ تا ۵۹۱۵۶۰ شرقی می‌باشد. ارتفاع متوسط محدوده اراضی مورد مطالعه از سطح دریای آزاد حدود ۳۵۰ متر است. برای تعیین اقلیم روش‌های متفاوتی وجود دارد که در این مطالعه از دو روش دومارتن و آمبرژه استفاده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده میانگین بارندگی سالانه ۳۰۹/۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۲۳/۱ درجه سانتی‌گراد است و متوسط بیشینه و کمینه دمای سالانه به ترتیب ۳۰/۱ و ۱۶درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر اساس نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران (بنایی، ۱۳۷۷) منطقه یادشده دارای رژیم رطوبتی یوستیک (Ustic) و رژیم حرارتی هایپرترمیک (Hyperthermic) می‌باشد. پس از انجام بازدیدها و مطالعات میدانی و بررسی‌های صحرایی، در مجموع ۱۱ خاکرخ شاهد حفر و پس از رده‌بندی خاک‌ها در سطح مدیریتی فازفامیل سه خاکرخ به عنوان شاهد انتخاب شدند. خصوصیات خاک شامل pH خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد آهک، درصد گچ، کربن آلی و کلاس بافت خاک اندازه‌گیری شدند (امامی، ۱۳۷۵). و در نهایت بر اساس اطلاعات مورفولوژیک و نتایج آزمایشگاهی خاک‌ها بر اساس سامانه آمریکائی رده‌بندی (Soil Survey Staff, 2014)گردیدند. ارزیابی تناسب اراضی به روش پارامتریک (ریشه دوم) اصلاح شده انجام شد. در این روش ابتدا شاخص و درجه اقلیمی محاسبه و سپس از طریق مقایسه خصوصیات اراضی با نیازهای تیپ‌های بهره‌وری از اراضی، کلاس تناسب کیفی اراضی به روش پارامتریک (ریشه دوم) تعیین می‌شود و با استفاده از درجات اختصاص داده شده به هر خصوصیت از معادله ۱ شاخص اراضی بدست می‌آید:

$$I = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots}$$

معادله (۱)

در این معادله: I = شاخص اراضی، R_{min}= کمترین درجه بین تمام خصوصیات A، B، C و.... سایر درجات می‌باشند. با استفاده از شاخص محاسبه شده، کلاس تناسب طبق جدول ۱ تعیین می‌شود.

جدول ۱- مقادیر عددی شاخص برای کلاس‌های مختلف تناسب اراضی (Sys *et al.* 1999)

شاخص اراضی	کلاس تناسب	
	علامت	تعریف
۱۰۰-۷۵	S1	مناسب
۷۵-۵۰	S2	نسبتا مناسب
۵۰-۲۵	S3	تناسب کم
۱۲/۲۵-۵	N1	نامناسب کنونی
۱۲-۰/۵	N2	نامناسب دائمی

نتایج و بحث

نتایج مربوط به برخی از ویژگی‌های فیزیکیو شیمیایی خاک در جدول (۲) ارائه گردیده است. خاک‌های اراضی منطقه از لحاظ مورفولوژیکی شامل اراضی با تکامل پروفیلی کم که عمدتا بر روی تیپ‌های اراضی فلات و تراس بالایی رودخانه تشکیل شده و دارای افق مشخصه زیرسطحی کمبیک و خاکی با عمق متوسط و کم با لایه محدودکننده گچی، مارنی و سنگریزه‌دار (بیش از ٪۹۰) با پوشش گیاهان مرتعی می‌باشد. افق مشخصه سطحی خاکها افق اُکریک با رنگ قهوه‌ای روشن و کربن آلی کم می‌باشد. بر اساس رده‌بندی آمریکایی، خاک‌ها به رده اینسپتی‌سولز (Inceptisols) تعلق می‌گیرند. در سطح زیر رده خاکها به دلیل دارا بودن شرایط رژیم رطوبتی یوستیک به زیر رده Ustepts و گروه بزرگ Haplustepts و با توجه به وجود گچ و آهک به زیرگروه‌های Typic, Gypsic, Calcic تعلق دارند.

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی و رده‌بندی خاکرخ‌های شاهد در منطقه دشت لیگ

افق	ضخامت (cm)	بافت	آهک (%)	pH_{paste}	EC (ds/m)	کربن آلی (%)	گچ (%)
profileNo.2		Coarse-loamy, Mixed, Active, Hyperthermic, Calcic Haplustepts					
A	۰ -۱۰	gravelly SL	۱۵/۲۵	۶/۷۳	۰/۳۴۶	۱/۷۹	-
BC	۱۰ -۶۰	extremely gravelly SL	۱۷/۷۵	۷/۷۸	۰/۱۵۵	۰/۰۵۸	-
2BCk	۶۰ -۱۰۰	Very gravelly SL	۲۲/۲۵	۷/۶۶	۰/۲۲۸	۰	-
profileNo.5		Coarse-silty, Mixed, Active, Hyperthermic, Typic Haplustepts					
A	۰ -۱۵	SL	۴۱/۷۵	۷/۱۳	۲/۱۱	۰/۵۸۵	۲۵/۷۴
Bw_1	۱۵ -۵۰	SL	۲۹/۲۵	۷/۵۲	۱/۳۰	۰/۱۵۶	۶/۹۱
Bw_2	۵۰ -۱۱۰	SL	۲۷/۲۵	۸/۱۳	۰/۱۲۹	۰/۱۱۷	-
Bw_3	۱۱۰ -۱۵۰	SL	۲۷	۸/۱۵	۰/۱۲۰	۰/۱	-
profileNo.10		Coarse-gypseous, Hypergypsic, Hyperthermic, Gypsic Haplustepts					
A	۰ -۲۰	SL	۳۴/۵	۷/۶۹	۲/۴۶	۰/۹۹۴	۲۱/۰۷
By_1	۲۰ -۵۰	SL	۶/۷۵	۷/۶۴	۲/۵۴	۰/۰۷۸	۴۴/۶۰
By_2	۵۰ -۸۰	SL	۵/۷۵	۷/۷۱	۲/۲۵	۰/۲۱۴	۴۶/۶۰

کلاس بافتی خاکها عمدتاً لوم شنی(Sandy Loam)، که عموم خاک‌ها از نظر بافتی سبک با درصد شن (بیش از ۵۰ درصد) می‌باشند. شوری (EC) همه خاکها کمتر از ۴ds/m و جزو خاکهای غیرشور محسوب می‌شوند. pH خاکهای سطحی متوسط ۷/۲ که در لایه‌های زیرین به ۷/۸ نیز می‌رسد یعنی از سطح به عمق افزایش می‌یابد. دلیل بیشتر بودن pH خاک در اراضی مذکور می‌تواند وجود ماده آلی کمتر و در نتیجه فعالیت زیستی کمتر موجودات زنده خاک و درصد بالای آهک سطحی باشد. در پروفیل‌های ۵ و ۱۰ میزان

آهک سطحی از زیر سطحی بیشتر ولی در خاکرخ ۲ میزان آهک سطحی کمتر از زیر سطحی است. نتایج مطالعه Khormali *et al*. (2009) که در اراضی تپه ماهوری لسی انجام شد نشان داد که در ارضی کشت شده مقدار آهک سطحی در مقایسه با دیگر کاربری‌ها بیشتر بود که دلیل آن دست خوردگی و شخم می‌باشد که باعث می‌شود مقدار آهک در سطح همانند عمق خاک که آهک آن زیاد است باشد. کمتر بودن مقدار آهک در افق سطحی می‌تواند به دلیل دریافت آب از اراضی بالا دست باشد که باعث شست‌وشوی آهک از افق سطحی می‌شود. میزان گچ در پروفیل ۱۰ از سطح به عمق زیاد ولی در پروفیل ۵ از سطح به عمق کم می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضخامت و عمق تشکیل افق جیپسیک شدیدا تحت تأثیر فیزیوگرافی و پستی بلندی می‌باشد. در مناطق پست (گود) معمولا عمق تشکیل ایـــن افـق پایین‌تر، یکنواختی و ضخامت آن بیشـــتر می‌باشد. ولی در مناطق مرتفع‌تر افق معمولا نزدیک سطح زمین تشکیل می‌شود. درصد کربن آلی خاک سطحی عموماً کمتر از ۱ درصد بوده و با افزایش عمق کاهش می‌یابد. کربن آلی خاک تحت اقلیم مرطوب و سرد نسبت به اقلیم خشک‌تر در یک توالی اقلیمی بیشتر تجمع می‌یابد. اقلیم به ویژه بارندگی و دما تعیین کننده میزان کربن آلی افق‌های سطحی می‌باشد که مشخص کننده نوع افق سطحی است (Franzluebbers, 2002).

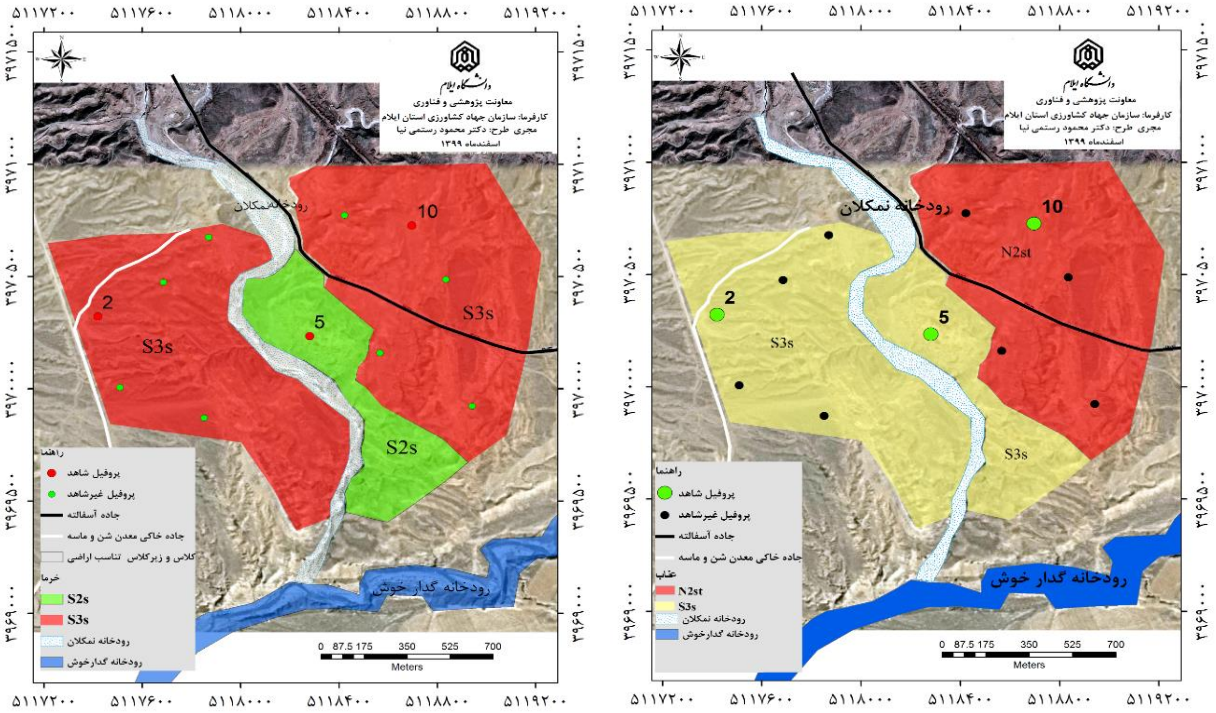
اقلیم منطقه برای کاشت آبی خرما و عناب دارای کلاس تناسب مناسب (S1) با درجه ۹۹/۹ و ۹۴ می‌باشد و خصوصیت اقلیمی محدود کننده‌ای برای کشت آبی این محصولات در منطقه مشاهده نمی‌شود. ارزیابی خصوصیات خاک نشان می‌دهد که محدودیت‌های خاک برای کاشت خرما درصد بالای گچ و سنگریزه می‌باشد و برای عناب در منطقه به ترتیب اولویت عبارتند از: درصد بالای گچ و سنگریزه، درصد بالای آهک معادل و درصد پایین ماده آلی. کلاس نهایی تناسب برای خرما S3 و S2 (تناسب کم و نسبتا مناسب) و برای عناب S3 و N2 (تناسب کم و نامناسب همیشگی) می‌باشد.

جدول ۳- درجه هر یک از خصوصیات خاک و اقلیم و کلاس نهایی تناسب اراضی منطقه صالح آباد برای برای کاشت خرما و عناب

نوع محصول	شماره پروفیل	واحد خاک	بافت	عمق خاک (cm)	سنگریزه ٪	شیب٪	آهک ٪	pH	کربن آلی٪	گچ٪	درجه تناسب اقلیمی	درجه نهایی اراضی	کلاس نهایی تناسب
خرما	۲	۱	۹۷/۵	۶۰	۵۱	۸۰	۹۸/۶۹	۹۵/۷	۸۸	-	۹۹/۹	۳۱/۷۴	S3s
	۵	۲	۹۷/۵	۹۵	۱۰۰	_	۹۱/۱۵	۹۵/۹	۶۰	۵۸/۷۵	۹۹/۹	۵۱/۸۵	S2s
	۱۰	۳	۹۷/۵	۲۰	۹۵	-	۸۷/۶۹	۸۹	۹۲	۴۷/۵	۹۹/۹	۲۵/۶۰	S3s
عناب	۲	۱	۹۷/۵	۸۸/۳۳	۲۵/۵	۶۰	۹۲/۷	۸۹/۶۶	۷۶/۵	-	۹۴	۳۵/۱۴	S3s
	۵	۲	۹۷/۵	۱۰۰	۱۰۰	_	۸۵/۶۶	۹۱	۷۶	۳۲/۵	۹۴	۳۰/۷۵	S3s
	۱۰	۳	۹۷/۵	۲۰	۹۷/۵	-	۴۳	۸۰/۲۵	۸۴/۶۵	۲۱	۹۴	۴	N2st

دیالمی و همکاران (۱۳۹۷) به منظور ارزیابی تناسب اراضی به روش پارامتریک در منطقه دشتستان استان بوشهر برای محصول خرمای کبکاب پژوهشی را انجام دادند و به این نتیجه دست یافتند که کلاس تناسب اراضی برای این محصول S3 (تناسب کم) و N (نامناسب) بدست آمد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. وحیدی (۱۳۹۹) برای محصولات عناب و زرشک در منطقه القورات بیرجند تناسب اراضی را به روش پارامتریک انجام داد و به این نتیجه رسید که برای هر دو نوع تیپ بهره‌وری زرشک و عناب، ۱۳/۱۲ درصد اراضی مورد مطالعه در کلاس S1، ۳۰/۵۵ درصد در کلاس S2 و ۲۱/۲۵ درصد در کلاس S3 قرار دارند. همچنین ۲۲/۵۲

درصد اراضی برای زرشک و ۲۸ درصد اراضی برای عناب کلاس N1 و ۱۲/۵۶ درصد اراضی برای زرشک و ۷/۰۸ درصد اراضی برای عناب کلاس N2 دارند که با پژوهش حاضر مطابقت دارد.



شکل ۱: نقشه کلاس‌های تناسب اراضی منطقه مورد مطالعه برای کاشت خرما و عناب آبی

نتیجه‌گیری

کلاس بافتی همه خاک ها لوم شنی (Sandy Loam) و در برخی افق‌ها لوم شنی سنگریزه‌دار می‌باشند که از نظر بافتی سبک با درصد نسبتاً بالای شن می‌باشد. شوری (EC) همه خاکها کمتر از ۴ds/m که همه جزو خاک‌های غیرشور محسوب می‌شوند. pH سطحی همه خاک‌ها متوسط ۷/۲ و در لایه‌های زیرین به حدود ۷/۸ نیز می‌رسد. در واحد ۳ نقشه خاک با خاکرخ شاهد ۱۰، درصد گچ به ۴۰ درصد و بیشتر می‌رسد که جزو خاک‌های گچی محسوب می‌شوند. رژیم رطوبتی منطقه مورد مطالعه Ustic و رژیم حرارتی Hyperthermic است. افق مشخصه سطحی اُکریک و افق‌های مشخصه زیرسطحی جیپسیک و کلسیک می‌باشد. بر اساس سیستم رده‌بندی خاک آمریکایی خاک‌ها در رده Inceptisols رده‌بندی می‌شوند. مهمترین محدودیت‌های خاک‌های منطقه مورد مطالعه عبارتند از: شیب بالا و توپوگرافی شدید اراضی، درصد بالای قطعات سنگی در افق‌های زیرین خاک، درصد وزنی بالای ۴۰ درصد گچ، و بافت سبک شنی با بیش از ۵۰ درصد شن می‌باشند. اقلیم منطقه برای کاشت آبی خرما و عناب دارای کلاس تناسب مناسب (S1) می‌باشد. به طور کلی کلاس نهایی تناسب اراضی برای خرما S3s و S2s و برای عناب S3s و N2st می‌باشد، که بر اساس این نتایج کشت محصولا آبی خرما به دلیل میزان محدودیت کمتر و تناسب بالاتر در منطقه توصیه می‌گردد و برای کشت محصول عناب لازم است قبل از کاشت محدودیت‌های قابل اصلاح اراضی برطرف و سپس بر اساس رعایت اصول فنی احداث باغ‌ها اقدام به کشت این محصولات گردد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه ایلام و گروه خاکشناسی در اجرای این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارم.

فهرست منابع

اصغرزاده، ا.، ملکوتی. م ج. بهرامی. ح ع. ابراهیمی. س. (۱۳۸۳). خاک های ایران: تحولات نوین در شناسایی، مدیریت و بهره برداری. چاپ اول. انتشارات سنا. ۴۹۱ ص.

امامی، ع. (۱۳۷۵). روش‌های تجزیه خاک. جلد ۱، انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب تهران (نشریه ۹۸۲)، صفحات ۳-۵۰.

بنایی، م ح. (۱۳۷۷). نقشه رژیم‌های رطوبتی و حرارتی ایران. موسسه تحقیقات خاک و آب کشور ایران.

دیالمی، ح، گیوی، ج. نادری خوراستگانی، م. (۱۳۹۷). مقایسه روش‌های پارامتریک و تحلیل سلسله مراتبی فازی به منظور ارزیابی تناسب اراضی منطقه دشتستان استان بوشهر برای کاشت نخل خرمای کبکاب. مجله مهندسی زراعی (مجله علمی کشاورزی) ۴۱ (۲). ۵۸-۴۵.

زاهدی، ش س. (۱۳۸۹). رابطه سیبرنتیک و مدیریت دانش در سازمان. فصلنامهٔ مطالعات مدیریت ۲۰ (۶۳). ۱-۲۵.

مروج، کامران، دلاور، م ا. نجفی، و. (۱۳۹۷). اهمیت استفاده از روش‌های نوین آبیاری در افزایش اشتغال‌زایی و توسعهٔ مناطق روستایی. فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی ۳۳ (۲). ۱۷۵-۱۹۰.

وحیدی، م ج. (۱۳۹۹). ارزیابی تناسب اراضی برای زرشک و عناب به روش پارامتریک و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حوضه القورات بیرجند. مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۵۱ (۱۰). ۲۶۶۵-۲۶۸۰.

Belal, A. A., Al-Ashri, K. M. A. (2011). GIS Based land evaluation in Baharyia oasis, western desert, Egypt. Mansoura University. *Journal of Soil Science and Agricultural Engineering*, 2 (1): 11 - 24.

Coyle, C., Creamer, R. E., Schulte, R. P., O'Sullivan, L., Jordan, P. (2016). A functional land management conceptual framework under soil drainage and land use scenarios. *Environmental Science & Policy*, 56: 39-48.

Franzluebbers, A.J. (2002). Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Tillage Res*. 66: 95-106.

Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, Sh., Srinivasarao, C., and Wani, S.P. (2009). Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess derived soil in Golestan province, Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 134: 178-189.

Martin, D., Saha, S. K. (2009). Land evaluation by integrating remote sensing and GIS for cropping system analysis in a watershed. *Current science*, 96(4), 569-575.

Soil Survey Staff. (2014). Keys to soil taxonomy. 12th ed. USDA, NRCS. U.S. Gov. Print. Office, Washington DC.

Sulieman, M. M., Ibrahim, I.S., Elfaki, J. (2015). Land suitability characterization for crop and fruit production in some river Nile terraces. Khartoum, North Sudan. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(10): 1-5.

Sys C. Van ranst E. and Debaveye J. (1991). Land evaluation. Part I. Principles in land evaluation and crop production calculation, International training center for post graduate soil scientist. Ghent University, Ghent. 274 pp.

Qualitative assessment of land suitability for irrigated cultivation of palm and jujube horticultural crops in Lig region, Ilam province

Mahmood Rostaminia[1], Ali Chabok[2] , Ali Fazeli[3], Asghar Rahmani[4], Sayed Roholla Mousavi[4]

1- Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ilam University, Iran
2- M. Sc., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ilam University, Iran
3- Master of Soil Science and Expert of Jihad Agricultural Organization of Ilam Province
4-P.h.D student of soil resource managmment Department, University of Tehran, Iran.

Abstract
The purpose of this study is to prepare the map of land suitability in Lig plain in Ilam province for irrigated Palm and jujube. A total of 11 soil profile were dug, describtion, sampling and physicochemical properties of soils were determined in the laboratoty, and finaly three of them were selected as representative profiles. The results of soil analysis showed that the mean value of soil surface pH was 7.2 and in the subsoil reached close to 7.8 and increasing with depth. The soil organic carbon percentage in the topsoil is generally less than 1% and decreasing with depth. Ochric surface diagnostic horizons and calcic and gypsum subsurface horizons were identified. According to the soil taxonomy, soils are classified as Inceptisols order. The climate of the region is high suitable but the soil have sever limitation for planting Palm with high percentage of gypsum and coarse fargment, and for jujube in the region, based on thier limitation included high percentage of gypsum ,coarse fragment, ,calcum carbonate equivalent and low percentage of SOC, respectively. In general, the final land suitability class is S3 and S2 for Palm and S3 and N2 for jujube, which based on these results, it is suggested to planting Palm vesus jujube in their priority.
Keywords: Parametric method, Land suitability class, Soil limitation

نقش و کاربرد مدل‌ها در مدیریت آبیاری

شیرین سید نصیر
دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

علی محمدی ترکاشوند
دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده
تخمین بیش ازحد آب موردنیاز گیاه ضمن هدر دادن آب آبیاری باعث ماندابی شدن اراضی، شستشوی مواد غذایی خاک و آلوده نمودن منابع آب زیرزمینی می شود. ضمن آن که تخمین کمتر از حد موردنیاز گیاه نیز باعث اعمال تنش رطوبتی کنترل شده به گیاه شده و درنتیجه کاهش محصول را به همراه خواهد داشت. نکته مهم و قابل توجه این می باشد که طی نیم قرن گذشته مدل های متعددی به صورت روابط ساده تجربی تا معادلات پیچیده علمی، توسط دانشمندان به منظور برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از پارامترهای مختلف هواشناسی ارایه شده است. در نظر گرفتن همه گزینه‌های موثر در مدیریت آبیاری در شرایط مزرعه‌ای مانند مقدار و زمان آبیاری، استفاده از آب با سطوح مختلف شوری، رواناب، نفوذ عمقی، تبخیر، تعرق، انتخاب نوع گیاه و واکنش آن به عوامل فوق، کاری بس مشکل و طاقت فرساست. مدل‌های شبیه‌سازی که روابط بین این عوامل را به صورت ریاضی بیان می‌کنند، ابزار بسیار مفید و ساده‌ای برای عملیات مدیریت آبیاری می‌باشند. مدل‌ها ابزارهای پیش‌بینی کننده‌ای هستند که به تصمیم گیرندگان برای مدیریت برنامه ریزی موثر منابع آب ، ارائه اطلاعات دقیق در مورد نیاز آبی محصول به عنوان تابعی از نوع خاک ، محصول و شرایط آب و هوایی کمک می‌کنند.

۱- مقدمه
مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی از ابزارهای بسیار مهم در مطالعه و بررسی سیستم‌های کشاورزی است. از این مدل‌ها می‌توان در رفع نیازهای روزافزون به سیاستگذاری‌های خرد وکلان، تصمیم‌گیری، طراحی روش‌های مدیریتی و نیز پیشبینی عملکرد گیاهان در شرایط مختلف به خوبی استفاده کرد (Gabr and Fattouh., 2021). مدل‌هایی که اثرات مقادیر مختلف آب بر عملکرد محصول را به صورت کمی شبیه‌سازی می‌کنند، ابزارهایی مناسب، در مدیریت آب مناطق خشک و نیمه خشک به خصوص در کشور ما می‌باشند. گسترش روزافزون این نیازها باعث شده که مدل‌ها به‌عنوان پشتیبان تصمیم‌های فنی و استراتژیک، ایفای نقش نمایند (Amiri Larijani et al., 2011). امروزه حفظ منابع آب و خاک، بسیار مورد توجه مجامع مختلف بین المللی قرارگرفته است. مدل‌ها می توانند ابزارهای بسیار مفیدی برای مدیریت آب کشاورزی، برنامه ریزی آبیاری و محاسبه نیاز آبی گیاه و همچنین در پیش بینی محصول و فرآیند شور شدن باشند (دسترنج.، ۱۳۹۲).

امروزه مدل‌های زیادی جهت بررسی تاثیر هر یک از پارامترهای آب خاک و روش آبیاری گیاه و میزان برداشت محصول وجود دارد، مدل‌هایی نیز وجود دارند که کلیه عوامل موثر را دخیل کرده و برآیند موارد یاد شده را در برداشت محصول نهایی لحاظ می‌کنند. به

این ترتیب می‌توان تاثیر هر یک از عوامل را با ثابت نگهداشتن سایر پارامترها به طور جداگانه بررسی کرده و با پیشبینی محصول برداشت شده اقدامات مدیریتی لازم را انجام داد. امروزه انجام این مهم با شبیه‌سازی فرآیند تولید دانه و با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری مبتنی بر معادلات ریاضی و با در نظر گرفتن متغیرهای بسیار موثر بر عملکرد امکان پذیر شده است (حسینی و مالاریان.، ۱۳۹۱).

۲- انواع مدل‌ها

۲-۱- مدل CROPWAT

اعمال مدیریت سیستم‌های آبیاری، از جمله استفاده از روش کم آبیاری در جهت دسترسی به بیشترین مقدار سود، مستلزم آگاهی از عوامل متعدد فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی مؤثر در تولید محصول است. طی سی سال گذشته، در تدوین و ارائه مدل‌های رشد گیاهی پیشرفت قابل توجهی ایجاد شده است. علاوه‌بر این، مدل‌ها قادر به پیش بینی رشد گیاهان و تولید محصول در قبال مقادیر مختلف آبیاری هستند. بسیاری از این مدل‌ها برای شرایط محدودیت آب و بررسی مدیریت آبیاری نیز توسعه داده شده‌اند.

مدل CROPWAT توسط بخش توسعه آب و خاک FAO نوشته شده است، که یک مدل ساده بیلان آب است و امکان شبیه-سازی تنش رطوبتی گیاه و محاسبه میزان کاهش محصول را بر پایه روش‌های برآورد تبخیر و تعرق و عکس‌العمل گیاه به تنش آبی میسر می‌سازد (FAO., 1979; FAO., 1992; Smith., 2004). محاسبات مربوط به برنامه‌ریزی آبیاری در برنامه CROPWAT بر پایه تراز آبی استوار است؛ که طی آن جریان آب ورودی و خروجی (تبخیر، بارندگی، آبیاری) در منطقه ریشه گیاه و در خاک به‌صورت روزانه تعیین و کنترل می‌گردد. کاربرد مدل‌های رایانه‌ای در مطالعات آبیاری و زه‌کشی زمانی نتایج قابل قبول و موفقیت‌آمیزی در بر خواهد داشت که اطلاعات اولیه مورد نیاز آن‌ها به طور دقیق برآورد شده باشد. با توجه به اهمیت این مطلب، پارامترهای اولیه مورد نیاز برنامه CROPWAT جهت محاسبات جدول آبیاری مورد بررسی و برآورد قرار می‌گیرد و سپس بر پایه این اطلاعات برنامه‌ریزی آبیاری شامل محاسبه عمق آبیاری، دور آبیاری، زمان آبیاری و غیره انجام می‌شود. مدل CROPWAT می‌تواند کاهش عمل‌کرد در نتیجهٔ اعمال کم‌آبیاری را شبیه‌سازی نماید. این مدل به درستی، حساسیت نسبی گیاه در مراحل مختلف رشد و اثر منفی تنش آبی بر عمل‌کرد محصول را نشان داده و امکان ارائه توصیه‌های عملی را برای کشاورزان و کسانی که پیوسته روی برنامه‌ریزی کم‌آبیاری تحت شرایط مختلف تأمین آب و شرایط مختلف مدیریت محصول کار می‌کنند فراهم می‌نماید (FAO, 1992 ; رمضانی اعتدالی و همکاران.، ۱۳۸۸؛ اسماعیلی.، ۱۳۸۵)

Shujiang و همکاران (۲۰۰۹)، برای شبیه‌سازی تبخیر و تعرق مرجع، و تبخیر و تعرق گندم زمستانه در دو منطقه تگزاس در ایالات متحدهٔ آمریکا و منطقه هینان در چین از سه مدل CROPWAT، MODWht و CERES-Wheat استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل CROPWAT با حداقل داده‌های مشاهده‌ای در سطح مزرعه شامل ارتفاع متوسط گیاه، ضرایب گیاهی واقعی در چهار مرحله اصلی رشد، تاریخ کاشت، طول مراحل مختلف رشد محصول و مشخصات فیزیکی خاک می‌تواند نتایج قابل قبولی را نسبت به دو مدل دیگر که واسنجی مشکل‌تری دارند ارائه نماید. به منظور بررسی قابلیت مدل CROPWAT در مدیریت کم آبیاری، یک مطالعه موردی در پروژه تحقیقاتی مشترک FAO/IAEA با استفاده از تکنیک‌های مرتبط در تخمین برنامه آبیاری گیاهان زراعی به منظور افزایش کارآمدی مصرف آب در پروژه‌های آبیاری در ترکیه، مراکش و پاکستان، به ترتیب بر روی پنبه، چغندرقند و سیب‌زمینی انجام شد. نتایج نشان داد که این مدل در پیشبینی اثرات کم آبیاری کارآمد است، ولی پارامترهای گیاهی مورد استفاده

در مدل می‌باید کالیبره شوند. به طور مثال مقادیر ضرایب گیاهی پنبه موجود در مدل CROPWAT همخوانی کافی با مقادیر اندازه‌گیری شده نداشتند. میزان کاهش محصول محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در مورد چغندرقند حدوداً یکسان بود ولی به طور کلی کاهش عملکرد پیشبینی شده توسط مدل، در مورد پنبه، چغندرقند و سیب‌زمینی کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. نتایج به دست آمده از مطالعه‌ای در تایوان بر روی کشت برنج نشان داد که مدل CROPWAT قادر به برآورد نیاز آبی گیاهان بود اما هنوز برای انطباق مدل با الگوهای کشت پیچیده نیاز به مطالعات بیشتر است. همینطور وجود داده‌های کامل و صحیح برای اجرای مدل-های مدیریتی آبیاری مانند CROPWAT ضروری می‌باشد (Kuo et al., 2001). مدل CROPWAT ابزار مناسبی برای برنامه ریزی کشت ذرت محسوب می‌شود اما به دلیل عدم انطباق مقادیر تبخیر و تعرق پیشبینی شده و اندازه‌گیری شده، می‌بایست نتایج برآورد کاهش محصول مدل نیز با تأمل مورد پذیرش قرار گیرد (Cavero et al., 2000).

در ایران نیز سرائی تبریزی و همکاران (۱۳۹۳)، نتایج تحقیق بر روی ارزیابی کارائی مدل CROPWAT 8.0 در پیش‌بینی و برآورد مصرف آب و میزان عمل‌کرد محصول سویا با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در منطقه کرج نشان داد که مدل CROPWAT 8.0 درصورت اصلاح پارامترهای مدیریتی مدل و جایگزین کردن مقادیر واقعی با مقادیر پیش‌فرض می‌تواند در تخمین درصد کاهش عمل‌کرد محصول تحت تیمارهای مختلف آبیاری نتایج قابل قبولی ارائه نماید. این مدل توانست به خوبی عمل‌کرد محصول و کارایی مصرف آب را در تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) شبیه‌سازی نماید. کارایی مدل در تیمارهای مختلف آبیاری مشابه نبود؛ به نحوی‌که با کاهش عمق آب آبیاری، کارایی مدل کم شده و درصد انحراف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده افزایش یافت. اسیمی و همکاران (۱۳۹۳)، با مطالعه مدیریت آبیاری با مدل CROPWAT 8.0 و ارزیابی اقتصادی سه رقم توتون در منطقه رشت به این نتیجه رسیدند با تامین ۷۵ درصد از نیاز آبی گیاه نه تنها از میزان درآمد توتونکار کم نمی‌شود بلکه گام‌های اساسی در بهینه سازی مصرف آب برداشته می شود. کرمانشاهی و همکاران (۱۳۹۱)، در مطالعه‌ی کاربرد مدل WEAP در ارزیابی تأثیر مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور با به کارگیری مدل شبیه‌سازی WEAP مصارف و همچنین منابع آب دشت نیشابور مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور سناریوهای مختلفی در زمینه کاهش تقاضای آب کشاورزی مطرح و اثرات آنها بر منابع آب این منطقه بررسی شد. نتایج حاصل از سناریوی تغییر الگوی کشت نشان دادند که این اقدام علاوه بر کاهش نیاز آبی کشاورزی، میتواند باعث جابهجایی تقاضای آبیاری از فصول گرم سال به فصول پربارش شود و در نتیجه محصول این امکان خواهد داشت تا از نزولات آسمانی برای تأمین بخشی از نیاز آبی خود بهره بگیرد. رمضانی اعتدالی و همکاران (۱۳۸۸)، توانایی مدل CROPWAT را در مدیریت کم‌آبیاری دو محصول گندم و جو در منطقه کرج مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه نشان داد که کاربرد این مدل بدون واسنجی کردن ضرایب گیاهی و خصوصیات خاک می‌تواند خطاهای قابل‌ملاحظه‌ای را ایجاد نماید. اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۷)، عمل‌کرد مدل CROPWAT را با شرایط صحرایی کم‌آبیاری ذرت در منطقه قزوین و شهرکرد مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعات نشان داد که توانایی مدل در برآورد نیاز آبیاری نسبت به عمل‌کرد ماده خشک محصول، صحیح‌تر و در پیش‌بینی عمل‌کرد ماده خشک نسبت به عمل‌کرد دانه، دقیق‌تر بوده است. هم‌چنین این مدل در شبیه‌سازی نتایج مزرعه‌ای حاصل از منطقه شهرکرد نسبت به شبیه‌سازی نتایج مزرعه‌ای حاصل از منطقه قزوین عمل‌کرد مناسب‌تری از خود نشان داده است. این مسئله می‌تواند با مدیریت بهتر طرح آزمایشی و اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر مزرعه‌ای در منطقه شهرکرد مرتبط باشد .

۲-۲- مدل SALTMED

یکی از موارد بسیار مهم در برنامه‌ریزی و مدیریت سامانه SDI (سامانه آبیاری قطره‌ای زیر سطحی)، بررسی الگوی حرکت آب در خاک است. الگوی خیس‌شدگی خاک را می‌توان به‌طور مستقیم در مزرعه اندازه‌گیری و یا از طریق مدل‌ها، شبیه‌سازی کرد(Elmaloglou and Diamantopoulos., 2009) . دقت برآورد رطوبت خاک به مورد کاربرد و مقیاس مکانی بستگی دارد. برای مثال، کنترل و بررسی تغییرات مکانی مقدار رطوبت در خاک برای آبیاری دقیق به منظور کشاورزی مهم است، به‌ویژه در مناطقی که گیاهان با ارزش مانند پسته کشت می‌شود (Lunt et al., 2005).

در دهه‌های اخیر، پیشبینی تغییرات رطوبت خاک و شوری آن به منظور مدیریت آبیاری در اراضی تحت کشت و در مناطق با محدودیت‌های روزافزون در دستیابی به منابع آب، امری ضروری می‌باشد. SALTMED مدل جامع برای مدیریت و نگهداری منابع آب و ارزیابی اثرات سیستم‌های مختلف آبیاری، نوع خاک و میزان شوری آب آبیاری بر رطوبت خاک، توزیع نمک، نیاز آبشویی و بازده محصول را دارد. این مدل می‌تواند همزمان سیستم‌های مختلف آبیاری، خاک‌های گوناگون، طبقات خاک، گیاهان و درختان مختلف و استراتژی‌های متفاوت مدیریت آب، نیاز آبشویی و کیفیت‌های مختلف آب آبیاری را مورد توجه قرار دهد. این مدل شامل فرآیندهای تبخیر و تعرق، برداشت آب توسط ریشهٔ گیاه، انتقال آب و املاح در سیستم‌های مختلف آبیاری، زهکشی و رابطهٔ بین عملکرد محصول و استفاده از آب است. اخیراً مدل SALTMED به منظور مدیریت یکپارچه‌ی آب در مزرعه برای سیستم‌های مختلف آبیاری، محصول، خاک و کیفیت آب آبیاری توسعه پیدا کرده است (Amiri Larijani et al., 2011).

در این مدل برای شبیه‌سازی حرکت آب در خاک از معادله ۱ و عملکرد دانه از معادله ۲ به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial Z}\left[K(\theta)\frac{\partial(\psi+Z)}{\partial Z}\right] - S_w \qquad (۱)$$

$$RY = \frac{\sum S(z.z.f)}{\sum S_{max}(x,z,f)} \qquad (۲)$$

که در آن θ: رطوبت خاک در زمان t وعمق z، $k(\theta)$: هدایت هیدرولیکی، ψ :پتانسیل ماتریک و Sw: برداشت و یا جذب املاح توسط ریشه و RY: عملکرد دانه است (Ragab., 2002).

مدل SALTMED اولین بار توسط Ragab (۲۰۰۲)، توسعه داده شد و از آن برای اجرای ۵ مثال با استفاده از داده‌های فصل رشد موجود در منابع مختلف استفاده کرد. نتایج به طور موفقیت‌آمیزی بیانگر تاثیر سامانه آبیاری، نوع خاک، مقادیر شوری آب آبیاری روی رطوبت خاک و توزیع شوری، نیاز آبشویی و عملکرد گیاه در همه موارد بود. سپس در سال ۲۰۰۵ با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای جمع‌آوری شده از مصر و سوریه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ به اعتباریابی مدل SALTMED پرداختند. در سال ۲۰۰۹ نسخه پیشرفته‌تری از مدل انتشار یافت که توسط محققانی از جمله Hirich و همکاران (۲۰۱۲)، برای سه گیاه کینوآ، نخود و ذرت شیرین تحت تیمارهای کم آبیاری در مراکش، Pulevento و همکاران (۲۰۱۳)، برای گیاه کینوآ و تیمارهای مختلف آبیاری با آبهای شور و شیرین در جنوب ایتالیا، Montenegro و همکاران (۲۰۱۰)، و Silva و همکاران (۲۰۱۳)، برای گیاه نخود تحت تیمارهای مختلف آبیاری از حالت دیم تا تامین ۱۰۰٪ نیاز آبی در خشک و تر سالی اعتباریابی و صحت سنجی شد. Razzaghi و همکاران (۲۰۱۱)، در یک آزمایش لایسیمتری در کشور دانمارک با استفاده از مدل SALTMED واکنش گیاه گنهگنه به شوری خاک را ارزیابی کردند. مدل واسنجی شده SALTMED عملکرد دانه‌ی گنه‌گنه را با خطای نسبی ۰/۰۱ شبیه سازی نمود.

دراین پژوهش مدل SALTMED به خوبی داده‌های رطوبت خاک، عملکرد محصول و ماده‌ی خشک را برای سه محصول یاد شده در استراژی‌های کم آبیاری شبیه سازی نمود. ریاحی فارسانی و همکاران (۱۳۹۵) قابلیت مدل SALTMED در تخمین مقدار عملکرد محصول سیب زمینی تحت شرایط رایج آبیاری در استان چهارمحال و بختیاری دشت بروجن مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این مقایسه بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌ای و همچنین تجزیه و تحلیل آماری نشان داد مدل از کارآیی نسبتاً مناسبی در شبیهسازی عملکرد محصول برخوردار میباشد. همچنین ضریب تعیین ۰/۷۲ بین داده‌ای مشاهده‌ای و شبیه‌سازی به‌دست آمد که رضایت بخش می باشد.

۲-۳- مدل SWAT

رواناب ایجاد شده در یک حوضه از مهمترین موضوعات در مطالعات هیدرولوژیکی حوضه آبخیز می‌باشد، چرا که اکثر فرآیندهای هیدرولوژیکی به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم با آن در ارتباط هستند. در سال‌های اخیر مدل‌های هیدرولوژیکی به‌عنوان ابزاری برای شناخت فعالیت‌های طبیعی و انسانی موثر بر سیستم هیدرولوژی حوضه و مدیریت و برنامه‌ریزی آن‌ها، به‌طور گسترده توسط مدیران و هیدرولوژیست‌ها به‌کار گرفته می‌شوند. از جمله مدل‌های شبیه‌سازِ پدیدههای هیدرولوژیک در مقیاس حوضه، "ابزار ارزیابی آب و خاک " یا به اختصار SWAT است. مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیک نیمه توزیعی است که برای پیشبینی اثر تغییر کاربری اراضی، تغییر اقلیم، تغییرات خاک و مدیریت، بر آبدهی و رسوب خروجی از حوضه‌های آبریز بزرگ و پیچیده طراحی و ارائه شده است (Arnold et al., 1998). در کنار کاربردهای موفقیت آمیز مدل مذکور، به دلیل دارا بودن برخی نواقص، انجام برخی پردازش‌های عددی مانند کالیبراسیون پارامتر و آنالیز حساسیت نیز ضروری می‌باشد. شناسایی پارامترهای حساس، به کاهش عدم قطعیت و به شبیه‌سازی بهتر منتهی می گردد.

Park (۲۰۱۷)، مطالعه‌ای با هدف ارزیابی اثرات مدیریت چرای جایگزین بر کیفیت آب در مقیاس حوضه آبخیز و همچنین مقیاس مزرعه در حوضه Clear Creek در قسمت‌های شمالی و مرکزی تگزاس با استفاده از نرم‌افزار SWAT انجام دادند و از طریق تدوین سناریوهای مختلف تاثیر روش های مختلف چرا را بر میزان فسفر و نیتروژن کل بررسی نمودند. همچنین Kundu (۲۰۱۷)، مطالعه‌ای با هدف ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر بیلان آب بخشی از رودخانه Narmada هند انجام داد. شبیه سازی با مدل SWAT نشان داد که تغییرات کاربری بر کاهش تبخیر و تعرق و افزایش رواناب در زیر حوضه های مختلف تاثیر گذار بوده است. Ghoraba (۲۰۱۵)، تحقیقی با هدف مدل سازی حوضه آبخیز سد Simly پاکستان با استفاده از مدل SWAT انجام داد .در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار نسبت به تخمین حجم ماهانه جریان آب ورودی به سد و تعیین بیلان آبی اقدام نمودند.

۲-۴- مدل WEAP

برای مدیریت مناسب رویدادهای هیدرولوژیکی ابتدا لازم است درک درستی از رفتار طبیعی سیستم‌های هیدرولوژی وجود داشته باشد. در دهه‌های گذشته با رشد قابلیت‌های نرم‌افزاری، امکان توسعه مدل‌ها فراهم شده است که به نوبه خود نقش مؤثری در شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب و کمک به تصمیم‌گیری مدیران این عرصه داشته است (یزدان پناه.، ۱۳۸۶). هدف این مدل‌ها آگاه ساختن تصمیم گیران از عواقب اجرای سیاست‌های مدیریتی مختلف است. مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP) یکی از قدرتمندترین مدل‌های تصمیم‌یار است که تلاش می‌کند همزمان به هیدرولوژی حوضه آبریز و مدیریت تخصیص آب موجود میان تقاضاهای مختلف بپردازد. WEAP مخفف " سیستم طراحی و ارزیابی آب " است که در سال ۱۹۹۰ توسط مؤسسهٔ محیط زیست

استکهلم (SEI) در سوئد معرفی شده است. مدل WEAP بر اساس معادلات بیلان آب عمل کرده و از آن می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های آبی پیچیده استفاده کرد (Ahmadi et al., 2015).

Faiz و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای با استفاده از مدل WEAP به بررسی تغییرات جریان و شدت خشکسالی در حوضهٔ رودخانه Songhua در شمال شرقی چین پرداختند. نتایج نشان داد که مدل WEAP می‌تواند به‌طور مؤثری در این حوضه مورد استفاده قرار گیرد. Hum و Abdul-Talib (۲۰۱۶)، در مطالعه‌ای از مدل WEAP برای بررسی منابع و مصارف آب موجود در شهر Selangor در مالزی تا سال ۲۰۵۰ میلادی استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از آب زیرزمینی به‌عنوان یک منبع جایگزین و اقدامات صرفه-جویی در مصارف، کمبود آب در منطقه مطالعاتی را تا حد قابل قبولی کاهش می‌دهد. Droogers و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی به بررسی روند تغییرات منابع آب در خاورمیانه و نواحی شمال آفریقا پرداختند. آنها از یک مدل دو مرحله‌ای برای جستجوی اثرات این تغییرات منابع آب در خاورمیانه و نواحی شمال آفریقا استفاده کردند. سپس از یک مدل تخصیص منابع آب (WEAP)، برای ترکیب منابع آب تجدید شونده با بخش‌های تقاضای آب استفاده شد. نتایج نشان دادکه تقاضای کل در منطقه تا ۳۹۳ میلیون متر مکعب در سال ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت. Vishal و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیقی به منظور تعیین پتانسیل اثر تغییر اقلیم بر مدیریت تامین و تقاضای آب آبیاری در حوضه آبخیز شهرستان یولو در کالیفرنیا از مدل WEAP استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد کاهش مصرف آب از طریق تغییر الگوی کشت نمی‌تواند افزایش تقاضا در اثر اقلیم را جبران کند. ولی تغییر الگوی کشت در ترکیب با بهبود تکنولوژی آبیاری سطح تقاضا در اثر تغییر اقلیم را جبران کند. ولی تغییر الگوی کشت در ترکیب با بهبود تکنولوژی آبیاری سطح تقاضا را تا ۱۲ درصد نسبت به میانگین دراز مدت کاهش می‌دهد و همچنین میزان آب پمپاژ شده از منابع آب زیر زمینی کاهش می‌یابد. Alfarra و همکاران (۲۰۱۲)، در اردن برای ارزیابی افزایش استفاده از فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری و تغییر اقلیم مدل WEAP را به کار گرفتند. Mutiga و همکاران (۲۰۱۰)، طی پژوهشی در حوضه اواسونیرو در کنیا برای به حداقل رساندن تعارضات بر سر مصرف آب در حوضه، هماهنگی بین عرضه و تقاضای منابع آب را توسط مدل WEAP مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که بیشترین مقدار تقاضا، و در نتیجه دلیل ایجاد کشمکش‌ها مربوط به بخش کشاورزی است و پیشنهاد کردند برای حل این مشکل کشت دیم در منطقه توسعه یابد. در حوضه رودخانه ساکرامنتو در ایالت کالیفرنیا مدل WEAP توسط Purkey و همکاران (۲۰۰۸)، برای بررسی اثرات مدیریت آب کشاورزی تحت شرایط مختلف تغییر اقلیم در آینده به کار گرفته شد. نتایج نشان دادند که اقدامات مدیریتی اثر مطلوبی بر منابع آب خواهد داشت.

در ایران نیز راسق قزلباش (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای مدیریت و استفاده بهینه از منابع آب موجود سد مهاباد با سناریوهای مختلف را با نرم-افزار WEAP مورد بررسی قرار داد. نتایج مطالعه نشان داد سناریوی ترکیبی افزایش جمعیت شهر مهاباد طی سال‌های آتی با سرانه مصرف کمتر نسبت به سناریوی مرجع و کاهش سطح زیر کشت محصولات باغی و تخصیص آن به محصولات زراعی و افزایش راندمان به دلیل بالاتر بودن درصد تامین بالا بهترین گزینه می‌باشد. کرمانشاهی و همکاران (۱۳۹۱)، برای ارزیابی تأثیر تغییرات راندمان آبیاری بر منابع آب حوضه آبریز نیشابور از این مدل استفاده کردند و نشان دادند که با افزایش راندمان آبیاری به شرط عدم افزایش سطح زیر کشت، تقاضای بخش کشاورزی کمتر شده و در نتیجه کسری مخزن آبخوان و افت سطح آب زیرزمینی نیز کاهش می‌یابد. مفتاح و وفایی جوان (۱۳۸۹)، برنامه‌ریزی منابع آب با استفاده از مدل WEAP را در حوضه آبریز رامیان از استان گلستان انجام دادند. نتایج نشان داد ضمن کارایی بالای نرم افزار، حداقل حجم مفید مورد نیاز برای تامین نیاز برای تامین نیازهای حوضه رامیان ۱۶ میلیون متر مکعب با حجم تنظیمی ۹/۳۲ میلیون متر مکعب می‌باشد. گازرانی (۱۳۸۹)، در تحقیقی قسمتی از بالا دست خوضه رودخانه کشف رود را مورد بررسی قرار داد و با در نظر گرفتن پروژه‌ها و اقدامات احتمالی مؤثر بر وضعیت منابع آبی منطقه،

پیشنهادات و راهکارهایی را در قالب سناریوهای مختلف برای یک دوره میان مدت ۱۵ ساله ارائه داد. سعیدی نیا و همکاران (۱۳۸۷)، با انجام مدل سازی ماهانه منابع آب حوضه بهشت آباد با استفاده از نرم افزار WEAP اثرات طرح‌های انتقالی آب بین حوضه‌ای بر منابع آب سطحی حوضه را بررسی کردند. یزدان پناه و همکاران (۱۳۸۶)، در جهت برنامه ریزی و مدیریت منابع آب حوضه ازغند به روش استاندارد در محیط مدلسازی WEAP سناریوهای مختلفی را طی یک دوره ۲۰ ساله اعمال کرده و تأثیر آن را بر وضعیت عرضه و تقاضا در منطقه مورد مطالعه قرار دادند.

