مجله
آب و خـاک
(علوم و صنایع کشاورزی)

جلد۳۵ شماره ۲
سال ۱۴۰۰

شماره پیاپی ۷۶

شاپا: ۴۷۵۷-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مجله آب و خاک جلد ۳۵ شماره ۲ سال ۱۴۰۰

Journal of Water and Soil Vol.35 No.2 2021

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 35 No. 2
2021

Journal of Water and Soil
(Agricultural Science and Technology)

ISSN:2008-4757

Contents

آب و خاک

(علوم و صنایع کشاورزی)

با شماره پروانه 21/2015 مورخه1368/4/11 و درجه علمی- پژوهشی شماره 26524 تاریخ 1373/10/19 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

جلد35 شماره 2 خرداد- تیر سال 1400

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند.

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: دانشگاه فردوسی مشهد- دانشکده کشاورزی - ص. پ. 1163-91775 - دبیرخانه نشریات علمی- نشریه آب و خاک

پست الکترونیکی: jswa3@um.ac.ir

مقاله‌های این شماره در سایت https://jsw.um.ac.ir/ به صورت کامل نمایه شده است.

این نشریه به صورت دو ماهانه (شش شماره در سال) منتشر می‌شود.

بسم الله الرحمن الرحيم

مندرجات

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 153-165

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۱۶۵-۱۵۳

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی روش‌های پیش‌پردازش داده‌ها در بهبود عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (مطالعه موردی: رودخانه آب زال)

فرشاد احمدی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۹

چکیده

در این مطالعه سعی گردیده تاثیر کاربرد ضرایب فصلی و روش ریاضی تحلیل و پردازش سیگنال تحت عنوان تبدیل موجک در بهبود عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه آب زال در دوره آماری ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶ مورد بحث و بررسی قرار گیرد. بدین منظور داده‌ها در سه حالت مختلف شامل الف) استفاده از داده‌های جریان و در نظر گرفتن نقش حافظه تا چهار تاخیر، ب) دخالت دادن ترم پریودیک در دو حالت خطی (α-GEP) و غیرخطی (PT-GEP) و ج) تجزیه داده‌ها با استفاده از پنج تابع موجک مختلف به دو زیرسری جزئیات و تقریب، آماده و به مدل GEP معرفی گردید. نتایج حاصل از اجرای مدل‌های خطی و غیرخطی GEP نشان داد که در هر دو حالت، مدل با چهار تاخیر به بیشترین دقت در پیش‌بینی جریان رودخانه دست یافته اما عملکرد مدل غیرخطی GEP با توجه به شاخص‌های ارزیابی مورد استفاده اندکی بهتر بود. در مرحله بعد ترم پریودیک به ورودی‌های مدل افزوده شد. براساس نتایج به دست آمده مدل PT-GEP با الگوی M4 کمترین خطا و بیشترین دقت را به خود اختصاص داده و توانسته شاخص RMSE را هشت درصد کاهش دهد. سپس در گام سوم داده‌های جریان رودخانه با استفاده از توابع موجک تجزیه و مدل‌های W-GEP ایجاد گردید. نتایج کلی این پژوهش نشان داد که مدل‌های W-GEP از عملکرد بسیار مطلوبی برخوردار بوده به طوری که می‌توان از آنها به عنوان یک روش موثر در پیش‌بینی جریان میان‌مدت رودخانه‌ها استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی بیان ژن، تابع موجک، سطح تجزیه، مدل هیبرید

مقدمه

تاکنون به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها روش‌های متعددی نظیر مدل‌های سری زمانی، انواع روش‌های رگرسیونی، مدل‌های توزیعی و نیمه توزیعی مبتنی بر فیزیک حوضه و مدل‌های هوش مصنوعی توسعه یافته‌اند. کاربرد مدل‌های سری زمانی و رگرسیونی به دلیل الزام در رعایت نمودن فرض‌های اولیه آماری نظیر نرمال بودن داده‌ها همواره با چالش‌هایی روبه‌رو بوده است. از طرفی مدل‌های توزیعی و نیمه توزیعی نیازمند اطلاعات فراوانی بوده که بعضاً تهیه و آماده‌سازی آنها با صرف زمان و هزینه‌های زیادی همراه است و در صورت عدم دسترسی به اطلاعات بایستی از مقادیر پیش‌فرض مدل استفاده نمود. اما در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های هوش مصنوعی با بهبود عملکرد رایانه‌ها رو به گسترش بوده و از آنها برای حل مسائل پیچیده نظیر پیش‌بینی جریان رودخانه استفاده می‌گردد. یکی از این روش‌ها که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است روش برنامه‌ریزی بیان ژن[2] می‌باشد. برنامه‌ریزی بیان ژن از خانواده الگوریتم‌های فراتکاملی بوده و توانایی بالایی در مدل‌سازی فرایند-های غیرخطی و پویا داشته و به همین دلیل در مطالعات متعددی مورد استفاده قرار گرفته است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

مهر و مجدزاده طباطبایی (۱۸) دقت شبکه عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک را در پیش‌بینی جریان رودخانه آبسرده استان لرستان مورد مقایسه قرار دادند. همچنین عملکرد حافظه در دو مدل فوق برای پیش‌بینی دبی جریان بررسی شده و در نهایت نتایج حاصل

۱- استادیار گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: F.ahmadi@scu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.2021.14975.0

2- Gene Expression Programming

از دو مدل نشان داد که الگوی ورودی با سه تاخیر بهترین حافظه را داشته و برنامه‌ریزی ژنتیک با دقت بهتری نسبت به شبکه عصبی جریان رودخانه را برآورد می‌نماید. احمدی و همکاران (۲) از دو روش برنامه‌ریزی ژنتیک و ماشین بردار پشتیبان برای پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه باراندوزچای در محل ایستگاه هیدرومتری دیزج در خلال سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ بهره بردند. نتایج نشان داد که در هر دو روش، مدل‌های شامل جریان یک، دو و سه روز قبل بالاترین دقت را در مرحله صحت‌سنجی داشتند. با این وجود مقایسه عملکرد دو مدل نشان داد که دقت روش برنامه‌ریزی ژنتیک نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان اندکی بیشتر بود. نوحه‌گر و همکاران (۲۱) به منظور پیش‌بینی جریان روزانه رودخانه حوضه آبریز معرف امامه از مدل‌های برنامه‌ریزی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. این محققان گزارش نمودند که روش GP، از میان مدل‌های مختلف به کار رفته، خطای کمتری داشته و به عنوان روش مناسب جهت پیش‌بینی جریان روزانه معرفی گردید. مهر (۱۷) با استفاده از مدل تلفیقی الگوریتم ژنتیک- برنامه‌ریزی بیان ژن جریان ماهانه رودخانه شاویر واقع در حوضه آبریز سفید رود را پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان داد که هیبرید GEP و الگوریتم ژنتیک نسبت به مدل ساده GEP از عملکرد بسیار بهتری برخوردار بود. مهر و نورانی (۱۹) با استفاده از روش برنامه‌ریزی بیان ژن چندگانه، فرآیند بارش و رواناب حوضه آبریز هالدیزن[1] واقع در کشور ترکیه را بررسی نموده و گزارش نمودند که مدل مذکور از دقت بسیار بالایی در برآورد جریان برخوردار است. مطالعات دیگری نیز در این زمینه صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به هادی و تامبل (۱۱)، کومار و همکاران (۱۲)، رحمانی رضایی و همکاران (۲۴) و آشفته و همکاران (۴) اشاره نمود.

در کاربرد مدل‌های هوشمند انتخاب جمعیت‌های اولیه تصادفی مختلف و تاثیرگذار در پدیده (که در برنامه‌ریزی بیان ژن به عنوان داده‌های آموزشی از آن‌ها یاد می‌شود) به منظور آموزش فرآیندها و سازوکار حاکم، موجب پیچیدگی الگو و افزایش حافظه درگیر شده و در نتیجه عملکرد مدل را کاهش می‌دهد (۱۸). لذا در پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها بایستی داده‌های موثر در اختیار مدل قرار گیرند اما، سری های زمانی ثبت شده هیدرولوژیک، با مشکلاتی همچون خاصیت تناوبی و وجود نویز سفید در داده‌ها مواجه هستند (۱). عوامل مذکور موجب کاهش دقت شده و برآوردها را به حالت نااریب تبدیل می‌نمایند (۲۲). برای حل این مشکلات می‌توان از روش‌هایی همچون پیش‌پردازش داده‌ها و کمک به تشخیص ترم پریودیک[2] (برای مدل‌سازی خاصیت تناوبی) و تلفیق مدل‌های هوشمند و توابع موجک استفاده نمود. استفاده از این روش‌ها در پژوهش‌های مختلفی مورد نظر بوده به طوریکه لوهانی و همکاران (۱۴) و منتصری وقویدل (۲۰) هریک با استفاده از رویکردهای متفاوت خاصیت تناوبی اقدام به مدل‌سازی جریان رودخانه در مقیاس ماهانه نموده و تاثیر مثبت آن را در بهبود عملکرد مدل‌های هوشمند تایید نمودند. تابع موجک نیز یک روش ریاضی بوده که داده‌ها را به دو زیرسری تقریب و جزئیات تقسیم نموده و از این طریق اطلاعات مورد نیاز مدل‌ها را با الگوی مناسب‌تری در اختیار آنها قرار می‌دهد. در مطالعات متعددی همچون پارمار و همکاران (۲۲)، سان و همکاران (۲۶)، فریر و همکاران (۹) و یاسین و همکاران (۲۹) کارایی تلفیق مدل‌های هوشمند و توابع موجک در پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژیک گزارش گردیده است.

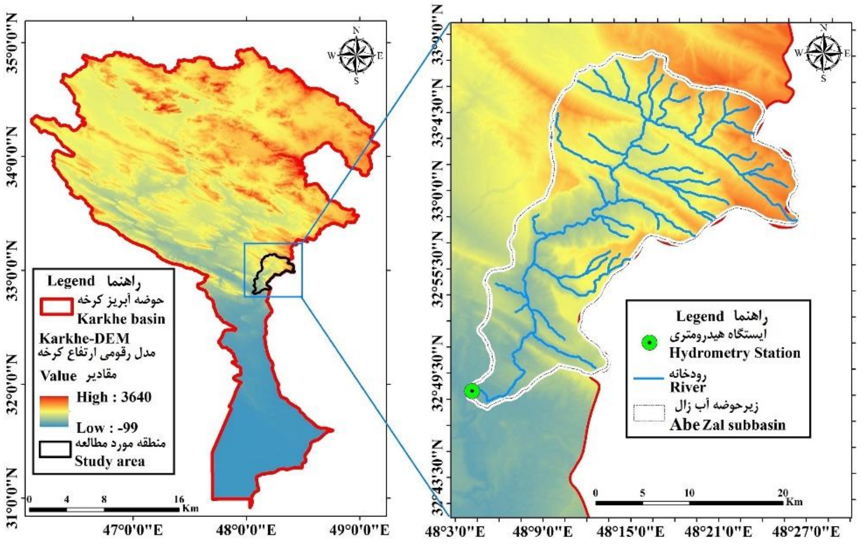
با توجه به پیشینه پژوهش ارائه شده مشاهده می‌شود که تخمین پارامترهای هیدرولوژیکی هم‌چون پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها از دیرباز مورد توجه محققین امر بوده و بدین منظور روش‌های متعددی از جمله مدل‌های تجربی- نیمه تجربی، سری‌های زمانی، مدل‌های هوشمند و مدل‌های هیبریدی ارائه شده‌اند. در این میان مدل‌های هیبریدی با تلفیق روش‌های هوشمند و پیش‌پردازش داده‌ها می‌توانند پارامترهای هیدرولوژیک را با دقت قابل توجهی برآورد نمایند. لذا در این تحقیق سعی گردیده است تا میزان بهبود عملکرد روش GEP با استفاده از توابع موجک و افزودن ترم پریودیک مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و مناسب‌ترین ترکیب هیبریدی برپایه GEP معرفی گردد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه از اطلاعات جریان ایستگاه هیدرومتری پل زال واقع بر رودخانه آب زال در دوره آماری ۱۳۵۱ تا ۱۳۹۶ استفاده شده است. رودخانه زال از کوه‌های میان‌کوه شرقی خرم‌آباد لرستان در منطقه‌ای به نام کوس کاوه (باغ کاوه) سرچشمه گرفته و به رودخانه سیمره واقع در منطقه‌ای به نام پل زال (منطقه گرمسیری) می‌ریزد. در طول مسیر (سردسیر) چندین چشمه نیز به این رودخانه می‌ریزند، از جمله: انارود کوچک و بزرگ، چشمه خارماسینه کو و آب چهل گوار (گذر). در ادامه مسیر، این رودخانه از یک تنگه به نام هلد می‌گذرد که انتهای مسیر سردسیر آن محسوب می‌شود. سپس با عبور از دره‌ای عمیق، وارد تنگه کرکی می‌شود. در ادامه با عبور از کول چپ، درکی، دیکپل، تنگه زینکی، تنگه هرندی و تنگه چین زال به پایان راه خود رسیده و به رودخانه سیمره که یکی از سرچشمه‌های مهم رودخانه کرخه می باشد می‌پیوندد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه و منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز کرخه را نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۱ مشخصات فیزیکی و آبدهی حوضه آبریز آب زال ارائه شده است.

1- Haldizen Catchment
2- Periodic Term (PT)



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در حوضه آبریز کرخه
Figure 1- Location of study area in the Karkhe basin

جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه آبریز مورد مطالعه (۱۳۹۶-۱۳۵۱)
Table 1- The physiographic and hydrological characteristics of the study are (1972-2017)

ردیف Row	پارامتر Parameter	مقدار Value
1	میانگین آبدهی در محل ایستگاه هیدرومتری (MCM) Mean annual discharge volume (MCM)	271.5
3	مساحت کل حوضه (km^2) Area (km^2)	618.5
4	محیط کل حوضه (km) Perimeter (km)	135.6
5	طول شاخه اصلی (km) Length of main river (km)	73.8
6	متوسط ارتفاع حوضه (m) Average basin height (m)	1481.5

مدل برنامه‌ریزی بیان ژن

در سال‌های اخیر، سیستم‌های متفاوتی از الگوریتم‌های ژنتیک گسترش یافته‌اند؛ الگوریتم‌های قدرتمندی که از سیر تکاملی طبیعی الهام گرفته‌اند و می‌توانند در طیف وسیعی از علوم بکار گرفته شوند. این الگوریتم‌ها از لحاظ ساختاری می‌توانند به سه گروه اصلی تقسیم شود (۸): ۱) الگوریتم‌های ژنتیک با افرادی شامل کروموزوم‌های خطی با طول ثابت و بدون بیانی پیچیده. در این سیستم‌ها کروموزوم‌ها طبق برتری خصوصیات فردیشان حفظ می‌شوند و به الگوریتم ژنتیک[1] (GA) معروف هستند. ۲) الگوریتم‌های ژنتیک با افرادی شامل ساختارهای شاخه‌ای[2] از اندازه‌ها و اشکال متفاوت و توانا در پذیرش تعداد بیشتری از عوامل. در این سیستم‌ها نیز ساختارهای شاخه‌ای طبق برتری خصوصیات فردیشان حفظ می‌شوند که برنامه‌ریزی ژنتیک (GP) نامیده می‌شوند. ۳) الگوریتم‌های ژنتیک با افراد کدگذاری شده به شکل کروموزوم‌های خطی با طولی ثابت و قابل بیان به شکل ساختارهای شاخه‌ای با اندازه‌ها و اشکال متفاوت. در این سیستم‌ها کروموزوم‌ها بواسطه برتری عوامل سببی روی فنوتیپ[3] (ساختارهای شاخه‌ای) حفظ می‌شوند و به برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) معروف هستند.

این طبقه‌بندی به طور واضح رابطه بین GEP و GP را نشان می‌دهد که هر دو در سیر تکاملی برنامه‌های کامپیوتر به صورت ساختارهای شاخه‌ای بکار گرفته می‌شوند (۸). برنامه‌ریزی بیان ژن

1- Genetic Algorithm
2- Ramified Structures
3- Phenotype

(GEP) نیز همانند الگوریتم ژنتیک (GA) و برنامه‌ریزی ژنتیک (GP)، یک الگوریتم ژنتیکی است بطوری که از جمعیتی از افراد استفاده می‌کند، آنها را مطابق برازندگی انتخاب می‌کند و تغییرات ژنتیکی را با استفاده از یک یا چند عملگر ژنتیکی اعمال می‌نماید. همانطور که ذکر شد، تفاوت اساسی بین این سه الگوریتم، مربوط به ماهیت افراد آنهاست؛ بطوری که در GA افراد رشته‌های خطی با طول ثابت (کروموزوم‌ها) و در GP نهادهای غیرخطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (درختان تجزیه) می‌باشند؛ در حالی که در GEP، افراد به صورت رشته‌های خطی با طول ثابت (ژنوم یا کروموزوم‌ها) کدگذاری شده و سپس به شکل نهادهای غیرخطی با اندازه‌ها و اشکال متفاوت (یعنی نمایش دیاگرام ساده یا بیان درختی) توصیف می‌شوند (۱۰). فرآیند گام به گام حل یک مسئله با استفاده از برنامه ریزی بیان ژن متشکل از پنج مرحله به شرح زیر می‌باشد: ۱) انتخاب مجموعه ترمینال: که همان متغییرهای مستقل مسئله و متغییرهای حالت سامانه می‌باشند. ۲) انتخاب مجموعه توابع: که شامل عملگرهای حسابی، توابع آزمون و توابع بولی می‌باشد. ۳) شاخص اندازه‌گیری دقت مدل که برمبنای آن می‌توان مشخص نمود که توانایی مدل در حل یک مسئله خاص تا چه اندازه می‌باشد. ۴) مولفه-های کنترل: مقادیر مولفه‌های عددی و متغییرهای کیفی که برای کنترل اجرای برنامه‌ها استفاده می‌شوند. ۵) شرط توقف اجرای برنامه: که معیاری برای حصول نتیجه و توقف اجرای برنامه می‌باشد. در مطالعه حاضر از برنامه GeneXproTools که توسط فریرا (۸) ارائه شده است، برای توسعه و اجرای دو نوع مدل خطی و غیرخطی GEP استفاده شد. مدل خطی GEP براساس عملگرهای $\{+,-,\times,\div\}$ و مدل غیرخطی به کارگیری توابع $\{\sqrt[2]{\ }, \exp, X^2, X^3, \mathrm{Sin}, \mathrm{Cos} +,-,\times,\div\}$ توسعه داده شد (۸).

توابع موجک

مطالعات فوریه در قرن ۱۷ میلادی پایه و اساس اولیه تحلیل سیگنال‌ها را مطرح و زمینه را برای ابداع تئوری موجک فراهم نمود. سال‌های متمادی پژوهش‌گران برای تحلیل داده‌های نامنظم و متناوب از تحلیل فوریه استفاده کرده و در بسیاری از موارد نتایج با خطای قابل توجهی همراه بود. برای رفع نقیصه‌های این روش نظریه موجک را معرفی گردید (۲۵). نظریه موجک با کاربرد تئوری‌های مهندسی و ریاضیاتی به سرعت توسعه یافته و سادگی کاربرد آن در زمینه‌های مختلف امکان استفاده و تحلیل داده‌ها را با دقت قابل قبولی ارائه نمود. موج کوچک یا موجک باید دارای تعداد نوسان‌های محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی از دامنه خود و میانگین صفر باشد. این خصوصیات تحت عنوان شرط "پذیرفتگی[1]" شناخته می‌شود. یکی از مشخصات کاربردی تابع موجک، الگوریتم فیلترسازی آن است که با عبور دادن داده‌ها از فیلتر مربوطه، آنها را به دو دسته تقریب و جزئیات تقسیم می‌نماید. تقریب نماینده اجزا با فرکانس پایین یا مقیاس بالا و جزئیات شامل اجزایی با مقیاس کوچک یا فرکانس بالا بوده و فرآیند تجزیه امواج می‌تواند تا چندین مرحله ادامه یابد (۲۷). A0، A1، A2 و ... ضرایب بالاترین سطوح تقریب و Dj ضریب جزئیات تابع F(x) است. در صورت ادامه مراحل تجزیه، این روند می‌تواند با تجزیه مداوم تقریب‌ها تکرار گردد. بدین ترتیب یک موج به زیر مجموعه‌هائی مانند شکل ۱ تقسیم می-شود که آن را درخت تجزیه موجک می‌نامند (۲۳).

تابع موجک را می‌توان به عنوان تابعی تعریف نمود که دو ویژگی مهم نوسانی بودن و کوتاه مدت بودن را دارا می‌باشد. $\psi(x)$ تابع موجک است اگر و فقط اگر تبدیل فوریه آن $\psi(\omega)$ رابطه زیر را ارضا نماید:

$$\varphi(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x)dx = 0 \qquad (۱)$$

شرط همان شرط پذیرفتگی برای موجک $\psi(x)$ بوده و این ویژگی (تابع با میانگین صفر)، چندان محدود کننده نبوده و می‌توان توابع بسیاری را بر اساس آن تابع موجک نامید. $\psi(x)$ تابع موجک مادر است که توابع مورد استفاده در تحلیل، با دو عمل ریاضی انتقال و مقیاس در طول سیگنال مورد بررسی، تغییر اندازه و تغییر محل داده می‌شوند (رابطه ۲).

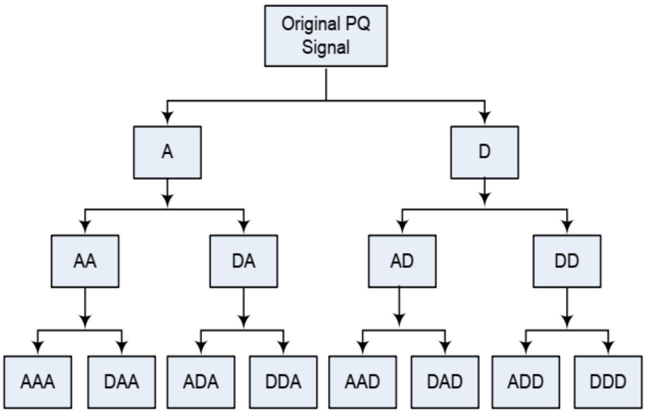
$$\varphi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}}\varphi\left(\frac{x-b}{a}\right) \qquad (۲)$$

در نهایت ضرایب موجک در هر نقطه از سیگنال (b) و برای هر مقدار از مقیاس (a) با استفاده از رابطه ۳ قابل محاسبه می‌باشد (۱۶).

$$T(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}}\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right)f(t)dt \qquad (۳)$$

به ازای مقادیر مختلف a و b مقدار T قابل محاسبه بوده و زمانی‌که T بیشترین مقدار مثبت را به خود اختصاص دهد در این صورت می‌توان انتظار داشت که بیشترین انطباق نیز حاصل گردد. در صورتی که $T=0$ باشد، در این صورت انتطباقی وجود نداشته و به ازای Tهای کوچکتر از صفر انطباق عکس یا بیشترین اختلاف وجود خواهد داشت (۶). توابع موجک مادرها دارای انواع بسیاری هستند که در این مطالعه از توابع موجک هار، دابچیز، سیملت، میر و کویفلت برای تجزیه داده‌های ماهانه جریان رودخانه استفاده گردید.

1- Admissibility



شکل ۲- درخت تجزیه موجک

Figure 2- Wavelet packet decomposition tree

یکی از مراحل مهم در کاربرد توابع موجک انتخاب سطح تجزیه مناسب برای تحلیل سیگنال مورد نظر می‌باشد. بدین منظور در مطالعه حاضر از رابطه پیشنهادی دینگ و وانگ (۲۸) به شرح زیر استفاده شد:

$$L = Int[Log(N)] \qquad (۴)$$

در رابطه فوق، L تعداد سطح تجزیه، N طول سری داده‌های اولیه و INT عملگر صحیح می‌باشد. با تجزیه هریک از سری داده‌ها، واریانس سری‌های زمانی اولیه به زیرسری‌های تقریب و جزئیات منتقل شده و هیچ گونه اطلاعاتی از سری زمانی اولیه از بین نخواهد رفت (۱۳). بطوری‌که با معکوس نمودن فرایند ارائه شده در شکل ۲ می‌توان با دقت بالایی سری زمانی اولیه را بازسازی نمود (۵). پس از انتخاب سطح تجزیه مناسب می‌توان مدل‌های تلفیقی را ایجاد نمود.

مدل‌های هیبریدی

در این مطالعه برای ایجاد مدل‌های هیبریدی از توابع موجک و خاصیت تناوبی استفاده می‌شود. در اغلب مطالعات انجام شده بیشتر به رابطه خطی موجود در بین داده‌های ورودی به مدل‌ها تاکید شده و رابطه تناوبی چندان مورد توجه قرار نگرفته است از این رو در مطالعه حاضر از عبارت‌های $\sin[2\pi.i/12]$ و $\cos[2\pi.i/12]$ ($i = 1, \ldots, 12$) برای بسط اثر خاصیت پریودیک غیرخطی جریان استفاده شده و به عنوان ورودی به مدل GEP افزوده شده و مدل PT-GEP ایجاد گردید (۱۵). همچنین منتصری و قویدل (۲۰) پیشنهاد نمودند که که یک ضریب تحت عنوان α که نماینده ماه‌های سال می‌باشد و حالت خطی دارد نیز می‌تواند خاصیت تناوبی را برای مدل α-GEP معرفی نماید. در مرحله بعد داده‌های دبی جریان ماهانه با استفاده از توابع موجک مختلف با سطح تجزیه مناسب پردازش شده و به عنوان ورودی به مدل GEP معرفی گردیده و به این صورت مدل W-GEP ایجاد شد.

شاخص‌های ارزیابی مدل

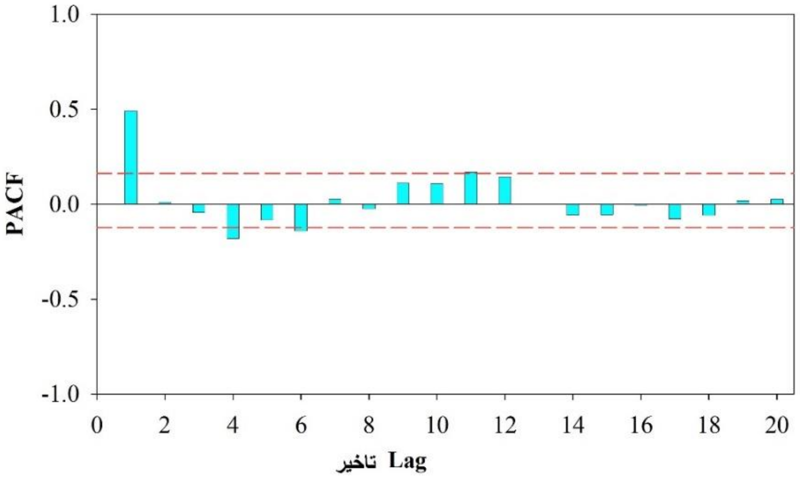
در این مطالعه برای ارزیابی مدل‌های مورد بررسی از معیارهای جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (R) و میانگین خطای مطلق استفاده شد. لازم به ذکر است مدلی که کمترین مقدار RMSE و MAE و بیشترین مقدار R را به خود اختصاص دهد به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب می‌گردد.

$$R = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2}\right)^{0.5} \qquad (۵)$$

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}\right)^{0.5} \qquad (۶)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n} \qquad (۷)$$

که در روابط فوق Q_i مقدار مشاهده شده در گام زمانی i ام، $\hat{Q}_i$ مقدار محاسبه شده در همان زمان، n تعداد داده‌ها و $\bar{Q}$ میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشد.



شکل ۳- مقادیر تابع PACF برای سری ماهانه جریان رودخانه

Figure 3- The partial autocorrelation function (PACF) of the monthly streamflow data

جدول ۲- پارامترهای ورودی و خروجی استفاده شده برای توسعه مدل‌های خطی و غیرخطی GEP

Table 2- Input and output parameters used to develop the linear and nonlinear GEP models

ردیف Row	الگو Pattern	اطلاعات ورودی و خروجی Input and output parameters
1	M1	$Q_t = f\ (Q_{t-1})$
2	M2	$Q_t = f\ (Q_{t-1}, Q_{t-2})$
3	M3	$Q_t = f\ (Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3})$
4	M4	$Q_t = f\ (Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4})$

نتایج و بحث

پیش‌بینی جریان ماهانه با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی GEP و ضرایب فصلی

در این مطالعه برای مدل‌سازی جریان ماهانه ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش (از مهر ۱۳۵۱ تا شهریور ۱۳۸۷ به مدت ۴۳۲ ماه) و ۲۰ درصد برای صحت‌سنجی (از مهر ۱۳۸۷ تا شهریور ۱۳۹۶ به مدت ۱۰۸ ماه) در نظر گرفته شد. یکی از مهمترین مراحل مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژیک تعیین ورودی‌های مورد نیاز مدل برای محاسبه لایه خروجی است. به منظور پیش‌بینی جریان رودخانه می‌توان از اطلاعاتی همچون بارش، دما، تبخیر و سایر پارامترهای موثر در پدیده استفاده نمود اما لزوما استفاده از این متغیرها موجب بهبود عملکرد مدل نشده و هزینه‌های جمع‌آوری اطلاعات را نیز افزایش می‌دهد. بنابراین در مطالعات متعددی همچون احمدی و همکاران (۱ و ۳) و تیب و همکارن (۲۷) از داده‌های تاخیر یافته جریان رودخانه برای مدل‌سازی استفاده شده است. اما همواره سوال اصلی در این روش، انتخاب تعداد تاخیرهای مناسب برای مدل‌سازی است. بدین منظور می‌توان از تابع PACF استفاده نمود (۲۰). در شکل ۳ نمودار تابع مذکور برای سری ماهانه ایستگاه پل زال ارائه شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که بعد از تاخیر اول، تاخیرهای دوم و سوم داخل باند اطمینان قرار گرفته و سپس در تاخیر چهارم مقدار PACF خارج از باند اطمینان واقع می‌شود. از این رو در مطالعه حاضر تا چهار تاخیر برای مدل‌سازی در نظر گرفته شده و به شرح جدول ۲ مدل‌های خطی و غیرخطی GEP توسعه داده شدند.

نتایج حاصل از اجرای مدل‌های خطی و غیرخطی GEP در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که در مرحله آموزش مقدار خطای مدل (شاخص‌های RMSE و MAE) در شرایطی که مدل از توابع مختلف استفاده می‌کند کمتر از حالت خطی است. به عنوان مثال مقدار MAE مدل خطی GEP در مرحله آموزش بین ۵/۳۵۸ (m^3/s) تا ۵/۲۵۹ (m^3/s) واقع شده و در مدل غیرخطی این مقدار از ۵/۲۲۰ (m^3/s) تا ۴/۹۳۳ (m^3/s) تغییر می‌کند. به عبارت دیگر کاربرد توابعی مازاد بر توابع بولی این امکان را برای مدل GEP فراهم نموده تا داده‌های مشاهداتی را با خطای کمتری برآورد نماید به طوری که در بهترین حالت خود در الگوی M4 توانسته در مرحله آموزش و تست براساس آماره MAE به ترتیب ۸/۶ ٪ و ۱۶/۶ ٪ خطا را کاهش دهد. بنابراین با توجه به نتایج حاصله، مدل غیرخطی GEP برای ادامه محاسبات انتخاب گردید.

در جدول ۵ نتایج حاصل از اجرای مدل غیرخطی GEP برای ورودی‌های فصلی ارائه شده است. با مقایسه دو جداول ۳ و ۵

مشاهده می‌شود که خطا در حالت فصلی کـاهش داشـته و در نتیجـه استفاده از ضرایب فصلی توانسته دقت مـدل GEP را افـزایش دهـد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تاخیر، عملکرد مـدل در دو حالت فصلی و غیرفصلی افزایش می‌یابد اما با افزودن تاخیرهـای دوم و سوم، بهبود چندانی در مدل‌سازی مشاهده نمی‌شود. دلیل این امر را می‌توان با استفاده از شکل ۳ توجیه نمود. در این شکل PACF مرتبه های دوم و سوم بسیار ناچیز بوده و عملا در باند اطمینان قـرار دارنـد اما تاخیر مرتبه چهار معنی‌دار بوده و توانسته دقـت را بـه طـور قابـل ملاحظه‌ای در مقایسه با الگوهای M2 و M3 بهبود بخشد.

همانگونه که ذکر گردید، در این مطالعه از ضـرایب فصـلی بـرای مدل‌سازی و پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه اسـتفاده گردیـد. بـدین منظور مدل غیرخطی GEP برای سه حالت PT-GEP، α-GEP و PT-αGEP توسعه داده شد. الگوهای ایجاد شـده در جـدول ۴ ارائـه شده است. منتصری و قویدل (۲۰) و لوهانی و همکـاران (۱۴) از ایـن شیوه برای ارائه خاصیت تناوبی به مدل‌های هوشمند و از جمله روش GEP استفاده نموده‌اند (۲۰ و ۱۴). این ضـرایب مـی‌تواننـد بـا کمـی کردن خاصیت تناوبی موجود در داده‌ها که بیشتر مرتبط به زمان مـی باشد، مرحله آموزش مدل را بهبود بخشند.

نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که مدل PT-GEP بـا الگوی M4 توانسته کمترین خطا و بیشترین دقت را در برآورد جریان ماهانه به خود اختصاص دهد و مدل‌هـای α-GEP و PT-α-GEP در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که استفاده از خاصیت تناوبی غیرخطی می‌تواند اطلاعـت مفیـدتری را در اختیار مدل قرار دهد. اما استفاده همزمان از خاصیت تناوبی خطی (α) و غیرخطی نتوانسـته خطـای بـرآورد GEP را کـاهش دهـد. مهـر و همکاران (۱۸) نشان دادند که با افزایش ورودی‌های مـدل GP لزوماً نتایج بهتری به دست نمی‌آید. ایشان جریان ماهانـه را تـا پـنج تـاخیر زمانی پیش‌بینی نموده و بهترین الگوی ورودی را با سه تـاخیر زمـانی برای برآورد دبی جریان معرفی نمودند. بنابراین مشاهده می‌شـود کـه اعمال ورودی‌های هم‌نوع همچون دبی یا خاصیت تناوبی نمـی‌توانـد نتیجه بهتر را به همراه داشته باشد. نتایج این مطالعـه بـا یافتـه‌هـای احمدی و همکاران (۱) و فربودنام و همکاران (۷) نیز مطابقت دارد (۱ و ۷).

جدول ۳- مقادیر آماره‌های RMSE، R و MAE حاصل از مدل‌های خطی و غیرخطی GEP
Table 3- Values of RMSE, R and MAE statistics obtained from the linear and nonlinear GEP models

ردیف Row	الگو Pattern	نوع مدل Model type	مرحله آموزش Training phase RMSE (m^3/s)	R	MAE (m^3/s)	مرحله تست Testing phase RMSE (m^3/s)	R	MAE (m^3/s)
1	M1	Linear	6.405	0.512	5.358	4.657	0.620	3.242
		Non-Linear	6.241	0.601	5.221	4.494	0.624	3.201
2	M2	Linear	6.380	0.603	5.254	4.553	0.622	3.164
		Non-Linear	6.221	0.606	5.143	4.483	0.626	3.178
3	M3	Linear	6.353	0.605	5.159	4.483	0.625	3.147
		Non-Linear	6.166	0.610	5.064	4.451	0.628	2.904
4	M4	Linear	5.970	0.614	5.051	4.307	0.634	2.839
		Non-Linear	**5.531**	**0.623**	**4.933**	**4.093**	**0.660**	**2.782**

جدول ٤- پارامترهای ورودی و خروجی استفاده شده برای توسعه مدل‌های فصلی و غیرخطی GEP
Table 4- Input and output parameters used to develop the seasonal and nonlinear GEP models

ردیف Row	الگو Pattern	نوع مدل Model type	اطلاعات ورودی و خروجی Input and output parameters
1	M1	α-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, \alpha\right)$
		PT-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, \cos[2\pi.i/12], \sin[2\pi.i/12]\right)$
		PT-α-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, \cos[2\pi.i/12], \sin[2\pi.i/12], \alpha\right)$
2	M2	α-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, \alpha\right)$
		PT-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, \cos[2\pi.i/12], \sin[2\pi.i/12]\right)$
		PT-α-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, \cos[2\pi.i/12], \sin[2\pi.i/12], \alpha\right)$
3	M3	α-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, \alpha\right)$
		PT-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, \cos[2\pi.i/12], \sin[2\pi.i/12]\right)$
		PT-α-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, \cos[2\pi.i/12], \sin[2\pi.i/12], \alpha\right)$
4	M4	α-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4}, \alpha\right)$
		PT-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4} \cos[2\pi.i/12], \sin[2\pi.i/12]\right)$
		PT-α-GEP	$Q_t = f\left(Q_{t-1}, Q_{t-2}, Q_{t-3}, Q_{t-4} \cos[2\pi.i/12], \sin[2\pi.i/12], \alpha\right)$

جدول ۵- مقادیر آماره‌های RMSE، R و MAE حاصل از مدل‌های فصلی GEP

Table 5- Values of RMSE, R and MAE statistics obtained from the linear and nonlinear GEP models

ردیف Row	الگو Pattern	نوع مدل Model type	مرحله آموزش Training phase RMSE (m^3/s)	R	MAE (m^3/s)	مرحله تست Testing phase RMSE (m^3/s)	R	MAE (m^3/s)
1	M1	α-GEP	5.894	0.606	5.174	4.238	0.651	3.182
		PT-GEP	5.617	0.616	5.012	4.102	0.702	3.107
		PT-α-GEP	5.738	0.610	5.124	4.213	0.691	3.167
2	M2	α-GEP	5.736	0.612	5.153	4.229	0.659	3.106
		PT-GEP	5.615	0.621	4.983	4.023	0.697	2.921
		PT-α-GEP	5.668	0.618	5.018	4.109	0.684	3.009
3	M3	α-GEP	5.701	0.616	5.127	4.191	0.709	2.957
		PT-GEP	5.523	0.629	4.851	3.956	0.726	2.809
		PT-α-GEP	5.614	0.625	4.964	4.014	0.714	2.907
4	M4	α-GEP	5.510	0.623	5.102	3.882	0.741	2.713
		PT-GEP	**5.411**	**0.642**	**4.691**	**3.789**	**0.808**	**2.697**
		PT-α-GEP	5.456	0.639	4.741	3.940	0.731	2.729

پیش‌بینی جریان ماهانه با استفاده از مدل هیبریدی موجک و GEP (W-GEP)

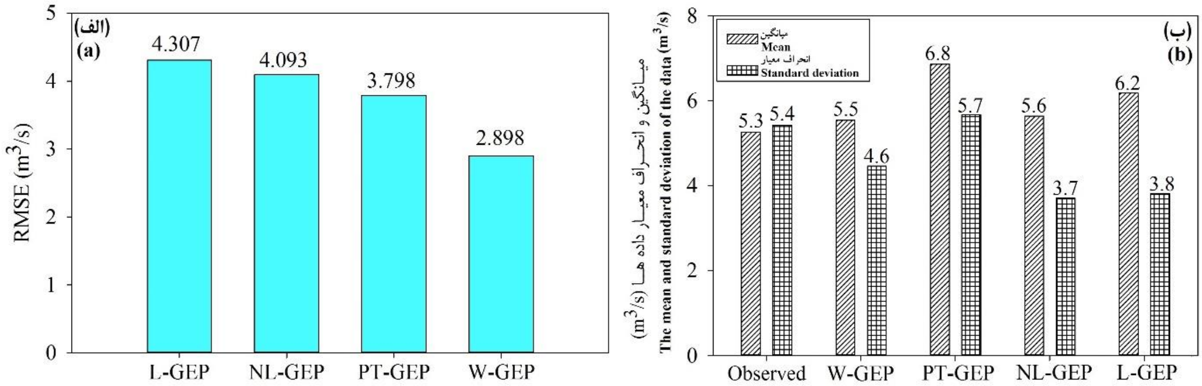
یکی از اهداف مهم مطالعه حاضر کاربرد توابع موجک در پیش پردازش داده‌های ورودی به مدل GEP می‌باشد. در این مرحله داده‌های دبی جریان ماهانه توسط موجک‌های هار (haar)، دابچیز ۴ (db4)، سیملت (sym)، میر (mey) و کویفلت (coif) به زیرسری‌های تقریب و جزئیات تبدیل شدند. به این ترتیب تمامی ویژگی‌ها و جزئیات موجود در داده‌ها نمایان شده که این خود باعث افزایش کارایی مدل می‌گردد (۲۵). برای تعیین سطح تجزیه از رابطه ۴ استفاده شد. براین اساس، سطح تجزیه مناسب با توجه به تعداد داده های مورد بررسی عدد دو به دست آمد اما در پژوهش حاضر به منظور اطمینان بیشتر، داده‌ها تا سه سطح تجزیه شدند.

نتایج حاصل از اجرای مدهای W-GEP در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که موجک‌های هار، میر و کویفلت با سطح تجزیه دو توانسته‌اند بهترین اطلاعات را در اختیار مدل GEP قرار دهند. همچنین موجک‌های دابچیز ۴ و سیملت با سطح تجزیه یک به بیشترین دقت دست یافته‌اند. علاوه براین مشاهده می‌شود که هیچ یک از موجک‌ها با سطح تجزیه ۳ نتوانسته کمترین مقدار خطا را حاصل نماید. این امر نشان می‌دهد که رابطه ۴ به خوبی می‌تواند تعداد سطح تجزیه مناسب را تعیین کند. این نتیجه با یافته‌های سلگی و همکاران (۲۵) مطابقت دارد.

جدول ٦- مقادیر آماره‌های RMSE، R و MAE حاصل از مدل هیبریدی W-GEP

Table 6- Values of RMSE, R and MAE statistics obtained from the hybrid W-GEP models

ردیف Row	موجک Wavelet	سطح تجزیه Decomposition level	مرحله آموزش Training phase RMSE (m^3/s)	R	MAE (m^3/s)	مرحله تست Testing phase RMSE (m^3/s)	R	MAE (m^3/s)
1	haar	1	5.393	0.642	4.817	3.889	0.723	2.825
		2	**4.692**	**0.717**	**4.430**	**3.817**	**0.718**	**2.334**
		3	4.814	0.703	4.664	4.175	0.657	2.696
2	db4	**1**	**4.230**	**0.763**	**4.358**	**3.077**	**0.830**	**1.976**
		2	4.400	0.743	4.669	3.100	0.826	2.155
		3	4.168	0.764	4.627	3.810	0.748	2.580
3	sym	**1**	**4.003**	**0.770**	**4.116**	**2.898**	**0.847**	**1.745**
		2	4.326	0757	4.593	2.976	0.840	2.053
		3	4.286	0.761	4.665	3.103	0.825	2.222
4	mey	1	4.826	0.702	4.895	3.762	0.746	2.720
		2	**4.291**	**0.746**	**4.494**	**3.192**	**0.811**	**2.151**
		3	4.373	0.742	4.589	3.210	0.808	2.183
5	coif	1	4.980	0.703	4.717	3.881	0.721	2.839
		2	**4.785**	**0.705**	**4.693**	**3.569**	**0.760**	**2.559**
		3	4.796	0.701	4.723	3.584	0.751	2.631



شکل ٤- (الف) مقادیر آماره RMSE و (ب) میانگین و انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و محاسباتی حاصل از مدل‌های مورد بررسی

Figure 4- (a) The values of RMSE statistics, (b) the mean and standard deviation of the observed and estimated data obtained from considering models

بهترین عملکرد مدل W-GEP با موجک سیملت و سطح تجزیه یک بوده است که بیشترین دقت و کمترین خطا را در بین کلیه مدل های اجرا شده اعم از خطی و غیرخطی، فصلی و غیرفصلی و هیبرید موجکی داشته است.