۲-۵- مدل AquaCrop

پایداری منابع آب تا حد زیادی به مدیریت و مصرف مناسب آب کشاورزی وابسته است. به‌کارگیری آب شور برای مصارف کشاورزی موضوعی چالش برانگیز است و در صورت مصرف زیاد آب با تجمع املاح در خاک تهدیدی برای کشاورزی پایدار و امنیت غذایی به شمار می‌رود که نیازمند مدیریت کوتاه مدت و بلند مدت است (Tyagi., 2003). در سال‌های اخیر مدل‌های مختلفی برای مطالعهٔ مدیریت آبیاری و تأثیر تنش شوری در سطح مزرعه به کار رفته است. نسخهٔ جدید مدل AquaCrop میزان عملکرد محصول تحت تنش‌های شوری و نیز شوری نیمرخ خاک را برآورد می‌کند (FAO, 2012)

مطالعات بسیاری در زمینهٔ ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop انجام شده است. در مطالعه Montoya و همکاران (۲۰۱۶)، رشد و توسعه محصول سیب‌زمینی آبیاری شده با سیستم سنترپیوت براساس آزمایشات سال‌های ۲۰۱۱ برای کالیبراسیون و ۲۰۱۲ برای اعتبارسنجی با مدل Aquacrop در منطقه نیمه خشک جنوب شرقی اسپانیا ارزیابی شد. نتایج مدل و داده‌های مشاهداتی سیب‌زمینی با چهار تیمار ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ درصد نیاز آبی نشان داد نیاز آبی ۸۰ و ۶۰ درصد در استفاده از آب موثر بود و مدل Aquacrop برای شبیه‌سازی رشد و توسعه محصول در شارایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه مناسب بود. در پژوهش دیگری (Mirsafi et al., 2016)، نتایج ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد زعفران حاکی از توانایی این مدل در پیشبینی رطوبت خاک، تبخیر و تعرق، عملکرد و زیتوده تحت سطوح مختلف آبیاری بود. جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده برای هر کدام از مولفه‌های فوق به ترتیب ۱۴، ۲۷، ۱۱ و ۲۵ درصد محاسبه شد. Ziaii و همکاران (۲۰۱۴)، مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize را در برآورد اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت تحت شرایط کوددهی سنتی و کودآبیاری در منطقهٔ کرج مقایسه کردند و در نهایت مدل AquaCrop را برای استفادهٔ کشاورزان و برنامه‌ریزان در سطح منطقه توصیه کردند.

در ایران نیز Khorsand و همکاران (۲۰۱۴)، عملکرد مدل AquaCrop را در پیش‌بینی عملکرد گندم و رطوبت و شوری نیمرخ خاک تحت تنش‌های شوری و کم آبی در کرج ارزیابی کردند.

۲-۶- مدل SWAP

مدل Swap یک مدل شبیه‌سازی بیلان آب و املاح در یک خاک زیر کشت یا بدون کشت با انواع مختلف شرایط مرزی و با در نظر گرفتن امکان‌پذیری زهکشی مصنوعی و آبیاری است (Van Genuchten., 1980). اولین نسخه این مدل توسط فدس در سال ۱۷۹۲ توسعه یافت (Feddes et al., 1978).

تحقیقی در کشور استرالیا به کمک مدل Swapدر ارتباط با شابیه‌سازی حرکت آب و نمک در زهکش تنبوشه‌ای در زمین آبیاری شده با آب شور تحت یک سناریوی مدیریت تعادل آب و نمک انجام گرفت و نتای رضایت بخشی دربر داشت(Mnghu, et al. 2005) دلایل قابل توجه استفاده از مدل Swap شبیه‌سازی عملکرد محول و نحوه حرکت آب و املاح در پروفیل خاک، تحت شرایط اقلیمی

و مدیریت‌های آبیاری متفاوت است (عباسی، ۱۳۸۸)، برآورد تبادل تابش، گرما و آب بین اکوسیستم‌های جلگه‌ای و اتمسفر توسط مدل Swap در اوکلاهاما نشان داد که مدل حتی در غیاب برخی پارامترهای آن، دینامیک تبادل گرما و رطوبت را با اتمسفر در سطح زمین در اکوسیستمهای جلگه‌ای که در مناطق نسبتاً کم آب قاره‌ای می‌باشند، به خوبی شبیه‌سازی می‌کند و در نتیجه کاربرد این مادل در مطالعات هیدرولوژیکی، آب و هوایی و اکولوژیکی برای مناطق مشابه امکان‌پذیر است (Gusev, et al. 2003). در تحقیقی که توسط کیانی و همایی (۲۰۰۶)، انجام شد، مدل Swap به مدت دو سال زراعی در زمین تحت کشت گندم در شمال گرگان مورد ارزیابی قرار گرفت، به استناد تحلیل‌های آماری، با وجود متغیرهای گوناگون در شرایط مزرعه‌ای، مدل Swap مقدار رطوبت، شوری خاک و عملکرد نسبی گندم را به خوبی شبیه‌سازی کرد و در همه موارد ضریب همبستگی بالاتر از ۸۰ درصد و میانگین مربعات خطا کمتر از انحراف معیار دادهها بود. کیانی و همکاران (۲۰۰۶)، همچنین مدل Swap را در شبیه‌سازی انتقال آب و املاح در نیمرخ خاک مورد ارزیابی قرار دادند و مقادیر R^2 و MAE را برای رطوبت به ترتیب برابر با ۶۵ درصد و ۱/۷ درصد حجمی و برای شوری برابر با ۶۴ درصد و ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر به دست آوردند. دهقان و همکاران (۱۳۹۱)، مدل Swap را برای پیش‌بینی رطوبت نیمرخ خاک در سه مزرعه گندم بکار برد، مقدار خطای مطلق را بین ۱/۵ تا ۲/۹ درصد و مجذور میانگین مربعات خطا را بین ۱/۹ تا ۴ بدست آوردند (دهقان و همکاران.، ۱۳۹۱).

منابع

۱. اسماعیلی، س. (۱۳۸۵). ارزیابی عملکرد مدل کراپ وات در مدیریت کم آبیاری ذرت. پایان نامه کارشناسی ارشد. پردیس کشاورزی دانشگاه تهران. ص ۱۵۴.

۲. اسماعیلی، س.، پارسی‌نژاد، م.، لیاقت، ع.، نحوی‌نیا، م.ج. (۱۳۸۷). ارزیابی مدل CROPWAT در مدیریت کم‌آبیاری ذرت. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۱۰-۸ بهمن، اهواز.

۳. اسیمی، م.ح.، بیگلویی، م.ح.، عزیزی، ج.، مشتاقی، م.، جبارزاده، ع.، محسن آبادی، غ. (۱۳۹۳). مدیریت آبیاری با مدل CROPWAT 8.0 و ارزیابی اقتصادی سه رقم توتون در منطقه رشت. اولین کنگره بین المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر. موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج. ایران.

۴. حسدینی، ی. و مارالیدان، ح. (۱۳۹۱). ارزیابی مدل SALTMED در برآورد میزان عملکرد محصول گنددم در منطقه مغان، اولین کنگره ملی کشاورزی ارگانیک.

۵. دسترنج، م. (۱۳۹۲). ارزیابی مدل SALTMED برای شبیه سازی شوری خاک و عملکرد گیاه گوجه فرنگی در اثر تیمارهای مختلف شوری و مدیریت آب آبیاری در آبیاری قطره‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز.

۶. راسق قزلباش، م. (۱۳۹۲). تحلیل سیستم منابع آب با استفاده از نرم افزار مطالعه موردی (حوضه آبریز سد مهاباد). اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگام (اصفهان).

۷. رمضانی، اعتدالی، ه. نظری، ب. توکلی، ع. و پارسی‌نژاد، م. (۱۳۸۸). ارزیابی مدل CROPWAT در مدیریت کم آبیاری گندم و جو در منطقه کرج. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳ (۱): ۱۲۹-۱۱۹.

۸. ریاحی فارسانی، ح.، قبادی نیا، م. (۱۳۹۰). ارزیابی کارایی مدل SALTMED برای برآورد عملکرد محصول سیب زمینی در آبیاری سطحی (مطالعه موردی دشت بروجن). دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۹. سرائی تبریزی، م.، پارسی نژاد، م.، بابازاده، ح. (۱۳۹۳). ارزیابی کارائی مدل CROPWAT 8.0 در پیش‌بینی و برآورد مصرف آب و میزان عمل‌کرد محصول سویا با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در منطقه کرج. دوره ۲۷، شماره ۱۰۲ - شماره پیاپی ۱۰۲. صفحه ۱۶۱-۱۷۰.

۱۰. سعیدی‌نیا، م.، صمدی بروجنی، ح.، فتاحی، ر. (۱۳۸۷). بررسی طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای با استفاده از مدل WEAP مطالعه موردی: تونل بهشت آباد. مجله پژوهش آب ایران.

۱۱. کرمانشاهی، س.، داوری، ک.، هاشمی نیا، س.م.، فرید حسینی، ع.، انصاری، ح. (۱۳۹۱). کاربرد مدل WEAP در ارزیابی تأثیر مدیریت مصرف آب آبیاری بر منابع آب دشت نیشابور. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۷، شماره ۳، ص. ۴۹۵- ۵۰۵.

۱۲. کرمانشاهی، س.، داوری، ک.، هاشمی‌نیا، س.م.، انصاری، ح. فریدحسینی، ع. (۱۳۹۱). ارزیابی تأثیر تغییرات راندمان آبیاری بر منابع آب حوضه آبریز نیشابور با استفاده از مدل WEAP. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ۲۰ و ۲۱ شهریور ماه.

۱۳. گازرانی، ح. (۱۳۸۹)، کاربرد زیرسامانه تحلیل سیستم WEAP در سیستم‌های پشتیبانی تصمیم. مطالعه موردی: قسمتی از حوضه کشف رود. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد.

۱۴. مفتاح، م.، وفایی جوان، ف. (۱۳۸۹). برنامه‌ریزی منابع آب با استفاده از مدل WEAP در حوضه آبریز رامیان از استان گلستان، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه اصفهان.

۱۵. یزدان‌پناه، ط.، خداشناس، س.ر.، داوری، ک.، قهرمان، ب. (۱۳۸۶). مدیریت منابع آب حوضه آبریز با استفاده از مدل WEAP مطالعه موردی حوضه ازغند. مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه آب و خاک .۲۲۱-۲۱۳ :۲

16. Ahmadi, A., Zadehvakili, N., Safavi, H.R., Ohab Yazdi, S.A. (2015). Development of a dynamic planning model for surface and groundwater allocation, Case study: Zayandehroud River Basin. Iran-Water Resources Research 11(1):21–31 (In Persian).
17. Amiri Larijani, B., Sarvestani, Z.T., Nematzadeh Gh., Manschadt, A.M., & Amiri, E. (2011). Simulating phenology, growth and yield of transplanted rice at different seedling ages in Northern Iran using ORYZA2000. Rice Science, Volume 18 (Issue 4), 321-334.
18. Arnold, J.G., Srinivasan, P., Muttiah, R.S,. Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modelling and assessment, Part I: Model development. Journal of the American Water Resources Association 34(1):73–89.
19. Droogers, P., Immerzeel, W.W., Terink, W., Hoogeveen, J., Bierken, M.f.P., van Beek. L.P.H., Debele, B.
20. FAO. (1979). Yield Response to Water by J. Doorenbos and A.H. Kassam. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome.
21. FAO. (1992). CROPWAT, a Computer Program for Irrigation Planning and Management by M. Smith. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 26. Rome.
22. Faiz, M.A., Liu, D., Fu, Q., Uzair, M., Khan, M.I., Baig, F., Li, T., Cui, S. (2017). Stream flow variability and drought severity in the Songhua River Basin, Northeast China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, In Press:1–8.
23. Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R., Jacobsen, S-E., EL youssfi, L., and El omari, H. (2012). The SALTMED model calibration and validation using field data from Morocco. J. Mater. Environment Science 3(2):342-359.
24. Hum, NNMF., Abdul-Talib, S. (2016). Modeling optimal water allocation by managing the demands in Selangor. In: Proc. of International Symposium on Flood Research and Management (ISFRAM 2015), 5–6 Oct, Shah Alam, Malaysia, 93–104.
25. Gabr, M.E., Fattouh, E.M. (2021). Assessment of irrigation management practices using FAO-CROPWAT 8, case studies: Tina Plain and East South El-Kantara, Sinai, Egypt. Ain Shams Engineering Journal Volume 12, Issue 2, June 2021, Pages 1623-1636.
26. Ghoraba, S.M. (2015). Hydrological modeling of the Simly Dam watershed using GIS and SWAT model. Alexandria Engineering Journal. Vol. 54, No. 3, pp. 583–594.
27. Khorsand, A., Verdinejad, V. R., and Shahidi, A. (2014) Performance evaluation of AquaCrop model to predict yield production of wheat, soil water and solute transport under water and salinity stresses. *Water and Irrigation Management*, 4(1), 89-104 (In Farsi).
28. Kundu, S., Khare, D., Mondal, A. (2017). Past, present and future land use changes and their impact on water balance. Journal of Environmental Management, Vol.197, pp. 582-596.
29. Kuo, Sh. F., Lin B.J. and Shieh. H.J. (2001). CROPWAT Model to Evaluate Crop Water Requirements in Taiwan. International Commission on Irrigation and Drainage. 1st Asian Regional Conference, Seoul.
30. Lunt, I.A., Hubbard, S.S and Rubin, Y. (2005). Soil moisture content estimation using groundpenetrating radar reflection. Hydrology. 307(1– 4):254–269.
31. Mirsafi, Z.S., Sepaskhah, A.R., Ahmadi, S.H. and Kamgar-Haghighi, A.A. (2016). Assessment of AquaCrop model for simulating growth and yield of Saffron (Crocus sativus L.). Agricultural Water Management. 211: 343-351.
32. Montenegro, S.G., Montenegro, A and Ragab, R. (2010). Improving agricultural water management in the semi-arid region of Brazil: experimental and modelling study. Irrigation Science. 28: 301–316.
33. Montoya, F., Camargo, D., Ortega, J.F., Corcoles, J.I. and Dominguez, A. (2016). Evaluation of Aquacrop model for a potato crop under different irrigation conditions. Agricultural Water Management. 164: 267-280.
34. Mutiga J.K., Mavengano S.T., Zhongbo S., Woldai T., and Becht R. (2010). Water allocation as a planning tool to minimize water use conflicts in the Upper Ewaso Ng´iro North Basin, Kenya. Water Resour Manage.
35. Park, J.Y., Ale, S., Teague, W.R., (2017). Simulated water quality effects of alternate grazing management practices at the ranch and watershed scales. Ecological Modelling, Vol. 360, No. 24, pp. 1-13.
36. Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., D'andria, R and Ragab, R. (2013). SALTMED model to simulate yield and dry matter for quinoa crop and soil moisture content under different irrigation strategies in south Italy. Irrigation and drainage. 62.2: 229-238.
37. Purkey D.R., Joice B., Vicuna S., Hanemann M.W., Dale L.L., Yates D., and Dracup J.A. (2008). Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. Climatic Change 87: 109-122

38. Ragab, R. (2002). A holistic generic integrated approach for irrigation, crop and field management: the SALTMED model. Environmental Modelling & Software. 17.4: 345-361.
39. Razzaghi, F., Plauborg, F., Ahmadi, S.H., Jacobsen, S-E., Anderson, M. N., and Ragab, R. (2011). Simulation of quinoa (chenopodium quinoa wild.) response to soil salinity using the SALTMED model. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage 15-23 October 2011, Tehran, Iran.
40. Silva, L.L., Ragab, R., Duarte, I., Lourenco, E., Simoes, N., Chaves, M.M. (2013). Calibration and validation of SALTMED model under dry and wet year conditions using chickpea field data from Southern Portugal. Irrigation Science, 31(4): 651- 659
41. Smith, M. and Kivumbi. D. (2004). Use of the FAO CROPWAT Model in Deficit Irrigation Studies. Joint FAO/IAEA Division. FAO Deficit Irrigation Practices. Water Reports 22:17-27.
42. Shujiang, K. Payne, W.A. Evett, S.R. Robinson, C.A. and Stewart, B.A. (2009). Simulation of winter wheat evapotranspiration in Texas and Henan using three models of differing complexity. Agricultural Water management Journal, 96: 167-178.
43. Vishal K.Mehta, Van R. Haden, Brian A . Joyce, David R .Purkey, Louise E.Jacksin. (2012). Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change in Yolo county, California.
44. Ziaii, Gh., Babazadeh, H., Abbasi, F., and Kaveh, F. (2014) Evaluation of the AquaCrop and CERESMaize models in assessment of soil water balance and maize yield. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(4), 435-445 (In Farsi).

بررسی روند تغییرات ماهانه بارش با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در ایستگاه های سینوپتیک استان قزوین

سروش کماجیان[1]، سید ابراهیم هاشمی گرم دره[2*]، محمد عبداللهی پور[3*]، شادمان ویسی[4]

۱- دانشجوی ارشد آبیاری و زهکشی،گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، s.komajian@ut.ac.ir

***۲- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران،** sehashemi@ut.ac.ir

***۳- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران،** abdolahipour@ut.ac.ir

۴- استادیار بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، کرج

چکیده:

در سال‌های اخیر به سبب گرمایش جهانی و کمبود منابع آب، مطالعات منطقه‌ای در خصوص پارامترهای اقلیمی از جمله بارش اهمیت خاصی پیدا کرده اند. در این میان در کنار روش‌های سنتی، استفاده از علوم و ابزار جدید از جمله سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای به عنوان مکمل قابل قبولی در جامعه‌ی علمی شناخته شده اند. در این تحقیق با استفاده از سامانه‌ی Google Earth Engine، با به کارگیری مجموعه داده‌های تخمین بارش ماهواره‌ای (دیتاست) ERA5، GPM، GsMAP و Chirps، روند تغییرات ماهانه بارش داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی سینوپتیک برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۰ برای ۱۰ ایستگاه در سطح استان قزوین مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. نتایج مقایسه‌ی این دیتاست‌ها نشان داد، داده های ERA5 و GPM دارای ضریب همبستگی بالای ۰/۷ با داده‌های زمینی بودند و مقدار پارامترهای RMSE، Bias و MAE در سطح قابل قبولی بودند. در شرایط کمبود داده‌های بارش، استفاده از داده های بارش این محصولات در منطقه مورد مطالعه قابل اتکا خواهند بود. با این حال از آنجا که داده‌های این دیتاست‌ها تحت تأثیر خطاهای گوناگون مثل خطای سنسور و الگوریتم بازیابی هستند ارزیابی آن‌ها در شرایط اقلیمی و توپوگرافی مختلف، برای بهبود کارایی آنها در کشاورزی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: بارش، سنجش از دور، گوگل ارث انجین، ماهواره

مقدمه

بارش یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در مدل‌های هیدرولوژیکی و زراعی است که دقت آن در پیش‌بینی صحیح توسط این مدل‌ها تاثیر بسزایی دارد (Su et al.(2008، برآورد دقیق میزان بارش در مناطقی که فاقد داده های ایستگاه های زمینی است، به راحتی امکان پذیر نیست. اما با پیشرفت علم و تکنولوژی مرتبط با سنجش از دور و آسان شدن دسترسی کارشناسان به تصاویر ماهواره‌ای جهت تحلیل رویدادهایی مانند بارش، تغییرات رطوبتی خاک و تبخیرتعرق گیاهان، امکان به کارگیری این علم در حوزه کشاورزی نیز فراهم شده است.

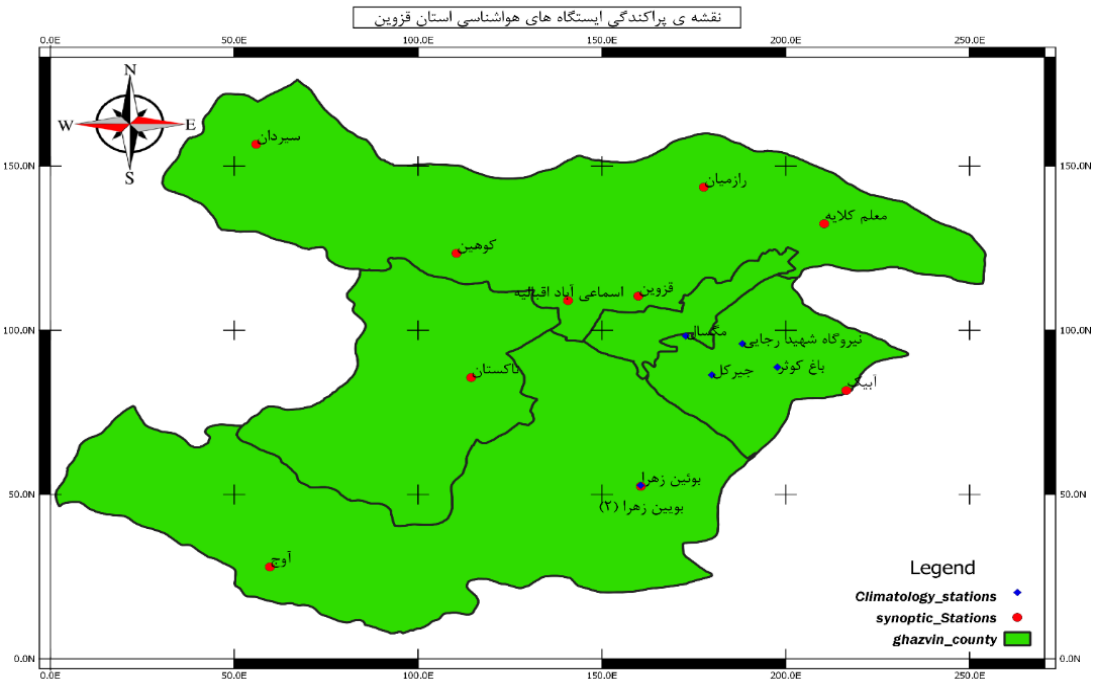
در این رابطه، سامانه‌ی Google Earth Engine (GEE) که از سال ۲۰۱۰ راه اندازی شد، کاربران را قادر می‌سازد تا به صورت رایگان و بدون محدودیت در استفاده، انواع پردازش‌ها را بر روی حجم زیادی از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای رایگان مانند Landsat، Modis، Sentinel و ... به انجام رسانند (Gorelick et al.(2017. این سامانه شامل پایگاه های اطلاعات هواشناسی (Dataset) به صورت مجموعه داده های آماری است که محتویات آن در قالب جدول یا ماتریس مرتب شده است و هر ستون یک متغیر و هر ردیف یکی از اعضای مجموعه داده می‌باشد. این متغیرها با توجه به موضوع کار می‌توانند متفاوت باشند. رایج ترین انواع dataset ها در زمینه‌ی بارندگی، ERA5، GRIDMET، TERRA Climate، GPM، TRMM، CHIRPS، PERSIANN و OPENLand Map هستند. دیتاست‌های بارش از این نظر شبیه هستند که بیشتر آن‌ها ترکیبی از داده‌های ماکویو غیر فعال و مادون قرمز حرارتی هستند. تفاوت اصلی آن‌ها در طریقه‌ی ترکیب داده‌های ورودی، قدرت تفکیک مکانی و زمانی است و اینکه آیا برای کاهش اریبی از داده‌های باران سنج‌های ایستگاهی در الگوریتم استفاده کرده‌اند یا خیر ((Dinku et al.(2010.

Akinyemi et al.(2019) ، با ارزیابی سه دیتاست Chirps، TRMM و REF 2 در جنوب غربی نیجریه نشان دادند که ضریب تعیین (R^2) بین دیتاست‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی برای تمامی ایستگاه‌ها بالای ۰/۷ می‌باشد و ارتباط سطح بالایی بین دو دیتاست Chirps و TRMM در تمامی مناطق با ضریب تعیین بالای ۰/۸۷ وجود دارد. عملکرد مناسب این داده های ماهواره ای در تحقیقات دیگر نیز مورد تأیید قرار گرفته است ((Zeng et al.(2018), Dandridge et al.(2019. تافته و همکاران (۱۳۹۹)، با بررسی محصولات بارش Chirps، TRMM و GPM برای بازه‌های زمانی روزانه، ماهانه و سالانه در سال‌های ۹۴_۹۳ و ۹۷_۹۶ و بررسی ۹ ایستگاه جهت صحت سنجی در استان خوزستان دریافتند که به طور متوسط ۵۱ درصد خطا در برآورد بارش وجود دارد و به مقدار ۳/۱ میلی متر به طور متوسط بارش کمتر برآورد می‌شود. از بین دیتاست‌ها، Chirps در مقیاس روزانه در این منطقه با شاخص کارایی(EF) ۰/۹۹ و خطای نرمال (Normal Error) برابر ۳۶ درصد بهترین نتیجه را نشان داد.

هدف از این تحقیق بررسی روند تغییرات ماهانه بارش با استفاده از داده های ماهواره ای محصولات بارش موجود در سامانه GEE و صحت سنجی آنها توسط داده های جمع آوری شده از ایستگاه های سینوپتیک استان قزوین است. در نهایت مناسب ترین دیتاست بارش که می تواند برای مباحث کشاورزی و مطالعات هیدرولوژیکی در منطقه کاربردی باشد، انتخاب می گردد.

مواد و روش ها

منطقه‌ی مورد مطالعه برای این تحقیق، استان قزوین می باشد که بین ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه ۲۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و دارای مساحت ۱۵۵۵۸ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط ۲۲۱۱ متر می‌باشد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی (کلیماتولوژی و سینوپتیک) استان را نشان می‌دهد.



شکل۱ – موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک استان قزوین

در این پژوهش از دیتاست‌های تخمین بارش در سامانه GEE شامل ERA5، GPM، GsMAP ، Chirps ، به صورت ماهانه استفاده شد. مقایسه و صحت سنجی با کمک داده‌های ۱۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک پراکنده در سطح استان قزوین برای بازه‌ی زمانی مطالعاتی ۲۰۲۰-۲۰۱۰ انجام شد. هر دیتاست در سامانه GEE دارای یک کد معرف است که با فراخوانی در محیط سامانه و اعمال فیلترهای مکانی (لایه‌ی وکتوری از منطقه‌ی مطالعاتی) و زمانی (بازه‌ی مورد مطالعه) از طریق کدنویسی، داده‌های بارش، استخراج

می‌شوند. داده‌های بارش ماهانه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک استان نیز از سازمان هواشناسی تهیه شد و پس از بررسی همگنی داده‌ها و حذف داده‌های پرت، داده‌های ماهواره‌ای و زمینی مورد ارزیابی و تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. شاخص‌های آماری استفاده شده در این تحقیق، شامل RMSE ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، Bias اریبی، Relative Bias اریبی نسبی، MAE، میانگین خطای مطلق و MBE، خطای اریبی میانگین می‌باشند.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Oi - Pi)^2\right)} \quad (1)$$

$$\text{Bias} = \frac{\sum Pi}{\sum Oi} - 1 \quad (2)$$

$$\text{Relative Bias (RB)} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi - Oi)}{\sum_{i=1}^{n} Oi} * 100 \quad (3)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^{n}|Oi - Pi| \quad (4)$$

پارامترهای Pi، Oi و $\bar{O}$، به ترتیب داده های به دست آمده از دیتاست‌ها، داده‌های مشاهده‌ای زمینی و متوسط داده‌های مشاهده‌ای می‌باشند.

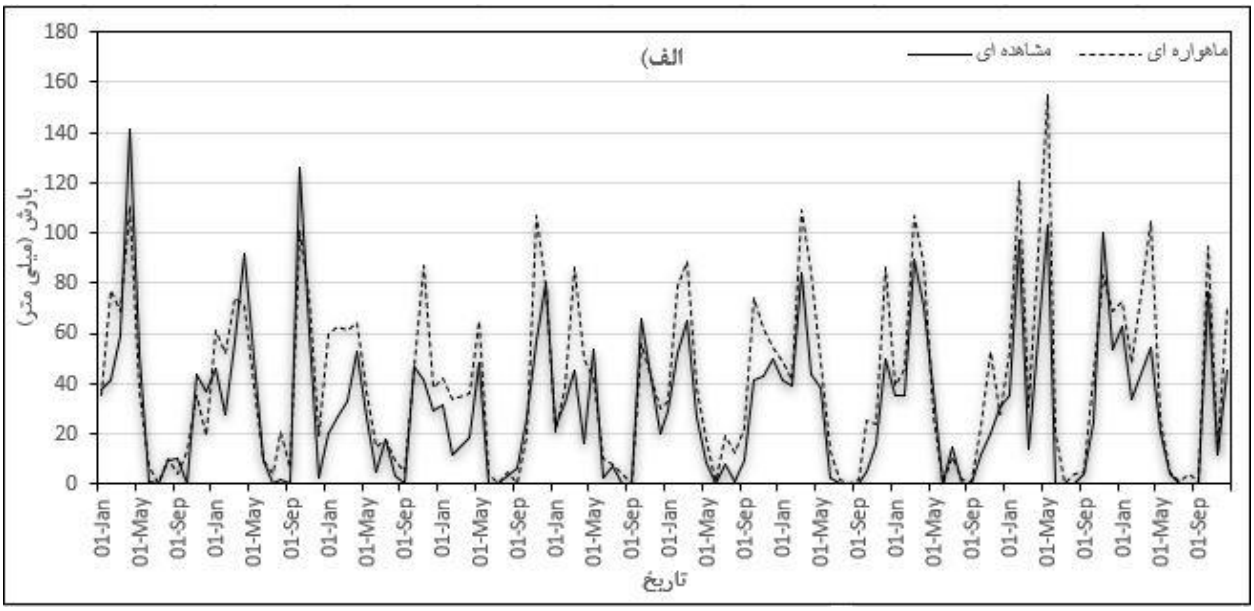
نتایج و بحث

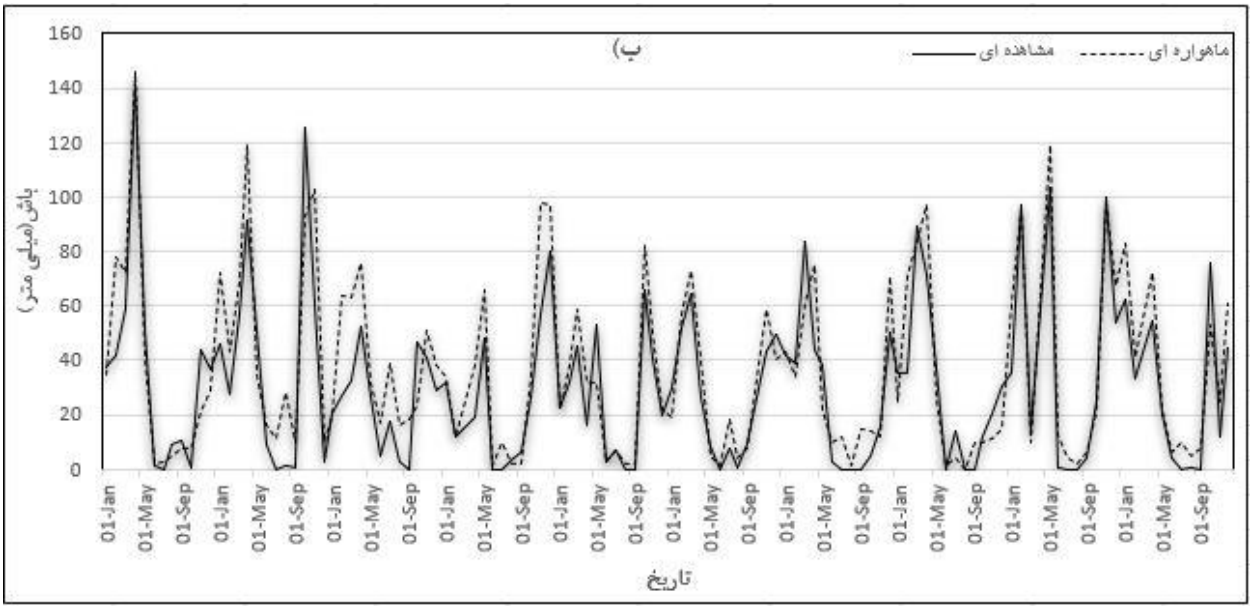
نتایج بررسی پارامترهای آماری نشان داد که، دو دیتاست GPM و ERA5 دارای الگوریتم مناسب تری بوده و بهترین برآوردهای بارش را با میانگین ضریب تعیین به ترتیب ۶۲/ ۰و ۰/۶۸ و میانگین ضریب همبستگی ۰/۷۸ و ۰/۸۲ برای ایستگاه‌های منطقه داشتند همچنین میانگین RMSE آنها در مقایسه با سایر دیتاست‌ها، کمترین مقدار یعنی ۳۴/۳۱ و ۲۸/۷۵ میلی‌متر بود. دیتاست Chirps با ضریب تعیین ۰/۴۹ و ضریب همبستگی ۰/۶۹ و میانگین RMSE برابر با ۴۶/۶۲ میلی‌متر برای استان، نامناسب ترین نتایج را نشان داد. میانگین پارامتر MAE (خطای مطلق قابل انتظار) برای این دو دیتاست به ترتیب ۲۷ و ۲۲/۴۲ میلی‌متر و برای Chirps ۳۸/۷۶ میلی‌متر در مقیاس ماهانه می‌باشد. جدول ۲ نتایج آماری به دست آمده را نشان می‌دهد:

جدول ۲- نتایج شاخص های آماری از مقایسه‌ی داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای GPM، GsMap، Chirps و ERA5

GsMap					GPM					
MAE	Bias	RB	RMSE	R^2	MAE	Bias	RB	RMSE	R^2	ایستگاه
17/614	-0/003	-0/33	24/47	0/48	11/54	0/19	19/92	15/18	0/81	آوج
27/42	1/57	157/21	40/2	0/36	28/86	1/75	175/53	35/95	0/52	آبیک
16/108	0/7101	71/013	25/13	0/48	22/61	1/24	124/01	28/69	0/64	بویین زهرا
23/34	0/85	85/18	35/76	0/56	24/39	1/03	103/8	31/64	0/65	اسماعیل آباد
23/55	0/74	74/47	33/44	0/5	21/03	0/74	74/04	27/46	0/65	کوهین
58/097	1/86	186/57	79/78	0/.62	39/84	1/22	122/92	49/96	0/5	معلم کلایه
24/32	0/87	87/8	37/51	0/59	27/6	1/07	107	35/9	0/61	قزوین
54/12	2/1	210/59	74/64	0/59	37/44	1/4	140/31	46/73	0/55	رازمیان
20/5	0/64	64/47	2/.62	0/39	34/89	1/45	145/37	43/63	0/51	سیردان
16/859	0/7	70/29	25/11	0/7	21/72	1/02	102/08	27/92	0/68	تاکستان
26/446	1/0037	100/73	40/466	0/527	26/992	1/111	111/498	34/306	0/612	میانگین

ERA5					Chirps					
MAE	Bias	RB	RMSE	R^2	MAE	Bias	RB	RMSE	R^2	ایستگاه
13/32	0/323	32/32	18/2	0/79	11/75	0/07	7/24	17/51	0/65	آوج
16/84	0/905	90/49	24/9	0/59	25/74	1/47	147/99	32/14	0/45	آبیک
13/69	0/635	63/45	18/77	0/64	12/66	0/49	48/14	18/17	0/54	بویین زهرا
17/903	0/737	73/67	25/01	0/74	14/9	0/34	34/04	22/3	0/52	اسماعیل آباد
36/35	1/455	145/5	4296	0/64	39/91	1/49	149/96	59/15	0/33	کوهین
23/86	0/676	67/56	31/35	071	99/68	3/16	316/4	128/1	0/46	معلم کلایه
16/41	0/514	51/42	22/84	0/71	16/49	043	43/91	23/84	0/56	قزوین
30/56	1/143	114/3	40/27	078	71/1	2/7	270/2	88/22	0/54	رازمیان
37/96	1/601	160/1	45/24	0/51	37/53	1/53	153/3	50/68	0/34	سیردان
12/85	0/475	47/54	18/05	0/68	17/82	0/69	69/84	26/09	0/48	تاکستان
22/43	0/846	84/63	28/76	0/68	38/761	1/237	124/102	46/62	0/487	میانگین





شکل ۲- روند تغییرات و مقایسه‌ی داده‌های زمینی و داده‌های ماهواره‌ای بارش در ایستگاه آوج الف- داده های ماهواره ای ERA5 ب- داده های ماهواره ای GPM

در بین ایستگاه‌ها، بهترین نتیجه به لحاظ خطای کم و همبستگی بالا برای ایستگاه آوج در جنوب استان به دست آمده است. روند تغییرات بارش داده‌های ایستگاه آوج نشان‌دهنده‌ی تطابق خوب داده‌های زمینی و ماهواره‌ای است. شکل ۲، تغییرات بارش برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۰ را به منظور مقایسه‌ی داده‌های بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در ایستگاه آوج نشان می‌دهد. داده‌های ایستگاه‌های معلم کلایه، رازمیان، سیردان و آبیک از تطابق مناسبی با داده‌های ماهواره‌ای برخوردار نبودند و مقدار شاخص Bias در آن‌ها نسبت به میانگین بر اساس داده‌های جدول ۲ بالاتر بود.

نتایج بررسی دیتاست‌های ماهواره‌ای نشان داد از بین ۴ دیتاست انتخاب شده از مجموع دیتاست‌های بارش در GEE، دو دیتاست ERA5 و GPM نتایج قابل قبول تری را ارائه می‌دهند. در بین دیتاست‌های این تحقیق، ERA5، بیشترین بازه‌ی زمانی مطالعاتی را پوشش می‌دهد. این دیتاست به صورت بازتحلیل (Reanalysis) بوده و دقت مناسب آن می تواند به ساختار آن نسبت داده شود که داده‌های ماهواره ای و مشاهداتی را برای رسیدن به داده های معتبر ترکیب می‌کند Azizi et al.(2021). دیتاست ERA5 را با بررسی مشاهدات زمینی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ در استان اردبیل مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بررسی مقیاس ماهانه نشان داد ضریب همبستگی برای ERA5 بیشتر از ۰/۸ و RMSE بین ۱۴/۷تا ۴۴/۳ میلی‌متر در سطح استان می باشد. Dandridge et al.(2019) در تحقیقی مشخص کردند که در پایین دست حوضه‌ی رودخانه‌ی Mekong برای ۱۲ ایستگاه بالای ۱۰۰۰ متر ارتفاع، میانگین مقادیر پارامترهای RMSE، Bias و CD برای Chirps به ترتیب ۱۰۳/۷۵میلی‌متر، ۲۲/۴۷- و ۰/۸۱ و برای TRMM ۱۵۲/۲۴میلی‌متر، ۲۳/۳۵ و ۰/۵۴ بود. در تحقیق حاضر، دیتاست Chirps برای مقیاس ماهانه در منطقه استان قزوین کمترین میزان دقت را نشان داد. داده‌های بارش این پایگاه داده که بازه‌ی زمانی بیشتر از ۳۰ سال را شامل می شود، معمولاً در تحلیل روند خشکسالی فصلی مورد استفاده است. نتایج GsMAP اطلاعات بارش را به صورت ۳ ساعته با تفکیک مکانی ۰/۱ درجه فراهم می‌کند. فرآیند تبدیل داده های ساعتی به ماهانه می تواند از عوامل ایجاد خطا و افزایش میزان خطای این دیتاست قلمداد گردد. نتایج تحقیقات قبل نیز نشان می دهد که با وجود نتایج تقریباً مناسب و مزایای دیتاست‌ها ماهواره‌ای تخمین بارش، این مجموعه داده ها، با خطاهای گوناگون مانند خطاهای سنسور و نیز الگوریتم‌های بازیابی روبرو هستند ((Boroujerdy et al.(2020)-Katiraie..

نتیجه گیری

در این پژوهش میزان دقت داده های ماهواره ای بارش در محصولات ERA5، GPM، GsMAP، Chirps از سامانه GEE به صورت ماهانه در سطح استان قزوین طی دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۰۱۰ بررسی شد. نتایج نشان داد که در بین ایستگاه‌های سینوپتیک، بهترین نتایج شاخص های آماری داده های ماهواره ای مربوط به ایستگاه آوج در جنوب استان است. همچنین در بین دیتاست های بررسی شده، داده های خروجی ERA5 و GPM به صورت مناسبتری می توانند در تحلیل های تغییرات بارش و در نهایت کاربردهای کشاورزی آن مانند تعیین تاریخ کشت، تعیین الگوی مناسب کشت و برنامه ریزی آبیاری در استان قزوین که دارای اراضی دیم فراوان است، کاربردی باشند.

منابع

تافته، آ.، ملاح، س.، ابراهیمی‌پاک، ن.ع. (۱۳۹۹). بررسی نتایج داده‌های روزانه، ده روزه و ماهانه تصاویر ماهواره در تخمین مقدار بارش با استفاده از سامانه Google Earth Engine در استان خوزستان. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، شماره‌ی ۳، صفحات ۹۳-۱۰۴

Su, Fengge., Hong, Yang., Lettenmaier, Dennis P.(2008). Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and its utility in hydrologic prediction in the La Plata Basin. Journal of hydrometeorology **9**(4) : 622-640.

Katiraie-Boroujerdy, P.S., Rahnamay Naeini, M., Akbari Asanjan, A., Chavoshian, A., Hsu, K.L., and Sorooshian, S. (2020). Bias Correction of Satellite-Based Precipitation Estimations Using Quantile Mapping Approach in Different Climate Regions of Iran. *Remote Sensing*, *12*(13), p.2102.

Dinku, Tufa,. Ruiz, Franklyn,. Connor, Stephen J,. Ceccato, Pietro . (2010). Validation and intercomparison of satellite rainfall estimates over Colombia. Journal of Applied Meteorology and Climatology **49**(5): 1004-1014.

Akinyemi, D.F., Ayanlade, O.S., Nwaezeigwe, J.O., and Ayanlade., A. (2019). A comparison of the accuracy of multi-satellite precipitation estimation and ground meteorological records over Southwestern Nigeria. Remote Sensing in Earth Systems Sciences, pp.1-12.

Dandridge, C., Lakshmi, V., Bolten, J. and Srinivasan, R. (2019). Evaluation of satellite-based rainfall estimates in the lower Mekong River basin (Southeast Asia). Remote Sensing, 11(22), p.2709.

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D. and Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote sensing of Environment, 202, pp.18-27.

Zeng, Q., Wang, Y., Chen, L., Wang, Z., Zhu, H. and Li, B. (2018). Inter-comparison and evaluation of remote sensing precipitation products over China from 2005 to 2013. Remote Sensing, 10(2), p.168.

Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A. and Bakhtar, A. (2021). Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study; Ardabil Province. Iranian Journal of Soil and Water Research, *51*(11), pp.2937-2951.

Investigation of temporal trend in monthly rainfall for different synoptic stations of Ghazvin province using satellite data

Soroush komajian, Seyed Ebrahim Hashemi Garmdare[1,*], Mohammad Abdolahipour[2,*],Shademan Veysi

Abstract

Recently local investigation of climate parameters such as rainfall has attracted increasing attention due to global warming and water resources shortage issues. New technologies such as remote sensing and application of satellite imagery are known as acceptable innovations to promote classic scientific methods. In this research, the rainfall temporal trend of 10 synoptic stations over Ghazvin province were studied by using monthly data collected from both synoptic stations and also Chrips, GsMAP, GPM and ERA5 datasets provided by Google Earth Engine during 2010-2020 years. Among different datasets, the ERA5 and GPM datasets showed the highest correlation coefficient (more than 0.7) with weather station data and their RMSE, Bias and MAE indices were in acceptable range. Thus, it is suitable to apply these datasets in the condition of lack of rainfall data in weather stations of the studied area. However, due to different types of errors including errors from sensors and retrieval algorithms, it is necessary to evaluate satellite-based products under different topographic and climatic conditions in order to improve their applications for agricultural purposes.

Keywords Precipitation, Remote sensing, Google Earth Engine, Satellite

تبخیر تعرق توتون در شرایط استاندارد و استفاده از مدیریت کم آبیاری در شرایط محدودیت آب

رقیه رضوی[1]، حسن وطن خواه [2]، نرگس رضوی[2] ، حسین فجری [3]

۱ محقق مؤ سسه تحقیقات خا ک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران کرج

razyasbah@yahoo.com

۲کارشناسان بهداشت حرفه ای مرکز بهداشت آذربایجان شرقی، ۳ محقق مرکز تحقیقات توتون آذربایجان غربی

چکیده

به منظورتعیین تبخیر- تعرق توتون در شرایط استاندارد و همچنین بررسی مدیریت کم آبیاری در توتون، آزمایشی با استفاده از۲ عدد لایسی‌متر و آزمایش دیگری با کم آبیاری بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با کرت‌های اصلی دو دور آبیاری۱۰و ۱۵روزه و در کرت‌های فرعی سه تیمار مقدار آبیاری ۴۰ و ۶۰ و ۸۰ درصد تبخیر از تشت کلاس الف درسه تکرار هر کدام سه سال هم زمان در اراضی مرکز تحقیقات توتون ارومیه اجرا شد. میانگین تبخیر- تعرق توتون در لایسیمتر ۴۰۱۲ و با احتساب۱۵۰۰ متر مکعب در هکتارخزانه به مقدار ۵۵۱۲ متر مکعب در هکتار تعیین شد. در طرح کم آبیاری، طبق نتایج تجزیه آماری سه سال عملکرد کمی و کیفی برگ خشک، دور آبیاری ۱۵ روزه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ داشت. اثر مقدار آب آبیاری بر عملکرد برگ خشک و بهاء یک کیلوگرم توتون در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. از نظر در آمد ناخالص و همچنین نتایج کلی آزمایش، دور آبیاری ۱۵ روزه و مقدار آبیاری برمبنای ۶۰٪ تبخیر از تشتک کلاس الف با مقدار آب مصرفی در مزرعه ۳۷۲۲ متر مکعب در هکتار و با احتساب۱۵۰۰ متر مکعب در هکتار خزانه، ۵۲۲۲ متر مکعب در هکتار توصیه شد.

واژگان کلیدی: تبخیر تعرق، توتون، عملکرد، کم آبیاری.

مقدمه

تعیین نیاز آبی گیاهان و نحوه توزیع آن در دوره رشد از اساسی‌ترین اطلاعات می‌باشد که به منظور استفاده صحیح از آب و سایر برنامه‌ریزی‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برنامه‌ریزی صحیح آبیاری سبب استفاده بهینه از منابع محدود آب است زیرا که واکنش گیاه به کمبود آب به عوامل متعدد از جمله شدت تنش و طول دوره رشد و همچنین مرحله رشد گیاه بستگی دارد. با تامین آب کافی در مراحل حساس به کمبود آب می‌توان اثرات نامطلوب تنش خشکی را تا حد معنی‌داری کاهش داد. در صورت محدود بودن منابع آبی، انجام مدیریت کم آبیاری از اولویت‌های مهم می‌باشد که با هدف تعیین برنامه آبیاری توتون در شرایط کم آبیاری و تعیین مراحل حساس به تنش آبی و تعیین کارآئی مصرف آب به نتایج لازم برسد.

توتون یکی از نباتات صنعتی است که درآمد حاصل از فرآورده‌های مختلف این گیاه رقم مهمی از درآمد ملی کشورهای تولیدکننده را تشکیل می‌دهد (خدابنده، ۱۳۸۵) در صنایع داروسازی از مواد موثره این گیاه داروهای مسکن و ارام بخش و همچنین داروهایی برای ترک سیگار تهیه می شود . توتون‌های شرقی که در مسیر تکامل خود بعنوان گیاهان مناطق خشک گسترش یافته‌اند معمولا یا بدون آبیاری کشت می‌شوند یا به آب کم نیازمندند (خدابنده، ۱۳۸۵). با وجود این که در تقسیم‌بندی مقاومت گیاهان به خشکی، توتون، گیاهی نسبتاً متحمل به خشکی شناخته شده است اما طبق نتایج تحقیقات، نیاز آبی آن در طول دوره رشد سریع و دوره رشد برگ‌ها بالا است (میشل و آنتونی، ۲۰۰۷). آبیاری صحیح موجب طویل شدن ساقه‌ها و افزایش سطح برگ‌ها و کاهش وزن ریشه نسبت به اندام‌های هوائی می‌شود (هاوکینز و همکاران، ۲۰۱۲).

آبیاری بیش از اندازه باعث رشد بیش از حد طبیعی برگ‌ها وکاهش کیفیت آنها شده و دوره رشد را طولانی و برداشت را به تاخیر می‌اندازد(خدابنده، ۱۳۸۵). کم آبی و تنش زیاد مانند آب بیش از حد نیاز به طور معنی‌داری موجب کاهش عملکرد و کیفیت توتون می شود، از این رو آبیاری به مقدار کافی و در زمان مناسب در عملکرد توتون نقش به سزایی دارد (موور و تایسون، ۲۰۰۵).

تبخیر تعرق گیاه توتون (ETc) تحت شرایط استاندارد (طبق توصیه نشریه فائو ۵۶) به معنی تبخیر و تعرق از گیاهی است که عاری از بیماری بوده و خوب تغذیه شده و در مزارع بزرگ رشد یافته و وضعیت آب خاک بهینه بوده ودر شرایط اقلیمی مورد نظر دارای عملکرد خوبی باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). میزان تبخیر تعرق (ETc) توتون در شرایط استاندارد لایسی‌متری تعیین و با استفاده از تبخیر و تعرق چمن (ETo) در رابطه (۱)، ضریب گیاهی (Kc) توتون در چهار مرحله رشد محاسبه می‌شود.

$$ETc= Kc . ETo \quad (۱)$$

نیاز آبی در مراحل مختلف رشد توتون نیز متفاوت می‌باشد. مثلا از زمان کاشت بذر درخزانه تا انتقال نشاء به زمین اصلی که حدود ۶۰-۵۰ روز طول می‌کشد در هفته‌های اول حدود ۳ تا ۵ لیتر در مترمربع در روز آب لازم است. ۴۰-۳۰ روز پس از کشت در خزانه نشاها آب کمتری لازم دارند تاضخیم‌تر شوند. بعد از انتقال نشاها به مزرعه که تا برداشت کامل حدود ۹۰ تا ۱۲۰ روز طول می‌کشد باید در طراحی برنامه آبیاری دقت زیادی کرد زیرا که آبیاری مکرر و زیاد به گیاه صدمه می‌زند و در عوض کاهش آب و تنش آبی در مواقع خاصی ممکن است محصول را زیاد کند تنش آبی کمی بعد از انتقال نشاها به مزرعه لازم است (دورنبوس و کاسام، ۱۹۷۹). دوره‌ای که حداکثر نیاز آبی توتون در آن اتفاق می‌افتد ۵۰ تا ۷۰ روز بعد از نشاکاری بوده که بعداز آن مقدار نیاز آبی توتون تازمان برداشت کاهش می‌یابد (دورنبوس و کاسام، ۱۹۷۹).

حداکثر آب مصرفی گیاه توتون بستگی به وسعت سطح برگ‌های آن دارد این موضوع مقارن با ده تا پانزده روز قبل از گلدهی کامل گیاه است همچنین تنش آبی کمی حدود ۲۰ روز بعد از نشاءکاری لازم است تا ساقه‌ها ضخیم‌تر شوند (ویتی و چمبلیس، ۲۰۰۵). آبیاری صحیح در بهینگی ترکیب شیمیائی برگ‌ها نیز موثر بوده بطور کلی موجب کاهش نیکوتین و افزایش قندها می‌شوند (خدابنده، ۱۳۸۵). از مجموع ۴/۵ میلیون هکتار اراضی تحت کشت توتون در دنیا ۵/۷ میلیون تن برگ توتون حاصل می‌شود (هاشمی دزفولی و همکاران، ۱۳۷۴). براساس تحقیقاتی که در امریکا انجام شده است مرحله بحرانی رشد توتون در این کشور زمانی است که ساقه‌ها حالت شکننده داشته و یا اینکه به ارتفاع ۴۵ تا۶۰ سانتی‌متر رسیده باشد. در این حالت توتون به بیشترین آب نیاز دارد. کل نیاز آبی توتون‌های شرقی در بلغارستان ۲۸۰۰ تا۴۰۰۰ متر مکعب در هکتار بوده در صورتیکه توتون‌های برگ درشت بطور متوسط به ۶۰۰۰ متر مکعب در هکتار آب نیازمندند (خدابنده، ۱۳۸۵).

مواد و روش‌ها

این آزمایش‌ها با تعیین تبخیر- تعرق توتون در شرایط استاندارد به منظور تعیین نیاز آبی و همچنین در شرایط محدودیت آبی (کم آبیاری) با هدف تعیین واکنش توتون به کاهش آب آبیاری اجرا شد. در آزمایش لایسیمتری جهت اجرای آزمایش در هر سال دو قطعه زمین هر کدام به مساحت ۴۰۰ متر مربع در نظر گرفته شده بود که در وسط هر قطعه یک عدد لایسیمتر جایگذاری شده است . این آزمایش بمدت سه سال زراعی در ایستگاه تحقیقاتی توتون ارومیه اجرا شد. هر سطح لایسیمتر به ابعاد ۱/۵ × ۱/۲ متر مربع بوده و دارای کف شیبدار بودند که دارای لولهٔ زه آب بودند و زهکشی بطریقهٔ پمپاژ از لولهٔ زه آب انجام گرفته است . نصب لایسیمتر مطابق شرایط استاندارد بوده و دور از موانع و ابنیه با ایجاد زهکش در کف نصب شده است . قبل از کشت لایسیمتر اقدام به اشباع آن نموده سپس آبهای اضافی خارج شد و نشای توتون از رقم شرقی (پس از رسیدن رطوبت سطح خاک به ظرفیت مزرعه کشت شده است . فاصله ردیفهای کشت داخل و خارج لایسیمتر ۶۰ سانتیمتر بوده است. در جوار آن، آزمایش بصورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار در سه تکرار و ۳ سال در ایستگاه تحقیقاتی توتون ارومیه اجراشد. سه سطح متفاوت آبیاری برمبناء تبخیر تجمعی از تشت کلاس A و دو سطح دور آبیاری به شرح زیر می‌باشد.

W۱ = آبیاری به میزان ۴٪ تبخیر از تشت کلاس A

W۲= آبیاری به میزان ۶۰٪ تبخیر از تشت کلاس A

W۳= آبیاری به میزان ۸۰٪ تبخیر از تشت کلاسA

D_1= دور آبیاری ۱۰ روزه

$D_۲$= دورآبیاری ۱۵ روزه

آبیاری از مرحله کشت درخزانه تا خاک دادن پای بوته درکلیه تیمارها بطور یکنواخت انجام شده است یعنی بعد از نشاء کاری یک مرتبه آبیاری بمنظور استقرار بوته‌ها بطور یکنواخت انجام شد و پس از آن تیمارها مطابق پیش‌بینی طرح اعمال شده است. قبل از کشت نمونه خاک مرکب تهیه شده و تجزیه‌های شیمیائی و فیزیکی بر روی آنها انجام شده است.

جدول (۱) خصوصیات شیمیائی و فیزیکی محل‌های اجرای طرح

سال	رطوبت اشباع ٪	هدایت الکتریکی عصاره اشباع ds/m	PH گل اشباع	فسفرقابل جذب p.p.m	پتاسیم قابل جذب p.p.m	ازت کل ٪	کربن آلی ٪	شن ٪	لای ٪	رس ٪
اول	۴۸	۰/۴۸	۷/۴	۲۳	۴۲۰	۰/۱۱۲	۰/۷	۳۱	۳۰	۳۹
دوم	۴۸	۰/۴۹	۷/۴	۲۴	۴۰۰	۰/۱۱۲	۰/۷	۳۰	۳۰	۴۰
سوم	۴۵	۰/۳۵	۷/۵	۴۰	۴۲۸	۰/۱۰۶	۰/۷۴	۳۱	۳۰	۳۹

به دلیل بالابودن مقدار فسفر وپتاسیم خاک از کودهای فسفره و پتاسه استفاده نشده وکود ازته به مقدار ۲۸ کیلوگرم در هکتار ازت خالص از منبع نیترات آمونیوم در دو نوبت قبل از انتقال نشا به زمین اصلی و در موقع خاک دادن پای بوته توزیع شده است. نوع رقم مورد کشت شرقی بود. اندازه کرت‌های فرعی ۲۴=۴×۶ متر مربع بوده و هر سه کرت فرعی یک کرت اصلی را تشکیل داده است. فاصله بین کرت‌های اصلی ۲ متر و بین کرت‌های فرعی ۱/۵ متر و بین تکرارها ۲/۵ متر بوده است. فاصله بین ردیف‌های کشت ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها از همدیگر ۱۵ سانتی‌متر بوده است.

مقدار آب خاک در حد ظرفیت زراعی (Fc) ۲۸/۶ درصد وزنی درحد نقطه پژمردگی (PWP) برابر ۱۷/۶درصد وزنی و جرم مخصوص ظاهری خاک (B.D) برابرg/Cm^3 ۱/۴ بوده است. هر سال در اوایل دوره رشد، نمونه آب تهیه نموده و تجزیه های لازم بر روی آن انجام شد. با توجه به نتایج تجزیه، آب آبیاری بر اساس طبقه‌بندی ویل‌کوکس، در کلاس C2S1 قرار داشته و کیفیت آب محدودیتی برای توتون ندارد.

در جوارآزمایش یک دستگاه تشت تبخیر کلاس A نصب شده و مقادیر تبخیر روزانه اندازه گیری شده است. همچنین در کنار این آزمایش نیز یک دستگاه لایسیمتر چمن کشت شده و اطراف این لایسیمتر نیز به مساحت ۴۰۰ متر مربع به کشت چمن اختصاص داده شد. کشت در خزانه از اواخر فروردین شروع شده در هفته اول تیرماه نشاها به مزرعه منتقل شده و در اواسط مرداد اولین چین و در اواخر شهریور و اوایل مهرماه آخرین چین (جمعا چهار چین) برداشت شده است. پس از برداشت، اندازگیری‌های مربوط به عملکرد وزنی و همچنین ارزیابی کیفیت برگ توتون از نظر تعیین بها و تجزیه شیمیایی برگ توتون انجام گرفت.

با استفاده از فرمول:

$$ETP= P + I – D -+ d W \quad (۲)$$

P = مقدار بارندگی به میلی‌متر

I = مقدار آبیاری به میلی‌متر

D = مقدار آب زهکشی شده به میلی‌متر

dW = تغییرات رطوبت خاک (در دوره‌های ده روزه با نمونه‌برداری خاک تعیین شده است)

ETP = تبخیر و تعرق به میلی‌متر.

مقادیر تبخیر و تعرق لایسی‌مترها در دوره‌های ده روزه و یک ماهه با اندازه‌گیری آب آبیاری و میزان بارندگی و مقدار زه‌آب هر لایسیمتر تعیین گردید. در آزمایش دوم نیز آبیاری مطابق الگوی طرح انجام گرفته و مقدار آب با پارشال فلوم اندازه‌گیری شد. در نهایت ضمن تعیین مقادیر آب مصرفی تیمارها در هر دو آزمایش، عملکرد کمی و کیفی دانه نیز تعیین شد.

پس از برداشت محصول مقدار عملکرد برگ توزین گردیده سپس کیفیت برگ توتون تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار MSTATC بر روی نتایج عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب صورت گرفت. در نهایت ضمن تعیین مقادیرآب مصرفی

تیمارها، کارآیی مصرف آب تیمارهای مورد آزمایش محاسبه و همراه با تجزیه و تحلیل آماری نتایج عملکرد مورد بررسی قرار گرفت.

همچنین کارآیی مصرف آب (WUE) از رابطه (۳) تعیین شد:

$$WUE = Yield / Vw \qquad (۳)$$

که در آن:

WUE کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)

Yield عملکرد میوه (کیلوگرم بر هکتار)

Vw مقدار آب مصرفی (مترمکعب)

نتایج و بحث

نتایج اندازه گیری مقادیر تبخیر و تعرق لایسیمترهای توتون و همچنین تبخیر و تعرق پتانسیل چمن پس از انجام محاسبات لازم در دوره های ده روزه و یکماهه در مراحل رشد چهار گانه توتون مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته و ضرائب لازم تعیین شد .

جدول (۲) میانگین دوسال ارقام تبخیر و تعرق لایسیمترهای توتون و چمن ومقدار تبخیراز تشت در مراحل چهارگانه رشد توتون به میلی متر و ضرایب مربوطه

مراحل رشد توتون	تبخیر از تشت کلاس A mm	تبخیر وتعرق توتونmm	تبخیر و تعرق پتانسیل چمن mm	ضریب گیاهی توتون (KC)	نسبت تبخیر وتعرق توتون به تبخیر
مرحله رشد اولیه (۱۵ روز) (initial stage)	۹۲	۴۶/۴	۹۱/۱	۰/۴	۰/۵
مرحله توسعه رشد (۲۵ روز) (crop development)	۱۹۶	۱۲۱	۱۵۵	۰/۷۸	۰/۶
مرحله میان فصل ۳۰ روز (mid season)	۲۵۶	۱۹۲	۱۸۶	۱/۰۴	۰/۸
مرحله پایان فصل رشد۳۰ روز (Late season)	۸۹	۵۱/۸	۷۵/۵	۰/۷	۰/۶

در طول فصل رشد توتون در سه سال بطور میانگین ۳۴/۹ میلیمتر بارندگی به وقوع پیوسته که در محاسبات مربوط به آب مصرفی منظور شده است.

در آزمایش لایسی‌متری براساس میانگین نتایج حاصله مقدار تبخیر و تعرق توتون در چهار مرحله رشد طبق تقسیم‌بندی فائو و جدول (۲) بصورت زیر تعیین شد:

درمرحله رشد اولیه (initial stage) که از زمان کشت نشا در مزرعه تا پوشش ۱۰٪ ادامه دارد. در این مرحله سطح برگ کم و قسمت اعظم تبخیر و تعرق مربوط به تبخیر از سطح خاک می‌باشد. میانگین کل سه سال تبخیر و تعرق توتون برابر با ۴۶/۴ و برای گیاه مرجع چمن برابر با ۹۱/۱ میلی‌متر شده است. ضریب گیاهی توتون در این مرحله (K_{cini}) برابر۰/۴ بود. در نشریه ۳۳ فائو این ضریب از ۰/۳ تا ۰/۴ گزارش شده است.

مرحله توسعه رشد (crop development) که برای توتون از پانزده روز بعد از نشاکاری شروع شده و تا رشد کامل رویشی ادامه داشت. در این مرحله میانگین کل سه سال تبخیر و تعرق توتون برابر با ۱۲۱ و برای گیاه مرجع چمن برابر با ۱۵۵ میلی‌متر شده است. ضریب گیاهی توتون در این مرحله (K_{cd}) برابر با ۰/۷۸ بود. در نشریه ۳۳ فائو نیز این ضریب از ۰/۷ تا ۰/۸ گزارش شده است.

مرحله میان فصل (mid season) از مرحله گل‌دهی تا ۲ چین برداشت برگ را شامل می‌شود تبخیر و تعرق گیاه به بیشترین حد خود رسید. در این مرحله میانگین کل سه سال تبخیر و تعرق توتون برابر با ۱۹۲ و برای گیاه مرجع چمن برابر با ۱۸۶ میلی‌متر شده است ضریب گیاهی توتون در این مرحله (K_{cmid}) به بالاترین حد خود یعنی ۱/۰۴رسید. در نشریه ۳۳ فائو این ضریب از ۰/۹ تا ۱/۲ گزارش شده است.

مرحله پایان فصل رشد (late season) که از چین سوم برداشت برگ تا خشک شدن طبیعی را شامل می‌شود. در این مرحله مقدار تبخیر و تعرق توتون برابر با ۵۱/۸ و برای گیاه مرجع چمن برابر با ۷۵/۵ میلی‌متر شده است. ضریب گیاهی توتون در این مرحله (Kc_{end}) به ۰/۷کاهش یافت. در نشریه ۳۳ فائو این ضریب از ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ گزارش شده است.

میانگین کل تبخیر و تعرق سه سال توتون در طول دوره رشد در مزرعه ۴۰۱/۲ میلی‌متر بود که با احتساب ۱۵۰ میلی‌متر آب مصرفی در خزانه، به ۵۵۱/۲ میلی‌متر رسید. در نشریه ۳۳ فائو تبخیر و تعرق توتون بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. فرشی و همکاران (۱۳۷۶) نیز تبخیر و تعرق توتون را در ارومیه ۵۲۶ میلی‌متر برآورد کرده‌اند.

میانگین کل عملکرد برگ خشک توتون در لایسیمترها ۱۵۲۳ کیلوگرم در هکتار و میانگین کل آب مصرفی ۴۰۱۲ متر مکعب در هکتار و کارآیی مصرف آب ۰/۳۸ کیلوگرم بر متر مکعب شده است که با احتساب ۱۵۰۰ متر مکعب در هکتاردر کل به مقدار ۵۵۱۲ متر مکعب در هکتارآب مصرف شده است. در آزمایش تعیین دور و عمق آبیاری توتون ، نتایج بدست آمده با استفاده از نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و میانگین نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳) میانگین عملکرد وزنی برگ خشک و درآمد و عملکرد کیفی توتون

دور آبیاری	D_1			D_2			لایسیمتر
تیمار مقدار آبیاری	W_1	W_2	W_3	W_1	W_2	W_3	
عملکرد (کیلو گرم در هکتار)	^{C}۱۵۹۳	^{ABC} ۱۷۲۸	^{ABC} ۱۷۴۸	^{BC} ۱۶۷۲	^{AB}۱۸۱۳	^{A} ۱۹۱۴	۱۷۱۱/۵
بهای یک کیلوگرم (ریال)	^{AB} ۱۴۸۷/۳	^{ABC}۱۳۷۵/۱	^{C}۱۲۸۱/۹	^{A}۱۵۴۲/۸	^{AB}۱۵۰۹/۷	^{BC}۱۳۱۰/۴	۱۷۹۶
درآمد ناخالص هکتار (میلیون ریال)	۲/۲۷	۲/۳۶	۲/۲۰	۲/۴۸	۲/۶۹	۲/۵۰	۲/۷۰
آب مصرفی (متر مکعب در هکتار)	۲۶۱۲/۷	۳۳۹۶	۴۱۷۶/۷	۲۸۳۲/۷	۳۷۲۲	۴۶۱۱/۳	۴۰۱۲
کارآیی مصرف آب(کیلوگرم بر متر مکعب)	۰/۶۱	۰/۵۱	۰/۴۲	۰/۵۹	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۳۸
درصد قند	۱۲/۵۰	۱۲/۱۵	۱۴/۱۲	۱۲/۳۰	۱۴/۶۶	۱۲/۹	۱۰/۶
درصد نیکوتین	۱/۴۷	۱/۳۶	۱/۱۵	۱/۳۳	۱/۱۵	۱/۲۳	۱/۰
درصد خاکستر	۱۶/۶۷	۱۷/۷۴	۱۶/۳۱	۱۷/۳۰	۱۶/۰۸	۱۷/۸۰	۱۵/۳۰
درصد پروتئین	۵/۲۷	۵/۳۳	۵/۳۵	۴/۹۵	۴/۹۱	۵/۲۵	۵/۲۵

با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل آماری برروی میانگین ارقام سه سال مربوط به عملکرد برگ خشک، بها یک کیلوگرم و درآمد ناخالص در هکتار ملاحظه می‌شود که با توجه با بافت خاک منطقه (لومی رسی) دور آبیاری ۱۵ روزه در کلیه موارد برتری خود را نشان داده و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ با دور آبیاری ۱۰ روزه دارد. همچنین نتایج تجزیه وتحلیل آماری در مورد اثر مقدار آب آبیاری نشان می‌دهد که عملکرد برگ خشک توتون در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده بطوریکه در گروه‌بندی، تیمارهای W_2 و W_3 در گروه A و W_1 در گروه B قرار گرفته‌اند. از نظر بهاء یک کیلوگرم نیز اثر مقدار آبیاری درسطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شده است و تیمار W_1 و W_2 در گروه A و تیمار W_3 درگروه B قرار گرفته‌اند. از نظر در آمد ناخالص نیز باتوجه به نتایج تجزیه و تحلیل آماری اثر متقابل تیمار D_2 W_2 در گروه بالاتری نسبت به سایر تیمارها قرار گرفته است. از نظر تجزیه شیمیائی برگ توتون و بطور کلی کیفیت توتون، دور آبیاری ۱۵ روزه برتری خود را نسبت به ۱۰ روزه نشان داده و مقدار آب آبیاری ۶۰٪ نسبت به سایر تیمارها دارای کیفیت بالاتری بود.

نتیجه‌گیری

میانگین تبخیر- تعرق توتون در لایسیمتر ۴۰۱۲ و با احتساب ۱۵۰۰ متر مکعب در هکتارخزانه به مقدار ۵۵۱۲ متر مکعب در هکتار تعیین شد. در طرح کم آبیاری، بطور کلی نتایج حاصله نشان می‌دهد که تیمار D_2 W_2 یعنی دور آبیاری ۱۵ روزه و مقدار آبیاری بر مبنای تبخیر تجمعی ۶۰٪ تبخیر از تشتک کلاس الف مورد توصیه بوده است مقدار آب مصرفی این تیمار در مزرعه ۳۷۲۲ متر مکعب در هکتار و با احتساب آب مصرفی خزانه ۵۲۲۲ متر مکعب در هکتار شده است که نسبت به آبیاری کامل جدود ۱۰ درصد آب کمتری مصرف کرده است. و کیفیت آن نیز بالاتر است. بنابراین با توجه به تنوع خاک‌های منطقه آب مصرفی توتون

شرقی بین ۴۰۰۰ الی ۵۵۰۰ متر مکعب در هکتار توصیه می‌شود. در کتاب برآورد آب مورد نیـاز گیاهـان زراعـی، توسـط فرشـی و همکاران (۱۳۷۶) مقدار آب مصرفی توتون برای منطقه ارومیه ۵۲۶۰ متر مکعب در هکتار برآورد شده است.

فهرست منابع

۱) خدابنده، ن. ۱۳۶۷. زراعت گیاهان صنعتی، مرکز نشر سپهر، تهران، ص ۴۵۴-۲۸۱.

۲) فرشی، ع.ا.، شریعتی، م.ر.، جارالهی، ر.، قائمی، م.ر.، شهابی فر، م. و تولائی،م. ۱۳۷۶. برآورد آب موردنیاز گیاهان زراعی و باغی کشور، نشر آموزش کشاورزی، ۹۰۰ ص.

۳) هاشمی دزفولی، ا. ح.، کوچکی، ع. و بنایان اول، م. ۱۳۷۴. افزایش عملکرد گیاهان زراعی، نشر جهاد دانشگاهی مشهد شماره ۱۲۰، ص ۲۳۴- ۲۳۳.

4) Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. In: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, FAO.

5) Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

6) Hawkins, Gary L. , Sumner, Paul E ., Moore ,J.Michael . 2012. Irrigating tobacco. The University of Georgia Published.

7) Michael, M. J. and Anthony, W. T. 2007. Irrigation tobacco. http:// www. caes. uga. Edu commoittes.

8) Moore, J.M. and Tyson, A.W. 2005. Irrigation tobacco, the University of Agricultural and Environmental Sciences, cooperative Extension service, http://www. Griffin peachnet, edu/case/ tobacco/ handbook/ Irrigation98html.

9) Whitty, E.B. and Chambliss, C.G. 2005. Water use and irrigation management of agronomic crops. http://edis.ifas.ufl.edu. SS-AGR-155.

Evapotranspiration of tobacco under standard conditions and using deficit irrigation management in water restricted conditions

R. R azavi [1], H. Vatan khah[2], N.Razavi[2], H, Fajri[3]

1Researcher of soil & Water Research Center, Agricultural Research & Education Organization, 2 occupational health experts of East Azarbaijan Health Center, 3 Researcher of west Azarbayjan TobaccoResearche center

Abstract

In order to determine the evapotranspiration of tobacco in standard conditions and to evaluate deficit irrigation management in tobacco, an experiment was carried out using two lysimeters and another experiment was conducted with split plot design with three replications in the Urmia Tobacco Research Center. Main plots were irrigation interval, 10 and 15 days and sub plots were amount of irrigation water, 40 and 60 and 80% of Class A pan evaporation. The average evapotranspiration of tobacco in lysimeter 4012 m3/ha and 1500 m3/ha of the treasury was set total at 5512 m3/ha. In the deficit irrigation plan, according to the results of statistical analysis of three years of quantitative and qualitative yield of dry leaves, the 15-day irrigation period had a significant difference at the level of 1% probability. The effect of irrigation water content on dry leaf yield and price per kg of tobacco was significant at 1% probability level. In terms of gross earning according to results, irrigation interval of 15 days and the amount of irrigation water based on 60% evaporation of Class A pan with the total amount of water of treatment used in the field 3722 m3/ha tare and including 1500 m3/ha of treasury, 5222 m3/ha was recommended.

Keywords: deficit irrigation , Evapotranspiration, tobacco , yield.

مقایسه تبخیر و تعرق واقعی و برآورد شده گیاه برنج رقم هاشمی با استفاده از دو مدل SWAP و Aquacrop

آدینه عبدی[1]* ، صفورا اسدی کپورچال[2]، مجید وظیفه دوست[3]، مجتبی رضایی[4] و اصلان اگدرنژاد[5]

[1] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
adinehabdi@yahoo.com

[2] استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

[3] استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

[4] استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

[5] استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده

تبخیر-تعرق یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی است که اندازه‌گیری مقدار واقعی آن مشکل بوده و برآورد صحیح آن در مدیریت بهینه منابع آب و توسعه کشاورزی پایدار بسیار مهم است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی دقت مدل‌های Aquacrop و مدل SWAP در برآورد مقدارتبخیر- تعرق گیاه برنج هاشمی در مؤسسه تحقیقات برنج ایران واقع در شهرستان رشت انجام شد. بدین منظور با استفاده از دو لایسیمتر در مزرعه مقدار تبخیر-تعرق به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد و با تبخیر-تعرق برآورد شده از دو مدل مذکور مقایسه شد. نتایج نشان داد که هر دو مدل از دقت بالایی در برآورد مقدار تبخیر-تعرق برخوردار بودند لیکن مدل SWAP با برآورد مقدار تبخیر-تعرق نزدیک‌تر به مقدار واقعی و با RMSE=۲۵/۴۶ و R^2=۰/۹۴ از دقت بیش‌تری برخوردار بود.در نهایت، استفاده از این مدل‌ها جهت پیش‌بینی مقدار تبخیر-تعرق به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش بهره‌وری در اراضی شالی‌زاری و توسعه کشاورزی پایدار توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: تبخیر-تعرق، شبیه‌سازی، مدل‌های رشد گیاهی، لایسیمتر

مقدمه

برنج با نام علمی *Oryza sativa*. L. اصلی‌ترین غذای نیمی از مردم جهان است(FAO, 2016). در ایران سطح زیر کشت برنج در حدود ۸۹۲۲۱۳ هکتار می‌باشد (بی‌نام، ۱۳۹۹). استفاده بهینه از منابع آب و یا مصرف آب بر اساس نیاز آبی گیاهان، روشی مهم و سودمند برای جلوگیری از هدررفت آب می‌باشد (Li *et a*l., 2003). تبخیر و تعرق یکی از مؤلفه‌های اصلی بیلان آبی هر منطقه و از مهم‌ترین عوامل کلیدی برای برنامه‌ریزی درست و مناسب آبیاری برای بهبود راندمان آب مصرفی در اراضی فاریاب است (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۶). برنج عموما در مناطق با اقلیم گرم و مرطوب رشد بهتری دارد. نور و رطوبت از جمله عوامل مهم در مرحله گلدهی به شمار می‌رود. برنج نیاز آبی بالایی دارد و عمدتا به صورت غرقابی کشت می‌شود. نیاز آبی وابسته به تبخیر- تعرق بوده و در واقع میزان آب مورد نیاز برای جبران تبخیر- تعرق گیاه با عنوان نیاز آبی در گیاه شناخته می‌شود. پارامترهای هواشناسی (تابش، دمای هوا، رطوبت و سرعت باد)، گیاهی (گونه‌های گیاهی، رقم و مرحله رشد) و مدیریت در مزرعه (شوری خاک، مواد آلی کم، محدودیت در مصرف کودها، عدم کنترل آفات و بیماری‌ها و غیره) از جمله مواردی است که بر میزان تبخیر-تعرق موثر است (Allen *et al*., 1998). شیدائیان و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج گزارش کردند که افزایش دما و کاهش بارندگی ناشی از پدیده تغییر اقلیم بر نیاز واقعی آب مصرفی برنج، تاثیر گذار بوده و منجر به افزایش آن در سال‌های آتی خواهد شد.

در روش‌های غیر مستقیم برآورد تبخیر-تعرق، مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع تخمین زده می‌شود و با استفاده از آن، نیاز آبی گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود (احمدپری و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای و محدودیت در تعداد سناریوهای مورد بررسی در آزمایش امروزه از مدل‌ها و نرم‌افزارها در بررسی روابط آب- خاک و گیاه استفاده می‌شود (Russo and Bakker., 1986).

مدل AquaCrop که به‌منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی مختلف توسط سازمان خوار و بار کشاورزی (فائو) بسط داده شده است به دلیل سادگی، داده‌های ورودی کم و دقت بالا توسط محققان متعددی مورد توجه قرار گرفته است (Raes *et al*., 2012). مدل SWAP یکی دیگر از مدل‌های شبیه‌ساز عملکرد محصول و نیز حرکت آب در خاک و اجزای بیلان آب بوده که در مقیاس‌های مختلف مانند مزرعه، شبکه آبیاری و حوضه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که مدل SWAP مدلی توان‌مند برای شبیه‌سازی جریان آب در خاک و همچنین بیلان آب در سطح مزرعه می‌باشد. Vazifedoust *et al*. (2008) در تحقیقی در منطقه برخوار اصفهان برای شبیه‌سازی مقادیر بیلان آبی مانند تعرق، تبخیر از خاک و نفوذ عمقی و پیش‌بینی عملکرد برخی محصولات شامل گندم، ذرت علوفه‌ای، آفتاب‌گردان و چغندرقند، مدل SWAP را ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج آنها نشان داد که به علت نفوذ عمقی و رطوبت ذخیره شده در پروفیل خاک مقادیر WP_I نسبت به مقادیر WP_{ET} حدود ۲۴ تا ۴۲ درصد کاهش داشته است.

با کاهش بارندگی در سال‌های اخیر و عدم یکنواختی توزیع آن، مناطق شمالی ایران نیز در معرض خطرات کمبود منابع آب قرار دارند. بنابراین توجه به مصرف بالای آب در بخش کشاورزی و افزایش نیازآبی گیاهان بدلیل تغییرات اقلیمی و اعمال برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع آب در کشاورزی امری لازم و ضروری است (غلامی سفیدکوهی و همکاران، ۱۳۹۹). در زمینه شبیه‌سازی اثر کم آبیاری بر عملکرد محصولات مختلف با استفاده از مدل‌های Aquacrop و SWAP تا بحال تحقیقات زیادی انجام شده لیکن در رابطه با مقایسه این دو مدل در برآورد پارامتر تبخیر-تعرق و مقایسه آن با مقدار اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه تحقیقات محدودی انجام شده است. لذا در این تحقیق ابتدا میزان تبخیر-تعرق واقعی برنج رقم هاشمی با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری شد. سپس با مقادیر تبخیر-تعرق برآورد شده از مدل‌های Aquacrop و SWAP مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در یکی از مزارع تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در شهرستان رشت در سال زراعی ۱۳۹۷ انجام شد. رقم برنج کشت شده رقم هاشمی بود که در تاریخ ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۷ نشاء و در ۱۷ مرداد برداشت شد. برای اندازه‌گیری مقدار تبخیر-تعرق واقعی از ۲ عدد لایسیمتر ته بسته استفاده شد و به طور روزانه در طی دوره رشد برنج مقدار تبخیر-تعرق اندازه‌گیری و در نهایت گزارش شد. آبیاری نیز طی دوره رشد به مراتب اندازه‌گیری و ثبت شد.

پارامترهای مورد نیاز برای شبیه‌سازی با مدل‌های مذکور شامل اطلاعات اقلیم، خاک، گیاهی و آبیاری است. اطلاعات اقلیم (دمای حداکثر و حداقل روزانه، بارش روزانه و میانگین سالانه غلظت CO_2 اتمسفر، تابش خورشیدی، درصد رطوبت نسبی و میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری) از ایستگاه سینوپتیک مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی رشت (مجاور مؤسسه تحقیقات برنج کشور)، به‌عنوان نزدیک‌ترین و قابل اعتمادترین ایستگاه هواشناسی دریافت شد و مقدار ET_0 نیز از روش معادله فائو پنمن-مانتیث محاسبه شد (Allen *et al*., 1998). اطلاعات خاکی شامل بافت خاک برای هر لایه خاک، ویژگی‌های هیدرولیکی مانند هدایت هیدرولیکی اشباع ($Ksat$)، رطوبت حجمی خاک در حالت اشباع (θsat)، رطوبت ظرفیت زراعی (θfc) و رطوبت نقطه پژمردگی (θwp) است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده در خاک شالی‌زار مورد مطالعه شامل درصد اجزای تشکیل‌دهنده خاک، ماده آلی و جرم ویژه ظاهری خاک بوده است. داده‌های گیاهی شامل تاریخ کاشت، گل‌دهی و رسیدگی محصول، زمان کاشت تا سبز شدن، زمان لازم برای رسیدن به حداکثر رشد یا حداکثر پوشش گیاهی، عمق ریشه در دوره اول رشد، عمق نهایی

ریشه، تراکم کاشت، ضریب گیاهی، ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ و وزن خشک اجزای گیاه (شامل ریشه، ساقه، برگ و خوشه) در طول دوره رشد بود. داده‌های آبیاری شامل دبی آب آبیاری که با استفاده از فلوم اندازه‌گیری شد، ارتفاع آب غرقاب در هر دوره آبیاری با فواصل روزانه، مدت زمان هر آبیاری و مدت زمان غرقاب مزرعه است. در پژوهش حاضر فواصل آبیاری پس از کاهش مقدار آب به اندازه ۲ سانتی‌متر از سطح خاک صورت گرفت و مقدار شوری آب آبیاری برابر با ۱/۶۱ دسی‌زیمنس بر متر بود.

واسنجی مدل

به‌منظور واسنجی مدل SWAP از مدل غیرخطی تخمین پارامتر PEST استفاده شد که در آن پارامترهایی که بر مقدار خروجی داده‌ها و نیز بر رشد گیاه تاثیر بسزایی دارد انتخاب شدند. سپس با مشاهدات صحرایی پارامتر عملکرد محصول برنج مقایسه گردید. همچنین به‌منظور صحت‌سنجی مدل Aquacrop از پارامترهایی که بر مقدار خروجی داده‌ها تاثیرگذار بود و همچنین بر رشد گیاه تاثیر بسزایی داشت، استفاده شد (جدول ۱).

جدول۱- پارامترهای ورودی گیاهی واسنجی شده مدل SWAP و Aquacrop

روش واسنجی	واحد	میزان	پارامتر
		Aquacrop	
پیش‌فرض	سانتی‌گراد	۱۰	دمای پایه رشد
پیش‌فرض	سانتی‌گراد	۴۰	دمای بالا
تنظیم شد	درصدد در هر درجه روز	۱۴/۰۳	ضریب افزایش سطح سایه‌انداز
پیش‌فرض	-	۹/۲۴	ضریب کاهش پوشش در پیری
پیش‌فرض	-	۰/۵	آستانه بالای ضریب تنش آبی برای پیری پوشش تاجی
تنظیم شد	میزان بیوماس در هر متر مربع	۱۹	بهره‌وری آب تعدیل شده
تنظیم شد	درصد	۰/۴۰	شاخص برداشت
		SWAP	
تنظیم شد	-	**۰/۱۹۶**	شاخص سطح برگ در مرحله جوانه‌زنی
تنظیم شد	-	**۰/۰۰۱ -۰/۰۰۴**	سطح ویژه برگ
تنظیم شد	-	**۰/۷۰**	ضریب خاموشی برای پخش نور مرئی
تنظیم شد	ژول بر متر مربع بر ثانیه/کیلوگرم بر هکتار بر ساعت	۶/۰۰	راندمان مصرف نور
تنظیم شد	کیلوگرم بر هکتار بر ساعت	۳۲/۳۲	حداکثر میزان همانندسازی دی اکسید کربن

جهت ارزیابی آماری مقادیر شبیه‌سازی شده از آماره‌های R^2، RMSE، nRMSE و EF استفاده شد که بیان ریاضی آماره‌های مذکور به‌صورت روابط (۱) تا (۴) است (Remesan *et al.*, 2008).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sum_{i=1}^{N}(O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^{N}(P_i - \bar{P})^2}\right]^2 \quad (۱)$$

$$\mathrm{RMSE} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi - Oi)^2}{n}\right)^{0.5} \quad (۲)$$

$$\mathrm{nRMSE} = \frac{100\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi-Oi)^2}{n}\right)^{0.5}}{\bar{O}} \quad (۳)$$

$$\mathrm{EF} = \frac{(\sum_{i=1}^{n}(Oi - \bar{O})^2 - (Pi - Oi)^2)}{\sum_{i=1}^{n}(Oi - \bar{O})^2} \quad (۴)$$

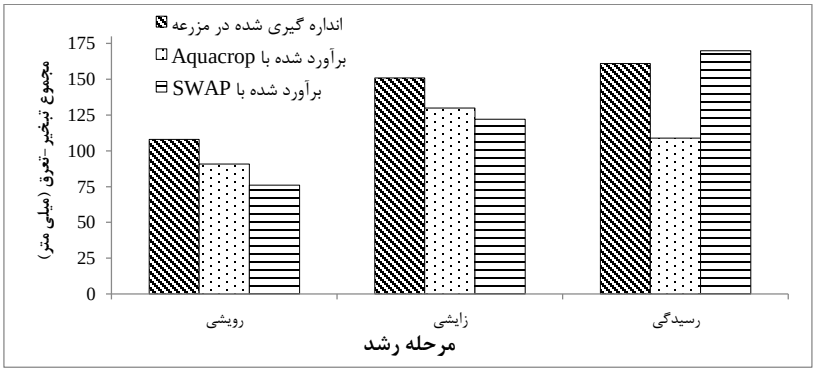
که در آنها p_i و O_i به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری‌شده، n تعداد نمونه‌ها و $\bar{O}$ و $\bar{P}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی شده است

نتایج و بحث

در این پژوهش مقدار تبخیر-تعرق گیاه برنج در سطح مزرعه در طول دوره رشد برنج اندازه‌گیری شد و سپس با مقدار تبخیر-تعرق برآورد شده توسط مدل‌های Aquacrop و SWAP، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

مقایسه تبخیر-تعرق تجمعی اندازه‌گیری شده و برآورد شده از مدل‌های Aquacrop وSWAP:

میانگین تبخیر-تعرق لایسیمتر در مرحله رویشی، زایشی و رسیدگی گیاه به ترتیب ۴/۹۰، ۶/۹۰ و ۴/۱۰ میلی‌متر در روز اندازه‌گیری شد. شکل ۱ مجموع تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده از دو مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مجموع تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده از مدل Aquacrop و SWAP

مقدار مجموع تبخیر-تعرق در کل دوره رشد برنج در تشتک اول ۴۱۵ و در تشتک دوم ۴۰۸ میلی‌متر بود. با توجه به نتایج بدست آمده از مدبری و همکاران (۱۳۹۵) دامنه تغییرات تبخیر-تعرق برنج رقم هاشمی در طول فصل رشد بین ۲/۴ و ۶/۳ میلی‌متر در روز متغیر است، که با تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. Droogers و همکاران (۲۰۱۰) نیز به‌منظور تعیین نیاز آبیاری، مقدار تبخیر و تعرق را برای گیاه پنبه با مدل SWAP محاسبه و سپس با استفاده از مدل کالیبراسیون PEST مورد واسنجی قرار دادند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که نیاز آبیاری توسط مدل SWAP تا ۹۰ درصد قابل قبول است.

ارزیابی آماری مقدار تبخیر-تعرق برآورد شده از مدل Aquacrop وSWAP:

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از خروجی مدل‌های مذکور، مقدار تبخیر-تعرق برآورد شده از مدل SWAP نسبت به مدل Aquacrop از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد.

جدول۲- شاخص‌های آماری برای ارزیابی تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده و برآورد شده با مدل‌های Aquacrop و SWAP در کل دوره رشد برنج

مدل	مقدار تبخیر- تعرق واقعی			
	R^2	EF	nRMSE	RMSE
Aquacrop	۰/۸۴	۰/۹۷	۲۴/۱۹	۳۳/۸۶
SWAP	۰/۹۴	۰/۹۹	۱۸/۱۹	۲۵/۴۶

بر اساس نتایج بدست آمده هرچند تبخیر-تعرق برنج در منطقه مورد مطالعه با استفاده از هر دو مدل SWAP و Aquacrop با دقت بالایی نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه (به ترتیب R^2 برابر با ۰/۹۴ و ۰/۸۴) برآورد شد، لیکن مدل SWAP با اندک اختلافی از دقت بالاتری برخوردار بود. در مطالعه‌ای به‌منظور افزایش کارایی مصرف آب برنج در شمال کشور از مدل SWAP تحت سناریوهای مختلف آبیاری استفاده شد. نتایج نشان داد که مقدار nRMSE برای عملکرد برنج برابر با ۴/۹۴ درصد بود و از این مدل برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف آبیاری استفاده شد (Jonubi *et al.*, 2018). نتایج تحقیقی که توسط موسوی و همکاران (۱۳۹۸) با هدف شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام مختلف برنج تحت شرایط مختلف کاشت با استفاده از مدل‌های Aquacrop و SWAP انجام شد نیز نشان داد که متوسط اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده کارایی مصرف آب توسط دو مدل مذکور به ترتیب برابر با ۰/۰۲ و ۰/۰۲۵ کیلوگرم بر متر مکعب تعیین شد و هر دو مدل از دقت بالایی برای برآورد کارایی مصرف آب برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری

مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی بدون توجه به روابط آب، خاک و گیاه امری غیرممکن است. همچنین برآورد تبخیر-تعرق در سطح مزارع وسیع جهت مدیریت و برنامه ریزی آبیاری ضروری است. از طرفی استفاده از مدل‌های گیاهی می‌تواند ابزاری مفید برای مدیریت مصرف آب باشد. به طورکلی در این پژوهش هر دو مدل AquaCrop و SWAP مقدار تبخیر-تعرق برنج رقم هاشمی را با دقت خوبی پیش‌بینی کردند. لیکن مدل SWAP با برآورد مقدار تبخیر-تعرق نزدیک‌تر به مقدار اندازه‌گیری شده در مزرعه و با RMSE=۲۵/۴۶ و R^2=۰/۹۴ از دقت بیش‌تری برخوردار بود. نظر به این‌که هر دو مدل AquaCrop و SWAP نسبت به مدل‌های مشابه نیاز به پارامترهای ورودی کمتری دارند، استفاده از این مدل‌ها جهت پیش‌بینی مقدار تبخیر-تعرق با توجه به مقدار آبیاری و مدیریت‌های مختلف آبیاری محصول توصیه می‌شود. با توجه به اهمیت پارامتر تبخیر-تعرق و کاربرد آن در برآورد مقدار بهره‌وری آب، می‌توان با اعمال مدیریت صحیح آبیاری در اراضی شالی‌زاری وسیع متناسب با مراحل رشد گیاه برنج، منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش بهره‌وری در اراضی شالی‌زاری، توسعه کشاورزی پایدار، افزایش امنیت غذایی و توسعه اقتصادی شد.

فهرست منابع

احمدپری، ه.، هاشمی گرم دره، س .ا.، قلعه کهنه، ک. (۱۳۹۶). مقایسه روش‌های مختلف برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل با روش فائو پنمن‌مانتیث (مطالعه موردی: منطقه سپیدان) مجله علمی ترویجی نیوار. ۴۱ (۹۸). ۲۲-۱۳.

اسماعیلی، س، خوشخو، ی. بابایی، خ. اسعدی اسکوئی، ا. (۱۳۹۶). برآورد تبخیروتعرق واقعی محصول برنج با به‌کارگیری الگوریتم METRIC در بخشی از شمال ایران. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۴ (۶). ۱۲۲-۱۰۵.

بی‌نام، (۱۳۹۹). آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ (جلد اول: محصولات زراعی). وزارت جهاد کشاورزی. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصاد کشور، دفتر آمار و فناوری اطلاعات.

شیدائیان، م، ضیاءتبار احمدی، م.خ و فضل اولی، ر. (۱۳۹۳). تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). مطالعه آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی. ۲۸ (۶). ۱۲۹۷-۱۲۸۴.

غلامی سفیدکوهی, م. ع, باقری خلیلی, ز, قلعه نوی, م. ا. (۱۳۹۹). بررسی تبخیر-تعرق واقعی و ضرایب گیاهی برنج ارقام هاشمی و شیرودی در شهرستان ساری. پژوهش آب در کشاورزی, ۳۴,۴(۴), ۵۰۵-۵۱۵.

مدبری، ه.، م.ر.، یزدانی، م. عصاری، (۱۳۹۵). بررسی دقت روش شبکه عصبی مصنوعی در برآورد مقدار آب مورد نیاز برنج مطالعه موردی: دشت مرداب گیلان. همایش بین المللی افق های نوین در علوم کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست، تهران، ایران.

موسوی، ا. ح.، ا. اگدرنژاد، و گیلانی، ع. ع. (۱۳۹۸). شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام مختلف برنج تحت شرایط مختلف کاشت با استفاده از دو مدل Aquacrop و SWAP. نشر یه مدیریت آب در کشاورزی. ۶ (۱). ۱۳۴-۱۲۱.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements), *FAO Irrigation and Drainage*. Paper No.56. Rome, Italy.

Droogers, P., Immerzeel, W., Lorite, I., (2010). Estimating actual irrigation application by remotely sensed evapotranspiration observations. *Agricultural Water Management* 97(9), 1351-1359.

FAO Food and Agriculture Organization; (2016) [http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E].

Jonubi, R., Rezaverdinejad, V., Salemi, H. (2018). Enhancing field scale water productivity for several rice cultivars under limited water supply. *Paddy and Water Environment*. 16(1), 125-141.

Li, Y.L., Cui, J.Y., Zhang, T.H., and Zhao, H.L. (2003). Measurement of evapotranspiration of irrigation spring wheat and maize in a semi-arid region of North china. *Agricultural Water Management*. 61, 1-12.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Freres, E. (2012). Reference manual AquaCrop, FAO, *land and water division, Rome Italy*.

Remesan, R., M.A. Shamim and D. Han. (2008). Model data selection using gamma test for daily solar radiation estimation. *Hydrological Processes*, 22, 4301-4309.

Russo D and Bakker D. (1986). Crop water production function for sweet corn and cotton irrigated and saline water. *Soil science societyand American journal*. 51, 1554-1562.

Vazifedoust M., J.C. Van Dam, R.A. Feddes and M. Feizi. (2008). Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agricultural Water Management*, 95, 89-102.

Comparison of actual and estimated evapotranspiration of Hashemi rice cultivar using two models of SWAP and Aquacrop

Adineh Abdi[1*], Safoora Asadi Kapourchal[2*], Majid Vazifedoust[3], Mojtaba Rezaei[4] and Aslan Egdernezhad[5]

[1]Graduated MSc, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran. adinehabdi@yahoo.com

[2]Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran.

[3]Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, University Of Guilan, Rasht, Iran.

[4]Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

[5]Assistant professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Abstract

Evapotranspiration is one of the main components of water balance, which is also one of the most difficult to measure. Its correct estimation is very important in the optimal management of water resources and sustainable agricultural development. This study was conducted to evaluate the accuracy of SWAP and AquaCrop models to simulate Hashemi rice evapotranspiration in one of the research farms at the National Rice Research Institute of Iran. For this purpose, two closed-ended lysimeters were used to measure the actual evapotranspiration. The quantity of evapotranspiration was measured daily and then compared with the estimated values from the two models. The results showed that both SWAP and AquaCrop models, can predict the evapotranspiration of Hashemi cultivar with reasonably high accuracy. However, the SWAP model with a slight difference (R2=0.94, RMSE=25.46), was more accurate in simulating the evapotranspiration than the AquaCrop model. Finally, the use of these models is recommended to predict the evapotranspiration in order to save water consumption, increase productivity in paddy lands and sustainable agricultural development.

Keywords: Crop growth models, Evapotranspiration, lysimeter, Simulation

کاربرد فضای ابری (GEE) در برآورد سطح زیر کشت برنج استان گیلان

مجتبی رضایی [۱] ، آدینه عبدی[۱]

۱- موسسه تحقیقات برنج کشور . سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت ، ایران ۳۳۶۹۰۰۵۲-۰۱۳

mrezaeii@yahoo.com

چکیده

پایش اراضی برنج در سطح مدیریت و تصمیم‌گیری‌های مهم از جایگاه ویژه ای برخوردار است. استخراج آمار کشاورزی از طریق روش‌های سنتی و نقشه برداری علی‌رغم دقت بالا زمان‌بر و مستلزم صرف هزینه بالا است. تکنیک‌های سنجش از دور پتانسیل بالایی در تولید اطلاعات آماری در گستره جغرافیایی بالا دارند. این پژوهش با هدف بررسی توانایی تصاویر سنتینل۲ در برآورد سطح زیر کشت برنج در استان گیلان با استفاده از۶ روش طبقه بندی نظارت شده شامل روش حداکثر احتمال، CART ، جنگل تصادفی، SVM، GME و استفاده همزمان از روش جنگل تصادفی به همراه شاخص های رشد انجام شد. روش حداکثر احتمال در محیط ENVI و بقیه موارد از طریق محاسبات در فضای ابری محیط GEE با استفاده از تصویر سال ۱۳۹۷ انجام شد. نتایج طبقه بندی نشان داد که روش جنگل تصادفی به همراه شاخص‌های رشد با مقدار ضریب کاپای ۰/۹۴بالاترین دقت را درمقایسه با بقیه موارد داشته است. برآورد سطح کشت استان با این روش نشان داد که مساحت کل اراضی استان حدود ۲۲۹ هزار هکتار است که در مقایسه با آمار موجود سازمان جهاد کشاورزی استان(۲۳۰ هزار هکتار) و شرکت آب منطقه ای (۲۴۵ هزار هکتار) کمی کمتر می‌باشد.

واژگان کلیدی: شالیزار، سطح زیر کشت، سنجش از دور، GEE

مقدمه

افزایش تغییر کاربری اراضی و در نتیجه کاهش سطح زیر کشت شالی‌کاری از یک طرف، وجود بحران آب افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضا برای غذا شده است. در این شرایط به یک روش دقیق برای برآورد سطح زیر کشت اراضی شالی‌زاری جهت برنامه‌ریزی‌های دقیق و مدیریت بهینه توزیع آب مورد نیاز است. اما به وسعت برنج‌کاری و نحوه توزیع مکانی آن در ایران توجه چندانی نشده است. برآورد میزان سطح زیر کشت و تولید محصول برنج به عنوان یکی از محصولات مهم در سبد غذایی نقش بسزایی در سیاست‌گذاری یک کشور جهت واردات یا صادرات این محصول دارد. طبق جدیدترین سرشماری کشاورزی مساحت شالی‌زارهای استان گیلان حدود ۲۳۸۰۰۰ هکتار براورد شده که میزان دقیق آن مشخص نیست. با توجه به اهمیت برنج در اقتصاد استان گیلان و ارزش این محصول در تامین سبد غذایی کشور، برآورد دقیق سطح زیر کشت و برآورد میزان تولید از اهمیت خاصی برخوردار است. برآورد به موقع و دقیق از مناطق تحت کشت برنج و پیش بینی میزان تولید آن میتواند اطلاعات ارزشمندی برای ارائه به دولت، برنامه ریزان و تصمیم گیرندگان در تدوین سیاست های واردات / صادرات به همراه داشته باشد. (Mosleh et al, 2015).همچنین اطلاع از میزان دقیق سطح زیر کشت به عنوان یکی از اطلاعات پایه در انجام عملیات تجهیز و نوسازی و استفاده بهینه از زمین‌های شالی‌زاری، امری اجتناب ناپذیر است.