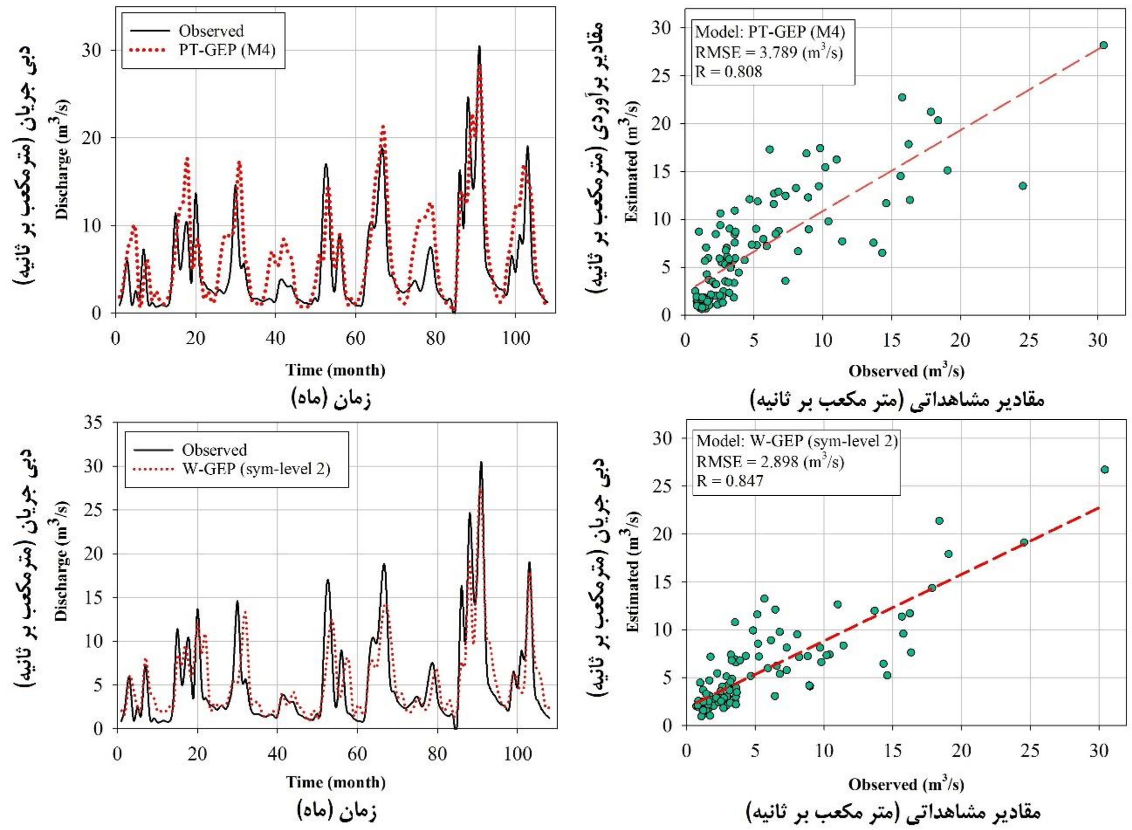
در شکل ۴- الف نمودار ستونی مقادیر آماره RMSE برای کلیه مدل‌های مورد استفاده در بهترین حالت خود در مرحله تست ارائه شده است. در این شکل به خوبی می‌توان تاثیر پیش‌پردازش داده‌ها را در بهبود عملکرد مدل GEP مشاهده نمود. به طوریکه مدل W-GEP نسبت به مدل‌های L-GEP، NL-GEP و PT-GEP توانسته است مقدار آماره RMSE را به ترتیب ۴۸/۶ درصد، ۴۱/۲ درصد و ۳۱/۱ درصد کاهش دهد. این امر به خوبی نشان می‌دهد که روش توابع موجک از توانایی بسیار بالایی در پیش‌پردازش داده‌ها برخوردار بوده و دقت عملکرد مدل‌های هوشمند را می‌توانند به طرز چشم‌گیری افزایش دهند. یکی دیگر از روش‌های مهم ارزیابی عملکرد مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترهای هیدرولوژیک، مقایسه میانگین و انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. در شکل ۴- ب میانگین و انحراف معیار داده‌های مشاهداتی و محاسباتی حاصل از مدل‌های مختلف در مرحله تست نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که مدل W-GEP با اختلاف کمی میانگین و انحراف داده‌ها را (به ترتیب با تفاوت ۰/۲ و ۰/۸ متر مکعب در ثانیه) در مرحله تست برآورد نموده است. در این بین مدل L-GEP بیشترین اختلاف را با داده‌های مشاهداتی داشته است. برای مدل PT-GEP نیز مقدار میانگین داده‌های محاسباتی در حدود ۱/۵ متر مکعب در ثانیه بیشتر از مقادیر مشاهداتی بوده اما انحراف معیار آن بسیار نزدیک است که می‌تواند به دلیل عدم توانایی مدل در برآورد مقادیر جریان‌های کمینه باشد. برای بررسی بیشتر این موضوع می توان از نمودارهای گرافیکی و پراکندگی جریان مشاهداتی و تخمینی استفاده نمود.

شکل ۵، نمودارهای گرافیکی و پراکندگی مدل‌های W-GEP و PT-GEP را در مرحله آزمون برای بهترین حالت نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که مدل PT-GEP مقادیر جریان کمینه را باخطای بیشتری نسبت به W-GEP پیش‌بینی نموده و مقادیر دبی پیک نیز در هر دو مدل با خطا برآورد شده است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر سعی گردید تا با استفاده از پیش‌پردازش داده‌ها با روش‌های ضرایب فصلی خطی، ضرایب فصلی غیرخطی و توابع موجک عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه آب زال بهبود یابد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر به شرح زیر قابل ارائه می‌باشد:

- نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش خطی GEP (L-GEP) که در آن برای فرآیند مدل‌سازی فقط از توابع بولی استفاده می‌گردد، در مقایسه با مدل غیرخطی GEP (NL-GEP)، از عملکرد ضعیف‌تری در برآورد جریان رودخانه برخوردار می‌باشد. هر دو مدل L-GEP و NL-GEP با توالی چهار ماهه دبی جریان (الگوی M4) به بیشترین دقت دست یافته اما عملکرد چندان مطلوبی را در پیش‌بینی جریان ماهانه از خود نشان ندادند.



شکل ۵- مقادیر مشاهداتی و محاسباتی حاصل از مدل‌های PT-GEP و W-GEP در مرحله آزمون

Figure 5- The values of the observed and estimated data obtained from PT-GEP and WGEP models in test phase

❖ نتایج حاصل از افزودن ضرایب فصلی به عنوان ورودی به مدل NL-GEP نشان داد که استفاده از این ضرایب می‌تواند نسبت به حالت ساده دقت برآوردها را بهبود بخشد. ترم پریودیک صرفاً براساس یک رابطه ریاضی ساده یا با توجه به شماره ماه‌ها محاسبه شده و هیچ‌گونه زمان و هزینه مازادی را از لحاظ جمع آوری داده‌ها به پژوهش‌گران تحمیل نمی‌کند. اما در بسیاری از مطالعات سعی می‌گردد برای بهبود دقت و عملکرد مدل‌های هوشمند از داده‌های هیدرولوژیکی دیگر نظیر بارش، دماهای مینیمم، متوسط و ماکزیمم، تبخیر و غیره بهره برده می‌شود. استفاده از این اطلاعات ممکن است موجب درگیر کردن حافظه مدل شده و در نهایت عملکرد مدل را دچار اختلال نماید بنابراین پیشنهاد می‌گردد که در مطالعات آتی نیز تاثیر کاربرد ترم پریودیک با مدل‌ها و پارامترهای مختلف در بهبود نتایج مدل‌سازی مورد ارزیابی قرار گیرد.

❖ در این مطالعه علاوه بر روش‌های ساده ذکر شده از یک روش ریاضی پیچیده مبتنی بر تجزیه سیگنال تحت عنوان توابع موجک برای بهبود عملکرد مدل GEP استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از این روش خطای مدل را تا ۴۸/۶ درصد کاهش داده و به خوبی می‌تواند میانگین و واریانس داده‌ها را مدل‌سازی نماید. بهترین عملکرد مدل W-GEP با تابع موجک سیملت در سطح دوم تجزیه به دست آمده و مقادیر آمارهای RMSE، MAE و R در مرحله آزمون به ترتیب برابر با ۲/۸۹۸ متر مکعب در ثانیه، ۱/۷۴۵ متر مکعب در ثانیه و ۰/۸۴۷ محاسبه گردید.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (GN: SCU.WH98.44291) در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Ahmadi F., Dinpashoh Y., Fakheri F. A., Khalili K., and Darbandi S. 2015. Comparing nonlinear time series

models and genetic programming for daily river flow forecasting (Case study: Barandouz-Chai River). Journal of Water and Soil Conservation 22(1) : 121-169. (In Persian with English abstract)
2- Ahmadi F., Radmanesh F., and Mirabbasi Najaf Abadi R. 2014. Comparison between Genetic Programming and Support Vector Machine Methods for Daily River Flow Forecasting (Case Study: Barandoozchay River). Journal of Water and Soil 28(6): 1162-1171. (In Persian with English abstract)
3- Ahmadi F., Radmanesh F., and Mirabbasi R. 2016. Comparing the performance of Support Vector Machines and Bayesian networks in predicting daily river flow (Case study: Baranduz Chai River). Journal of Water and Soil Conservation 22(6): 171-186. (In Persian with English abstract)
4- Ashofteh P.S., Bozorg-Haddad O., and Loáiciga H.A. 2020. Logical genetic programming (LGP) application to water resources management. Environmental Monitoring and Assessment 192(1): 34-42.
5- Daubechies I. 1992. Ten lectures on wavelets. 2nd ed. Philadelphia: SIAM, CBMS-NSF regional conference series in applied mathematics 61.
6- Deka P.C., and Prahlada R. 2012. Discrete wavelet neural network approach in significant wave height forecasting for multistep lead time. Ocean Engineering 43: 32-42.
7- Farbodfam N., Ghorbani M.A., and Aalami M.T. 2009. Forecasting river flow using genetic programming (Case study: Lighwan watershed). Journal of Water and Soil Science 19(1):107-123. (In Persian with English abstract)
8- Ferreira C. 2002. Genetic representation and genetic neutrality in gene expression programming. Advances in Complex Systems 5(4): 389-408.
9- Freire P.K.D.M.M., Santos C.A.G., and da Silva G.B.L. 2019. Analysis of the use of discrete wavelet transforms coupled with ANN for short-term streamflow forecasting. Applied Soft Computing 80: 494-505.
10- Ghorbani M.A., Shiri J., and Kazemi H. 2010. Estimation of Maximum, Mean and Minimum Air Temperature in Tabriz City Using Artificial Intelligent Methods. Journal of Agriculture Science 20(4): 87-104. (In Persian with English abstract)
11- Hadi S.J., and Tombul M. 2018. Monthly streamflow forecasting using continuous wavelet and multi-gene genetic programming combination. Journal of Hydrology 561: 674-687.
12- Kumar M., and Sahay R.R. 2018. Wavelet-genetic programming conjunction model for flood forecasting in rivers. Hydrology Research 49(6): 1880-1889.
13- Labat D. 2005. Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. Journal of Hydrology 314: 275-288.
14- Lohani A.K., Kumar R., and Singh R.D. 2012. Hydrological time series modeling: A comparison between adaptive neuro-fuzzy, neural network and autoregressive techniques. Journal of Hydrology 442: 23-35.
15- Mallat S.G. 1998. A wavelet tour of signal processing, San Diego.
16- Grossmann A., and Morlet J. 1984. Decomposition of Hardy functions into square integrable wavelets of constant shape. SIAM Journal on Mathematical Analysis 15(4): 723-736.
17- Mehr A.D. 2018. An improved gene expression programming model for streamflow forecasting in intermittent streams. Journal of Hydrology 563: 669-678.
18- Mehr A.D., and Majdzadeh Tabatabai M.R. 2010. Prediction of Daily Discharge Trend of River Flow Based on Genetic Programming. Journal of Water and Soil 24(2): 325-333. (In Persian with English abstract)
19- Mehr A.D., and Nourani V. 2018. Season algorithm-multigene genetic programming: a new approach for rainfall-runoff modelling. Water Resources Management 32(8): 2665-2679.
20- Montaseri M., and Zamanzad Ghavidel S. 2014. River Flow Forecasting by Using Soft computing. Journal of Water and Soil 28(2): 394-405. (In Persian with English abstract)
21- Nohegar A., Motamednia M., and Malekian A. 2016. Daily river flood modeling using genetic programming and artificial neural network (Case study: Amameh representative watershed). Physical Geography Research Quarterly 48(3): 367-383. (In Persian with English abstract)
22- Parmar K. S., Makkhan S.J.S., and Kaushal S. 2019. Neuro-fuzzy-wavelet hybrid approach to estimate the future trends of river water quality. Neural Computing and Applications 31(12): 8463-8473.
23- Polikar R. 1996. Fundamental concepts and an overview of the wavelet theory. Second Edition, Rowan University, College of Engineering Web Servers, Glassboro. NJ. 08028.
24- Rahmani-Rezaeieh A., Mohammadi M., and Mehr A.D. 2020. Ensemble gene expression programming: a new approach for evolution of parsimonious streamflow forecasting model. Theoretical and Applied Climatology 139(2): 549-564.
25- Solgi A., Zarei H., and Golabi M. 2017. Performance Assessment of Gene Expression Programming Model Using Data Preprocessing Methods to Modeling River Flow. Journal of Water and Soil Conservation 24(2): 185-201. (In Persian with English abstract)
26- Sun Y., Niu J., and Sivakumar B. 2019. A comparative study of models for short-term streamflow forecasting with emphasis on wavelet-based approach. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 33(10): 1875-1891.
27- Tayyab M., Zhou J., Dong X., Ahmad I., and Sun N. 2019. Rainfall-runoff modeling at Jinsha River basin by

integrated neural network with discrete wavelet transform. Meteorology and Atmospheric Physics 131(1): 115-125.

28- Wang W., and Ding J. 2003. Wavelet Network Model and Its Application to the Prediction of Hydrology. Nature and Science, pp. 67-71.

29- Yaseen Z.M., Sulaiman S.O., Deo, R.C., and Chau K.W. 2019. An enhanced extreme learning machine model for river flow forecasting: State-of-the-art, practical applications in water resource engineering area and future research direction. Journal of Hydrology 569: 387-408.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 153-165

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۱۶۵-۱۵۳

Evaluation of the Efficiency of Data Preprocessing Methods on Improving the Performance of Gene Expression Programming Model (Case Study: Ab Zal River)

F. Ahamdi[1*]

Received: 27-04-2020
Accepted: 28-01-2021

Introduction: Surface water has always been one of the most essential pillars of water projects and, with modeling and predicting the river flow, in addition to the management and utilization of water resources, it is possible to inhibit the natural disasters such as drought and floods. Therefore, researchers have always tried to improve the accuracy of hydrological parameters estimation by using new tools and combining them. In this study, the effect of seasonal coefficients and mathematical methods of signal analysis and signal processing on wavelet transform to improve the performance of the Gene Expression Programming (GEP) model were discussed.

Materials and Methods: In the present study, for the prediction of the monthly flow of Ab Zal River, the information of Pol Zal hydrometric station in period 1972 to 2017 was used. In the next step, different input patterns need to be ready. To this purpose, the data are presented in three different modes: (a) the use of flow data and considering the role of memory up to four delays; (b) the involvement of the periodic term in both linear (?-GEP) and nonlinear (PT-GEP) states, and (c): data analysis using the Haar wavelet, Daubechies 4 (db4), Symlet (sym), Meyer (mey), and Coiflet (coif), was done in two subscales, prepared, and introduced to the GEP model. To better analyze the effect of mathematical functions used in the GEP method, two linear modes (using Boolean functions including addition, multiplication, division, and minus) and nonlinear (including quadratic functions, etc.) were considered. The wavelet transform is a powerful tool in decomposing and reconstructing the original time series. Wavelet function is a type of function that has an oscillating property and can be quickly attenuated to zero. Modeling was done based on 80% of recorded data (432 months) and the validation was done based on the remaining 20% (108 months). To evaluate the performance of each of models, statistical indices such as mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and correlation coefficient (R) were used.

Results and Dissection: The results of linear and nonlinear GEP models showed that in both cases, the four-delay model achieved the most accuracy in river flow prediction. Still the performance of nonlinear GEP model according to RMSE (4.093 (m3/s)), MAE (2.782 (m3/s)) and R (0.660) were better than another, respectively. In the next step, the periodic term was added to the model inputs. Based on the results, the PT-GEP model with M4 pattern had the lowest error, the highest accuracy and was able to reduce the RMSE index by 8%. Then, in the third step, the river flow data were divided into approximate subdivisions and details using five wavelet functions. The most appropriate level of analysis based on the number of data was considered as number three. The results of the W-GEP modes showed an excellent performance of this method so that the model was able to reduce the RMSE statistics with 48.6%, 41.2%, and 31.1% compared to the L-GEP, NL-GEP and PT-GEP methods, respectively. Also, the best performance of the W-GEP model with the Symlet wavelet and the decomposition level of one had the highest accuracy (R=0.847) and the lowest error (RMSE =2.898 (m3/s) and MAE =1.745 (m3/s) among all models (35 models) such as linear and nonlinear, seasonal and non-seasonal and wavelet hybrid models.

Conclusion: Based on the results, it can be concluded that the overall use of data preprocessing methods (including seasonal coefficients and wavelet functions) has improved the performance of the GEP model. However, the combination of wavelet functions with the GEP model has significantly increased the accuracy of the modeling. Therefore, it is recommended as the most suitable tool for river flow forecasting.

Keywords: Decomposition level, Gene expression programming, Hybrid model, Wavelet function

1- Assistant Professor, Department of Hydrology and Water Resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: F.ahmadi@scu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.2021.14975.0

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 167-178

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۱۷۸-۱۶۷

مقاله پژوهشی

ارزیابی ردپای آب مجازی محصولات زراعی، دامی و نهاده‌های مصرفی کشاورزی (مطالعه موردی: استان قم)

طیبه خلیلی[۱]- مهدی سرائی تبریزی[۲*]- حسین بابازاده[۳]- هادی رمضانی اعتدالی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

چکیده

مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌خصوص در بخش کشاورزی بسیار مهم می‌باشد. مطابق بیلان آب استان قم در حدود ۹۰ درصد از منابع آب در این منطقه در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد. در این مطالعه ردپای آب مجازی محصولات زراعی، دامی و نهاده‌های مصرفی در بخش کشاورزی به‌منظور کاهش فشار و حفظ منابع آبی موجود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در بخش زراعی با استفاده از نرم‌افزار NETWAT نیاز آبی گیاهان محاسبه و با استفاده از فرمول مکانن و هوکسترا که در سال ۲۰۱۰ ارائه شده‌است، ردپای آب مجازی محصولات زراعی در میانگین ده ساله محاسبه شد. نتایج نشان داد که به دلیل پایین بودن راندمان سامانه آبیاری حجم ردپای آب سفید که به تلفات آبیاری اشاره دارد در محصولات استان بسیار بالا تخمین زده شد، سهم ردپای آب سفید در محصولات جو، گندم، یونجه، پیاز، گوجه فرنگی، خربزه و ذرت به‌ترتیب برابر ۵۵ درصد، ۴۹ درصد، ۴۸ درصد، ۵۱ درصد، ۴۶ درصد، ۵۴ درصد و ۳۷/۵ درصد از سهم کل ردپای آب محاسبه شده است. همچنین ردپای آب سبز به دلیل کمبود میزان بارش در استان قم بسیار ناچیز برآورد شد. ردپای آب سبز در محصولات جو و گندم نسبت به سایر محصولات بیشتر بود که علت این امر همپوشانی فصل کشت و بارندگی بوده است، سهم ردپای آب سبز در محصول جو ۱۲ درصد و در گندم برابر ۱۱ درصد از سهم کل ردپای آب بود. در بخش دامی، ردپای آب در مشتقات دام و طیور با استفاده از روش هوکسترا و مکانن، ۲۰۱۰ محاسبه و با متوسط ردپای آب در کشورهای مختلف مقایسه شد. نتایج در بخش دامی نشان داد که ردپای آب مجازی در تولید گوشت قرمز و شیر به‌ترتیب ۳۹ متر مکعب بر کیلوگرم و ۲/۴۲ متر مکعب بر لیتر تخمین زده شد. همچنین ردپای آب مجازی در گوشت مرغ و تخم‌مرغ به‌ترتیب ۷/۴ و ۴/۳۴ متر مکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. در بخش نهاده‌های مصرفی، ردپای آب در کود (ازته، فسفاته، پتاسه و سایر کودها) برای اولین بار مورد توجه قرار گرفت. در بخش نهاده‌های مصرفی، ردپای آب مجازی در کود تولیدی برخی از محصولات با استفاده از اطلاعات پرسشنامه محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد که مجموع ردپای آب مجازی کود مصرفی برای تولید محصولات گندم، جو، پنبه و یونجه به‌ترتیب ۲/۶۲، ۱/۱۹، ۱/۰۷ و ۲/۵۴ متر مکعب بر کیلوگرم تخمین زده شد. سهم کودهای ازته در تولید محصول گندم، یونجه، پنبه و جو به‌ترتیب ۵۴، ۵۹، ۶۸ و ۶۰ درصد از سهم ردپای آب کل در کود مصرفی را تشکیل می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آب مجازی، ردپای آب سبز، مدیریت منابع آب

مقدمه

رشـــد روز افزون جمعیت و به‌تبع آن افزایش نیاز به تولیدات کشاورزی از مسائل مهمی است که بشر امروز با آن مواجه است و همین موضوع لزوم استفاده از راهکارها و ابزارهای مدیریتی در بخش منابع آب را ضروری می‌سازد (۱۶). مطالعات نشان می‌دهد که در سال ۱۹۵۰، ۱۲ کشور در جهان با جمعیتی در حدود ۲۰ میلیون نفر با کمبود آب مواجه بوده‌اند. با گذشت ۴۰ سال این رقم به ۲۶ کشور با جمعیتی در حدود ۳۰۰ میلیون نفر افزایش پیدا کرد و پیش‌بینی می‌شـــود در سال ۲۰۵۰ تعداد ۶۵ کشور با جمعیتی بیش از ۷ میلیارد نفر با کمبود آب مواجه گردند. در حال حاضـر جمعیتی در حدود ۸۴۰ میلیون نفر در جهان در شرایط کمبود غذایی به سر می‌برند که عمده‌ی این جمعیت

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته منابع آب، استادیار و استاد گروه علوم و مهندســی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشــگاه آزاد اســلامی، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: m.sarai@srbiau.ac.ir)
۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

DOI: 10.22067/jsw.2021.14826.0

یعنی رقمی در حدود ۸۰۰ میلیون نفر در کشـــورهای در حال توســـعه زندگی می‌کنند (۷). مفهوم آب مجازی[1] برای اولین بار در سال ۱۱۹۰ توسـط آلن مطرح شـد، مقدار آبی که یک محصـول از لحظه شـروع فرآیند تولید تا پایان آن مصـرف می‌نماید (۲). تجارت آب‌مجازی طی دو دهه اخیر در جهان توسعه معنی‌داری داشته و به همراه خود مسئله امنیت غذایی را از محدوده کشورها به عرصه‌های بین‌المللی گسترش داده است. تولید انبوه و ارزان‌تر کالاهای اساسی در مناطق مستعد با استفاده از آب سبز و تولید محصولات گران‌تر برای صادرات با آب آبی و سـبز از جمله خصـوصـیاتی اسـت که تجارت آب‌مجازی با خود به همراه دارد. کشورهای خاورمیانه و شمال افریقا به دلیل شرایط اقلیمی نامساعد ظرف ۲۵ سال منتهی به سال ۲۰۱۰ به طور متوسط سالانه ۱۶۶/۵ کیلومتر مکعب (۱۷ درصـــد از منابع آبی جهان) واردات آب‌مجازی داشـته‌اند که ۹۰ درصـد از آن از منابع آب سـبز و فقط ۱۰ درصـــد از آن از منابع آب آبی تولید گردیده اســـت (۳). محصـــولات گوشـتی و لبنی آب بیشـتری نسـبت به محصـولات گیاهی مصـرف می‌کنند که دلیل آن میزان تغذیه، شـــرب و خدمات آبی مورد نیاز حیوانات است (۵). مکانن و هوکسترا (۱۰) نشان دادند که در حدود ۹۶ در صد ردپای آب بشر به مسائلی همچون تولیدات محصولات دامی، زراعی و باغی مرتبط است و تنها ۴ در صد ردپای آب بشر شامل آب اسـتفاده شـده در خانه اسـت. این بدان معنی اسـت که برای کاهش ردپای آب، تغییر الگوی مصـرف و رژیم غذایی از اولویت بیشـتری در مقابل راهکارهای کاهش مصرف آب در آشپزخانه، حمام و ... برخوردار می‌باشد. ردپای آب[2] شاخصی برای نشان دادن حجمی از آب است که به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم برای تولید یک کالا مصرف می‌گردد. این شـاخص شـامل کل آب مصـرف‌شـده در فرآیند تولید محصـول می‌باشد.

در یک پژوهش، آبابائی و رمضانی اعتدالی میانگین مجموع ردپای محصـــول گندم در ایران را طی یک دوره ۵ ســـاله ۳۰۸۸ و ۳۰۷۱ به‌ترتیب برای گندم آبی و دیم برآورد کردند (۱). در پژوهشـــی دیگر، اسـچینز و همکاران حجم ردپای آب در تولید محصـولات کشـاورزی کشور اردن را برای ردپای آب سبز، آبی و خاکستری به‌ترتیب معادل ۴۹۳، ۴۰۶ و ۵۴/۳ میلیون مترمکعب در ســـال برآورد کردند، ایشـــان میزان آب سطحی و زیرزمینی در ردپای آب آبی در بخش کشاورزی را بـه‌ترتیـب ۱۴۳ و ۲۶۳ میلیون مترمکعـب گزارش کردنـد (۱۵). پژوهش‌های زیادی در خصوص تعیین ردپای آب در سطح استانی نیز گزارش شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به ارزیابی ردپای آب آبی و سبز محصولات عمده کشت شده در حوضه پایاب رودان استان هرمزگان اشاره کرد، که با توجه به نتایج به‌دست آمده، کشت صیفی جات در این منطقه پیشنهاد شده است (۴). آبابایی و همکاران، ردپای آب در تولید محصول جو را در ۱۵ استان منتخب که بیشترین تولید جو کشور را به خود اختصاص داده‌بودند را بررسی کردند، در بین ۱۵ استان منتخب مجموع ردپای آب جو در اراضی فاریاب ۳۲۰۹ میلیون مترمکعب بر تن است که سهم آب‌های سبز، آبی، خاکستری و سفید به‌ترتیب معادل ۲۰، ۲۶، ۱۸، ۳۶ درصـــد از مجموع ردپای آب در این اراضـــی اســـت (۱). مطالعات صـــورت گرفته در مورد آب‌مجازی در محصولات کشاورزی از گستردگی و عمق نسبتاً مناسبی برخوردار است و شامل همه سطوح بین‌المللی، ملی و منطقه‌ای می‌باشد اما در بخش دام و طیور با وجود آن‌که ردپای آب مصـــرف شـــده بیشـــتر از بخش کشاورزی است مطالعات کم‌تری صورت گرفته است. هوکسترا در سال ۲۰۱۲ بیان کرد مصرف محصولات دامی بیش از یک چهارم از ردپای آب در زندگی انسان‌ها را شامل می شود. آب مورد نیاز برای تولید غذا یکی از فاکتورهای مهم ردپای آب محصـولات دامی اسـت، بر این اســـاس بررســـی ترکیبات مختلف غذایی و مواد خوراکی برای یافتن راه‌هایی برای کاهش آب مصرفی در گوشت و لبنیات ضروری است (۶). متوسط مصرف آب در جهان برای محصولات دام و طیور عبارتند از: ۴۳۰۰ متر مکعب به ازای هر تن گوشـــت مرغ، ۵۵۰۰ متر مکعب به ازای هر تن گوشـــت بز ، ۱۰۴۰۰ متر مکعب به ازای هر تن گوشت گوسفند و ۱۵۴۰۰ متر مکعب به ازای هر تن گوشت گاو. دلیل این امر وجود تفاوت در حجم و نوع تغذیه دام و طیور اســـت (۱۱). بیشترین حجم ردپای آب مصرفی در حیوانات مربوط به تغذیه‌ی آن‌ها و معادل ۹۸ درصد می باشد در حالی‌که ۱/۱ درصد مربوط به آشامیدن دام، ۰/۸ در صد مربوط به سرویس‌ها و تنها ۰/۱ در صد برای میکس غذایی دام می‌باشد (۶).

مطابق بیلان آب استان قم، حدود ۹۰ در صد از منابع آبی استان در بخش کشاورزی مصرف می‌گردد و به‌همین دلیل مفهوم ردپای آب در بخش کشاورزی حائز اهمیت می‌باشد، بررسی ردپای آب در بخش کشـــاورزی کمک شـــایانی به درک بهتر از شـــرایط کنونی و بهبود وضعیت منابع آبی موجود به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محســـوب می‌گردد (۸). هدف از مطالعه حاضـــر، برآورد ردپای آب در بخش زراعی، دامی و نهاده‌های مصـــرفی از جمله کود در اســـتان قم می‌باشد. علاوه‌بر بخش زراعی و دامی، در پژوهش حاضر برای اولین بار محاسبه ردپای آب نهاده‌های مصرفی مثل کود در بخش کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

استان قم در منطقه خشک و نیمه‌خشک کشور واقع شده و دارای آب و هوای گرم و خشـک اسـت. قسـمت‌های جنوب و غرب اسـتان پوشـــیده از کوه‌های مرتفع اســـت که با آب و هوای معتدل جایگاه

1- Virtual water

2- Water footprint

مناسبی را برای کشاورزی استان فراهم آورده است. مطابق بیلان آب دریافتی از سازمان آب منطقه‌ای استان قم و با توجه به اینکه حدود ۹۰ در صد از منابع آبی ا ستان در بخش ک شاورزی مورد ا ستفاده قرار می‌گیرد، مفهوم ردپای آب مجازی در کشاورزی حائز اهمیت است. برر سی اجزاء مختلف ردپای آب مجازی و تعیین سهم هریک اجزا در بخش کشاورزی، کمک شایانی به درک بهتر از شرایط کنونی و بهبود منابع آبی موجود به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (۸).

داده‌های مورد نیاز این تحقیق در بخش زراعی شامل سطح زیر ک شت، تولید و عملکرد مح صولات زراعی ا ستان قم در بازه‌ی زمانی (۱۳۹۵-۱۳۸۵) که از آمارنامه جهاد کشاورزی قابل استخراج می‌با شد. داده‌های مورد نیاز در بخش دامی شامل تعداد دام و طیور، مقادیر تولیدات گو شت قرمز، سفید، شیر و تخم‌مرغ، جیره غذائی دام و طیور می‌با شد که در جداول ۱، ۲ و ۳ آورده شده ا ست. در بخش نهاده‌های م صرفی، اطلاعاتی در خ صوص مقدار کودهای ازته، ف سفاته و پتا سه که به‌ازای تولید هر تن محصول زراعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، همچنین ا ستفاده از پر س شنامه در کارخانه‌های تولید کود در رابطه با میزان آب مصرفی برای تولید هر تن کود که در نهایت برای تعیین ردپای آب کود استفاده شد.

بخش زراعی

ردپای آب آبی، همان نیاز خالص یا حجم آبی که به‌طور مستقیم در تولید محصول استفاده می‌شود اشاره دارد. ردپای آب سبز، به سهم آب حاصل از بارندگی مرتبط است. ردپای آب خاکستری، به حجمی از آب که برای رقیق کردن کودهای مورد نیاز محصول طی فرآیند تولید اشاره دارد (۹). مفهوم ردپای آب سفید، توسط آبابایی و رمضانی اعتدالی به‌عنوان حجم آبی که تلفات آبیاری را مشخص می‌کند ارائه گردیده است (۱). اجزاء ردپای آب محصولات زراعی استان قم با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه شد:

$$\mathrm{WF_{Green}} = \frac{\mathrm{P}\times 10}{\mathrm{Y}} \qquad (۱)$$

$$\mathrm{WF_{Blue}} = \frac{\mathrm{(Et\text{-}p)}}{\mathrm{Y}} \qquad (۲)$$

$$\mathrm{WF_{Gray}} = \frac{\alpha\times \mathrm{NAR}}{\mathrm{C_m\text{-}C_n}}\times\frac{1}{\mathrm{Y}} \qquad (۳)$$

$$\mathrm{WF_{White}} = \frac{10\times\mathrm{(D\text{-}(ET\text{-}P))}}{\mathrm{Y}} \qquad (۴)$$

در روابط فوق، $\mathrm{WF_{Green}}$ ردپای آب سبز، $\mathrm{WF_{Blue}}$ ردپای آب آبی، $\mathrm{WF_{Gray}}$ ردپای آب خاکستری و $\mathrm{WF_{White}}$ ردپای آب سفید بر حسب m^3/ton می‌باشد. P_e بارندگی موثردر طول دوره رشد گیاه (mm)، ET_c تبخیر و تعرق هر گیاه در طول دوره رشد (mm)، Y عملکرد هر محصول (ton/ha)، α درصد تلفات کودهای نیتروژن، NAR نرخ مصرف کود برای هر گیاه (kg/ha)، C_m غلظت بحرانی نیتروژن (kg/m^3)، C_n غلظت واقعی نیتروژن (kg/m^3)، D_t عمق آب آبیاری برای هر گیاه در طول دوره رشد (mm) و ۱۰ فاکتور تبدیل از mm به m^3/ha می‌باشد. مقادیر بارش و تبخیر و تعرق با استفاده از مدل NETWAT محا سبه شد. همچنین مقادیر α در شرایط دیم و فاریاب به‌ترتیب ۵ و ۱۰ درصد در نظر گرفته‌شد (۹). در این مطالعه ردپای آب خاکستری فقط برای کودهای نیترون به‌کار گرفته شد. حداکثر غلظت نیتروژن در منابع آب دریافت کننده بر اساس استاندارد US-EPA برابر با ۱۰ mg/lit است. مقدار غلظت واقعی نیتروژن برابر صفر در نظر گرفته‌شد (۹).

بخش دامی

برای محا سبه ردپای آب در م شتقات دام و طیور لازم ا ست ابتدا ردپای آب در دام و طیور زنده محاسبه گردد. هر حیوان زنده سه مولفه‌ی ردپای آب‌مجازی دارد که عبارتند از: مقدار آب مورد نیاز برای ر شد و م صرف غذا، سرویس و نظافت، نو شیدن و آماده کردن غذای حیوان. رابطه ۵ برای محاسبه ردپای آب مجازی در حیوان زنده ارائه شده است (۱۱):

$$VWC_a = VWC_{feed} + VWC_{drink} + VWC_{service} \qquad (۵)$$

در رابطه بالا، VWC_a، نشان دهنده‌ی محتوای آب‌مجازی در واحد مترمکعب/حیوان زنده است. مقدار ردپای آب‌مجازی از مصرف خوراک VWC_{feed} شامل دو بخش است. نخست، مقدار آبی است که برای مخلوط کردن خوراک استفاده می‌شود. دوم، ردپای آب‌مجازی مواد مختلف غذایی است که حیوان مصرف می‌کند. VWC_{drink} ردپای آب‌مجازی در نوشیدن و $VWC_{service}$ ردپای آب‌مجازی برای سرویس و نظافت است. در جدول زیر مصرف مواد غذائی مختلف تو سط دام و طیور بر حسب کیلوگرم در سال ارائه شده ا ست. م صرف مواد غذائی مختلف توسط دام و طیور بر حسب کیلوگرم ارائه شده است. مصرف مواد غذائی مختلف توسط دام و طیور بر حسب کیلوگرم ارائه شده‌است.

ردپای آب‌مجازی گو شت در بخش نو شیدن، مقدار آب آ شامیدنی در تمام طول عمر یک راس دام و طیور است که برای هر کیلوگرم حیوان زنده از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۱).

$$VWC_{drink} = \frac{\int_{brith}^{slaughter} q_{drink}\,dt}{w_a} \qquad (۶)$$

در رابطه‌ی بالا q_{drink} آب آ شامیدن مورد نیاز حیوان بر حسب لیتر در روز است و w_a وزن حیوان زنده در پایان زندگی حیوان بر حسب کیلوگرم می‌با شد. مقدار آب لازم برای تمیز کردن حیوان و ش ست و

شوی محل نگهداری دام و طیور از رابطه (۷) بدست می‌آید.

$$VWC_{service} = \frac{\int_{brith}^{slaughter} q_{service} dt}{w_a} \quad (۷)$$

در این رابطه $q_{service}$ آب مصرف شده برای نظافت دام و طیور و مکان نگهداری است و w_a وزن حیوان زنده در پایان حیات بر حسب کیلوگرم است (۱۱). در جدول ۲ میزان تولیدات دام و طیور ارائه شده است.

جدول ۱- میزان مواد غذائی مصرفی دام و طیور (کیلوگرم در سال)

Table 1- The amount of food consumed by livestock and poultry (kg in year)

نوع علوفه Forage type	دام سنگین Heavy trape	دام سبک Light trape	مرغ گوشتی Meat chicken	مرغ تخم‌گذار Laying hens
جو Barley	1010	210	0.8	0.6
ذرت علوفه‌ای Forage corn	3845	3720	5	4
ذرت دانه‌ای Maize	110	32		
کنجاله سویا و تخم پنبه Meal	450	62	4	2
گندم Wheat			3	2
یونجه Alfalfa	1000	298	2	1.5
کاه Straw	190	1135		
اوره Urea	0.75	10		
علوفه مراتع Rangeland forage	190	60		
مکمل Complement	85	8		

مأخذ: سازمان جهاد کشاورزی استان قم

Source: Qom Agricultural Jihad Organization

جدول ۲- میزان تولید سالانه مشتقات دام و طیور

Table 2- Annual production of livestock and brely

نوع دام و طیور Type	تعداد دام و طیور Number	تولید (تن) Production(ton)
دام سنگین Heavy trap	160320	34490
دام سبک Light trap	83600	145494
مرغ گوشتی Meat chicken	5704780	36541
مرغ تخم‌گذار Laying hens	8219630	68501

مأخذ: آمارنامه جهاد کشاورزی استان قم

Source: Statistics of Qom Agricultural Jihad Organization

جدول ۳- میزان کود مصرفی (کیلوگرم در هکتار)
Table 3- The amount of fertilizer used

محصول Product	مقدار کود ازته Nitrogen kg/ha	مقدار کود فسفاته Phosphate kg/ha	مقدار کود پتاسه Potassium kg/ha	سایر کودها Other kg/ ha	جمع Plurals kg/ha
Wheat گندم	497.38	197.08	220.43	7.29	923.63
Barely جو	250.78	133.97	36.33	1.16	422.48
Cotton پنبه	255.55	122.22	0	0	377.77
Alfalfa یونجه	522.65	216.86	115.2	42.93	851.71

مأخذ: جهاد کشاورزی استان قم
Source: Qom Agricultural Jihad Organization

بخش نهاده‌های مصرفی (کود)

در بخش ردپای آب محصولات زراعی، آب خاکستری تا حدودی بحث ردپای آب را در بخش کودهای نیتروژن‌دار مورد توجه قرار داد. اما با توجه به کودهای مصرفی استان که شامل فسفاته، پتاسه و ازته می‌باشد و گاهی سایر کودها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند، لازم است تا حدودی مفصل‌تر به این مقوله پرداخت و با توجه‌به اینکه موضوع ردپای آب در کود تا به‌حال مورد توجه قرار نگرفته است موضوع جدیدی در رابطه با محاسبات ردپا محسوب می‌گردد. کود کامل در واقع ترکیبی از کودهای فسفاته، ازته و پتاسه با واحدهای یکسان می‌باشد. برای محاسبه ردپای آب در کود از پرسشنامه استفاده شد و با استفاده از اطلاعات حاصل از پرسشنامه میزان آب مصرفی برای تولید یک واحد کود استخراج شد. در جدول زیر میزان کود مصرفی برای ۴ محصول مهم زراعی استان قم نشان داده شده است.

نتایج و بحث

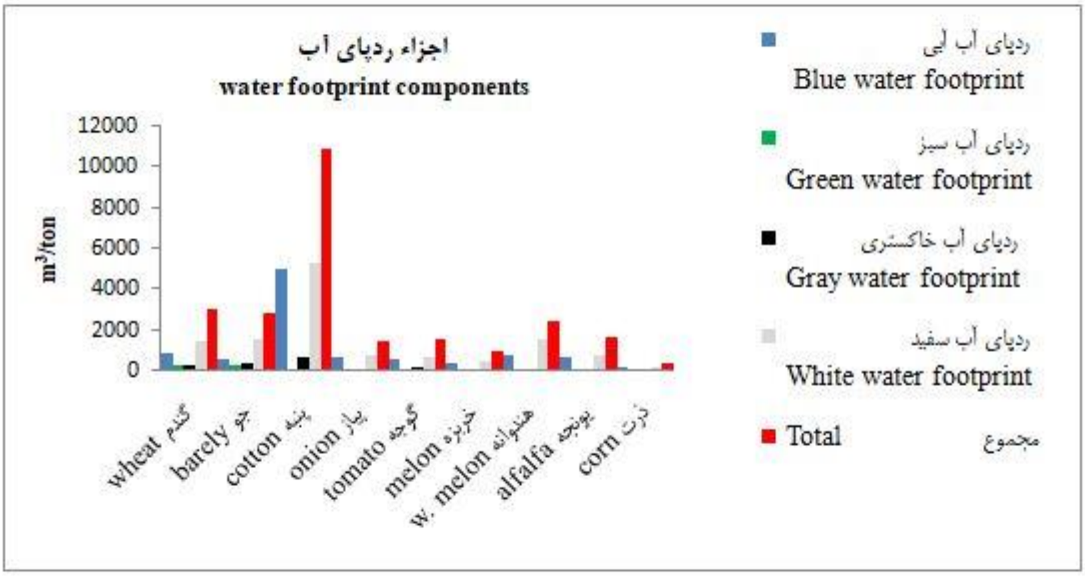
ردپای آب در بخش زراعی

در جدول ۴ میانگین ۱۰ ساله اجزاء ردپای فیزیکی آب در تولید محصولات زراعی استان قم برآورد شد. با توجه به جدول، گندم و جو دارای سهم ردپای آب سبز بالاتری نسبت به سایر محصولات می باشند که علت این امر تقارن فصل کشت با فصل بارندگی منطقه می‌باشد که سبب بالا بودن میزان ردپای آب سبز محصولات مذکور نسبت به سایر محصولات شد. مقدار کل ردپای آب در گندم و جو به ترتیب ۳۰۱۸ و ۲۸۸۲ متر مکعب بر تن برآورد شد، سهم ردپای آب سفید در این دو محصول ۱۴۶۱ و ۱۵۸۰ متر مکعب بر تن است که حدود ۴۹ درصد و ۵۵ درصد از سهم کل ردپای آب می‌باشد که خود گواه بر یکسان بودن مدیریت آب در مزرعه می‌باشد، همچنین سهم ردپای آب خاکستری در دو محصول به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد نسبت به میانگین کل ردپا محاسبه شد. به‌دلیل بالاتر بودن نیاز خالص آبی گندم نسبت به جو سهم ردپای آب آبی گندم بالاتر از جو برآورد شد. دو محصول گندم و جو از نظر سهم هر یک از اجزای ردپای آب تفاوت چندانی باهم ندارند که علت این امر را می‌توان برابر بودن میزان تقریبی مقادیر کود، باران مؤثر، عمق آبیاری، تبخیر و تعرق دانست. پنبه دارای بیشترین سهم ردپای آب سفید در بین سایر محصولات زراعی می‌باشد که علت آن را می‌توان با توجه به پایین بودن راندمان سامانه آبیاری و تلفات بسیار بالا توجیه نمود. بالا بودن سهم ردپای آب آبی پنبه مربوط به نیاز آبی خالص بسیار بالای این محصول می‌باشد. سهم ردپای خاکستری و سفید در محصولات پیاز (۲۴، ۷۴۱)، گوجه فرنگی (۱۹۷، ۷۱۰)، خربزه (۶۳، ۵۱۷) و یونجه (۱۴، ۸۱۴) تقریبا یکسان می‌باشد که علت این امر یکسان بودن راندمان و مصرف کود در مزرعه می‌باشد. مقادیر سهم ردپای آب سبز در محصولات مذکور به شدت پایین می‌باشد که علت این امر کمبود شدید میزان بارش در فصل رشد محصولات (بهار تا اوایل پاییز) می باشد. بعد از پنبه هندوانه دارای بالاترین میزان ردپای آب سفید در میان محصولات می‌باشد، همچنین سهم ردپای آب آبی در این محصول معادل ۳۲ درصد از سهم کل ردپا می‌باشد، مقدار ردپای آب سبز در هندوانه نیز به‌دلیل پایین بودن مقادیر بارش ناچیز می‌باشد. ذرت دارای پایین‌ترین مقدار ردپای آب در میان محصولات می‌باشد، سهم ردپای آب سفید در این محصول از سایر محصولات پایین‌تر و حدود ۳۸ درصد از سهم کل ردپا را به خود اختصاص داد، سهم ردپای آب آبی ۴۹ درصد و سهم ردپای آب خاکستری ۱۳ درصد مقدار کل ردپا را شامل شد. با توجه به میزان پایین بارندگی در استان قم و همچنین سطح زیر کشت بسیار ناچیز دیم، از برآورد اجزاء ردپای آب در محصولات دیم صرفنظر شد. با توجه به جدول ۴ سهم هریک از اجزاء ردپای آب نشان می‌دهد که سهم آب سبز در تولید محصولات استان بسیار ناچیز و کم‌تر از سایر اجزا می‌باشد، که علت این موضوع کم بودن متوسط بارش در استان است (۸). شکل ۱ سهم هریک از اجزاء ردپای آب را در تولید محصولات زراعی استان قم نشان می‌دهد، با توجه به شکل ۱ با صرفنظر از ردپای آب خاکستری، سهم ردپای آب سبز در تولید محصولات زراعی استان قم ۱۳ درصد می‌باشد که

نشان‌دهنده ناچیز بودن بارش در فصل رشد محصولات می‌باشد که این مسئله خود گواه بر فشار بیشتر به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه برای آبیاری محصولات کشاورزی است. سهم ردپای آب آبی ۳۲ درصد از سهم کل ردپا و سهم ردپای آب سفید ۵۵ درصد از سهم کل ردپای آب در تولیدات استان قم را شامل شد. با توجه به شکل ۱ حدود ۹۷ در صد از سهم ردپای آب در تولیدات استان با دو جزء سفید و آبی تامین می‌گردد و با توجه به سیاست کاهش سهم آب کشاورزی از منابع آب سطحی، آب مورد نیاز در این بخش از منابع آب‌های زیرزمینی تامین می‌گردد که نهایتا سبب برداشت بی‌رویه آب از منابع زیرزمینی و کاهش سطح آب زیرزمینی می‌گردد.