اخیراً استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب به عنوان ابزاری قدرتمند در برنامه‌ریزی‌های کشاورزی و زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفته است (قربانی و همکاران، ۱۳۹۲). فراهم کردن دید یک‌پارچه از منطقه مورد مطالعه، دقت بالا، دسترسی آسان به اطلاعات و صرفه‌جویی در زمان از مزایای استفاده از سنجش از دور در پژوهش‌های مختلف است. دقت زمانی بسیار بالای ماهواره سنتینل-۲ ، امکان دسترسی به تصویر با توان تفکیک مکانی و طیفی بالا نسبت به تصاویر ماهواره‌های

دیگر در اختیار قرار می‌دهد (تقدسی و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از روش‌های پرکاربرد استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، طبقه-بندی است. طبقه بندی اطلاعات ماهواره‌ای به جداسازی مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم بندی طبقاتی آن ها کـه دارای رفتـار طیفی یکسانی باشند، گفته می‌شود. به عبارتی طبقه بندی پیکسل‌های تشکیل دهنده تصاویر، اختصاص دادن یا معرفی کردن هـر یک از پیکسل‌ها به کلاس یا پدیده خاصی را طبقه بندی اطلاعات ماهواره‌ای گویند که به دو صورت نظـارت شـده و نظـارت نشـده صورت می‌گیرد (Verde et al.,2020). اگرچه مطالعات زیادی برای براورد سطح زیر کشت برنج انجام شده ولی تاکنون روشی سریع و آسان و قابل تکرار با سرعت قابل قبول در خصوص برآورد سطح کل اراضی شالی‌زاری استان گیلان انجام نشده است. هدف از این تحقیق ارزیابی روش های تهیه نقشه کاربری اراضی شالی‌زاری و برآورد سطح زیر کشت برنج استان گـیلان بـا اسـتفاده از تصـاویر ماهواره‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای تهیه بانک اطلاعاتی کاربری اراضی با مراجعه به گزارش‌ها و مستندات موجود در مطالعات گذشته، تصاویر گوگل ارث و بازدید میدانی از منطقه، اراضی شالی‌زاری کل استان موقعیت بخش‌هایی از عوارض و کاربری‌های موجود در منطقه با اسـتفاده از دسـتگاه موقعیت‌یاب جهانی[۱] ثبت گردید. برای انجام آنالیز بر روی داده‌های ماهواره‌ای تعداد ۷۰ درصـد از ایـن نمونـه‌هـا بـه عنـوان نمونـه تعلیمی جهت انجام طبقه‌بندی استفاده شد و ۳۰ درصد هم جهت بررسی میزان صـحت طبقـه‌بنـدی مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت (جدول ۱).

جدول ۱- تعداد نقاط تعلیمی جهت طبقه‌بندی و بررسی دقت کلاس‌های کاربری اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه

نام کلاس		تعداد
خاک لخت و کم پوشش	Bare soil	۴۶۷
نواحی شهری	urban	۴۷۲
پیکره‌های آبی	water	۳۰۹
نواحی جنگلی	forest	۳۹۷
شالی‌زار	paddy	۱۱۱۱
جمع		۲۷۵۶

این پژوهش با استفاده از روشهای طبقه‌بندی حداکثر احتمال[۲] (ML) ،روش CART[۳] ،، روش gmoMaxEnt (GME) ، روش SVM[۴] ، استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی[۵] با استفاده باندهای مورد اسـتفاده (RF) و الگـوریتم‌هـای جنگـل تصـادفی بـالا و استفاده از نمایه‌های NDVI (RF- indi) و با داده‌های ماهواره سنتینل۲ مربوط به سال ۲۰۱۸ میلادی در ماه july انجام شد. روش حداکثر احتمال در محیط ENVI 5.3 انجـام شـد و در آن بـا اسـتفاده از تصـاویر مـاهواره بدسـت آمـده از پایگـاه اینترنتـی https://scihub.copernicus.eu ابتدا فریم‌های مربوط به استان گـیلان بـه تـاریخ مـیلادی ۰۵-۰۷-۲۰۱۸ برابـر بـا ۱۳۹۷/۰۴/۱۴ شمسی بود دانلود شد. بقیه موارد روش‌های طبقه بندی نظارت شده در محیط GEE و با نوشتن کدهای مربوطه با استفاده از زبـان

۱ -GPS (Global Positioning System)
2 -Maximum likelihood classification
3 - Classification and Regression Trees
4 -Support Vector Machine
5- Random Forest

برنامه نویسی JS انجام شده است. این پلت‌فرم که با استفاده از محاسبات ابری[1] و برپایه زبان‌های JS و Python توسط شرکت گوگل است، خدمات در زمینه سنجش از دور را ارائه می‌دهد.

در این روش‌ها تصاویر ماهواره سنتینل مربوطه به منطقه مورد مطالعه در دوره کشت برنج در سال ۱۳۹۷فراخوانی شد. باندهای ۳، ۴ و ۸ (جدول ۲) از آن‌ها جدا شده و تمام عملیات برروی تصویر و در محیط GEE انجام شد. در روش الگوریتم‌های جنگل تصادفی بالا برای بررسی تاثیر افزایش باند و دقت طبقه بندی علاوه بر ۳ باند فوق یک باند شامل مقدار شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI نیز استفاده گردید. این شاخص از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (۱)$$

در رابطه بالا، NIR و R به ترتیب نشان‌دهنده بازتاب از اشعه نزدیک مادون قرمز و قرمز هستند. شاخص نرمال شده اختلاف پوشش گیاهی NDVI یکی از کاربردی ترین شاخص های پوشش گیاهی است که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات توسط محققان مختلف گزارش شده است. مبنای ساختاری این شاخص وجود کلروفیل در گیاه است. ارزش عددی این شاخص بین اعداد ۱+ و ۱- در نوسان است و ثابت شده که هر چه به عدد ۱+ نزدیک شود بر میزان پوشش گیاهی افزوده می‌گردد .

جدول ۲- باندهای ماهواره سنتینل مورد استفاده در این پژوهش

باند	نام	طول موج (نانومتر)
۳	سبز	۵۶۰
۴	قرمز	۶۶۵
۸	مادون قرمز نزدیک	۸۴۲

ارزیابی دقت طبقه بندی:

پس از اعمال الگوریتم طبقه‌بندی برای درک نتایج به دست آمده و به کار بردن این نتایج برای تصمیم‌گیری‌ها، اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی می‌شود. معمول‌ترین پارامتر برآورد دقت، شامل دقت کل و ضریب کاپا است (Lu et al, 2004). در این تحقیق برای برآورد دقت طبقه بندی از دو معیار صحت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت طبقه بندی از نمونه های شاهد برداشت شده میدانی بهره گرفته شد. صحت کلی۲ که میانگینی از دقت طبقه بندی است به صورت زیر محاسبه شد:

$$OA=(\sum_i^C - I^{E\,ij})/N \quad (۲)$$

که در آن C، تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم E^{ij} اعضای قطری ماتریس خطا است. صحت کلی از ساده ترین پارامترهای دقت است که نیاز به عملیات پیچیده برای محاسبه ندارد و یک برآورد کلی از دقت طبقه بندی و یا میانگینی از دقت طبقه بندی است. خروجی این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد که نتیجه خروجی هر چه به سمت ۱۰۰ درصد پیش برود به معنای صحت بالای طبقه بندی است.

یکی دیگر از پارامترهای دقت، ضریب کاپا می‌باشد که دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملا تصادفی محاسبه می‌کند. به این معنی که مقدار طبقه بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملا به صورت تصادفی طبقه بندی شود به دست می آورد. مشاهد همان صحت کلی است. انتظار هم با استفاد از ستون ها و ردیف‌های ماتریس ابهام محاسبه می‌شود (معادله ۳ و ۴).

(انتظار − ۱) / (انتظار − مشاهده) =کاپا (۳)

کل مجموع عوامل / مجموع عوامل قطری =انتظار (۴)

1 -Cloud Compting

[1]-Overall Accuracy

ضریب کاپا به منظور ارزیابی میزان تصادفی بودن صحت طبقه‌بندی عددی بین ۰ تا ۱ ارائه می‌دهد که صفر به معنای کاملا تصادفی بودن طبقه بندی و یک به معنی غیر تصادفی بودن صحت طبقه بندی است.

نتایج و بحث:

جدول ۳ میزان خطای روش های مختلف مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد دقت روش‌های مورد استفاده به شدت متغیر و در برخی از مواقع خیلی کم است که می‌تواند ناشی از سطح بسیار زیاد باشد. مقدار دقت طبقه بندی در روش جنگل تصادفی با NDVI از همه روش‌ها بیشتر بوده است. که بیان‌گر توانایی روش جنگل تصادفی در کلاس‌بندی دقیق پوشش اراضی شالی‌زاری است. در مرحله بعدی دقت روش حداکثر احتمال از بقیه بیشتر است. به همین دلیل بقیه مراحل کار شامل تعیین سطح کشت برنج و تهیه نقشه کشت فقط با روش با بالاترین دقت یعنی جنگل تصادفی با NDVI انجام شد.

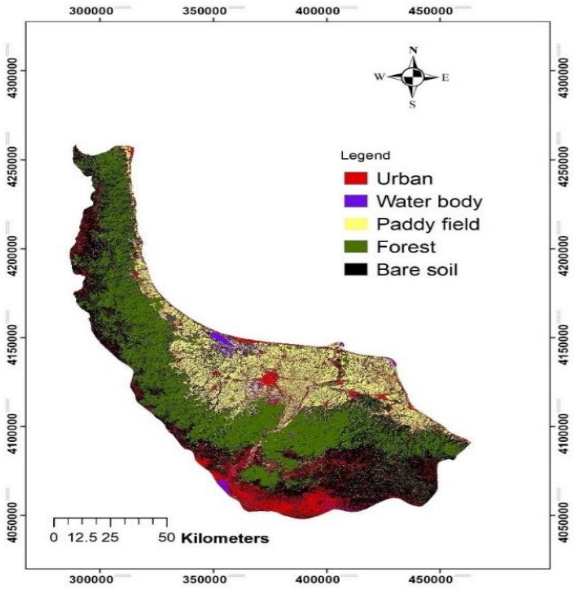
جدول ۳ - میزان دقت روش های مختلف مورد استفاده

روش	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)
حداکثر احتمال	۰/۸۹	۹۱
CART	۰/۷۵	۸۳
RF	۰/۷۹	۸۶
SVM	۰/۵۶	۷۰
GME	۰/۷۰	۸۰
RF_indi	۰/۹۰	۹۴

شکل ۱و جدول ۴ مقادیر سطح زیر کشت استان و شهرستان‌های مختلف را نشان می‌دهند. بر این اساس سطح کل شالی‌زارهای استان گیلان ۲۲۸ هزار هکتار براورد شده است که در مقایسه با آمارهای موجود در شرکت اب منطقه ای ۷٪ و آمار سازمان جهاد کشاورزی استان ۴٪ کمتر می‌باشد. البته لازم به ذکر است که با توجه به این‌که این پروژه در سطح بسیار وسیع استانی انجام شده است دقت نهایی طرح مناسب می‌باشد. سطح زیر کشت هر شهرستان نیز به شرح جدول می‌باشد. کاهش محسوس در مقدار سطح زیر کشت هر شهرستان می‌تواند ناشی از تغییر کاربری از شالی‌زار به سایر کاربری‌ها مانند ساختمان باشد.

نتیجه‌گیری:

اطلاعات موجود در تصاویر بدست آمده از ماهواره سنتینل۲ پس از پردازش در محیط GEE با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی و شاخص پوشش گیاهی NDVI نشان می‌دهد که این روش به خوبی می‌تواند اراضی شالی‌زار را از مزارع غیر شالی‌زار جدا کند. در این تحقیق از دو معیار ضریب کاپا و صحت کلی جهت برآورد دقت سطح زیر کشت نقشه اراضی شالی‌زار بدست آمده از روش جنگل تصادفی که بالاترین دقت را داشت با صحت کلی ۹۴ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۰ استفاده شد. اگرچه این روش می‌تواند مزارع برنج را به خوبی استخراج کند، اما این دقت هنوز جای کافی ندارد. همچنین می‌توان به عنوان گام بعدی حاصل از این تحقیق علاوه بر شاخص گیاهی NDVI از ترکیب شاخص‌های بیشتری نظیر EVI وLSWI برای تهیه نقشه‌ها استفاده کرد تا به طور کلی دقت بیشتری داشته باشند.



شکل ۱- نقشه پوشش استان گیلان در سال ۱۳۹۷ با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی RF-NDVI

جدول۴- سطح زیرکشت محاسباتی و مقایسه آن با آمار موجود-هکتار

شهرستان	این پژوهش		سایر منابع	
	سطح کل	سطح خالص *	آب منطقه ای**	جهاد کشاورزی
آستارا	۳۳۹۴	۳۲۲۴	۳۲۰۰	۳۲۰۰
آستانه اشرفیه	۲۲۱۷۱	۲۱۰۶۳	۲۴۰۰۰	۲۳۳۷۲
املش	۳۰۷۶	۲۹۲۲	۳۵۰۰	۳۵۰۰
بندر انزلی	۶۳۳۰	۶۰۱۳	۴۹۰۰	۴۹۷۶
تالش	۱۴۹۷۳	۱۴۱۹۰	۱۶۳۰۰	۱۵۹۸۷
رشت	۵۸۷۳۶	۵۵۷۹۹	۶۲۷۰۰	۶۲۳۳۸
رضوانشهر	۹۷۷۹	۹۲۹۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰
رودبار	۲۵۵۴	۲۴۲۷	۳۷۰۰	۳۳۷۵
رودسر	۱۱۸۲۹	۱۱۲۳۸	۱۰۷۰۰	۱۰۷۰۰
سیاهکل	۴۱۷۳	۳۹۶۵	۴۷۰۰	۴۴۳۰
شفت	۱۳۳۲۴	۱۲۶۵۸	۱۸۶۰۰	۱۴۳۳۰
صومعه سرا	۲۸۲۳۰	۲۶۸۱۹	۲۸۰۰۰	۲۸۰۱۸
فومن	۱۴۸۵۱	۱۴۱۰۸	۱۴۲۰۰	۱۳۸۷۰
لاهیجان	۱۸۱۶۰	۱۷۲۵۲	۲۳۸۰۰	۲۳۸۱۶
لنگرود	۹۹۶۰	۹۴۶۲	۹۵۰۰	۹۱۰۰
ماسال	۸۱۱۱	۷۷۰۵	۷۲۰۰	۷۰۰۰
جمع	۲۲۹۶۱۵	۲۱۸۱۳۴	۲۴۵۰۰۰	۲۳۸۰۱۲

*: ۹۵ درصد کل درنظر گرفته شده است **: سطح کل می‌باشد

فهرست منابع

تقدسی، م. م.، حسنلو، م. و افتخاری، ک. ۱۳۹۷. ارزیابی و مقایسه روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده جهت تهیه نقشه درجات شوری خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل- ۲. فصل‌نامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۸ (۱۱۰): ۳۸-۵۲.

قربانی، س.، زرع‌کار، آ. کاظمی ب. و یاوری، ا. ر. ۱۳۹۱. برآورد خسارات عملکرد حفاظت از منابع آبی در جنگل با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: جنگل‌های چالوس). کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی.۱ (۴): ۳۷-۲۷.

Lu, D., E. Moran, and M. Batistella. 2003. Linear mixture model applied to Amazonian vegetation classification. Remote Sensing of Environment. 87: pp456-469.

Mosleh, M.K ., Q. K , Hassan and E. H , Chowdhury. 2015 . Application of Remote Sensors in Mapping Rice Area and Forecasting Its Production: A Review. Sensors 2015, 15, 769-791; doi:10.3390/s150100769

Verde, N.; Kokkoris, I.P.; Georgiadis, C.; Kaimaris, D.; Dimopoulos, P.; Mitsopoulos, I.; Mallinis, G. National Scale Land Cover Classification for Ecosystem Services Mapping and Assessment, Using Multitemporal Copernicus EO Data and Google Earth Engine. Remote Sens. 2020, 12, doi:10.3390/rs12203303

Google Earth Engine Cloud Computing Platform for paddy field mapping

M. Rezaei, A. Abdi

Rice Research Isnt. Of Iran, Agricultural Resaerch, Education and Extension Organization AREEO, Rasht, Iran

. mrezaeii@yahoo. com

Abstract

Monitoring the paddy fields has a vital role in providing the authorites the needed information in making a better decision in food security. Extracting agricultural census through traditional mapping, despite the high accuracy, is costly and time consuming. Remote sensing (RS) techniques, in vast geographical area have a high potential in producing statistics. RS can produce vast renge of information. This study aimed to investigate the ability and accuraccy of GEE platform to estimate rice cultivation area in comparison to the conventional method of using RS softwares.The project was done in Gilan province using 6 supervised classification methods including maximum likelihood-ML, CART, random forest-RF, SVM, GME and simultaneous use of RF with NDVI index. The ML method was performed in ENVI environment using 6 Sentinel 2 image frames in 2018 and the others was done through GEE environment using the same image.The classification results showed that RF method with growth indices with kappa coefficient of 0.94 had the highest accuracy compared to other methods. Estimation of the province's cultivation area by RF method and NDVI showed that the total land area of the province is about 229 thousand hectares, which is slightly less than the existing statistics of the Jihad Agricultural Organization of the province (230 thousand hectares) and the regional water company (245 thousand hectares).

Keywords: rice, GEE,Area, remote sensing

بهبود روابط آبی و تحمل به خشکی پایه نارنج با پیش تیمار بتاآمینوبوتیریک اسید

هانیه حیدری[1]، سهیل کریمی[2]*

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد و ۲-استادیار پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

* نویسنده مسئول: skarimi@ut.ac.ir

چکیده

تنش خشکی سبب توقف رشد و تغییر متابولیسم طبیعی سلول می‌شود. جهت افزایش تحمل خشکی در دوران رشد و نمو سریع گیاه، پیش تیمارهای مختلفی توسعه پیداکرده است. در پژوهش حاضر کار آیی پیش تیمار بتا-آمینوبوتیریک اسید (۵ و ۱۰ میلی مولار BABA) در بهبود روابط آبی و تحمل به خشکی نارنج (*Citrus aurantium*) در محیط کشت بدون خاک ارزیابی شد. محلول‌های BABA طی یک هفته پیش از شروع تنش در سه مرتبه روی دانهال‌های نارنج اسپری شد و سپس آبیاری برای یک دوره ۳۰ روزه متوقف گردید. پاسخ این گیاهان با گیاهانی که مرتباً آبیاری می‌شدند (شاهد) و گیاهان پیش تیمار نشده مقایسه شد. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار محتوای آب نسبی و شاخص پایداری غشاء در برگ گیاه شد. ولی محتوای نسبی آب برگ گیاهان پیش تیمار شده با BABA نسبت به گیاهان تیمار نشده بیشتر بود که این امر از کاهش معنی‌دار شاخص پایداری غشاء در این گیاهان جلوگیری نمود. ارزیابی سرعت تعرق برگ‌های جداشده نشان داد که پیش تیمارهای BABA با تسریع واکنش روزنه‌ها به خشکی از هدر رفت آب در شرایط تنش خشکی جلوگیری می‌کند. اندازه‌گیری شاخص‌های پتانسیل آب برگ نشان داد که پیش تیمارهای BABA با بهبود قابلیت تنظیم اسمزی گیاه در حفظ تورژسانس و محتوای آب برگ مؤثر است. با توجه به پاسخ‌های بهتر گیاه به‌پیش تیمار ۱۰ میلی مولار BABA، کاربرد این تیمار جهت حفظ محتوای آب، بهبود تنظیم اسمزی و افزایش تحمل به خشکی *C. aurantium* پیشنهاد گردید.

کلمات کلیدی: پتانسیل آب برگ، پتانسیل تورگور، پرایمینگ، شاخص پایداری غشاء، محتوای آب نسبی برگ

مقدمه

تغییر اقلیم جهانی به مهم‌ترین عامل محدودکننده کشت و کار گیاهان در عصر جدید تبدیل‌شده است. گرم شدن زمین، افزایش دوره‌های خشک‌سالی و کاهش بارندگی سبب محدودیت‌های جدی در تأمین آب برای رشد و تولید محصولات کشاورزی شده است. این در حالی است که تقریباً کلیه واکنش‌های گیاه به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم تحت تأثیر وجود آب قرار می‌گیرند(Farooq *et al.*, 2009) کاهش پتانسیل اسمزی و پتانسیل آب همراه با از بین رفتن آماس، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش رشد از نشانه‌های ویژه تنش خشکی است (Karimi *et al.*, 2015). درصورتی‌که شدت تنش زیاد باشد موجب کاهش شدید فتوسنتز و مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیک، توقف رشد و سرانجام مرگ گیاه خواهد شد (Farooq *et al.*,2009). تحت شرایط تنش خشکی، غلظت عناصر در محلول خاک افزایش می‌یابد که این امر با افزایش فشار اسمزی محلول خاک همراه است و ممکن است منجر به کاهش فعالیت متابولیک ریشه‌ها شود که جذب عناصر را محدود و غلظت عناصر را در برگ کاهش می‌دهد (Isaakidis *et al.*, 2004).

استفاده از تکنولوژی‌های نوین برای بهبود توزیع آب و شناسایی و بهره‌گیری از گونه‌ها و ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی راه‌حل مناسبی برای گسترش کشاورزی در زمین‌های خشک هستند (Karimi *et al.*, 2017). ولی حتی گیاهان متحمل نیز در دوره‌های بحرانی نسبت به خشکی حساسیت شدیدی نشان می‌دهند و نیازمند حمایت هستند. در این راستا استفاده از پیش تیمار بذر و گیاه

(پرایمینگ) جهت ایجاد آمادگی در گیاه برای مواجه‌شدن با شرایط تنش‌زا کارایی بالایی نشان داده‌اند. در این روش‌ها با استفاده از تیمارهای فیزیکی یا شیمیایی، بیان ژن‌های مرتبط باتحمل تنش در گیاه افزایش داده می‌شود و به‌این‌ترتیب گیاه قادر خواهد بود سریع‌تر به تغییرات محیطی پاسخ دهد (Karimi *et al.*, 2017). بتا-آمینوبوتیریک اسید (BABA) یک اسیدآمینه غیر پروتئینی است که به‌عنوان یک سیگنال مرتبط با تنش‌های محیطی و زیستی عمل می‌کند (Conrath *et al.*, 2002). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که کاربرد این ماده می‌تواند سبب افزایش بیان بسیاری از ژن‌های مرتبط با پاسخ گیاه به تنش‌ها شود. در این خصوص آماده‌سازی گیاه برای مواجهه با شرایط تنش‌زا می‌تواند مرتبط با نقش BABA در افزایش رونویسی از ژن‌های آبسزیک اسید و اتیلن باشد (Zimmerli *et al.*, 2008) افزایش تجمع آبسزیک اسید به دنبال کاربرد BABA با تسریع دربسته شدن روزنه، کاهش مصرف آب و افزایش آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی شده سطح تحمل گیاه به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد (Du *et al.*, 2012).

در پژوهش حاضر اثرات کاربرد BABA در ایجاد تحمل به تنش خشکی در پایه نارنج در بستر کشت بدون خاک مورد ارزیابی قرار داده شد. نارنج مهم‌ترین پایه مورداستفاده برای انواع مرکبات است. مرکبات بیشتر در مناطق گرم و خشک کشور کشت و کار می‌شوند و از این نظر همواره رشد و تولید آن‌ها ازنظر خشکی و کم‌آبی تهدید می‌شود. در مراحل اولیه کشت که این گیاهان سیستم ریشه‌ای گسترده‌ای ندارند، خشکی می‌تواند اثرات مخرب‌تری روی آن داشته باشد و سبب توقف رشد و آسیب‌های شدید به گیاه شود. ازاین‌رو، شناسایی و معرفی روش‌های پیش تیمار کارآمد جهت ایجاد تحمل به خشکی در گیاهان جوان مرکبات حائز اهمیت است.

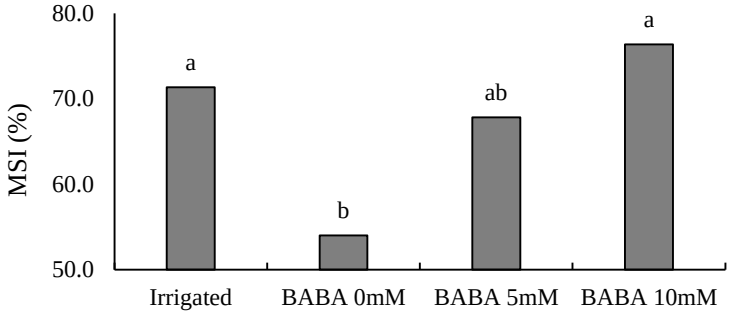
مواد و روش‌ها

بذر نارنج پس از جوانه زدن در محیط کوکوپیت، به گلدان‌های حاوی آمیخته پرلیت و کوکوپیت (نسبت ۲ به ۱) منتقل شد. هر گلدان حاوی ۱۴۰۰ گرم محیط کشت بود. گیاهان تا مرحله ۲ برگ حقیقی با آب و سپس با محلول هوگلند آبیاری و تغذیه شدند. ۱۲۰ روز پس از کشت، دانهال‌ها در مرحله ۲۰ برگی برای آزمایش استفاده شدند. در این مرحله چهار نوع تیمار روی گیاهان اعمال شد: ۱) تیمار شاهد (آبیاری) ۲) پیش تیمار ۵ میلی مولار BABA + تنش خشکی ۳) پیش تیمار ۱۰ میلی مولار BABA + تنش خشکی و ۴) تیمار تنش خشکی بدون کاربرد BABA. در تیمار شاهد، گیاهان در فواصل زمانی دوروزه آبیاری شدند. در هر نوبت آبیاری، وزن گلدان به حد ظرفیت مزرعه رسانده می‌شد. در تیمارهای ۲ و ۳، محلول‌های BABA در سه نوبت و بافاصله دوروزه طی یک هفته پیش از آغاز تنش خشکی روی گیاهان محلول‌پاشی شد. سپس گیاهان تحت تنش خشکی قرار داده شدند. تنش خشکی با توقف آبیاری گیاهان برای یک دوره ۳۰ روزه اعمال شد. در تیمار ۴، گیاهان بدون پیش تیمار BABA تحت تیمار تنش خشکی قرار داده شدند. آزمایش‌های مربوط به این پژوهش در محیط گلخانه با دمای روز و شب ۲۶ و ۲۲ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۰ درصد انجام شد.

جهت ارزیابی اثرات پیش تیمارها بر کارایی برگ در کنترل از دست دادن آب، در روز اول دوره تنش خشکی سرعت تعرق از برگ‌های جداشده از گیاه برای ۴۲۰ دقیقه موردبررسی قرار گرفت. برای این منظور از هر گیاه ۲ برگ جدا شد و در محیط آزمایشگاه تغییرات وزن برگ‌ها ثبت شد. سرعت تعرق بر اساس تغییر وزن برگ نسبت به زمان آغاز آزمایش و وزن خشک برگ محاسبه شد. در انتهای دوره تنش خشکی، پتانسیل آب برگ (با دستگاه بمب فشار) و پتانسیل اسمزی برگ (با اسمومتر) اندازه‌گیری شدند. پتانسیل تورگور بر اساس پتانسیل اسمزی و پتانسیل آب برگ محاسبه شد. محتوای آب نسبی برگ و شاخص پایداری غشاء طبق روش گزارش‌شده توسط کریمی و همکاران (۲۰۱۲) اندازه‌گیری شدند. آزمایش‌های مربوط به این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۷ تکرار انجام شد. تجزیه تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS v. 21 انجام شد. جهت تجزیه میانگین از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

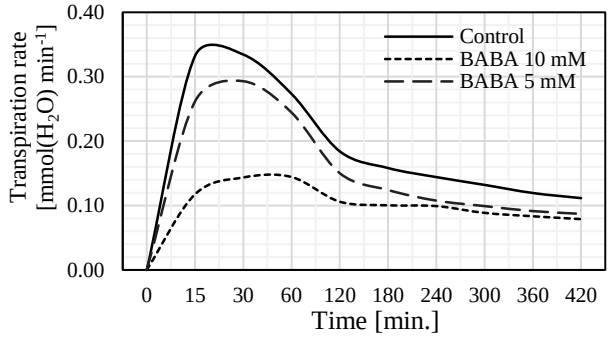
حفظ آب در شرایط تنش خشکی برای رشد و عملکرد صحیح اجزاء سلول اهمیت حیاتی دارد. در غیر این صورت، آب‌گیری شدید بافت در شرایط تنش خشکی سبب آسیب دیدن پروتئین‌ها، غشاء و متابولیسم طبیعی سلول می‌شود (Isaakidis *et al.*, 2004). در سطح بافت و سلول، بروز چنین مشکلاتی را می‌توان با ارزیابی شاخص پایداری غشاء مشخص نمود (Farooq and Azam., 2006). ازاین‌رو ارزیابی پایداری غشاء در شرایط تنش خشکی به‌عنوان یک شاخص مهم در شناسایی گیاهان متحمل به خشکی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر، شاخص پایداری غشاء در برگ گیاهان پیش تیمار نشده (BABA 0mM) در انتهای دوره خشکی به‌صورت معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۱). ولی پیش تیمار BABA سبب حفظ سلامت بافت در شرایط تنش خشکی شد، به‌گونه‌ای که تفاوت معنی‌داری بین شاخص پایداری غشاء در تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی مولار بتا-آمینوبوتیریک اسید و تیمار شاهد مشاهده نشد. این امر می‌تواند به دلیل بهبود کارایی گیاه در تنظیم اسمزی و حفظ روابط آبی در شرایط تنش خشکی ارتباط داد.



شکل ۱- اثر پیش تیمارهای بتا-آمینوبوتیریک اسید (BABA) بر شاخص پایداری غشاء (MSI) در برگ پایه نارنج تحت تنش خشکی

حفظ محتوای آب گیاه در شرایط کم‌آبی با محدود شدن سرعت تعرق و فعال شدن مکانیسم‌های تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد (Farooq *et al*., 2009). در پژوهش حاضر، پیش تیمار BABA به‌صورت معنی‌داری سرعت تعرق برگ‌های جداشده را نسبت به برگ‌های تیمار شاهد کاهش داد (جدول ۱). در این خصوص تیمار ۱۰ میلی مولار BABA بیشترین کارایی را در محدود کردن تعرق نشان داد. محدود کردن تعرق برگ با بستن روزنه‌ها، از اولین پاسخ‌های گیاه به تنش خشکی است که برای حفظ آب برگ در تنش خشکی کوتاه‌مدت حیاتی است (Karimi *et al*., 2015). پژوهش‌های پیشین نیز اثر پیش تیمارهای مختلف بر تسریع واکنش روزنه‌ها به شرایط تنش خشکی را نشان داده بودند (Du Jakab *et al*., 2012) در گیاهان تیمار شده با بتا-آمینوبوتیریک اسید، افزایش بیان ژن‌های مربوط به بیوسنتز اسید آبسزیک را مشاهده کردند که با کاهش هدایت روزنه‌ای ارتباط داشت. Zimmerli و همکاران (۲۰۰۸) نیز عنوان نمودند که کاربرد BABA سبب افزایش محتوای اسید آبسزیک در بافت برگ گیاه می‌شود. ازاین‌رو، در پژوهش حاضر نیز احتمالاً افزایش دسترسی به اسید آبسزیک در گیاهان تیمار شده با BABA سبب ایجاد واکنش سریع در برگ نسبت به محدود کردن تعرق شده است.

جدول ۱- اثر پیش تیمارهای بتا-آمینوبوتیریک اسید (BABA) بر سرعت تعرق برگ‌های جداشده پایه نارنج پیش از تنش خشکی.



Time (min)	Control	BABA 5 mM	BABA 10 mM	ANOVA
15	0.325^{a}	0.117^{b}	0.261^{ab}	**
30	0.326^{a}	0.143^{b}	0.293^{a}	**
60	0.275^{a}	0.144^{b}	0.244^{a}	**
120	0.178^{a}	0.106^{b}	0.150^{ab}	**
180	0.154^{a}	0.100^{b}	0.124^{ab}	**
240	0.138^{a}	0.099^{b}	0.107^{b}	**
300	0.127^{a}	0.088^{b}	0.099^{b}	**
360	0.114^{a}	0.0835^{b}	0.0913^{b}	**
420	0.106^{a}	0.079^{b}	0.087^{ab}	*

**** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد آزمون تجزیه واریانس. میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.**

توانایی گیاه در حفظ آب تحت شرایط تنش خشکی در بلندمدت را می‌توان با ارزیابی محتوای آب نسبی برگ و پتانسیل آب برگ مشخص نمود (Farooq *et al*., 2009). در تیمار تنش خشکی محتوای آب نسبی برگ نسبت به تیمار شاهد به‌صورت معنی‌داری کمتر بود. محتوای نسبی آب برگ تیمار شاهد و تیمارهای BABA تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). به‌این‌ترتیب مشخص می‌شود که پیش تیمار BABA به حفظ محتوای آب در گیاه در شرایط تنش خشکی کمک می‌کند. ولی جهت درک مکانیسم این عمل، ارزیابی پتانسیل آب، پتانسیل اسمزی و پتانسیل تورژسانس در برگ گیاه ضرورت دارد. پتانسیل آب به‌صورت معنی‌داری در تیمار تنش خشکی نسبت به دیگر تیمارها کمتر بود و بیشترین میزان آن در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۲). در شرایط تنش خشکی پتانسیل اسمزی بافت برگ به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت و کمترین پتانسیل اسمزی در گیاهان پیش تیمار شده با BABA مشاهده شد. در شرایط تنش خشکی، پتانسیل تورژسانس در برگ گیاهان نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت ولی پتانسیل تورژسانس در تیمارهای ۵ و ۱۰ میلی مولار BABA به‌صورت معنی‌داری نسبت به تیمار تنش خشکی بیشتری بود (جدول ۲).

پژوهشگران متعددی با محدود کردن دسترسی به آب، نیز کاهش معنی‌داری در پتانسیل آب کل برگ و پتانسیل اسمزی برگ گزارش کرده‌اند (Tajabadi Pour *et al*., 2004; Yadollahi *et al*., 2011; Karimi *et al*., 2015). ارزیابی تورژسانس نشان داد که مهم‌ترین عامل کاهش پتانسیل آب برگ در برگ گیاهان پیش تیمار نشده، از دست رفتن تورژسانس بافت بود. در پیش تیمارهای BABA، بهبود تورژسانس سلول گیاهان به دلیل کاهش نسبی پتانسیل اسمزی و کمک به جذب و حفظ آب در شرایط تنش خشکی بود. این امر که تحت عنوان تنظیم اسمزی شناخته می‌شود، اثر پیش تیمار BABA در بهبود تحمل به خشکی گیاه را تائید می‌کند. تنظیم اسمزی برای حفظ سطح آب بافت در شرایطی که دسترسی به آب از خاک محدود می‌گردد اهمیت حیاتی دارد (Karimi *et al*., 2012) حفظ محتوای آب نسبی بافت جهت حفظ هیدراسیون پروتوپلاسم و ادامه فعالیت‌های متابولیک ضروری است.

جدول ۲- اثر پیش تیمارهای بتا-آمینوبوتیریک اسید (BABA) بر روابط آبی در برگ پایه نارنج تحت تنش خشکی.

تیمار	محتوای آب نسبی برگ (٪)	پتانسیل آب برگ (MPa)	پتانسیل اسمزی برگ (MPa)	پتانسیل تورژسانس برگ (MPa)
شاهد - آبیاری	81.4^{a}	-1.11^{a}	-1.78^{a}	0.67^{a}
BABA 0 mM	70.8^{b}	-1.54^{c}	-1.85^{b}	0.31^{c}
BABA 5 mM	78.0^{ab}	-1.44^{b}	-1.96^{bc}	0.52^{b}
BABA 10 mM	76.8^{ab}	-1.50^{bc}	-2.05^{c}	0.55^{b}
ANOVA	*	**	**	**

**** و *: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد. میانگین‌های دارای حروف مشابه، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.**

(Isaakidis *et al.*, 2004). قابلیت حفظ محتوای آب بیشتر در پتانسیل‌های آبی پایین ممکن است منعکس‌کننده استحکام بیشتر دیواره سلولی و توانایی آن برای تحمل تخریب و آسیب‌های مکانیکی ناشی از کاهش آب بافت باشد (Irrigoyen *et al.*, 1992). این مهم با بهبود شاخص پایداری غشاء در برگ گیاهان پیش تیمار شده با BABA در یک راستا قرار دارد (شکل ۱). این مشاهدات افزایش تحمل به خشکی گیاه با پیش تیمار BABA را با بهبود عملکرد روزنه‌ها و افزایش ظرفیت تنظیم اسمزی بافت تائید می‌نماید. به‌این‌ترتیب می‌توان استفاده از پیش تیمار ۵ میلی مولار BABA را جهت بهبود تحمل به خشکی گیاه پیشنهاد نمود.

منابع

Conrath, U., Pieterse, C.M. & Mauch-Mani, B., 2002. Priming in plant–pathogen interactions. Trends in Plant Science, 7: 210-216.

Du, Y.L., Wang, Z.Y., Fan, J.W., Turner, N.C., Wang, T. & Li, F.M., (2012). "β-aminobutyric acid increases abscisic acid accumulation and desiccation tolerance and decreases water use but fails to improve grain yield in two spring wheat cultivars under soil drying". Journal of Experimental Botany, 63(13): 4849-4860.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. & Basra, S.M.A., (2009). "Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In Sustainable agriculture". Springer Netherlands. pp. 153-188.

Farooq, S. & Azam, F., (2006). "The use of cell membrane stability (CMS) technique to screen for salt tolerant wheat varieties". Journal of Plant Physiology, 163(6): 629-637.

Irrigoyen, J.J., Emerich, D.W. & Sanchez-Diaz, M., (1992). "Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants". Physiologia Plantarum, 84: 55-60.

Isaakidis, A., Sotirpoulos, T., Almaliotis, D., Therois, I. & D. Styliandis. (2004). "Response to severe water stress if almond (*Prunus amygdalus*) Ferragnes grafted on eight rootstocks". New Zealand Journal of Crop Horticulture Science, 32: 355-362.

Jakab, G., Ton, J., Flors, V., Zimmerli, L., Métraux, J.P. & Mauch-Mani, B., (2005). "Enhancing Arabidopsis salt and drought stress tolerance by chemical priming for its abscisic acid responses". Plant Physiology, 139(1): 267-274.

Karimi, S., Eshghi, S., Karimi, S. & Hasan-Nezhadian, S., (2017). "Inducing salt tolerance in sweet corn by magnetic priming". Acta Agriculturae Slovenica, 109(1): 89-102.

Karimi, S., Hojati, S., Eshghi, S., Nazari-Moghadam, R. & Jandoust, S. (2012). "Magnetic field treatment improves fig 'Sabz' explants tolerance to *in vitro* induced drought stress". Scientia Horticulturae, 137: 95-100.

Karimi, S., Yadollahi, A., Arzani, K., Imani, A. & Aghaalikhani, M., 2015. "Gas-exchange response of almond genotypes to water stress". Photosynthetica, 53(1), pp.29-34.

Tajabadi Pour, A. (2004). "Effect of soil potassium application on relative resistance of three pistachio cultivars to water and salinity stress". Diss. PhD Thesis, Soil Science Department, Agricultural College, Shiraz University, Shiraz, Iran (in Persian).

Yadollahi A., Arzani, K., Ebadi, A., Wirthensohn, M. & Karimi, S. (2011). "The response of different almond genotypes to moderate and severe water stress in order to screen for drought tolerance". Scientia Horticulturae, 129: 403–413.

Zimmerli, L., Hou, B.H., Tsai, C.H., Jakab, G., Mauch-Mani, B. & Somerville, S. (2008). "The xenobiotic beta-aminobutyric acid enhances *Arabidopsis thermotolerance*". Plant Journal, 53: 144-156.

Improving Water Relations and Drought Tolerance of *Citrus aurantium* by β-Aminobutyric Acid Priming

Hanie Heydari[1], Soheil Karimi[2]*
1- MSc Student and 2-Assistant Professor of College of Aburaihan, University of Tehran
* Author for correspondence. Email: skarimi@ut.ac.ir

Abstract
Drought stress causes growth inhibition and affects the normal metabolic activities of the cell. To increase plant drought tolerance and reduce drought stress pressure on plants during rapid growth periods, different priming treatments have been used successfully. The current study evaluates the effectiveness of b-aminobutyric acid priming treatments (BABA – 5 and 10 mM) on water relations and inducing drought tolerance in sour orange (*Citrus aurantium*) in a soilless culture system. BABA treatments were applied on the plants three times, one week before imposing drought stress by withholding irrigation for 30 days. Responses of the plants were compared with irrigation (control) and drought stress without priming treatment. Drought stress significantly reduced relative water content and cell membrane stability index in the leaves. However, leaf relative water content BABA primed plants was significantly higher than non-primed plants, which prevented cell membrane stability index decline at the end of the drought period. Evaluation of transpiration rate of detached leaves indicated that BABA treatments by accelerating stomatal responses to drought stress may prevent water loss under drought stress. Moreover, evaluating leaf water potential parameters revealed that BABA priming by improving the osmoregulation capability of the plant helped the plant to preserve turgor and water content. In sum, according to better responses of the plant to 10 mM BABA, priming with this treatment for preserving plant water content, improving osmoregulation capacity of the plant and promoting drought tolerance of *C. aurantium* was clarified.

Keywords: Leaf relative water content, Leaf water potential, Membrane stability index, Priming, Turgor potential.

برآورد آلودگی عناصر سنگین در خاکهای استان زنجان با استفاده از فن سنجش از راه دور

اولدوز بخشی راد[۱]، محمدصادق عسکری[۲*]، علی‌رضا واعظی[۳]، علی افشاری[۱]
۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
۳- استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
*-نویسنده مسئول: محمد صادق عسکری askari@znu.ac.ir

چکیده

آلودگی عناصر سنگین در خاک از مهمترین مشکلات زیست‌محیطی در دنیا است. روش‌های مرسوم ارزیابی مقادیر عناصر سنگین در خاک نیاز به زمان و هزینه زیادی دارند. هدف از این پژوهش بررسی کارایی روش تجزیه و تحلیل چند متغیره در بکارگیری فن سنجش از دور برای کمی‌سازی آلودگی خاک به عناصر روی و سرب بود. برای این منظور ۲۳۰ نمونه خاک در منطقه‌ای به وسعت ۳۴۲۴ کیلومتر مربع در شهرستان زنجان جمع‌آوری شد. مقادیر عناصر سرب و روی خاک اندازه‌گیری و ۳۱ شاخص طیفی با تصاویر ماهواره سنتینل ۲ تهیه شد. مدل‌های برآورد طیفی عناصر با سه روش رگرسیون مؤلفه‌های اصلی (PCR)، حداقل مربعات جزئی (PLSR) و ماشین بردار پشتیبان (SVMR) ارزیابی شد. محدوده مادون قرمز مؤثرترین محدوده طول موجی نظارت بر آلودگی عناصر سرب و روی و شاخص‌های روشنایی و پوشش گیاهی مثلثی اصلاح شده مؤثرترین شاخص‌ها در برآورد طیفی سرب و روی در خاک‌های مورد مطالعه بودند. مدل SVMR دقت بالا و مدل PLSR دقت قابل قبولی جهت ارزیابی و نظارت بر آلودگی سرب و روی نشان دادند. نتایج نشان داد تحلیل چند متغیره داده‌های سنجش از دور ابزاری کاربردی جهت ارزیابی سریع و کمی آلودگی عناصر سنگین در اراضی استان زنجان و مناطق مشابه فراهم می کند.

واژگان کلیدی: کیفیت خاک، شاخص طیفی، عناصر آلاینده، مدل‌سازی

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین از مهمترین مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با سلامت موجودات زنده است (Navarro-Pedreño *et al.*, 2008). فلزاتی که چگالی آنها بیشتر از ۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب باشد، فلز سنگین نام دارند (Asmaryan *et al.*, 2014). برخی از این فلزات برای تغذیه گیاه ضروری می‌باشند و زمانی باعث بروز مشکل آلودگی در خاک می‌شوند که غلظت آنها بیشتر از مقدار لازم برای رشد گیاه و در حد سمیت باشد. فلزات سنگین یا به طور طبیعی و در اثر مواد مادری در خاک تجمع یافته و یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی به خاک اضافه می‌شوند (Mirsal *et al.*, 2004). به‌طورکلی مهم‌ترین منابع تجمع فلزات سنگین در خاک شامل سه مورد می‌باشد: ۱) زمین شناسی ۲) فعالیتهای انسانی مانند معدن، کشاورزی (کودها، آفت‌کش‌ها، فاضلاب و ...)، احتراق سوخت‌های فسیلی، صنایع متالوژی و شیمیایی و مهمات جنگی، ۳) رسوبات اتمسفری (Alloway, 1995). نظارت مداوم بر آلودگی فلزات سنگین در خاک برای اطمینان از پایداری اکوسیستم‌ها ضروری است (Kaya, 2006). در میان فلزات سنگین موجود در خاک، سرب (Pb) سنگین‌ترین فلز پایدار است. سرب کم تحرک‌ترین فلز در بین فلزات سنگین است که با توجه به ماندگاری بالا در خاک، مقادیر زیاد آن باعث بروز مشکلات زیست محیطی می‌شود. سرب اغلب در خاک سطحی انباشته شده و با توجه به تحرک کم آن به حالت جذب با سزکوئی اکسیدها، مواد آلی و رس خاک یافت می‌شود (Harrison and Laxen 1997). روی (Zn) نیز از مهمترین فلزات آلاینده خاک محسوب می‌شود. این فلز معمولاً جذب سطحی ذرات خاک شده و تجمع بیش از حد آن

تهدیدی برای محیط زیست و سلامت انسان‌ها است. وجود روی برای رشد گیاه ضروری است اما در غلظت‌های بالا عامل بازدارنده رشد می‌باشد (Atici *et al.*, 2005).

دستیابی به اطلاعات خاک برای مناطق وسیع و بویژه در دوره‌های زمانی متعدد از چالش‌های مهم در مطالعات خاک محسوب می-شود. اندازه‌گیری غلظت آنها در خاک، نخستین گام در ارائه راهکاری برای کاهش خطرات آنها است. بررسی‌های میدانی خاک و روش‌های تحلیلی فیزیکی و شیمیایی هزینه بر و وقت‌گیر هستند و نیاز به استفاده از روش‌هایی با هزینه پایین‌تر و ابزارهایی سریع برای ارزیابی خاک در مناطق وسیع احساس می‌شد. با پیشرفت تکنولوژی تصویربرداری هوایی و استفاده از هواپیماهای بدون سرنشین، فناوری سنجش از راه دور در علوم خاک بیش از هر زمان دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. با این وجود مطالعات محدودی به منظور ارزیابی مستقیماً غلظت فلزات سنگین در خاک انجام شده است (Fu and Wang 2017). نتایج پژوهش‌ها نشان داد که فن سنجش از راه دور قابلیت خوبی برای برآورد بسیاری از ویژگی‌های خاک دارد (Mulder *et al.*, 2011). در میان سنجنده‌های مختلف تصاویر ماهواره سنتینل-۲ که دسترسی به آن رایگان است و داده‌های طیفی در فاصله‌های زمانی کوتاه مدت با پوشش وسیع و طیف گسترده‌ای از امواج الکترومغناطیس در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد، پتانسیل بالای برای برآورد غلظت فلزات سنگین و آلودگی ناشی از تجمع این فلزات در خاک فراهم می‌کند. از آنجایی که ویژگی‌های طیفی پوشش سطح زمین مانند خاک و پوشش گیاهی تحت تأثیر مقدار فلزات سنگین قرار می‌گیرند، غلظت‌های مختلف این فلزات در خاک می‌توانند بر داده‌های طیفی تأثیر گذار باشند، لذا از این تأثیر می تواند در برآورد طیفی فلزات سنگین در خاک بهره گرفت (Asmaryan *et al.*, 2014). هدف از این پژوهش بررسی کارایی فن سنجش از راه دور، مدل‌ها مختلف (PCR، PLSR و SVMR) و شاخص‌های طیفی به منظور برآورد غلظت فلزات سنگین روی و سرب در خاک است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه‌ای به مساحت ۳۴۲۴ کیلومتر مربع در شهرستان زنجان واقع در ″۴۵ ′۴۷ °۳۶ تا ″۴۸ ′۲۰ °۳۶ عرض شمالی و ″۵۵ ′۰۰ °۴۹ تا ″۵۱ ′۱۵ °۴۸ طول شرقی در جنوب استان زنجان با میانگین دمای سالانه ۱۵/۷ °C و میانگین بارندگی سالانه بین ۳۳۰ تا ۳۶۰ میلی‌متر انجام شد. میانگین ارتفاع منطقه از سطح دریا برابر ۱۵۰۰ متر می‌باشد. جهت باد غالب در شهر زنجان در امتداد ۹۰ درجه نسبت به امتداد شمال یعنی غالباً باد از شرق به غرب می‌وزد. منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط آب و هوایی از جمله رژیم بارش مناسب، دسترسی به منابع آب، خاک، تنوع زیستی و کاربری‌های شهری و روستایی دارای اهمیت فوق‌العاده از لحاظ تولیدات کشاورزی بوده و هم‌چنین دارای ظرفیت بالایی برای فعالیت‌های تولیدی است. موقعیت جغرافیایی و داشتن راه‌های ارتباطی مناسب باعث توسعه روزافزون صنایع در این شهرستان شده است. کاربری عمده منطقه کشاورزی، مرتع و مسکونی است. تشکیلات زمین‌شناسی منطقه زنجان متعلق به دوران‌هایی از پرکامبرین تا دوران سوم زمین‌شناسی است. در این پژوهش نمونه‌برداری بر اساس روش شبکه‌بندی و به‌صورت تصادفی در چهار کاربری مرتع، کشاورزی ، صنعتی و مسکونی انجام گرفت. در کل تعداد ۲۳۰ نمونه خاک سطحی (از عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر) به روش نمونه‌برداری مرکب برداشت شد. فلزات سرب و روی با استفاده از اسید نیتریک ۵ نرمال عصاره‌گیری شدند (Westerman, 1990) و در نهایت غلظت کل فلزات توسط دستگاه جذب اتمی مدل پرکین-المر ۲۰۰ [1] تعیین شد.

تصاویر مورد استفاده در این پژوهش مربوط به ماهواره سنتیل-۲ در مرداد ماه سال ۲۰۱۸ می‌باشد که دارای کمترین پوشش ابری است. این ماهواره دارای سنجنده MSI [2] می‌باشد که تصاویری را با قدرت تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر تهیه می‌کند. تصاویر این ماهواره دارای ۱۳ باند است و در محدوده طیف‌های مرئی، مادون قرمز و مادون قرمز کوتاه دارای عرض برداشت ۲۹۰ کیلومتر

[1] . Perkin-Elmer: AA 200
[2] . Multi-spectral Instrument

است. اصلاحات رادیومتریک و هندسی لازم بر روی تصاویر انجام شد. محل‌های نمونه برداری شده روی تصویر ماهواره‌ای منطبق شد و ارزش پیکسل ها ثبت گردید. عداد ۳۰ شاخص طیفی که به‌عنوان شاخص‌های کاربردی ارزیابی متغیرهای کیفیت پوشش گیاهی و خاک در منابع به آنها اشاره شده است، جهت برآورد آلودگی خاک استفاده شد. از مدل‌های رگرسیون PCR، PLSR و SVMR با داده‌های تصاویر ماهواره سنتیل-۲ جهت برآورد آلودگی خاک به فلزات روی و سرب استفاده شد. قبل از ایجاد مدل‌های طیفی، نرمال بودن توزیع داده ها مورد آزمایش قرار گرفت. برابری واریانس داده‌های واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از آزمون لونز[3] و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون t بررسی‌شد. جهت بررسی تصاویر ماهواره‌ای از نرم افزار ERDAS نسخه ۲۰۱۴ و QGIS نسخه ۳. ۶ و برای تعیین موقعیت دقیق مناطق مورد مطالعه از سامانه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) استفاده شد. مقادیر سرب و روی با سه روش PCR, PLSR, SVMR و با استفاده از نرم‌افزار آنسکرامبلر[4] برآورد و مقایسه شد.

نتایج و بحث

خصوصیات آماری فلزات سنگین روی و سرب در جدول ۱ خلاصه شده است. دامنه تغییرات ماده آلی خاک بین ۰/۴ تا ۶/۵ درصد با میانگین ۱/۵ درصد، هدایت هیدرولیکی بین ۰/۱ تا ۴/۲ دسی‌زیمنس برمتر با میانگین ۰/۴ دسی‌زیمنس برمتر، pH بین ۶/۹ تا ۷/۸ با میانگین ۷/۴، کربنات کلسیم بین ۱/۹ تا ۴۴/۹ درصد با میانگین ۱۹ درصد، مقدار شن بین ۸ تا ۷۳ درصد با میانگین ۳۹ درصد، مقدار رس بین ۲ تا ۳۷ درصد با میانگین ۲۰ درصد و مقدار سیلت بین ۲۰ تا ۷۴ درصد با میانگین ۴۱ درصد می باشد. نتایج نشان داد میانگین مقادیر سرب و روی در خاک منطقه مورد آزمایش بترتیب برابر ۸۸/۹۸ و ۱۷۵/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است که از مقدار متوسط جهانی این فلزات (به ترتیب ۱۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشتر و در برخی نمونه‌ها از مقدار حداکثر مجاز این فلزات در خاک نیز فراتر می‌باشد (Khalid *et al.*, 2017). مقایسه ضریب تغییرات نیز نشان می‌دهد مقدار این ضریب در هر دو فلز نزدیک به هم بوده (۶۳ درصد برای فلز روی و ۶۶ درصد برای فلز سرب) که بیان‌گراین است که پراکندگی فلزات آلوده کننده تقریباً مشابه هم بوده است.

جدول۱- خصوصیات آماری فلزات روی و سرب در خاک منطقه مورد آزمایش

پارامتر آماری	روی (Zn) ($mg\ kg^{-1}$)	سرب (Pb) ($mg\ kg^{-1}$)
میانگین	۱۷۵/۹	۸۸,۹
بیشینه	۸۲۳/۷	۳۶۳/۷
کمینه	۹۶/۲	۴۰
انحراف معیار	۱۱۲/۱	۵۹/۲
ضریب تغییرات %	۶۳	۶۶
غلظت متوسط در خاک	۵۰	۱۵

نتایج آزمون لونز و آزمون t نشان می‌دهد بین داده‌های اعتبارسنجی و واسنجی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و انتخاب تصادفی نمونه‌ها برای اعتبارسنجی به درستی انجام شده است. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های برای دو فلز سرب و روی در جداول ۲ و ۳ خلاصه شده است. به‌طور کلی سه مدل مورد استفاده در این مطالعه دقت‌های متفاوتی از تخمین غلظت فلزات روی و سرب در خاک ارائه دادند.

[3]. Levene's test
[4]. Unscambler software (version X10.4.1; CAMO software, Woodbridge, NJ, USA)

جدول۲- نتایج مدل‌های برآورد شده (مدل واسنجی و اعتبار سنجی) برای سرب با استفاده از سه روش PCR , PLSR, SVMR

روش	RPD	مدل	R^2	RMSE
PCR	۱/۹۵	واسنجی	۰/۵۱	۴۹/۳۵
		اعتبارسنجی	۰/۴۵	۵۴/۷۴
PLSR	۳/۰۶	واسنجی	۰/۷۵	۲۸/۱۶
		اعتبارسنجی	۰/۶۹	۳۴/۷۸
SVMR	۴/۱	واسنجی	۰/۸۸	۲۲/۱۴
		اعتبارسنجی	۰/۸۴	۲۵/۳۵

جدول۳- نتایج مدل‌های برآورد شده (مدل واسنجی و اعتبار سنجی) برای روی با استفاده از سه روش PCR, PLSR, SVMR

روش	RPD	مدل	R^2	RMSE
PCR	۱/۳۴	واسنجی	۰/۶	۷۱/۴۲
		اعتبارسنجی	۰/۵۸	۷۴/۹۸
PLSR	۱/۹۴	واسنجی	۰/۸۳	۴۹/۲۵
		اعتبارسنجی	۰/۷۸	۵۳/۴۳
SVMR	۲/۵۹	واسنجی	۰/۸۹	۳۹/۸۶
		اعتبارسنجی	۰/۸۸	۴۰/۹

نتیجه‌گیری

با توجه به اهداف این پژوهش نتایج نشان داد مدل SVMR برآورد طیفی بهتری برای هر دو فلز سرب و روی نسبت به مدل PLSR و مدل PCR داشت. در این ارتباط، دقت بالای با استفاده از روش SVMR و دقت قابل قبولی با استفاده از روش PLSR حاصل شد در حالی‌که روش PCR کارائی مناسبی برای برآورد فلز سرب و روی با استفاده از داده‌های سنجنده سنتینل ۲ نشان نداد. مدل‌سازی داده‌های طیفی مربوط به ماهواره سنتینل ۲ با استفاده از روش SVMR و PLSR می‌تواند یک فن سریع، قابل اعتماد و کم هزینه برای ارزیابی نزدیک به زمان واقعی از شرایط آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های استان زنجان و مناطقی با شرایط مشابه فراهم کند.

فهرست منابع

Alloway, B., (1995). The origin of heavy metals in soils. Pp. 38-57. In: Alloway, B., (Ed.). Heavy metals in soils. Second edition. London, UK: Blackie Academic & Professional.

Asmaryan, Sh.G., Muradyan, V.S., Sahakyan, L.V., Saghatelyan, A.K., (2014). Development of remote sensing methods for assessing and mapping soil pollution with heavy metals. Pp: 429-432. Chapter 4, Global soil map-Arrouays et al. (Eds), London, Uk.

Atici, Ö., Ağar, G., Battal, P., (2005). Changes in phytohormone contents in chickpea seeds germinating under lead or zinc stress. Biologia Plantarum, 49: 215-222.

Fu, X.L., Wang, Q.J., (2017). Inversion analysis of heavy metal pollution in soil in mining disturbed areas based on remote sensing data: A case study of lanping zn. Journal of Residuals Science and Technology, 14(3): 85-93.

Harrison, R.M., Laxen, D.P.H., (1997). A comparative study of methods for soil analysis of total lead in soils, Water Air Soil Pollute, 8: 387-392.

Kaya, Z, (2006). Pollution. Pp. 1343-1346. In: Lal, L., (Ed.). Encyclopedia of Soil Science, Second Edition 2, Volume Set. New York, USA: Taylor & Francis Group.

Khalid, S., Shahid, M., Niazi, N.K., Murtaza, B., Bibi, I., Dumat, C., (2017). A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils, Journal of Geochemical Exploration, 182: 247‑268.

Mirsal, I., (2004). Soil pollution. Origin, monitoring & remediation, Springer-Verlag.Berlin, Germany.

Mulder, V.L., de Bruin, S., Schaepman, M.E., Mayr, T.R., (2011). The use of remote sensing in soil and terrain mapping-A review, Geoderma, 162(1): 1–19.

Navarro-Pedreño, J., Gómez, I., Almendro-Candel, M., Meléndez-Pastor, I., (2008). Heavy metals in Mediterranean soils. Pp. 161-176. In: J. Dominguez (Ed.). Soil contamination research trends, New York, USA: Nova Science Publishers, Inc.

Westerman, R.E.L., (1990). Soil testing and plant analysis, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

Estimation of Soil Heavy Metal Pollution in Zanjan Province Using Remote Sensing Technique

Ouldouz Bakhshi Rad [1], Mohmmad Sadegh Askari[2*], Ali Reza Vaezi[2], Ali Afshari[1]
1-Ph.D Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan
2-Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.
3- Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.
[*]Corresponding author email: askari@znu.ac.ir

Abstract

Heavy metal pollution is one of the most important environmental problems worldwide. Conventional methods for estimating the amount of heavy metals in the soil are time-consuming and costly. The aim of this study was to evaluate the efficiency of multivariate analysis methods and remote sensing technique to quantify soil contamination of zinc and lead. 230 soil samples were collected from an area of 3424 Km^2 in Zanjan. Soil lead and zinc contents were measured and thirty spectral indices were determined using Sentinel-2 satellite images. Spectral estimation models were developed and evaluated by three methods of principal component regression (PCR), partial least squares regression (PLSR) and support vector machine regression (SVMR). The infrared range was identified as the most effective wavelength ranges for monitoring the contamination of lead and zinc in soil. Brightness and modified triangular vegetation index were the most effective indicators for spectral estimation of lead and zinc in the studied soils. The SVMR model showed high accuracy and the PLSR model showed acceptable accuracy for evaluating and monitoring lead and zinc contamination. This study revealed that the method of multivariate analysis and remote sensing data could provide a practical approach for rapid and quantitative assessment of soil heavy metal pollution in Zanjan province and areas with similar soil conditions.

Keywords: Soil quality, Spectral index, pollutant metals, Modelling

تعیین پتانسیل و شکاف عملکرد تولید برنج در شهرستان شفت با استفاده از مدل WOFOST

حدیث یاقوتی[1]، ابراهیم امیری[2]

۱- دانش آموخته دکترای علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران (Email: Hadis.Yaghouti@gmail.com)

۲- استاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

چکیده

ارزیابی شیوه‌های مدیریت کشاورزی و دستیابی به عملکرد بیشتر در واحد سطح، از اقداماتی است که در قالب مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به آن پرداخت و دورنمای مطلوبی را در اختیار پژوهشگران علوم کشاورزی قرار داد. هدف این تحقیق تعیین پتانسیل و شکاف عملکرد برنج در شمال ایران به کمک مدل WOFOST می‌باشد که در دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ مورد واسنجی و اعتبارسنجی قرار گرفت. در سال اول مقدار R^2 بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای ارقام محلی و پرمحصول به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۶۷ تعیین گردید. نتایج شبیه‌سازی سال دوم مقدار RMSE را برای دو دسته ارقام محلی و پرمحصول برنج به ترتیب، ۴۴۶ و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار و مقدار NRMSE را در محدوده مطلوب ارزیابی کرد که از ۲۰ درصد تجاوز نکرد. همچنین آزمون مقایسه میانگین t-test شبیه‌سازی قابل قبول عملکرد دانه برنج را تایید می‌کنند. بیشترین میزان شکاف عملکرد ۴۴ درصد عمدتاً در بخش‌های جنوبی منطقه دیده می‌شود. تعجیل و تاخیر در کاشت نسبت به تاریخ کاشت مطلوب در منطقه، موجب کاهش عملکرد برنج می‌شود. نقشه‌های شکاف عملکرد به عنوان مکمل روش‌های میدانی در شناسایی مناطق کم بازده و محدودیت‌های ناشی از شرایط محیطی و مدیریتی مزارع جهت رفع کاستی های موجود موثر است.

واژگان کلیدی: برنج، عملکرد، شکاف، مدل WOFOST، IDW.

مقدمه

در مسیر توسعه فعالیت‌های کشاورزی، اهداف اقتصادی و زیست محیطی همزمان باید مورد توجه قرارگیرد. کمبود آب از مهم‌ترین چالش‌های تولید محصولات کشاورزی در اغلب مناطق ایران با اقلیم خشک و نیمه خشک می‌باشد که طی دهه اخیر به دغدغه شالیکاران مناطق شمالی کشور نیز افزوده شده‌است. مقادیر رشد و عملکرد گیاهان زراعی همچون برنج، تابعی از ویژگی های مختلف مانند اقلیم (تشعشع، درجه حرارت، بارندگی و غیره)، خاک، پستی و بلندی مزرعه، عوامل زیستی و مدیریتی می‌باشد (آقائی پور و همکاران (۱۳۹۶)؛ دیهیم‌فرد و همکاران، ۱۳۹۴). تفاوت‌های قابل توجه بین عملکردهای به‌دست آمده در یک منطقه، محققین را برآن داشته است که عملکرد پتانسیل منطقه را تعیین نمایند.

شکاف عملکرد، اختلاف بین عملکرد پتانسیل (Y_p) یا عملکرد در شرایط محدودیت آب (Y_w) با عملکرد واقعی (Y_a) به دست آمده در مزارع می‌باشد (Van Ittersum et al., 2013). عملکرد پتانسیل، عملکرد یک گونه زراعی سازگار در یک محیط، همراه با عدم محدودیت آب، مواد مغذی و کنترل موثر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز می‌باشد. به بیان دیگر، عملکرد پتانسیل رشد گیاه تحت شرایط مطلوب و کاملاً مدیریت شده تعریف می‌شود (ایزدفرد و همکاران، ۱۳۹۶). سطوح بعدی عملکرد، همچون عملکرد قابل دسترس و عملکرد واقعی، از محدودیت‌های ناظر بر عملکرد پتانسیل شکل می‌گیرد.

در سال‌های اخیر، مطالعات گسترده‌ای در خصوص تجزیه و تحلیل شکاف عملکرد سیستم‌های کشت برنج در سطوح خارجی (Espe et al., 2016; Mueller et al., 2012) و داخلی (گرجی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۸؛ رضوان‌طلب و همکاران، ۱۳۹۸) انجام پذیرفته‌است. هرکدام از این تحقیقات با ارائه روش‌های مختلف سعی بر شناسایی و تبیین ارتباط عوامل مزرعه با کشت و عملکرد محصول دارند. آقایی پور و همکاران (۱۳۹۶) به محاسبه پتانسیل ویژگی‌های خاک در پاسخ به عملکرد برنج پرداختند و اعلام کردند امکان افزایش عملکرد ۲/۸۶ تن در هکتار (۳۷/۳ درصدی) با بهینه‌سازی مصرف کود در دشت فومنات استان گیلان وجود دارد. در مطالعه حلالخور و همکاران (۱۳۹۷) در بابل شکاف عملکرد ۱۹۷۷ کیلوگرمی در هکتار گزارش شد، که مولفان بخش قابل توجهی از آن را با به‌زراعی قابل جبران دانستند. در تحقیقاتی که توسط Yousefian و همکاران (۲۰۱۹) در ساری انجام گرفت، اختلاف بین عملکرد واقعی (۴۴۹۵ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد پتانسیل (۶۳۳۷ کیلوگرم در هکتار) را ناشی از مدیریت نامناسب شالیزار عنوان کردند.

در این بین، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد برای محصولات کشاورزی، یکی از رویکردهای مؤثر در دستیابی به سطح عملکرد مطلوب خواهد بود (Esmaeilzad et al., 2014). از مدل‌هایی که برای شبیه‌سازی رشد برنج و مدیریت آب و مواد غذایی در شمال ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است می‌توان به Aquacrop (امیری و همکاران، ۱۳۹۸؛Amiri, 2016)، CERES –Rice (Amiri et al., 2014; Amiri et al., 2013) و ORYZA2000 (Amiri et al., 2014 ;Esmaeilzad et al., 2014) اشاره کرد.

مدل WOFOST (World Food STudies) از خانواده مدل‌هایی است که از مدل SUCROS مشتق شده (Van Ittersum et al., 2003) و به دلیل سادگی کاربرد، و قابلیت تلفیق با سامانه اطلاعات جغرافیایی (بافکار و همکاران، ۱۳۹۵)، توسعه یافته‌است. این مدل قادر است رشد گیاهان زراعی یک‌ساله را در حالت پتانسیل، محدودیت آب و کمبود مواد مغذی شبیه‌سازی نماید (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸)، در واقع امکان برآورد استعداد منطقه را برای تولید محصولی خاص فراهم می‌کند. از مهم‌ترین کاربردهای WOFOST به عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد نسبت به عوامل موثر بر رشد گیاه و تعیین عوامل حساس استفاده می‌گردد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۲). باتوجه به ویژگی‌های این مدل تاکنون مطالعات مختلفی، برای بسیاری از غلات پیاده سازی شده است.

در خصوص شبیه‌سازی برنج در مناطقی از شمال ایران، نتایج گویای آن است که مدل WOFOST در پیش بینی عملکرد دانه و بیوماس کل از دقت قابل قبولی برخوردار است (سعادتی و همکاران، ۱۳۹۱؛ امیری و همکاران،۱۳۹۰)، لیکن پژوهش‌ها نشان می‌دهد کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی خارج از محدوده اغلب منجر به نتایج مایوس کننده‌ای می‌شود. تعدادی از این پارامترها بستگی به رقم دارند، بنابراین مدل‌ها ابتدا باید برای ارقام مورد نظر واسنجی گردند (بافکار و همکاران، ۱۳۹۵).

مطالعات شکاف عملکرد با مدل WOFOST بیانگر توانایی مدل در تحلیل سیستم زراعی برای گندم بوده است. به‌طوری که طایی و همکاران (۱۳۹۱) در منطقه بروجن استان چهارمحال و بختیاری، مهمترین عامل ایجاد اختلاف عملکرد بین حالت پتانسیل و محدودیت آب را الگوی توزیع بارش و دمای پایین در طول دوره رشد مرطوب معرفی کردند.

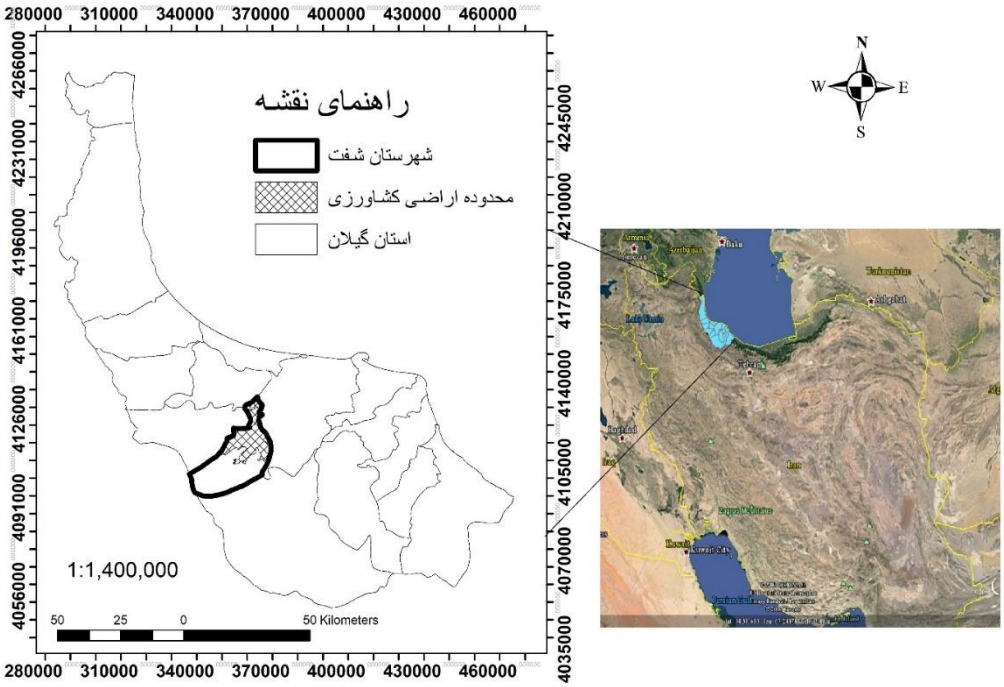
ضرورت کمی سازی شکاف عملکرد برنج در شمال ایران جهت دستیابی به عملکرد بالاتر و برنامه ریزی های مناسب برای نیل به این هدف ایجاب می‌کند از مدل WOFOST برای برآورد عملکرد در حالت پتانسیل، در مقایسه با عملکرد واقعی و تعیین شکاف عملکرد منطقه با استفاده از رهیافت GIS اقدام گردد. نتایج به دست آمده خواهد توانست افق تازه‌ای برای مطالعات بعدی در بهینه‌سازی تولید و شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد فراهم آورد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

زراعت اصلی در اراضی شمالی ایران برنج بوده و منطقه مورد مطالعه حدود ۱۴ هزار هکتار از اراضی شهرستان شفت در استان گیلان را دربرمی‌گیرد که بین عرض‌های جغرافیایی ´۵۶ °۳۶ تا ´۱۸ °۳۷ شمالی و طول جغرافیایی ´۱۰ °۴۹ تا ´۳۱ °۴۹ شرقی، واقع شده است. خاک‌های منطقه مورد مطالعه در رژیم رطوبتی آکوئیک و یودیک و رژیم حرارتی ترمیک بوده و براساس سیستم طبقه‌بندی

آمریکایی، در دو رده اینسپتی سول‌ها و آلفی‌سول‌ها قرار می‌گیرند. از لحاظ اقلیم منطقه معتدل و مرطوب می‌باشد و از جنوب به مناطق کوهستانی منتهی می‌گردند (شکل ۱).



شکل ۱- محدوده اراضی کشاورزی شهرستان شفت و موقعیت آن در استان گیلان و کشور.

شیوه زراعت برنج در منطقه به صورت غرقاب می‌باشد، دوره رشد در منطقه از فروردین تا شهریور ادامه دارد. اطلاعات مورد نیاز از ۷۵ مزرعه شامل مساحت شالیزارها و نحوه مدیریت زراعی، نوع رقم، ضدعفونی بذر، زمان کاشت، مسائل مربوط به برداشت (کود و مبارزه با آفات و بیماری‌ها)، تعداد و میزان آبیاری، شیوه‌های آبیاری (سنتی و مدرن) و زمان برداشت و مقدار عملکرد محصول، برای دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ دریافت شد. نتایج با نقشه‌های موجود از کاربری اراضی و تفکیک محصولات کشاورزی مورد مقایسه قرار گرفت.

مدل شبیه‌سازی WOFOST

شبیه‌سازی رشد گیاه در این مدل بر مبنای چرخه کربن بوده و دارای ساختاری پیچیده است (Todorovice *et al*., 2009) که رشد محصول را با استفاده از رویکردهای متنوع شبیه‌سازی می‌کند: ۱) حالت پتانسیل، رشد محصول صرفاً توسط دما و تابش خورشید و بدون عوامل محدود کننده رشد در نظر گرفته می‌شود. ۲) حالت محدودیت آب، که رشد محصول با دسترسی آب محدود می‌شود. ۳) محدودیت مواد مغذی، که براساس دسترسی به عناصر غذایی پرمصرف ازت، فسفر و پتاسیم در خاک‌های غیر حاصلخیز در نظر گرفته می‌شود (Boogard et al., 1998). این مدل در مطالعات مختلف و برای انواع گیاهان زراعی از جمله برنج با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته‌است.

در این تحقیق از نسخه ۷,۱ مدل WOFOST برای شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج استفاده شد. برای شروع فرآیند شبیه‌سازی باید سه فایل ورودی اعم از فایل گیاهی، هواشناسی و خصوصیات خاک تهیه و به مدل معرفی گردد. براساس اطلاعات دریافت شده از سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان، ارقام برنج در مزارع منطقه به دو گروه عمده، ارقام محلی (بومی) و ارقام پرمحصول (اصلاح شده)

تقسیم می‌شوند. البته ارقام محلی حدود دو سوم از اراضی شالیزاری را به خود اختصاص می‌دهد. در پژوهش حاضر سعی شد تا ضمن توزیع مناسب موقعیت مزارع در سطح منطقه، نسبت ارقام در جامعه آماری حفظ گردد. پارامترهای گیاهی مورد لزوم مدل از آزمایشات مزرعه‌ای امیری و همکاران (۱۳۹۱) برای ارقام محلی و پرمحصول برنج استخراج شد.

ورودی بعدی، داده‌های روزانه هواشناسی است که از ایستگاه هواشناسی رشت دریافت شد که شامل بارندگی، درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل، تشعشع روزانه (ساعات آفتابی)، سرعت باد در ارتفاع دو متری، رطوبت نسبی و فشاربخار صبحگاهی هوا در طول دوره رشد به صورت روزانه می‌باشد. فایل خاکشناسی شامل رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی، پژمردگی دائم، اشباع و رطوبت بحرانی و هدایت هیدرولیکی اشباع تا عمق ۳۰ سانتیمتری ریشه می‌باشد که نتیجه آزمون خاک شالیزارهای منطقه است.

در بخش اطلاعات کلی کاربر می‌تواند رشد گیاه را تحت یکی از شرایط عدم وجود عامل محدودکننده، محدودیت آب و یا محدودیت مواد غذایی شبیه‌سازی کند. وقتی که کاربر وضعیت عدم وجود عامل محدودکننده و یا محدودیت آب را انتخاب می‌کند، در این شرایط فرض بر این است که مواد غذایی مورد نیاز گیاه به اندازه کافی تامین شده‌است (نیازی به وارد کردن اطلاعات غذایی نیست).

واسنجی و اعتبارسنجی

زمانی مدل می‌تواند سیستم واقعی را درست شبیه‌سازی کند که در سطح مشخصی از جزئیات، بین داده‌های ورودی و ساختار مدل انسجام برقرار باشد. در اغلب مدل‌های گیاهی، متغیرهای زیادی وجود دارد که مقادیر بیشتر آن‌ها (به‌خصوص پارامترهای تجربی) با اطمینان مشخص نیستند و با توجه به نوع گیاه، استفاده از نتایج تحقیقات گذشته و آزمایش‌های مزرعه‌ای و اندازه‌گیری محلی انتخاب می‌شوند. علی‌رغم تایید مدل WOFOST در شبیه‌سازی عملکرد برنج، مدل در شهرستان شفت و در سال ۱۳۹۱ مورد واسنجی قرار گرفت. مقادیر پارامترهای مورد واسنجی به گونه‌ای تعریف می‌شود که تفاوت بین متغیرهای اندازه‌گیری شده در طول دوره رشد با مقادیر شبیه‌سازی شده حداقل باشد. مدل پس از واسنجی، برای سال زراعی ۱۳۹۲ در حالت پتانسیل تعیین اعتبار شد. بدین جهت ارزیابی عملکرد خروجی مدل با عملکرد مزارع، با استفاده از مولفه‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) بررسی گردید (معادلات ۱ تا ۳):

- ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{1/2} \quad (۱)$$

- ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\overline{O}} \times 100 \quad (۲)$$

-ضریب تبیین (R^2)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (۳)$$

در این روابط P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی‌شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای (اندازه‌گیری‌شده)، $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌شده)، n تعداد نمونه‌ها (رقم‌های مشاهده، محاسبه و یا برآورد شده) است. همچنین ضریب (R^2) معیار پراکنش بین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده است. براساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که مقدار NRMSE کمتر از ۱۰٪ باشد عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، خوب و اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، متوسط ارزیابی می‌گردد، مقادیر بالاتر از ۳۰٪ از توانایی ضعیف مدل حکایت دارد (Johnston, 2001).

تعیین شکاف عملکرد

در ادامه پس از انجام شبیه‌سازی مدل WOFOST، شکاف و تفاوت عملکرد در مقایسه با عملکرد واقعی محاسبه شد. در تحقیق حاضر، شکاف عملکرد کل (Y_G)، حاصل اختلاف بین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده توسط مدل (Y_p) با متوسط عملکرد واقعی کشاورزان (Y_a) است.

در اینگونه مدل‌ها عمل شبیه‌سازی به صورت نقطه‌ای صورت می‌گیرد، بنابراین برای نمایش نتایج سطح منطقه از قابلیت اتصال مدل WOFOT سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده گردید. در نهایت با توجه به داده‌های عملکرد واقعی و پتانسیل، نقشه شکاف عملکرد با استفاده از روش عکس فاصله وزنی (IDW) که از روش‌های درون‌یابی است ترسیم شد. روش درون‌یابی IDW بر این فرض استوار است که تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیک‌ترین نقاط برداشت شده دارد. بنابراین برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکتی بیشتر نسبت به نقاطی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند (Johnston, 2001). توان کاربردی در این روش ۲ و تعداد نقاط همسایگی ۱۲ لحاظ گردید.

نتایج و بحث

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده برای سال ۲۰۱۲، برای ارقام بومی و پرمحصول منطقه واسنجی شد، و فقط به ارائه شاخص های آماری آن در جدول (۱) بسنده شد. با توجه به ضرایب تبیین به دست آمده، به نظر می‌رسد مدل WOFOST برای پیش‌بینی عملکرد دانه ارقام محلی بهتر عمل می‌کند. برای آزمون قدرت پیش‌بینی مدل، از شاخص RMSE، استفاده شد پس از واسنجی، ارزیابی مدل WOFOST بر پایه داده‌های سال ۱۳۹۲ انجام گرفت.

با توجه به جدول ۱، ضریب تبیین بیانگر همبستگی بالا بین مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر واقعی است و نتایج حاصل از آزمون Paird t-test دودامنه‌ای تفاوت معنی داری در بررسی‌های دو متغیر نشان نداد ($P>0.05$). در ارزیابی این شاخص می‌توان به پژوهش امیری و همکاران (۱۳۹۰) اشاره کرد، که مقدار R^2 در سطح مزرعه تحقیقاتی برای عملکرد دانه در محدوده ۰/۹۸-۰/۹۵ تعیین شد. مقدار میانگین مربعات خطای نرمال برای هر متغیر در محدوده مطلوب قرار داشت. سعادتی و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی نتایج مدل از NRMSE استفاده نمودند، که بین ۱۴-۵ درصد گزارش شد. مدل WOFOST در بسیاری از مطالعات و در مناطق مختلف برای ارزیابی میزان تولید و شبیه سازی رشد غلات با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است (بافکار و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ طایی و همکاران، ۱۳۹۱).

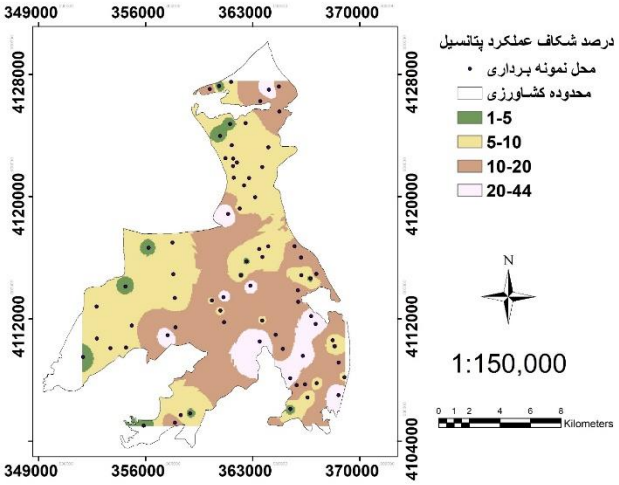
جدول ۱- نتایج اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی عملکرد برنج برای دو رقم بومی و پرمحصول شالیزارهای شفت

سال زراعی	رقم	متغیر گیاهی	میانگین (Kg/ha)	دامنه (Kg/ha)	R^2	P(t)	RMSE (Kg/ha)	NRMSE (%)
۱۳۹۱	محلی		-	-	۰/۷۳	-	۴۵۲	۱۳
	پرمحصول		-	-	۰/۶۷	-	۴۶۴	۱۱
۱۳۹۲	محلی	مشاهداتی	۳۵۰۲	۲۱۹۰	-	-	-	-
		پتانسیل	۴۰۲۴	۱۱۴۶	۰/۶۶	۸/۵۳	۶۷۶	۱۹
	پرمحصول	مشاهداتی	۴۶۴۹	۱۲۵۸	-	-	-	-
		پتانسیل	۵۰۵۰	۱۰۴۱	۰/۷۸	۱۱/۷۹	۴۳۴	۹

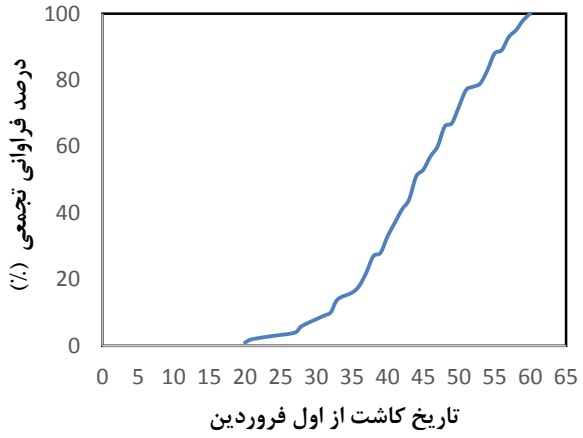
همانگونه که از شکل ۲، دریافت می‌شود بیشترین میزان شکاف عملکرد با حد نهایی ۴۴ درصد عمدتاً در بخش‌های جنوبی منطقه دیده می‌شود. با توجه به اینکه این مناطق در دامنه کوه واقع شده‌اند، می‌توان تفاوت عملکرد واقعی با آنچه مدل WOFOST برآورد نموده‌است را ناشی از بارندگی‌های خارج از فصل و آبگرفتگی این اراضی دانست. درصد پوشش عملکرد پتانسیل دست یافته توسط کشاورزان در نقاطی محدود از منطقه، ۹۸-۹۰ درصد درون‌یابی شد. در بخش‌های مرکزی مقدار کمتر دستیابی به عملکرد پتانسیل تا ۶۰ درصد دیده می‌شود. حد نهایی درصد پوشش عملکرد پتانسیل درون‌یابی شده، ۹۸ درصد به دست آمد که مربوط به ارقام محلی می‌باشد.

محققان بسیاری در سطح وسیع با استفاده از روش‌های آماری مقدار پتانسیل عملکرد را برای برنج گزارش کرده‌اند. برای مثال، در منطقه ساری و بابل میزان شکاف عملکردی که با مدل تولید به روش‌های آماری به دست آمد، به ترتیب برابر ۱۸۴۱ و ۱۹۷۷ کیلوگرم در هکتار گزارش گردید (Yousefian et al., 2019؛ حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷). رضوان‌طلب و همکاران (۱۳۹۸) در استان مازندران عملکرد واقعی و پتانسیل را برای ارقام بومی محاسبه نمودند. آن‌ها همچنین اعلام کردند پتانسیل عملکرد وابسته به منطقه بوده و شکاف عملکرد با حد بهینه عوامل مدیریتی قابل جبران می‌باشد. در پژوهشی که Mueller و همکاران (۲۰۱۲)، در سطح جهانی روی شکاف عملکرد انجام دادند، به این نکته اشاره کردند که از بین بردن شکاف عملکرد و حصول میزان عملکرد قابل دستیابی، می‌تواند تولید برنج را تا ۴۷ درصد افزایش دهد. از سویی دیگر، Espe و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند امکان دستیابی به ۱۰۰ درصد عملکرد قابل حصول (پتانسیل عملکرد) وجود ندارد.

همچنین مشاهدات تجربی نشان می‌دهد، مهم‌ترین مشکل شکاف عملکرد در گیاهان زراعی مدیریت ناکارآمد در اراضی کشاورزی است (حلالخور و همکاران، ۱۳۹۷). تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به تاریخ زراعت بیانگر این مطلب است که تاریخ کاشت از نیمه دوم فروردین ماه شروع و تا نیمه اول خرداد ادامه داشت (شکل ۳). تعجیل و تاخیر در کاشت نسبت به تاریخ کاشت مطلوب در منطقه، موجب کاهش عملکرد برنج می‌شود، بنابراین انتخاب تاریخ کاشت مناسب به دلیل ایجاد انطباق فرآیندهای فیزیولوژیکی و مراحل فنولوژیکی گیاه با شرایط مناسب آب و هوایی نقش به‌سزایی در تولید محصول دارد. همچنین تعداد دفعات آبیاری کمتر، سرعت باد بیشتر و نیز بارندگی‌های تجمعی کم در طول فصل رشد را می‌توان از دیگر دلایل شکاف عملکرد در منطقه برشمرد.



شکل ۲-پهنه‌بندی درصد شکاف عملکرد واقعی و پتانسیل برنج



شکل ۳-توزیع تجمعی تاریخ کاشت نشاء در مزارع شهرستان

براساس یافته‌های دلسوز خاکی و همکاران (۱۳۹۷) در فومنات گیلان، مهمترین عامل کاهش تولید، اقلیم (تعداد ساعات آفتابی و میانگین دما در سیکل رشد) است. نتایج تحقیقات مختلف از جمله دیهیم فرد و همکاران (۱۳۹۴) نشان داده‌است، برای شرایط محدودیت آب در مدل‌هایی از خانواده SUCROS، علاوه بر تشعشع و درجه حرارت، دو متغیر دیگر آب و هوایی مانند سرعت باد و

فشار بخار هوا نیز از طریق تاثیر بر بیلان آب خاک، عملکرد را تحت الشعاع قرار می‌دهند. براین اساس در شرایط مزرعه‌ای کاهش عملکرد از این طریق باعث افزایش اختلاف عملکرد و تولید می‌شود، تنها می‌توان با انتخاب تاریخ کشت مناسب به حداقل رساند. همچنین مطالعات گذشته در خصوص عناصر غذایی شالیزارهای منطقه، بر احتمال پاسخ نسبی در تولید مطلوب در صورت استفاده صحیح و اصولی از کود و لزوم آزمون خاک (ناشی از کشت مستمر) تاکید دارد (آقایی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶؛ دواتگر و همکاران، ۱۳۹۴). گرجی‌زاد و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی عوامل موثر در ایجاد شکاف عملکرد ارقام اصلاح شده در نکاء دریافتند که بین عملکرد واقعی و عملکرد قابل حصول، ۲۰۴۷ کیلوگرم در هکتار فاصله وجود دارد و نشان دادند که اثر کود سرک و پتاسیم به ترتیب با ۳۲۷ و ۶۷۴ کیلوگرم در هکتار، مهمترین عوامل در شکاف عملکرد بودند. آن‌ها همچنین به کنترل علفهای هرز به عنوان میزبان آفات و عوامل بیماری‌زا برای جلوگیری از خسارت‌های کمی و کیفی محصول تاکید کردند. بنابراین مطالعات Mueller و همکاران (۲۰۱۲) براین نکته صحه می‌گذارد که اگر فنون جدید و فعالیت های مدیریتی توسط کشاورزان انجام گیرد عملکرد برنج به طور قابل توجهی افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی شیوه‌های مدیریت کشاورزی و دستیابی به عملکرد بیشتر در واحد سطح، از اقداماتی است که در قالب مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به آن پرداخت و دورنمای مطلوبی را در اختیار پژوهشگران علوم کشاورزی قرار داد. مقدار عملکرد دانه شبیه‌سازی شده با مدل WOFOST در هر دو سال زراعی بالاتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. نتایج شبیه‌سازی سال دوم برای دو دسته ارقام محلی و پرمحصول برنج به ترتیب با RMSE، ۴۴۶ و ۳۲۸ کیلوگرم در هکتار و مقدار NRMSE برای هر دو دسته در محدوده مطلوب قرار داشت و از ۲۰ درصد تجاوز نکرد. همچنین آزمون مقایسه میانگین t-test شبیه‌سازی قابل قبول عملکرد دانه برنج را تایید می‌کنند. تعجیل و تاخیر در کاشت نسبت به تاریخ کاشت مطلوب در منطقه، موجب کاهش عملکرد برنج می‌شود که به این مطلب در تحقیقات دلسوز خاکی و همکاران (۱۳۹۷) و حلالخور و همکاران (۱۳۹۷) نیز اشاره شده‌است. نقشه‌های شکاف عملکرد به عنوان مکمل روش‌های میدانی در شناسایی مناطق کم بازده و محدودیت‌های ناشی از شرایط محیطی و مدیریتی مزارع جهت رفع کاستی های موجود موثر است.

فهرست منابع

۱. آقایی‌پور، ن.، پیردشتی، ه.، زواره، م.، اسدی، ح.، بهمنیار، م.ع. (۱۳۹۶). تجزیه و تحلیل خلاء عملکرد برنج در ارتباط با ویژگی‌های خاک در دشت فومنات. نشریه تولید گیاهان زراعی ۱۰. ۱۷۲-۱۵۹.

۲. احمدی، م.، هوشمند، ع.ر.، برومندنسب، س.، شریفی، م.ع. (۱۳۹۸). واسنجی و اعتبارسنجی مدل WOFOST برای گندم در دشت قزوین. تحقیقات آب و خاک ایران ۵۰(۲). ۳۳۸-۳۲۹.

۳. احمدی، م.، فرهادی بانسوله، ب.، قبادی، م. (۱۳۹۲). تغییرات مکانی و زمانی عملکرد جو تحت مدیریت‌های کم‌آبیاری (مطالعه موردی: منطقه ماهیدشت استان کرمانشاه). نشریه آب و خاک ۲۳ (۴). ۳۲-۱۹.

۴. امیری، ا.، رضایی، م.، معتمد، م. ک.، امامی، س. (۱۳۹۰). ارزیابی مدل رشد گیاهی WOFOST در شرایط مدیریت آبیاری. پژوهش و سازندگی، نشریه زراعت ۹۰. ۱۷-۹.

۵. امیری، ا.، رضایی، م.، شیرشاهی، ف. (۱۳۹۸). عملکرد مدل Aquacrop در شرایط مدیریت تنش شوری و خشکی برنج. مدیریت آب در کشاورزی ۶(۱). ۲۲-۱۳.

۶. ایزدفرد، ا.، سرمدیان، ف.، جهانسوز، م.ر.، پیکانی، غ.ر.، چایی چی، م.ر. (۱۳۹۶). مقایسه مدل AquaCrop و مدل پتانسیل حرارتی- تابشی تولید در برآورد عملکرد پتانسیل در بخشی از اراضی دشت مغان در استان اردبیل. تحقیقات آب و خاک ایران ۴۸ (۴). ۸۶۴-۸۵۳.

۷. بافکار، ع.، فرهادی بانسوله، ب.، برومند نسب، س. (۱۳۹۵). بهینه‌سازی مصرف آب بخش کشاورزی با استفاده از نتایج یک مدل شبیه‌سازی رشد گیاه (WOFOST) (مطالعه موردی: ماهیدشت- کورزان استان کرمانشاه). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۳(۶). ۳۱۵-۳۰۱.

۸. حلالخور، س.، دستان، س.، سلطانی، ا.، عجم نوروزی، ح. (۱۳۹۷). مستندسازی فرایند تولید و برآورد خلاء عملکرد مرتبط با مدیریت زراعی ارقام بومی برنج (مطالعه موردی: استان مازندران- منطقه بابل). به‌زراعی کشاورزی ۲۰(۲). ۴۱۴-۳۹۷.

۹. دلسوز خاکی، ب.، هنرجو، ن.، دوات‌گر، ن.، جلالیان، ا.، ترابی گل سفیدی، ح. (۱۳۹۷). ارزیابی تناسب اراضی و کیفیت حاصلخیزی ذاتی خاک برای کشت برنج در اراضی شالیزاری شهرستان‌های شفت و فومن. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک) ۳۲(۱). ۱۲۸-۱۱۵.

۱۰. دوات‌گر، ن.، زارع، ا.، شکوری کتیگری، م.، رضائی، ل.، کاووسی، م.، شیخ الاسلام، ه.، شاه نظری، م.، کهنه، ا.، شیرین فکر، ا.، بنیادی، ا.، ادیبی، ش.، مشیرطالش، ا.، خداشناس، ع.، شکری واحد، ح.، دریغ گفتار، ف.، رحیمی مقدم، س.ا.، آجیلی لاهیجی، ع.(۱۳۹۴). بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های شالیزاری استان گیلان. نشریه مدیریت اراضی ۳(۱). ۱۳-۱.

۱۱. دیهیم فرد، ر.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع. (۱۳۹۴). شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل چغندرقند (Beta vulgaris L.) و خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب و نیتروژن در استان خراسان رضوی با مدل SUCROS. نشریه بوم شناسی کشاورزی ۷(۲). ۳۱۵-۳۳۰.

۱۲. رضوان‌طلب، ن.، دستان، س.، سلطانی، ا. (۱۳۹۸). شناسایی عوامل محدودکننده تولید و پایش خلاء عملکرد دانه ارقام بومی برنج (Oryza sativa L.) در استان مازندران. مجله علوم زراعی ایران ۲۱(۲). ۱۷۲-۱۵۵.

۱۳. سعادتی، ز.، پیرمرادیان، ن.، امیری، ا.، رضایی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل WOFOST در شبیه سازی عملکرد دو رقم برنج تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. مجله پژوهش آب در کشاورزی ۲۶ (۳). ۳۳۷-۳۲۳.

۱۴. طایی، ج.، قنبری، ا.، امیری، ا.، غفاری، ع.، سیاهسر، ب.، ایوبی، ش. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی آگرواکولوژیک گندم در حوضه آبریز بروجن: ارزیابی سیستم‌های زراعی دیم و آبی. نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار ۲۲ (۴). ۱۲-۱.

۱۵. گرجی‌زاد، ا.، سلطانی، ا.، دستان، س.، عجم نوروزی، ح. (۱۳۹۸). مستندسازی فرآیند تولید و تحلیل عوامل محدودکننده عملکرد ارقام اصلاح شده برنج (Oryza sativa L.) به روش CPA در منطقه نکا. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۱(۱). ۲۹۴-۲۷۷.

16. Amiri, E. (2016). Calibration and testing of the Aquacrop model for rice under water and nitrogen management. *Communication in soil science and plant analysis*, 47(3), 387-403.

17. Amiri, E., Rezaei, M., Eyshi Rezaei, E., Bannayan, M. (2014). Evaluation of CERES-RICE, AQUACROP and ORYZA2000 models insimulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. *Journal of Plant Nutrition*, 37, 1749-1769.

18. Amiri, E., Rezaei, M., Bannayan, M., Soufizadeh, S. (2013). Calibration and evaluation of CERES rice model under different nitrogen- and water-management option in semi-mediterranean climate condition. *Communication in soil science and plant analysis*, 44, 1814-1830.

19. Boogard, H.L., Van Diepen, C.A., Roller, R.P., Cabrera, J.M. and Van Laar, H.H. (1998). User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Technical document 52, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Netherlands.

20. Esmaeilzad, M., Amiri, E., Ashori, M. (2014). Evaluating ORYZA2000 model in shinfting irrigation conditions of Bahar variety rice. *Journal of Applied Science and Agriculture*, 9 (7), 2779-2784.

21. Espe, M.B., Cassman, K.G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., McKenzie, K., Mutters, R., Wilson, L.T., Linquist, B.A. (2016). Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement Matthew. *Field Crops Research*, 196, 276-283.

22. Johnston, K,. Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., Lucas N. (2001). Using arcGIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA.

23. Mueller, N.D., Gerber, J.S., Johnston, M., Ray, D.K., Ramankutty, N., Foley, J.A. (2012). Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature*, 490, 254-257.

24. Todorovice, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Saab, M.T. (2009). Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the simulation of sunflower growth under different water regimws. *Agronomy J*., 101 (3), 509-521.
25. Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., Hochman, Z.V. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field Crops Research*, 143, 4-17.
26. Van Ittersum, M.K., P.A., Leffelaar, H., van Keulen, M.J., Kropff, L., Bastiaans, Goudriaan, J. (2003). On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*, 18, 201-234.
27. Van Ittersum, M.K., Rabbinge, R. (1997). Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, 52, 197–208.
28. Yousefian, M., Soltani, A., Dastan, S., Ajam Norouzi, H. (2019). Documenting production process and the ranking factors causing yield gap in rice fields in Sari, Iran. *Iran Agricultural Research*, 38(1), 101-109.

Determining the potential and performance gap of rice production in Shaft city using WOFOST model

Hadis Yaghouti[1], Ebrahim Amri[2]
1-PhD. Graduate Soil Science, Young Researchers and Elites club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2-Prof., Water Engineering Dept, Lahijan Branch, Islamic Azad University Lahijan, Iran.