جدول ٤- میانگین ۱۰ ساله ردپای محصولات زراعی
Table 4- The average ten-years of footprint in crops

محصول Product	کود Fertilizer	عمق D_t	تبخیر ET_c	بارش P_e	ردپای سبز Gray f.	ردپای آبی Blue f.	ردپای خاکستری Gray f.	ردپای سفید White f.
	kg/ha	mm			m^3/ton			
گندم Wheat	200	745	334	133	321	916	320	1461
جو Barely	230	650	234	119	340	544	418	1580
پنبه Cotton	280	2050	955	27	20	4989	684	5267
پیاز Onion	60	1800	884	23	18	680	24	741
گوجه Tomato	380	1600	750	37	38	580	197	710
خربزه Melon	223	1550	672	37	21	359	63	517
هندوانه W.meln	220	1550	752	39	29	790	85	1600
یونجه Alfalfa	25	1750	1074	149	135	720	14	814
ذرت Corn	420	1100	719	6	0	202	58	156



شکل ۱- میانگین ۱۰ ساله سهم اجزاء ردپای آب در محصولات زراعی استان قم
Figure 1- The average ten-years of footprint components in agricultural crops

ردپای آب در بخش دام

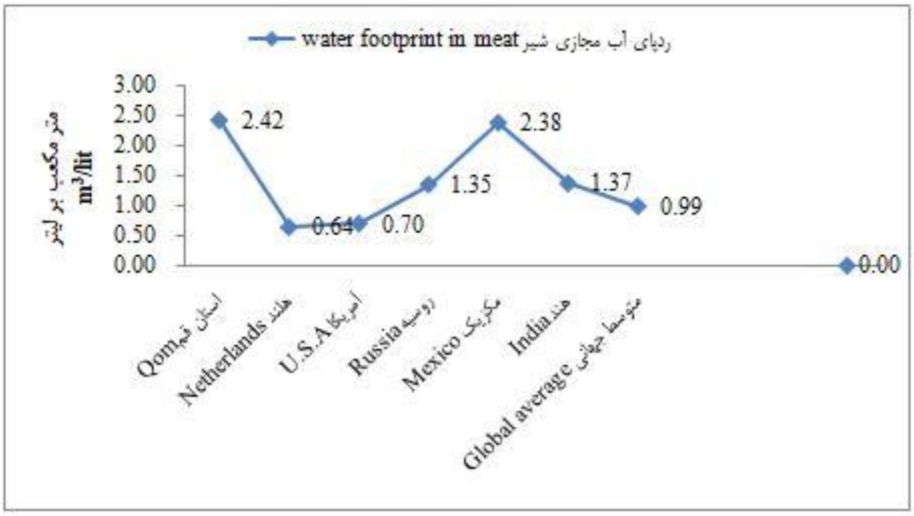
برای محاسبه ردپای آب در مشتقات دام ابتدا ردپای آب در بخش خوراک و سپس در بخش شرب و سرویس و نظافت دام محاسبه شد. برای محاسبه ردپای آب شرب در دام، میزان آب مصرفی در طول دوره حیات تا زمان کشتار مدنظر است، در مورد دام شیری، مقدار آب آشامیدنی از شروع شیردهی یک رأس دام در طول یک دوره یکساله (۹) و نتایج محاسبات نشان داد که حدود ۹۸ درصد از سهم ردپای آب مربوط به تغذیه دام می‌باشد و این خود گواه بر تحقیقات قبلی می باشد (۱۳). آب مجازی هر واحد از خوراک نقش بسیار مهمی در تعیین ردپای آب حیوانات و مشتقات آن‌ها محسوب می‌گردد (۱۱).

ردپای آب در تولید شیر در استان قم برابر با ۲/۴۲ متر مکعب بر لیتر بود. طی پژوهشی ردپای آب در شیر در سه استان تهران، البرز و قزوین به‌ترتیب ۲/۲۴، ۲/۲۵ و ۲/۴۳ محاسبه شد (۱۳). ردپای آب مجازی در دام برای تولید گوشت گاو در استان قم برابر ۳۹ متر مکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. این مقدار در سه استان تهران، البرز و قزوین به‌ترتیب ۴۴/۴۹، ۴۵/۱۸ و ۴۵/۵۱ محاسبه شد (۱۳). علت پایین‌تر بودن ردپای آب گوشت در استان قم نسبت به سایر استان‌های مورد مطالعه، مدرن و صنعتی‌تر بودن سیستم دامداری‌های می‌باشد، استان قم یکی از قطب‌های مهم دامپروری در کشور می‌باشد. ردپای آب در تولید شیر در استان قم برابر با ۲/۴۲ متر مکعب بر لیتر بود.

شکل ۲ و ۳ برای درک بهتر و مقایسه متوسط ردپای آب مجازی شیر و گوشت گاو در استان قم و متوسط جهانی ارائه شده‌است. مقایسه دو شکل نشان می‌دهد که متوسط ردپای آب مجازی شیر و گوشت در استان قم، نسبت به سایر مناطق مطالعه شده بالاتر است و تقریبا مشابه کشور مکزیک می‌باشد.

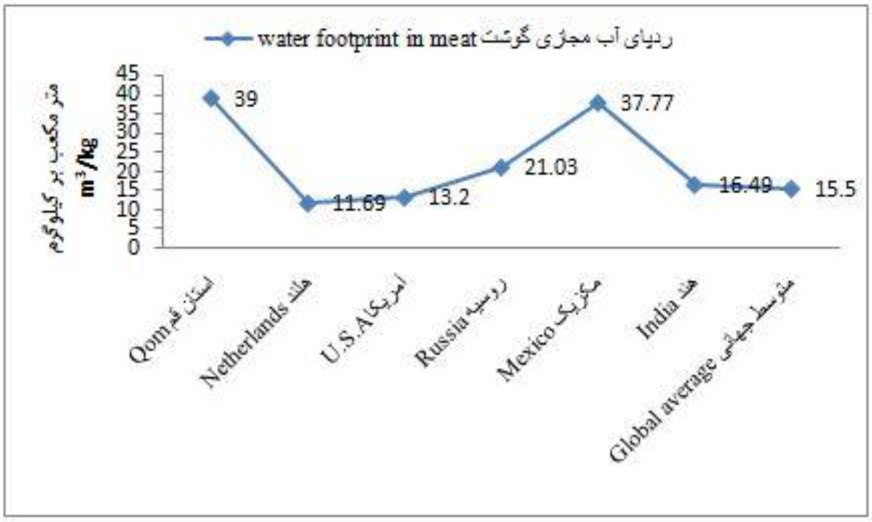
ردپای آب در بخش طیور

برای محاسبه ردپای آب در مشتقات طیور، ابتدا ردپای آب خوراک و سپس نوشیدن، سرویس و نظافت محاسبه شد. در قسمت ردپای نوشیدن، این مقدار نیز از زمان شروع تخم‌گذاری تا پایان یک دوره یکساله مد نظر می‌باشد و در مورد مرغ گوشتی از بدو تولد تا پایان کشتار مورد نظر است (۱۱). محاسبات نشان داد که مانند بخش دام، بیشترین ردپای آب در بخش تولیدات طیور، مربوط به ردپای خوراک بود. ردپای آب در تولید تخم‌مرغ ۴/۳۴ متر مکعب بر کیلوگرم و در گوشت مرغ برابر ۷/۴ متر مکعب بر کیلوگرم بود. محققان طی پژوهشی در سه استان تهران، البرز و قزوین ردپای آب برای تخم‌مرغ را به‌ترتیب ۴/۲۶، ۴/۶۶ و ۴/۲۲ تخمین زدند. ردپای آب گوشت مرغ در سه استان تهران، البرز و قزوین به‌ترتیب ۵/۸، ۵/۸۱ و ۶/۰۶ محاسبه شد. شکل ۴ و ۵ برای مقایسه و درک بهتر تفاوت مقادیر ردپای آب در تولید تخم‌مرغ و گوشت در استان قم با متوسط جهانی و سایر مناطق مورد مطالعه ارائه شده‌است. همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌گردد متوسط ردپای آب مجازی برای تولید گوشت مرغ در استان قم ۷/۴ متر مکعب بر کیلوگرم می‌باشد این مقدار در جهان، آمریکا، هند، روسیه، مکزیک و هلند به ترتیب برابر با ۳/۹۲، ۲/۳۹، ۷/۷۴، ۵/۷۶، ۵/۰۱ و ۲/۲۲ متر مکعب بر کیلوگرم است.



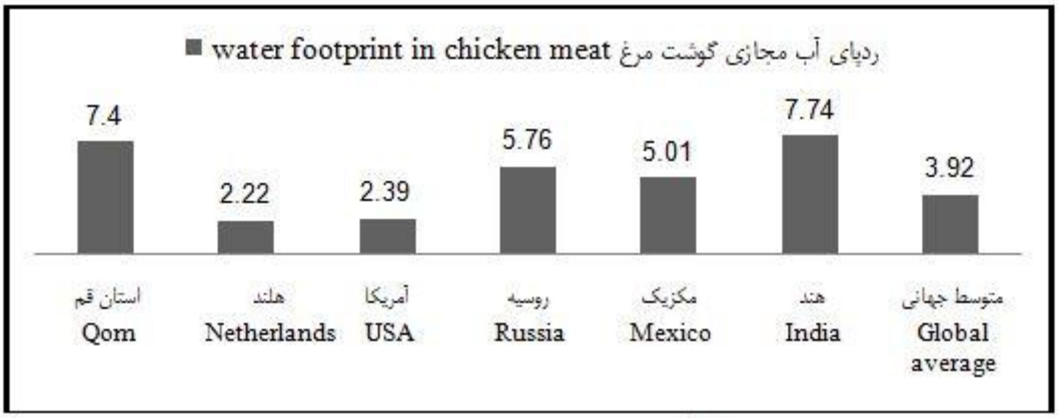
شکل ۲- مقایسه ردپای آب مجازی شیر در منطقه مورد مطالعه و نقاط مختلف دنیا

Figure 2- Comparison of milk virtual water footprint in Qom and other parts of the world



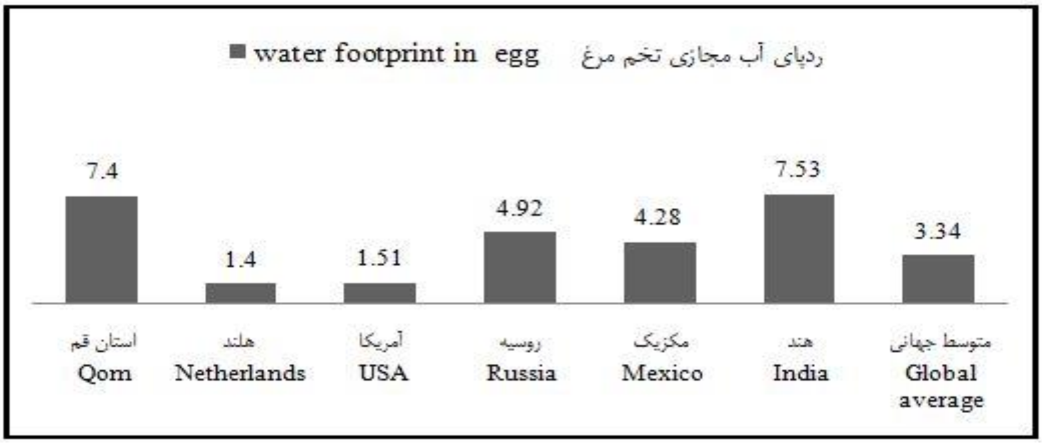
شکل ۳- مقایسه ردپای آب مجازی گوشت در منطقه مورد مطالعه و نقاط مختلف دنیا

Figure 3- Comparison of meat virtual water footprint in Qom and other parts of the world



شکل ٤- مقایسه ردپای آب مجازی گوشت مرغ در منطقه مورد مطالعه و سایر نقاط دنیا

Figure 4- Comparison of chicken meat virtual water footprint in Qom and other parts of the world



شکل ۵- مقایسه ردپای آب مجازی تخم‌مرغ در منطقه مورد مطالعه و سایر نقاط دنیا

Figure 5- Comparison of egg virtual water footprint in Qom and other parts of the world

جدول ۵- میزان ردپای آب در کود مصرفی محصولات زراعی

Table 5- The amount of water footprint in the fertilizer used in agricultural products

محصول Product	ردپای کود ازته W.F nitrogen m^3/kg	ردپای کود فسفات W.F phosphate m^3/kg	ردپای کود پتاسه W.F pottas m^3/kg	سایر کودها W.F Other m^3/kg	جمع ردپای آب کود Total m^3/kg
گندم آبی Wheat	1.42	0.56	0.62	0.02	**2.62**
جو آبی Barely	0.71	0.38	0.10	0.003	**1.19**
پنبه آبی Cotton	0.73	0.34	0.00	0.00	**1.07**
یونجه آبی Alfalfa	1.49	0.61	0.32	0.12	**2.54**

در هلند آب کمتری نسبت به سایر کشورها در کشاورزی مصرف می شود. در این کشور، ردپای آب مجازی در گو شت مرغ در بهترین جایگاه قرار دارد. هند با مصرف ۷/۷۴ متر مکعب بر کیلوگرم بیشترین آب مصرفی را در پرورش مرغ دارا می‌باشد. متوسط ردپای آب مجازی در ایران برای تولید تخم‌مرغ ۴/۳۴ مترمکعب بر کیلوگرم اســت، حال آنکه متوســط ردپای آب‌مجازی برای تولید تخم‌مرغ در جهان، هند، مکزیک، روســیه، آمریکا و هلند به ترتیب برابر با ۳/۳۴، ۷/۵۳، ۴/۲۸، ۴/۹۲، ۱/۵۱ و ۱/۴ مترمکعب بر کیلوگرم می‌با شد. کشور هند با مقدار ۷/۵۳ متر مکعب بر کیلوگرم در تولید تخم‌مرغ مانند گوشـــت مرغ بیشترین آب را مصرف می‌کند و کمترین مصرف را نیز کشور هلند با م صرف ۱/۴ متر مکعب بر کیلوگرم دارا ست (۱۱). هرچقدر ردپای آب در مشتقات دام و طیور کم‌تر و مشابه متوسط جهانی باشد، نشان‌دهنده مدرن‌تر بودن سیستم پرورش دام و طیور در منطقه می‌باشد.

ردپای آب در کود

در جدول ۵ میزان ردپای آب کودهای ازته، فســفاته و پتاســه و مجموع آن برای ۴ محصول زراعی مهم استان قم ارائه شده است.

م طابق جدول بیشـــترین میزان رد پای آب در کود مربوط به محصــول گندم و پس از آن یونجه می‌باشــد. مقدار مصــرف کودهای ازته در تولید محصولات زراعی بیشترین مقدار را دارد و سهم بیشتری از ردپای آب در کود مربوط به کودهای ازته می‌باشــد. ســهم کودهای ازته در محصــول گندم و یونجه به‌ترتیب ۵۴ و ۵۹ درصــد از ســهم ردپای آب کل در کود را تشکیل می‌دهد. سهم ردپای آب کود ازته در پنبه و جو نیز به‌ترتیب معادل ۶۸ و ۶۰ درصــد می‌باشــد. ســهم کود فســفاته در محصــولات گندم، جو، پنبه و یونجه به‌ترتیب معادل ۲۱، ۳۲، ۳۲ و ۲۴ درصــد از ســهم کل ردپا می‌باشــد، همچنین ســهم کودپتاسه در محصولات مذکور به‌ترتیب ۲۴، ۸، ۰ و ۱۳ درصد از سهم کل ردپا می‌باشد. شکل برای درک بهتر از ردپای آب در کود ارائه شده است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ردپای آب مجازی در محصـــولات زراعی (گندم، جو، پنبه، پیاز، گو جه فرنگی، خربزه، هندوا نه، یونجه و ذرت)، دامی (گوشت قرمز، شیر، گوشت مرغ و تخم‌مرغ) و کود مصرفی محصولات (ازته، ف سفاته، پتا سه و سایر کودها) در ا ستان قم انجام شد. مفهوم ردپای آب مجازی در تولید محصولات عمده هر منطقه، سبب کاهش فشــار وارده و مدیریت هرچه بهتر منابع آب می‌گردد. نتایج تحقیق در بخش زراعی ن شان می‌دهد که ا ستان قم دارای پتان سیل ب سیار کمی در استفاده از آب سبز بود، که این امر خود گواه بر کمبود بارش در این منطقه می‌با شد، در مقابل ردپای آب سفید در مح صولات آبی ب سیار بالا و حدود ۵۰ در صد از حجم ردپای آب را به خود اخت صاص داد. در کشــت فاریاب می‌توان برای کاهش هدررفت آب و اختصــاص ندادن مقدار دیگری از آب برای رقیق‌ســازی کود های نیتروژن‌دار رد پای خاکستری را نادیده و مصرف کودهای ازته را با ردپای آب سفید انجام داد. در بخش دامی، متوســط ردپای آب مجازی برای تولید گوشــت قرمز، شــیر، گوشــت مرغ و تخم‌مرغ به‌ترتیب ۳۹، ۲/۴۲، ۴/۳۴ و ۷/۴ تخمین زده شد. مقای سه ارقام به‌د ست آمده با متو سط جهانی، گواه بر بالا بودن رد پای آب مجازی مشـــتقات دام و طیور در منطقه مورد مطالعه نســبت به متوســط جهانی می‌باشــد. بیشــترین علت بالا بودن سهم ردپای آب در تولبدات دام و طیور (گو شت قرمز، شیر، گو شت سقید و تخم‌مرغ) مربوط به تغذیه می‌باشد، صنعتی کردن هرچه بیشتر مر غداری ها به کاهش رد پای آب مجازی در تولیدات طیور کمک می‌کند. در بخش نهاده‌های م صرفی، ردپای آب در کودهای م صرفی برای تولید مح صولات کشاورزی مورد توجه قرار گرفت و به‌ترتیب در محصولات گندم، جو، پنبه و یونجه معادل ۲/۶۲، ۱/۱۹، ۱/۰۷ و ۲/۵۴ مترمکعب بر کیلوگرم محاسبه شد. انجام این پژوهش در سطح کشور و در تمام اســتان‌هایی که از لحاظ منابع آب محدود هســتند می‌تواند کمک شــایان و قابل‌توجهی را در جهت کنترل و مدیریت پایدار منابع آبی و دستیابی به الگوی کشت بهینه صورت دهد.

منابع

1- Ababaei B., and Ramezani Etedali H. 2014. Estimation of Water Footprint Components of Iran's Wheat Production: Comparison of Global and National Scale Estimates. Journal of Environment Process 1: 193-205. (In Persian with English abstract)

2- Allan J.A. 1997. Virtual Water-the Water, Food, and Trade Nexus: Useful Concept or Misleading Metaphor. Water International 28(1): 106-113.

3- Antonelli M., and Tamea S. 2015. Food-water security and virtual water trade in the Middle East and North Africa. International Journal of Water Resources Development 31(3): 326-342.

4- Dehghanpir Sh., Bazrafshan O.B., and Helisaz A. 2016. Estimation and Evaluation of Blue and Green Water Footprints of major Crops in Roudan in Hormozgan. Iranian Water and Wastewater Sconce and Engineering Congress. University of Tehran. (In Persian)

5- Hoekstra A.Y., and Hung P.Q. 2002.Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series, 11:166.

6- Hoekstra A.Y. 2012. The hidden water resource use behind meat and dairy. Animal Frontiers 2(2): 3-8.

7- IWMI. 2000. World water and climate Atlas, http://www.iwmi.org.

8- Khalili T., Sarai Tabrizi M., Babazadeh H., and Ramezani Etedali H. 2020. Water resources management of Qom Province by using the concept of water Footprint. Journal of Ecohydrology 6(4): 1109-1119. (In Persian)

9- Mekonnen M.M., and Hoekstra A.Y. 2010. A Global and High-Resolution Assessment of the Green, Blue and Gray Water Footprint of Wheat. Hydrology and Earth System Scinces14: 1259-1276.

10- Mekonnen M., and Hoekstra A.Y. 2011. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption.

11- Mekonnen M.M,. and Hoekstra A.Y. 2012. A global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems 15(3): 401-415.

12- Ministry of Energy, Qom Regional Water Company. Face to Face Talks, 2020. (In Persian)

13- Movahhed nejad E., Rmezani Etedali H., and Shokoohi A.R. 2019. Using the concept of virtual water footprint in livestock production to protect water resources. Jornal of Water and Soil Conservation 8(3): 134-143. (In Persian with English abstract)

14- Ramezani Etedali H., and Ababaei B. 2016. Estimation of Water Footprint Components in Provincial and National Scale Barely Production. Journal of Water Research in Agricultural 30(3): 431-443. (In Persian)

15- Schyns J.F., Hamaideh A., Hoekstra A.Y., Mekonnen M.M., and Schyns M. 2015. Mitigating the Risk of Extreme Water Scarcity and Dependency: the Case of Jordan. Water 7: 5705-5730.

16- Yatheendrdasan R.K., Arathy J., Rubasree M., Shimola C.M., and Rajeswari R. 2020. Evaluation of a Traveller Sprinkler System with Various Nozzles. Water Productivity Journal (WPJ) 1(1): 21-30.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 167-178

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۱۷۸-۱۶۷

Evaluation of Virtual Water Footprint in Crop, Livestock and Agricultural Consumption Inputs (Case Study: Gom, Province)

T. Khalili[1]- M. Sarai Tabrizi[2*]- H. Babazadeh[3]- H. Ramezani Etedali[4]
Received: 21-07-2020
Accepted: 23-01-2021

Introduction: Water resources management in arid and semi-arid regions is very important specially, in agricultural sector. The major share of water use is daily consumption by humans for drinking, washing and cooking. Furthermore, population growth increases agricultural production demand, and this highlights the role of water resources management in the agricultural sector. The 1950's studies showed 12 countries with a population of 20 million experienced water shortage. Virtual water is the volume of water which is consumed for a production from the beginning stage to the end. Scientists have shown that 96% of water footprints are related to crops, livestock and horticultural productions and only 4% it consumed as domestic water. Water balance data in Qom province shows that 90% of water resources are using in the agricultural sector. Investigation of water footprints in the agricultural sector is highly beneficial to improve water resources management in arid and semi-arid regions such as Qom.

Materials and Methods: The research was conducted to find out the production and cultivation water needs in the agricultural sector for 10 years, via calculating the gray, blue and green water footprints using Mekonnen and Hoekstra models. In the livestock sector, water footprint's information such as the number of livestock and poultry, production of red meat, chicken meat, egg and milk were also determined using the Mekonnen and Hoekstra. The water footprint in fertilizer was calculated using a questionnaire survey. Excel and SAS apps were used to analyze the collected data for all three study sections.

Results and Discussion: The results showed that the water footprint in wheat, barley, cotton, onion, tomato, melon, watermelon, alfalfa, and corn were 3018, 2882, 10960, 1463, 1525, 960, 2504, 1683 and 416 m^3/ton, respectively. The low irrigation efficiency led to a very high amount of white water footprint in the productions. Green water footprint was very low due to the lack of rainfall. In the livestock sector, the water footprint in red meat and milk were 39 m^3/kg and 2.42 m^3/lit, respectively which were much more than the global average. In the poultry sector, the water footprint in chicken meat and egg were 7.4 and 4.34 m^3/kg, respectively, that were very high compared to the global average. The water footprint in fertilizer for wheat, barley, cotton and alfalfa productions were 2.62, 1.19, 1.07 and 2.54 m^3/kg and this amount was higher under nitrogen fertilizer. The average virtual water footprint for chicken meat production in Qom province was 7.4 m^3/kg. This amount in the world, USA, India, Russia, Mexico and the Netherlands is equal to 3.92, 2.39, 7.74, 5.76, 5.01 and 2.22 m^3/kg respectively. In Netherlands, less water is in use in the agricultural sector than the other countries. In this country, the virtual water footprint in chicken meat is in the best position. India has the highest water consumption in poultry breeding with a consumption of 7.74 m^3/kg. The average virtual water footprint in Iran for egg production is 4.34 m^3/kg , while the average virtual water footprint for egg production in the world, USA, India, Russia, Mexico and the Netherlands is 3.34, 1.51, 7.53, 4.92, 4.28, and 1.4 m^3/kg, respectively. India consumes the most water in the production of eggs such as chicken with a quantity of 7.53 m^3/kg and the Netherlands has the least consumption with a value of 1.4 m^3/kg .

Conclusion: The concept of virtual water footprint in each region reduces the pressure on water resources. For better management in agricultural regions, it is possible to prevent the cultivation of high water demand crops. The most common cause of high water footprint in livestock and poultry is nutrition, so, internationally food import can be a good solution. Industrialization of poultry can also reduce water footprint. The implementation of this

1, 2 and 3- M.Sc. of Water Resources, Assistant Professor and Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.sarai@srbiau.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Imam Khomeini International University of Qazvin, Qazvin, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2021.14826.0

research can be a useful clue to the sustainable control and management of water resources and achieving an optimal cultivation pattern in our country and all provinces facing limited water resources.

Keywords: Green water footprint, Virtual water,Water resources management

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 179-188

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۱۸۸-۱۷۹

مقاله پژوهشی

اثرات اصلاح کاربری اراضی بر رفتار هیدرولوژیکی حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان

رضا چمنی[۱]- محمود آذری[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۷

چکیده

رشد سریع جمعیت و نیازهای فزاینده بشر به منابع مختلف سبب استفاده بیش از حد از اراضی، تغییر کاربری‌ها و تبدیل آن‌ها به اراضی کم بازده، باعث تغییر در وضعیت هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز شده است. در دهه‌های اخیر استفاده از اراضی بر حسب قابلیت یکی از ره‌یافت‌های مناسب جهت تعدیل و بهبود عملکرد هیدرولوژیکی آبخیزها شناخته شده است اما اثرات هیدرلوژیکی این تغییرات در حوضه‌های مختلف با تنوع کاربری و شرایط هنوز به درستی شناخته نشده است. از این رو این پژوهش به دنبال بررسی اثر اصلاح کاربری اراضی بر وضعیت هیدرولوژی حوضه آبخیز چهل‌چای در استان گلستان می‌باشد. به این منظور از مدل هیدرولوژی J2000 برای شبیه‌سازی هیدرولوژی حوضه استفاده شد. در این راستا مدل با استفاده از داده های هیدرومتری ایستگاه خروجی حوضه برای دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ واسنجی و اعتبار سنجی شد. در مرحله بعد با داده‌های اقلیمی دوره زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۲ اثر اصلاح کاربری حوضه در اجزاء هیدرولوژی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از اراضی متناسب با قابلیتشان باعث کاهش رواناب سطحی به میزان ۱۲/۹۹٪، رواناب زیر سطحی به میزان ۵/۲۵٪ و افزایش ۱/۷۵ درصدی نفوذ آب در خاک گردیده است. با کاهش رواناب سطحی و افزایش آب‌های زیرزمینی، میزان تخلیه حوضه در خروجی ۴/۳۲٪ کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز چهل‌چای، قابلیت اراضی، گلستان، مدل هیدرولوژیکی J2000، هیدرولوژی

مقدمه

در طی دهه‌های گذشته، میلیون‌ها هکتار از اراضی مرغوب به کاربری‌های دیگر و کم بازده تبدیل شده‌اند (۹) که می‌تواند پیامدهای ناخوشایندی در هیدرولوژی حوضه آبخیز به همراه داشته باشد (۱۴). تجزیه و تحلیل پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های مختلف نسبت به تغییر کاربری اراضی، نشان داده است استفاده صحیح از اراضی متناسب با پتانسیل سرزمین باعث تعادل در وضعیت هیدرولوژی حوضه می‌گردد (۱). کاربری اراضی و نوع و تراکم پوشش گیاهی از طریق تغییر در رطوبت، مواد آلی و ساختمان خاک نقش مؤثری در نفوذپذیری و کاهش رواناب دارد. خصوصیات هیدرولوژی حوضه شامل زمان تمرکز، تبخیر و تعرق، کیفیت آب، رواناب سطحی، مدت و حجم جریان پایه، میانگین جریان سالانه و کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی در اثر تغییر کاربری زمین، تحت تأثیر قرار می‌گیرند (۱۳، ۱۸، ۲۱، ۲۵ و ۳۲). همچنین عدم استفاده مناسب از اراضی باعث افزایش فرسایش، کاهش حاصل‌خیزی و ایجاد تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نیز می‌گردد (۹). پاسخ هیدرولوژیکی حوضه به تغییر کاربری اراضی رفتار غیر خطی دارد. مطالعات مختلف نشان داده که شرایط آستانه در اکثر سیستم‌های هیدرولوژیکی وجود دارد و عبور از شرایط آستانه موجب شتاب سریع یا تسریع روند پاسخ‌های مرتبط می‌شود. لذا با استفاده اصولی از اراضی می‌توان آستانه‌ها را افزایش داد (۲۹). در گذشته، برای بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی در هیدرولوژی حوضه، از حوضه‌های زوجی استفاده می‌شد با این حال، این روش ضمن صرف هزینه و زمان زیاد، قابل استفاده در حوضه‌های بزرگ نیست (۴). از این رو، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای بررسی سناریوهای کاربری اراضی و تاثیرات هیدرولوژیکی آن گسترش یافت (۱۱). در این میان مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی با توجه به توصیف فیزیکی از تولید رواناب و اثرات کاربری‌های مختلف در هیدرولوژی از محبوبیت بیش‌تری

---

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: m.azari@um.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.2021.15022.0

برخوردار می‌باشند (۲۳) برای مثال با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژی در حوضه Elbow در جنوب کانادا، کاهش ۲۸ درصد جنگل‌های خزان‌کننده و ۶ درصد جنگل‌های همیشه سبز، افزایش ۷/۳ درصد رواناب سطحی و کاهش ۱۳/۲ درصد جریان پایه را به همراه داشته است (۲۷). در پژوهشی در منطقه شرقی آفریقا، مشخص شد کاهش جنگل، رواناب سطحی و دبی اوج را به ترتیب ۱۶ و ۴۵ درصد افزایش داده است در حالی‌که جریان‌های کمینه به میزان ۷-۵ درصد کاهش یافته است. از طرفی با افزایش وسعت جنگل دبی سالانه و رواناب سطحی به ترتیب ۱۳ و ۲۵ درصد کاهش داشته است (۸). همچنین نتایج ساج کومار و همکاران (۱۹) در هند نشان داد با کاهش اراضی جنگلی به میزان ۳۲ درصد، دبی اوج حوضه ۱۵درصد افزایش داشته است. ژانگ و همکاران (۳۰) نیز بیان کردند با احیای جنگل‌ها و بهبود اراضی کشاورزی در چین، رواناب سطحی به میزان ۲۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش یافته است. سلمانی و همکاران (۲۰) با بررسی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر بیلان آبی حوضه آبخیز قزاقلی استان گلستان نشان دادند که اصلاح کاربری حوضه باعث کاهش رواناب از طریق افزایش نفوذپذیری، آب‌گذری به آبخوان سطحی و عمیق و افزایش تبخیر و تعرق می‌شود. از طرفی با تخریب منطقه مقدار رواناب افزایش یافته و مقادیر نفوذپذیری، آب‌گذری به آبخوان سطحی و عمیق و تبخیر و تعرق واقعی کاهش چشم‌گیری پیدا می‌کند. وهاب‌زاده و همکاران (۲۴) با بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی در حوضه آجرلو در آذربایجان غربی دریافتند که در ۳۳ سال گذشته اراضی مرتعی ۳۷/۶۵ درصد کاهش یافته و اراضی زراعی و بدون پوشش به ترتیب ۵۷/۲۷ و ۳۹/۹۸ درصد افزایش داشته است که موجب افزایش ۸۶/۸ درصدی دبی اوج و ۱۲/۷ درصد حجم رواناب شده است.

با توجه به مطالعات انجام شده نقش تغییر کاربری اراضی بر هیدرولوژی حوضه های آبخیز به عوامل متعددی از قبیل نوع تخریب جنگل، میزان تخریب، نوع گونه، شرایط آب و هوایی و وضعیت هیدروژئولوژی حوضه بستگی دارد. از این رو هدف اصلی این پژوهش بررسی نقش اثر اصلاح کاربری اراضی و رعایت تناسب و قابلیت اراضی بر بخش‌های مختلف چرخه هیدرولوژی حوضه چهل چای در استان گلستان در شمال ایران می‌باشد. اهداف جزئی تحقیق شامل مدل‌سازی هیدرولوژی حوضه و بررسی الگوی تغییرات زمانی اجزاء هیدرولوژی حوضه می‌باشد. حوضه آبخیز گرگان‌رود که حوضه چهل چای بخشی از آن می‌باشد به عنوان یک مرکز جمعیتی و کشاورزی در استان گلستان با تغییرات چشم‌گیر در جنگل‌زدایی و تبدیل به اراضی زراعی مواجه شده است. کاهش سطح جنگل‌ها و مراتع و تبدیل به اراضی زراعی بین سال‌های ۱۹۷۲ تا ۲۰۱۴ به شدت افزایش یافته است (۱۴). تبدیل اراضی عموماً بدون توجه به قابلیت‌ها و توانایی‌های آن‌ها می‌باشد و باعث ایجاد خسارت و آسیب‌های جدی شده است (۲۲).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

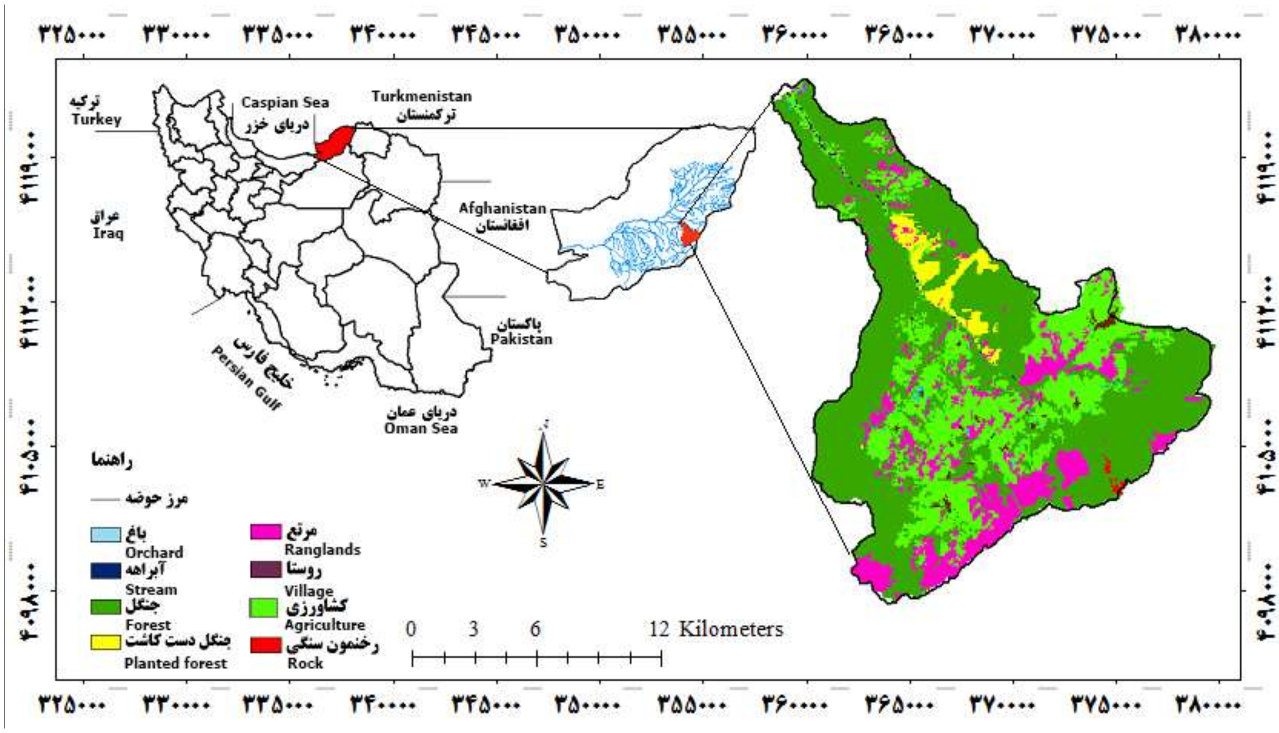
حوزه آبخیز چهل‌چای به مساحت ۲۵۶۸۱ هکتار یکی از زیر حوضه‌های بزرگ حوضه آبخیز گرگانرود می‌باشد (شکل ۱). ارتفاع متوسط حوضه ۹۵۱ متر است که کم‌ترین ارتفاع حوضه در شمال حوضه (۱۹۰ متر) و بیش‌ترین ارتفاع حوضه (۲۵۷۰ متر) در جنوب حوضه ثبت شده است. همچنین متوسط شیب حوضه ۳۷ درصد می‌باشد (۲). جهت غالب حوزه آبخیز مورد مطالعه شمال غربی است. منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای مرطوب با متوسط بارندگی سالانه ۹۰۰ میلی‌متر می‌باشد. حوضه چهل‌چای دارای ۸ نوع کاربری اراضی می‌باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱ بیش‌ترین کاربری حوضه جنگل (۵۷/۰۹٪) و سپس اراضی کشاورزی (۲۵/۰۴٪) و اراضی مرتعی (۱۳/۳۰٪) می‌باشد. این حوضه، فعالیت‌های انسانی و تخریب جنگل را طی دهه‌های گذشته تجربه کرده است و منجر به تغییرات گسترده و تأثیرات قابل توجه بر روی رواناب حوضه شده است (۷).

مدل هیدرولوژی J2000

مدل J2000 یک مدل هیدرولوژیکی فرآیندگرا و توزیعی برای حوضه‌های کوچک و بزرگ تا ۱۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد که با هدف پاسخگویی به چالش‌های موجود در مدیریت پایدار منابع آب توسط دانشگاه Friedrich Schiller University Jena کشور آلمان ارائه شده است (۸). هیدرولوژی حوضه در این مدل به بخش‌های گیرش، آب خاک، آب زیرزمینی، روندیابی جریان، روندیابی جانبی، بخش بارش (برف و باران) تفکیک شده است. در مدل J2000 برای تعیین گیرش بارش (برف و باران) از روش دیکنسون (۳) استفاده شده است (۱۰). با استفاده از این الگوریتم، حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی پوشش گیاهی توسط ضریب شاخص سطح برگ[1] محاسبه می‌شود. تقریباً تمامی فرآیندهای چرخه هیدرولوژیکی در مدل توسط بخش خاک کنترل می‌شود که نقش توزیع و تنظیم را بر عهده دارد. از آنجا که J2000 جریان آب را در مراحل زمانی روزانه شبیه¬سازی می‌کند،

الگوریتم‌های با پایه فیزیکی مانند معادله ریچارد[2] یا مدل گرین-آمپت[3] را نمی‌توان مورد استفاده قرار داد. لذا در مدل، برای محاسبه رواناب، از ۳ مقدار نفوذ در تابستان، زمستان و مناطق پوشیده از برف استفاده می‌شود که توسط کاربر تعیین می‌گردد (۱۰).

1- Leaf Area Index (LAI)
2- Richard’s equation
3- Green-Ampt model



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و کاربری آن در استان گلستان و ایران

Figure 1- Location of the study area and its land use in Golestan province and Iran

آب زیرزمینی در این مدل به بخش بالایی آبخوان (RG1) شامل مواد هوازده با نفوذپذیری بالا و بخش پایینی آبخوان (RG2) شامل شکستگی‌ها و درز و شکاف در سنگ بستر تفکیک می‌گردد. زمان اوج، سرعت انتقال و محاسبه جریان از پدیده‌های جریان درکانال می‌باشد که با توجه به روابط مانینگ و استریکلر محاسبه می‌شود. در سیستم مدل سازیJ2000 زمان حرکت و تخلیه رواناب توسط ضریب روندیابی کنترل می‌شود و نوع بارش نیز بر اساس دمای هوا تعیین می‌شود. به منظور تعیین مقدار برف و باران، دو دمای آستانه در نظر گرفته می‌شود. در بخش برف مراحل مختلف تجمع، دگردیسی و ذوب برف محاسبه می‌شود. برای اجرای مدل J2000، داده‌های اقلیمی بارش، دمای کمینه و بیشینه، سرعت باد، رطوبت نسبی و مطلق و ساعت آفتابی در مقیاس روزانه مورد نیاز است. از دیگر ورودی‌های مدل پارامترهای خاک‌شناسی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی می‌باشد که برای معرفی خصوصیات هیدرولوژی حوضه استفاده می شود (۱۰). برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل نیز امکان تنظیم ۳۶ پارامتر با روش‌های مختلف بهینه‌سازی پارامترها امکان‌پذیر است.

تهیه داده‌های ورودی مدل

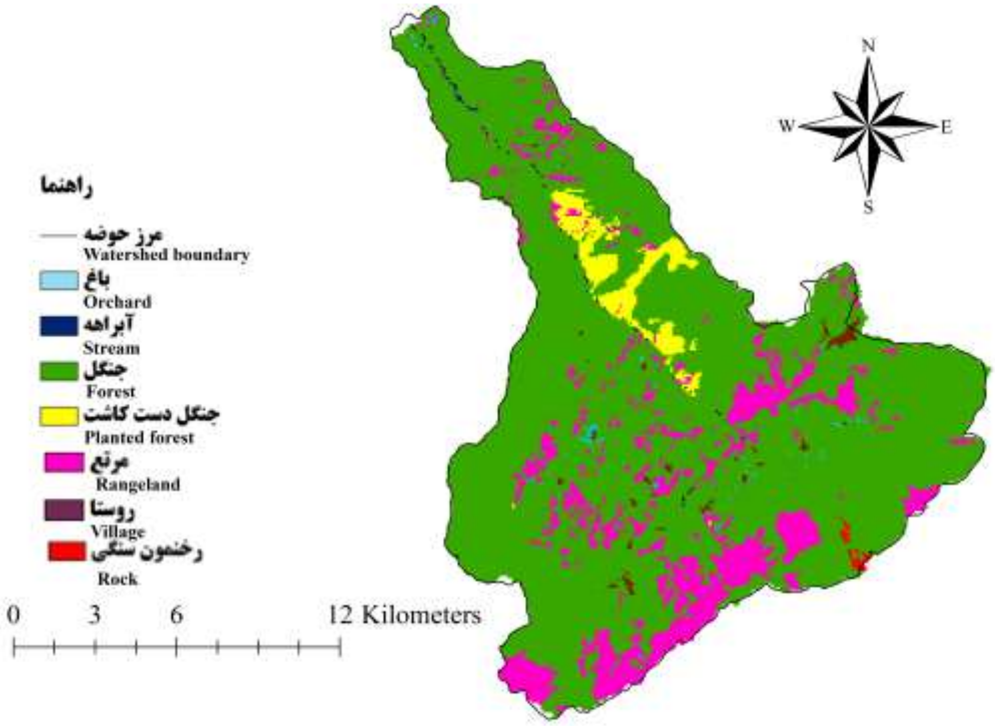
برای اجرای مدل J2000 داده‌های اقلیمی و داده‌های مکانی حوضه مورد نیاز است. در این پژوهش داده‌های هواشناسی (بارش روزانه، حداکثر دمای روزانه، حداقل دمای روزانه) ایستگاه‌های محدوده حوضه برای سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴ از اداره کل هواشناسی استان گلستان اخذ گردید (جدول ۱). مدل رقومی ارتفاع حوضه (DEM) با وضوح تصویر ۳۰ متر از پایگاه اینترنتی سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. سپس با استفاده از نقشه خاک حوضه اطلاعات بافت خاک به مدل HYDRUS2-1D وارد شد تا اطلاعات مورد نیاز حرکت آب در خاک بدست آید. مدل HYDRUS2-1D برای شبیه‌سازی حرکت آب در خاک استفاده می‌شود و برای این منظور از معادله ریچارد برای حرکت آب در خاک همراه با جذب ناشی از ریشه گیاهان استفاده می‌کند (۲۶). برای بخش کاربری اراضی، داده‌های کاربری‌های مختلف شامل تابش از سطح برگ[1]، حداقل مقاومت سطح برای خاک اشباع[2] از آب برای هر ماه، شاخص سطح برگ برای ۴ دوره رشد، ارتفاع پوشش مؤثر برای ۴ دوره رشد و عمق ریشه گیاه از نقشه کاربری اراضی حوضه و مطالعات انجام شده توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان در سال ۱۳۹۲ استخراج شد (۷).