Abstract
Evaluating agricultural management practices and achieving greater performance per unit area is one of the measures that can be taken in the form of simulation models and provide a favorable perspective for agricultural researchers. The purpose of this study is to determine the potential and yield gap of rice in northern Iran using the WOFOST model, which was calibrated and validated in the two crop years of 2012 and 2013. In the first year, the R^2 value between the simulated and measured values for local and high-yield cultivars was determined to be 0.73 and 0.67, respectively. The results of the second year simulation evaluated the amount of RMSE for the two categories of local and high-yield rice cultivars, 446 and 328 kg / ha, respectively, and the amount of NRMSE in the desired range, which did not exceed 20%. Also, the mean t-test confirms the acceptable simulation of rice grain yield. The highest performance gap of 44% is mainly seen in the southern parts of the region. Hastening and delaying planting compared to the desired planting date in the region reduces rice yield. Yield gap maps as a complement to field methods are effective in identifying low-yield areas and limitations due to environmental and managerial conditions of farms to address existing shortcomings.
Keywords: Gap, IDW, Rice, WOFOST model, Yield**.**

شبیه سازی حرکت آب در خاک غیراشباع تحت تاثیر آبیاری بارانی

کورش کمالی[1]، صمد شادفر[2]، محمود عرب خدری[2] و بهنوش جعفری گرزین[3]

۱- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران (kamali_kourosh@yahoo.com)

۲- دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- عضو هیات علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران

چکیده

با وجود توسعه سامانه‌های نوین آبیاری در ایران، پژوهش‌های انجام شده در زمینه تاثیر این روش‌ها بر رطوبت خاک اندک است. در این مقاله برای شبیه‌سازی حرکت آب از مدلLEACHW استفاده شده است. بدین منظور ضمن حفر سه پروفیل خاک در اراضی زراعی دشت ناز ساری، شرایط اولیه رطوبت و پایش تغییرات آن‌ها در طول فصل زراعی یا طول دوره شبیه‌سازی مورد توجه قرارگرفت. برای بررسی دقیق‌تر در فواصل بین بارندگی و آبیاری نیز از خاک نمونه‌برداری شد. در نهایت، مدل LEACHW اجرا و مقادیر رطوبت برآوردی مدل با مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج با آزمون مقایسه میانگین‌ها بررسی شد. با توجه به معنی‌دار بودن اختلاف مقادیر برآورد شده مدل با مقادیر مشاهداتی، آنالیز حساسیت مدل انجام و مدل مجدداً بر اساس پارامترهای کالیبره شده اجرا گردید. در خروجی مدل LEACHW میزان آب از دست رفته و مانده در پروفیل خاک توسط مدل در طول فصل زراعی برآورد شد. آگاهی از میزان نفوذ تجمعی و آب وارده شده به داخل خاک، میزان آب خارج شده از منطقه، میزان نفوذ عمقی، میزان تجمعی تلفات تبخیر و تعرق و میزان آب ذخیره شده در خاک از جمله نتایج اجرای این مدل بوده است. همچنین میزان نفوذ عمقی در شرایط آبیاری بارانی صفر بود.

واژگان کلیدی: مازندران، سامانه‌های آبیاری، رطوبت، مدل LEACHW

مقدمه

سامانه‌های نوین آبیاری در سطح کشور در حال توسعه بوده و این امر می‌بایست با آگاهی کامل نسبت به این روش‌ها انجام گیرد. با وجود توسعه روش‌های آبیاری بارانی پژوهش‌های انجام شده در زمینه تاثیر این روش‌ها بر روی رطوبت خاک اندک است. روش‌های مختلف آبیاری اثرات متفاوتی بر رطوبت در اراضی کشاورزی دارند. در بررسی حرکت آب در پروفیل خاک، روابط آب و خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اکثر فرایندهایی که در رابطه با آب در خاک اتفاق می‌افتد مانند جذب آب و مواد غذایی به وسیله گیاهان و انتقال آب و املاح به طرف ریشه‌ها، به صورت غیر اشباع انجام می‌گیرد و می‌توان گفت که حرکت غیراشباع متداول‌ترین حرکت آب در خاک است (Hillel and Gee, 1988).

مدل LEACHW برای شبیه‌سازی حرکت آب در سیستم‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و سطحی در اقلیم‌های مختلف کشور قابل استفاده می‌باشند. مدل‌های مختلفی برای نشان دادن رابطه بین رطوبت و پتانسیل ماتریک ایجاد شده که از آن جمله می‌توان به مدل‌های Brooks, and Corey (1964)، Campbell (1974) و Hutson and Cass (1987) نیز اشاره کرد. از جمله مدل‌های شبیه سازی، مدل LEACHM است که حرکت آب در محیط غیر اشباع را به صورت یک بعدی شبیه‌سازی می‌کند. مدل LEACHM توسط هاتسون و وگنت در سال ۱۹۹۲ در دانشگاه کرنل به‌منظور تخمین آبشویی و شیمی خاک ارائه شد. این مدل از نوع مدل‌های پژوهشی و یکی از مدل‌هایی است که حرکت آب در خاک غیراشباع را

شبیه‌سازی می‌کند. مدل LEACHM شامل پنج زیر مدل بوده که هر کدام از آنها موضوع و رویکرد خاص خود را دنبال می کند. زیر برنامه LECHW به بررسی حرکت آب تحت تاثیر شرایط تبخیر می‌پردازد.

Clement *et al.*(1994) مدل‌های SWASIM, SWATRE, LEACHW را برای بررسی حرکت آب در خاک ارزیابی نمودند. هر سه مدل جریان آب را به صورت یک بعدی و با استفاده از حل عددی معادله ریچاردز شبیه‌سازی می‌کنند و تنها تفاوت آنها در روابطی است که میزان تبخیر و تعرق گیاه را برآورد می‌کنند. نتایج حاصله نشان داد که هر سه مدل دارای دقت مناسبی می باشند. جلینی و همکاران (۱۳۸۴) با استفاده از مدل LEACHW میزان رطوبت را در پروفیل خاک شبیه‌سازی کردند. مقدار خطای مطلق در این پژوهش ۸۷/۱ تا ۵۸/۵ درصد محاسبه شد که نشان دهنده تطابق مقادیر رطوبت شبیه-سازی و اندازه‌گیری شده است. این نتایج در شرایطی حاصل شده که داده‌های ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل، با دقت کافی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نشاط و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از مدل LEACHW، تبخیر غیرماندگار را از سطح خاک بدون پوشش برآورد و نتایج آن را با مدل بیلان آب مقایسه کردند. اختلاف نتایج بدست آمده از مدل بیلان آب با مدل LEACHW کمتر از پنج درصد بود. به منظور بررسی تاثیر پخش سیلاب گربایگان بر تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی از مدل LEACHW برای شبیه‌سازی رطوبت در لایه‌های مختلف خاک استفاده شده است (صمدی مرزونی، ۱۳۹۰). با مقایسه مقادیر رطوبت پروفیل خاک برآورد شده توسط مدل با مقادیر مشاهده‌ای در منطقه، مشخص شد که میزان جذر متوسط مجذور خطا (RMSE) در مدل LEACHW ۰۶/۰ رطوبت حجمی بوده که نشان دهنده دقت مناسبی در برآورد رطوبت خاک است.

مواد و روش‌ها

منطقه اجرای پروژه، مزارع واقع در شرکت زراعی دشت ناز ساری می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۲). برای اجرای مدل LEACHM پروفیل‌های خاک تا لایه محدودکننده و حداکثر به عمق ۵/۱متر حفر و آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی لازم بر روی نمونه‌های خاک و آب انجام شد. داده‌ها و آمارهای مورد نیاز اجرای مدل حرکت آب در خاک همچون تقویم فنولوژیکی گیاه و داده‌های هواشناسی جمع‌آوری شد. برای تعیین ضرایب A و B معادله کمپل که از پارامترهای مهم و تاثیرگذار مدل LEACHW می‌باشد، از نرم‌افزار RETFIT استفاده شد. به منظور اجرای مدل LEACHW در طول فصل زراعی و یا دوره شبیه سازی اطلاعات در یک فایل ورودی ذخیره می‌گردد. سپس با اجرای فایل اجرایی مدل، مراحل اجرای مدل به طور خودکار انجام شده و به اتمام می‌رسد. بعد از اجرای مدل نتایج از جمله رطوبت پروفیل خاک در فایل خروجی ذخیره گردید. پارامترهای خروجی مدل نیز شامل رطوبت پروفیل خاک، میزان نفوذ تجمعی، میزان رواناب، میزان آب رسیده به آب‌های زیرزمینی، میزان تبخیر از سطح خاک، میزان آب ذخیره شده در خاک و میزان خطا در بیلان آب است.

شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای از موقعیت پروفیل‌های حفر شده در مزرعه ذرت شرکت دشت ناز ساری

شکل ۲- نمایی از مزرعه ذرت با سامانه آبیاری بارانی و پروفیل حفر شده در آن

نتایج

با اخذ نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و آب و همچنین نتایج پایش رطوبت در لایه‌های مختلف خاک، آنالیز حساسیت مدل نیز انجام شد. مقادیر رطوبت خاک نسبت به پارامتر جرم مخصوص ظاهری بسیار حساس می‌باشد. آنالیز حساسیت نشان داد که مدل نسبت به ضریب a در معادله کمپل تأثیر کمی روی نتایج دارد ولی نسبت به ضریب b حساس است. به همین منظور منحنی رطوبتی خاک با دقت بالایی تهیه شد. با توجه به نتایج آزمون t نیز مدل نیازمند کالیبراسیون بود. جدول ۱ نتایج بیلان آب در خاک و خروجی مدل LEACHW را در مزرعه ذرت با آبیاری بارانی در طول فصل زراعی و در زمان‌های مختلف دوره شبیه سازی به میزان ۹۲ روز نشان می‌دهد. مطابق این جدول مقادیر نفوذ تجمعی در پایان فصل زراعی (روز ۹۲ ام) ۳/۳۱۸ میلی‌متر می‌باشد. مقدار رطوبت اولیه (رطوبت قبل از آبیاری) ۶/۳۶۹ میلی‌متر بوده که در پایان دوره شبیه‌سازی رطوبت ذخیره شده در پروفیل خاک به ۳۷۳ میلی‌متر رسیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل LEACHW در طول فصل رشد از زمان صفر تا روز ۹۲ اغلب مقدار رطوبت موجود در نیمرخ خاک را بیشتر از واقعیت برآورد می‌کند. به طوری‌که بیشترین مقدار آن ۷۶ روز بعد از شروع شبیه‌سازی به میزان ۳۹۶ میلی‌متر می‌باشد.

جدول ۱- نتایج بیلان آب در خاک مدل LEACHW در مزرعه ذرت برای فصل زراعی

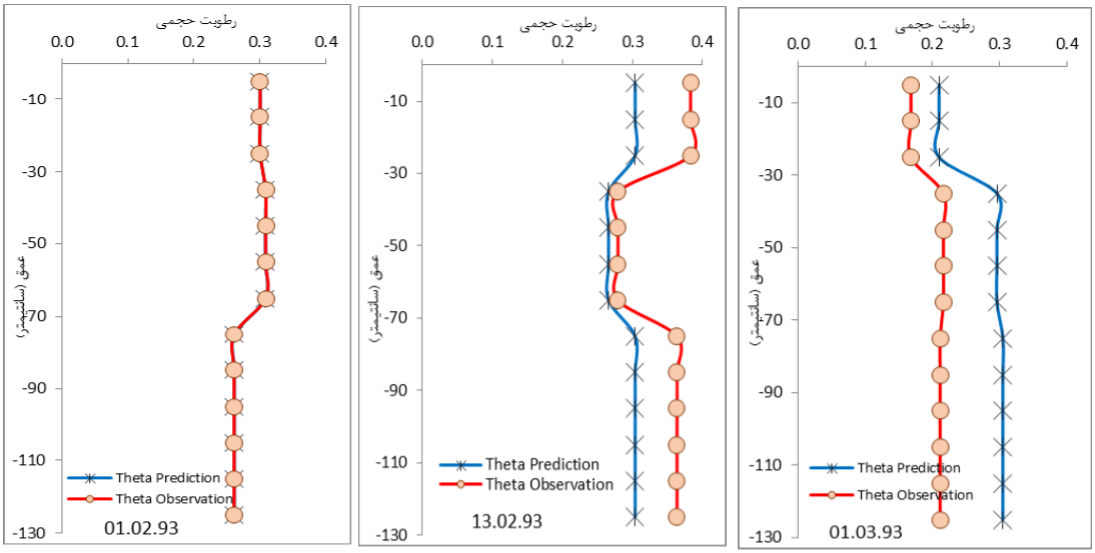
زمان از شروع شبیه سازی	مقدار آب در نیمرخ خاک در اول فصل زراعی	مقدار پیش بینی شده توسط مدل (میلی‌متر)						مقدار رطوبت موجود در خاک (میلی‌متر)		تفاوت میزان رطوبت پیش بینی شده و مشاهداتی (میلی‌متر)
		میزان تعرق	میزان تبخیر	میزان نفوذ عمقی	میزان رواناب	میزان نفوذ تجمعی		پیش بینی شده	اندازه گیری شده	
0	369.6	0	0	0	0	0		369.6	369.6	0
13	369.6	0	39.7	0	0	50.3		380.5	448.8	68.3
32	369.6	0	98.3	0	0	144.3		355.0	255.3	-99.7
39	369.6	5	120	0	0	155.3		369.3	429.4	60.1
73	369.6	121	151.4	0	0	278.1		356.3	306.1	-50.3
76	369.6	129.8	154.6	0	0	308.1		396.3	458.1	61.9
84	369.6	129.8	175.1	0	0	318.2		393.1	449.7	56.6
92	369.6	129.8	180.2	0	0	318.3		373.0	-	-

مقادیر رطوبت خاک تا عمق ۱۳۰ سانتی‌متری در فواصل بین آبیاری طی ۷ مرحله بصورت وزنی اندازه‌گیری شده است. تغییرات رطوبت اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل LEACHW در اعماق مختلف و در فاصله بین آبیاری‌ها در شکل‌های ۳ تا ۸ نشان داده شده است. در شکل‌های ۴ و ۸ به دلیل اینکه رطوبت ۱۲ ساعت بعد آبیاری ثبت شده است مقادیر رطوبت در لایه سطحی در پروفیل خاک بیشتر از لایه‌های تحتانی است همچنین تراکم ریشه در لایه سطحی متوسط بوده و رطوبت موجود در این لایه، توسط گیاه جذب می‌شود. در شکل های ۳ و ۷ نیز به دلیل اینکه رطوبت به ترتیب ۳۶ و ۲۴ ساعت بعد از آبیاری ثبت شده است مقادیر رطوبت در لایه تحتانی بیش از لایه سطحی است. افزایش یا کاهش رطوبت در لایه‌های سطحی و تحتانی را می‌توان ناشی از بالا بودن سطح سفره آب زیرزمینی، بافت خاک و زمان نمونه برداری نسبت داد. در دشت ناز ساری سطح سفره آب زیرزمینی در عمق ۲ متری قرار دارد. یکی از عوامل افزایش یا کاهش رطوبت در پروفیل خاک به دلیل نوسانات سطح سفره در زمان بارش و آبیاری‌ها می‌باشد. رطوبت خاک در این مزرعه تا عمق ۱۳۰ سانتی‌متری بررسی شده است.

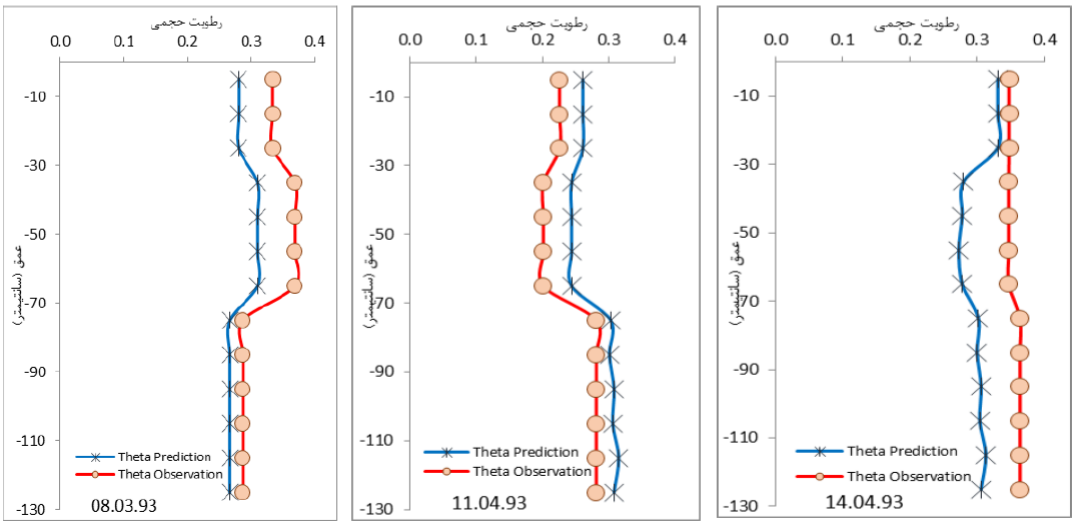
با توجه به شکل‌های زیر روند کلی تغییرات رطوبت در پروفیل خاک طی دوره رشد، کاهشی است. این روند با توجه بافت خاک و بالا بودن سطح سفره قابل توجیه است. به طور کلی، نوع بافت در لایه‌های سطحی و تحتانی به ترتیب Silty Clay و Silty clay loam می‌باشد که جزء خاک‌های سنگین و ریز بافت به حساب می‌آیند که دارای ۴۰٪ درصد رس، ۴۹٪ لای

و ۱۰٪ شن دارند. این خاک‌ها قدرت نگهداری آب بالایی داشته و بسیار دیر رطوبت خود را از دست می‌دهند. بطوری که درصد کمی از آب خود را در اختیار گیاه قرار می‌دهند. این خاک‌ها در هنگام خشک‌شدن به شدت سله بسته و درز و ترک‌های عمیقی در آنها به وجود می‌آید که باعث قطع ریشه گیاهان و تبخیر شدید آب می‌شود.

به طور کلی شاخص‌های آماری به دست آمده از طریق مدل LEACHW در جدول ۲ دارای مقادیر عددی مناسب‌تری هستند. مقادیر RMSE از ۰۴/۰ در ۲۰ سانتی‌متری تا ۰۵/۰ در ۱۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک تغییر می‌کند؛ این مقادیر نشان‌دهنده این است که اختلاف بین رطوبت مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط مدل حداقل است. توجه به مقادیر محاسبه شده این شاخص نشان می‌دهد که مدل LEACHW پیش‌بینی‌های بهتری را انجام داده و مقادیر RMSE در حد قابل قبولی است. میزان خطای مطلق در برآورد رطوبت خاک در مدل از ۰۴/۰ در لایه سطحی تا ۰۵/۰ در لایه تحتانی متغیر می‌باشد که نشان دهنده برتری مدل LEACHW در برآورد رطوبت خاک می‌باشد. مقدار ضریب تغییرات نیز در مدل LEACHW بین ۱۵/۰ تا ۱۷/۰ در نوسان بوده است. مقدار کارایی مدل، که نشان دهنده کیفیت و چگونگی برازش داده‌های مشاهده‌ای و تخمین زده شده می‌باشد، در مدل LEACHW بین ۶۷/۱۱- تا ۳۰/۳۰- تغییر می‌کند.



شکل۳- تغییرات رطوبت خاک بعداز آبیاری شکل ۴- تغییرات رطوبت خاک بعد از آبیاری شکل ۵- تغییرات رطوبت خاک قبل ازآبیاری



شکل ۶- تغییرات رطوبت خاک بعد از آبیاری شکل ۷- تغییرات رطوبت خاک بعد از آبیاری شکل ۸- تغییرات رطوبت خاک بعد از آبیاری

جدول ۲- ارزیابی آماری مدل LEACHW برای اعماق مختلف خاک در مزرعه ذرت

عمق (سانتی‌متر)	ریشه متوسط مربع خطاها	میانگین خطای مطلق	ضریب تغییرات	ضریب کارایی
0-20	0.04	0.04	0.15	-11.67
20-60	0.05	0.05	0.18	-11.67
60-130	0.05	0.05	0.17	-30.30

نتیجه گیری

در مزرعه ذرت با آبیاری بارانی مقدار نفوذ عمقی صفر بود؛ در این منطقه که دارای بافت سنگین است، میزان رطوبت در پروفیل‌ها از روز کاشت تا اواخر تابستان در لایه سطحی روند صعودی داشته است. در اراضی مطالعاتی که دارای بافت سنگین‌تری نسبت به مناطق دیگر می‌باشند، در فصل زمستان که میزان تبخیر از تشتک تبخیر صفر بوده، تغییرات نفوذ عمقی بسیار کم و با شروع فصل بهار نفوذ عمقی افزایش یافته است. میزان تعرق در خاک رسی کمترین و در خاک لومی بیشترین میزان را دارد. تبخیر از سطح خاک با میزان ۱۸۰/۲ میلی‌متر کمترین مقدار را دارد. میزان تعرق در پایان فصل زراعی ۱۲۹/۸ میلی‌متر می‌باشد. ضخامت لایه‌های بافت پروفیل در میزان نفوذ عمقی آب در خاک مؤثر است. هر چه ضخامت لایه رسی بیشتر باشد میزان نفوذ عمقی و تبخیر و تعرق کمتر است.

در مزارع منتخب، آبیاری تحت فشار موجب کاهش خروج آب از ناحیهٔ ریشه (نفوذ عمقی) شده است. چیدمان لایه‌های پروفیل خاک و حرکت آب در میان بافت‌های متفاوت بر نفوذ عمقی آب در خاک مؤثر است. نفوذ عمقی در حالتی که آب از بافت سنگین به بافت سبک عبور کند بیشتر از زمانی است که آب از بافت سبک وارد بافت سنگین شود. بی‌شک ماموریت اصلی توسعه سامانه‌های نوین آبیاری در راستای تامین امنیت غذایی کشور، بهینه سازی مصرف آب در بخش کشاورزی به عنوان مصرف کننده اصلی منابع آب کشور است.

نتایج خروجی آزمون t نشان‌دهنده تطابق مناسب نتایج خروجی مدل LEACHW با داده‌های مشاهداتی می‌باشد. از طرفی با توجه به دقت برآورد شده از نتایج مدل‌سازی قبل و بعد از کالیبراسیون اتوماتیک مشاهده می‌شود که مقدار RMSE مربوط به هر دو حالت تفاوت چندانی ندارند. تفاوت مذکور در حدود ۰۲/۰ بوده که با توجه به گستردگی دامنه بسیار ناچیز می‌باشد. بنابراین مدل LEACHW میزان رطوبت در پروفیل خاک را به خوبی پیش‌بینی کرده است. دستورالعمل برنامه آبیاری به این صورت است که مدل LEACHM، مقادیر رطوبت را در عمق‌های مختلف و در فواصل زمانی مشخص طی دوره شبیه‌سازی، پیش‌بینی می‌کند. با توجه به شبیه‌سازی حرکت آب در خاک، می‌توان برنامه آبیاری‌های داده شده مختلف را به صورت سناریوهای مختلف مدیریتی و تاثیر آن‌ها بر وضعیت رطوبت مورد ارزیابی قرار داد. با توجه به تاثیر آبیاری و غلظت املاح روی جذب آب به وسیله گیاه، تاثیر آن‌ها بر خاک و رشد گیاه ضروری می‌باشد.

فهرست منابع

۱) جلینی، م.، ف. کاوه، ا. پذیرا، م. پاره‌کار و م.ج. عابدی.۱۳۸۴. برآورد رطوبت در محدوده توسعه ریشه چغندر با استفاده از مدل LAECHM ، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. سال دوازدهم. ویژه‌نامه زراعت و اصلاح نباتات. ۳۸-۲۸.

۲) صمدی مرزونی، ف. ۱۳۹۰. تاثیر پخش سیلاب بر روی آبهای زیرزمینی دشت گربایگان فارس با استفاده از مدل LEACHW، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه.

۳) نشاط، ع. کاوه، ف. و پاره‌کار، م. ۱۳۸۵. برآورد تبخیر ماندگار از سطح خاک بدون پوشش توسط مدل LEACHM و مقایسه نتایج با مدل بیلان آب. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی. (۲)۱۲.

4) Brooks, R. H., and Corey, A. T. 1964. Hydraulic properties of porous media. Colorado State Univ. Hydrology Paper, 3:27.

5) Campbell, G.S. 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil. Sci. 117:311-.314

6) Clement, R.S., R.De Jong, H.N.Hayhoe, w.d.Reynolds, and M.Hares. 1994. Testing and comparison of three unsaturated soil water flow models. Agri. Water manages. 25:135-152.
7) Hillel, D. and Gee, G. 1988. Groundwater recharge in arid regions: Review and critique of estimation methods. Hydrological Processes, 2:255-266.
8) Hutson, J.L., and A. Cass 1987. A retentivity function for use in soil-water simulation modeles. J. Soil. Sci. 38: 105-113.
9) Hutson, J. L. and R. J. Wagenet. 1992. LEACHM (Leaching Estimation and Chemistry Model): A process-based model of water and solute movement, transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone, Vers. 3.0. Department of Soil, Crop and Atmospheric Sciences. Cornell Univ., Ithaca, N.Y.
10) Lane, J.W., and V.A. Ferrira. 1982. Sensitivity analysis. In CREAM, A field scale model for chemical, Runoff and EROSIN from Agricultural Management system. (ed.) W.G. Knisel,.Vol. A. Model Documentation. USDA conservation Res. Report No. 26. 113-158. Washington D.C.

Simulation of water movement in unsaturated soils under the influence of sprinkler irrigation

K. Kamali[1*]- S. Shadfar[2]- M. Arabkhedri[2] and B.Jafari Gorzin[3]

1-Member of scientific board, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran (kamali_kourosh@yahoo.com)
2- Associate professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
3-Member of scientific board, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sari, Iran

Abstract
Despite the development of pressurized irrigation methods, research on the effect of these methods on soil moisture is low in Iran. In this paper, LEACHW model has been used to simulate water movement in plant root development area. For this purpose, while digging the soil profile with three replications in the arable lands of Naz plain of Sari, the initial conditions of moisture and monitoring their changes during the growing season or during the simulation period in the soil profile were considered. Soil was also sampled for more detailed study in the intervals between rainfall and irrigation. Finally, the LEACHW model was implemented and the estimated humidity values of the model were evaluated with the measured humidity values. The results were analyzed by means of comparison of means. Due to the significant difference between the estimated values of the model and the observed values, the sensitivity analysis of the model was performed and the model was performed again based on calibrated parameters. At the output of the LEACHW model, the amount of water lost and remaining in the soil profile was estimated by the model during the growing season. Awareness of the cumulative infiltration and water inflow into the soil, the amount of water leaving the area, the amount of water reaching groundwater, the cumulative rate of evapotranspiration losses and the amount of water stored in the soil are among the results of this model.

Keywords: Mazandaran Province, Irrigation systems, Moisture, LEACHW Model

معرفی نیازهای پژوهشی برای دستیابی به اطلاعات پایه جهت تعیین میزان تبخیر– تعرق زرشک تحت شرایط استاندارد

علی‌اکبر عزیزی‌زهان[1]، هادی زراعتگر[2]، فیض‌الله فیضی[3] و علیرضا مقری‌فریز[2]

۱- محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی (پردیس قاینات)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران. azizizohan@yahoo.com

۲- اعضای‌هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

۳- مدرس پردیس تحقیقات و آموزش کشاورزی قاینات، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قاین، ایران.

چکیده

دستیابی به غذای کافی، سالم و مغذی برای جامعه بشری درگرو استفاده صحیح، پایدار و دانش‌محور از منابع پایه و بستر تولید به‌ویژه خاک، آب، گیاه و انسان است. زرشک بی‌دانه یکی از ۶۶۰ گونه زرشک است که به‌عنوان محصول اقتصادی فقط در ایران کشت می‌شود و استان خراسان جنوبی بیش از ۹۷ درصد سطح و تولید را به خود اختصاص داده است. افزایش کمی و کیفی این محصول به‌ویژه با شرایط محدودیت کمی و کیفی منابع آب درگرو ارتقای بهره‌وری به‌ویژه بهره‌وری آب و توجه به مدیریت آب و خاک در باغات زرشک است. از اساسی و ابتدایی‌ترین نیازها، برای بهبود مدیریت آبیاری باغ، تعیین نیاز آبی گیاه است. تعیین یا برآورد نیاز آبی نیاز به داده‌ها، اطلاعات پایه و ضرایب خاص هر گیاه دارد. در این پژوهش مشخص شد که این اطلاعات برای درخت زرشک وجود ندارد. لذا ضمن بررسی تفصیلی روند تعیین میزان تبخیر–تعرق استاندارد گیاه، اطلاعات‌پایه برای زرشک احصاء و در قالب ۱۲ عنوان پژوهش پیشنهاد شد. از آنجا که در دهه‌های اخیر دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی دولتی و خصوصی در کشور توسعه یافته، امید می‌رود که این عناوین مورد توجه و پژوهش قرار گیرد. انشاالله خروجی این پژوهش‌ها خلأ کمبود داده‌ها و اطلاعات پایه برای تعیین یا برآورد نیاز آبی گیاه زرشک را پر نموده و به بهبود مدیریت آبیاری و بهره‌وری آب، به کشاورزان و تولیدکنندگان کمک خواهد کرد.

واژگان کلیدی: خراسان جنوبی، درجه-روز-رشد، ضریب تشت، ضریب گیاهی، مدیریت آبیاری، نیاز آبی

مقدمه

دستیابی به غذای کافی ، سالم و مغذی به‌عنوان یکی از حقوق اساسی افراد جامعه در سند چشم‌انداز بیست ساله کشور برای افق ۱۴۰۴ مورد تأکید قرار گرفته است. تحقق این مهم در گرو استفاده صحیح و پایدار از منابع پایه و بستر تولید به‌ویژه خاک، آب و گیاه است. تا حدی که می‌توان گفت امنیت غذایی در گرو امنیت خاک و آب است. در این راستا استفاده درست از آب در آبیاری باغات و حصول تولید بیشتر به ازای هر واحد آب مصرف شده (بهره‌وری بیشتر آب)، نقش محوری در مدیریت درست مصرف منابع آب و پشتیبانی تولید عهده‌دار است (عزیزی زهان و همکاران، ۱۳۹۷).

زرشک بی‌دانه با نام علمی *Berberis Vulgaris* یا *Berberis Orientalis* و نام انگلیسی *Common Barberry* از آن خانواده زرشکیان *Berberidaceae* و راسته آلاگان *Ramnales* است. این گیاه درختچه‌ای دو لپه، جدا گلبرگ و خزان‌دار می‌باشد. زرشک بی‌دانه یکی از ۶۶۰ گونه زرشک است که به‌جز ایران در هیچ کشوری به‌عنوان محصول اقتصادی کشت نمی‌شود(کافی و بالندری، ۱۳۸۱ و پویان، ۱۳۸۷). در ایران نیز استان خراسان جنوبی با سطح زیر کشت حدود ۱۶ هزار هکتار (۹۷ درصد کل) و تولید سالانه حدود ۱۹هزار تن زرشک خشک (معادل تقریبی ۸۰-۷۰

هزار تن زرشک تر) از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید، مقام اول را دارد (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۶). در سال های اخیر زرشک از یک محصول منطقه‌ای با مصرف محدود به یک محصول ارزشمند تجاری با مصارف گسترده تبدیل شده است، لذا افزایش کمی و کیفی آن به‌عنوان محصول منحصربه‌فرد کشور در راستای افزایش صادرات و ارزآوری و هم‌چنین بهبود معیشت تولیدکنندگان این محصول اهمیت زیادی دارد (عطاردی، ۱۳۹۸).

یکی از موثرترین اقدامات برای افزایش عملکرد کمی و کیفی و تولید پایدار زرشک، توجه به آبیاری و مدیریت آب و خاک در باغات است. برای مدیریت صحیح و پایدار آبیاری باغ در سطوح گوناگون باید به چند سؤال اساسی زیر پاسخ معقول و مبتنی بر علم و تجربه داده شود:

۱- گیاه و باغ در هر مرحله از رشد به چه مقدار آب نیازمند است (نیاز آبی و نیاز آبیاری گیاه چقدر است)؟

۲- در هر باغ، آب مورد نیاز گیاه در چه فواصل زمانی و به چه مقدار در هر نوبت آبیاری باید مصرف شود (برنامه‌ریزی آبیاری چگونه است)؟

۳- آب آبیاری باید به چه روشی به خاک افزوده شود (روش آبیاری باغ چه باشد)؟

پاسخ به این سؤال‌ها یا اطلاعات پایه مورد نیاز برای پاسخ دادن به این سؤال‌ها، برای اغلب گیاهان در منابع مختلف مرجع مانند نشریات ۳۳ (دورنباس و کسام، ۱۹۷۹)، ۵۶ (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) و ۶۶ (استدیوتو و همکاران، ۲۰۱۲) فائو (FAO)، کتاب برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (فرشی و همکاران، ۱۳۷۶) و سند ملی آب کشور (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۱) به‌طور مفصل یا به‌صورت کلی ارائه شده است. ولی در مورد گیاه زرشک هیچ‌گونه اطلاعاتی در این منابع نیامده است. شهابی‌فر و عزیزی‌زهان(۱۳۹۱) در تدوین برنامه راهبردی تعیین نیازآبی و برنامه‌ریزی آبیاری محصولات کشاورزی پس از بررسی نتایج تحقیقات گذشته، ۷۶ طرح محوری پژوهشی و اجرایی مورد نیاز برای رفع مسائل موجود در موضوع برنامه راهبردی برای کشور را ارائه کردند. آن‌ها مدت، محل، نیروی انسانی و اعتبار مورد نیاز برای اجرای هر یک از عناوین را برآورد نمودند، ولی به‌طور خاص در مورد گیاه زرشک طرح یا محوری را پیشنهاد نکرده‌اند. زین‌الدینی و همکاران (۱۳۹۸) دوره فنولوژی زرشک در مناطق خشک با تابستان گرم و زمستان خنک استان خراسان جنوبی را برای استفاده در ارزیابی تناسب اراضی گزارش کردند. لیکن اطلاعات ارائه شده برای تعیین مراحل چهارگانه رشد در تعیین نیاز آبی کارایی چندانی ندارد.

علاوه بر منابع مرجع فوق با بررسی منابع پژوهشی دیگر نیز گزارش یا مقاله‌ای که تمام یا قسمتی از اطلاعات پایه مورد نیاز برای آبیاری این گیاه را تعیین و ارائه کرده باشد یافت نشد. لذا در این مقاله ضمن تشریح الزامات لازم برای مدیریت آبیاری باغات زرشک عناوین پژوهشی لازم برای تعیین اطلاعات پایه جهت محاسبه تبخیر- تعرق گیاه زرشک تحت شرایط استاندارد احصاء شده و در اختیار جامعه پژوهشی قرار می‌گیرد تا انشاالله به تدریج انجام و نتایج آن برای استفاده در برآورد نیاز آبی، نیاز آبیاری و مدیریت آبیاری باغ گزارش گردد.

مواد و روش‌ها

برای دستیابی به مدیریت صحیح برای آبیاری باغ باید سه اقدام اساسی شامل: تعیین نیاز آبیاری[1] گیاه، تعیین برنامه آبیاری[2] گیاه و انتخاب روش آبیاری[3] گیاه، انجام شود. در این پژوهش که با هدف احصاء نیازهای پژوهشی برای تعیین اطلاعات پایه جهت محاسبه میزان تبخیر – تعرق گیاه زرشک تحت شرایط استاندارد انجام شده است، ابتدا منابع مرجعی که اطلاعات پایه گیاهان مختلف در آن‌ها گزارش شده مانند نشریه‌های ۳۳، ۵۶ و ۶۶ فائو، سند ملی آب کشور، کتاب برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (فرشی و همکاران، ۱۳۸۶) و نشریه‌ها و سایت‌های

1 - Irrigation requiremenes
2- Irrigationscheduling
3 - Irrigation method

ارائه‌کننده مقاله‌های پژوهشی بررسی و با کارشناسان باتجربه محلی رایزنی شد. نتیجه این بود که اطلاعات خاصی در خصوص گیاه زرشک گزارش نشده است. لذا در گام دوم، فرآیند تعیین یا برآورد میزان تبخیر – تعرق گیاه زرشک تحت شرایط استاندارد به‌تفصیل بررسی و تمام داده‌ها و اطلاعات پایه‌ای که برای این گیاه موجود نبود مشخص شد. سپس عناوین و نیازهای پژوهشی که برای تعیین داده‌ها و اطلاعات پایه مشخص شده نیاز بود، احصاء و در جدول (۱) ارائه‌شده است.

نتایج و بحث

۱- تعیین نیاز آبی گیاه

تعیین نیاز آبی و نیاز آبیاری گیاه و نحوه توزیع آن در طول دوره رشد از اساسی‌ترین اطلاعاتی است که به‌منظور استفاده صحیح از آب و سایر برنامه‌ریزی‌های کشاورزی مورد استفاده است. در شرایط بهینه، تعیین نیاز آبی گیاه بر این اصل استوار است که گیاه در دوره رشد خود از نظر آب در تنگنا نباشد و اگر دیگر عوامل و مؤلفه‌های تولید در حد بهینه باشد، بایستی بیشینه عملکرد بالقوه را انتظار داشت (عزیزی زهان و همکاران، ۱۳۹۷). بدون برآورد دقیق نیاز آبی گیاه و انطباق عمل آبیاری بر اساس نیاز ادواری گیاهان به آب (آبیاری به‌موقع و به‌اندازه) اعمال شیوه‌های مدیریتی نوین و اقدام برای صرفه‌جوئی در مصرف آب میسر نمی‌باشد.

آب، جزء اصلی ساختار گیاهان من‌جمله گیاه زرشک است و نقش مهمی در جذب و انتقال مواد غذایی دارد. قسمت عمده آب جذب شده توسط گیاه از طریق روزنه‌های گیاه تبخیر[۴] می‌شود که به آن تعرق[۵] می‌گویند. تبخیر-تعرق[۶] به تلفیق دو فرایند تعرق آب از گیاه و تبخیر از سطوح گیاه و خاک و انتقال آن به اتمسفر گفته می‌شود. تبخیر-تعرق زرشک در شرایط استاندارد (ETC) به تبخیر- تعرق از گیاهی که عاری از بیماری بوده و با تغذیه مناسب در مزرعه بزرگ که وضعیت آب و خاک در آن بهینه بوده و در شرایط آب و هوایی مورد نظر، دارای عملکرد پتانسیل باشد، گفته می‌شود. تبخیر- تعرق گیاه زرشک در شرایط استاندارد[۷] مانند سایر گیاهان با استفاده از معادله (۱) قابل تعیین است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

$$ETc=Kc * ETo \qquad (۱)$$

که در آن ETc تبخیر-تعرق گیاه زرشک در شرایط استاندارد(mm)، ETo تبخیر-تعرق گیاه مرجع(چمن) در همان شرایط آب و هوایی که یک نمایه آب و هوایی و بیانگر تقاضای تبخیری اتمسفر است(mm) و Kc ضریب گیاهی[۸] گیاه مورد نظر (که در اینجا زرشک است) و متأثر از ویژگی‌ها و مرحله رشد گیاه به آب و هوا و تبخیر از سطح خاک است (بدون واحد). نوع عوامل مؤثر بر تبخیر-تعرق و ارتباط آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.

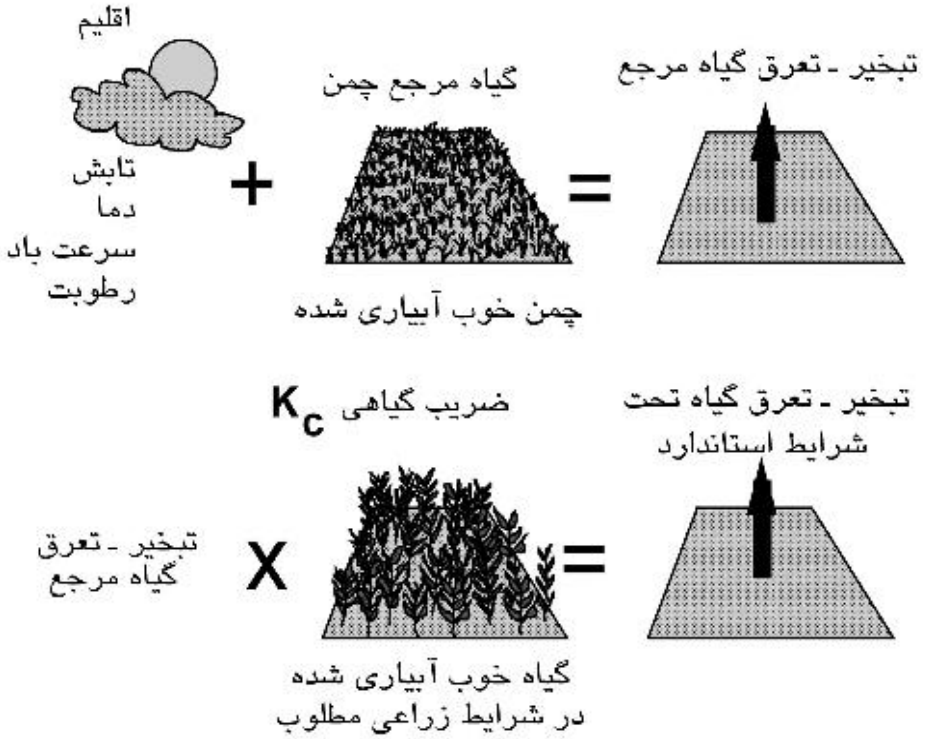
جزء ETo در معادله (۱) به موقعیت جغرافیایی و داده‌های هواشناسی وابسته بوده و بدون توجه به نوع گیاه با روش استاندارد فائو- پنمن - مانتیث از طریق معادله (۲) یا روش تشت تبخیر (معادله ۳) (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، قابل تعیین است.

$$ETo = \frac{0.408\Delta(Rn-G)+\gamma\frac{900}{T+273}U2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+034\ U2)} \qquad (۲)$$

که در آن: Rn تابش خالص در سطح گیاه، G شار گرمای خاک، T دمای هوا و u2 سرعت باد در ارتفاع دو متری، es فشار بخار اشباع، ea فشار بخار واقعی، (es-ea) کمبود فشار بخار اشباع، Δ شیب منحنی فشار بخار و γ ضریب ثابت سایکرومتری است.

$$ETo = Kp * Epan \qquad (۳)$$

4 -Evaporation(E)
5- Transpiration(T)
6- Evapotranspiration(ET)
7- Evopotranspiration under standard coundition(ETC)
8- Crop coefficient(Kc)



شکل۱- شماتیک عوامل مؤثر بر تبخیر- تعرق گیاهان و ارتباط آن‌ها با یکدیگر (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)

که در آن ETo تبخیر-تعرق مرجع (mm/day)، Epan تبخیر از تشت (mm/day) و Kp ضریب تشت (بدون واحد) است. ضریب تشت به ویژگی کشت و شرایط محیطی اطراف آن وابسته بوده و به نوع گیاه مورد نظر برای تعیین ETc ارتباطی ندارد.

ضریب گیاهی (در اینجا زرشک) برابر نسبت تبخیر- تعرق گیاه (زرشک) تحت شرایط استاندارد به تبخیر- تعرق گیاه مرجع بوده و به ویژه‌گی‌های گیاه بستگی دارد.

$$Kc=\frac{ETc}{ETo} \quad (۴)$$

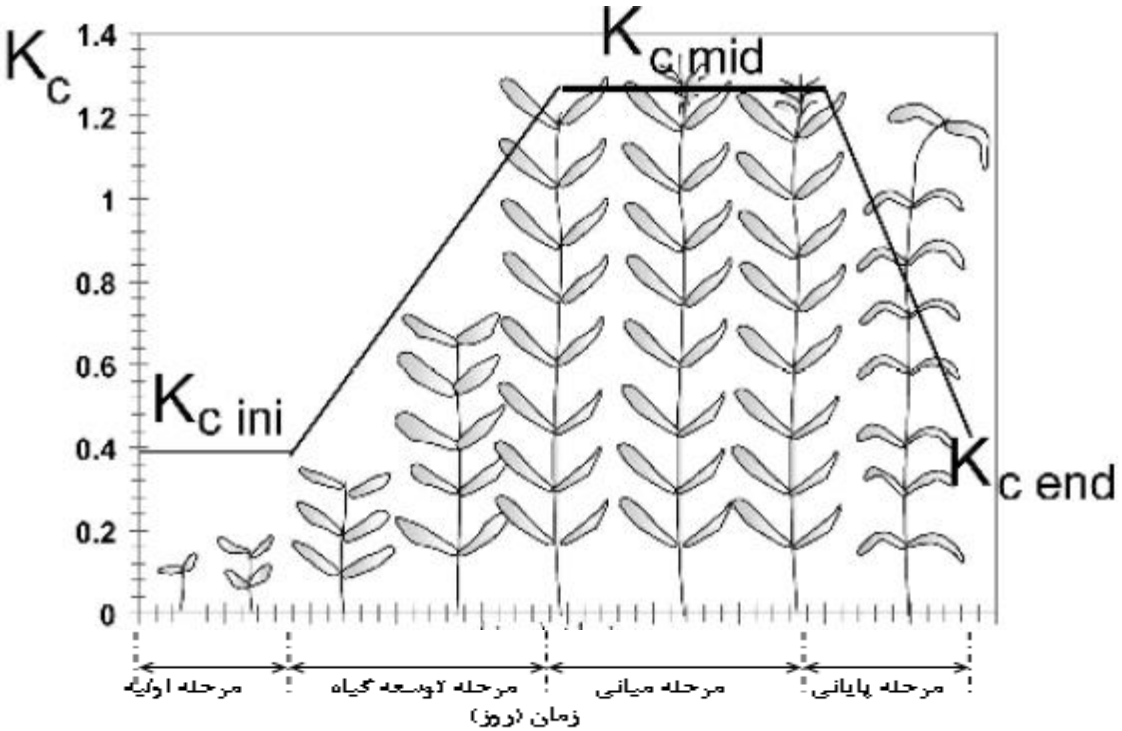
مادامی‌که ضریب گیاهی گیاه مورد نظر(K_c) مشخص نیست می‌توان با ترکیب معادله‌های ۱ و ۳ مقدار ET_c آن را از معادله ۵ نیز برآورد نمود. که در این معادله ضریب K_{cp} ترکیب اثرات ضریب‌های K_p و K_c برای برآورد ET_c گیاه موردنظر از روی E_p را در خود دارد. این ضریب می‌تواند برای هر گیاه (مثلاً زرشک) به‌صورت مستقیم نیز تعیین شود.

$$ET_c=K_c * ET_o =K_c * K_p * E_p=K_{cp}* E_p \quad (۵)$$

اثر چهار تفاوت عمده گیاه زرشک و چمن مرجع شامل ارتفاع گیاه، ضریب بازتابش سطح گیاه-خاک، مقاومت پوشش گیاهی و تبخیر از خاک (به‌ویژه در خاک‌های بدون پوشش گیاهی) در ضریب گیاهی گنجانده می‌شود. بنابراین یکی از داده‌ها و نیازهای مهم پایه مورد نیاز برای مدیریت آبیاری زرشک تعیین ضریب گیاهی آن است. ضریب گیاهی می‌تواند به‌صورت تک جزئی (Kc) و یا دو جزئی (Ke+Kcb) تعیین شود. ضریب گیاهی اثر متفاوت بودن ویژه‌گی‌های یک محصول و سطح چمن با ظاهر ثابت و پوشش گیاهی کامل را در یک ضریب می‌گنجاند. بنابراین انواع محصولات دارای ضرایب گیاهی متفاوت هستند.

متغیر بودن ویژه‌گی‌های گیاه در طول دوره رشد، نیز بر ضریب گیاهی مؤثر است. همچنین شرایط مؤثر بر تبخیر از سطح خاک نیز بر ضریب گیاهی تأثیرگذار است. شکل(۲) فرم کلی تغییرات ضریب گیاهی یک جزئی را برای گیاهان

نشان می‌دهد. چنانکه مشاهده می‌شود ضریب گیاهی دوره رشد گیاه، ثابت نبوده و برای مراحل مختلف از آن، مقادیر متفاوتی دارد. بر این اساس دوره رشد گیاه به چهار مرحله متمایز: اولیه[9]، توسعه گیاه[10]، میانی[11]و پایانی[12] تقسیم شده و ضریب گیاهی زرشک برای هر یک از این مراحل باید تعیین شود. قبل از آن باید طول نسبی دوره و مراحل رشد گیاه زرشک نیز مشخص گردد.



شکل۲- فرم کلی تغییرات ضریب گیاهی یک جزئی و مراحل چهارگانه رشد گیاه در طول دوره رشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)

مرحله اولیه رشد: مرحله اولیه رشد زرشک از تاریخ سبز شدن گیاه زرشک شروع و نزدیک به زمان برقراری پوشش گیاهی ۱۰ درصد پایان می‌یابد. شروع و پایان این مرحله عمدتاً به منطقه، شرایط آب و هوایی و سال بارده یا غیر بارده بودن درخت وابسته است. پس از تعیین تاریخ شروع و پایان این مرحله طول مرحله اولیه رشد گیاه زرشک مشخص خواهد شد. به ضریب گیاهی در این مرحله از رشد ضریب گیاهی مرحله اولیه رشد (K_{Cini}) گفته می‌شود.

مرحله توسعه گیاه: این مرحله که از زمان پوشش گیاهی ۱۰ درصد (پایان مرحله اولیه رشد) شروع و تا زمان پوشش مؤثر کامل ادامه می‌یابد، برای بسیاری از گیاهان مصادف با شروع گلدهی است که برای زرشک در سال آور می‌تواند درست باشد ولی در سال غیرآور این‌گونه نیست. روش دیگر برای برآورد زمان پوشش مؤثر کامل هنگامی است که شاخص سطح برگ (LAI)[13] به ۳ رسیده باشد. احتمالاً از این معیار برای سال غیر بارده زرشک می‌توان استفاده کرد، بهتر است در صورت ارائه یک عدد برای زرشک معدل سال بارده و غیر بارده، در نظر گرفته شود ولی قبول مقدار شاخص LAI برابر ۳ یا عددی دیگر نیاز به بررسی دارد.

9- Initial stage
10- Crop development
11 -Mid-season stage
12- Late season stage
13- Leaf area index (LAI)

مرحله میانی رشد: این مرحله از زمان برقراری پوشش کامل مؤثر شروع شده و تقریباً تا رسیدن محصول زرشک (در سال بارده) ادامه می‌یابد زمان انتهای مرحله میانی رشد زرشک در سال غیربارده احتمالاً دیرتر از سال بارده اتفاق می‌افتد که نیاز به بررسی دارد. مرحله میانی طولانی‌ترین مرحله رشد در زرشک است. ضریب گیاهی در مرحله میانی (K_{cmid}) به بیشترین مقدار خود می‌رسد.

مرحله پایانی رشد: این مرحله از انتهای مرحله میانی که برای زرشک زمان رسیدن و برداشت محصول است (در سال آور) شروع و تا خزان کامل و ریزش برگ‌های گیاه ادامه دارد. طول این مرحله به موقعیت مکانی منطقه، شرایط آب و هوایی و وضعیت محصول دهی درخت، مدیریت باغ و غیره، وابسته است.

علاوه بر نیاز به تعیین طول مرحله رشد و ضریب گیاهی زرشک (تک جزئی و دو جزئی) در هر مرحله برای سال-های آور و غیرآور تعیین اثر شرایط سنی درخت، تراکم باغ، نوع تربیت و اندازه درختان بر ضریب گیاهی، نیز مهم بوده و از نیازهای پژوهشی این محصول می‌باشد. پس از بررسی روند رشد زرشک از منظر تعیین نیاز آبی، ریز عناوین پژوهشی مورد نیاز زرشک در خصوص تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی زرشک احصاء و در جدول (۱) گزارش شده است.

۲- درجه – روز – رشد[۱۴] (GDD)

فنولوژی یا پدیده‌شناسی یکی از مباحث علم اکولوژی است که در آن دوره زندگی گیاه از زمان شروع رویش تا خواب زمستانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. مراحل فنولوژی، تابع درجه حرارت بوده و از یک الگوی منظم و قابل پیش-بینی پیروی می‌کنند. این پیش‌بینی می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی کیفی شرایط رویش استفاده شود. با تعیین مراحل فنولوژی زرشک در هر منطقه و دانستن نیاز حرارتی هر مرحله فنولوژی و کل دوره رشد گیاه، می‌توان بسیاری از مسائل به باغی ازجمله تعیین مراحل رشد چهارگانه، نیاز آبی و آب مورد نیاز در هر مرحله، آبیاری به‌موقع، مبارزه و پیش‌گیری از تنش‌های محیطی، زمان مناسب برداشت و غیره، در هر مکان را انجام داد. از میان عوامل اقلیمی، رژیم حرارتی بیشترین تأثیر را روی مراحل مختلف نمو گیاهان دارد و طبق اصل ثبات حرارتی، هر گیاه زمانی به مرحله خاصی از نمو خود می‌رسد که مقدار مشخصی حرارت از محیط دریافت نماید. بنابراین در هر مرحله متوالی نمو، مقدار معینی گرما لازم است که با توجه به متغیر بودن درجه حرارت و طول روز و عدم تخمین دقیق مراحل فنولوژی گیاه، استفاده از درجه - روز - رشد (GDD) جهت تعیین دقیق مراحل مختلف فنولوژی گیاه امری ضروری‌است. درجه – روز- رشد، واحد مورد استفاده در اندازه‌گیری تجمعی حرارت در طول زمان است که اگر برای گیاهی در یک نقطه روی کره زمین محاسبه گردد قابل تعمیم برای سایر نقاط خواهد بود. با استفاده از آمار ایستگاه هواشناسی در هر منطقه و با در نظر گرفتن دمای پایه مناسب برای هر گیاه مقدار GDD آن از روابط مختلف از جمله رابطه (۶) زیر قابل محاسبه است (شهابی‌فر و عزیزی زهان، ۱۳۹۷).

$$GDD = \sum\left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - Tbase\right] \qquad (۶)$$

که در آن: Tmax= درجه حرارت حداکثر، Tmin= درجه حرارت حداقل و Tbase= دمای پایه هر گیاه، است.

مفهوم درجه - روز بیش از ۲۰۰ سال پیش شناخته شده است. به این معنی که رشد یک گیاه بستگی به میزان کل حرارتی دارد که در طول عمر خود دریافت داشته و بر حسب درجه - روز بیان می‌شود. آستانه حداقل درجه حرارت بسته به نوع گیاه فرق می‌کند. برای مثال در این روش تاریخ برداشت زردآلو ۶ هفته بعد از شکوفه کامل تخمین زده می‌شود. آگاهی از این مهم فرصت کافی به کشاورز می‌دهد تا برنامه خود را تنظیم نماید. برای گیاهان سیب، گلابی، گیلاس، هلو و غیره، نیز آزمایش‌هایی انجام و نتایج آن در منابع مختلف گزارش شده است.

14- Growth - degree - days (GDD)

با محاسبه مقادیر GDD برای هر محصول - منطقه، و با دانستن مقادیر GDD برای هر یک از مراحل رشد و کل دوره رشد هر گیاه، می‌توان تاریخ اتفاق افتادن آن مرحله را مشخص کرد. بعلاوه با توجه به حساسیت یا مقاومت گیاه در بعضی مراحل رشد به کم آبی و یا نیاز به کم آبی در یک یا چند مرحله برای بهبود کیفیت میوه، می‌توان مدیریت آبیاری باغ را به‌خوبی انجام داد (شهابی‌فر و عزیزی زهان، ۱۳۹۷). بنابراین با انطباق شروع و خاتمه مراحل چهارگانه رشد در تعیین نیاز آبی گیاه با مرحله فنولوژیک نظیر، می‌توان از روی GDD زمان شروع و طول زمان مراحل چهارگانه رشد را که از داده‌های پایه لازم برای تعیین نیاز آبی گیاه است، برآورد کرد.

هر گونه گیاهی در محدوده درجه حرارت مطلوب خود رشد می‌کند. دماهای اصلی در مورد رشد گیاهان شامل دمای حداقل، دمای مطلوب و دمای حداکثر است. در محدوده بین این دو حد (محدوده مطلوب درجه حرارت)، رشد گیاهان به‌صورت فعال و مؤثرتری انجام می‌گیرد (کوچکی و همکاران، ۱۳۶۷). توسعه گیاه را می‌توان با استفاده از روزهای تقویم یا درجه روزهای رشد (GDD) مشخص کرد. برای محاسبه درجه - روز - رشد یک دمای پایه[15] (T_{base}) (دمای حداقلی که رشد محصول در آن شروع می‌شود) و یک دمای بالا[16] (T_{upper}) (دمایی که با افزایش آن رشد محصول افزایش نمی‌یابد) نیاز است. دماهای حد پایه و حد بالا برای بسیاری از گیاهان تعیین شده و در منابع مختلف موجود است ولی برای زرشک در این موضوع تنها گزارش علیجانی و همکاران (۱۳۸۵) یافت شد که دمای روزانه بیشتر از ۳۴ درجه سانتی‌گراد را آستانه اقلیمی خسارت زا در مرحله گلدهی و میوه‌دهی زرشک دانسته است.

استفاده از GDD برای برآورد طول مراحل رشد در منابع مختلف گزارش شده است. ازجمله شهابی‌فر و عزیزی زهان (۱۳۹۷) نیاز آبی محصولات عمده باغی در مراحل مختلف رشد فیزیولوژیکی را با روش محاسباتی و دورسنجی برآورد کردند. آن‌ها به‌منظور قابل استفاده بودن نیاز آبی محاسبه شده برای دوره رشد گیاه در مراحل مختلف رشد فیزیولوژیکی گیاه، درجه - روز - رشد (GDD) را برای هر منطقه محصول و به‌صورت تجمعی در دوره‌های دهه‌ای، در کنار ستون نیاز آبی خالص در جداول نیاز آبی ارائه کردند.

بنابراین تعیین دمای پایه بالا و پایین، نیاز حرارتی مراحل مختلف رشد و کل دوره رشد در سال‌های آور و غیرآور از نیازهای مهم پژوهشی برای گیاه زرشک است که هم‌زمان با تعیین طول مراحل چهارگانه رشد و ضرایب گیاهی آن می‌تواند انجام شود. ریز عناوین پژوهشی مورد نیاز زرشک در این خصوص در جدول(۱) آمده است.

نتیجه‌گیری

هدفمند و مسئله‌محور کردن پژوهش‌هایی که در مراکز مختلف پژوهشی کشور اعم از دانشگاهی یا غیردانشگاهی و دولتی یا خصوصی، انجام می‌شود از اولویت‌ها و سیاست‌های مهم پژوهشی در کشور است. در این راستا لازم است تا مسائل یا عناوین پژوهشی در بخش‌های مختلف به آن‌ها عرضه شود. در این پژوهش، نیازهای پژوهشی محصول بومی زرشک در موضوع تعیین تبخیر- تعرق گیاه زرشک، در ۱۲ محور احصاء و معرفی شده است. امید است که دستگاه‌های پژوهشی کشور از توان و ظرفیت خود برای پاسخ به نیازهای پژوهشی معرفی شده استفاده و نتیجه را منتشر نمایند. نتیجه این پژوهش‌ها کمک مؤثری برای بهبود مدیریت مصرف آب و ارتقای بهره‌وری آب و سایر نهاده‌های تولید کرده و ضمن کمک به حفظ منابع آب و خاک به ارتقاء و پایداری درآمد کشاورزان زرشک کار کمک خواهد کرد. انشاء الله.

جدول۱- عناوین پژوهشی پیشنهادی برای تعیین داده‌های پایه لازم در محاسبه نیاز آبی زرشک

ردیف	عنوان پژوهش
۱	تعیین ضریب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد گیاه زرشک در سال‌آور
۲	تعیین ضریب گیاهی در مراحل چهارگانه رشد گیاه زرشک در سال غیرآور

15- Base temperature (T_{base})
16- Upper threshold temperature (T_{upper})

۳	تعیین طول مراحل چهارگانه رشد زرشک به منظور محاسبه ETc در سال آور
۴	تعیین طول مراحل چهارگانه رشد زرشک به منظور محاسبه ETc در سال غیرآور
۵	تعیین روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) در طول دوره رشد زرشک در سال آور
۶	تعیین روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) در طول دوره رشد زرشک در سال غیرآور
۷	تعیین روند تغییرات ارتفاع درخت زرشک با سن درخت و شیوه برداشت
۸	تعیین دمای پایه (base temperature) و دمای بالا (uper temperature) در مراحل مختلف رشد زرشک در سال آور و غیرآور
۹	تعیین نیاز حرارتی زرشک در طول مراحل چهارگانه و کل دوره رشد زرشک در سال‌های آور و غیرآور
۱۰	تعیین ضریب تعدیل Kc در شرایط مختلف سن درخت زرشک
۱۱	تعیین اثر تراکم کاشت بر ضریب گیاهی مراحل چهارگانه رشد باغ زرشک
۱۲	تعیین ضریب تشت گیاه زرشک (Kcp) برای برآورد نیاز آبی آن

فهرست منابع

۱- پویان، م. ۱۳۸۷. زرشک از نگاه اقتصادی و تولید. انتشارات قهستان.

۲- زین‌الدینی، ع. م.، اسکندری، م.، نویدی و س. سید جلالی. ۱۳۹۸. فنولوژی گیاهان باغی به‌منظور استفاده در ارزیابی تناسب اراضی. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. ۲۳۴۰ صفحه.

۳- شهابی فر، م.، و ع. ا. عزیزی زهان. ۱۳۹۱. برنامه راهبردی تعیین نیاز آبی و برنامه¬ریزی آبیاری محصولات کشاورزی. انتشارات سادس (به سفارش موسسه تحقیقات خاک و آب). ۱۶۸ صفحه.

۴- شهابی‌فر، م.، و ع. ا. عزیزی زهان. ۱۳۹۷. تعیین نیازآبی محصولات عمده باغی در مراحل مختلف رشد فیزیولوژیکی. گزارش فنی تحقیقاتی، نشریه شماره ۲۱۳۸ موسسه تحقیقات خاک و آب، ۹۰ صفحه.

۵- عزیزی زهان، ع. ا.، رضوی القیان، ر.، و س. پورمنصور. ۱۳۹۷. راهنمای آبیاری گیاه کلزا. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. ۲۳ صفحه.

۶-عطاردی، ب. ۱۳۹۸. راهنمای تغذیه درختان زرشک . نشریه فنی شماره ۵۸۸. انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب. ۲۷ صفحه.

۷- علیجانی، ب.، و ر. دوستان. ۱۳۸۵. تعیین نواحی مستعد کشت زرشک در استان خراسان جنوبی با استفاده از GIS. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه¬ای. شماره ۸، ص ۳۳-۱۳.

۸- فرشی، ع، ا.، م. ر. شریعتی، ر. جارالله‌ی، م. ر. قائمی، م. شهابی فر و م. م. تولائی. ۱۳۷۶. برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، جلد دوم گیاهان باغی. نشر آموزش کشاورزی (به سفارش مؤسسه تحقیقات خاک و آب). ۶۲۹ صفحه.

۹- کافی، م. و ا. بالندری. ۱۳۸۱. زرشک: فناوری تولید و فرآوری. انتشارات زبان و ادب.

۱۰- کوچکی، ع.، راشد محصل، م. ح.، نصیری، م. و ر.، صدرآبادی. ۱۳۶۷. مبانی فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان زراعی (ترجمه). انتشارات آستان قدس رضوی.

۱۱- وزارت جهاد کشاورزی و سازمان هواشناسی کشور. ۱۳۸۱. نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی و باغی ایران. نرم افزار NetWat.

۱۲- وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۹۷. آمارنامه کشاورزی، جلد سوم: محصولات باغبانی، سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵. مرکز فناوری اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، وزارت جهاد کشاورزی، تهران.

13- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. In: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome, FAO.

14- Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

15- Steduto, p., Hsiao, T., Fereres, E. and Raes, D. 2012. Crop yield response to water. In: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. Rome, FAO.

Introduce research needs to obtain basic information to determine the evapotranspiration of barberry (*Berberis Vulgaris*) under standard conditions

AliakbarAzizi zohan[1], Hadi Zeraatgar[2] , Faizullah Faizi[3] , Alireza Moghri feriz[2]
1-Researcher of the Soil and Water Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran---- mail: azizizohan@yahoo.com
2- Faculty Members, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran
3- Expert, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Birjand, Iran

Abstract: Achieving adequate, healthy and nutritious food for human society depends on the correct, sustainable and knowledge-based use of basic resources and the bed of production, especially soil, water, plants and humans. Achieving adequate, healthy and nutritious food for human society depends on the correct, sustainable and knowledge-based use of basic resources and the bed of production, especially soil, water, plants and humans. Barberry seedless is one of the 660 species of barberry that is cultivated as an economic product only in Iran and South Khorasan province has more than 97% of the cultivation and production area of this product. Increasing the quantity and quality of this unique product of Iran and the province, especially with the conditions of limited quantity and quality of water resources, depends on improving productivity, especially water productivity, paying attention to irrigation and soil and water management in barberry orchards. One of the most basic needs to improve garden irrigation management is to determine the plant's water requiremenes. Determining or estimating water requirements requires data, basics, and coefficients, some of which are specific to each plant. In this study, by examining internal and external sources and interviewing experts with local experience, it was determined that this information and basic needs do not exist for the barberry tree. Therefore, in addition to a detailed study of the process of determining the standard evapotranspiration rate of the plant, basic information was Recognized for barberry and was proposed in the form of 12 research titles. As public and private universities and research centers have developed in the country in recent decades, it is hoped that these topics will be considered and researched. God willing, the output of these studies will fill the gap in the lack of data and basic information to determine or estimate the water needs of the barberry plant and will help improve irrigation management and water productivity for farmers and producers.

Keywords: Crop coefficient, Growth-degree-day, Irrigation management, Pan coefficient, South Khorasan Province, water requirement**.**

بررسی تغییرات پوشش اراضی کانون گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل ۲

آذین نوروزی[۱]، محمد رضا انصاری[۱*]

۱- گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

*m_ansari@asnrukh.ac.ir

چکیده

طوفان‌های گردوغبار از اصلی‌ترین مخاطرات زیست محیطی در سطح جهان به شمار می‌روند. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات پوشش اراضی در کانون گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۶ انجام شد. به این منظور نقشه‌های پوشش اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و بکارگیری شاخص SAVI در چهار کلاس شامل: سطوح آبی، اراضی بدون پوشش، پوشش گیاهی متوسط و پوشش گیاهی خوب تهیه شدند. نتایج نشان داد که طی دوره پنج ساله مطالعاتی مساحت کلاس‌های سطوح آبی، پوشش گیاهی متوسط و خوب به ترتیب به میزان ۱۴۵۰۵/۶، ۴۹۱۰۵/۵۹ و ۲۵۹۱/۳۶ هکتار افزایش و در مقابل مساحت اراضی بدون پوشش به میزان ۶۶۲۰۲/۶ هکتار کاهش یافته است. در سال ۲۰۲۱ شاهد پوشیده شدن ۴۰/۲۶ درصد از سطح اراضی منشأ گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز توسط کلاس سطوح آبی و پوشش گیاهی هستیم، با این وجود در سال ۲۰۲۱ همچنان ۵۹/۷۴ درصد از سطح منشأهای گردوغبار شناسایی شده در محدوده کلاس اراضی بایر قرار دارد که باید مورد توجه برنامه‌ریزان قرار گیرد.

واژگان کلیدی: آشکارسازی تغییرات، سنجش از دور، طوفان گردوغبار، استان خوزستان

مقدمه

در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی کشور ایران، رخداد طوفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب کشور از جمله استان خوزستان است که آسیب‌های بسیاری را بر محیط زیست و حوزه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، فرهنگ، بهداشت وارد نموده است. در این میان محدوده جنوب و جنوب شرق اهواز به عنوان کانون شماره ۴ تولید گردوغبار داخلی با اولویت اول عملیات مهار و احیا شناسایی شناسایی شده است (اژدری و همکاران، ۱۳۹۴؛ اژدری و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به تخریب اراضی صورت گرفته در این منطقه، پایش دقیق و منظم پوشش اراضی در این منطقه برای آگاهی از وضعیت فعلی اراضی این منطقه ضروری است. در این راستا داده‌های ماهواره‌ای به سبب ویژگی‌هایی همچون رقومی بودن، فراهم آوردن دید وسیع و یکپارچه، پوشش تکراری، ارائه اطلاعات بهنگام، سرعت انتقال و همچنین صرفه‌جویی در وقت و هزینه کمتر، منبع مناسبی جهت پایش تغییرات به شمار می‌آیند (خسرویان و همکاران، ۱۳۹۶). خوارزمی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی تاثیرات تغییر کاربری اراضی بر روند بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در محدوده تالاب‌های هارون هیرمند در شرق ایران و هامون صابری در غرب افغانستان طی بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۶ گزارش کردند که در طول دوره مطالعاتی مساحت کلاس‌های آب و پوشش گیاهی کاهش و مساحت کلاس بایر افزایش یافته و این تغییرات شرایط را برای وقوع طوفان‌های گردوغبار فراهم نموده است. اصغری‌پوده و همکاران (۱۳۹۵) به ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی در گسترش گردوغبار و خشک شدن تالاب شادگان طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۸ پرداختند و گزارش کردند که حدود ۳ درصد از مساحت کل تالاب در بازه زمانی ۱۲ ساله، بخصوص در نواحی شمالی کاهش یافته که این امر در گسترش پدیده گردوغبار و به تبع آن در خشک شدن تالاب شادگان موثر بوده است. نوروزی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در کانون گردوغبار جنوب و جنوب‌شرق اهواز و اراضی اطراف آن طی سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۶ گزارش کردند که در دوره زمانی (۱۳۸۰-۱۳۶۵)، مساحت کاربری‌های پوشش گیاهی، سطوح مرطوب با پوشش گیاهی و سطوح آبی به‌ترتیب به‌میزان ۴۱۹، ۲۱۹ و ۴۰/۷ درصد افزایش و در مقابل مساحت کاربری مرتع ضعیف و بایر به‌میزان ۳۶/۶ درصد کاهش یافته و در دوره زمانی (۱۳۹۴-۱۳۸۰)، مساحت کاربری‌های سطوح مرطوب با پوشش گیاهی، سطوح آبی و پوشش گیاهی به‌ترتیب به میزان ۹۴، ۴۹/۳ و ۴۶/۷ درصد کاهش و در مقابل مساحت کاربری مرتع ضعیف و بایر به میزان ۴۵/۴ درصد افزایش یافته است. اصغری‌پور دشت بزرگ و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی تغییرات پوشش اراضی کانون گردوغبار جنوب غرب هویزه طی سال‌های

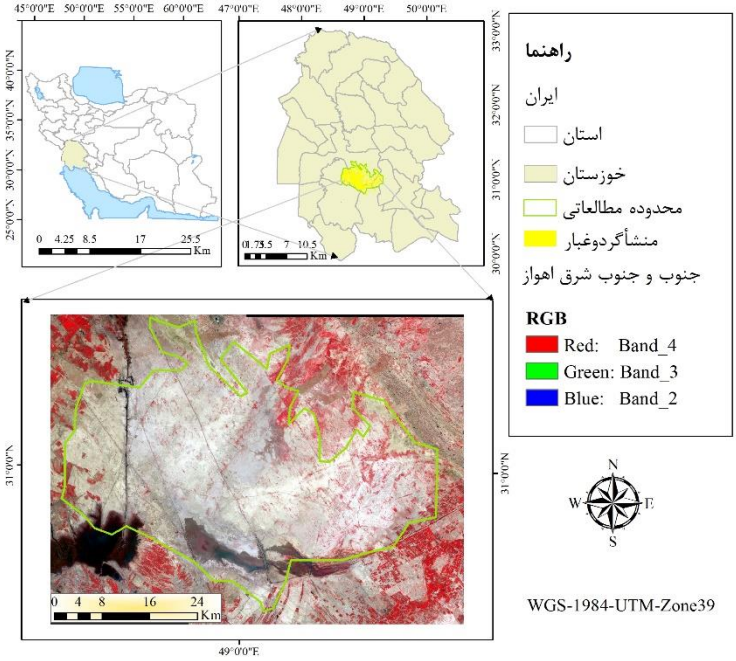
۲۰۲۰-۲۰۱۵ گزارش کردند که طی دوره ۶ ساله کلاس‌های آب و پوشش گیاهی تغییرات خالص مثبت و به ترتیب افزایش سطح به میزان ۴۹۹۴۸/۶۵ و ۲۱۸۰۷/۹۹ هکتار داشته‌اند و کلاس بایر تغییر خالص منفی و کاهش ۷۱۷۵۶/۶۴ هکتاری را داشته است. بر اساس نتایج این پژوهشگران، ۳۸/۸۵ درصد از سطح اراضی در محدوده منشأهای گردوغبار جنوب غرب هویزه توسط کلاس آب و پوشش گیاهی پوشیده شده و ۶۱/۱۵ درصد از سطح منشأهای شناسایی شده در محدوده کلاس اراضی بایر قرار دارد. Pullanikkatil et al.(2016) در بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه لیکانگالا گزارش نمودند که فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی و فشار به زمین به منظور گسترش زمین‌های کشاورزی با تاثیر نامطلوب بر اکوسیستم موجب تخریب منطقه شده است. Xiao et al.(2017) در بررسی تغییرات پوشش گیاهی شهر چونگ کینگ در چین طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۱ با استفاده از شاخص NDVI گزارش کردند که در طول دوره مطالعاتی، مساحت پوشش گیاهی به علت سیاست‌های حفاظت از محیط زیست و بهبود شرایط آب و هوایی افزایش یافته است.Lossou et al.(2019) در بررسی تغییرات پوشش اراضی در غنا طی دوره ۲۰۱۷-۱۹۹۰ گزارش کردند که مساحت اراضی تخریب یافته از ۰/۱۴ کیلومتر مربع در سال ۱۹۹۰ به ۱/۳ کیلومتر در سال ۲۰۱۳ افزایش یافته و سپس با روند نزولی به ۰/۰۶ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۷ رسیده است. Kaya and Gorgun(2020) در بررسی تغییرات پوشش اراضی در ترکیه طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۸۷ از تصاویر ماهواره لندست گزارش کردند که طی دوره ۳۲ ساله سطح اراضی کشاورزی، جنگل و سطوح مرطوب کاهش یافته است.

این مطالعه با هدف بررسی تغییرات پوشش اراضی کانون گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و تکنیک سنجش از دور طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۶ انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی کانون گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز با مساحت ۱۶۹۱۷۲/۷۴ هکتار است که مساحت منشأهای گردوغبار شناسایی شده در آن برابر با ۱۱۲۶۱۲/۵۳هکتار است. این منطقه در موقعیت جغرافیایی″۴۷ ′۴۰ °۴۸ تا ″۲۴ ′۲۰ °۴۹ طول شرقی و ″۴۸ ′۴۶ °۳۰ تا ″۱۱ ′۱۳ °۳۱ عرض شمالی در استان خوزستان گسترده شده است. متوسط بارش بلند مدت سالانه ۲۲۴/۷۵ میلی‌متر، متوسط دمای بلند مدت ۲۶/۱۳ درجه سانتی‌گراد است و از لحاظ اقلیمی در وضعیت فرا خشک گرم قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

پایش تغییرات پوشش اراضی

پایش تغییرات، فرایند تشخیص تفاوت‌ها در وضعیت یک شیء یا پدیده با مشاهده آن در زمان‌های مختلف است (singh,1989). در پژوهش حاضر برای بررسی روند تغییرات پوشش اراضی منطقه جنوب و جنوب شرق اهواز، از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ در تاریخ ۱۳۹۴/۱۲/۱۹(۲۰۱۶/۰۳/۰۹) و ۱۳۹۹/۱۲/۱۸ (۲۰۲۱/۰۳/۰۸) استفاده شد. عملیات تصحیحات اتمسفری تصاویر با استفاده از روش تصحیح اتمسفری QUAC انجام شد و با توجه به قرار گرفتن منطقه مطالعاتی در ۲ فریم تصویر، تصاویر موزاییک و به اندازه مرز منطقه مطالعاتی برش داده شدند. شاخص‌های پوشش گیاهی مختلفی برای بارزسازی اطلاعات پوشش گیاهی وجود دارد که در این مطالعه به دلیل امتیاز بالای شاخص SAVI در مناطق با پوشش کم و کاهش تأثیر خاک پس زمینه (اژدری و همکاران، ۱۳۹۴)، از این شاخص برای بررسی تغییرات کمی پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی استفاده شده است که از فرمول ۱ بدست می‌آید.

$$SAVI = \frac{(NIR - \mathrm{Re}d)}{(NIR + \mathrm{Re}d + L)} \times (L+1) \qquad (۱)$$

در این رابطه، NIR باند مادون قرمز نزدیک، Red باند قرمز و L فاکتور تعدیل کننده اثر خاک است که دامنه آن از ۰ برای مناطق با پوشش گیاهی بسیار متراکم و ۱ برای مناطق با پوشش گیاهی پایین متغیر می‌باشد که در این مطالعه به دلیل دامنه متغیر میزان تراکم پوشش، مقدار فاکتور تصحیح ۰/۵ در نظر گرفته شد. در ادامه نقشه‌های خروجی شاخص SAVI با استفاده از روش طبقه‌بندی درختی به چهار کلاس: ۱- سطوح آبی، ۲- بدون پوشش، ۳- پوشش گیاهی متوسط و ۴- پوشش گیاهی خوب طبقه‌بندی شدند. این طبقات با بررسی ارزش پیکسل‌های شاخص SAVI در سطح منطقه مطالعاتی به شرح جدول ۱ تعیین شدند. به منظور آشکارسازی روند تغییرات پوشش اراضی از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی به صورت جدول‌بندی افقی استفاده شد.

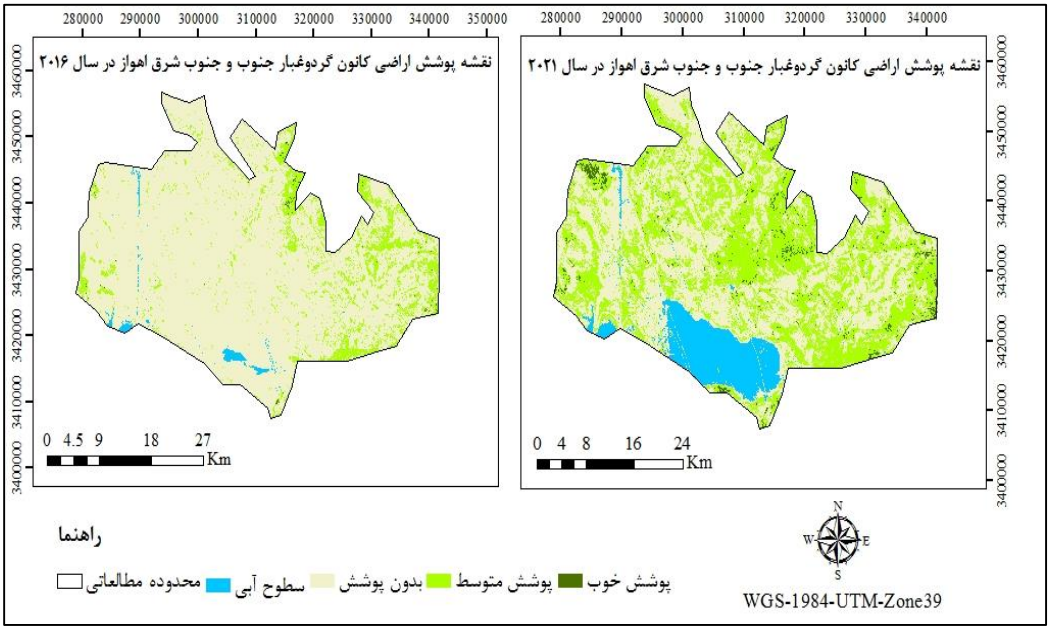
جدول۱- مشخصات طبقات پوشش اراضی

ردیف	*شرح طبقه* *	نوع پوشش
۱	$b_1<0/05$	سطوح آبی
۲	$0/05\leq b_1<0.2$	بدون پوشش
۳	$0/2\leq b_1<0/5$	پوشش گیاهی متوسط
۴	$b_1\geq 0/5$	پوشش گیاهی خوب

*در جدول متغیر b_1 شاخص SAVI است.

نتایج و بحث

نقشه‌های پوشش اراضی منطقه مطالعاتی در ۴ کلاس سطوح آبی، بدون پوشش، پوشش گیاهی متوسط و پوشش گیاهی خوب در شکل (۲) ارائه شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، سطوح آبی در طول دوره مطالعاتی روندی افزایشی را سپری کرده و مساحت آن از ۱۶۵۰/۹۸هکتار معادل با ۰/۹۸ درصد در سال ۲۰۱۶ به ۱۶۱۵۶/۵۸ هکتار، معادل با ۹/۵۵ درصد در سال ۲۰۲۱ رسیده و بر این اساس تغییرات خالص کلاس سطوح آبی طی این دوره ۵ ساله مثبت و برابر با ۱۴۵۰۵/۶ هکتار است. سطح کلاس پوشش گیاهی متوسط در سال ۲۰۱۶ برابر ۱۹۳۵۴/۸۴ هکتار معادل با ۱۱/۴۴درصد از سطح منطقه مطالعاتی و در سال ۲۰۲۱ برابر با ۶۸۴۶۰/۴۳ هکتار، معادل با ۴۰/۴۷ درصد از سطح منطقه مطالعاتی است و بر این اساس تغییرات خالص کلاس پوشش گیاهی متوسط طی این دوره ۵ ساله مثبت و برابر با ۴۹۱۰۵/۵۹ هکتار بوده است. سطح کلاس پوشش گیاهی خوب در سال ۲۰۱۶ برابر ۲۶۲/۴۷ هکتار معادل با ۰/۱۶ درصد از سطح منطقه مطالعاتی و در سال ۲۰۲۱ برابر با ۲۸۵۳/۸۳ هکتار، معادل با ۱/۶۹ درصد و تغییرات خالص آن مثبت و برابر با ۲۵۹۱/۳۶ هکتار است. کلاس اراضی بدون پوشش در طول دوره ۵ ساله روندی کاهشی را سپری کرده و سطح آن از ۱۴۷۹۰۴/۴۵ هکتار، معادل با ۸۷/۴۳ درصد در سال ۲۰۱۶ به ۸۱۷۰۱/۹ هکتار، معادل با ۴۸/۲۹ درصد در سال ۲۰۲۱ رسیده و تغییرات خالص این کلاس منفی و برابر با ۶۶۲۰۲/۶ هکتار است.



شکل ۲- نقشه‌های پوشش اراضی منطقه مطالعاتی

به منظور اطلاع از میزان تبادلات کلاس‌های پوشش اراضی جنوب و جنوب شرق اهواز از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی استفاده شد که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. در این جدول ستون‌ها مربوط به کلاس‌های پوشش اراضی در نقشه طبقه‌بندی شده زمان ۱ و سطرها مربوط به کلاس‌های پوشش اراضی در نقشه طبقه‌بندی شده زمان ۲ می‌باشد. در طی دوره ۵ ساله، اراضی بدون پوشش روندی کاهشی را سپری کرده و به میزان ۱۴۵۳۷/۷۴هکتار به سطوح آبی، ۵۲۰۷۲/۹۳ به پوشش گیاهی متوسط و ۱۵۸۳/۶۹ هکتار به پوشش گیاهی خوب تبدیل شده است. در این دوره همچنین ۱۱۷۹/۵۲ هکتار از سطح اراضی با پوشش گیاهی متوسط به پوشش گیاهی خوب تبدیل شده است که نشان از بهبود وضعیت پوشش اراضی منطقه مطالعاتی دارد.

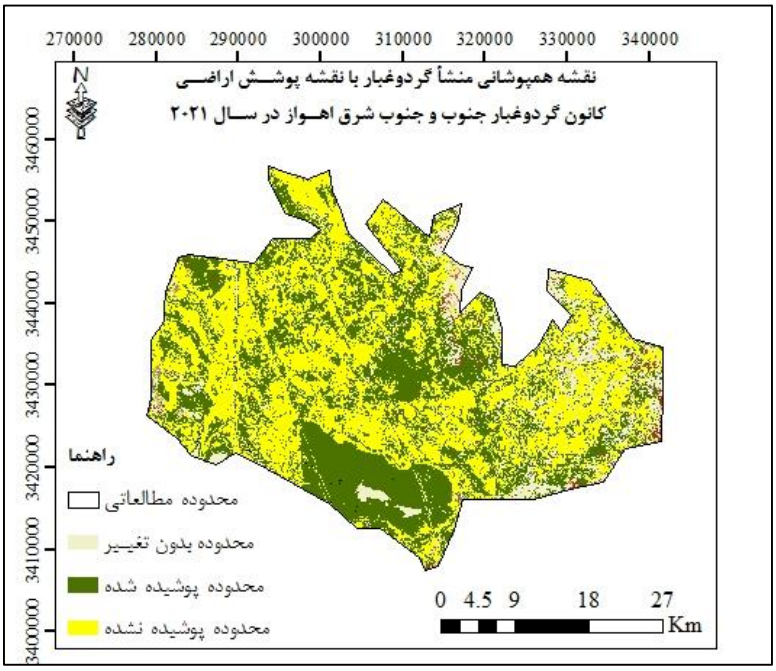
جدول ۲ – تبادلات کلاس‌های پوشش اراضی جنوب و جنوب شرق (۲۰۱۶-۲۰۲۱)، هکتار

پوشش ارضی	۲۰۱۶			
۲۰۲۱	سطوح آبی	بدون پوشش	پوشش گیاهی متوسط	پوشش گیاهی خوب
سطوح آبی	۱۵۲۹/۶۴	۱۴۵۳۷/۷۴	۸۹/۲	۰
بدون پوشش	۹۱/۴۳	۷۹۷۱۰/۰۹	۱۸۹۳/۹۱	۶/۴۷
پوشش گیاهی متوسط	۲۹/۹۱	۵۲۰۷۲/۹۳	۱۶۱۹۲/۲۱	۱۶۵/۳۸
پوشش گیاهی خوب	۰	۱۵۸۳/۶۹	۱۱۷۹/۵۲	۹۰/۶۲

به منظور بررسی وضعیت فعلی اراضی از لحاظ نوع کاربری اراضی در محدوده‌ای از سطح منطقه مطالعاتی که به عنوان منشأ گردوغبار شناسایی شده‌اند، نقشه پراکنش منشأ گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز با نقشه پوشش اراضی در سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱ مقایسه شد که نتایج آن در جدول ۳ و موقعیت جغرافیایی مناطق پوشیده شده و پوشیده نشده در سال ۲۰۲۱ در شکل ۳ ارائه شده است. در سال ۲۰۱۶ میزان ۱۰۷۴۶۵/۰۹هکتار (۹۵/۴۳ درصد) از سطح اراضی شناخته‌شده به عنوان منشأ گردوغبار در کلاس اراضی بایر قرار داشته است. در سال ۲۰۲۱ میزان ۴۵۳۳۴/۳۶ هکتار معادل با ۴۰/۲۶ درصد از سطح این اراضی پوشیده شده که از این مقدار میزان ۱۱۶۹۵/۴۸ هکتار (۱۰/۳۹ درصد) توسط کلاس سطوح آبی، میزان ۳۲۷۰۶/۴۷ (۲۹/۰۴ درصد) توسط پوشش گیاهی متوسط و میزان ۹۳۲/۴۱ هکتار (۰/۸۳ درصد) توسط کلاس پوشش گیاهی خوب پوشیده شده است. با این وجود در سال ۲۰۲۱، همچنان میزان ۶۷۲۷۸/۱۷ هکتار (۵۹/۷۴ درصد) از سطح منشأهای گردوغبار شناسایی شده در محدوده کلاس اراضی بدون پوشش قرار داشته و ضرورت دارد که عملیات مدیریتی لازم در این اراضی صورت پذیرد.

جدول ۳ – همپوشانی منشأ گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز و کلاس‌های پوشش اراضی

سال		۲۰۱۶		۲۰۲۱	
ردیف	پوشش اراضی	هکتار	درصد	هکتار	درصد
۱	سطوح آبی	۹۰۰/۱	۰/۸	۱۱۶۹۵/۴۸	۱۰/۳۹
۲	بدون پوشش	۱۰۷۴۶۵/۰۹	۹۵/۴۳	۶۷۲۷۸/۱۷	۵۹/۷۴
۳	پوشش گیاهی متوسط	۴۲۱۵/۴۱	۳/۷۴	۳۲۷۰۶/۴۷	۲۹/۰۴
۴	پوشش گیاهی خوب	۳۱/۹۳	۰/۰۳	۹۳۲/۴۱	۰/۸۳
	مساحت منشأ گردوغبار	۱۱۲۶۱۲/۵۳		۱۱۲۶۱۲/۵۳	



شکل ۳- نقشه همپوشانی منشأ گردوغبار با نقشه پوشش اراضی کانون گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های پژوهش، وضعیت پوشش اراضی کانون گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز طی دوره ۲۰۲۱-۲۰۱۶ بهبود یافته است. طی دوره ۵ ساله، مساحت کلاس‌های سطوح آبی، پوشش گیاهی متوسط و خوب به ترتیب به میزان ۱۴۵۰۵/۶، ۴۹۱۰۵/۵۹ و ۲۵۹۱/۳۶ هکتار افزایش و در مقابل مساحت اراضی بدون پوشش به میزان ۶۶۲۰۲/۶ هکتار کاهش یافته است. در سال ۲۰۲۱ شاهد پوشیده شدن ۴۰/۲۶ درصد از سطح اراضی منشأ گردوغبار جنوب و جنوب شرق اهواز توسط کلاس سطوح آبی و پوشش گیاهی هستیم، با این وجود همچنان ۵۹/۷۴ درصد از سطح منشأهای شناسایی شده در محدوده کلاس اراضی بایر قرار دارد و این محدوده باید مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان قرار بگیرد. پیشنهاد می‌شود که از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS برای نظارت پیوسته بر روند تغییرات پوشش اراضی در منطقه مطالعاتی استفاده شود و از این طریق تصمیم‌گیری مدیریتی مناسب برای مدیریت پایدار اراضی منطقه بکار گرفته شود.

فهرست منابع

اژدری، ع.، حیدریان، پ.، جودکی، م.، درویشی خاتونی، ج و شهبازی، ر. (۱۳۹۶).اولویت‌بندی کانون‌های تولید گردوغبار در استان خوزستان. اداره کل زمین شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب باختری (اهواز)، ۶۶ ص.

اژدری، ع.، حیدریان، پ.، فتح تبار، س.، صالحی، ح و فولادی، ع. (۱۳۹۴).شناسایی کانون‌های منشأ ریزگرد در استان خوزستان.

اداره کل زمین شناسی و اکتشافات معدنی منطقه جنوب باختری (اهواز)، ۷۳ ص.

اصغری‌پوده، ز.، نعمت الهی، ش.، شفیعی‌زاده، م و فاخران اصفهانی، س. (۱۳۹۵). تاثیر تغییرات کاربری اراضی در گسترش گردوغبار و خشک شدن تالاب شادگان، دومین کنفرانس بین المللی اکولوژی سیمای سرزمین، اصفهان، دانشکده صنعتی اصفهان. ۱۱-۱.

اصغری‌پور دشت بزرگ، ن.، نوروزی، آ و قطبی‌زاده، ف. (۱۳۹۹). بررسی تغییرات پوشش اراضی در کانون ریزگرد جنوب غرب هویزه طی سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۱۵ با استفاده از سنجش از دور. چهارمین کنفرانس حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گردوغبار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران. ۸-۱.

خسرویان، م.، انتظاری، ع.ر.، رحمانی، ا و باعقیده، م. (۱۳۹۶).پایش تغییرات سطح آب دریاچه پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور. هیدروژئومورفولوژی ۴ (۱۳).۱۲۰-۹۹.

خوارزمی، ر.، عبداللهی، ع.ا.، راهداری، م.ر و کارکن ورنوسفادرانی، م. (۱۳۹۵). پایش تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر روند تخریب زمین و بیابان‌زایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست(مطالعه‌ی موردی: شرق ایران، دریاچه هامون). فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق خشک. مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری. ۷ (۲۵).۷۵-۶۴.

نوروزی، آ.، انصاری، م.ر.، معظمی، م و ن. اصغری‌پور دشت بزرگ. (۱۳۹۸). روند تغییرات کاربری اراضی در کانون‌های ریزگرد جنوب و جنوب شرق اهواز. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۳(۳).۳۵۴-۳۴۱.

Singh, A. (1989). Digital change detection techniques using remotely sensed data. International journal of remote sensing, 10(9), 989-1003

Pullanikkatil, D., Palamuleni, L., Ruhiiga, T. (2016). Assessment of land use change in Likangala River catchment, Malawi: A remote sensing and DPSIR approach. *Applied Geography*, 71, 9-23.

Kaya. A., Gorgun, E.k. (2020). Land use and land cover change monitoring in Bandırma (Turkey) using remote sensing and geographic information systems, *Environmental monitoring and assessment*, 192(430), 429-430.

Lossou, E., Prempeh, N.O., Agyemang, G. (2019). Monitoring Land Cover changes in the tropical high forests using multi-temporal remote sensing and spatial analysis techniques, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 16, 1-14.

Xiao, Q., Jianping, T., Yang, X., Feng, Q. (2017). Monitoring vegetation cover in Chongqing between 2001 and 2010 using remote sensing data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 1-13.

Investegation of Land Cover Changes in Dust Sources of South and South East Ahwaz Using Sentinel 2 Satellite Images

Azin Norouzi[1], Mohammadreza Ansari[*1]

1- Department of Soil Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

(*m_ansari@asnrukh.ac.ir)

Abstract

Dust storms are one of the main environmental hazard in world. The aim of this study was to investigate the land cover changes in the dust sources of south and southeast of Ahvaz. For this purpose, the land cover maps of the study area were prepared in 4 classes, including: water bodies, barren land, moderate vegetation and good vegetation using Sentinel 2 satellite images and SAVI index. The results showed that during the (2016-2021) the area of water bodies, moderate vegetation and good vegetation increased by 14505.6, 491059.59 and 2591.36 hectares, respectively, and the area of barren land decreased by 6620206.6 hectares. In 2021, 40.26% of the dust Sources in the south and southeast of Ahvaz are covered by water bodies and vegetation, however, 59.74% of the area that identified as the sources of dust storm is still within the barren lands class and should be considered by planners.

Keywords: **Change Detection, Remote Sensing, Dust Storm, Khuzestan Province**

بررسی کارایی رویکرد تصمیم‌گیری درختی در مدل‌سازی رقومی تناسب اراضی دو محصول پسته و زعفران

محمود رستمی نیا[۱]، اصغر رحمانی[۲]، سید روح اله موسوی[۲]، نسیبه گراوند[۳]، الهه شاهرخ حسینی[۳]
۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام- نویسنده مسئول
m.rostaminya@ilam.ac.ir
۲-به ترتیب دانشجویان دکتری مدیریت منابع خاک دانشگاه تهران ۳-دانشجوی کارشناسی ارشد و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت منابع خاک دانشگاه ایلام

چکیده

ارزیابی تناسب اراضی برای افزایش تولید و برنامه‌ریزی در سامانه‌های بهره‌برداری از کشاورزی بسیار ضروری است. تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی کارایی مدل‌های تصمیم‌گیری درختی در مدل‌سازی مکانی کلاس و تحت کلاس تناسب اراضی دو محصول زعفران و پسته در استان ایلام صورت پذیرفت. موقعیت ۸۰ خاکرخ مشاهداتی بر اساس روش ابر مکعب لاتین مشروط در منطقه نهایی گردید. محاسبه درجات کلاس و تحت کلاس تناسب با تطبیق نیازهای گیاهی با جداول استاندارد و روش پارامتریک اصلاح‌شده ریشه دوم صورت پذیرفت. از دو مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته (BRT) و درخت تصمیم طبقه‌بندی (DTc) نیز برای مدل‌سازی مکانی و تهیه نقشه پیش‌بینی مکانی کلاس و تحت کلاس محصولات باغی موردنظر استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی نشان داد که بر اساس آماره‌های صحت عمومی (OA) و شاخص کاپا (Kappa) مدل BRT نسبت به مدل DTc در سطح تحت کلاس برای زعفران و پسته به ترتیب با مقادیر OA ۷۰ ٪ و ۶۰٪ و Kappa ۴۵٪ و ۵۰٪ کارایی بالاتری را داشت. به‌طورکلی مهم‌ترین محدودیت‌های موجود در اراضی مربوط به درصد بالای آهک، گچ، سنگریزه، کربن آلی و عمق خاک بودند که در برخی از بخش‌های منطقه موجب کاهش تناسب محصولات می‌گردند.

واژگان کلیدی: شاخص تناسب اراضی، ارزیابی رقومی تناسب اراضی، مدل‌های یادگیری ماشین

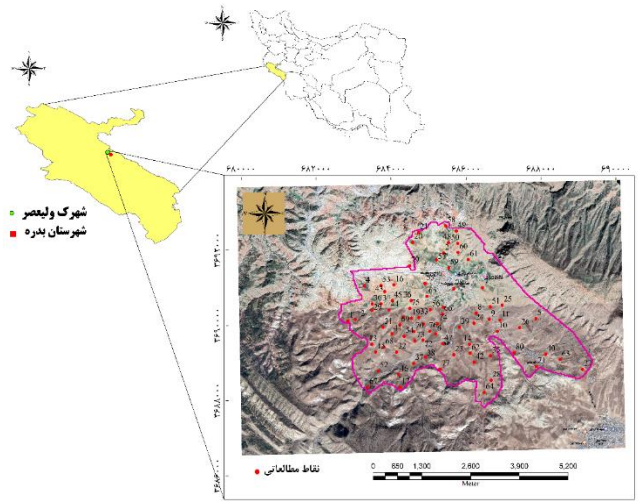
مقدمه

بررسی تغییرات مکانی شاخص تناسب اراضی به شیوه‌های مرسوم به‌خصوص در مناطق با وسعت زیاد، پرهزینه و زمان‌بر است. لذا برای پایش و بررسی تغییرات مکانی شاخص تناسب اراضی در سطح گسترده نیاز به روش‌هایی هست که بتواند به‌راحتی سطح گسترده‌ای از مناطق را پایش کرده و تغییرات شاخص تناسب اراضی را موردبررسی قرار دهد (Taghizadeh-Mehrjardi et al, 2020). در این زمینه مدل‌های مختلفی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون درختی توسعه‌یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی و رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای برای ارتباط دادن پارامترهای محیطی با خاک‌ها استفاده می‌شوند. (brungard et al. 2015). Taghizadeh-Mehrjardi et al.(2020) از دو رویکرد یادگیری ماشین و معمول برای نقشه‌برداری مکانی دو محصول گندم و جو دیم در استان کردستان استفاده نمودند. نتایج پیش‌بینی‌شده توسط دو رویکرد در مورد گندم دیم نشان داد که نقشه‌های رقومی تناسب اراضی بر اساس مدل‌های یادگیری ماشین در مقایسه با نقشه‌های حاصل از روش معمول از دقت بالاتری برخوردار هستند. Harms *et al.*(2015) با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین، تناسب اراضی را برای کشت محصولات آبی شمال استرالیا ارزیابی نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که اتصال ویژگی‌های خاک و زمین به‌صورت رقومی منجر به ارزیابی سریع پتانسیل کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای می‌گردد. مسعودی و همکاران (۱۳۹۹)، کارایی روش نقشه‌برداری رقومی رگرسیون لجستیک چندجمله‌ای را در ارزیابی کلاس تناسب اراضی سیب‌زمینی در دشت جیرفت بررسی نمودند و نتایج بیانگر برتری روش رقومی در پیش‌بینی پراکنش مکانی کلاس‌های تناسب نسبت به روش معمول است. رسولی

و همکاران (۱۳۹۸) تناسب رقومی گندم دیم در قروه کردستان را با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های کمکی مدل‌سازی نمودند و نتایج اعتبار سنجی مدل یادشده نشان از دقت مناسب این مدل است. همچنین در نقشه‌برداری رقومی کلاس‌های خاک در سطوح مختلف تاکسونومیک نتایج قابل‌اعتمادی از کارایی روش‌های یادگیری ماشین مبتنی بر سیستم درختی از قبیل رگرسیون درختی توسعه‌یافته و جنگل تصادفی توسط (موسوی و همکاران، ۱۳۹۹) و خاموشی و همکاران (۱۳۹۷) گزارش‌شده است. در همین راستا، با توجه به استفاده کمتر دو مدل BRT و DTc نسبت به سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین در مدل‌سازی رقومی تناسب اراضی در این پژوهش اقدام به مقایسه کارایی این دو مدل در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی مکانی تحت کلاس تناسب دو محصول مهم و اقتصادی زعفران و پسته در منطقه ولی‌عصر بدره در استان ایلام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه در ناحیه جنوب غربی کشور در استان ایلام و شهرک ولیعصر در غرب شهرستان بدره، در محدوده‌ای با عرض جغرافیایی $33^{\circ},14',33''$ تا $33^{\circ},22',15''$ شمالی و طول جغرافیایی $46^{\circ},52',24''$ تا $47^{\circ},12',25''$ شرقی واقع گردیده است. در شکل شماره ۱ موقعیت جغرافیایی اراضی موردمطالعه در کشور و استان نشان داده‌شده است. این محدوده با مساحت ۱۸۰۰ هکتار دارای حداقل و حداکثر ارتفاع ۷۰۰ تا ۱۱۰۰ متر نسبت به سطح دریای آزاد است. میانگین بارندگی سالانه حدود ۵۵۴/۵ و میانگین دمای سالانه حدود ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس محاسبات مدل نیوهال در نرم‌افزار jNSM، منطقه موردبررسی دارای رژیم رطوبتی زریک و رژیم حرارتی ترمیک است (Van Wambeke. 2000).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه در کشور و استان ایلام به همراه محل نقاط مطالعاتی بر روی تصویر ماهواره‌ای Google earth

در این پژوهش، موقعیت ۸۰ خاکرخ مشاهداتی بر اساس روش ابر مکعب لاتین مشروط (Minasny *et al*. 2006) در محیط نرم‌افزار RStudio 3.5.0(Carnell, 2009) با استفاده از لایه‌های محیطی منتخب که توسط روش حذف ویژگی برگشتی انتخاب شدند و شامل تجزیه‌وتحلیل سایه‌اندازی تپه‌ها، شاخص کربنات، فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص رس، شاخص همگرایی، ژئومورفون، مساحت حوزه زهکشی اصلاح‌شده، شاخص موقعیت میانی شیب، شاخص همواری دره باقدرت تفکیک مکانی بالا، شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص طول شیب و شاخص اثر باد در منطقه موردمطالعه انجام گردید. برای انجام مطالعات موردنظر پس از انجام بررسی‌های میدانی کلیه خاکرخ‌های موردنظر حفر، تشریح و نمونه‌برداری گردیدند. پس

از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی موردنیاز (بافت خاک، pH گل اشباع، میزان قابلیت هدایت الکتریکی، درصد آهک، درصد کربن آلی، پتاسیم قابل‌جذب، کاتیون‌های محلول بازی) بر اساس روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. در مطالعه حاضر، بر اساس مفاهیم روش اسکورپن (Mcbratney et al. 2003)، متغیرهای کمکی شامل مشتقات اولیه و ثانویه مدل رقومی ارتفاع با وضوح مکانی ۱۲/۵ متر و شاخص‌های حاصل از نسبت گیری باندی از تصاویر ماهواره‌ی سنتینل ۲ با وضوح مکانی مکانی ۱۰ متر می‌باشند.

مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی

در این مطالعه به‌منظور مدل‌سازی روابط بین تحت کلاس‌های تناسب اراضی (محاسبه‌شده بر اساس روش پارامتریک ریشه دوم اصلاح‌شده) با متغیرهای محیطی پیش‌بینی کننده از دو رویکرد یادگیری ماشین مبتنی بر سیستم طبقه‌بندی درختی شامل درخت تصمیم‌گیری طبقه‌بندی (DT_C) و رگرسیون درختی توسعه‌یافته (BRT) استفاده گردید. انتخاب مهم‌ترین متغیرهای محیطی کمکی نیز بر اساس روش حذف ویژگی برگشتی و با استفاده از بسته C5.0 در مدل BRT صورت پذیرفت و درنهایت ۱۲ متغیر محیطی شامل تجزیه‌وتحلیل سایه‌اندازی تپه‌ها، شاخص کربنات، فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص رس، شاخص همگرایی، ژئومورفون، مساحت حوزه زهکشی اصلاح‌شده، شاخص موقعیت میانی شیب، شاخص همواری دره باقدرت تفکیک مکانی بالا، شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص طول شیب و شاخص اثر باد به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای پیش‌بینی کننده محیطی تحت کلاس تناسب اراضی دو محصول پسته و زعفران مورداستفاده قرار گرفتند.

ارزیابی نتایج مدل‌سازی

صحت نقشه پیش‌بینی کلاس‌های خاک با استفاده از ماتریس خطا تعیین گردید (Congalton,1991). برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی از معیارهای صحت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا استفاده شد.

معادله (۱)

$$OA = \sum_{i=1}^{n} Xij / N$$

در معادله (۱) (OA) صحت کلی و N معرف کل پیکس‌های طبقه‌بندی‌شده و $\sum_{i=1}^{n} Xij$ نمایه مجموع پیکسل‌های قطر اصلی ماتریس خطا (پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده) است.

معادله (۲)

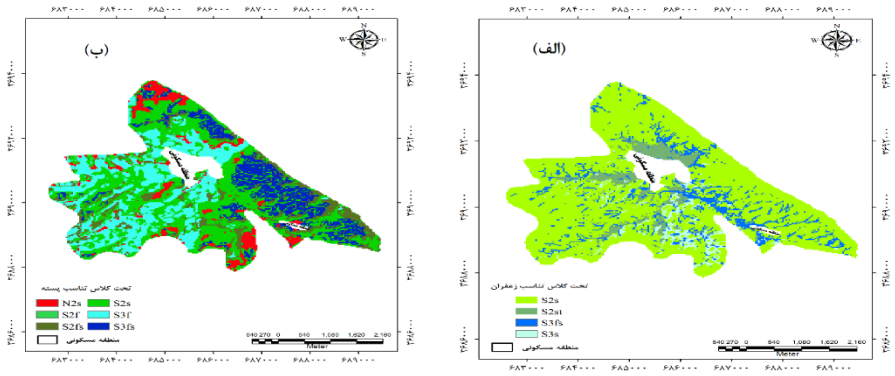
$$Kappa = N\sum_{i=1}^{n} Xij - \sum_{i-1}^{n}(Xio - Xoi) / N^2 - \sum_{i=1}^{n}(Xio - Xoi)$$

در معادله (۲)، (n) تعداد ردیف‌ها در ماتریس، (Xij) تعداد مشاهدات در ردیف i و ستون j (درایه‌های قطر اصلی)، Xio و Xoi مجموع حاشیه به ترتیب ردیف r و ستون i، N تعداد کل مشاهدات است.

نتایج و بحث

نتایج محاسبه تناسب اراضی منطقه مطالعاتی بر اساس روش پارامتریک ریشه دوم اصلاح‌شده برای محصول زعفران به‌عنوان یک محصول زراعی چندساله شامل تحت کلاس‌های S2s، S3fS، S2st و S3s است که بیشترین و کمترین مساحت به ترتیب در تحت کلاس S2s و S3s است (شکل ۲ الف، جدول ۱). منطقه موردمطالعه دارای محدودیت خاک در تحت کلاس‌های S2s و $S3_S$، محدودیت توپوگرافی و خاک در تحت کلاس S2st، محدودیت حاصلخیزی و خاک در تحت کلاس S3fS برای کشت زعفران است. برای محصول پسته به‌عنوان یک محصول باغی تحت کلاس‌های N2s، $S2_f$، $S2_{fs}$،$S2_s$،$S3_f$،$S3_{fS}$ حاصل گردید که بیشترین و کمترین مساحت به ترتیب در تحت کلاس S2s و N2s است (شکل ۲ ب،

جدول ۱). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، اراضی موردمطالعه دارای محدودیت خاک و حاصلخیزی در بخش‌های دارای تناسب S2 و S3 و در ۱/۰۸ درصد از اراضی دارای محدودیت‌های خیلی شدید مربوط به خاک به‌صورت غیرقابل اصلاح برای احداث باغ پسته در بخش‌های شمال غربی و شرق منطقه مطالعاتی می‌باشند.



شکل ۲- نقشه تحت کلاس تناسب اراضی با استفاده از مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته برای دو محصول الف(زعفران و ب) پسته

جدول ۱- درصد مساحت و تحت کلاس تناسب اراضی منطقه با استفاده از مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته برای محصول زعفران و پسته

زعفران		پسته	
تحت کلاس تناسب اراضی	مساحت (درصد)	تحت کلاس تناسب اراضی	مساحت (درصد)
$S2_s$	۷۵/۶۶	$N2_s$	۱/۰۸
$S2_{st}$	۷/۱۶	$S2_f$	۲/۸۸
$S3_{fS}$	۱۲/۰۷	$S2_{fs}$	۱۴/۵۴
$S3_S$	۵/۰۹	$S2_s$	۶۳/۴
		$S3_f$	۱۱/۴۸
		$S3_{fS}$	۶/۶۱

جدول ۲_ دقت پیش‌بینی سطح تحت کلاس تناسب کیفی دو محصول زعفران و پسته

مدل	نام محصول	شاخص کاپا (درصد)	صحت عمومی (درصد)
رگرسیون درختی توسعه‌یافته	زعفران	۴۵	۷۰
	پسته	۵۰	۶۰
درخت تصمیم‌گیری طبقه-بندی	زعفران	۲۶	۴۶
	پسته	۱۳	۳۰

اهمیت نسبی متغیرهای محیطی

در این تحقیق ۱۲ متغیر کمکی به‌عنوان مناسب‌ترین پارامترها جهت ورود به فرآیند مدل‌سازی مکانی کلاس‌ها و تحت کلاس‌های تناسب اراضی انتخاب گردید. اهمیت نسبی متغیرهای محیطی بر اساس تابع "var important" دربسته C5.0 برای روش BRT در سطح تحت کلاس‌های کیفی تناسب اراضی بررسی شد. بر اساس این شاخص برای محصول پسته در سطح تحت کلاس تناسب اراضی، متغیرهای محیطی استفاده‌شده در مدل‌سازی شامل شاخص فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص همگرایی، ژئومورفون، شاخص اثر باد، شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص کربنات، شاخص رس، شاخص همواری دره باقدرت تفکیک مکانی بالا می‌باشند که درصد مشارکت یکسانی در پیش‌بینی مکانی تحت کلاس تناسب اراضی در منطقه مطالعاتی داشته‌اند و در محصول زعفران متغیرهای تجزیه‌وتحلیل سایه‌اندازی تپه‌ها، مساحت حوزه زهکشی اصلاح‌شده، طول شیب، فاصله تا شبکه آبراهه، همواری دره باقدرت تفکیک بالا، موقعیت میانی شیب، شاخص همگرایی، ژئومورفون، شاخص رس، بیشترین تأثیر را در پیش‌بینی مکانی تحت کلاس کیفی تناسب اراضی برای این محصول داشته‌اند. مقادیر صحت عمومی و شاخص کاپا در مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته و درخت تصمیم‌گیری طبقه‌بندی برای پیش‌بینی تحت کلاس تناسب کیفی محصولات موردمطالعه در جدول ۲ ارائه‌شده است. نتایج مدل‌سازی گویای اینست که در مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته صحت عمومی در سطح تحت کلاس برای زعفران و پسته به ترتیب دارای مقادیر ۷۰ و ۶۰ درصد است. همچنین مقادیر شاخص کاپا در سطح تحت کلاس برای زعفران و پسته به ترتیب ۴۵ و ۵۰ درصد محاسبه گردید. به‌طورکلی نتایج به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر جهت تعیین دقت پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی با نتایج مصلح و همکاران (۱۳۹۷) و خاموشی و همکاران (۱۳۹۷) که به‌طور جداگانه در مطالعات خود نتایج مشابهی را مبنی بر بالا بودن صحت عمومی پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی بر اساس مدل‌های مبتنی بر سیستم‌های تصمیم‌گیری درختی گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج مدل‌سازی مکانی کلاس و تحت کلاس‌های تناسب اراضی نشان داد که مدل BRT نسبت به DTc برای کشت دو محصول زعفران و پسته، بالاترین میزان صحت عمومی و شاخص کاپا را ارائه نمود. بیشترین درصد مساحت منطقه برای محصول زعفران و پسته مربوط به تحت کلاس S2s به ترتیب با ۷۵/۶۶ درصد ۶۳/۴ درصد از کل مساحت منطقه بود. محدودیت‌های مشترک موجود برای کشت این محصولات شامل درصد بالای کربنات کلسیم معادل، مقادیر بالای گچ، شیب و توپوگرافی بودند و عمق خاک به دلیل وجود مقادیر بالای سنگریزه محدودیت جدی دیگری برای کشت پسته در منطقه است. مهم‌ترین متغیرهای پیش‌بینی کننده محیطی برای دو محصول زراعی و باغی مورد ارزیابی در منطقه در بین فاکتورهای اجزاء سرزمین شامل تجزیه‌وتحلیل سایه‌اندازی تپه‌ها، فاصله تا شبکه آبراهه، شاخص همگرایی، ژئومورفون، مساحت حوزه زهکشی اصلاح‌شده، شاخص موقعیت میانی شیب، شاخص همواری دره باقدرت تفکیک مکانی بالا، شاخص اثر باد و برای شاخص‌های سنجش‌ازدور شامل شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی، شاخص کربنات و شاخص رس بودند؛ بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق و از طرفی استراتژیک بودن محصولات مورد ارزیابی توصیه می‌گردد تا از کارایی بالای مدل رگرسیون درختی توسعه‌یافته به همراه مؤثرترین متغیرهای محیطی مورداستفاده در این پژوهش برای تهیه نقشه‌های تناسب اراضی سایر محصولات زراعی و باغی در سایر مناطق مشابه با این منطقه استفاده گردد.

منابع

خاموشی، ع. سرمدیان، ف. کشاورزی، ع. (۱۳۹۷). تهیه نقشهٔ رقومی خاک با مدل جنگل‌های تصادفی و ارزیابی تناسب اراضی برای بخشی از منطقهٔ آبیک، استان قزوین .نشریه مرتع و آبخیزداری ۷۱ (۴). ۸۸۵-۸۹۹.

رسولی، ل. نبی الهی، ک. تقی زاده مهرجردی، ر. (۱۳۹۸). نقشه‌برداری رقومی شاخص تناسب اراضی گندم دیم (مطالعه موردی: قروه، استان کردستان) . نشریه مهندسی زراعی ۴۲ (۴). ۸۷-۷۵.

مسعودی، ز. جعفری، ا. فرپور، م. (۱۳۹۹). رویکرد سنتی و رقومی ارزیابی تناسب اراضی برای محصول سیب‌زمینی در منطقه جیرفت کرمان .نشریه مهندسی زراعی ۴۳ (۱). ۱۳۱-۱۱۹.

مصلح، ز. صالحی، م. جعفری، ا. محنت کش، ع. اسفندیار پور بروجنی، ع. (۱۳۹۷). بررسی کارایی روش‌های رقومی به‌منظور ارزیابی تناسب کیفی اراضی (مطالعه‌ی موردی: دشت شهرکرد، استان چهارمحال و بختیاری) . نشریه آب‌وخاک ۳۲ (۱) ۹۹-۸۷.

موسوی، سیدروح اله، سرمدیان، فریدون، رحمانی، اصغر. (۱۳۹۸). مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی کلاس خاک با استفاده از الگوریتم یادگیری رگرسیون درختی توسعه‌یافته و جنگل-های تصادفی در بخشی از اراضی دشت قزوین. تحقیقات آب‌وخاک ایران.

Brungard, C. W., Boettinger, J. L., Duniway, M. C., Wills, S. A., & Edwards Jr, T. C. (2015). Machine learning for predicting soil classes in three semi-arid landscapes. Geoderma, 239, 68-83.

Carnell, R. 2009. Lhs: Latin hypercube samples. R package version 0.5. Augment a Latin Hypercube Design, 13p.

Congalton, R. G. 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote sensing of environment, 37(1), 35-46.

Harms, B.; Brough, D.; Philip, S.; Bartley, R.; Clifford, D.; Thomas, M.; Willis, R.; Gregory, L. A comparative assessment of land suitability evaluation methods for agricultural land use planning at village level. Glob. Food Sec. 2015, 5, 25–36.

McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma, 117: 3-52.

Minasny, B., McBratney, A.B. (2006). A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. Computer and Geosciences. 32: 1378-1388.

Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Rasoli, L., Kerry, R., & Scholten, T. (2020). Land suitability assessment and agricultural production sustainability using machine learning models. Agronomy, *10*(4), 573.

Van Wambeke, A.R. 2000. The Newhall simulation model for estimating soil moisture and temperature regimes. Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca, NY USA.

Investigating the performance of a decision tree-based approach in digital land suitability modeling of pistachio and saffron crops.

Mahmoud Rostaminya[1], Asghar Rahmani[2], Sayed Roholla Mousavi[2], Nasibeh Geravand[3], Elahe shahrokh hosseini[4]

[1]- Assistant Prof., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ilam University, Iran.
[2]-P.h.D student of soil resource managmment Department, University of Tehran, Iran.
[3]- M. Sc., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ilam University, Iran
[4]- Graduated of M. Sc., Soil Science Department, Faculty of Agriculture Ilam University, Iran

Abstract

Land suitability assessment is essential tools to increase production and planning in agricultural utilization systems. The present study was conducted to evaluate the performance of decision tree based models in spatial modeling of subclass land suitability of saffron and pistachio crops in Ilam province. The location of 80 representative profiles was designed based on the Latin conditional cloud cube method in the studied area. Sub-classes rates were calculated by adapting plant requirement to standard tables and corrected square root parametric method. Two models of boosted regression tree (BRT) and classification decision tree (DTc) were also used for spatial modeling and spatial prediction maps of the subclass of the products. The modeling results demonstrated that based on Overall accuracy (OA) and kappa index (Kappa) BRT model compared to DTc model in the sub-class level for saffron and pistachio with values of OA (70% and 60%) and Kappa (45% and 50%), had the best performance, respectively. In general, the most important limitations in the lands were related to the high percentage of CCE, gypsum, Coarse fragment, SOC content and soil depth, which in some parts of the region reduce the suitability of crops.

Keywords: Land suitability index, Digital land suitability assessment, Machine learning models

برآورد دمای سطح زمین و طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده تکنیک سنجش از دور و الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

مجتبی شیرازی*

*گروه علوم و مهندسی خاک دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز- نویسنده مسئول

ایمیل: mshirazi.soil@gmail.com

چکیده

در این پژوهش رابطه بین کاربری اراضی و دمای سطح زمین در شهر زابل با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ مورد بررسی قرار گرفت. نقشه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در ۴ کلاس بدون پوشش، ساخته شده، پوشش گیاهی و پیکره آبی تهیه و طبقه‌بندی و برای استخراج نقشه دمای سطح زمین از روش پنجره مجزا استفاده شد. در نهایت نتایج نشان داد که کاربری بدون پوشش با ۸۷/۶۳ درصد بیشترین و کاربری ساخته‌شده با ۱/۳۳ درصد کمترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند. میانگین دمای سطح زمین در منطقه مطالعاتی برابر با ۵۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد به دست آمد و کاربری بدون پوشش با ۵۳/۱۷ درجه سانتی‌گراد بیشترین و پیکره آبی با ۲۸/۵۷ درجه سانتی‌گراد کمترین میانگین دما را شامل شده‌اند، همچنین مقادیر ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۹۸/۸۹ درصد صحت نتایج را تایید می‌نماید. میانگین شاخص پوشش گیاهی SAVI برابر با ۰/۰۸ به دست آمد که حاکی از آن است که در منطقه مطالعاتی پوشش گیاهی کافی برای کاهش دمای سطح زمین وجود ندارد و ضرورت دارد که اقدامات مدیریتی لازم در راستای بهبود وضعیت منطقه مطالعاتی صورت پذیرد.

واژگان کلیدی: لندست ۸، پنجره مجزا، دمای روشنایی،NDVI

مقدمه

دمای سطح زمین تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی و تاثیر قابل توجهی بر تجزیه وتحلیل مسائل زیست محیطی مانند جزایر حرارتی شهری، رطوبت خاک و پوشش گیاهی دارد که نقش مهمی در تبادل آب و انرژی بین سطح زمین و هوا ایفا می‌کنند. از طریق برآورد دمای سطح زمین می‌توان اطلاعات مفیدی را در رابطه با خصوصیات فیزیکی سطح زمین و اقلیم که نقش بسزایی را در فرآیندهای محیط زیستی دارند، به دست آورد (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ولی و همکاران، ۱۳۹۸). کاربری اراضی یک منطقه از جمله عواملی است که بر میزان دمای سطح زمین اثر می‌گذارد، از همین‌رو پوشش‌های گیاهی، به مرور زمان در اثر عوامل طبیعی و یا انسانی دچار تغییر شده شرایط و عملکرد اکوسیستم ها را تحت تاثیر قرار می دهند. بنابراین، نیاز به آشکارسازی، پیش بینی و مراقبت چنین تغییراتی در یک اکوسیستم از اهمیت به سزایی برخوردار است. امروزه آگاهی از میزان دمای سطح زمین و برآورد وضعیت کاربری اراضی امری ضروری بوده و اطلاعات مفیدی را در برنامه‌ریزی های محیطی، آمایش سرزمین و توسعه پایدار فراهم می‌کند (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۸).

فناوری سنجش از دور به علت ویژگی‌هایی همچون پوشش وسیع، مناسب و هزینه کم بودن، ابزار مناسبی برای بررسی برآورد دمای سطح زمین و استخراج نقشه کاربری اراضی به شمار می‌آید (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۸). احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در نتیجه برآورد دمای سطح زمین شهر اردبیل گزارش کردند که نواحی پوشیده از آب با میانگین دمای ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد کمترین و اراضی مرتعی با میانگین دمای ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۷) در نتیجه مطالعه خود گزارش کردند که دمای سطح زمین تحت تاثیر کاربری‌های مختلف سطح زمین تغییر می‌کند. به طوریکه آب با دمای ۸ درجه سانتی‌گراد و فضای سبز با دمای ۱۱ سانتی‌گراد، کمترین دما و کاربری مسکونی با دمای ۲۱ و کاربری آسفالت با دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد بیشترین دما را داشته است. اصغری سراسکانرود و امامی (۱۳۹۸) در مطالعه خود به پایش دمای سطح زمین و رابطه آن با کاربری اراضی در شهرستان اردبیل طی یک دوره ۱۸ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۷) پرداختند و گزارش کردند که رابطه قوی بین کاربری اراضی و دمای سطحی وجود دارد. بطوریکه نواحی همچون خاک و شهری که پوشش گیاهی کمتری نسبت به

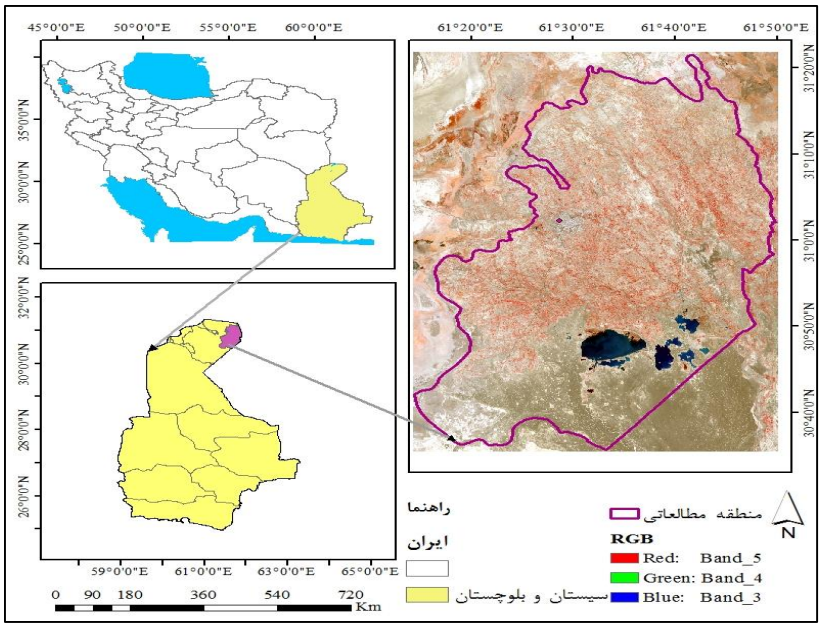
نواحی همچون کشاورزی و مرتع دارند، دارای دمای بیشتری می‌باشند.کاکه ممی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی رابطه تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی با دمای سطح زمین در شهرستان نمین گزارش کردند که نوع کاربری اراضی تأثر محسوسی بر میزان دمای سطح زمین دارد و بیشترین و کمترین دمای ثبت شده به ترتیب مربوط به کاربری دیم و کاربری آب است. Hashemi et al (2015) در بررسی جزیره حرارتی شهر رشت با استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای گزارش کردند که در بیشتر مناطق مورد مطالعه دمای سطح زمین دارای روند افزایشی و کسر پوشش گیاهی دارای روند کاهشی است. Adeyeri et al. (2017) در بررسی جزیره حرارتی شهری آبوجا در نیجریه، رابطه بین دمای سطح زمین برآورد شده از باند حرارتی ماهواره لندست ۸ و شاخص‌های پوشش گیاهی را مقایسه و گزارش کردند که همبستگی منفی بین دمای سطح زمین و شاخص‌های پوشش گیاهی وجود دارد. Feng et al (2019) در مطالعه خود رابطه بین دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص نرمال شده تفاضل ساخت و ساز (NDBI) و شاخص نرمال تفاضل آب (NDWI) در چین بررسی و گزارش کردند که دمای سطح زمین به شدت تحت تأثیر این سه عامل است. Rahmad et al. (2019) گزارش کردند که بین دمای سطح زمین و شاخص NDVI رابطه معناداری وجود دارد و کاهش پوشش گیاهی منجر به افزایش دمای سطح زمین شده است.

هدف از این پژوهش برآورد دمای سطح زمین و نقشه کاربری اراضی شهر زابل به عنوان یکی ازمناطق تحت تأثیر طوفان‌های گردوغبار در شمال شرق استان سیستان بلوچستان با استفاده از فناوری سنجش از دور در خرداد ماه سال ۱۴۰۰ است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی با مساحت ۲۸۸۲۷۶/۹۳ هکتار در موقعیت جغرافیایی ″۰۰ ′۲۰ °۶۱ تا ″۰۰۰ ′۵۰ °۶۱ طول شرقی و ″۰۰ ′۴۰ °۳۰ تا ″۰۰ ′۲۰ °۳۱ عرض شمالی در استان سیستان بلوچستان، شهرستان زابل گسترده شده است (شکل ۱). آب و هوای منطقه گرم و خشک و ارتفاع متوسط منطقه ۴۸۶ متر از سطح دریا است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

تهیه نقشه کاربری اراضی

در پژوهش حاضر برای استخراج نقشه کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۱۴۰۰/۰۳/۱۱(۲۰۲۰/۰۶/۰۱) به شماره گذر ۱۵۷ و شماره ردیف ۰۳۸ و ۰۳۹ استفاده شد. در مرحله پیش پردازش داده‌ها، مقادیر ارزش‌های رقومی پیکسل‌های تصویر به رادیانس تبدیل شد و عملیات تصحیحات اتمسفری تصاویر با استفاده از روش تصحیح اتمسفری QUAC انجام شد و با توجه به قرار

گرفتن منطقه مطالعاتی در ۲ فریم تصویر، تصاویر موزاییک و به اندازه مرز منطقه مطالعاتی برش داده شدند. در مرحله پردازش داده‌ها نمونه‌های تعلیمی برای استخراج کلاس‌های کاربری اراضی شامل: بدون پوشش، ساخته شده، پوشش گیاهی و پیکره آبی با ایجاد ترکیب رنگی کاذب، تفسیر بصری تصویر و گوگل ارث اخذ شد و تعدادی از نمونه‌های تعلیمی برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی در نظر گرفته شد، سپس عملیات طبقه‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با کرنل چند جمله‌ای صورت پذیرفت و دقت طبقه‌بندی با تشکیل ماتریس خطا بررسی شد. به منظور بررسی وضعیت پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی از شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک[1] (SAVI) استفاده شد که از رابطه ۱ به دست می‌آید (Hute, 1988).

$$SAVI = \frac{(\rho NIR - \rho Red)}{(\rho NIR + \rho Red + L)} \times (L + 1)$$ رابطه ۱

در این رابطه که در آن ρNIR مقادیر بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک و ρRed مقادیر بازتاب در باند قرمز و L فاکتور تنظیم کننده خاک برابر با ۰/۵در نظر گرفته شد.

تهیه نقشه دمای سطح زمین با الگوریتم پنجره مجزا

در این مطالعه برای برآورد دمای سطح زمین از روش پنجره مجزا استفاده شد، در این راستا با توجه به قرار گرفتن منطقه مطالعاتی در ۲ فریم تصویر، ابتدا دمای سطح زمین در هر فریم در محدوده منطقه مطالعاتی به طور جداگانه محاسبه و در نهایت تصاویر دمای سطح زمین موزاییک شدند. مراحل روش پنجره مجزا به شرح زیر انجام شد.

برآورد دمای روشنایی

ابتدا ارزش‌های رقومی باندهای حرارتی به رادیانس طیفی بالای اتمسفر تبدیل شد و سپس از رابطه پلانک (رابطه ۲) برای برآورد دمای روشنایی استفاده شد (Rongali et al, 2018).

$$TB = K2 / Ln(k1/L\lambda + 1)$$ رابطه ۲

در این فرمول T_B دمای درخشندگی بر حسب کلوین، $L\lambda$ رادیانس، K_1 و K_2 ضرایب ثابت کالیبراسیون برای باند ۱۰ و ۱۱ هستند که مقادیر آن‌ها برای باند ۱۰ به ترتیب برابر با ۷۷۴/۸۸۵۳، ۱۳۲۱/۰۷۸۹ و برای باند ۱۱ به ترتیب برابر با ۴۸۰/۸۸۸۳ و ۱۲۰۱/۱۴۴۲ است که از متادیتای تصویر استخراج شد.

برآورد قابلیت انتشار سطح زمین

به دلیل تفاوت قابلیت انتشار یک ماده واقعی در مقایسه با یک جسم سیاه، بسته به نوع ماده تشکیل دهنده پدیده های مختلف، در طول موج‌های مختلف ناحیه مادون قرمز حرارتی با یکدیگر،پدیده های مختلف را باوجود دمای یکسان می توان با استفاده از این پارامتر تشخیص داد. هنگامی‌که قابلیت انتشار انرژی از اجسام واقعی در طول موج های مختلف اندازه‌گیری شود، مقادیر متفاوتی حاصل خواهد شد که این امر وابسته به طول موج است (کاکه ممی و همکاران، ۱۳۹۹). برای برآورد قابلیت انتشار سطح زمین از رابطه ۳ استفاده و این معیار به طور جداگانه برای باندهای ۱۰ و ۱۱ شد (Rongali et al, 2018).

$$\varepsilon = \varepsilon_S \times (1 - FVC) + \varepsilon_V \times FVC$$ رابطه ۳

در این رابطه، ε_S گسیلمندی که برای باند ۱۰ برابر با ۰/۹۷۱ و باند ۱۱ برابر با ۰/۹۷۷ و ε_V گسیلمندی پوشش گیاهی که برای باند ۱۰ برابر با ۰/۹۸۷ و برای باند ۱۱ برابر با ۰/۹۸۹ و FVC کسر پوشش گیاهی است که از رابطه ۴ محاسبه شد (Rongali et al, 2018).

$$FVC = (NDVI - NDVI_S)/(NDVI_V - NDVI_S)$$ رابطه ۴

در این رابطه NDVI شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی[2] که محدوده آن بین ۱ و ۱- است و از رابطه ۵ به دست می‌آید (Tucker, 1979). در سطح جهانی $NDVI_S$ برابر با ۰/۲ و $NDVI_V$ برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

1. Soil Adjusted Vegetation Index
2 .Normalized Difference Vegetation Index

رابطه ۵ $$NDVI = (\rho NIR - \rho Red)/(\rho NIR + \rho Red)$$

محاسبه نهایی دمای سطح زمین

پس از محاسبه پارامترهای لازم، دمای سطح زمین از رابطه ۶ محاسبه شد (Rongali et al, 2018). در این فرمول ، TB_{10} و TB_{11} دمای روشنایی باندهای حرارتی ،m میانگین گسیلمندی باندهای حرارتی، ، Δm اختلاف گسیلمندی باندهای حرارتی، W بخار آب موجود در جو (g/cm^2) که از رابطه ۷ محاسبه شد (Liu and Yuanzhi, 2011) و ضرایب C_0 تا C_6 ضرایب الگوریتم پنجره مجزا هستند که مقادیر آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است (Rongali et al, 2018)، سپس از محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از رابطه ۸ نقشه دمای سطح زمین از واحد درجه کلوین به درجه سانتی‌گراد تبدیل شد.

رابطه ۶ $$LST = (TB_{10} + C_1(TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W(1-m) + (C_5 + C_6W)\Delta m$$

رابطه ۷ $$w_i = 0 \cdot 0981 \times \left\{10 \times 0 \cdot 6108 \times \exp[\frac{17 \cdot 27 \times (T_0 - 273 \cdot 15)}{237 \cdot 3 + (T_0 - 273 \cdot 15)}] \times RH\right\} + 0 \cdot 1697$$

در این رابطه، T_0 دمای ثبت شده توسط ایستگاه سینوپتیک (K) و RH رطوبت نسبی است که از ایستگاه هواشناسی دریافت می‌شوند.

رابطه ۸ $$LST_c = LST_k - 273.15$$

جدول ۱- ضرایب الگوریتم پنجره مجزا

ضریب	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
مقدار	-۰/۲۶۸	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳	۵۴/۳۰۰	-۲/۲۳۸	-۱۲۹/۲۰۰	۱۶/۴۰۰

نتایج و بحث

نقشه کاربری اراضی و دمای سطح زمین منطقه مطالعاتی

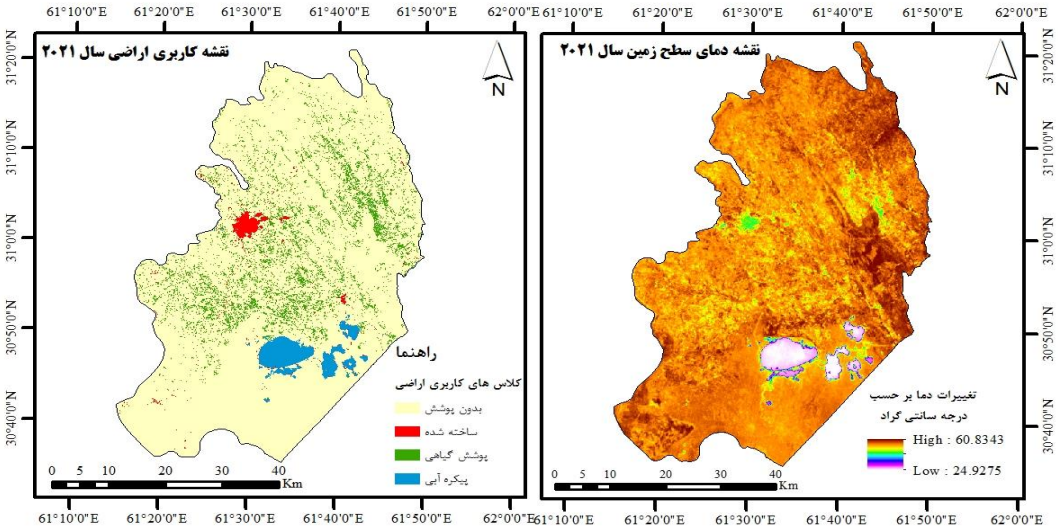
نتایج حاصل از ماتریس خطای طبقه‌بندی در جدول ۲ ارائه شده است که میزان ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۹۸/۸۹ درصد به دست آمد که نشاندهنده صحت بالای روش طبقه‌بندی است. نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعاتی در شکل ۲ ارائه شده و مساحت هر یک از طبقات در جدول ۲ ارائه شده است، بر این اساس اراضی بدون پوشش با مساحت ۲۵۲۶۰۳/۲۷ هکتار معادل با ۷۸/۶۳ درصد از سطح منطقه مطالعاتی بیشترین و اراضی ساخته‌شده با مساحتی برابر با ۳۸۴۶/۴۲ هکتار معادل با ۱/۳۳ درصد از سطح منطقه مطالعاتی کمترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند.

بر اساس نتایج حاصل از برآورد دمای سطح زمین در منطقه مطالعاتی، میزان دمای سطح زمین از ۲۴/۹۲ تا ۶۰/۸۳ درجه‌سانتی‌گراد در سطح منطقه مطالعاتی متغیر است و میانگین آن برابر با ۵۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد است. پیکره‌های آبی به علت ظرفیت گرمایی بالا با میانگین دمای ۲۸/۵۷ درجه سانتی‌گراد کمترین دمای سطح زمین را به خود اختصاص داده‌اند و اراضی بدون پوشش میانگین دمای ۵۳/۱۷ درجه سانتی‌گراد بیشترین میانگین دمای سطح زمین را به خود اختصاص داده‌اند. از سوی دیگر کلاس پوشش گیاهی میانگین دمای بالا و برابر با ۵۰/۷۲ درجه سانتی‌گراد دارد که این مقدار حاکی از شرایط خشکسالی در منطقه مطالعاتی، خشک و تنک بودن پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی است که در این شرایط تبخیر و تعرق توسط گیاه پایین است و پوشش گیاهی انرژی تابشی بیشتری را دریافت و در خود ذخیره می‌کند و در نتیجه دمای بالا برای پوشش گیاهی برآورد شده است. با توجه به اینکه پوشش گیاهی به عنوان یکی از عوامل کاهش دما به شمار می‌آید، اما هر مقدار پوشش گیاهی قادر به کاهش دمای سطح زمین نیست، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در منطقه مطالعاتی مقدار پوشش گیاهی مورد نیاز برای تأثیرگذاری بر میزان دمای سطح زمین و در واقع کاهش دمای سطح زمین وجود ندارد که مقدار میانگین شاخص پوشش گیاهی SAVI در منطقه مطالعاتی نیز برابر با ۰/۰۸ و برای پوشش گیاهی ۰/۲ به دست آمده که این مطلب را تأیید می‌کند (جدول ۲).

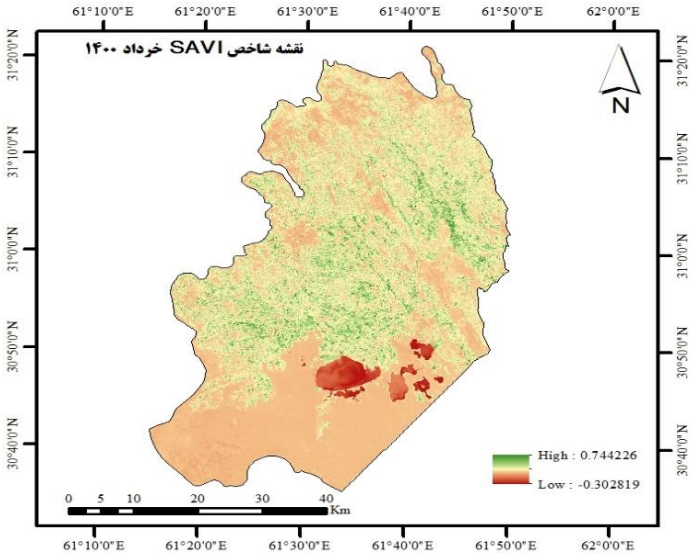
جدول ۲- ارزیابی نتایج طبقه‌بندی و مساحت کلاس‌های کاربری و میانگین دمای سطح زمین در آن‌ها

کاربری	ساخته‌شده	پوشش گیاهی	پیکره آبی	بدون پوشش
هکتار	۳۸۴۶/۴۲	۲۳۵۳۳/۵۶	۸۲۹۳/۶۸	۲۵۲۶۰۳/۲۷

درصد	۱/۳۳	۸/۱۶	۲/۸۸	۸۷/۶۳
میانگین دما	۴۸/۹۳	۵۰/۷۲	۲۸/۵۷	۵۳/۱۷
میانگین SAVI	۰/۰۴	۰/۲	-۰/۰۸	۰/۰۷
دقت کاربر٪	۱۰۰	۹۷/۶۱	۹۹/۹۸	۹۶/۵۲
دقت تولید کننده٪	۸۰/۴۴	۹۹/۵۱	۹۹/۹۸	۸۸/۸۷
ضریب کاپا	۰/۹۷		دقت کلی ٪	۹۸/۸۹



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی و دمای سطح زمین منطقه مطالعاتی



شکل ۳- نقشه شاخص SAVI منطقه مطالعاتی

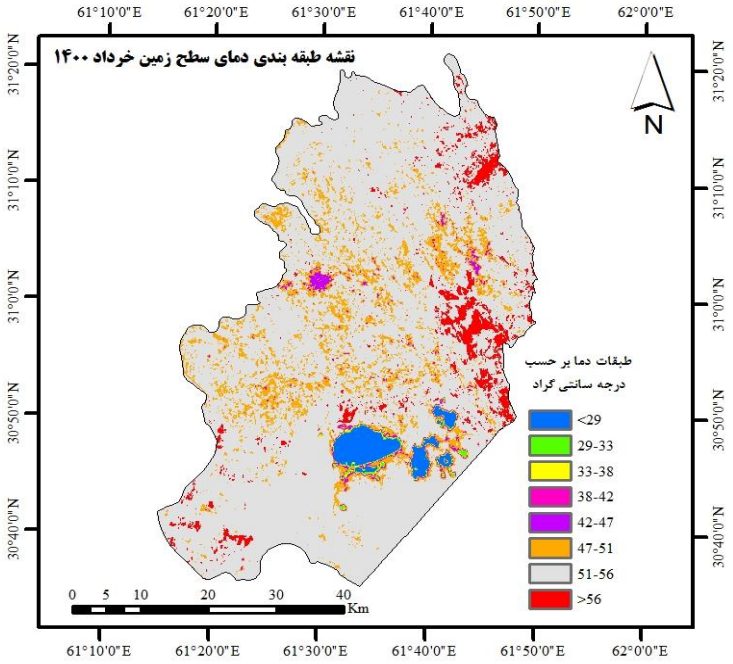
طبقه‌بندی نقشه دمای سطح زمین

به منظور بررسی دقیق‌تر تغییرات دمای سطح زمین، نقشه دمای سطح زمین به ۸ کلاس دمای طبقه‌بندی شد که مساحت هر کدام از این کلاس‌ها در جدول ۳ و نقشه طبقه‌بندی شده در شکل ۴ ارائه شده است، بر این اساس طبقه دمایی ۶ (دمای ۵۶-۵۱ درجه سانتی‌گراد) با ۲۳۶۲۷/۵۱ هکتار معادل با ۸۰/۳۵ درصد از سطح منطقه مطالعاتی بیشترین سطح را به خود اختصاص داده است.

کمترین سطح نیز متعلق به طبقه دمایی ۴ (دمای ۴۲-۳۸) درجه سانتی‌گراد است که ۶۴۱/۱۶ هکتار معادل با ۰/۲۲ از سطح منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده است.

جدول ۳- طبقات دمایی منطقه مطالعاتی- درجه سانتی‌گراد

طبقات دما	<۲۹	۲۹-۳۳	۳۳-۳۸	۳۸-۴۲	۴۲-۴۷	۴۷-۵۱	۵۱-۵۶	>۵۶
هکتار	۶۳۷۴/۷۹	۱۱۰۶/۲۸	۷۹۹/۴۷	۶۴۱/۱۶	۳۱۵۹/۰۹	۳۱۴۲۰/۳۵	۲۳۱۶۲۷/۵۱	۱۳۱۴۸/۲۸
درصد	۲۱/۲	۰/۳۸	۰/۲۸	۰/۲۲	۱/۱	۱۰/۹	۸۰/۳۵	۴/۵۶



شکل ۴- نقشه طبقه‌بندی شده دمای سطح زمین

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج کاربری بدون پوشش با ۸۷/۶۳ درصد بیشترین و کاربری ساخته‌شده با ۱/۳۳ درصد کمترین سطح را به خود اختصاص داده‌اند. میانگین دمای سطح زمین در منطقه مطالعاتی برابر با ۵۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد به دست آمد و کاربری بدون پوشش با ۵۳/۱۷ درجه سانتی‌گراد بیشترین و پیکره آبی با ۲۸/۵۷ درجه سانتی گراد کمترین میانگین دما را شامل شده‌اند. میانگین دمای سطح زمین در پوشش گیاهی برابر با ۵۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. پوشش گیاهی به عنوان یکی از مهم‌ترین دلایل تعدیل دمای سطح زمین به شمار می‌آید و باعث می‌شود که فرایند جذب دما در یک ناحیه صورت نگیرد و همین موضوع کاهش دمای سطح زمین را به دنبال دارد. در صورت عدم وجود پوشش گیاهی فرآیند بازتابش دما صورت نگرفته و این موضوع موجب افزایش دمای سطح زمین می‌شود.

شهر زابل به علت شرایط آب و هوایی، کاهش بارندگی، خشکسالی و وجود منشأهای داخلی تولید گردوغبار و وابستگی به رودخانه هیرمند به عنوان منبع تأمین منابع آب، طی سال‌های اخیر با مشکلات زیست محیطی فراوانی روبرو بوده است. اطلاع از وضعیت پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در شهر زابل در راستای بکارگیری روش‌های مدیریتی صحیح منابع آب، خاک و اراضی از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج این پژوهش نشان داد که در منطقه مطالعاتی پوشش گیاهی کافی برای کاهش دمای سطح زمین وجود ندارد و میانگین دمای سطح زمین در منطقه بالا است که لزوم برنامه‌ریزی مدیریتی برای بهبود وضعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد، علاوه بر آن استفاده از تکنیک سنجش از دور برای پایش مداوم وضعیت منطقه مطالعاتی پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

احمدی، ب.، قربانی، ا.، صفرراد، ط.، سبحانی، بهروز. (۱۳۹۴). بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱) ۷۷-۶۱.

اصغری سراسکانرود، ص.، و امامی، ه. (۱۳۹۸). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM مطالعه موردی: شهرستان اردبیل). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی،۱۹(۳۵). ۲۱۵-۱۹۵.

انتظاری، ع.، زندی، ر.، خسرویان، م. (۱۳۹۸). ارزیابی تغییرات فضایی پوشش گیاهی و دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر لندست و مادیس، مطالعه موردی :استان فارس. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۴). ۹۴۰-۹۲۹.

شعبانی، م.، درویشی، ش.، سلیمانی، ک. (۱۳۹۸). بررسی آثار تغییر کاربری اراضی بر الگوهای زمانی-مکانی دمای سطح زمین و جزایر حرارتی؛ مطالعه موردی شهرستان سقز. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۰(۷۳). ۵۴-۳۷.

کاکه ممی، ا.، قربانی، ا.، اصغری سراسکانرود، ص.، قلعه، ا.، غفاری، س. (۱۳۹۹). بررسی رابطه تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی با دمای سطح زمین در شهرستان نمین. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۱۱(۲). ۴۸-۲۷.

محمودزاده، ح.، نقدبیشی، ا.، مؤمنی، س.(۱۳۹۷). تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر مشهد). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۷(۳). ۱۱۹-۱۰۵.

ولی، ع.، رنجبر، ا.، مکرم، م.، تاری‌پناه، م. (۱۳۹۸). بررسی دمای سطح زمین، ویژگی‌های جغرافیایی و محیطی و شاخص‌های بیوفیزیکی با استفاده از تصاویر لندست. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۳). ۵۸-۳۵.

Adeyeri, O.E., Akinsanola, A.A. Ishola K.A., (2017). Investigating Surface Urban Heat Island Characteristics over Abuja, Nigeria: relationship between land surface temperature and multiple vegetation indices. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 7, 57-68

Feng, Y., Chen, G., Xiaohua, T., Shurui, C., Zhenkun, L., Jiafeng, W. (2019). Spatial Patterns of Land Surface Temperature and Their Influencing Factors: A Case Study in Suzhou, China, *remote sensing*, 11 (82), 2-20.

Hashemi Darebadami, S.,Noraei Sefat, A.,Karimi, S., Nazari, S. (2015). Analysis of trend of urban thermal islands development in relation to land use cover change using time series of Landsat images. *Remote Sensing and Natural Geosciences and Bushehr Natural Resources*, 3, 15-28.

Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 295–309.

Liu, L., & Yuanzhi, Z. (2011). Urban heat island analysis using the landsat tm data and aster data: a case study in hong kong. *Remote Sensing*, (3), 1535-1552

Rahmad, R., Nurman, A., Pinem, K. (2019). Impact Of NDVI Change To Spatial Distribution Of Land Surface Temperature (A Study in Medan City, Indonesia). In: 1st International Conference on Social Sciences and Interdisciplinary Studies.

Rongali, G., Keshari, A. k., Gosain, A.K., Khosa, R. (2018). Split-Window Algorithm for Retrieval of Land Surface Temperature Using Landsat 8 Thermal Infrared Data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2(14),1-19.

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127–150.

Estimation of land surface temperature and land use classification using remote sensing technique and support vector machine algorithm

Abstract

In this study, the relationship between land use and land surface temperature in Zabol City in June 1400 was investigated using Landsat 8 satellite images. The land use map of the study area were extracted in 4 classes, including, barren land, built-up, vegetation and water bodies using support vector machine classification method and a split-window algorithm was used to extract the land surface temperature map. The result showed that the barren land and built-up areas with 87.63 and 1.33 percent, respectively, were allocated the highest and the lowest areas. The mean of land surface temperature in study area was 52.14 ° C and barren land with 53.17 ° C had the highest and water bodies with 28.57 ° C had the lowest mean land surface temperature and also, the values of kappa coefficient and accuracy of 0.98 and 98.89% confirm the validity of the results.The average SAVI vegetation index was equal to 0.08, which indicates that there is not enough vegetation in the study area to reduce the land surface temperature and the necessary management actions should be taken to improve the situation of the study area.

Keywords: **Landsat 8, Split-Window, Light temperature , NDVI**