1- Radiation from the leaf surface
2- Minimum surface resistance for water-saturated soil

جدول ۱- اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه چهل‌چای

Table 2- Information of meteorological and hydrometric stations of Chehel Chay basin

ایستگاه Station	نوع ایستگاه Station type	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude
Galikesh گالیکش	باران سنجی Rain gauge	4125605	361087
Gonbad گنبد		4124136	339745
Khormalu خرمالو		4104721	345922
Gonbad گنبد		4124181	337405
Farsyan فارسیان		4121210	376002
Tilabad تیل آباد	تبخیر سنجی Evaporation gauge	4086378	363955
Farsyan فارسیان		4121210	376002
Narab نرآب		4097656	374172
Lezireh لزوره	هیدرومتری Hydrometry	4121182	358253



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی اصلاح شده حوضه چهل چای

Figure 2- Modified land use map of Chehelchay watershed

حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی در بخش بالایی و پایینی آبخوان و ضریب نفوذ با توجه به نوع سازند زمین شناسی حوضه تعیین گردید. در مرحله بعدی با توجه به وضعیت خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، اقلیمی و شیب حوضه واحدهای همگن هیدرولوژیکی به صورت فایل HRU[1] تعریف و به مدل معرفی شد. در حوضه چهل‌چای در دهه‌های اخیر به دلایل مختلف بخش زیادی از مناطق جنگلی نابود شده و به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. در این مطالعه نقشه کاربری اراضی حوضه با فرض تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی جنگلی تهیه و به مدل معرفی شد (شکل ۲).

1- Hydrological Response Unit

جدول ۲- ضرایب کارایی مدل برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی
Table 2- Model performance coefficients for calibration and validation periods

آماره Criteria		دوره واسنجی Calibration	دوره اعتبارسنجی Validation	کل دوره Total
ضریب نش-ساتکلیف Nash–Sutcliffe Efficiency Index	ماهانه Monthly	0.74	0.78	0.72
	روزانه Daily	0.5	0.63	0.5
ضریب تبیین (R^2) Coefficient of determination	ماهانه Monthly	0.71	0.7	0.75
	روزانه Daily	0.5	0.67	0.5

نتایج و بحث

واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژی J2000

برای شبیه‌سازی هیدرولوژی، حوضه چهل‌چای به ۲۰۱۳ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم شد. سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۴ به عنوان دوره شبیه‌سازی انتخاب شد. در این پژوهش دبی روزانه ایستگاه خروجی حوضه برای سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۲ به عنوان دوره واسنجی و سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۱ به عنوان دوره اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور واسنجی مدل، دامنه ۲۸ پارامتر منتخب براساس منابع تعیین شد (۸). در جدول ۲ نتایج آماره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای دوره شبیه‌سازی ارایه شده است. ضریب تبیین (R^2) برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۸۳ می‌باشد. با توجه به ضریب نش- ساتکلیف به‌دست آمده در جدول ۲ و طبق معیار کیفی ارایه شده توسط موریاسی و همکاران (۱۵)، کارایی مدل در رتبه "خوب" قرار گرفته است و قابلیت استفاده در تحقیق حاضر را دارا می‌باشد.

تغییرات ماهانه اجزاء هیدرولوژی حوضه

پس از تایید کارایی مدل نهایی، مدل با نقشه کاربری اراضی حال و نقشه اصلاح شده برای دوره زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۲ اجرا شد. درصد تغییر بخش‌های مختلف هیدرولوژی حوضه برای ماه‌های مختلف در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس جدول ۳ مقدار رواناب سطحی و تا حدودی رواناب زیر سطحی در تمام ماه‌ها کاهش داشته است که این مقدار کاهش برای رواناب سطحی از ۲/۲۶ درصد در ماه ژوئن تا ۲۸/۳۸ در ماه دسامبر متغیر است. در تحقیق که توسط لیو و همکاران (۱۲) در چین انجام شده است به این موضوع اشاره شده است که پوشش‌های جنگلی با افزایش میزان تاج پوشش باعث کاهش رواناب سطحی می‌شود همچنین ژانگ و همکاران (۳۰) نیز کاهش ۲۰ تا ۱۰۰ درصدی مقدار رواناب سطحی را در اثر توسعه جنگل گزارش کرده‌اند. همچنین فولن (۹) و ات و هلنبروک (۱۶) نیز افزایش تاج پوشش، گسترش بیش‌تر ریشه، افزایش برگاب و هوموس را دلیل کاهش رواناب سطحی حوضه در اثر جنگل کاری عنوان نموده‌اند.

نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار نفوذ آب به سفره‌های زیرزمینی مثبت بوده به طوری که بیش‌ترین نفوذ به آب‌های زیرزمینی به مقدار ۱/۷۲-۰/۸۳ درصد برای بخش آبخوان بالایی (RG1) و به میزان کمتر (۰/۵۲-۰/۴۸ درصد) برای آبخوان تحتانی (RG2) مشاهده شده است. مطالعات ویجزکارا و همکاران (۲۷) نیز نشان می‌دهد با تغییر کاربری و استفاده از کاربری‌های مناسب، میزان نفوذ به آب‌های زیرزمینی افزایش خواهد یافت که موید نتایج این پژوهش می‌باشد. ژو و لی (۳۳) نیز معتقداند با اصلاح کاربری اراضی مقدار آب‌های زیرزمینی حوضه افزایش می‌یابد. نتیجه تغییرات در بخش‌های مختلف سبب شده است که مقدار جریان دبی ماهانه حوضه چهل‌چای به طور متوسط ۴/۵ درصد کاهش داشته باشد که این کاهش از ۰/۱۳ درصد در ماه ژوئن تا ۹/۲۶ درصد در ماه دسامبر متغیر است. توسعه جنگل و به تبع آن رشد ریشه درختان در خاک سبب افزایش میزان تخلخل و نفوذپذیری خاک می‌شود، به طوری‌که منافذ بزرگ (satLPS[1]) در خاک افزایش می‌یابد. مطالعات نشان داده بیش‌ترین مقدار ریشه درختان و پوشش‌های گیاهی در منافذ متوسط خاک قرار دارند (۱۰). در تابستان که میزان رشد و نمو و تعرق از سطح گیاهان افزایش می‌یابد، آب بیش‌تری توسط گیاهان مصرف شده و از دسترس خارج می‌گردد لذا در ماه‌های آوریل تا جولای میزان فضای خالی در منافذ متوسط خاک (satMPS) نیز افزایش یافته، به طوری‌که در این ماه‌ها بین ۰/۵ تا ۱/۶۹ درصد منافذ خالی در منافذ متوسط خاک افزایش داشته است ولی در دیگر ماه‌های سال کاهش یافته است.

1- Large Pore Storage Saturation

جدول ۳- درصد تغییر اجزاء هیدرولوژی حوضه در اثر اصلاح کاربری حوضه نسبت به کاربری حاضر در دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۲
Table 3- Monthly changes (%) of hydrological components of the basin of the land use scenario compared to the current land use in the period 2014-1992

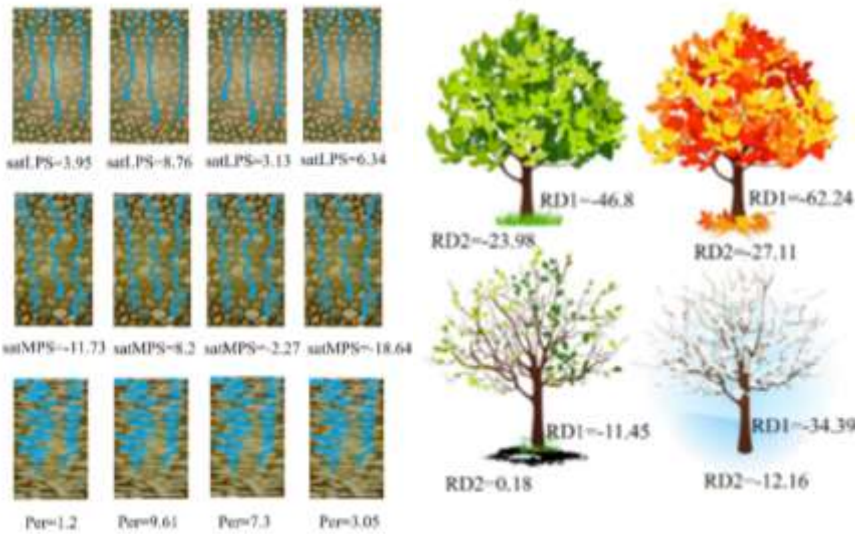
ماه Month	آب‌های زیرزمینی بخش۲ RG2	آب‌های زیرزمینی بخش۱ RG1	رواناب زیر سطحی RD2	رواناب سطحی RD1	ظرفیت اشباع منافذ بزرگ SatLps(%)	ظرفیت اشباع منافذ متوسط SatMps(%)	نفوذ عمقی Percolation	دبی Discharge
Jan	0.48	1.18	-5.67	-16.33	1.44	-4.82	0.56	-6.28
Feb	0.48	1.03	-4.01	-10.27	1.21	-4.31	0.27	-5.50
Mar	0.51	0.88	-2.48	-7.79	1.30	-2.60	0.37	-4.61
Apr	0.48	0.83	-0.84	-5.69	2.48	0.50	1.72	-3.18
May	0.50	1.10	1.28	-3.50	3.07	3.79	3.57	-1.12
Jun	0.50	1.49	-0.26	-2.26	3.21	3.91	4.32	-0.13
Jul	0.52	1.70	-4.97	-6.26	0.94	1.69	2.76	-1.38
Aug	0.52	1.69	-9.03	-20.45	0.29	-0.85	1.98	-5.58
Sep	0.52	1.72	-9.98	-20.09	1.90	-3.11	2.56	-4.38
Oct	0.49	1.38	-8.57	-10.03	2.20	-3.59	1.50	-2.74
Nov	0.51	1.41	-10.13	-23.83	1.96	-6.86	1.16	-6.60
Dec	0.52	1.30	-8.41	-28.38	2.18	-8.19	0.39	-9.26

با تغییر پوشش گیاهی از کشاورزی به جنگل و افزایش ذخیره آب در خاک، میزان نفوذ به آب‌های زیرزمینی نیز افزایش داشته و در ماه‌های می و ژوئن به بیش‌ترین میزان نفوذ می‌رسد (جدول ۳). زمانی که منافذ متوسط از آب اشباع باشد، آب در منافذ بزرگ باقی می‌ماند. لذا با افزایش ذخیره آب در منافذ بزرگ در ماه‌های می تا ژوئن، رواناب سطحی (RD1) بین ۲۸/۳۸-۶/۲۶ درصد و رواناب زیر سطحی (RD2) بین ۸/۴۱-۴/۹۷ درصد کاهش داشته است (جدول ۳). مطالعات کروز (۱۰) نیز نشان داد منافذ بزرگ قادر به نگه‌داشت آب در خود نیستند لذا آب در جهت عمودی تحت نیروی گرانش به منافذ متوسط منتقل می‌شود. زمانی که منافذ متوسط از آب اشباع باشد، آب به این منافذ نفوذ نمی‌کند و در منافذ بزرگ باقی مانده و به صورت افقی حرکت کرده و سبب افزایش جریان زیر سطحی می‌گردد. در منافذ متوسط آب فقط می‌تواند به لایه‌های زیرین نفوذ کند یا توسط ریشه درختان مصرف شود.

دبی در خروجی حوضه تحت تأثیر بخش‌های مختلف هیدرولوژی حوضه می‌باشد. با کاهش رواناب سطحی و افزایش نفوذ به آب‌های زیرزمینی مقدار دبی خروجی حوضه کاسته می‌شود. در مطالعات یاو و همکاران (۲۸) احیای پوشش جنگلی و افزایش ۳۰ درصدی شاخص سطح برگ، کاهش جریان به میزان ۴۱ درصد در فصل خشک گزارش شده است که از مهم‌ترین علل آن کاهش میزان نفوذ آب به خاک در فصل مرطوب عنوان شده است.

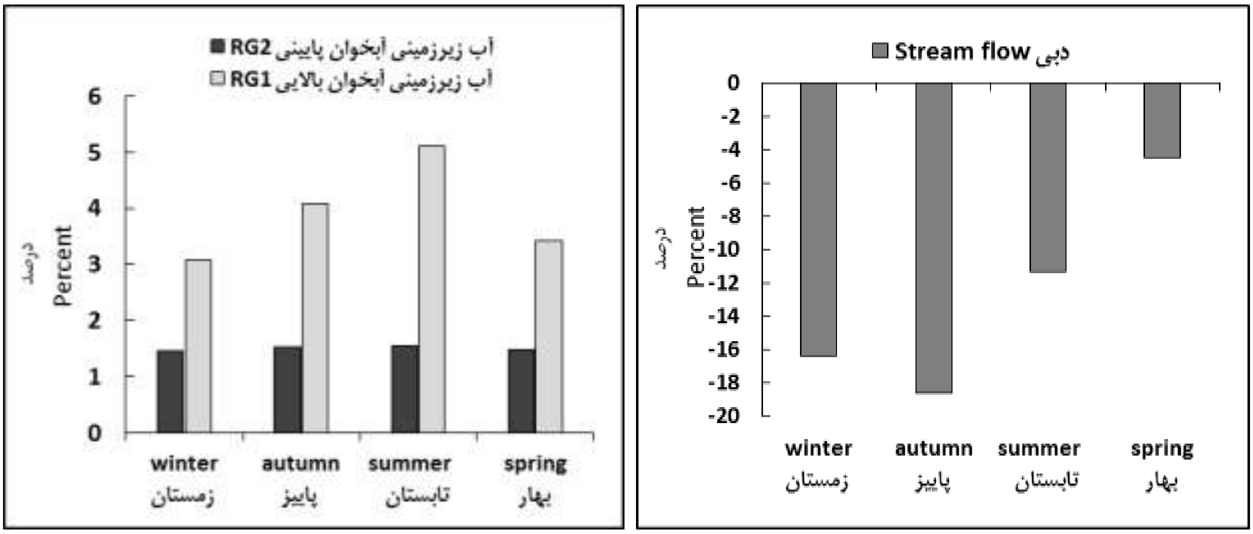
تغییرات فصلی هیدرولوژی حوضه

تغییرات فصلی رواناب سطحی (RD1)، زیر سطحی (RD2)، منافذ بزرگ (SatLPS)، متوسط (SatMPS)، نفوذ به آب‌های زیرزمینی (Per)، دبی و آب‌های زیرزمینی حوضه در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در فصل بهار بیش‌ترین میزان آب در منافذ بزرگ ذخیره شده است که به تبع آن منافذ متوسط نیز فقط در فصل بهار بیش‌ترین ذخیره آب را به خود اختصاص داده‌اند. آب در منافذ متوسط تحت نیروی ثقل و شیب حوضه به صورت عمودی یا زیر قشری جریان می‌یابد. لذا فقط در فصل بهار آب‌های زیر قشری افزایش یافته است. همچنین میزان نفوذ به آب‌های زیرزمینی نیز در بیش‌ترین مقدار خود به میزان ۹/۶۱ درصد وجود خواهد داشت. رواناب سطحی (RD1) در هر چهار فصل کاهش خواهد یافت که بیش‌ترین کاهش در فصل پاییز به میزان ۶۲/۲۴ درصد خواهد بود. مطالعات سلمانی و همکاران (۲۰) در حوضه قزاقلی استان گلستان نیز نشان داد تغییر کاربری از جنگل به مرتع و همچنین از کشاورزی به مرتع سبب کاهش رواناب سطحی و افزایش نفوذ و آب‌گذری به آب‌های زیرزمینی می‌شود و نتایج پژوهش را تأیید می‌کند. همچنین با نتایج پالامونی و همکاران (۱۷) در تغییر کاربری از جنگل به مرتع و مناطق مسکونی و زراعت همخوانی دارد.



شکل ۳- درصد تغییرات فصلی اجزاء هیدرولوژی حوضه

Figure 3- Seasonal percent change in hydrological components of the Watershed



شکل ۴- تغییرات فصلی دبی و آب‌های زیرزمینی حوضه

Figure 4- Seasonal changes in discharge and groundwater of the basin

نتیجه‌گیری

بررسی وضعیت کاربری حوضه چهل‌چای نشان داد تغییرات مختلف کاربری اراضی در جهت منفی، قطع بیش از حد و مدیریت نشده درختان و افزایش غیر اصولی اراضی کشاورزی باعث تشدید وضعیت هیدرولوژی حوضه شده است. در این پژوهش برای ارزیابی بیلان آبی حوضه، کاربری‌های اراضی بر اساس قابلیت و توانایی آن‌ها تعیین گردید. سپس اثرات هیدرولوژیکی کاربری‌های اراضی بر وضعیت هیدرولوژی در حوضه آبخیز چهل‌چای با شبیه‌سازی‌های مدل هیدرولوژیکی ارزیابی شده است. در ابتدا مدل هیدرولوژیکی J2000 با استفاده از داده‌های جریان مشاهده شده ایستگاه خروجی حوضه واسنجی و اعتبارسنجی گردید. نتایج واسنجی نشان داد که مدل فرآیندهای هیدرولوژی حوضه را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند و قابلیت استفاده در این پژوهش را دارد. پس از تعیین توانایی مدل، به صورت جداگانه کاربری فعلی و کاربری بهینه به همراه بارندگی دوره ۲۰۱۴-۱۹۹۲ به مدل وارد شد. نتایج شبیه‌سازی سناریوهای مختلف کاربری اراضی نشان می‌دهد با تغییر کاربری کشاورزی به جنگل، میزان رواناب سطحی به میزان ۲/۲۶ تا ۲۸/۳۸ درصد و زیر سطحی

بین ۰/۲۶ تا ۱۰/۱۳ درصد در کل حوضه کاهش داشته است. با کاهش سرعت رواناب سطحی، میزان نفوذ و آب‌های زیرزمینی به ترتیب بین ۰/۲۷ تا ۴/۳۲ و ۰/۴۸ تا ۱/۷ درصد افزایش یافته است. تغییرات هیدرولوژیکی در سطح حوضه دبی خروجی از حوضه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد و با کاهش رواناب سطحی و زیر سطحی، میزان دبی در خروجی حوضه نیز بین ۰/۱۳ تا ۹/۲۶ درصد کاهش یافته است.

منابع

1- Arancibia J.L.P. 2013. Impacts of Land Use Change on Dry Season Flows Across the Tropics Forests as ‘Sponges’ and ‘Pumps ’. University of London PhD thesis. 262.
2- Arefi asl A., Najafi nejad A., Kiyani F., and Mahini andalradul S. 2012. Runoff and sediment simulation using SWAT model in Chehelchai watershed of Golestan province. Rangeland and Watershed Management 66(3): 433-446. (In Persian with English abstract)
3- Dickinson R.E. 1984. Modelling evapotranspiration for three-dimensional global climate models. In: Hansen, J.E., Takahasi, T. (Eds.), Climate Processes and Climate Sensitivity Geophysical Monograph Series 29, Washington.
4- Felix N., Simon S., and Markus W. 2002. A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change. Hydrology 267:74–79.
5- Fisher C., Kralisch S., Krause P., Fink M., and Flügel W.A. 2009. Calibration of hydrological model parameters with the JAMS framework. 18th World IMACS /MODSIM Congress, Cairns, Australia 13: 866-872.
6- Fullen M. 1998. Effects of grass ley set-aside on runoff, erosion and organic matter levels in sandy soils in East Shropshire, UK. Soil and Tillage Research 46: 41–49.
7- General Department of Natural Resources and Watershed Management of Golestan Province, Watershed Management Unit, Watershed Management Studies. 2013,1-44. (In Persian with English abstract)
8- Guzha A.C., Rufinoa M.C., Okothb S., Jacobsa S., and Nóbregae R.L.B. 2018. Impacts of land use and land cover change on surface runoff, discharge and low flows: Evidence from East Africa. Journal of Hydrology: Regional Studies 15: 49–67.
9- Heidarloua H.B., Shafieia A.B., Erfanianb M., Tayyebic A., and Alijanpoura A. 2019. Effects of preservation policy on land use changes in Iranian Northern Zagros forests. Land Use Policy 81: 76-90.
10- Krause P. 2002. Quantifying the impact of land use changes on the water balance of large catchments using the J2000 model. Physics and Chemistry of the Earth 27: 663–673.
11- Lin B., Chen X., Yao H., Chen Y., Liu M., and Gao L. 2015. Analyses of landuse change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. Ecological Indicators 58: 55–63.
12- Liu J., Zhang C., Kou L., and Zhou Q. 2017. Effects of Climate and Land Use Changes on Water Resources in the Taoer River. Advances in Meteorology, 13 pages.
13- Miller J.D., and Hutchins M. 2017. The impacts of urbanization and climate change on urban flooding and urban water quality: a review of the evidence concerning the United Kingdom. Journal of Hydrology: Regional Studies 12: 345–362.
14- Minaei M., and Kainz W. 2018. Land Cover Change Dynamics Based on Intensity Analysis in Gorganrood Watershed, Iran. Journal of Agrculture Science Technology 20: 965-978.
15- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D., and Veith T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Trans. ASABE 50: 885–900.
16- Ott B., and Stefan U. 2004, quantifying the impact of land use changes at the event and seasonal time scale using a process-oriented catchment model. Hydrology and Earth System Sciences 8: 62–78.
17- Palamuleni L.G., Ndomba P.M., and Annegarn H.J. 2011. Evaluating land cover change and its impact on hydrological regime in Upper Shire river catchment, Malawi. Journal of Regional Environmental Change 11(4): 845-855.
18- Paul M. 2016. Impacts of Land Use and Climate Changes on Hydrological Processes in South Dakota Watersheds. Thses and Dissertations. Paper 1018.
19- Sajikumar N., and Remya R.S. 2014. Impact of land cover and land use change on runoff characteristics. Journal Environment Management 161: 460-468.
20- Salmani H., Mohsenisaravi M., Rohuni H., and Salajeghah A. 2012. Evaluation of land use change and its effect on hydrological regime in Ghazaghli watershed of Golestan province. Journal of Watershed Management 3: 43-60. (In Persian with English abstract)
21- Shrestha M.K., Recknagel F., Frizenschaf J., and Meyer W. 2017. Future climate and land uses effects on flow and nutrient loads of a Mediterranean catchment in South Australia. Science of the Total Environment 15: 186–193.
22- Sohrabi A., and Chegini M.A. 2012. Evaluation of land suitability and radiation-thermal production potential of sugar beet by FAO method in the fields of Lorestan, Iran. Journal of Sugar Beet 27: 38-44.

23- Twine TE., Kucharik CJ., and Foley JA. 2004. Effects of land cover change on the energy and water balance of the Mississippi River basin. Journal of Hydrometeorology 5: 640–655.
24- Vahabzadeh GH., Navidifar Y., Habibnejad roushan M., and Abghari H. 2014. Investigating the Impact of Land Use Change on Daily River Flow Using HEC-HMS Model (Case Study: Ajrlu Watershed, West Azerbaijan Province). Journal of Soil and Water Science 24: 227-236. (In Persian with English abstract)
25- Wagner P.D., Murty Bhallamudi S., Narasimhan B., Kantakumar L.N., Sudheer K.P., Kumar SH., Schneider K., and Fiener P. 2016. Dynamic integration of land use changes in a hydrologic assessment of a rapidly developing Indian catchment. Science of the Total Environment 539: 153–164.
26- Watson A., Kralisch S., Künne A., Fink M., and Miller J. 2020. Impact of precipitation data density and duration on simulated flow dynamics and implications for ecohydrological modelling in semi-arid catchments in Southern Africa, Journal of Hydrology 1: 1-44
27- Wijesekara G.N., Gupta A., Valeo C., Hasbani J.-G., Qiao Y., Delaney P., and Marceau D.J. 2012. Assessing the impact of future land-use changes on hydrological processes in the Elbow River watershed in southern Alberta, Canada. Journal of Hydrology 412:413, 220–232.
28- Yao H.X., Hashino M., Xia J., and Chen X.H. 2009. Runoff reduction by forest growth in Hiji River basin, Japan. Hydrology Science Journal 54: 556–570.
29- Zehe E., and Sivapalan M. 2009. Threshold behavior in hydrological systems as (human) geo-ecosystems: manifestations, controls, implications. Hydrology and Earth System Sciences 13: 1273–1297.
30- Zhang X., CAO W., GUO Q., and WU S. 2010. Effects of landuse change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau.ELSEVIER 25: 283-293.
31- Zhang Y., Guan D., Jin C., Wang A., Wu J., and Yuan F. 2011. Analysis of impacts of climate variability and human activity on stream flow for a river basin in Northeast China. Journal of Hydrology 410:239–247.
32- Zhang Y., Guan D., Jin C., Wang A., Wu J., and Yuan F. 2011. Analysis of impacts of climate variability and human activity on stream flow for a river basin in Northeast China. Journal of Hydrology 410: 239–247.
33- Zhu Ch., and Li Y. 2014. Long-term hydrological impacts of land use/land cover change from 1984 to 2010 in the Little River Watershed, Tennessee. International Soil and Water Conservation Research 2: 11-22.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 179-188

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۱۸۸-۱۷۹

Land Use Restoration Impacts on Hydrological Behavior of Chehel Chay Watershed of Golestan Province

R. Chamani[1]– M. Azari[2*]
Received: 12-08-2020
Accepted: 05-02-2021

Introduction: Over the past decades, millions of hectares of high-quality lands have been converted to other uses and low-yielding agriculture, which have had some unpleasant consequences for watershed hydrology. Analysis of hydrological responses of different basins to land use change has shown that correct land use balances the hydrological status of the basin, so that land use and the type and density of vegetation play an effective role in permeability and runoff reduction by changing humidity, soil organic materials and soil structure. Dimensions of hydrological effects of land capability in Chehel chay watershed in Golestan province, which is affected by land use change and deforestation, are more important. Therefore, this study seeks to investigate different scenarios of land use change and its effect on the hydrological status of the basin.

Materials and Methods: The J2000 hydrology model was used to simulate the hydrology of the basin. To better investigate the spatial and temporal variations of the hydrological parameters of the study area, it is divided into 2013 hydrological response units. After calibrating the J2000 hydrological model, the model was fed by rainfall data (1992-2014) and land use potential.

Results and Discussion: To evaluate the performance of the model, the dataset obtained in the time period of 2002-2014 was used for selection simulation and the first nine-years was considered as the calibration period and the remaining was considered as the validation period. The R^2 of 0.67 and 0.55, and NAS coefficients of 0.83 and 0.76 were found in the calibration and validation periods, respectively. According to the ranking of Moriasi et al., the model efficiency is "good" and can be used in the present study. Several studies with similar observational data have reported similar results. The results showed that in summer and in May and June, the emptiest space in LPS soil pores is 3.07 and 3.21%, respectively. Increasing the consumption of MPS soil pores has also increased, and from 0.5 to 1.69% of the empty pores in the average soil pores has increased in these months. Therefore, increasing water storage in LPS pores in the months of May to June, surface runoff (RD1) decreased within the range of 6.28-26.38%, and the range of subsurface runoff (RD2) reduction was 4.41-8.41%. The amount of water percolation into groundwater aquifers was positive, and the highest infiltration into groundwater ranged from 0.83 to 1.72% for fast section groundwater (RG1), and from 0.48 to 0.52% for groundwater. Large pores do not hold much water, and water is transferred vertically to medium pores under gravity. When medium pores are saturated with water, water does not penetrate into these pores and remains in large pores and moves horizontally, increasing the subsurface flow. The results indicate that deforestation in order to expand agricultural lands and inappropriate use of the lands are the most important problems. Moreover, population growth has exacerbated the condition, necessitating proper land use management and planning. The scholars have also stated that proper land use has important effects on the water balance of watersheds.

Conclusion: In this study, the hydrological effects of land uses on the hydrological situation in Chehel chay watershed have been evaluated by simulations of the hydrological model. Our results reveal that the unplanned land use changes, land clearing, and expansion of agricultural lands have intensified the hydrological situation of the basin. The peak discharge of surface and subsurface runoff in hydrological response units decreased and the rate of water infiltration into soil and groundwater increased. Reduction of surface and subsurface runoff has also decreased the discharge in the basin outlet.

Keywords: Chehelchai watershed, Land capability, Golestan, Hydrological model J2000, Hydrology

1 and 2- M.Sc. Gradaute and Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, College of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: m.azari@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.2021.15022.0

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 189-202

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۰۲-۱۸۹

مقاله پژوهشی

ارزیابی قابلیت مدل‌های مبتنی بر داده‌کاوی در پیش‌بینی عملکرد گندم آبی در کشور

افشین یوسف گمرکچی[1*]- جواد باغانی[2]- فریبرز عباسی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷

چکیده

گندم و نان به‌عنوان اصلی‌ترین غذای مردم در کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. گندم نه‌تنها یک کالای مهم تجاری در دنیا محسوب می‌شود، بلکه به‌عنوان سلاحی برتر در مناسبات سیاسی و جهانی روز به‌روز بر اهمیت استراتژیک آن افزوده می‌شود. از این رو تحلیل و پیش‌بینی وضعیت تولید این محصول همواره مورد توجه بوده است. در این تحقیق کارایی سه مدل شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون خطی چند متغیره و مدل درختی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم آبی در مناطق عمده تولید در سطح کشور، بر اساس اطلاعات میدانی ثبت شده ۲۴۱ مزرعه، ارزیابی شد. نتایج تحقیق نشان داد ضریب تبیین مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون خطی چند متغیره به ترتیب برابر ۰/۶۷۲ و ۰/۵۷۷ بود که با اعمال گروه‌بندی داده‌ها به روش درختی ضریب تبیین مدل پیش‌بینی به ۰/۷۶۲ افزایش یافت. نتایج خروجی مدل درختی نشان داد مناطق عمده تولید گندم در سطح کشور از نظر حجم آب مصرفی، به ۴ گروه مستقل قابل تفکیک است. نهایتاً می‌توان نتیجه گرفت مدل درختی با اعمال گروه‌بندی هدفمند در داده‌های ورودی، می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در تخمین عملکرد گندم آبی در قطب‌های عمده تولید گندم در سطح کشور مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: داده‌کاوی، حجم آب مصرفی، گروه‌بندی، مدل‌سازی

مقدمه

با افزایش قیمت مواد غذایی در سال‌های اخیر اهمیت پیش‌بینی دقیق‌تر و به‌موقع تولید محصول در مقیاس ملی و جهانی افزایش یافته است. چنین اطلاعاتی برای ایجاد برنامه‌ریزی آگاهانه در بخش کشاورزی در سطح ملی و بین‌المللی، تثبیت بازارها، افزایش دسترسی به بازار و جلوگیری از کمبود مواد غذایی ضروری به نظر می‌رسد (۸). گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک در ترکیب کشت کشاورزی کشور همواره مطرح بوده و بخشی از سیاست‌گذاری کلان در بخش کشاورزی معطوف به این محصول بوده است. به‌منظور پیش‌بینی عملکرد محصول قبل از برداشت، طیف وسیعی از تکنیک‌ها مانند استفاده از ارزیابی کمی تناسب اراضی، روش‌های مبتنی بر سنجش از دور، مدل‌های شبیه‌سازی محصول و روش‌های رگرسیونی به کار گرفته شده است (۶، ۷، ۱۴ و ۲۶). یکی از روش‌های مدل‌سازی که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین در علوم مختلف واقع شده، مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی است. شبکه‌های عصبی مصنوعی جزء سامانه‌های دینامیکی هوشمندی هستند که با پردازش داده‌های تجربی، قانون نهفته در ورای اطلاعات را به ساختار شبکه منتقل می‌کنند (۲۵). نوروزی و همکاران (۱۷) از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم دیم در مناطق نیمه‌خشک و کوهستانی غرب ایران استفاده نمودند. محنت کش و همکاران (۱۵) با استفاده از مدل‌های رگرسیون چند متغیره خطی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، عملکرد گندم دیم را در مناطقی از زاگرس مرکزی برآورد نمودند. نتایج نشان از توانایی بهتر شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون چند متغیره خطی در برآورد عملکرد دانه و زیست‌توده گندم دیم در مناطق مورد مطالعه داشت. خوشنویسان و همکاران (۱۲) از روش نروفازی و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی عملکرد گندم در منطقه فریدون‌شهر واقع در استان اصفهان استفاده کردند. داده‌های

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان قزوین، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، قزوین، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: a.gomrokchi@areeo.ac.ir)
۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار و استاد مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

DOI: 10.22067/jsw.2021.15029.0

مورد استفاده در این تحقیق از ۲۶۰ مزرعه گندم جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که مدل نروفازی می‌تواند عملکرد گندم را دقیق‌تر از مدل شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کند. ثروتی و همکاران (۲۲) از روش‌های فراکاوشی در تخمین عملکرد گندم شهرستان هریس استفاده نمودند. نتایج تحقیق نشان داد، مدل ترکیبی نروفازی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار در تخمین عملکرد گندم عمل کند. وو و ین (۲۷) از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون چند متغیره برای پیش‌بینی عملکرد گندم در ارتباط با مصرف کود نیتروژنه استفاده نمودند. آلوارز (۲) با به‌کارگیری شبکه‌های عصبی مصنوعی، متوسط عملکرد گندم را در منطقه پامپاس آرژانتین برآورد کرد. وی با استفاده از پارامترهای خاک و همچنین پارامترهای هواشناسی و به‌کارگیری مدل‌های رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی، میزان عملکرد گندم را برآورد نمود. نتایج تحقیق نشان داد عملکرد محصول به ترتیب به پارامترهای ظرفیت نگهداری آب در خاک و محتوای کربن آلی خاک وابستگی بیشتری داشته است. وی گزارش نمود که مدل شبکه عصبی با دقت بسیار خوبی نسبت به مدل‌های رگرسیون عملکرد را برآورد کرده و چنانچه داده‌های مورد استفاده در این مدل در بازه زمانی ۴۰ تا ۶۰ روز قبل از برداشت گندم موجود باشند، می‌توان از این مدل به‌منظور برآورد عملکرد گندم در منطقه استفاده کرد. اسلام و همکاران (۳) بر اساس داده‌های ۷۱ سال تولید گندم در کشور پاکستان (از سال ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۸) و قابلیت‌های شبکه عصبی مصنوعی، اقدام به پیش‌بینی تولید این محصول در کشور پاکستان نمودند.

علاوه بر مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی، امروزه از قابلیت‌های روش‌های داده‌کاوی به‌منظور بهبود نتایج خروجی مدل‌های پیش‌بینی و تحلیل اطلاعات میدانی استفاده شده است. مدل‌های درختی (درختان تصمیم[1]) به همراه قوانین تصمیم یکی از روش‌های داده‌کاوی به شمار می‌آیند. مدل‌های درختی روشی برای نمایش یک سری از قوانین هستند که منتهی به یک رده یا مقدار می‌شود. این مدل‌ها، از طریق جداسازی متوالی داده‌ها به گروه‌های مجزا ساخته شده و هدف در این فرآیند افزایش فاصله بین گروه‌ها در هر جداسازی است (۲۸). رامش و واردان (۱۸) عملکرد محصولات کشاورزی را با استفاده از تکنیک‌های مختلف داده‌کاوی پیش‌بینی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد روش‌های داده‌کاوی برای پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی از دقت بالا و توانایی زیادی برخوردار است. ذکی دیزاجی و همکاران (۲۸) از قابلیت‌های الگوریتم درخت تصمیم‌گیری به‌منظور مدل‌سازی متغیرهای مؤثر بر عملکرد نیشکر استفاده کردند. همچنین ایوانسکا و همکاران (۱۰) از قابلیت‌های مدل درختی به‌منظور تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد گندم پائیزه در مزارع لهستان استفاده نمودند. هان و همکاران (۹) با استفاده از قابلیت‌های مدل‌های درختی و بر اساس اطلاعات اقلیمی، داده‌های سنجش از دور و اطلاعات خاکشناسی منطقه، عملکرد گندم را در ۶ قطب عمده تولید گندم در کشور چین پیش‌بینی کردند. نتایج تحقیق نشان داد مدل‌های بردار ماشین مبنا و جنگل تصادفی با ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷۵، توانایی پیش‌بینی عملکرد گندم در بازه زمانی ۱ تا ۲ ماه قبل از برداشت را داشته است.

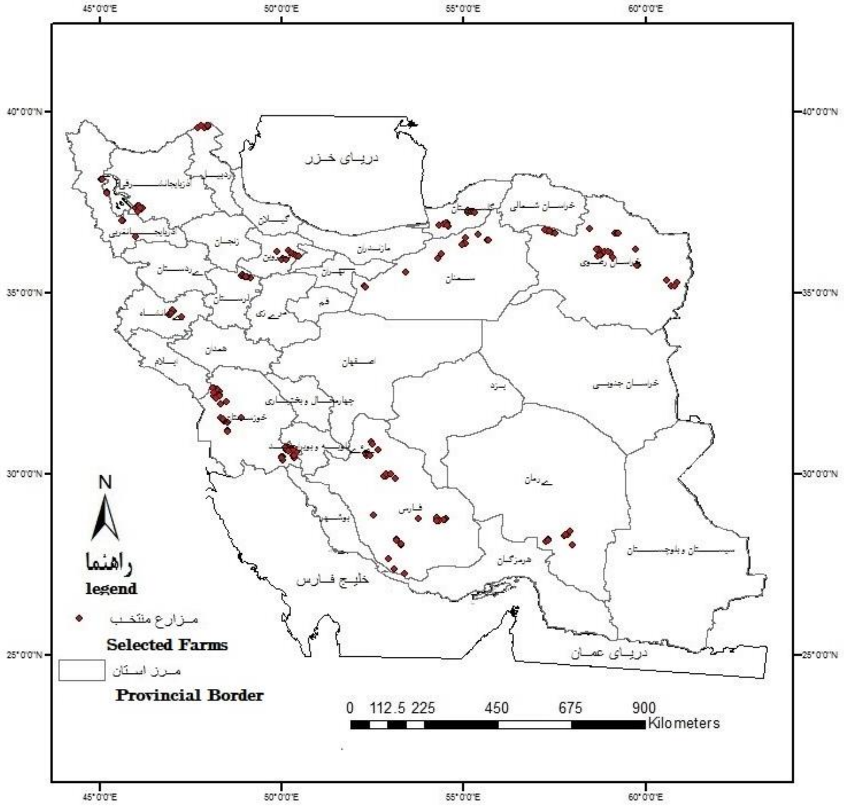
بررسی پژوهش‌های انجام شده، نشان می‌دهد که عملکرد گیاه تابعی از عوامل مختلف گیاهی، اقلیمی و شرایط مدیریتی آب و خاک است. از این‌رو محاسبه مقدار عملکرد گیاه و شاخص‌های وابسته به آن از روابط غیرخطی پیچیده‌ای تبعیت می‌کند که مدل‌سازی آن نیز دشواری خاصی دارد. با توجه به اینکه بررسی پاسخ گندم آبی به نهاده‌های مختلف در اقلیم‌های متفاوت با روش میدانی زمان‌بر، پرهزینه و در پاره‌ای موارد غیرممکن است، بنابراین معرفی مدلی کارا که قادر به پیش‌بینی عملکرد و تحلیل حساسیت عملکرد نسبت به پارامترهای گوناگون باشد، کمک شایانی برای رفع این مشکل خواهد بود. تحقیق حاضر با هدف توسعه و ارزیابی قابلیت سه مدل شبکه عصبی، درختی و رگرسیون خطی چند متغیره در پیش‌بینی عملکرد گندم بر اساس پارامترهای مؤثر بر عملکرد آن، در قطب‌های عمده تولید گندم در سطح کشور انجام شده است.

مواد و روش‌ها

پایگاه داده

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق شامل مقادیر حجم آب مصرفی و عملکرد گندم آبی و کمیت‌های مربوط به این دو شاخص در مزارع گندم آبی تحت مدیریت زارعین (تعداد ۲۴۱ مزرعه) در استان‌های خوزستان، فارس، گلستان، همدان، کرمانشاه، خراسان رضوی، اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، سمنان، جنوب کرمان و قزوین است که در یک تحقیق میدانی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ برداشت شده‌اند (۴). شاخص‌های مورد نظر از جمله حجم آب مصرفی، بدون دخالت در برنامهٔ آبیاری بهره‌دار و تحت مدیریت زارعین اندازه‌گیری شدند. برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا مقدار دبی خروجی از منبع آبی انتخاب شده (کانال، چاه، قنات و یا چشمه) با وسیله مناسب (فلوم، کنتور حجمی، سرریز، میکرومولینه و یا دستگاه دبی سنج اولتراسونیک) اندازه‌گیری و سپس حجم آب مصرفی قطعه انتخابی گرفته شد. در برخی موارد با توجه به تغییرات احتمالی دبی در منابع آبی، کل دبی چند نوبت در طول فصل زراعی اندازه‌گیری شد.

1- Decision Trees



شکل ۱- پراکنش مکانی مزارع گندم مورد مطالعه در سطح کشور
Figure 1- Spatial distribution of studied wheat fields in Iran

در دشت‌هایی که منبع تأمین آب آبیاری، شبکه آبیاری بود، یک دریچه از شبکه مورد نظر انتخاب و دبی آن با استفاده از میکرومولینه، سرریز و یا فلوم چند نوبت در طول فصل زراعی اندازه‌گیری شد. علاوه بر آن زمان هر نوبت آبیاری و تعداد نوبت‌های آبیاری در طول فصل زراعی نیز ثبت شد. با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، عمق آب داده شده و حجم آب مصرفی در هر یک از نوبت‌های آبیاری در هر روش آبیاری (سطحی و یا تحت فشار) در فصل زراعی قابل محاسبه بود و در نهایت حجم آب مصرفی محصول گندم در طول یک فصل زراعی با اندازه‌گیری دبی منبع آبی و زمان کارکرد آن تعیین شد (۴). استان‌های مذکور بر اساس آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ دارای بیشترین سطح زیر کشت گندم آبی در کشور بوده و حدود ۷۰ درصد سطح زیر کشت و تولید این محصول در کشور را پوشش داده است (۱). در شکل ۱ پراکنش مکانی مزارع گندم منتخب در سطح کشور نشان داده شده است.

مدل‌سازی عملکرد

مدل شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی مدل‌های ریاضی انعطاف‌پذیری هستند که بر اساس ساختار و رفتار شبکه‌های عصبی طبیعی ساخته شده‌اند. شبکه‌های عصبی از مجموع چندین نرون ریاضی تشکیل شده‌اند. هر نرون ریاضی دارای شمای یک نرون واقعی می‌باشد. یکی از شبکه‌های عصبی نظارت شده و پرکاربرد، شبکهٔ چند لایه پرسپترون[1] با الگوریتم پس انتشار خطا[2] است که برای محدودهٔ گسترده‌ای از کاربردها از قبیل شناسایی الگو، درون‌یابی، پیش‌بینی و مدل‌سازی فرایند مناسب است (۱۶). در تحقیق حاضر به‌منظور توسعه شبکه عصبی از قابلیت‌های نرم‌افزار R با بسته Neuralnet استفاده شده است و برای آموزش و همگرایی سریع‌تر و دقت بیشتر شبکه، ابتدا ورودی‌های آن با استفاده از تکنیک حداقل-حداکثر (رابطه ۱) استاندارد شده و به داده‌های نرمال (بی‌بعد) در بازه ۱- تا ۱ تبدیل شدند (۲۱).

$$X_n=2\left(\frac{X_r-X_{min}}{X_{max}-X_{min}}\right)-1 \qquad (۱)$$

1- Multi Layers Perceptron
2- Back Propagation

که در آن، X_r، X_n، X_{min} و X_{max} به ترتیب نشان دهنده مقادیر واقعی، نرمال شده، حداقل و حداکثر داده‌های تحت بررسی است.

پس از مرحله نرمال‌سازی، تصادفی نمودن داده‌ها انجام شد. نتیجه این مرحله، داشتن مجموعه‌ای از ورودی و خروجی‌ها است که در آن دسته‌های ورودی- خروجی دارای نظام خاصی نیستند. پس از پایان تصادفی نمودن داده‌ها، میزان اطلاعاتی که باید در فرآیند آموزش شبکه استفاده شود، مشخص شده است. بر این اساس بخشی از داده‌ها برای آموزش (۷۰ درصد) و بخشی دیگر برای آزمون شبکه (۳۰ درصد) در نظر گرفته شد. توابع فعال‌ساز شبکه عصبی پرسپترون در مراحل پیاده‌سازی آموزش و آزمون شبکه، از تابع فعالیت تانژانت هذلولوی[1] برای محدودسازی دامنه داده‌های خروجی از هر نرون و روند آموزش الگو به الگو استفاده شده است (رابطه ۲).

$$F(x)=\frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}} \quad (۲)$$

که در آن، x مقدار داده است.

مدل درختی (درخت تصمیم)

در تحقیق حاضر علاوه بر استفاده از قابلیت مدل‌سازی شبکه عصبی، از روش مدل درختی نیز به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم استفاده شده است. مدل درختی یکی از ابزارهای قوی و متداول برای دسته‌بندی و پیش‌بینی می‌باشد. مدل درختی بر خلاف مدل شبکه عصبی به تولید قانون می‌پردازد. از مزایای درخت تصمیم نسبت به شبکه عصبی آن است که نسبت به نویز داده‌های ورودی مقاوم است (۲۴). مدل درختی بر اساس تقسیم‌های دودویی، داده‌ها را به بخش‌های مختلف تقسیم می‌کند. هر یک از افرازهای داده‌ها می‌توانند دوباره تحت یک تقسیم دودویی دیگر قرار گرفته و به هر زیر افراز، یک مدل برازش داده شود. تعیین نقطه مناسب افراز معمولاً قبل از برازش مدل انجام می‌شود. در این روش برای هر متغیر ورودی، مرتب‌سازی بر اساس مقدار ورودی انجام شده و نقاط شکست مختلف مورد آزمون قرار می‌گیرد. نقطه‌ای که بیشترین انحراف معیار بین مقادیر خروجی در دو گروه را ایجاد کند، نقطه شکست بهینه است. برای انتخاب نقطه شکست بهینه، یک افراز مشخص در نظر گرفته می‌شود و میزان کاهش انحراف استاندارد در دو بخش ایجاد شده (σ_1 و σ_2) نسبت به انحراف استاندارد کلیه داده‌ها (σ) به‌صورت میانگین وزن‌دار محاسبه می‌شود. افرازی که بیشترین کاهش را در σ ایجاد کند به‌عنوان نقطه شکست بهینه انتخاب می‌شود. در این تحقیق از قابلیت‌های نرم‌افزار WEKA برای اجرای مدل درختی استفاده شده است. شایان ذکر است پس از گروه‌بندی، مدل پیش‌بینی بر روی داده‌های گروه‌بندی شده اعمال شده است.

مدل رگرسیون خطی

هدف کلی از مدل‌سازی رگرسیون خطی چندگانه[2] پیدا کردن رابطه بین چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته است. داده‌های ورودی و خروجی در هر دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون خطی چند متغیره یکسان بود. در انجام فرآیند مدل‌سازی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون مجموعه داده‌های یکسان به کار گرفته شد.

در این راستا به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم، یک متغیر وابسته یعنی عملکرد محصول و ۲۱ متغیر مستقل شامل اقلیم (X_1)، سطح سواد زارع (X_2)، ارتفاع (X_3)، نوع منبع آبی (X_4)، نوع شبکه آبیاری (X_5)، دبی منبع آبی (X_6)، شوری آب آبیاری (X_7)، سطح کل مزرعه (X_8)، سطح زیر کشت محصول گندم (X_9)، بافت خاک (X_{10})، شوری عصاره اشباع خاک (X_{11})، رقم (X_{12})، تاریخ کاشت (X_{13})، تاریخ برداشت (X_{14})، درجه روز رشد (X_{15})، روش آبیاری (X_{16})، متوسط عمق آب آبیاری در هر دور آبیاری (X_{17})، تعداد کل نوبت‌های آبیاری (X_{18})، حجم کل آب مصرفی (X_{19})، میزان بارندگی در طول دوره رشد (X_{20}) و نیاز آبشویی (X_{21}) مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با استفاده از روابط جذر میانگین مربعات خطا (رابطه ۳) و ضریب همبستگی پیرسون (رابطه ۴)، توانایی مدل‌ها در تخمین عملکرد گندم، مورد بررسی قرار گرفت (۵).

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{n}\times\sum_{i=1}^{n}\left(y_{i,predicted}-y_{i,observed}\right)^2} \quad (۳)$$

$$\rho=\frac{COV(y_{i,predicted},y_{i,observed})}{\sigma_{y_{i,observed}}\sigma_{y_{i,predicted}}} \quad (۴)$$

که در آن $y_{i,predicted}$ و $y_{i,observed}$: به ترتیب میزان عملکرد پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده، N: تعداد مزارع، COV: تابع کوواریانس و σ: انحراف معیار متغیرهای مورد بررسی است.

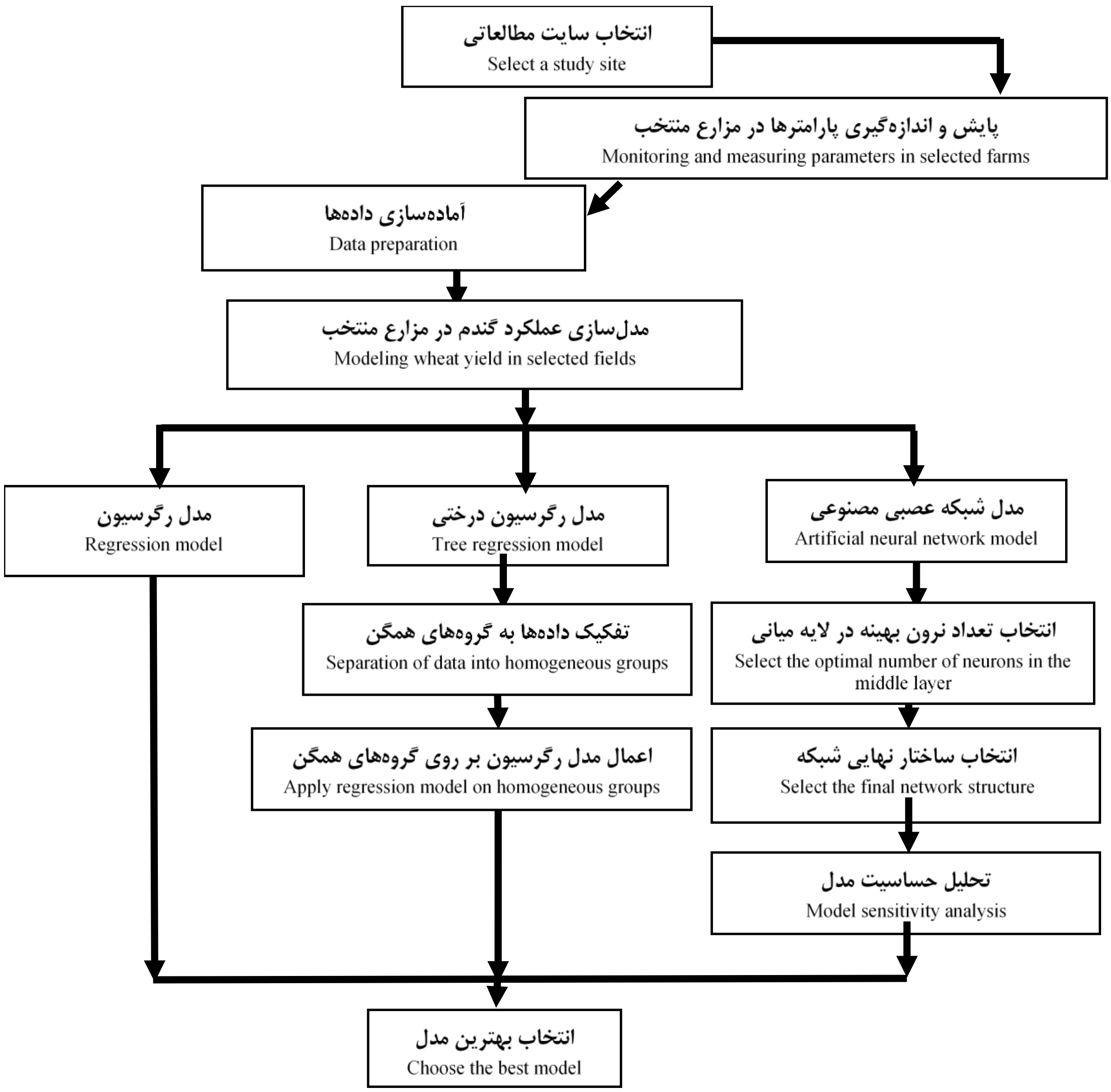
در شکل ۲ روند نمای انجام تحقیق نشان داده شده است.

نتایج و بحث

همان‌طور که اشاره گردید پارامترهای کمی شامل شوری آب آبیاری، شوری خاک، طول دوره رشد، تعداد دفعات آبیاری، میزان آب مصرفی و پارامترهای کیفی همانند اقلیم، سطح سواد زارع، بافت خاک که در ۲۴۱ مزرعه اندازه‌گیری شده‌اند، به‌عنوان ورودی برای تعیین مدل مناسب پیش‌بینی عملکرد مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول ۱ تغییرات برخی پارامترهای آماری ثبت و اندازه‌گیری شده در ۲۴۱ مزرعه منتخب آورده شده است.

1- Hyperbulic Tangent

2- Multiple Linear Regression



شکل ۲- روند نمای مدل پیش‌بینی عملکرد گندم در مزارع منتخب
Figure 2- Flowchart of wheat yield prediction model in selected fields

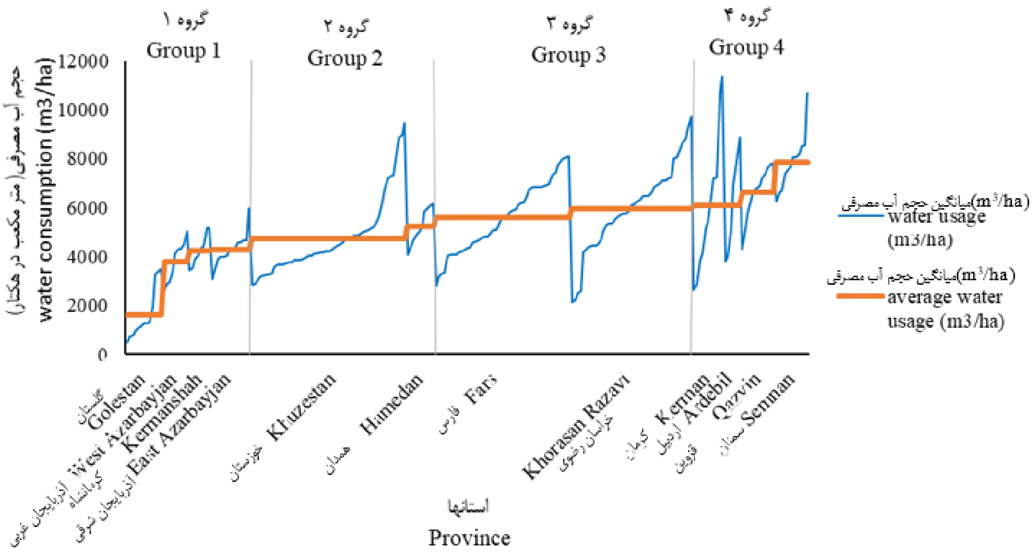
با توجه به آنکه حجم آب مصرفی، بیشترین همبستگی با عملکرد گندم را داشت، مزارع مطالعاتی بر اساس نتایج خروجی مدل درختی، از نظر میانگین حجم آب مصرفی در کشت محصول گندم به ۴ بخش تقسیم شده و مدل رگرسیونی برای هر بخش به‌صورت جداگانه اجرا شد. نکته حائز اهمیت آن است که به علت تعداد کم داده در گروه‌بندی‌های مدل درختی، امکان به‌کارگیری مدل شبکه عصبی مصنوعی در فرآیند پیش‌بینی میسر نگردید. در شکل ۳ تقسیم‌بندی استان‌ها بر مبنای میانگین حجم آب مصرفی با استفاده از قابلیت‌های مدل WEKA نشان داده شده است.

بر اساس نتایج خروجی مدل درختی، مناطق عمده تولید گندم در سطح کشور از نظر حجم آب مصرفی، به ۴ گروه تفکیک شد (شکل ۳). در این شکل استان‌هایی که میانگین حجم آب مصرفی کمتری نسبت به استان‌های دیگر داشتند در گروه ۱ و استان‌هایی که میانگین حجم آب مصرفی بیشتری جهت تولید گندم داشتند در گروه ۴ قرار گرفتند.

جدول ۱- محدوده تغییرات برخی پارامترهای ثبت و اندازه‌گیری شده در مزارع گندم منتخب

Table 1- Range of changes in some parameters recorded and measured in selected wheat fields

شاخص آماری Statistical index	EC (dS/m)	EC iw (dS/m)	تعداد دفعات آبیاری Number of irrigations	عملکرد Yield (kg/ha)	آب مصرفی Water consumption (m^3/ha)	بارش مؤثر در دوره کشت Effective rainfall during the growing season (mm)	بهره‌وری آب W.P (kg/m^3)
میانگین Mean	2.48	1.75	7.00	5123.94	5248.75	172.09	0.79
انحراف معیار Standard deviation	1.80	1.70	3.03	1431.08	1936.88	77.50	0.30



شکل ۳- گروه‌بندی استان‌ها بر اساس میانگین حجم آب مصرفی در تولید گندم

Figure 3- Grouping of provinces based on the average volume of water used in wheat production

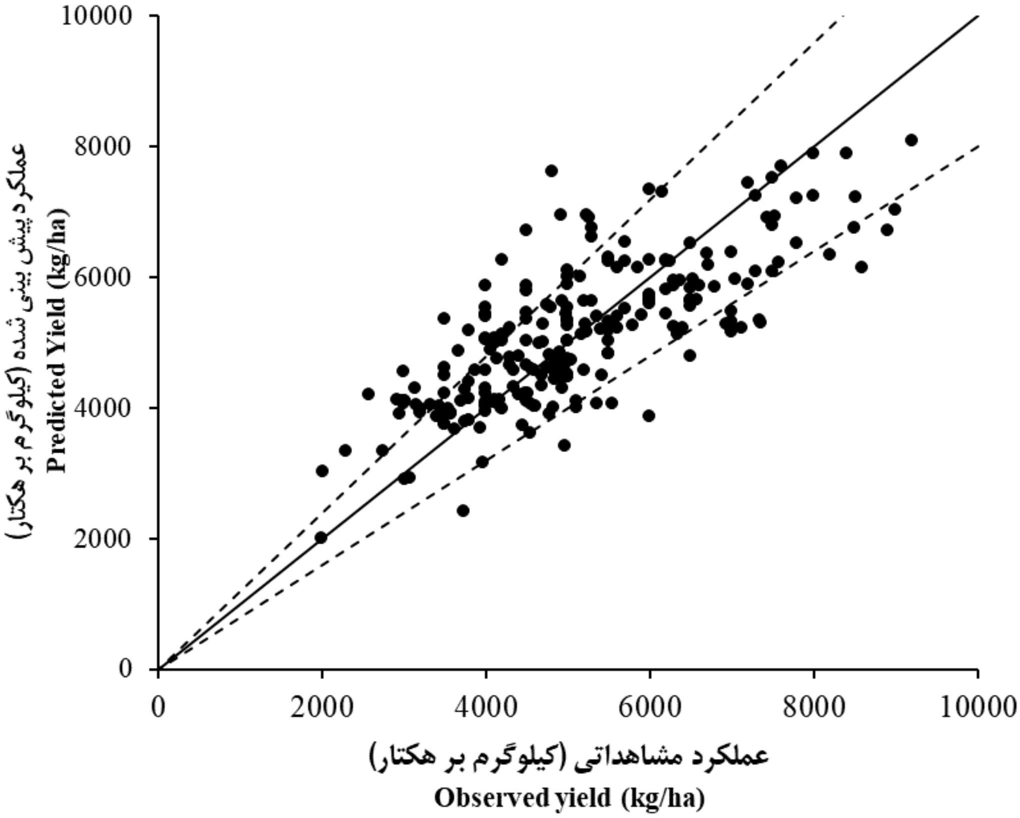
نتایج خروجی مدل درختی نشان داد سه قطب تولید گندم در سطح کشور که شامل استان‌های فارس، خوزستان و خراسان رضوی بوده در گروه‌های میانه از دیدگاه حجم آب مصرفی قرار گرفتند. پس از گروه‌بندی داده‌ها، از قابلیت مدل رگرسیون خطی به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گندم استفاده شد. در گام دوم برای انتخاب ساختار شبکه عصبی، پیچیدگی شبکه به‌تدریج افزایش یافته و خطای آموزش و آزمون مدل مورد بررسی قرار گرفت. بررسی داده‌ها نشان دهنده آن است که استفاده از ۲ گره در لایه پنهان منجر به افزایش دقت تخمین نخواهد شد و استفاده از یک گره در لایه پنهان کفایت داشته است. در نهایت مدل شبکه عصبی با ساختار ۱-۱-۹ (۹ گره در لایه ورودی، ۱ گره در لایه پنهان و ۱ گره در لایه خروجی) انتخاب شد. در جدول ۲ نتایج بررسی ساختار مختلف انتخاب شبکه عصبی در مدل‌سازی عملکرد گندم نشان داده شده است.

بر این اساس نتایج پیش‌بینی عملکرد گندم در سه روش مدل سازی (مدل درختی، شبکه عصبی و رگرسیون) در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است. در شکل‌های مذکور نتایج خروجی مدل، خط تطابق عالی و خطوط خطای ۲۰± درصد نیز نشان داده شده است.

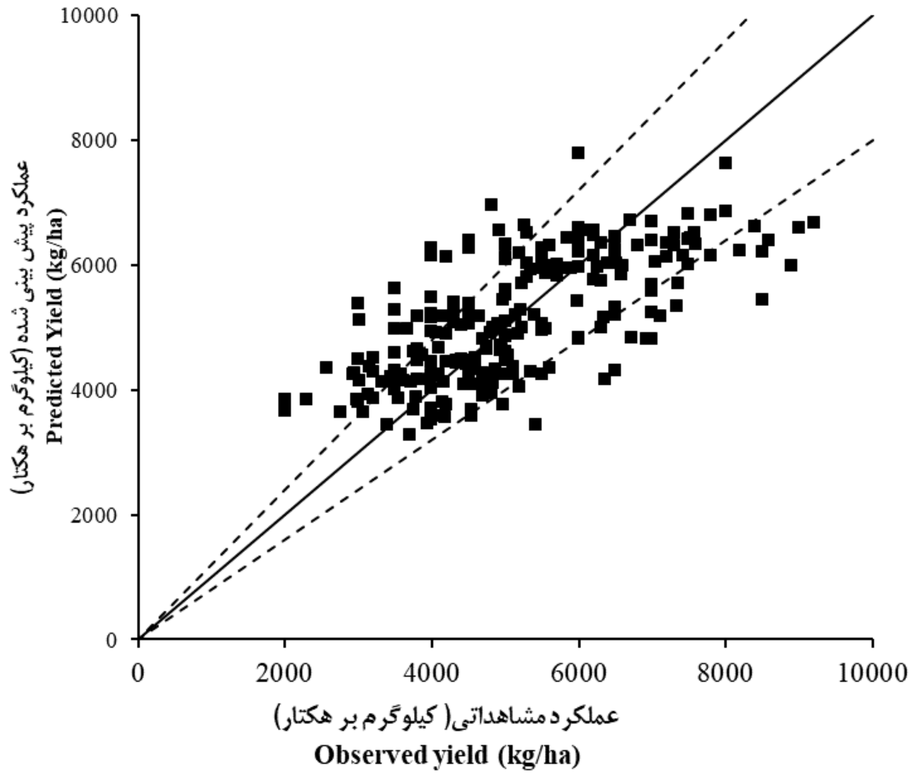
نتایج خروجی نشان داد ضریب تبیین مدل در پیش‌بینی عملکرد محصول گندم در مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل رگرسیون خطی چند متغیره به ترتیب برابر ۰/۶۷۲ و ۰/۵۷۷ بود که با اعمال گروه‌بندی داده‌ها به روش درختی، ضریب تبیین مدل پیش‌بینی به ۰/۷۶۲ افزایش یافت. به عبارتی با گروه‌بندی هدفمند داده‌های ورودی، دقت پیش‌بینی عملکرد گندم افزایش یافته و مدل درختی دقت بالاتری نسبت به مدل شبکه عصبی و مدل رگرسیون در پیش‌بینی عملکرد گندم در سطح مزارع منتخب داشته است. با توجه به آنکه بر اساس نتایج مدل درختی مناطق تولید گندم (از منظر حجم آب مصرفی) به ۴ گروه تفکیک شده است در شکل‌های ۷ تا ۹ نمودار پراکنش خروجی مدل پیش‌بینی عملکرد گندم به‌صورت نمونه در چند قطب تولید گندم در سطح کشور نشان داده شده است.

جدول ۲- تحلیل خطای تخمین ساختار مختلف شبکه عصبی در مدل‌سازی عملکرد گندم
Table 2- Error analysis of estimating different neural network structure in wheat yield modeling

ساختار شبکه **Network structure**	جذر میانگین مربعات خطا **Root Mean Squared Error** آموزش **Train**	آزمون **Test**
1-1-1	0.222	0.237
2-1-1	0.222	0.237
3-1-1	0.211	0.236
4-1-1	0.206	0.224
5-1-1	0.203	0.232
6-1-1	0.203	0.229
7-1-1	0.203	0.230
8-1-1	0.197	0.226
9-1-1	0.196	0.226
5-2-1	0.200	0.223
9-2-1	0.191	0.227

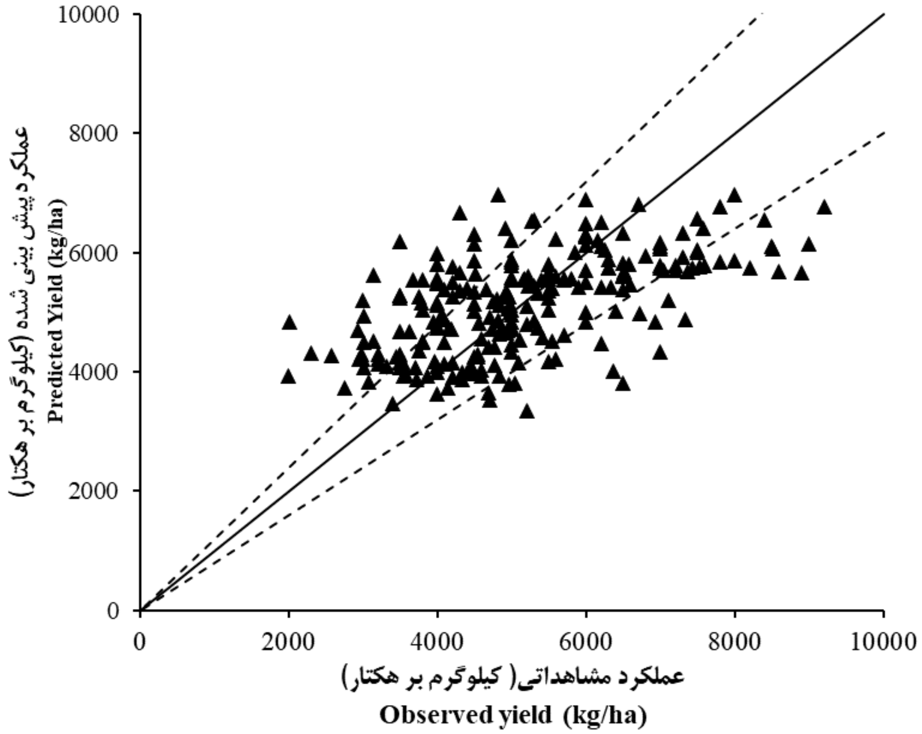


شکل ٤- نمودار پراکنش خروجی مدل پیش‌بینی عملکرد گندم به روش درختی
Figure 4- Output distribution diagram of wheat yield prediction model by tree method



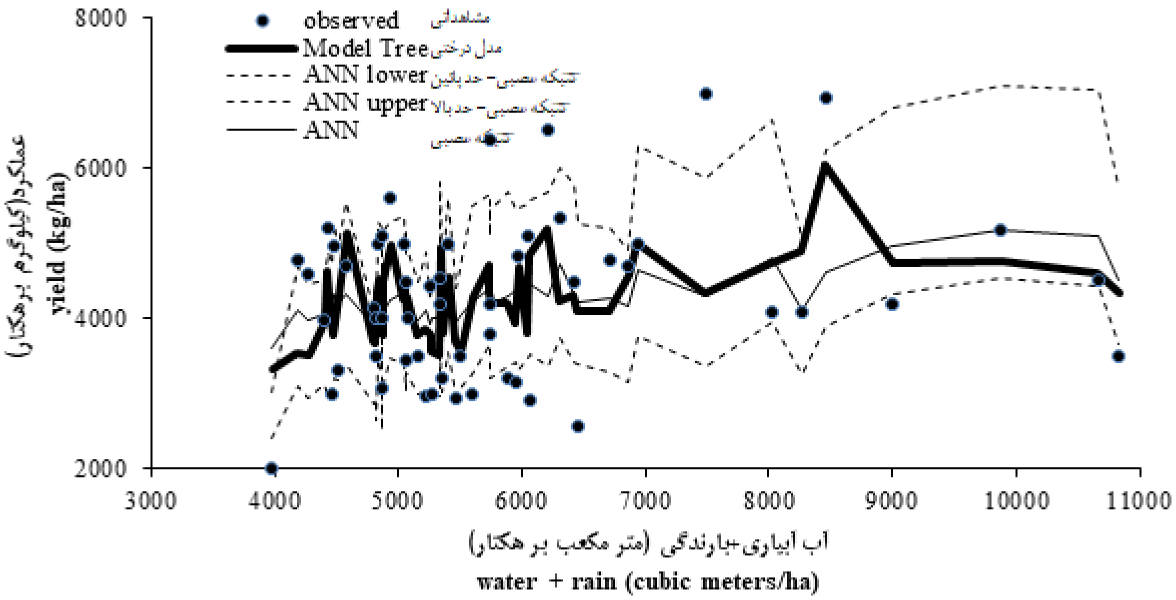
شکل ۵- نمودار پراکنش خروجی مدل پیش‌بینی عملکرد گندم به روش شبکه عصبی مصنوعی

Figure 5- Output distribution diagram of wheat yield prediction model by artificial neural network method



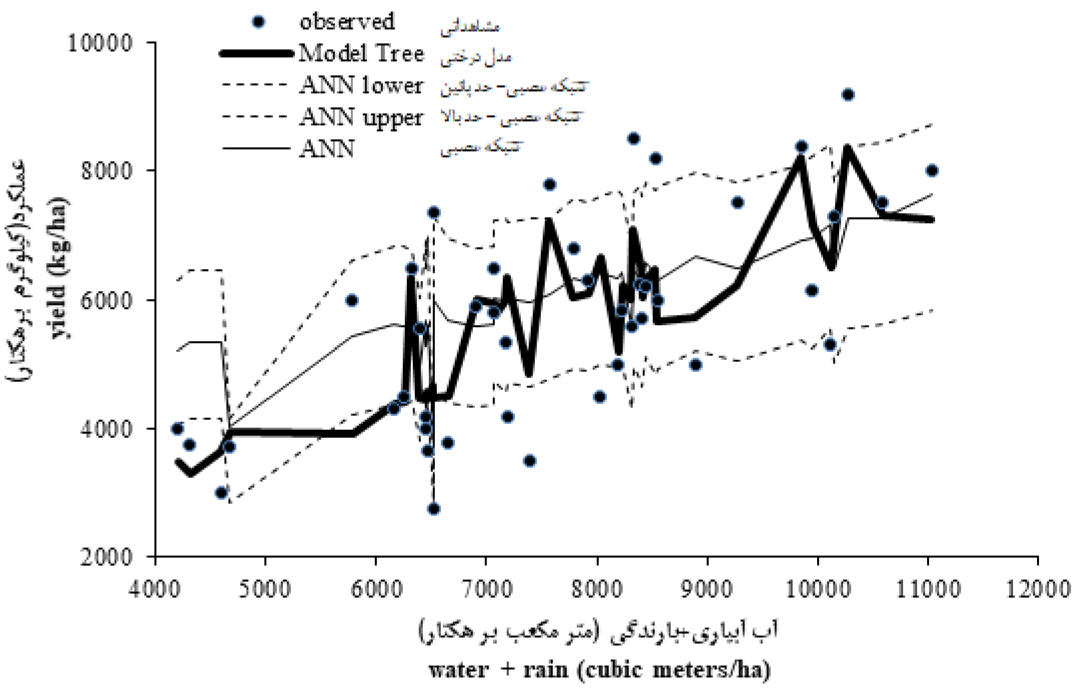
شکل ٦- نمودار پراکنش خروجی مدل پیش‌بینی عملکرد گندم به روش رگرسیون خطی

Figure 6- Output distribution diagram of wheat yield prediction model by linear regression method



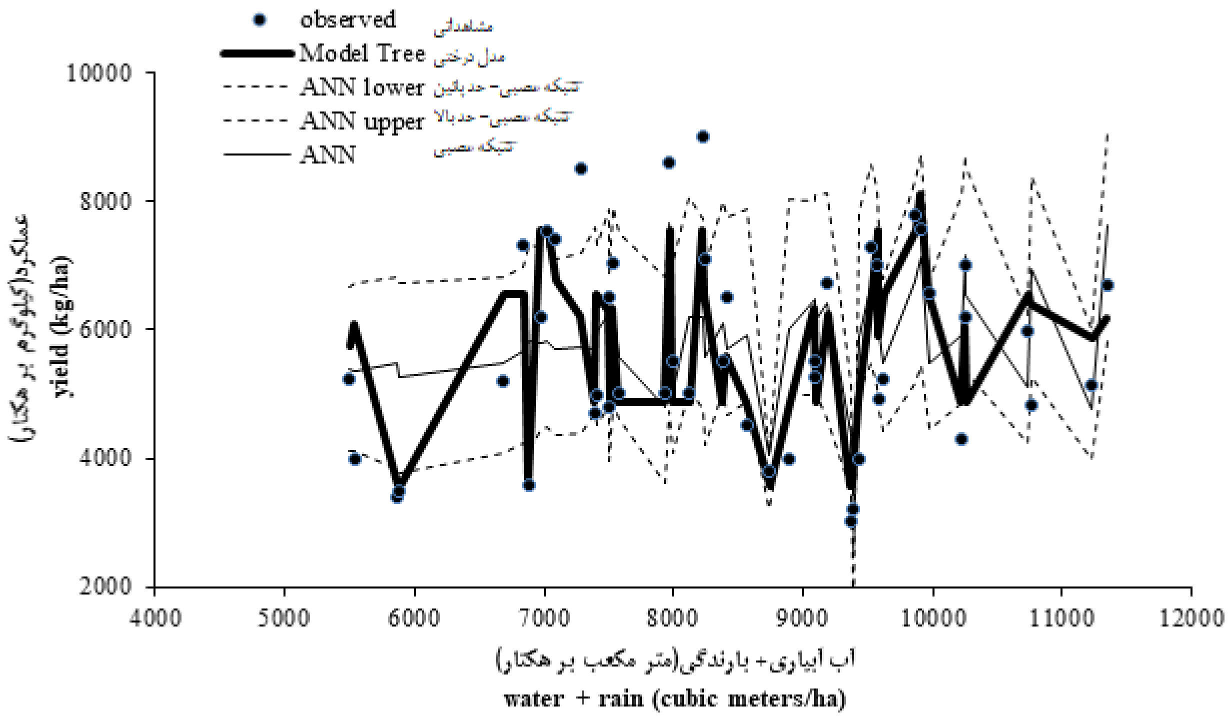
شکل ۷- نمودار پراکنش خروجی مدل پیش‌بینی عملکرد گندم به روش مدل درختی و شبکه عصبی در استان خوزستان

Figure 7- Output distribution diagram of wheat yield prediction model by tree model and neural network method in Khuzestan province



شکل ۸- مقایسه عملکرد گندم و نتایج پیش‌بینی مدل شبکه عصبی و مدل درختی در استان خراسان رضوی

Figure 8- Output distribution diagram of wheat yield prediction model by tree model and neural network method in Khorasan Razavi province



شکل ۹- مقایسه عملکرد گندم و نتایج پیش‌بینی مدل شبکه عصبی و مدل درختی در استان فارس

Figure 9- Output distribution diagram of wheat yield prediction model by tree model and neural network method in Fars province

در جدول ۳ دقت پیش‌بینی عملکرد گندم در استان‌های مختلف بر اساس نتایج خروجی دو مدل شبکه عصبی و درختی نشان داده شده است. نتایج حاصل از مدل‌سازی عملکرد در استان‌های مورد بررسی نشان داد مدل درختی در اغلب استان‌های کشور، دارای خطای تخمین کمتری در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی بوده است. از سوی دیگر ضمن تایید نتایج مطلوب تکنیک‌های شبکه عصبی، نتایج تحقیق نشان داد مدل رگرسیون چند متغیره دقت چندانی در پیش‌بینی عملکرد نداشت. این امر شاهدی بر وجود روابط غیر خطی و پیچیده موثر بر عملکرد گندم بوده و تاییدی بر استفاده از ابزارهای داده‌کاوی در پیش‌بینی عملکرد گندم است.

در این تحقیق گروه‌بندی هدفمند داده‌های ورودی بر اساس میانگین حجم آب مصرفی، منجر به افزایش دقت تخمین مدل پیش بینی شده است. کائول و همکاران (۱۱) اعلام کردند که عامل آب قابل دسترس یکی از عوامل اصلی در تخمین عملکرد محصولات کشاورزی می باشد. منتظر و همکاران (۱۶) نیز با ارزیابی کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در محاسبه عملکرد گندم به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی دقت بالاتری نسبت به رگرسیون غیرخطی دارد و تحلیل حساسیت مدل ها نشان داد که عملکرد گندم بیشترین حساسیت را به عامل مقدار آب مصرفی داشته است. لیو و همکاران (۱۳) و ساداث و همکاران (۲۳) در تحقیقات مشابهی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های مورد بررسی را عامل ایجاد خطا در تخمین عنوان نمودند و پیشنهاد کردند در مدلسازی مقیاس وسیع، گروه‌بندی هدفمند داده‌های ورودی، منجر به کاهش خطای تخمین خواهد شد. به عبارت دیگر، همگن‌تر کردن داده‌ها و کاهش منابع تغییرات از پیچیدگی روابط بین متغیرها کاسته و در نتیجه کارایی شبکه عصبی برای مدل‌سازی این روابط را افزایش خواهد داد. بر این اساس رامش و واردان (۱۸) روش‌های مبتنی داده‌کاوی را برای پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی توصیه نمودند. هان و همکاران (۹) با استفاده از قابلیت‌های مدل‌های مبتنی بر داده‌کاوی، به ضریب تبیین بالاتر از ۰/۷۵، در پیش‌بینی عملکرد گندم دست یافتند.

جدول ۳- نتایج تحلیل خطای تخمین مدل شبکه عصبی و مدل درختی در استان‌های مختلف

Table 3- Results of error analysis of neural network model and tree model in different provinces

استان Province	جذر میانگین مربعات خطا Root Mean Squared Error مدل درختی Tree model	مدل شبکه عصبی Neural network model
اردبیل (Ardebil)	0.041	0.072
آذربایجان غربی (West azarbayjan)	0.150	0.142
آذربایجان شرقی (East azarbayjan)	0.216	0.384
فارس (Fars)	0.164	0.259
گلستان (Golestan)	0.071	0.151
همدان (Hamedan)	0.092	0.213
کرمان (Kerman)	0.118	0.248
کرمانشاه (Kermanshah)	0.044	0.179
خراسان رضوی (Khorasan razavi)	0.211	0.285
خوزستان (Khuzestan)	0.240	0.257
قزوین (Qazvin)	0.159	0.186
سمنان (Semnan)	0.116	0.264
کل استان‌ها (All Provinces)	0.182	0.254

نتیجه‌گیری

در این تحقیق نیاز به بکارگیری روش‌های داده‌کاوی در تحلیل اطلاعات میدانی و ساماندهی پایگاه‌های بزرگ اطلاعات و نیز سودمندی روش‌های داده‌کاوی بخصوص درخت تصمیم در تخمین عملکرد محصول گندم، با سایر روش‌های پیش‌بینی مورد بررسی و آزمون قرار گرفت. نتایج کلی تحقیق نشان داد که تفکیک هدفمند داده‌های ورودی به مدل‌های پیش‌بینی می‌تواند منجر به افزایش دقت خروجی مدل‌های پیش‌بینی شود. هرچند نمی‌توان یک رویکرد عام در انتخاب و یا عدم انتخاب یک مدل پیش‌بینی در مناطق مختلف ارائه نمود. به نحوی در برخی تحقیقات انجام شده شبکه‌های عصبی توانایی بالائی در پیش‌بینی عملکرد محصولات مختلف از خود نشان داده‌اند (۲، ۳، ۱۵، ۱۷، ۲۱ و ۲۷) ولی نکته حائز اهمیت آن است که در صورت وجود داده‌های کافی و شناخت صحیح عوامل تأثیرگذار در متغیر وابسته، می‌توان با اعمال روش‌های داده‌کاوی دقت مدل‌های شبکه عصبی را نیز بهبود بخشید (۵). بنابراین تکنیک‌های داده‌کاوی در کنار قابلیت‌های هوش مصنوعی می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد برای تدوین برنامه‌های صحیح مدیریتی معرفی شود.

منابع

1- Ahmadi K., H.R. EbadZadeh F., Hatami R., HoseinPour and AbdShah H. 2019. Agricultural Statistics of 2017-2018. Ministry of Jihad for Agriculture, Deputy for Planning and Economy, Information and Communication Technology Office. Volume 3, Garden Products. 166 pp. (In Persian)

2- Alvarez R. 2009. Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach. European Journal of Agronomy 30: 70-77.

3- Aslam F., Salman A., and Jan I. 2019. Predicting wheat production in Pakistan by using an artificial neural network approach. Sarhad Journal of Agriculture 35(4): 1054-1062.

4- Baghani J. 2018. Determination of wheat water consumption in Iran. Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian)

5- Barikloo A., Alamdari P., Moravej K., and Servati M. 2017. Prediction of irrigated wheat yield by using hybrid algorithm methods of artificial neural networks and genetic algorithm. Journal of Water and Soil 30(3): 715-726. (In Persian with English abstract)

6- Chipanshi A.C., Ripley E.A., and Lawford R.G. 1999. Large-scale simulation of wheat yields in a semi-arid environment using a crop-growth model. Agricultural Systems 59: 57−66.

7- Doraiswamy P.C., Moulin S., Cook P.W., and Stern V. 2003. Crop yield assessment from remote sensing. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 69: 665−674.

8- Franch B., Vermote E.F., Becker-Reshef I., Claverie M., Huang J., Zhang J., Justice C., and Sobrino J.A. 2015. Improving the timeliness of winter wheat production forecast in the United States of America, Ukraine and China using MODIS data and NCAR Growing Degree Day information. Remote Sensing of Environment 161: 131–148.

9- Han J., Zhang Z., Cao J., Luo Y., Zhang L., Li Z., and Zhang J. 2020. Prediction of winter wheat yield based on multi-source data and machine learning in China. Remote Sensing 236(12): 1-22.

10- Iwańska M., Oleksy A., Dacko M., Skowera B., Oleksiak T., and Wójcik-Gront E. 2018. Use of classification and regression trees (CART) for analyzing determinants of winter wheat yield variation among fields in Poland. Biometrical Letters 55(2): 197-214.

11- Kaul M., Hill R.L., and Walthall C. 2005. Artificial neural networks for corn and soybean yield prediction. Agricultural Systems 85: 1-18.

12- Khoshnevisan B., Rafiee S., Omid M., and Mousazadeh H. 2014. Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the basis of energy inputs. Information Processing in Agriculture 1(1):

14-22.
13- Liu J., and Goering C.E. 1999. Neural network for setting target corn yields. ASAE paper 99-3040, Toronto, Ontario, Canada, 18-21.
14- Maselli F., and Rembold F. 2001. Analysis of GAC NDVI data for cropland identification and yield forecasting in Mediterranean African countries. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 67:593−602.
15- Mehnatkesh A., Ayyubi S., Jalalyan A., and Dehgani A.A. 2017. Comparison of multivariate linear regression and artificial neural networks models for estimating of rainfed wheat yield in some central Zagros areas. Iranian Journal of Dryland Agriculture 5(2): 119-133. (In Persian with English abstract)
16- Montazar A., Azadegan B., and Shahkary M. 2009. Assesing the Efficiency Of atifical neural network model to predict wheat yield and water prodoctivity based on climatic data and seasonal water-nitrogen variabls. Iranian Water Research Journal 3(5): 17-29.
17- Norouzi M., Ayoubi S., Jalalian A., Khademi H., and Dehghani A.A. 2010. Predicting rainfed wheat quality and quantity by artificial neural network using terrain and soil characteristics. Acta Agric Scandinavica, Section B-Plant Soil Sciences 60: 341-352.
18- Ramesh D., and Vishnu Vardhan B. 2013. Data mining techniques and applications to agricultural yield data. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering 2(9): 3477-3480.
19- Raorane A.A., and Kulkarni R.V. 2013. Review role of data mining in agriculture. International Journal of Computer Science and Information Technologies 4(2): 270-275.
20- Rumelhart D.E., Hinton G.E., and Williams R.J. 1986. Learning internal representation by back-propagation errors. In: Rumelhart DE, McClelland JL, the PDP Research Group (Eds.), Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. MIT Press, MA.
21- Sepehri S., Abbasi F., and Nakhjavanimoghaddam M.M. 2019. Prediction of silage maize yield and sensitivity analysis of management parameters using artificial neural network models. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 13(5): 1460-1470. (In Persian with English abstract)
22- Servati M., Barikloo A, Alamdari P., and Moravej K. 2017. Application of heuristic methods in prediction of wheat yield. Applied Soil Research 6(3): 106-117. (In Persian with English abstract)
23- Sudduth K.A., Drummond S.T., Birrell S.J., and Kitchen N.R. 1996. Analysis of spatial factors influencing crop yield, in Proc. 3rd Int. Conf. On Precision Agriculture, P.C. Robert et al. (ed.), pp. 129-140.
24- Toloei Ashlaghi A., Poorebrahimi A., Ebrahimi M., and Ghasemahmad L. 2013. Using data mining techniques for prediction breast cancer recurrence. Iranian Journal of Breast Diseases 5(4): 23-34. (In Persian with English abstract)
25- Veelenturf L.P.J. 1995. Analysis applications of artificial neural networks. Simon and Schuster International Group, United States of America.
26- Wall L., Larocque D., and Leger P.M. 2007. The early explanatory power of NDVI in crop yield modeling. International Journal of Remote Sensing 29: 2211−2225.
27- Wu F.Y., and Yen K.K. 1992. Application of neural network in regression analysis. Computer and Industrial Engineering 23: 93-98.
28- Zakidizaji H., Bahrami H., Monjezi N., and Sheikhdavoodi M.J. 2019. Modeling of the variables that influence sugarcane yield using C5.0 and QUEST decision tree algorithms. Journal of Agricultural Machinery 9(2): 469-484. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 189-202

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۰۲-۱۸۹

Evaluating the Capability of Data Mining Models in Predicting Irrigated Wheat Yield in Iran

A.U. Gomrokchi[1]*- J. Baghani[2]- F. Abbasi[3]
Received: 15-09-2020
Accepted: 15-02-2021

Introduction: One of the modeling methods researchers have considered in various sciences in recent years is artificial neural network modeling. In addition to the artificial neural network and regression models, today, the capabilities of data mining methods have been used to improve the output results of prediction models and field information analysis. Tree models (decision trees) along with decision rules are one of the data mining methods. Tree models are a way of representing a set of rules that lead to a category or value. These models are made by sequentially separating data into separate groups, and the goal in this process is to increase the distance between groups in each separation. Research shows that plant yield is a function of various plant, climatic, and water, and soil management conditions. Therefore, calculating the amount of plant yield and related indices follows complex nonlinear relationships that also have special difficulty in modeling. Considering that the response of irrigated wheat to different inputs in dissimilar climates by field method is time-consuming, costly, and in some cases impossible, so the introduction of an efficient model that can predict yield and analyze yield sensitivity to various parameters is a great help. It will be to solve this problem. This study aimed to develop and evaluate the capability of three models of the neural network, tree, and multivariate linear regression in predicting wheat yield based on parameters affecting its yield in major wheat production hubs in the country.

Materials and Methods: The information used in this study includes the volume of water consumption and yield of irrigated wheat and the committees related to these two indicators in irrigated wheat fields under the management of farmers (241 farms) in the provinces of Khuzestan, Fars, Golestan, Hamadan, Kermanshah, Khorasan Razavi, Ardabil, East Azerbaijan, West Azerbaijan, Semnan, south of Kerman and Qazvin, which were harvested in a field study in the 2016-17 growing season. According to the Ministry of Jihad for Agriculture statistics, these provinces have the highest area under irrigated wheat cultivation in the country and cover about 70% of the area under cultivation and production of this crop in the country.

One of the most widely used monitored neural networks is the Perceptron multilayer network with error replication algorithm, which is suitable for a wide range of applications such as pattern recognition, interpolation, prediction, and process modeling. In the present study, in order to develop the neural network, the capabilities of R software with Neuralnet package have been used. After the normalization step, the data were randomized. This step aims to have a set of inputs and outputs in which the input-output categories do not have a special system. After the randomization of the data, the amount of information that should be used in the network training process is determined. This part of the data was considered for training (70%) and another part for network test (30%). Perceptron neural network activator functions in the implementation of network training and testing. The hyperbolic tangent activity function has been used to limit the range of output data from each neuron and the pattern-to-pattern training process. In the present study and the neural network modeling capability, the tree model method has been used to predict wheat yield. Tree modeling is one of the most powerful and common tools for classification and forecasting. The tree model, unlike the neural network model, produces the law. One of the advantages of the decision tree over the neural network is that it is resistant to input data noise. The tree model divides the data into different sections based on binary divisions. Each data partition can be re-subdivided into another binary, and a model fitted to each subdivision. In this research, the capabilities of WEKA software have been used to run a tree model. It is worth noting that after grouping, the prediction model is applied to the grouped data.

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Qazvin Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Qazvin, Iran
(*- Corresponding Author Email: a.gomrokchi@areeo.ac.ir)
2 and 3- Assistant Professor and Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran, respectively.
DOI: 10.22067/jsw.2021.15029.0

Results and Discussion: In this study, the efficiency of three models of the artificial neural network, multivariate linear regression, and tree model to predict the performance of irrigated wheat in major production areas in the country was evaluated based on field information recorded in 241 farms. The results showed that the coefficient of explanation of the model in predicting the yield of wheat production in the model of artificial neural network and a multivariate linear regression model was 0.672 and 0.577, respectively, which was applied by grouping the data by tree method. The coefficient of explanation has been increased to 0.762. The output results of the tree model showed that the major wheat production areas in Iran in terms of water consumption could be divided into four independent groups. Finally, it can be concluded that the tree model, considering the purposeful grouping in the input data, can be used as a powerful tool in estimating irrigated wheat yield in major wheat production areas in Iran.

Conclusion: In this study, the need to use data mining methods in analyzing field information and organizing large databases and the usefulness of data mining methods, especially the decision tree in estimating wheat crop yield, were investigated and compared with other forecasting methods. The general results of the research show that purposeful separation of input data into forecasting models can increase the output accuracy of forecasting models. However, it is not possible to provide a general approach to selecting or not selecting a forecasting model in different regions. In some studies, neural networks have shown a high ability to predict the performance of different products, but it is important to note that if there is sufficient data and correct understanding of the factors affecting the dependent variable, the accuracy of the models can be applied by data mining methods. It also improved the neural network. In a general approach, considering the accuracy of estimating the predicted models under study, these techniques can be used to estimate other late-finding characteristics of plants and soil.

Keywords: Data mining, Grouping, Modeling, Water consumption volume

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 203-225

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۲۵-۲۰۳

مقاله پژوهشی

برآورد محدوده جریان رهاسازی بهینه از سد جامیشان با در نظر گرفتن نیاز آب اکولوژیکی مطلوب برای حفظ پتانسیل زیستگاه رودخانه دینور

محمدحسن نادری[1]*– نرگس عرب[2]– امید جهاندیده[3]– میثم سالاری‌جزی[4]– عاطفه عرب[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده

حفظ رژیم طبیعی جریان برای نگهداری سلامت اکوسیستم رودخانه، ضروری است. یکی از مهم‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین موضوعات در مدیریت حوضه آبخیز، تجزیه و تحلیل نیاز آبی محیط اکولوژیکی با پیوند چرخه هیدرولوژیکی و فرآیندهای هیدرودینامیکی با فرآیندهای اکولوژیکی آبزیان رودخانه، است. در این مطالعه، به منظور تعیین مقدار جریان رهاسازی از سد جامیشان با بررسی نیاز آبی اکولوژیکی رودخانه دینور در استان کرمانشاه با روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، روش توزیع سالانه و تگزاس بر اساس آمار هیدرولوژیکی ایستگاه‌های هیدرومتری در طول دوره آماری ۳۸ ساله (۱۳۹۸–۱۳۶۰)، مدل شبیه‌سازی هیدرومورفواکولوژیکی – هیدرودینامیکی مطلوبیت زیستگاه (River2D) نیز مورد استفاده قرار گرفت و مطابق با آن یک روش طبقه‌بندی جدید رژیم جریان اکولوژیکی با توجه به شاخص‌های اکوهیدرولیکی مطلوبیت زیستگاه (عمق آب، سرعت جریان و بستر)، در نظر گرفته شد. همچنین در مدل اکوهیدرولیکی River2D، میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس گونه ماهی هدف، در محدوده ۱۰ تا ۲۰۰ درصد میانگین جریان سالانه، مورد بررسی قرار گرفت. بر پایه نتایج حاصله، نیاز آبی اکولوژیکی برآورد شده رودخانه دینور با ترکیب روش‌های مختلف، در طول سال متفاوت بوده و بر این اساس، برای حفظ شرایط مطلوب و حفاظت از اجزای اکوسیستم و زیستگاه جوامع بیولوژیکی، محدوده رژیم جریان موردنیاز برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی زیستگاه بین ۰/۱۷ تا ۳/۷۱ مترمکعب برثانیه به ترتیب در ماه مهر و فروردین، با میانگین دبی سالانه زیستی ۱/۳۸ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۸/۹ درصد جریان طبیعی رودخانه) بایستی در داخل رودخانه دینور و پایین دست سد جامیشان، برقرار باشد. همچنین مقایسه میزان تخصیص آب برای تأمین نیاز آبی اکولوژیکی قابل قبول با روش تنانت در رودخانه مورد مطالعه (۰/۳ متر مکعب برثانیه) نشان داد، کمبود جریان در فصول تابستان (جریان طبیعی رودخانه کمتر از نیاز آبی اکولوژیکی است) مشاهده می‌شود. در نهایت این نتیجه به عمل آمد که روش‌های دیگر تأمین نیاز آبی اکولوژیکی (تگزاس و شبیه‌سازی زیستگاه به ترتیب با مقادیر ۰/۸۹ و ۱/۳۸ مترمکعب بر ثانیه)، مقادیر بالاتر از ۳۰ درصد میانگین جریان سالانه را فراهم می‌کند، که محافظت بهتر جریان را برای زیستگاه رودخانه فراهم می‌کنند. شایان ذکر است، با تأمین عمق آب و سرعت جریان مناسب، میزان فضای مطلوب زیستگاهی و نیازهای اکولوژیکی آبزیان در رودخانه دینور با در نظر گرفتن همبستگی لازم بین مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی، اکوهیدرولیکی و هیدرولوژیکی طی فعالیت‌های زیستی آبزیان فراهم شده و از این منظر مدل‌سازی اکوهیدرودینامیکی زیستگاه آبزیان می‌تواند نقش مهم و بارزی در مدیریت اکوسیستمی و تنظیم جریان درون رودخانه‌ای ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: اکوهیدرودینامیکی، رژیم جریان طبیعی، مساحت قابل استفاده وزنی، مطلوبیت زیستگاه، هیدرومورفواکولوژیکی

مقدمه

در اکثر نقاط جهان به دلیل عدم توازن مکانی و زمانی بین دسترسی به منابع آب و تقاضا برای مصرف آن، نیاز به ذخیره و تنظیم جریان طبیعی با ساخت سازه‌های هیدرولیکی مانند سدها انجام

۱، ۲، ۳ و ۴– به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب، دانشجوی دکتری آمایش محیط زیست، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(*– نویسنده مسئول: Email: naderigau@gmail.com)

۵– دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

DOI: 10.22067/jsw.2021.67061.0

می‌شود. پذیرفتنی است که ساخت و بهره برداری از مخزن سد به دلیل کنترل سیل، تولید برق، تسهیل تأمین آب شهری و روستایی و آبیاری مزارع کشاورزی، سبک زندگی مطلوبی را به بشر می‌بخشد. با این حال ، اثرات زیست‌محیطی برگشت‌ناپذیری را بر اکوسیستم رودخانه‌های شکننده جهان به‌وجود آورده است (۱، ۱۷ و ۲۱). مطالعات اکوهیدرولیکی در کشورهای مختلف، عواقب منفی تغییرات در الگوهای زمانی رژیم‌های رودخانه‌ای ناشی از سدسازی و شیوه‌های تنظیم جریان را موجب فقدان جریان‌های حداکثر در رودخانه‌ها و با از بین رفتن زیستگاه‌های رودخانه‌ای، مرتبط می‌دانند (۲، ۲۰، ۳۴ و ۳۷). قطع ارتباط زیستی و ژنتیکی گونه‌های بالادست و پایین‌دست سد (در صورت عدم وجود سازه راه‌ماهی)، تغییرات بستر رودخانه و در پی آن تغییر در زیستگاه آبزیان، از جمله تغییرات منفی ناشی از سد و نگهداشت آب رودخانه‌ها است (۱، ۱۸، ۲۰ و ۳۶). از این رو تغییرات در رژیم‌های جریان می‌تواند بسیاری از ویژگی‌های زیستگاه رودخانه را تغییر دهد و به پیوستگی اکوسیستم، آسیب رساند. به عقیده بسیار از محققان، یکی از چالش‌های اصلی در مدیریت اکوسیستمی رودخانه، این است که در تعیین مقدار جریان رهاسازی از سد به تأمین جریان زیست‌محیطی به‌دلیل نداشتن صرفه اقتصادی بالا، توجه کافی نمی‌شود (۶، ۲۰، ۳۱ و ۳۴). از طرفی، پویایی اکولوژیکی رودخانه وابسته به تغییر جریان رودخانه با گذشت زمان و میزان ناپایداری مورفولوژیکی است (۷، ۲۴ و ۲۵). تنظیم جریان در زیرشاخه‌های رودخانه، باعث تغییر انرژی جریان و ظرفیت حمل مواد معلق نیز می‌شود (۳۸ و ۴۰). ذکر این نکته این لازم و مبرم است که اگر در پایین‌دست سدها، آب به صورت پیوسته برای حفظ شرایط زیستگاه‌های موجودات وابسته به آب به صورت ثابت جریان یابد، به مرور تغییراتی در بستر رودخانه به دلیل سرعت کم و ایجاد رسوب، به‌وجود خواهد آمد و این خود عاملی در جهت کاهش ظرفیت عبور آب از رودخانه، خواهد بود و از سوی دیگر یکی از شرایط لازم برای حفظ شرایط هیدرولیکی زیستگاه و ماندگاری موجودات زنده، نگهداری شکل فیزیکی آن بوده تا انباشته شدن رسوب و هجوم گیاهان به درون آبراهه اصلی، زیستگاه رودخانه را از بین نبرد (۱۷، ۲۴، ۲۵، ۳۹ و ۴۰). همچنین برای دستیابی به توسعه پایدار منابع آب، تأثیر جنبه‌های مختلف رژیم طبیعی جریان رودخانه در تعیین نیاز جریان مطلوب اکولوژیکی در چارچوب پروژه های سد و نیروگاه برقابی در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، تأکید سریع بر مدیریت اکوسیستمی رودخانه‌های تنظیم شده باید در نظر گرفته شود (۲، ۱۷، ۱۸ و ۳۷) تا تعادل بهتری بین جنبه‌های تأمین نیازهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی برقرار و منجر به کارایی مخزن سد و مدیریت اکوسیستمی رودخانه گردد.

نیاز آبی جریان اکولوژیکی[1] (۲۱) یا به بیان دیگر جریان زیست‌محیطی، میزان گردش مقدار آب مورد نیاز برای حفظ محیط اکولوژیکی رودخانه، حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، حفاظت از پوشش گیاهی آبزی و کنار رودخانه‌ای و همچنین حفظ شرایط مطلوب بیولوژیکی و مورفولوژیکی برای دوره‌های مختلف زندگی ماهیان است (۱۳، ۱۴، ۱۹، ۳۲ و ۳۸). روش‌های اصلی برای محاسبه نیاز آبی اکولوژیکی، شامل روش‌های مختلف هیدرولوژیکی، هیدرولیکی، روش‌های زیستگاهی و جامع است که در نگاهی کلی می‌توان بیان کرد اکثر این روش‌ها برای حفظ اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و خصوصا محیط زندگی ماهیان تولید و توسعه داده شده‌اند (۳، ۵، ۷، ۱۰، ۳۱ و ۳۸). روش‌های هیدرولوژیکی با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی، میزان نیاز آبی محیط اکولوژیکی را تعیین می‌کنند (۱۵، ۲۳ و ۲۹). روش تنانت[2] که به روش مونتانا نیز معروف است (۳۵)، اولین روش هیدرولوژیکی که بر اساس تجزیه و تحلیل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی ۱۱ رودخانه در ایالات متحده آمریکا ارائه شده است و در سراسر جهان کاربرد گسترده‌ای دارد. متوسط جریان سالانه[3]، شاخص تعیین میزان نیاز آبی اکولوژیکی، در این روش است. سپس از دیگر روش‌های هیدرولوژیکی، از جمله روش تگزاس[4] (۳)، روش محدوده تغییرپذیری (۲۹) نیز پیشنهاد و به کار گرفته شدند. روش‌های هیدرولیکی مانند روش R2CROSS (۵) و روش محیط خیس شده (۱۰) نیاز آب اکولوژیکی را بر اساس پارامترهای خاص هیدرولیکی تعیین می‌کنند و از سوی دیگر می‌توان گفت روش‌های هیدرولیکی عملا پیشگامان مدل‌های پیشرفته مورد استفاده برای شبیه‌سازی محیط‌های بیولوژیکی هستند که از مدل‌های هیدرولیکی به عنوان جزئی اصلی در کنار داده‌های محیط اکولوژیکی–بیولوژیکی استفاده می‌کنند (۱۰، ۳۱ و ۳۷). در همین راستا، شکل هندسی مقاطع رودخانه در طراحی، برنامه‌ریزی و ساماندهی رودخانه و همچنین شبیه‌سازی زیستگاه[5] آبزیان، اهمیت اساسی دارد. از سال ۱۹۸۰ میلادی، مدل‌های مطلوبیت فیزیکی زیستگاه توسعه داده شده و در مدیریت زیستگاه رودخانه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان نمونه، مدل شبیه‌سازی فیزیکی زیستگاه (PHABSIM)، CASIMIR ،EVHA، مدل هیدرومورفواکولوژیکی MesoHABSIM و مدل دوبعدی اکوهیدرودینامیکی River2D، در روابط بین شرایط زیستی گونه‌های آبزیان و شرایط رژیم جریان رودخانه، مورد کاربرد قرار گرفته‌اند (۱۲، ۱۳، ۱۸، ۲۱، ۲۲ و ۳۶).

1- Instream Ecological Water Demand
2- Tennant
3- Mean Annually Flow: MAF
4- Texas
5- Habitat Simulation

روش‌های زیستگاهی، محدوده نیاز آب اکولوژیکی را با تجزیه و تحلیل روابط بین عمق آب، سرعت جریان، ساختار بستر رودخانه و دبی تعیین می‌کنند (۷، ۱۳ و ۳۳) و از جمله این مدل‌ها، اجرای روش افزایشی جریان جاری آبراهه‌ای[1] است (۱۲ و ۱۵) که به عنوان ابزاری قدرتمند و یک روش جامع‌نگر برای بررسی نیاز درون رودخانه‌ای و مدیریت‌های مختلف جریان، شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زیستگاه و کمی‌سازی تاثیرات بیولوژیک تغییرات جریان رودخانه، می‌پردازد (۲۲ و ۳۸).

بررسی برخی مطالعات نشان می‌دهد در مدیریت بوم‌سازگان‌های رودخانه‌ای، روش‌های شبیه‌سازی زیستگاه در عین اعتبار بالا در سطح جهان، نیازمند فراهم کردن داده‌های اکولوژیکی و در نظر گرفتن شاخص‌های اکوهیدرولیکی در تخمین میزان جریان‌های اکولوژیک مورد نیاز برای تأمین شرایط مطلوب زیستگاه ماهیان تجدید حیات طبیعی اکوسیستم رودخانه می‌باشد (۱۲، ۱۸، ۲۶، ۳۷ و ۴۰). با این حال، در برخی تحقیقات عنوان شده است، در صورت عدم وجود داده‌های هیدرولوژیکی، می‌توان روش‌های مختلفی را برای تعیین آب اکولوژیکی به منظور دستیابی به نتایج بسیار معتبر، ترکیب کرد (۱۸، ۲۱، ۲۵ و ۳۹). از منظری دیگر، برخی از پژوهشگران، مفهوم «رژیم طبیعی جریان[2]» را برای حفظ سلامت اکوسیستم آبزیان، حفظ تنوع زیستی آبزی و یکپارچگی اکوسیستم در رودخانه‌ها، مفید و سودمند قلمداد می‌نمایند (۱۴ و ۳۲) و بر این اساس، می‌توان «رژیم طبیعی جریان» را شامل رژیم جریان در ۳ حالت وقوع جریان کم‌آبی، وقوع جریان پرآبی و وقوع جریان سیلابی، دانست (۱۴). در آخرین مطالعات صورت گرفته، برخی از پژوهشگران، روش‌های تعیین نیاز آبی اکولوژیکی را در ۲ دسته کلی، «رویکرد رژیم طبیعی جریان» و «رویکرد طراحی رژیم جریان»، در نظر گرفته‌اند (۱۸، ۲۵، ۳۴ و ۴۰).

در چند سال اخیر در تحقیقات مختلفی، استفاده از رویکردهای هیدرولوژیکی به منظور تعیین جریان اکولوژیکی در رودخانه‌های ایران، به طور چشم‌گیری مورد توجه قرار گرفته است که می‌توان به مطالعه مصطفوی و یاسی (۲۳)، پژوهش اسماعیلی و همکاران (۴)، تحقیق ختار و شکوهی (۱۵)، پژوهش سرچشمه و همکاران (۳۰)، تحقیق نادری و همکاران (۲۵) و همچنین مطالعه فرهادیان و همکاران (۶)، اشاره کرد. اما مطالعات انجام شده نقطه ضعف‌های غیرقابل انکاری در تخمین تخصیص رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه دارد. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه در مطالعات بررسی مطلوبیت زیستگاه ماهیان و برآورد رژیم جریان ایده‌آل اکولوژیکی رودخانه‌ها، مورد توجه پژوهشگران مختلف قرار گرفته است، از جمله می‌توان به مطالعه لی و همکاران (۱۹) در برآورد جریان اکولوژیکی رودخانه لیجیانگ چین با در نظر گرفتن مقدار و کیفیت زیستگاه ماهیان بومی در مراحل رشد و تخم‌ریزی با ایجاد رابطه بین رژیم جریان و مدل مطلوبیت زیستگاه، پژوهش هولمز و همکاران (۱۲) در برآورد جریان زیست‌محیطی در رودخانهٔ تنظیم نشده[3] بیگ‌سور کالیفرنیا با مدل‌سازی دوبعدی هیدرودینامیکی زیستگاه River2D، تحقیق جانستون و همکاران (۱۳) در بررسی زیستگاه‌های مناسب تخم‌ریزی ماهیان رودخانه پنوبسکات آمریکا با توجه به شاخص‌های اکوهیدرولیکی و مدل شبیه‌سازی اکوهیدرودینامیکی مطلوبیت زیستگاه River2D، پژوهش نادری و همکاران (۲۴) در تخمین میزان جریان اکولوژیکی مورد نیاز در دوره‌های مختلف زندگی گونه شاخص ماهی و تحلیل وضعیت اکوسیستم رودخانه زرین‌گل با درنظر گرفتن شاخص‌های اکوهیدرولیکی و کاربرد مدل River2D، و همچنین مطالعه ژو و همکاران (۴۰) در مطالعه حفاظت زیستگاه‌های ماهی در رودخانه‌های کوهستانی و برآورد میزان جریان اکولوژیکی مطلوب با کاربرد مدل شبیه‌سازی دوبعدی اکوهیدرودینامیکی River2D و محاسبه مساحت قابل استفاده وزنی[4] برای ارزیابی اثرات مختلف احیای زیستگاه رودخانه تنظیم نشده هیشوی در جنوب‌غربی چین، اشاره کرد که نتایج بررسی این تحقیقات بر این دلالت دارد که مدل‌های شبیه‌سازی زیستگاه، عملکرد قابل قبولی در محاسبه میزان نیاز آب اکولوژیکی مورد نیاز جوامع آبزی داشته اند.

از آنجا که با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، تغییرات منطقه قابل استفاده وزنی در رودخانه و اثر نوسان‌های جریان سالانه بر زیستگاه آبزیان رودخانه، دقیق‌تر و واضح‌تر مشخص می‌شود (۷، ۱۳، ۲۰ و ۲۵)، استفاده از این مدل‌ها مانند مدل اکوهیدرودینامیکی River2D، برای بهبود وضعیت زیستی رودخانه‌ها و انجام تحقیقات متعدد با استفاده از مدل‌های مختلف اکوهیدرولیکی- هیدرومورفواکولوژیکی و مقایسه نتایج آنها در کشور، احساس می‌شود. در دهه اخیر برخی از سدهای بزرگ برای تولید انرژی، کنترل سیلاب، تأمین آب آشامیدنی و اهداف آبیاری بر روی رودخانه‌های استان کرمانشاه ساخته شده است. سد جامیشان از جمله سدهای پر اهمیت و استراتژیک در زمینه تأمین منابع آبی استان کرمانشاه است. احداث این سد، در راستای دستیابی به اهداف توسعه اقتصاد ملی و به منظور استفاده بهینه از پتانسیل‌های منابع آب سطحی رودخانه دینور و نیز استراتژی کنترل سیلاب‌های فصلی، تأمین نیاز کشاورزی شبکه آبیاری جامیشان و نازلیان و نیز به عنوان

1- Instream Flow Incremental Methodology: IFIM
2- Natural Flow Regime
3- Unregulated river
4- Weighted Usable Area: WUA

یک جاذبه گردشگری، مطرح می‌باشد.در این پژوهش با توجه به مطالعات گسترده میدانی و کتابخانه‌ای، سعی می‌شود با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی تنانت، روش توزیع سالانه[1] و تگزاس و مدل اکوهیدرودینامیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه و با درک مشخصه‌های اکولوژیکی- اکوهیدرولیکی و هیدروموروفواکولوژیکی رژیم جریان و نیز پویایی جمعیت ماهیان، جهت برآورد محدوده جریان رهاسازی بهینه از سد جامیشان و تحلیل سناریوهای نیاز آب اکولوژیکی برای حفظ پتانسیل مطلوب رودخانه دینور در پایین‌دست سد، راهکارهای مفید و موثر برای حفظ شرایط بهینه مورفولوژیکی و ساختار آبراهه، آماده‌سازی بستر رودخانه برای تخم‌ریزی ماهیان، جریان مورد نیاز برای حفاظت از پوشش گیاهی آبزی و کنار رودخانه‌ای، معرفی نماید.

مواد و روش‌ها

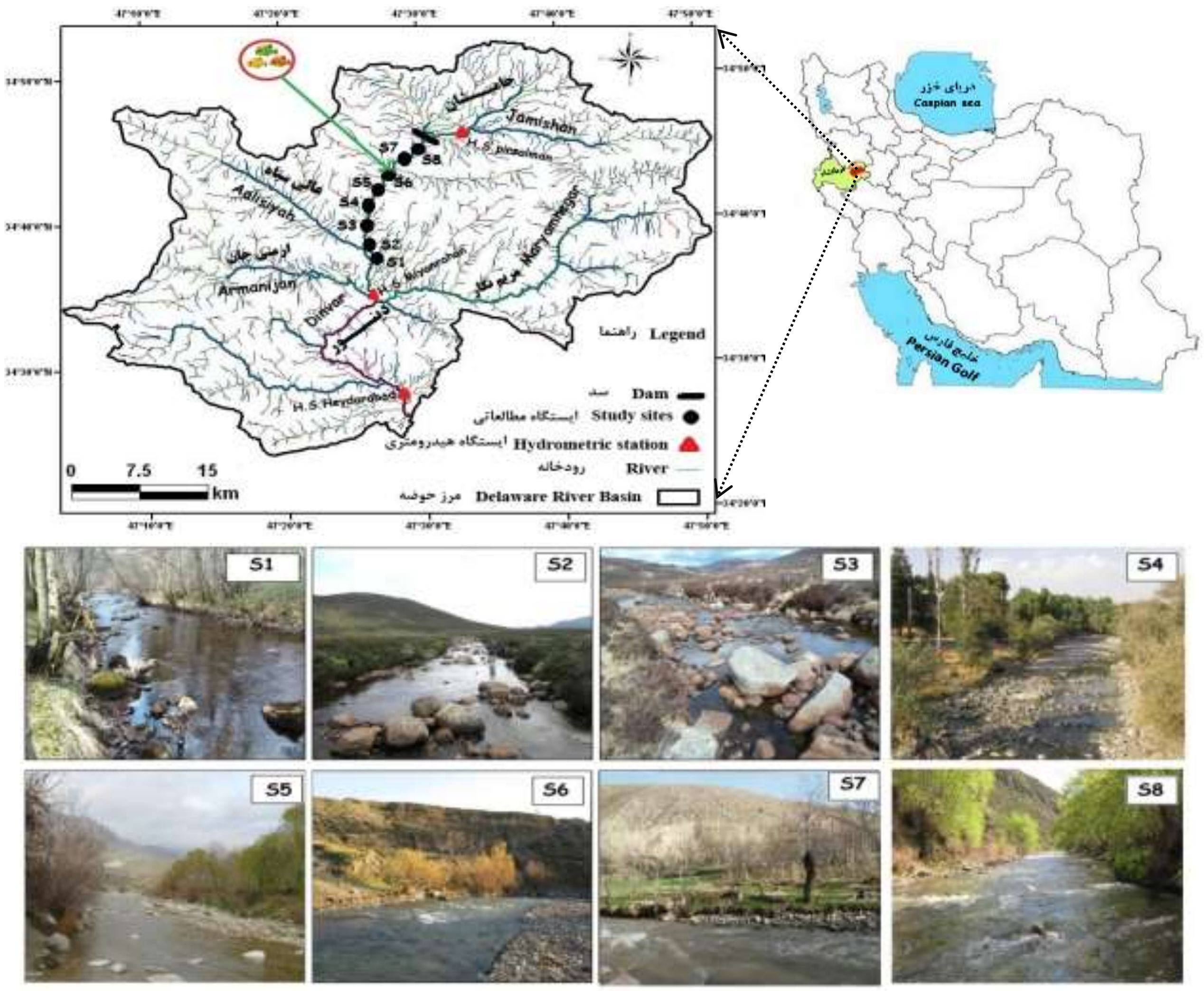
منطقهٔ مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، رودخانه دینور از شاخه‌های مهم و نسبتاً پرآب رودخانه گاماسیاب، واقع در حوضه آبخیز دینور با وسعتی در حدود ۱۷۱۸ کیلومترمربع در شمال شرق استان کرمانشاه است که بین مختصات جغرافیایی '۷ °۴۷ تا '۴۲ °۴۷ طول شرقی و '۳۳ °۴۳ تا '۵۲ °۳۶ عرض شمالی، گسترده شده است. حداقل ارتفاع حوضه آبخیز دینور، ۱۳۳۶ متر در زیرحوضه غربی و حداکثر ارتفاع آن، ۳۲۷۷ متر در زیرحوضه شرقی با میانگین ارتفاعی ۱۸۷۱ متر است که قسمت بیشتر آن در مناطق کوهستانی واقع گردیده و همچنین بخش بزرگی از حوضه آبخیز دینور، شیبی بیشتر از ۱۷ درصد دارد. میانگین بارش سالانه در حوضهٔ آبخیز دینور طی دوره ۲۵ ساله، ۵۴۹ میلیمتر و دمای سالانه، ۱۵/۲ درجه سانتیگراد است. بر اساس اقلیم نمای کوپن اقلیم حوضه آبخیز دینور، معتدل تا سرد است (۱۱ و ۲۷). شکل ۱، نقشه منطقه مورد مطالعه، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و سیمای کلی رودخانه دینور در بازه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. رودخانه دینورآب در مسیر شمال به جنوب با طول تقریبی ۵۲ کیلومتر جریان داشته، رژیم آبی آن برفی- بارانی و دائمی و دوران پرآبی آن، فصل بهار بوده، و همچنین ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در مسیر رودخانه، پیرسلمان، میانراهان و حیدرآباد می‌باشد. از مهم‌ترین رودخانه‌های حوضه آبخیز دینور می‌توان به رودخانه عالی‌سیاه، رودخانه ارمنی‌جان، رودخانه جامیشان که سرشاخه اصلی دینور است و نیز به رودخانه مریم‌نگار، اشاره کرد.

محدوده مورد مطالعه، بازه‌ای از رودخانه دینور، از پایین‌دست سد جامیشان تا محل تلاقی دیگر سرشاخه‌های رودخانه (میان‌راهان) که دارای ارزش زیستگاهی است (بازه‌ها در محدوده ایستگاه‌های هیدرومتری در نظر گرفته شدند)، می‌باشد. قسمت بالادست رودخانه دینور در نزدیکی سد مخزنی جامیشان واقع شده است. سد مخزنی جامیشان با حجم نرمال ۵۲ میلیون مترمکعب که بر روی رودخانه جامیشان در شهرستان سنقروکلیایی به عنوان یکی از بزرگترین طرح‌های تنظیم و انتقال آب در استان کرمانشاه ساخته شده است، در سال ۱۳۹۵ آبگیری و در سال ۱۳۹۷ مورد بهره برداری قرار گرفت. هدف از اجرای این سد، تنظیم و ذخیره آب رودخانه جامیشان جهت آبیاری حدود ۲۸۰۰ هکتار اراضی دشت دینور و تنظیم حقابه ۷۶۰ هکتار از اراضی دشت چمچمال، تامین آب صنایع منطقه،کنترل سیلاب و توسعه صنعت گردشگری و بهبود محیط زیست منطقه می‌باشد. رودخانه مورد مطالعه، به دلیل تأمین آب موردنیاز منطقه برای آبیاری کشاورزی، گردشگری و نیز مطالعات بیوسیستماتیک جانوری حائز اهمیت بوده و مکان مناسبی برای تخم‌ریزی و پرورش ماهی‌ها و دیگر آبزیان بومی منطقه است. همچنین بستر این رودخانه در طول مسیر، سنگی و ماسه‌ای بوده و در حاشیه‌ها، دارای پوشش گیاهی با غالبیت گونه‌های جنس میریوفیلوم می‌باشد. از گونه‌های ماهیان منطقه می‌توان به خانواده کپورماهیان و گونه‌های خانواده سگ‌ماهیان جویباری اشاره کرد (۸ و ۲۸).

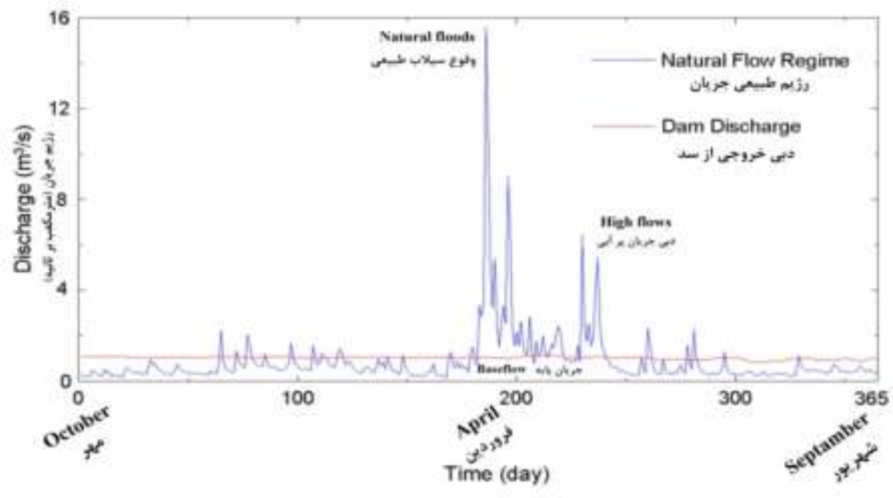
به منظور تحلیل نوسانات و تغییرپذیری آب رودخانه از نظر زیست‌محیطی، آمار و اطلاعات دبی رودخانه مورد مطالعه، از شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه دریافت شد. شکل ۳، رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور در طی دوره آماری ۳۷ ساله (۱۳۹۷-۱۳۶۰) و دبی جریان رهاسازی از سد جامیشان پس از بهره‌برداری (۱۳۹۸-۱۳۹۷) را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در زمان انجام این تحقیق، تنها یکسال آمار از مقادیر جریان رهاسازی این سد، در دسترس بود. در شکل ۲ ملاحظه می‌گردد که رژیم طبیعی جریان دارای ۳ حالت جریان کم آبی، جریان پرآبی و جریان سیلابی است. مناسب‌ترین بخش داده‌های هیدرولوژیکی که برای ارزیابی جریان زیست‌محیطی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، دبی متوسط روزانه و ماهانهٔ مشاهده شده در دوره‌های بلندمدت ایستگاه‌های هیدرومتری است. برای انجام محاسبات هیدرولوژیکی در حوضهٔ رودخانهٔ دینور از داده‌های دبی ایستگاه هیدرومتری پیرسلمان در بالادست رودخانه دینور و سد جامیشان به عنوان ایستگاه شاخص در برآورد پتانسیل طبیعی جریان رودخانه دینور، در طول دوره آماری ۳۸ ساله (۱۳۹۸- ۱۳۶۰)، و ایستگاه هیدرومتری میان‌راهان در پایین‌دست سد جامیشان پس از بهره‌برداری از سد، استفاده شده است.

1- Annual Distribution Method: ADM



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز دینور، منطقه مورد مطالعه و نمایی از رودخانه به همراه موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Figure 1- Location of the watershed Dinavar river, study area and view of the river with location of sampling stations



شکل ۲- رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور و دبی رهاسازی از سد جامیشان

Figure 2- The natural flow regime Dinavar river and discharge from Jamishan dam

روش‌های تعیین نیاز آب اکولوژیکی

پرکاربردترین روش هیدرولوژیکی برای تعیین جریان درون رودخانه‌ای مورد نیاز ماهی‌ها، روش «تنانت» می‌باشد. تنانت (۳۵) جریان‌های مشخصی که هر یک معرف کیفیت زندگی ماهیان بودند را در قالب سه پارامتر عمق، سرعت و درصد محیط خیس شده همراه با ملاحظات بیولوژیکی و مورفولوژیکی برای زندگی ماهیان به صورت زیستگاه بقای کوتاه مدت، زیستگاه حیاتی و زیستگاه عالی برای بقاء، تعریف کرد. زیستگاه بقای کوتاه‌مدت، با حفظ ۱۰ درصد جریان متوسط سالانه تأمین می‌شود. زیستگاه حیاتی، در ۳۰ درصد جریان متوسط سالانه و زیستگاه عالی برای حیات، در جریان‌های بیش از ۶۰ درصد متوسط سالانه فراهم می‌شوند (۳۱، ۳۵ و ۳۹). روش «تگزاس» دیگر روش هیدرولوژیکی در واقع برگرفته از روش تنانت بوده که توسط اداره حیات وحش و پارک‌های تگزاس، توسعه یافته است و برای رودخانه‌هایی که گونه جانوری شاخصی دارند و زنجیره غذایی آنها شناخته شده است، به کار برده می‌شود. در این روش درصدهای متغیری از میانگین ماهانه جریان برای تعیین نیاز آب اکولوژیکی به کار می‌رود. این روش در برابر روش‌های اولیه یک روش پیشرفته است چرا که اولین روش از روش‌های هیدرولوژیکی است که درصد جریانات ماهانه را به‌عنوان متغیری از مشخصه‌های بیولوژیکی (دوره تخم‌ریزی، مهاجرت و ...) و ویژگی‌های هیدرولوژیکی منطقه‌ای (جریانات ماهانه با تغییرات شدید با چولگی مثبت) در نظر می‌گیرد (۳، ۱۵، ۲۵ و ۳۱). در روش تگزاس، ۴۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای ماه‌های اکتبر تا فوریه (مهر- بهمن) و ۶۰ درصد میانگین جریان ماهانه برای ماه‌های مارس تا سپتامبر (اسفند - شهریور) به عنوان جریان حداقل برای حفاظت از بوم‌سازگان رودخانه‌ها در نظر گرفته می‌شود (۲۵ و ۳۱). «روش توزیع سالانه» بر اساس شاخص متوسط نسبت حداقل دبی سالانه و میانگین دبی سالانه با توجه به داده‌های سری بلند مدت رژیم جریان طبیعی ماهانه ایستگاه هیدرومتری، فرض می‌کند که حداقل دبی ماهانه رودخانه می‌تواند نیازهای اساسی جریان اکولوژیکی برای حفظ عملکرد ضروری محیط زیست را تأمین و یک محیط مناسب برای فعالیت جوامع ماهیان در درون رودخانه، فراهم نماید. در روش توزیع سالانه، نیاز آبی اکولوژیکی هر ماه، از حاصل‌ضرب میانگین جریان ماهانه و شاخص متوسط نسبت حداقل دبی سالانه به میانگین دبی سالانه، تعیین می‌گردد (۳۴ و ۳۷).

مدل شبیه‌سازی زیستگاه

به منظور ارزیابی اکوسیستم رودخانه و شبیه‌سازی زیستگاه‌های رودخانه‌ای، روش‌های زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی کمیت و کیفیت زیستگاه و کمی‌سازی تاثیرات بیولوژیک تغییرات جریان، یکی از جنبه‌های مهم در روش افزایشی جریان جاری آبراهه و به عنوان ابزاری قدرتمند و یک روش جامع‌نگر برای بررسی نیاز درون رودخانه‌ای و مدیریت‌های مختلف جریان، محسوب می‌گردد (۷، ۱۳، ۲۰ و ۲۵). یکی از برنامه‌های شناخته شده‌ای که برای شبیه‌سازی دوبعدی استفاده می‌شود، مدل اکوهیدرولیکی- اکوهیدرودینامیکی River2D، توسعه یافته توسط استفلر و بلکبرن (۳۳) در دانشگاه آلبرتا[1] کانادا می‌باشد. مدل River2D یک مدل دوبعدی هیدرودینامیک با روش اجزای محدود بوده و اساس آن بر استفاده از متوسط متغیرها در عمق استوار می‌باشد. مدل مزبور توانایی شبیه‌سازی جریان‌های ماندگار و غیرماندگار را دارد. یادآور می شود که در مطالعه حاضر، شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در حالت ماندگار و یکنواخت، در نظر گرفته شد. تئوری مورد استفاده در شبیه‌سازی زیستگاه در این مدل بدین صورت است که از معیارهای مطلوبیت زیستگاه به‌عنوان رابط بین هیدرولیک رودخانه و زیستگاه موجودات آبزی استفاده می‌کند. پارامتر زیستگاه خروجی آن نیز مساحت قابل استفاده وزنی می‌باشد (۷، ۱۲ و ۴۰). همچنین مدل می‌تواند، مرزهای ورودی و خروجی چندگانه داشته باشد که باید جریان را در هر مرز ورودی مشخص کرد. اگر رودخانه سرشاخه‌های متعددی داشته باشد، بایستی ورودی را برای هر سرشاخه وارد کرد. در منابعی مانند (۲۴)، (۲۶) و (۳۳) شرح تفصیلی این مدل آمده است.

مدل شاخص مطلوبیت زیستگاه[2]

بررسی بیولوژی و اکولوژی زیستگاه ماهیان در رودخانه، یکی از موضوعات مورد توجه در مدیریت منابع آبی است. روش افزایشی جریان جاری آبراهه‌ای یک روش تحقیقاتی زیستگاهی است که معمولاً برای شبیه‌سازی رابطه کمی بین جریان و در دسترس بودن زیستگاه‌های آبزی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص مطلوبیت زیستگاه به عنوان یک فناوری کلیدی از روش افزایشی جریان درون رودخانه‌ای، می‌تواند به‌طور کمی رفتار خاص یک گونه را توصیف کند (۹، ۱۹، ۲۰ و ۲۲). شاخصی که معمولاً استفاده می‌شود منحنی مطلوبیت متغیر منفرد است، که مقدار مناسب بودن زیستگاه ماهی را بین ۰ تا ۱، تعریف می‌کند. که در آن ۰، نامناسب‌ترین زیستگاه (زیستگاه خیلی نامطلوب) و ۱، مناسب‌ترین زیستگاه (زیستگاه خیلی مطلوب) است. شاخص مطلوبیت زیستگاه دارای ۴ سطح مختلف ($0/75<HSI\leq1$ خیلی مطلوب؛ $0/5<HSI\leq0/75$ مطلوب؛ $0/25<HSI\leq0/5$ نامطلوب؛ $0\leq HSI\leq0/25$ خیلی نامطلوب) می‌باشد

1- Alberta
2- Habitat Suitability Index:HSI

(۱۹، ۲۲ و۳۶). پس از ایجاد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای هر یک از مولفه‌های فیزیکی زیستگاه، شاخص‌های مطلوبیت برای بدست آوردن شاخص مطلوبیت ترکیبی[1] با هم ادغام می‌شوند (مقدار شاخص مطلوبیت ترکیبی، از رابطه (۱) به‌دست می‌آید). مدل River2D با شبیه‌سازی رابطه مطلوبیت گونه‌های شاخص با فاکتورهای جریان، مساحت قابل استفاده وزنی (میزان زیستگاه مطلوب در دسترس) را محاسبه می‌کند. مساحت قابل استفاده وزنی، حاصل از شاخص مطلوبیت ترکیبی و مساحت هر بازه زیستگاه می‌باشد (رابطه ۲).

$$CSI = SI_d \times SI_v \times SI_b \quad (۱)$$

$$WUA = \sum_{i=1}^{n} A_i \times CSI_i = f(Q) \quad (۲)$$

که در روابط (۱) و (۲)، A_i: سطح هر بازه زیستگاهی، CSI_i شاخص مطلوبیت ترکیبی، WUA (مساحت قابل استفاده وزنی) تابعی از Q (دبی جریان) و SI_i شاخص مطلوبیت هر متغیر (عمق، سرعت و بستر) می‌باشند.

در این مطالعه با استفاده از نقشه توپوگرافی رودخانه دینور و نرم افزار Arc-GIS، هندسه مدل رودخانه و مقاطع عرضی ایجاد شد و سپس داده‌های هندسی مقاطع عرضی به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های میدانی و HEC-GeoRAS، به مدل HEC-RAS ارسال و شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه انجام گرفت. در ادامه با استفاده از داده‌های عمق آب، سرعت جریان و تراز سطح آب تولید شده در مدل هیدرولیکی HEC-RAS و همراه با مشاهدات میدانی، وارد مدل River2D شده و شبیه‌سازی هیدرمورفولوژیکی-زیستگاهی رودخانه صورت گرفت. در مرحله بعد منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه برای دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور، تولید و توسعه داده شد. در نهایت منحنی‌های سری زمانی دبی-میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس (مساحت قابل استفاده وزنی) استخراج و با توجه به منحنی‌های استخراج شده، سناریوهای مختلف مدیریت جریان برای بهبود وضعیت زیستگاهی رودخانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

اندازه‌گیری و نمونه‌برداری پارامترهای اکولوژیکی و هیدرولیکی رودخانه

بررسی رودخانه در بازه‌های مختلف و از دشت‌های سیلابی تا کانال رودخانه، سبب درکی قوی از یکپارچگی این اکوسیستم‌های آبی می‌شود. در مطالعه حاضر، برای انجام محاسبات شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، گونه سیاه‌ماهی خالدار *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) از رده ماهیان استخوانی حقیقی (Teleostei) و از خانواده کپورماهیان (Cyprinidae) به دلیل مهاجرت به سرشاخه‌های حوضه رودخانه دینور برای تخم‌ریزی در فصل بهار، به عنوان گونه هدف در نظر گرفته شد. سیاه‌ماهی خالدار در بخش‌هایی از رودخانه با عمق کمتر از ۱/۵ متر، با جریان سریع آب و بسترهای شنی-ماسه‌ای یا قلوه‌سنگی زندگی می‌کند. این ماهی برای مقاصد آبزی‌پروری، صید ورزشی و مطالعات جغرافیای جانوری دارای اهمیت بوده و در حوضه رودخانه‌های دجله و کارون پراکنش دارد (۱۶ و ۲۸).

به دلیل نیاز به منحنی‌های شاخص مطلوبیت، با بازدیدهای میدانی در طول ۱۸ کیلومتر از مسیر رودخانه دینور، اندازه‌گیری و بررسی پارامترهای اکولوژیکی، هیدرولیکی و هیدرومورفواکولوژیکی (مقاطع عرضی رودخانه شامل فاصله هر مقطع از مقطع پایین‌دست، موقعیت جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی، عمق آب با استفاده از خط‌کش مدرج فلزی (با دقت ۰/۵ سانتی‌متر)، عرض مقاطع با استفاده از مترنواری، سرعت جریان در نقطه بالادست و پایین‌دست مقطع با استفاده از سرعت‌سنج (مولینه صحرایی مدل MCF:DL با دقت ۰/۰۰۵ متر بر ثانیه) در ۰/۴ عمق آب به منظور به‌دست آوردن میانگین سرعت ستون آب در نقطه نمونه‌گیری، ساختار و پوشش بستر (قطر سنگ‌های غالب بستر رودخانه در پلات تصادفی)، ضریب مانینگ و شکل مورفولوژی زیستگاه (خیزاب[2] و گوداب[3]) در نقاط حضور ماهی، صورت پذیرفت (جدول ۱). در این راستا نمونه‌برداری از ماهیان (جهت تخمین سن و مرحله زندگی آن) به صورت نقطه‌ای و دقیق، با استفاده از تور سالیک با اندازه چشمه ۱۵ میلی‌متری، از پایین‌دست رودخانه دینور به سمت بالادست در ۸ ایستگاه، جهت تولید منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه ماهی سیاه‌ماهی خالدار در بهار، تابستان و پاییز سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، انجام شد (داده‌ها برای ۱۴۸ نمونه سیاه‌ماهی خالدار با طول کل ۱۰-۲۵ سانتی‌متر، ثبت شد).

بازه‌های مشاهداتی و ایستگاه‌های مطالعاتی در نظر گرفته شده در این مطالعه، طولی از بازه رودخانه به صورت ضریبی از حداکثر عرض رودخانه (۱۰ تا ۲۰ برابر عرض خیس‌شده مقطع در بالادست و پایین‌دست) که در امتداد مسیر نسبتاً مستقیم رودخانه واقع و بر اساس فاکتورهایی شامل قرار داشتن مرزهای محدوده مطالعاتی تحت تأثیر رژیم جریان (با بررسی نقشه توپوگرافی و نیز سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و الحاقیه HEC-GeoRAS)، دارا بودن هیدروگراف یکسان در نواحی دارای شرایط مشابه هیدرولوژیکی، تنوع در ریخت‌شناسی رودخانه (عوارضی همچون پیچ‌وخم‌های مقاطع عرضی رودخانه، شیب و ساختار بستر، زیستگاه‌های قلوه‌سنگی و ایستگاه‌های گیاهی حاشیه رودخانه)، انتخاب شدند.

1- Combined Suitability Index:CSI

2- Riffle

3- Pool

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی و مشخصات ایستگاه‌های مطالعاتی در رودخانه دینور

Table 1- Geographic location and characteristics of studty stations in Dinavar river

ایستگاه Station	موقعیت جغرافیایی (Geographical Location) طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا Above Sea Level (m)	پارامترهای محیطی (Environmental Parameters) سرعت Velocity (m/s)	عمق Depht (m)	عرض Width (m)	فرم مورفولوژی بستر Morphology substrate Form
S1	47° 25' 37"	34° 37' 41"	1324	0.52	0.58	3.43	Riffle
S2	47° 26' 47"	34° 37' 68"	1367	0.61	0.65	3.47	Riffle
S3	47° 27' 65"	34° 38' 58"	1384	0.33	0.51	4.65	Pool
S4	47° 28' 13"	34° 39' 28"	1418	0.36	0.51	5.15	Pool
S5	47° 30' 33"	34° 40' 36"	1438	0.74	0.65	3.65	Riffle
S6	47° 32' 65"	34° 41' 24"	1468	0.68	0.48	3.54	Riffle
S7	47° 33' 27"	34° 46' 41"	1487	0.43	0.63	3.38	Pool
S8	47° 33' 44"	34° 47' 22"	1512	0.63	0.41	3.28	Riffle

نتایج و بحث

مدیریت اکوسیستمی رودخانه دینور، نیاز بـه ابزارهـای ارزیـابی و حمایت از جوامع آبزی دارد که شامل حفاظت، احیا و بازطبیعی‌سازی و همچنین پیش‌بینـی شـرایط آینـده دارد. بنـابراین در مطالعـه حاضـر، تخصیص نیاز آبی اکولوژیکی، تنظیم، مقدار و زمان‌بندی آن بـا توجـه به نقش مؤثری که در ادامه فعالیت‌های موجود در زیست‌بـوم، بوجـود آوردن شرایط مناسـب بـرای تخـم‌ریـزی آبزیـان و احیـا اکوسیسـتم رودخانه دارد، مورد محاسبه و تحلیل قـرار گرفـت. در در ادامـه نتـایج بـرآورد مقـادیر ماهانـه نیـاز آبـی اکولـوژیکی رودخانـه دینـور بـرای روش‌های مختلف، ارائه شده است.

روش تنانت: روش تنانـت بـر اسـاس درصـدهایی از میـانگین جریان سالانه و در گروه‌های مختلفی از بسـیار ضـعیف تـا محـدوده بهینه، تعریف شده است. نکته‌ای کـه بایـد در مـورد اسـتفاده از روش تنانت در رودخانه دینور مدنظر قرار گیرد این اسـت کـه بـه میـانگین سالانه جریان طبیعی رودخانه در زمان قبل از احداث سد نیاز اسـت و بر این اساس در روش تنانت، درصدها باید بـرای دوره قبـل از انجـام فعالیت‌های انسانی (احداث سد) و شروع تغییرات تعریف شـود کـه در این مطالعه از سال ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۷ می‌باشد. میـانگین جریـان سـالانه برای این دوره برابر با ۱/۵۶ متر مکعب بر ثانیه است. بر این اساس با استفاده از روش تنانت، مقدار جریان زیست‌محیطی برای شرایط قابـل قبول زیستی، ۳۰ درصد متوسـط جریـان سـالانه بـرای فـروردین تـا شهریور (معادل ۰/۴۶ متر مکعب بر ثانیه) و ۱۰ درصد متوسط جریـان سالانه برای مهرماه تا اسفند (معادل ۰/۱۵ متر مکعب بر ثانیه) بـرآورد گردید (جدول ۲ و جدول ۵). طبق روش تنانت، ۱۰ درصد از میـانگین جریان سالانه، نشان‌دهنده حداقل حالت جریان بـرای حفـظ سـلامت اکوسیستم رودخانه است. تحت شرایط تخصیص ۱۰ درصـد میـانگین جریان سالانه، عمق و سرعت به طور قابل توجهی کـاهش مـی‌یابـد، یک سوم بستر نمایان شده و از طرفی پوشـش کـف آبراهـه کـاهش یافته و متناسب بـا آن، پـراکنش و حضـور ماهیـان در زیسـتگاه‌هـای گوداب بیشتر شده و در ایـن شـرایط عمـق کـم جریـان در زیسـتگاه خیزاب برای ماهیان با طول بیشتر، مانع حرکت و شنای آنها می‌گردد. همچنین در شرایط تخصیص ۳۰ درصد متوسط جریان سالانه، عرض مقطع، عمق آب و سرعت جریان برای پراکنش و حضـور ماهیـان در زیستگاه‌های گوداب و خیزاب، شرایط قابل قبولی را فـراهم مـی‌کنـد. کیفیت زیستگاه «قابل قبول یا عادلانه» برای تـأمین حـداقل جریـان جریان اکوسیستم رودخانه در مهر تا اسفندماه است. در طی فـروردین تا شهریورماه، کیفیت زیستگاهی که به عنوان «قابل قبول یا عادلانه» تعریف می‌شود، نیاز به حفظ شرایط مطلـوب بـرای موجـودات آبـزی دارد. کیفیت زیستگاه «عالی» زیستگاه خـوبی بـرای زنـدگی آبزیـان است. کیفیت زیستگاه«خوب» وضعیت زیستگاهی بـین «عادلانـه» و «عالی» است. نیاز آب اکولوژیکی بر اساس استاندارد روش تنانـت، در جدول ۲ نشان داده شده است که تقاضای شرایط مختلف اکوسیسـتم رودخانه دینور را نشان می دهد.

جدول ۲- نیاز آب اکولوژیکی برآورد شده رودخانه دینور با روش تنانت طی دوره های مختلف (مترمکعب برثانیه)

Table 2- Ecological water demand of Dinavar river by tennant method during different periods (m^3/s)

ماه Month	قابل قبول یا عادلانه Fair or degrading		خوب Good		عالی Excellent		ملاحظات Remarks
	10% MAF (7–12)	30% MAF (1–6)	20% MAF (7–12)	40% MAF (1–6)	30% MAF (7–12)	50% MAF (1–6)	
April فروردین	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
May اردیبهشت	–	0.46	–	0.62	–	0.78	Fish spawning and nursery period
June خرداد	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
July تیر	–	0.46	–	0.62	–	0.78	دوره تخم‌ریزی و نوزادی ماهیان
August مرداد	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
September شهریور	–	0.46	–	0.62	–	0.78	
October مهر	0.15	–	0.31	–	0.46	–	
November آبان	0.15	–	0.31	–	0.46	–	General water utilization period
December آذر	0.15	–	0.31	–	0.46	–	دوره مصارف عمومی از آب
January دی	0.15	–	0.31	–	0.46	–	
February بهمن	0.15	–	0.31	–	0.46	–	
March اسفند	0.15	–	0.31	–	0.46	–	

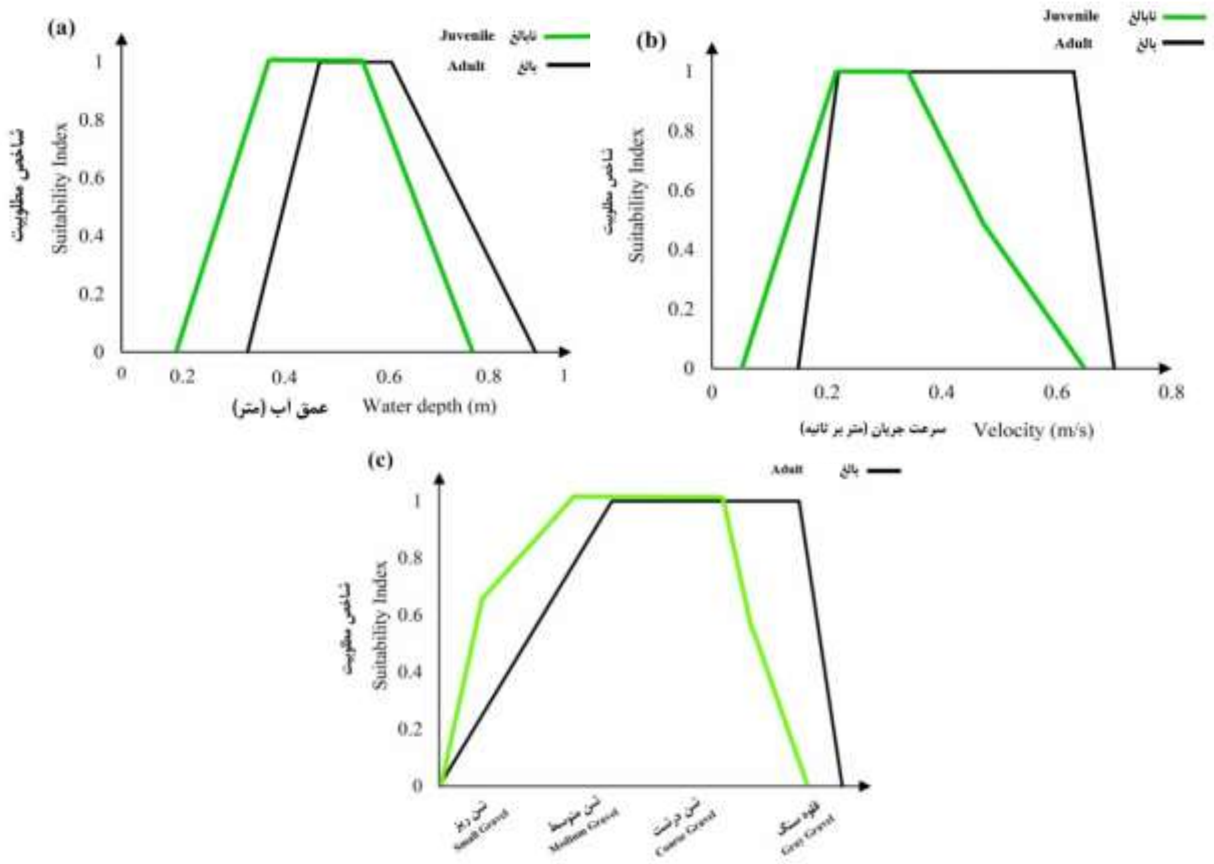
روش تگزاس: متوسط جریان زیست‌محیطی سالانه برآورد شده توسط روش تگزاس، ۱/۱۸ مترمکعب بر ثانیه، معادل ۵۵ درصد متوسط جریان سالانه می‌باشد. روش تگزاس را می‌توان برای رودخانه دینور، روش نسبتاً مناسبی دانست، زیرا در این روش، احتمال تجاوز جریان‌های ماهانه پیشنهادی در ماه‌های کم‌آبی، بیشتر از ۴۰ درصد می‌باشد و جریان پیشنهادی در این ماه‌ها تطابق خوبی با وضعیت این رودخانه دارد. از طرفی دیگر، با بررسی جدول ۵، مشاهده می‌شود روش تگزاس در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت، جریانی بالاتر از میانگین جریان سالانه را برای تأمین حداقل نیاز آبی اکولوژیکی، پیشنهاد داده است. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل‌های روش تگزاس می‌توان نتیجه گرفت که روش مزبور دبی کمتری از میانگین جریان ماهانه و بیشتر از حداقل جریان ماهانه در هر ماه را به جریان زیست محیطی اختصاص می‌دهد و این نتیجه‌گیری با یافته‌های مطالعات صورت گرفته همچون ختار و شکوهی (۱۵) در ارزیابی روش تگزاس برای ارائه رژیم اکولوژیکی رودخانه کاظم‌رود و نادری و همکاران (۲۵) در تعیین محدوده رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل، همخوانی دارد. همچنین پیش‌بینی می‌شود بر اساس تغییرپذیری عمق و سرعت جریان و شاخص‌های هیدرومورفواکولوژیکی در ارتباط با رژیم جریان رودخانه، تحت شرایط تخصیص ۶۰ درصد میانگین جریان ماهانه، در حدود ۸۰ درصد از بستر رودخانه، شرایط مطلوبی برای موجودات آبزی در زیستگاه‌های خیزاب و گوداب را حفظ کرده و تحت شرایط تخصیص ۴۰ درصد میانگین جریان ماهانه، عمق و عرض خیس‌شده، به‌طور قابل توجهی کاهش یافته و به واسطه آن زیستگاه‌های گودابی نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه جمعیت گونه‌های ماهی نیازمند به این زیستگاه‌ها، نیز کاهش می‌یابد.

روش توزیع سالانه: با استفاده از روش توزیع سالانه، مقدار نیاز آب اکولوژیکی رودخانه دینور، ۱۳ درصد میانگین جریان سالانه (معادل ۰/۲ متر مکعب بر ثانیه) برآورد گردید. با بررسی جدول ۵ ملاحظه می‌گردد، دبی زیست‌محیطی حاصل از روش توزیع سالانه، نمی‌تواند قابل استناد باشد، زیرا کمترین دبی ماهیانه‌ای که رخ داده را در تعیین حداقل نیاز آبی اکولوژیکی منظور کرده است و بر این اساس، در صورتی‌که بحث تخم‌ریزی و پرورش ماهی‌ها وجود داشته باشد، روش توزیع سالانه، جریانی به اندازه کمتر از حداقل میانگین جریان‌های ماهانه را برای دوره تخم‌ریزی و پرورش ماهیان توصیه می‌کند. از آنجا که در روش توزیع سالانه دبی‌های حداقل ماهانه در محاسبه دبی زیستی درنظر گرفته می‌شود، با توجه به حداقل داده‌های سری بلندمدت جریان رودخانه، برای رودخانه دینور نمی‌تواند گزینه برتر تعیین جریان اکولوژیکی باشد، زیرا دبی تخصیص داده شده در این روش (معادل ۹ درصد میانگین جریان سالانه)، منجر به از بین رفتن تنوع اکولوژیکی اکوسیستم می‌گردد. مشخص است که روش تنانت با برقراری جریان موردنیاز برای فصول مختلف نسبت به توزیع سالانه از نظر اکولوژیکی نیز، بیشتر قابل قبول است و اگر از دیدگاه میزان مصرف که در طول رودخانه صورت می‌گیرد به این روش‌ها توجه شود، باید در نظر داشت که با توجه به آنکه در فصول بهار و تابستان، میزان برداشت آب از رودخانه به جهت مصارف کشاورزی

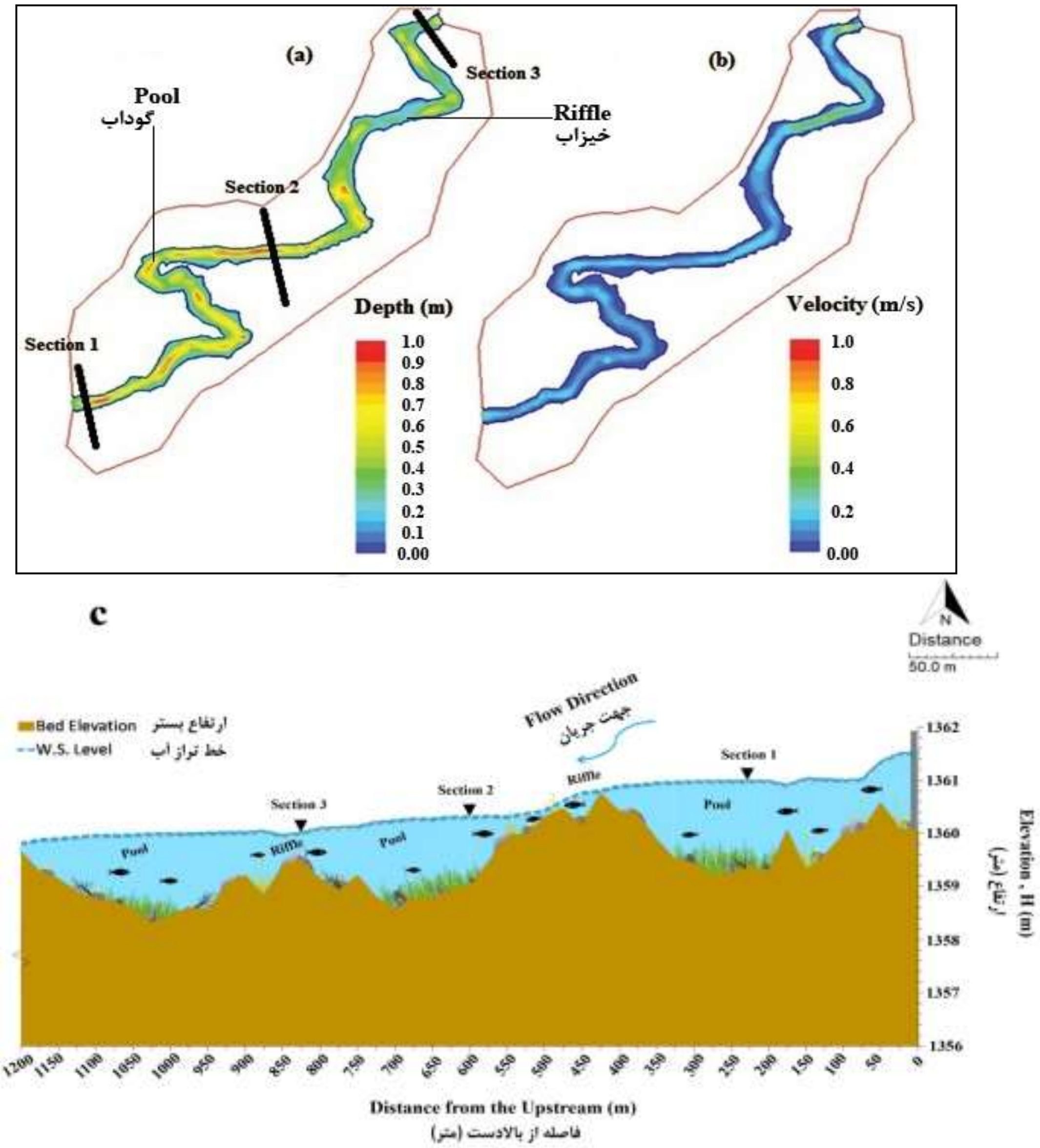
بیشتر می‌باشد، بنابراین در مورد میزان برداشت از رودخانه در این فصول، باید مدیریت صورت گیرد.

روش شبیه‌سازی زیستگاه: به منظور بررسی شرایط اکولوژیکی رودخانه دینور، باتوجه به مشاهدات میدانی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز، منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی ۳ پارامتر اصلی عمق، سرعت و شاخص بستر تولید شد (شکل ۳). در پژوهش حاضر، مطابق منحنی‌های مطلوبیت زیستگاهی (شکل ۳) می‌توان نتیجه گرفت که جریاناتی به عنوان جریان زیست‌محیطی در رودخانه دینورآب برای گونه سیاه‌ماهی خالدار در مراحل مختلف زندگی، مناسب است که بتواند اعماقی بین ۳۴۰ تا ۶۵ سانتی‌متر ایجاد کند و همچنین سرعت جریان حدود ۰/۱۶ تا ۰/۶ متر بر ثانیه باشد. بر اساس تحقیقات غنوی و همکاران (۸)، قلی زاده و همکاران (۹) و پوریا و همکاران (۲۸)، گونه‌های ماهی، معمولا زیستگاه‌هایی را که بیشتر با آنها سازگار هستند، انتخاب و اشغال می‌کنند (حضور دارند)، بنابراین رابطه بین گونه سیاه‌ماهی خالدار و متغیرهای هیدرولیکی سرعت جریان، عمق آب، دبی جریان و بستر، معمولا بالا است.

به عنوان نمونه توزیع‌های عمق و سرعت شبیه‌سازی شده با مدل River2D، در برخی مقاطع انتخابی رودخانه دینور در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به شکل ۴، توزیع عمق آب در محدوده ۰/۳ تا ۰/۸ متر با مقدار ۵۸ درصد و توزیع عمق آب بیشتر از ۰/۸ متر با مقدار ۱۵ درصد یافت شد و این در حالی است که توزیع عمق کمتر از ۰/۸ متر در بخش‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود. همچنین از شکل ۴، دریافت می‌شود توزیع سرعت جریان، مقادیر مختلفی از ۰/۲ تا ۰/۵ متر بر ثانیه با به میزان ۶۱ درصد نشان می‌دهد و این در صورتی است که توزیع سرعت جریان بیشتر از ۰/۵ متر بر ثانیه، به میزان ۱۲ درصد است.



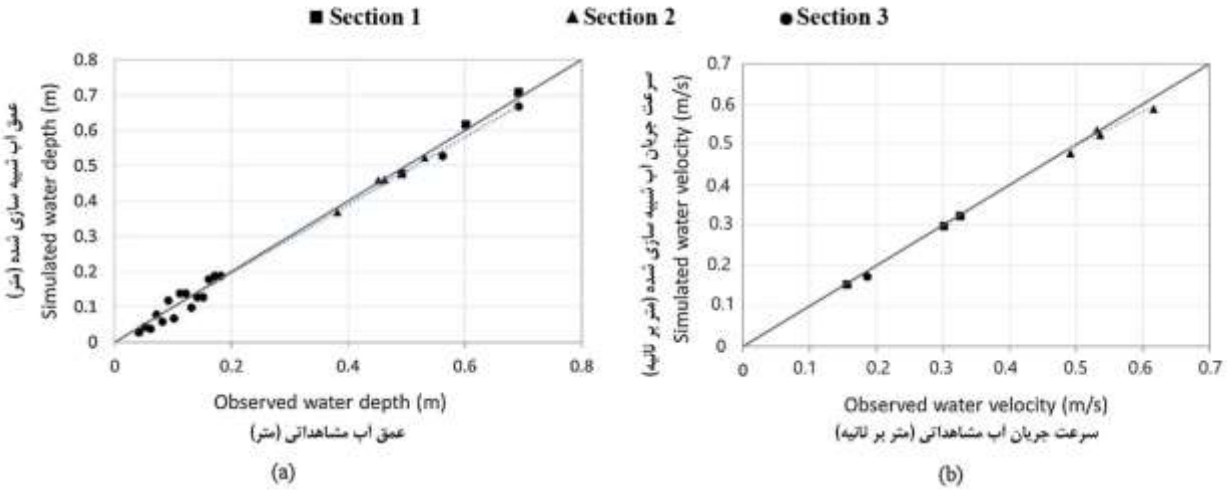
شکل ۳- منحنی‌های شاخص مطلوبیت پارامترهای عمق (a)، سرعت (b) و بستر (c) گونه سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور
Figure 3- Habitat Suitability Curves parameters depht(a), velocity (b) and substrtes (c) of *Capoeta trutta* in Dinavar river



شکل ۴- نمایش توزیع عمق آب (a) و سرعت جریان (b) در مقطع انتخابی رودخانه دینور با مدل River2D و نمایی از واحدهای هیدرومورفولوژیکی گوداب و خیزاب (C)

Figure 4- Shows distribution water depth (a), Velocity flow (b) in the selected section of Dinavar river with River2D model and a view of hydromorphological units pool and riffle (c)

شکل ۵، همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عمق آب (a) و سرعت جریان (b) رودخانه دینور را نشان می‌دهد و با توجه به شکل ۵، می‌توان بیان کرد مدل دوبعدی هیدرودینامیکی River2D، قادر است مشخصات هیدرولیکی رودخانه مورد مطالعه را به خوبی شبیه‌سازی نماید. واسنجی یک مدل برای به حداقل رساندن خطا و قابلیت اطمینان بودن نتایج مدل، ضروری است. به منظور انجام واسنجی، پارامترهای مورد استفاده در مدل، جهت واسنجی انتخاب می‌شوند. معمولاً پارامترهایی که در مدل از حساسیت بالاتری برخوردار هستند، جهت واسنجی مدل انتخاب می‌شوند. در این مطالعه، جهت مقایسه نتایج مدل اکوهیدرودینامیکی River2D و داده‌های مشاهداتی، پارامترهای سرعت جریان و عمق آب برای بررسی عملکرد واسنجی مدل River2D مدنظر قرار گرفتند و به همین منظور از ۳ معیار ضریب تعیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر مربعات میانگین خطا (RMSE) برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از واسنجی مدل، استفاده شد.



شکل ۵- همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای عمق آب (a) و سرعت آب (b)

Figure 5- Correlation between observed and simulated data for water depth (a) and water velocity (b)

جدول ۳- نتایج واسنجی شبیه‌سازی هیدرولیکی مدل River2D

Table 3- Hydraulic simulation calibration River2D model results

	R^2	MAE	RMSE
Water depth (m) عمق آب (متر)	0.976	0.017	0.019
Velocity (m/s) سرعت جریان (متر بر ثانیه)	0.947	0.05	0.072

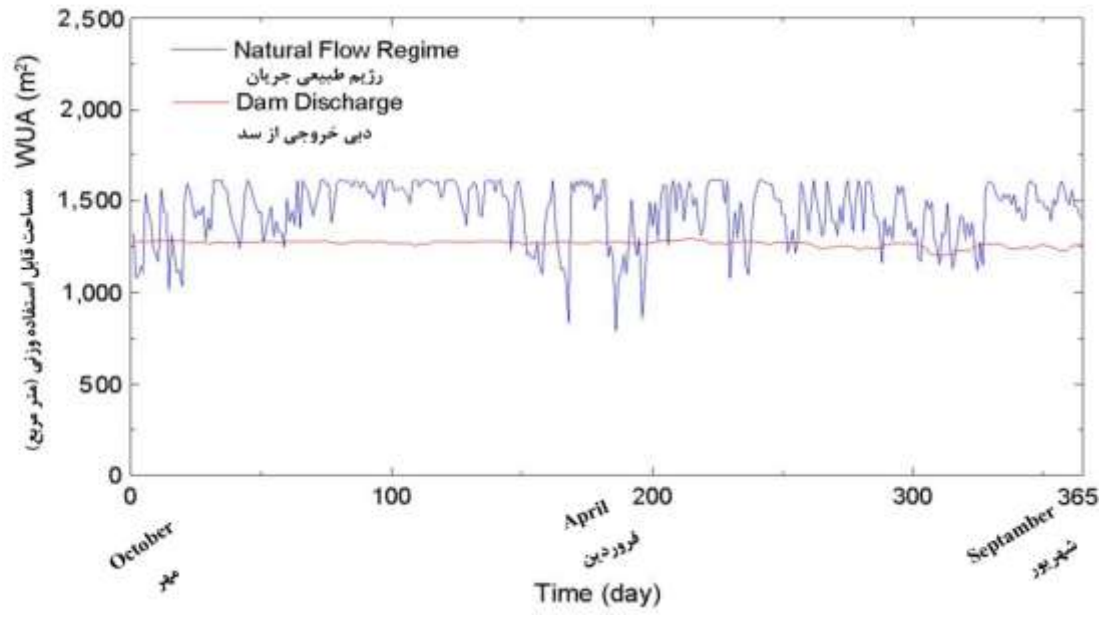
مقادیر آماری و شاخص‌های مربوط به ارزیابی کمی نتایج واسنجی مدل River2D برای پارامترهای سرعت جریان و عمق آب، در جدول ۳ آمده است. به‌طور خاص، ضریب تعیین (R^2) عمق آب و سرعت آب به ترتیب برابر ۰/۹۷۶ و ۰/۹۴۷، میانگین خطای مطلق (MAE) برای همان پارامترها ۰/۰۱۷ و ۰/۰۵ است، در حالی‌که مقادیر جذر مربعات میانگین خطا (RMSE) برای عمق آب و سرعت جریان به ترتیب ۰/۰۱۹ و ۰/۰۷۲ است. با توجه به نتایج به دست آمده برای معیارهای سنجش واسنجی در جدول ۳، ملاحظه می‌گردد مدل River2D به خوبی توانسته است شاخص‌های اکوهیدرولیکی سرعت جریان و عمق آب را در مقاطع انتخابی رودخانه دینور، شبیه‌سازی کند که این نتیجه‌گیری با نتایج تحقیقات برخی از پژوهشگران مطابقت دارد (۷، ۱۲ و ۲۴).

شکل ۶، تغییر مساحت قابل استفاده وزنی در طی زمان برای گونه سیاه‌ماهی خالدار را نشان می‌دهد. در این شکل ملاحظه می‌شود که مساحت قابل استفاده وزنی دبی جریان رهاسازی از سد جامیشان کوچکتر از مساحت قابل استفاده وزنی رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور است. این مسئله بیانگر این مطلب می‌باشد که جریان رهاسازی از سد، به طور قابل توجهی بر مطلوبیت زیستگاه گوه هدف تأثیر می‌گذارد که کوریکی و همکاران (۱۸)، لی و همکاران (۲۰) و ون و همکاران (۳۶) نتایج مشابهی پیرامون این مورد را در پژوهش خود گزارش کرده‌اند. از سوی دیگر با توجه به شکل ۶، مشاهده می‌شود که رژیم طبیعی جریان، مساحت قابل استفاده وزنی برای گونه سیاه‌ماهی خالدار را حدود ۲۵ درصد افزایش می‌دهد. همچنین نتایج بررسی شکل ۶، نشان می‌دهد که مطلوبیت فیزیکی زیستگاه سیاه‌ماهی خالدار، می‌تواند تأثیر بیشتری را در برنامه‌ریزی و مدیریت تغییر دبی جریان رهاسازی از سد جامیشان، برای حفاظت از زیستگاه مورفولوژی رودخانه دینور و بهبود شرایط مناسب زیستگاه آبی آن منطقه، داشته باشد.

شکل ۷، مساحت قابل استفاده وزنی شبیه‌سازی شده در مقابل ۱۰ تا ۲۰۰ درصد رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور، در مراحل مختلف زندگی گونه ماهی هدف و ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۸، ۷۵ درصد حداکثر میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای دوره نابالغ گونه سیاه‌ماهی خالدار، در ۸۵ درصد میانگین جریان سالانه در ماه فروردین است. همچنین ۷۵ درصد حداکثر میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای دوره بالغ گونه سیاه‌ماهی خالدار، در ۱۲۳ درصد میانگین جریان سالانه در ماه فروردین است. ماه فروردین و اردیبهشت مربوط به دوره پرآبی رودخانه دینور است. اما میزان بالای مساحت قابل استفاده وزنی، تنها

تعیین کننده میزان بیشتر حضور گونه ماهی هدف، در رودخانه دینور نیست، زیرا حضور ماهیان در زیستگاه رودخانه، به عوامل دیگر مانند در دسترس بودن غذا نیز بستگی دارد (۸، ۹، ۲۰ و ۲۸). بر اساس موارد ذکر شده می توان بیان کرد مساحت قابل استفاده وزنی برای گونه هدف (سیاه‌ماهی خالدار)، با افزایش دبی جریان در دبی کم (دبی پایه)، افزایش می‌یابد و در یک دبی خاص به حداکثر رسیده (محدوده حداکثر میانگین جریان ماهانه) و سپس با افزایش بیشتر دبی، شروع به کاهش می کند. آنچه از شکل ۷، دریافت می‌گردد این است که در محدوده حداکثر میانگین جریان ماهانه که برابر ۶- ۴ متر مکعب بر ثانیه و حدود ۱۵۰–۱۲۰ درصد میانگین جریان سالانه است، حداکثر مساحت قابل استفاده وزنی و میزان زیستگاه در دسترس برای گونه سیاه‌ماهی خالدار، برابر با ۱۴۰ درصد (۲۰۰۰ متر مربع) است. یادآور می‌شود که مساحت قابل استفاده وزنی، شامل مقاطع (بازه‌هایی) با مقادیر مختلف شاخص مطلوبیت زیستگاه است که نشان دهنده کیفیت زیستگاه است (همان‌گونه که در رابطه (۲) تعریف شده است). تفاوت بین حداقل و حداکثر مقادیر مساحت قابل استفاده وزنی با توجه به دبی جریان در ماه‌های مختلف سال و مراحل زندگی سیاه‌ماهی خالدار، نشان می‌دهد که نیاز به تجزیه و تحلیل‌های دقیق مبتنی بر مطلوبیت زیستگاه در تمامی مراحل زندگی این گونه داریم. مطابق با شکل ۸، با تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه کاهش جریان به میزان کم‌تر از حداقل میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۰/۱۶ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد نیز بیانگر پایین بودن میزان مساحت قابل استفاده برای دو دوره نابالغ و بالغ گونه هدف است.

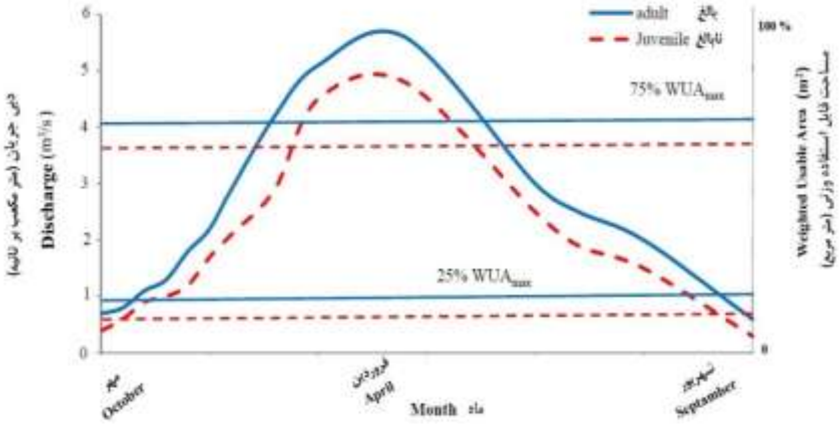
با توجه به موارد مطرح شده می‌توان این گونه بیان کرد که رهاسازی آب از مخزن سد جامیشان، به طور قابل توجهی بر مطلوبیت زیستگاه گونه ماهی هدف، تأثیر می‌گذارد. با توجه به موارد مطرح شده، به طور کلی، رژیم طبیعی جریان، مساحت قابل استفاده وزنی را برای گونه هدف، حدود ۲۵ درصد افزایش می‌دهد. همچنین نتایج بررسی نشان می‌دهد در محدوده مورد مطالعه، مطلوبیت زیستگاه گونه هدف، بیشترین تأثیر را در اثر رهاسازی جریان از سد جامیشان دارد. این یافته‌ها با افزایش زیستگاه مطلوب ماهیان نشان داده شده در جدول ۴، مورد تأیید قرار می‌گیرد و بر این اساس حداکثر کاهش مطلوبیت زیستگاه مربوط به زمانی است که رژیم رودخانه، زیر آستانه جریان‌های اکولوژیکی است. با این حال، با توجه به منحنی‌های مطلوبیت زیستگاه (شکل ۳) و مساحت قابل استفاده وزنی (شکل ۷)، حداکثر زیستگاه بهینه و مطلوب در دوره‌های بالغ و نابالغ گونه سیاه‌ماهی خالدار، در صورت دبی بیش از حد، کاهش می‌یابد و می‌توان بیان داشت مطابق جدول ۴ و شکل ۷، توزیع جریان اکولوژیکی مطلوب، در طول سال برابر نیست.



شکل ۶- تغییرات سری زمانی مساحت قابل استفاده وزنی (WUA) گونه سیاه‌ماهی خالدار در شرایط رژیم طبیعی جریان رودخانه دینور و رژیم جریان تغییر یافته (دبی خروجی از سد جامیشان)

Figure 6- Change of Weighted Usable Area (WUA) with time series of *Capoeta trutta* in natural flow regime Dinavar river and changed flow regime (discharge from Jamishan dam)

مطابق با شکل ۷، با تغییر رژیم طبیعی جریان رودخانه و افزایش دبی به میزان بیشتر از حداکثر میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۴/۷۶ متر مکعب بر ثانیه است و در شرایط سیلابی میزان مساحت قابل استفاده وزنی برای دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی خالدار، کاهش می‌یابد. همچنین با بررسی در جدول ۴، می‌توان به این مطلب اشاره کرد که کاهش جریان به میزان کم‌تر از حداقل میانگین دبی جریان رودخانه که برابر با ۰/۲ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد نیز بیان‌گر پایین بودن میزان زیستگاه موجود، زیستگاه مطلوب و زیستگاه بهینه برای دوره بالغ گونه هدف است، ولی برای دوره نابالغ با میزان دبی جریان کم نیز، شرایط تقریبا مناسبی از نظر میزان مطلوبیت، حاکم بوده و میزان زیستگاه موجود، زیستگاه مطلوب و زیستگاه بهینه نسبت به دوره بالغ، بیشتر است.



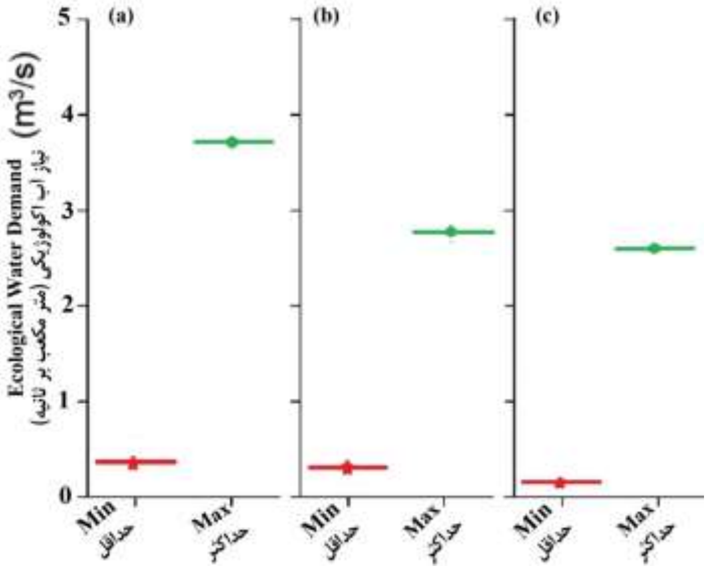
شکل ۷- منحنی دبی- مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف زندگی سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور

Figure 7- Curve of Discharge-Weighted Usable Area in different periods of life *Capoeta trutta* in Dinavar river

جدول ۴- تجزیه و تحلیل مطلوبیت زیستگاه گونه هدف تحت تأثیر رژیم های چندگانه جریان به عنوان درصدی از حداکثر مساحت مرطوب

Table 4- Analysis of habitat suitability for all target specie under multiple flow regimes as a percentage of maximum wetted area

دبی Discharge (m³/s)	مساحت مرطوب Wetted area (m²)	سیاه‌ماهی خالدار (نابالغ) *Capoeta trutta* (juvenile)	سیاه‌ماهی خالدار (بالغ) *Capoeta trutta* (adult)
		زیستگاه موجود (درصد مساحت خیس شده) Available habitat (% maximum wetted area)	
1	36/2	38/2	17/3
2	51/7	51/6	30/4
3	83/2	72/6	43/2
4	168/5	63/7	52/5
5	237/6	41/6	72/3
		زیستگاه مطلوب (درصد مساحت خیس شده) Suitable habitat (% maximum wetted area)	
1	36/2	28/4	15/3
2	51/7	43/2	36/4
3	83/2	57/6	42/5
4	168/5	51/2	56/2
5	237/6	37/4	28/7
		زیستگاه بهینه و ایده‌آل (درصد مساحت خیس شده) Optimal habitat (% maximum wetted area)	
1	36/2	13/2	14/4
2	51/7	22/5	25/8
3	83/2	43/6	47/8
4	168/5	50/8	52/7
5	237/6	31/6	22/4



شکل ۸– توزیع مقادیر جریان اکولوژیکی مطلوب برای بازه‌های بالادست (a)، میانی (b) و پایین دست (c) رودخانه دینور

Figure 8- Distribution of suitability ecological flow amounts for upstream (a), middle (b) and downstream (c) sections of Dinavar river

با بررسی سرعت جریان و عمق آب مطلوب اکولوژیکی (شکل ۳) برای سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور و نیز تحلیل منحنی‌های دبی– مساحت قابل استفاده وزنی در دوره‌های مختلف گونه شاخص و در زیستگاه‌های هیدروموروفولوژیکی، رژیم جریان اکولوژیکی ماهانه برای بازه‌های بالادست، میانی و پایین‌دست با استفاده از مدل اکوهیدرولیکی River2D محاسبه شد (جدول ۵ و شکل ۸). همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، به طور کلی محدوده جریان اکولوژیکی در بازه بالادست رودخانه دینور بین ۰/۱۷ تا ۳/۷۱ متر مکعب بر ثانیه، بازه میانی رودخانه بین ۰/۱۵ تا ۲/۶۴ متر مکعب بر ثانیه و بازه پایین‌دست بین ۰/۱۲ تا ۲/۴۳ متر مکعب بر ثانیه برآورد گردیده است. بر این اساس از شکل ۸ دریافت می‌شود که بیشترین حداکثر جریان اکولوژیکی مورد نیاز، در بازه‌های بالادست و میانی رودخانه می باشد و این در حالی است که کمترین حداقل جریان اکولوژیکی، در بازه پایین‌دست رودخانه دینور، مورد نیاز است. همچنین می‌توان بیان کرد کمترین حداکثر و حداقل جریان اکولوژیکی در بازه پایین‌دست رودخانه، تعیین شده است. آنچه مسلم است این که در فصل بهار و تابستان با افزایش رقابت برای استفاده از آب برای مصارف مختلف کشاورزی، شرب و صنعت روبرو هستیم.

در جدول ۵، رژیم طبیعی جریان رودخانه (میانگین جریان ماهانه) دینور در مقابل نیاز آبی جریان حداقل و مطلوب اکولوژیکی پیشنهادی به‌دست آمده از روش‌های تنانت، توزیع سالانه، تگزاس و مدل شبیه‌سازی زیستگاه River2D، نشان داده شده است. برای تعیین رژیم جریان اکولوژیکی با استفاده از مدل River2D، میزان مساحت قابل استفاده وزنی بر اساس درصد کاهش زیستگاه، دبی معادل مساحت قابل استفاده وزنی کاهش یافته از منحنی دبی– مساحت قابل استفاده وزنی، قرائت گردید. با توجه به توضیحات ارائه شده درباره میزان زیستگاه در دسترس برای گونه هدف در رودخانه دینور، همچنین ملاحظات اکولوژیکی و میزان درصد کاهش زیستگاه تا مقداری که حداقل زیستگاه برای گونهٔ شاخص حفظ شود، معادل ۲۵ درصد از زیستگاه‌های مطلوب در دسترس و به تبع آن ۸۰–۶۰ درصد میزان مطلوبیت زیستگاهی به عنوان سطح حفاظتی متوسط و قابل قبول (برای زیستگاه‌هایی که گونه‌های با ارزش اکولوژیکی کمتری را داشته باشند) و ۱۰۰–۹۰ درصد میزان مطلوبیت زیستگاه در دسترس به عنوان حداکثر حفاظت (برای زیستگاه‌هایی که گونه‌های با ارزش اکولوژیکی بالایی دارا باشند)، در تحلیل نیاز آبی اکولوژیکی مطلوب، در نظر گرفته می‌شود.

بر اساس محاسبات پژوهش حاضر در جدول ۵، توزیع حداقل میزان جریان اکولوژیکی در طول سال با استفاده از روش شبیه‌سازی زیستگاه (۲۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب)، بین حداقل ۰/۱۲ متر مکعب بر ثانیه در ماه شهریور (در محدوده جریان پایه رودخانه) و حداکثر مقدار ۲/۸۵ مترمکعب بر ثانیه در ماه فروردین است. همچنین مطابق با جدول ۵، برای حفظ حیات اکوسیستم و حفاظت اکولوژیکی گونهٔ سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور معادل سطح حفاظت قابل قبول (۷۵ درصد کل زیستگاه‌های مطلوب)، بایستی میانگین رژیم جریان اکولوژیکی معادل ۱/۲۶ مترمکعب بر ثانیه (معادل ۸۰ درصد جریان طبیعی رودخانه) برای حفاظت ازسامانه حیاتی رودخانهٔ دینور در نظر گرفته شود.

جدول ۵- نتایج برآورد رژیم جریان اکولوژیکی ماهانه رودخانه دینور با روش‌های مختلف (متر مکعب بر ثانیه)

Table 5-The estimation results of monthly ecological flow of Dinavar river with different methods (m^3/s)

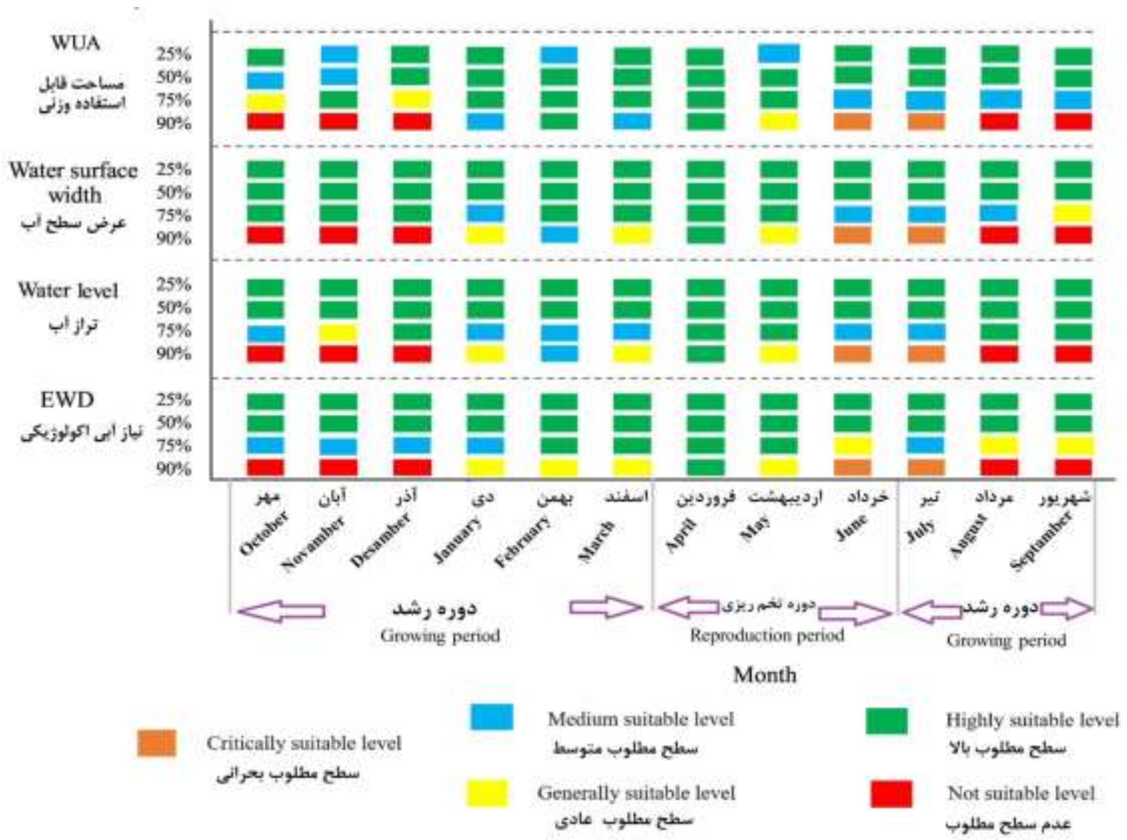
Month ماه	MMF	Q Tennant	Q Texas	Q ADM	Q 25% WUA	Q 75% WUA	Min EF	Suitable EF
April فروردین	4.76	0.46	2.85	0.57	0.52	3.71	2.85	3.71
May اردیبهشت	3.29	0.46	1.97	0.39	0.39	2.43	1.97	2.43
June خرداد	0.81	0.46	0.48	0.091	0.1	0.54	0.48	0.54
July تیر	0.29	0.46	0.17	0.032	0.071	0.14	0.17	0.46
August مرداد	0.2	0.46	0.12	0.023	0.034	0.15	0.15	0.46
September شهریور	0.16	0.46	0.09	0.01	0.038	0.12	0.12	0.46
October مهر	0.21	0.15	0.08	0.025	0.05	0.17	0.15	0.17
November آبان	1.31	0.15	0.52	0.15	0.28	1.12	0.52	1.12
December آذر	1.89	0.15	0.75	0.22	0.52	1.41	0.75	1.41
January دی	1.68	0.15	0.67	0.2	0.45	1.29	0.67	1.29
February بهمن	2.22	0.15	0.88	0.26	0.48	1.5	0.88	1.5
March اسفند	3.63	0.15	2.17	0.43	0.87	2.64	2.17	2.64
Average میانگین	1.56	0.3	0.89	0.2	0.29	1.26	0.9	1.38

حداکثر مقدار مورد نیاز جریان اکولوژیکی مطلوب در فروردین برابر با ۳/۷۱ مترمکعب بر ثانیه و کمترین مقدار در مهر برابر با ۰/۱۷ متر مکعب بر ثانیه است. لذا با افزایش فراوانی جریان، حداقل میزان نیاز اکولوژیکی در سال‌های خشک تأمین می‌شود و می‌توان نیاز آبی اکولوژیکی مناسب و مطلوب را در سال‌های مرطوب، تأمین کرد. با این حال، توزیع نیاز آب اکولوژیکی مناسب در طول سال، نابرابر است. نیاز آب اکولوژیکی مطلوب در فصل جاری شدن سیل (اسفند- اردیبهشت) از فصل غیر سیلابی بیشتر است. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مقادیر رژیم جریان اکولوژیکی پیشنهادی روش شبیه‌سازی زیستگاه در ماه‌های کم جریان (خرداد تا مهر) نسبت به ماه‌های جریان پرآبی (بهمن تا اردیبهشت) به نسبت بیشتری از میانگین جریان ماهانه رودخانه دینور را نیاز دارند. بر اساس مطالعه حاضر نتایج بدست آمده با ترکیب روش‌های تنانت، توزیع سالانه، تگزاس و مدل شبیه‌سازی زیستگاه، منطقی‌تر از نتایج بدست آمده از یک روش واحد به‌دلیل توجه همزمان به خصوصیات بیولوژیکی و خصوصیات جریان است که این نتیجه‌گیری در مطالعات دیگری (۳۲، ۳۶، ۳۸ و ۴۰) مورد توجه قرار گرفته است.

در مطالعه حاضر، چرخه سالانه زندگی سیاه‌ماهی خالدار، به دو بخش «فعالیت‌های زیستی وابسته به تخم‌ریزی و تکثیر» و «فعالیت‌های زیستی دوران رشد» تقسیم‌بندی گردیده است. فعالیت‌های زیستی وابسته به تکثیر، شامل مراحل تخم‌ریزی، نهفتگی و از تخم درآمدن بچه ماهی‌ها می‌باشد. در این مرحله جریان‌های با شدت کم، تنش برشی مورد نیاز برای جلوگیری از دپوشدن رسوبات ریزدانه را فراهم کرده و همچنین جریان‌های با شدت متوسط، با ایجاد زیستگاه‌های بیشتر در بستر، محدوده جریان مناسب برای ادامه فعالیت‌های زیستی آبزی و یا محدوده دبی اکولوژیکی را در نظر می‌گیرد. فعالیت‌های زیستی دوران رشد، شامل دوران بلوغ و مهاجرت آبزی می‌باشد. در این مرحله، جریان‌های با شدت زیاد نیز با ایجاد جابه جایی در بستر، در محدوده دبی اکولوژیکی در نظر گرفته می‌شود. شکل ۹، سطوح مناسب رژیم جریان اکولوژیکی و مقادیر مهم با رژیم‌های مختلف ماهانه جریان رودخانه دینور را نشان می‌دهد. فراوانی‌های جریان ۹۰ درصد، ۷۵ درصد، ۵۰ درصد و ۲۵ درصد به ترتیب به عنوان سطح یک فصل خشک، فصل نیمه‌خشک، فصل طبیعی و فصل مرطوب، انتخاب شدند. با توجه به شکل ۱۰، سطح مطلوب نیاز آب اکولوژیکی، مساحت قابل استفاده وزنی، تراز آب و عرض سطح آب، در شرایطی می‌تواند در وضعیت «سطح مطلوب بالا» باشد که فراوانی جریان، کمتر از ۷۵ درصد باشد. همچنین هنگامی که فراوانی جریان از ۹۰ به ۷۵ درصد کاهش می‌یابد، مقدار نیاز آب اکولوژیکی، در فصول مرطوب حداقل ۵۵ درصد افزایش یافته و در فصل خشک، ۲ برابر می‌شود. از طرفی دیگر، نیاز آب اکولوژیکی، مساحت قابل استفاده وزنی، تراز آب و عرض سطح آب در ماه فرورین در دوره تخم‌ریزی ماهی، در وضعیت «سطح مطلوب بالا» است، و در ماه‌های خرداد و تیر (دوره رشد) در وضعیت «سطح مطلوب بحرانی» می‌باشد و این در حالی است که نیاز آب اکولوژیکی، تراز آب، مساحت قابل استفاده وزنی و عرض سطح آب از مرداد تا آذرماه در وضعیت «عدم سطح مطلوب» است. با توجه به شکل ۹، این نتیجه‌گیری به‌عمل می‌آید که مدل اکوهیدرودینامیکی- اکوهیدرولیکی River2D، قادر به ارائه رژیم اکولوژیکی رودخانهٔ دینور

از دو نقطه‌نظر علمی و عملی است. آنچه از شکل ۹ دریافت می‌گردد، تعیین مؤثرترین فرآیند افزایش جریان برای بهبود شرایط تخم‌ریزی سیاه‌ماهی خالدار از طریق تخصیص بهینه رژیم جریان اکولوژیکی با در نظر گرفتن همبستگی لازم بین روابط مشخصه‌های هیدرومورفواکولوژیکی، اکوهیدرولیکی، فرآیندهای هیدرولوژیکی، مورفولوژیکی و درک پویایی زیستگاه در رودخانه دینور و برقراری رابطه مستقیم بین مساحت مطلوب زیستگاهی و پاسخ بیولوژیکی گونه سیاه‌ماهی خالدار طی فعالیت‌های زیستی در دوران رشد و تخم‌ریزی و تکثیر، در زمینه مدیریت و تنظیم جریان درون رودخانه‌ای، نقش مهم و بارزی ایفا می‌کند. همچنین هولمز و همکاران (۱۲) به این مطلب اشاره داشته اند که شهریور و مهر ماه، چالش برانگیزترین ماهها برای جریان‌های طبیعی رودخانه از منظر برقراری جریان در مسیر مهاجرت ماهیان در دوره‌های مختلف زندگی آبزیان است که این مطلب در مطالعه حاضر نیز مورد تائید قرار گرفته و بر این اساس، در نظر گرفتن دقیق پویایی تنوع و تغییرپذیری جریان فصلی و بین سالی، از اجزای حیاتی یک استراتژی مدیریت مؤثر برای نگهداری و حفاظت برقراری جریان زیستگاهی بین بالادست و پایین‌دست رودخانه است.

از دیدگاه دیگر، مقادیر بالای جریان آب رهاسازی شده از سد جامیشان، نقش مهمی در زیستگاه‌های پایین‌دست سد، دارد. با توجه به موارد بیان شده، در ماه‌های تیر تا آذر نیاز به رهاسازی دبی بیشتری از مخزن سد جامیشان در برآورده کردن رژیم جریان اکولوژیکی بوده و تخلیه جریان فعلی از سد در فصول کم آبی و خشک، ۶۰ درصد پتانسیل زیستگاه مطلوب را تأمین می‌کند و درنظر گرفتن جریان مطلوب اکولوژیکی، اکوسیستم پایین‌دست رودخانه را از تخریب محافظت می‌کند و زیستگاه بهتری را برای گونه‌های آبزی فراهم می‌کند. آنچه که بایستی مدنظر قرار بگیرد این است که مقدار جریان مشخصی از آب موردنیاز است تا آلودگی‌های موجود را از بین ببرد و باعث تغییراتی در مورفولوژی و کیفیت آب در قسمت پایین‌دست سد شود. به طور خاص، چنین تغییر شکل مورفولوژی، اکوسیستم‌های آبی را تغییر می‌دهد و در نتیجه باعث افزایش مطلوبیت زیستگاه و زیستگاه‌های تخم‌ریزی گونه‌های آبزی می‌شود.



شکل ۹- نمایش سطوح مختلف رژیم جریان اکولوژیکی و مقادیر مهم شاخص‌های هیدرولیکی در بخش‌های مختلف و دوره‌های ماهانه رژیم جریان رودخانه دینور در دوره‌های زیستی گونه هدف

Figure 9- Demonstration of different levels of ecological flow regime in and hydraulic indices important amounts in different sections and the monthly periods of the Dinavar river flow regime in the biological periods of the target species

لی و همکاران (۲۰)، ما و همکاران (۲۲)، نادری و همکاران (۲۴) و ژائو و همکاران (۳۹) در تحلیل عوامل مختلف بر جریان اکولوژیکی رودخانه‌های مورد مطالعه‌شان گزارش کردند که سرعت جریان و عرض رودخانه، تأثیرات مثبتی بر ماهی‌ها داشته و از طرفی افزایش سرعت جریان می‌تواند مکان‌های تولیدمثل و زیستگاه‌های بیشتری را برای ماهیان فراهم کند، که در نهایت منجر به افزایش تعداد گونه‌های اصلی ماهی در رودخانه می‌شود که این نتیجه را می‌توان به مطالعه حاضر تعمیم داد. در بازه‌های پایین‌دست رودخانه دینور پس از پیوستن شاخه‌های فرعی (ارمنی‌جان، عالی‌سیاه و مریم نگار)، عمق جریان رودخانه از منظر نیاز اکولوژیکی در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت برآورده می‌شود و پاسخگوی نیازهای زیست‌محیطی آبزیان است. در تصمیم‌گیری‌های تخصیص و توسعه منابع آب سد جامیشان، پناهی و همکاران (۲۷) نیاز زیست‌محیطی پایین‌دست سد را در اولویت برنامه‌ریزی برای مدیریت پایدار حوضه سد جامیشان دانسته و مقدار آن را برابر با ۱/۲۶ میلیون مترمکعب در سال، درنظر گرفتند. در تحقیقات متعددی گزارش شده است بسیاری از روش‌های پیشرفته برای تعیین جریان زیست‌محیطی و دارای جزئیات کامل از شرایط اکولوژیکی، بیولوژیکی و مورفولوژیکی نظیر روش هیدرولیکی محیط خیس‌شده و مدل‌های شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، به طور متوسط در حدود ۸۰ الی ۹۵ درصد متوسط جریان سالانه را به رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه اختصاص می دهند (۷، ۱۸، ۲۱، ۳۹ و ۴۰). تجربیاتی که در مطالعه نادری و همکاران (۲۴) در مورد کاربرد مدل دوبعدی اکوهیدرودینامیکی River2D وجود دارد نشان می‌دهد که این مدل، ۸۴ درصد متوسط جریان سالانه را به رژیم جریان اکولوژیکی رودخانه زرین‌گل، تخصیص داده است.

بر اساس آنچه که توسط محققین دیگر گزارش شده است (۳، ۱۵، ۲۶) می‌توان این نتیجه‌گیری را به عمل آورد که روش‌های هیدرولوژیکی محدودیت‌هایی نیز دارند. این روش‌ها، فقط در حوضه‌های آبریز قابل استفاده هستند، به داده‌های هیدرولوژیکی حساس هستند و فرض می‌کنند که همه موجودات آبزی برای زنده ماندن به جریان اکولوژیکی یکسان، نیاز دارند. در بسیاری از مطالعات گزارش شده است بیشتر روش‌های هیدرولوژیکی برای مراحل مطالعات مقدماتی و برنامه‌ریزی توسعه منابع آب استفاده می‌شود (۴، ۶، ۲۳، ۲۶ و ۳۵). در بررسی تحقیقات سووال و همکاران (۳۴) و ژورانگ و همکاران (۳۸) این نتیجه‌گیری به عمل آمده است که روش توزیع سالانه، نمی‌تواند ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه را منعکس کند. با این وجود، روند میانگین دبی ماهانه رودخانه، می‌تواند نمایش بهتری از روند تاریخی جریان رودخانه مانند فراوانی، مدت زمان و تغییرات دبی را نشان دهد. ختار و شکوهی (۱۵) در مطالعه ارزیابی روش تگزاس با استفاده از میانه درازمدت دبی ماهانه برای رژیم اکولوژیکی رودخانه کاظم‌رود گزارش کردند که روش مزبور عملاً در ماه‌های گرم و کم آب تابستان، تخصیصی را برای جریان اکولوژیکی توصیه می‌نماید که ممکن است در برخی سال‌ها و به‌خصوص سال‌های خشک و کم آب، فراهم نباشد. شایان ذکر است هیچ‌کدام از روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در پژوهش حاضر، مطابق با بررسی در منابع تایید شده (۳، ۴، ۱۵، ۲۶، ۲۹ و ۳۰)، نیاز به صحت‌سنجی ندارند. نتایج بررسی برخی مطالعات در زمینه طراحی رژیم جریان مطلوب اکولوژیکی نشان می‌دهد مدل اکوهیدرودینامیکی River2D، قادر به شبیه‌سازی زیستگاه مبتنی بر رویکرد مدل‌سازی اکوهیدرولیکی–هیدرومورفواکولوژیکی در مقیاس جریان‌های کوچک و مرتبط کردن الگوهای رژیم طبیعی جریان رودخانه با فرآیندهای زیست‌محیطی می‌باشد (۷، ۱۲، ۱۳ و ۲۴). فوکودا و همکاران (۷)، هولمز و همکاران (۱۲) و ژو و همکاران (۴۰) در تحقیقاتشان بیان کرده‌اند که مدل‌های هیدرودینامیکی می‌توانند شرایط زیستگاهی جریان رودخانه را با دقت مدل‌سازی نمایند که در مطالعه حاضر نیز کاربرد مدل اکوهیدرودینامیکی مطلوبیت زیستگاه (River2D)، نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند وضعیت موجود زیستگاه رودخانه دینور را به طور دقیق، مورد مطالعه قرار دهد. اگر چه مدل River2D، فاکتورهای اکوهیدرولیکی را که تأثیر قابل توجهی بر جمعیت ماهیان دارند، در نظر می‌گیرد، اما این مدل، فاکتور دما را برای شبیه‌سازی زیستگاه ماهیان، نادیده می‌گیرد (۷، ۱۳ و ۳۳). لی و همکاران (۲۰) نیز در مطالعه تعیین مؤثرترین فرآیند افزایش جریان برای بهبود شرایط تخم‌ریزی ماهیان با بهینه‌سازی رهاسازی آب از مخزن سد، نشان دادند که برای متعادل‌سازی حداکثر نیازهای تولید انرژی و فرآیندهای اکولوژیکی زیستگاه ماهیان در سال‌های نرمال و مرطوب، باید بخشی از سود اقتصادی را در حد امکان کاهش داد تا جریان مورد نیاز تخم‌ریزی ماهیان تأمین شود. همچنین فرهادیان و همکاران (۶) جریان رهاسازی بهینه زیست‌محیطی از مخزن سد گتوند برای ایجاد تعادل مناسب و با رعایت عدالت در میان ذی‌نفعان با استفاده از روش هیدرولوژیکی تنانت، مقدار ۴۵/۴ متر مکعب بر ثانیه را به عنوان حداقل جریان زیست محیطی و جریان ۲۷۲ متر مکعب بر ثانیه را به عنوان بیشترین مقدار مناسب جریان زیست‌محیطی برای حفظ پتانسیل زیستگاه مطلوب رودخانه کارون، قابل قبول دانستند. در پژوهشی دیگر، شکوهی و هانگ (۳۱) در تعیین حداقل نیاز آبی محیط اکولوژیکی رودخانه صفارود در شمال ایران با مقایسه روش هیدرولوژیکی تنانت و روش هیدرولیکی محیط خیس شده، گزارش کردند تأثیر، انعطاف پذیری و اثربخشی روش تنانت به دلیل برآورد جریان زیست‌محیطی تقریبا نامناسب برای حفاظت زیستگاه رودخانه، کافی نیست.

شرایط طبیعت نیز نامطلوبیت‌هایی به طور خاص دارد که در

صورت وجود رژیم کاملا طبیعی رودخانه، در یک سیکل صحیح قرار دارد، اما زمانی که رژیم رودخانه دستکاری می‌شود، بعضا این عدم مطلوبیت‌ها باید کنترل شود. در رابطه با جریان‌های شدید بر حیات زیستی رودخانه، نقش جریان زیست‌محیطی بسته به نوع بستر و هندسه رودخانه به منظور شستشوی زیستگاه تخم‌ریزی ماهیان و حفظ انتقال رسوب از بستر رودخانه، عاملی در جهت عدم کاهش ظرفیت رودخانه می‌باشد (۱۷، ۲۰، ۲۴ و ۳۶). به دلیل مدیریت اکوسیستم‌های آبی در حوزه‌های آبخیز، بایستی تفکر حکمرانی آبخیز کاملا همسو با نگاه اکوسیستم محور و راه حل‌های مبتنی بر طبیعت باشد (۱۹، ۲۴ و ۴۰) و از این منظر عدم توجه به حفظ طبیعت جریان رودخانه وحقابه مطالبه شده محیط زیست و رهاسازی جریان از سد، باعث عدم کارکرد حقیقی مخزن سد در کنترل سیلاب می‌شود. مطالعات متعددی نشان می‌دهد رهاسازی جریان از سد جهت تأمین جریان زیست‌محیطی، عملکرد مخزن را در کنترل سیل افزایش می‌دهد و این تأمین جریان، لزوماً عملکرد مخزن در تأمین نیازهای دیگر را کاهش نمی‌دهد (۲۱، ۲۴، ۲۶ و ۳۷). همچنین کوریکی و همکاران (۱۸) و سووال و همکاران (۳۴) در مطالعه‌شان این نتیجه‌گیری را به عمل آورند که برای تأمین جریان اکولوژیکی در پایین‌دست سدها، پیوند روش‌های هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی هیدرولیکی - هیدرودینامیکی زیستگاه، می‌تواند مبنای قابل اطمینان‌تری برای بهره‌برداری و عملکرد بهینه مخزن سد برای نیاز موجودات آبزی و حفاظت از اکوسیستم رودخانه را فراهم کند. در بررسی نتایج این مطالعه و مشاهدات میدانی صورت گرفته این نتیجه‌گیری به عمل می‌آید در صورت عدم تخصیص رهاسازی جریان بهینه از سد جامیشان و نیاز آبی اکولوژیکی مورد نیاز اکوسیستم پایین‌دست، عرض رودخانه دینور در پایین‌دست سد، در اثر تجاوز به بستر رودخانه و رسوب‌گذاری حاصل از کاهش سرعت آب توسط سد، کاهش پیدا می‌کند. کاهش عرض رودخانه، می‌تواند کاهش ظرفیت انتقال سیلاب را در حوضه آبخیز دینور، نیز در پی داشته باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نیاز آبی مناسب و مطلوب اکولوژیکی با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری مجموعه داده‌های هیدرولوژیکی جریان رودخانه دینور همراه با مدل اکوهیدرودینامیکی شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه، برای تعادل بخشیدن به تخصیص رژیم جریان طبیعی و نیازهای دیگر مصارف، مورد بررسی قرار گرفت. مطابق با نتایج برآورد نیاز آبی اکولوژیکی در این مطالعه، حداکثر و حداقل جریان مطلوب اکولوژیکی برآورد شده از ترکیب روش‌های مختلف (هیدرولوژیکی و مدل شبیه‌سازی مطلوبیت زیستگاه) در ماه‌های فروردین و مهر به ترتیب معادل ۳/۷۱ و ۰/۱۷ متر مکعب بر ثانیه، با میانگین جریان سالانه ۱/۳۸ متر مکعب برثانیه (معادل ۸۸/۹ درصد جریان طبیعی رودخانه) است که بایستی در داخل رودخانهٔ دینور برای تأمین پتانسیل اکولوژیکی و حفاظت اکولوژیکی گونهٔ هدف (معادل سطح حفاظتی متوسط و قابل قبول) جاری باشد. همچنین مطابق با نتایج به‌دست آمده، مدل اکوهیدرولیکی River2D، قادر به شبیه‌سازی نوسانات طبیعی جریان رودخانه دینور می‌باشد، در حالی که رژیم اکولوژیکی به‌دست آمده از این روش تقریباً برای همه ماه‌ها کمتر از میانگین جریان ماهانه می‌باشد (برتری روش شبیه‌سازی زیستگاه نسبت به روش هیدرولوژیکی تنانت، توزیع سالانه و تگزاس) و این در صورتی است که روش تنانت برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور، مقدار نیاز آبی اکولوژیکی را بیشتر از میانگین جریان ماهانه درنظر گرفته است. همچنین با توجه به میزان مساحت قابل استفاده وزنی، اجرای کلی محدوده مطلوب جریان اکولوژیکی در فصول خشک و کم آبی، زیستگاه‌های مناسبی را برای دوره‌های مختلف زندگی گونه سیاه‌ماهی خالدار در رودخانه دینور فراهم کرده و پیش‌بینی می‌شود تأثیرات مثبتی بر احیا و عملکرد اکوسیستم رودخانه داشته باشد. در این مطالعه میزان تطابق نتایج شبیه‌سازی مدل اکوهیدرودینامیکی River2D با داده‌های عمق آب و سرعت جریان مشاهداتی بر اساس شاخص‌های آماری ضریب تعیین (R^2)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر مربعات میانگین خطا (RMSE)، نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی بر اساس حدود شاخص‌ها، عملکرد مطلوب مدل River2D را نشان داد. در نهایت دستاورد پژوهش حاضر این است که محدوده دبی مناسب و مطلوب اکولوژیکی، می‌تواند نیازهای آبی اکولوژیکی موجودات آبزی وابسته به تغییرپذیری رژیم جریان را بهتر تعیین نماید. در این راستا، استفاده از مدل اکوهیدرولیکی River2D برای مدل‌سازی مطلوبیت زیستگاه گونهٔ هدف، می‌تواند به بهبود عملکرد مدل‌سازی در اکوهیدرولیک و پیش‌بینی دینامیک زیستگاه برای محافظت از زیستگاه مناسب سیاه‌ماهی خالدار در اکوسیستم رودخانهٔ دینور، کمک کند. به طور کلی می‌توان گفت استفاده از مدل River2D به دلیل کاهش هزینه و زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزو راهکارهای ایده‌آل به‌منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب در مدیریت حوضه آبریز و حفظ پتانسیل زیستگاه رودخانه، قلمداد شود. همچنین در مطالعات آینده، پیشنهاد می‌شود بررسی اثرات تنظیم جریان مخزن سد در بالادست بر رژیم هیدرولوژیکی و زیستگاه‌های ماهی به منظور برآورد سطوح مختلف رژیم جریان اکولوژیکی با توسعه مدل‌های پیشرفته اکوهیدرولیکی، اکوهیدرودینامیکی و میکروزیستگاهی، مدنظر قرار گیرند.

سپاسگزاری

از راهنمایی‌ها و همفکری‌های ارزنده آقای دکتر آلبان کوریکی

(پژوهشگر مدیریت و احیای رودخانه) در مرکز تحقیقات هیدروسیستم دانشگاه لیسبون پرتقال، همراهی و همکاری تیم عملیات میدانی گروه اکولوژی آبزیان دانشگاه تهران و همکاری دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Azarang F., Telvari A.R., Sedghi H., and Shafaei Bajestan M. 2017. Large Dam Effects on Flow Regime and Hydraulic Parameters of river (Case study: Karkheh River, Downstream of Reservoir Dam). Journal of Water and Soil 31(1):11-27. (In Persian with English abstract)

2- Boavida I., Santos J.M., Ferreira T., and Pinheiro A. 2015. Barbel habitat alterations due to hydropeaking. Journal of Hydro-environment Research 9(2): 237-247.

3- Bounds R.L., and Lyons B.W. 1979. Existing Reservoir and Stream Management Recommendations Statewide Minimum Streamflow Recommendations. Federal Aid Project F30-R-4. Performance Report. Texas Parks and Wildlife Department, Austin, Texas 28p.

4-Esmaili K., Sadeghe Z., Kaboli A., and Shafaei H. 2018. Application Hydrological methods for estimating River Environmental water rights (Case Study of Gorganroud River). Journal of Natural Environmenatal (Iranian Journal of Natural Recorces) 71(4): 437-451. (In Persian with English abstract)

5- Espegren G.D. 1996. Development of instream flow recommendations in Colorado using R2CROSS. Colorado Water Conservation Board, Department of Natural Resources, Water Rights Investigations Section.

6- Farhadian M., Bozorg Haddad O., and Loaiciga H.A. 2020. Fulfillment of river environmental flow: Applying Nash theory for quantitative- qualitative conflict resolution in reservoir operation. Water and Environment Journal.

7- Fukuda S., Tanakura T., Hiramatsu K., and Harada M. 2015. Assessment of spatial habitat heterogeneity by coupling data-driven habitat suitability models with a 2D hydrodynamic model in small-scale streams. Ecological informatics 29: 147-155.

8- Ghanavi H.R., Gonzalez E.G., and Doadrio I. 2016. Phylogenetic relationships of freshwater fishes of the genus *Capoeta* (Actinopterygii, Cyprinidae) in Iran. Ecology and Evolution 6(22): 8205-8222.

9- Gholizadeh M., Toomaj A.S., and Motamedi R. 2020. Fitting of two benthic fishes abundance *Paracobitis hircanica* (Mousavi-Sabet, Sayyadzadeh, Esmaeili, Eagderi, Patimar & Freyhof, 2015) and *Neogobius pallasi* (Berg, 1916) Using Fuzzy Regression. Journal of Applied Ichthyological Research 8(2): 18-26. (In Persian with English abstract).

10- Gippel C.J., and Stewardson M.J. 1998. Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows. Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management 14(1): 53-67.

11- Heshmati S., and Hafezparast Mavadat M. 2018. Forecasting flow discharge through time series analysis using SARIMA model for drought conditions, a case study of Jamishan River. Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems 6(1): 73-82.

12- Holmes R.W., Rankin D.E., Ballard E., and Gard M. 2016. Evaluation of Steelhead passage flows using hydraulic modeling on an unregulated coastal California River. River Research & Applications 32: 697-710.

13-Johnston C., Zydlewski G.B., Smith S., Zydlewski J., and Kinnison M.T. 2018. River Reach Restored by Dam Removal Offers Suitable Spawning Habitat for Endangered Shortnose Sturgeon. Transactions of the American Fisheries Society 163-175.

14- Kang H., and Choi B. 2018. Dominant fish and macroinvertebrate response to flow changes of the Geum River in Korea. Water 10(7): 942.

15- Khatar B., and Shokoohi A. 2020. Evaluating and Modifying the Texas Method as a Hydrologic Method for Prescribing Ecological Regime in Perennial Rivers. Journal of Soil and Water Resources Conservation 9(3): 31-46. (In Persian with English abstract)

16- Jouladeh-Roudbar A., Ghanavi H.R., and Doadrio I. 2020. Ichthyofauna from Iranian freshwater: Annotated checklist, diagnosis, taxonomy, distribution and conservation assessment. Zoological Studies 59: 21.

17- Kuriqi A., Pinheiro A.N., SordoWard A., and Garrote L. 2019. Flow regime aspects in determining environmental flows and maximising energy production at run-of-river hydropower plants. Applied Energy 256: 113980.

18- Kuriqi A., Pinheiro A.N., Sordo Ward A., and Garrote L. 2020. Water-energy-ecosystem nexus: Balancing competing interests at a run-of-river hydropower plant coupling a hydrologic–ecohydraulic approach. Energy Conversion and Management 223: 113267.

19- Li W., Chen Q., Cai D., and Li R. 2015. Determination of an appropriate ecological hydrograph for a rare fish species using an improved fish habitat suitability model introducing landscape ecology index. Ecological Modelling 311: 31-38.

20- Li F.F., Wei J.H., Qiu J., and Jiang H. 2020. Determining the most effective flow rising process to stimulate fish spawning via reservoir operation. Journal of Hydrology 582: 124490.

21- Liu F., Qin T., Yan D., Wang Y., Dong B., Wang J., Nie H., He S., and Liu S. 2020. Classification of instream ecological water demand and crucial values in a semi-arid river basin. Science of The Total Environment 712: 136409.1-13.
22- Ma B., Dong F., Peng W.Q., Liu X.B., Huang A.P., Zhang X.H., and Liu J.Z. 2020. Evaluation of impact of spur dike designs on enhancement of aquatic habitats in urban streams using 2D habitat numerical simulations. Global Ecology and Conservation 24: 01288.
23- Mostafavi S., and Yasi M. 2015. Evaluation of Environmental Flows in Rivers Using Hydrological Methods (Case study: The Barandozchi River- Urmia Lake Basin). Journal of Water and Soil 29(5): 1219-1231. (In Persian with English abstract)
24- Naderi M.H., Zakerinia M., and Salarijazi M. 2019. Investigation of Ecohydraulic Indices in Environmental Flow Regime and Habitat Suitability Simulation Analysis using River2D Model with Relying on the Restoration Ecological in Zarrin-Gol River. Journal of Ecohydrology 6(1): 205-222. (In Persian)
25- Naderi M.H., Zakerinia M., and Salarijazi M. 2020. Design and Analysis of Optimal Ecological Flow Regime Zarrin-Gol River Using Hydrological Methods and Ecohydraulic Habitat Simulation Model. Journal of Water and Soil 34(3): 515-532. (In Persian with English abstract)
26- Naderi M.H., Alioghli S., Jahandideh O., Rajabizadeh Y., and Salarijazi M. 2020. Determination of Optimal and Desirable Environmental Flow Release from Latian Dam reservoir with Consideration of Ecohydraulic, Hydrological and Hydromorphological Characteristics to Protect the Habitat of the Jajrood River. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 14(4):1277-1300 (In Persian with English abstract).
27- Panahi E, Bafkar A., and Hafezparast M. 2017. Assessment of Sustainable Mmanagement Alternatives of Jamishan Watershed in the Climate Scenarios. Iran-Water Resources Research 13(1): 139-151. (In Persian)
28- Poria M., Abdoli A., Kazemian M., Nori F., Khara H., and Ejraei F. 2012. Survey of some properties of population dynamic of Capoeta trutta in Alvand River in Kermanshah province (IR.Iran). Journal of Aquatic Animals and Fisheries 3(10): 17-26. (In Persian)
29- Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J., and Braun D.P. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology 10(4): 1163-1174.
30- Sarcheshmeh B., Behmanesh J., and Rezaverdinejad V. 2020. Evaluation of Water Scarcity by Determining Quantity and Quality andnd Environmental Flow Requirement of Zarrinehrood. Journal of Water and Soil 34(3): 565-577. (in Persian with English abstract)
31- Shokoohi A., and Hong Y. 2011. Using hydrologic and hydraulically derived geometric parameters of perennial rivers to determine minimum water requirements of ecological habitats (case study: Mazandaran Sea Basin—Iran). Hydrological Processes 25(22): 3490-3498.
32- Sofi M.S., Bhat S.U., Rashid I., and Kuniyal J.C. 2020. The Natural flow regime: A master variable for maintaining river ecosystem health. Ecohydrology 2247.
33- Steffler P., and Blackburn J. 2002. River2D: Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics & Fish Habitat. Introduction to Depth Averaged Modeling & User's Manual. University of Alberta, Edmonton, Canada.
34- Suwal N., Huang X., Kuriqi A., Chen Y., Pandey K.P., and Bhattarai K.P. 2020. Optimisation of cascade reservoir operation considering environmental flows for different environmental management classes. Renewable Energy 453-464.
35- Tennant D.L. 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fisheries 1(4):6-10.
36- Wen X., Fang G.H., Guo Y.X., and Zhou L. 2016. Adapting the operation of cascaded reservoirs on Yuan River for fish habitat conservation. Ecological Modeling 337: 221-230.
37- Zharong P.A.N., Xiao-hong R.U.A.N., and Jing X.U. 2013. A new calculation method of instream basic ecological water demand. Journal of Hydraulic Engineering 44(1): 119.
38- Zhang W., Di Z., Yao W.W., and Li L. 2016. Optimizing the operation of a hydraulic dam for ecological flow requirements of the You-shui River due to a hydropower station construction. Lake and Reservoir Management 32(1): 1-12.
39- Zhao C.S., Yang Y., Yang S.T., Xiang H., Ge Y.R., Zhang Z., and Yu Q. 2020. Effects of spatial variation in water quality and hydrological factors on environmental flows. Science of The Total Environment 138695.
40- Zhu Z.X., Li Y., Li K.F., Cheng B.X., Yang S.R., Liu Q.Y., and Liang, R.F. 2020. Study of quality maintenance of fish habitats in small-and medium-sized mountain rivers with low flow rate. Ecological Engineering 147: 105780.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 203-225

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۲۵-۲۰۳

Estimation of Optimal Release Flow Range from Jamishan Dam Considering the Optimal Instream Ecological Water Demand for Conservation the Habitat Potential of the Dinavar River

M.H. Naderi[1]*- N. Arab[2]- O. Jahandideh[3]- M. Salarijazi[4]- A. Aarb[5]

Received: 23-11-2020
Accepted: 13-02-2021

Introduction: Hydrological variability is of great importance for water resources management. Analyzing the instream environmental flow demand by coupling the hydrological cycle and the hydrodynamic process with aquatic ecological processes at a watershed scale remains one of the most important yet most difficult issues. Ecological water demand (environmental flow) refers to the typical—intra-annual and inter-annual natural flow regime variability—which describes the quality, quantity, and timing of flow discharge required to preserve the ecosystem and sustain essential services upon which human livelihoods and well-being depend. Therefore, ecological water demand (EWD) should be considered as a constraint in water resource planning and management.

Materials and Methods: Numerous methods and frameworks have been developed for establishing ecological water demand at regulated rivers. Hydrologically-based ecological water demand methods, because of their simplicity, data availability, and other economic and social aspects, remain the most applied ones. A suitable range of discharges environmental flow Dinavar River was estimated using advocate statistical analysis of hydrological methods Tennant, Annual Distribution Method, and Texas, coupled with habitat suitability model using the program River2D to natural flow variability need. River2D is a two-dimensional, depth-averaged hydrodynamic and fish habitat model widely used in environmental flow assessment studies. A detailed digital model of the river channel and its surrounding area was developed, including all the morphological characteristics of the river channel and its various sandy islets. Data collection was performed through GIS/GPS mapping surveys, hydro-morphological measurements (water depth, flow, substratum type, etc.), and electrofishing samplings at a microhabitat scale under different discharge conditions. Several different steady-state hydraulic simulations were conducted under typical low flow conditions, producing water depth and water velocity (direction and magnitude) maps for each discharge scenario, while results were verified with the use of field measurements. In the next step, River2D was used for the fish habitat modeling of the study area, with the application of fish preference curves developed specifically for the study area. Finally, the fish habitat modeling was conducted for the *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) species, divided into two life groups, forced under the flow conditions. Also, the suitable level of ecological water demand and crucial values with different flow frequencies were analyzed, including water level, water surface width, and Weighted Usable Area.

Results and Discussion: Results show that high environmental flow releases did not necessarily provide the highest habitat availability and suitability at all seasons and fish life-stages. The adult life stage resulted in being more vulnerable to water diversion, particularly during the spring season. Shallow-water hydromorphological units suffered the highest habitat loss. Some of the environmental flow methods demonstrated inconsistent results over seasons and fish life-stages by either allowing for higher environmental flow releases. Also, the Weighted Usable Area -Discharge curve was calculated with the suitability index in medium flow conditions. From the result, the Weighted Usable Area is changed according to flowrate. In the flowrate- Weighted Usable Area/A graph, ecological flow can be determined at 1.38 m^3/s for *Capoeta trutta* (Heckel, 1843) species. Ecological flows were calculated in the range 0.17–3.71 m^3/s as the required discharge, which assures the

1, 2, 3 and 4- Graduated M.Sc. of Water Resources Engineering, Ph.D. Candidate of Environmental Assessment and Landuse Planning, Graduated M.Sc. of Irrigation and Drainage Engineering and Associate Professor Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, respectively.
(*- Corresponding Author Email: naderigau@gmail.com)
5- Graduated M.Sc. of Water Structures Engineering, Mashhad University of Ferdowsi, Mashhad
DOI: 10.22067/jsw.2021.67061.0

welfare and sustainability of protected fish species populations. It was also noticed that low flow months (June to November) required more proportions of mean monthly flow than high flow months (December to May). When compared with flow-duration analysis, it is demonstrative that simulation results fitted EWD considering the quantity of available habitat for fish species. Also, the results of the study indicated that monthly EWD had an increasing trend during the flood season and a decreasing trend during the non-flood season in three sections at different suitable levels. With the increase of suitable levels, the range of EWD in the three sections also increased. The EWD and crucial values were the lowest in April with the smallest range and were the highest from June to October.

Conclusion: The major finding of this research is that the estimated Suitable Range of Discharges could better address environmental water requirements, rather than simply allocating single value minimum ecological flows. Results reveal that the ecohydraulic modeling of river basins should be considered as an indispensable component in sustainable water resources.

Keywords: Environmental flow, Suitability index, River2D, Weighted usable area

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 227-236

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۳۶-۲۲۷

مقاله پژوهشی

بررسی تنش خشکی و کمبود آبیاری بر میزان بهره‌وری مصرف آب و عوامل مورفوفیزیولوژیک دو رقم چمن فستوکا

مهرداد عمادی[۱]- مسعود نوشادی[۲]*- علی اصغر قائمی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۶

چکیده

فضاهای سبز از لحاظ زیست محیطی به عنوان شریان‌های حیاتی شهرها محسوب می‌شوند و با توجه به رشد روز افزون شهرنشینی، ایجاد فضای سبز به عنوان مهم‌ترین تعدیل‌کننده زیست محیطی شهرها ضروری می‌باشد. از آنجایی که در چند دهه اخیر کمبود منابع آب یکی از مشکلات پیش روی گسترش فضای سبز به ویژه چمن‌کاری بوده است، لذا استفاده از روش‌های مدیریتی از جمله کم آبیاری از اهمیت زیادی برخوردار است. هدف از این پژوهش بررسی برهمکنش تنش آبی (تامین ۱۰۰٪، ۷۵٪ و۵۰٪ نیاز آبی) بر بهره‌وری مصرف آب و عوامل مورفوفیزیولوژیک دو رقم چمن فستوکا (TALLADEGA و ASTERIX) می‌باشد. بیشترین بهره‌وری آب در آبیاری کامل (۱۰۰٪ نیاز آبی) در رقم Asterix بود. عوامل مورفوفیزیولوژیک در ۷۵٪ آبیاری کامل بیشترین مقدار را داشت. تنش متعادل خشکی باعث بسته شدن جزئی روزنه‌ها شد و در نتیجه بهره‌وری آب افزایش یافت، اما تنش شدید باعث بسته شدن کامل روزنه‌ها شد. و بهره‌وری مصرف آب به علت پایین آمدن فتوسنتز و رشد کاهش یافت. خشکی باعث سوختگی برگ‌های چمن شد و همچنین اثر منفی بر میزان رشد شاخساره و تراکم چمن داشت. از آنجایی که تراکم و یکنواختی چمن یکی از معیارهای ارزیابی کیفیت ظاهری چمن است، بنابراین خشکی، کیفیت چمن را کاهش می‌دهد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کم آبیاری می‌تواند بدون اینکه باعث کاهش کیفیت سبز فرش گردد، موجب افزایش کارایی مصرف آب شود. با مصرف آب کمتر (تا نصف آبیاری کامل) کیفیت ظاهری چمن به خوبی حفظ خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، تنش آبی، فستوکا، کیفیت ظاهری، کمبود آبیاری

مقدمه

فضاهای سبز از لحاظ زیست محیطی به عنوان شریان‌های حیاتی شهرها محسوب می‌شوند و با توجه به رشد روز افزون شهرنشینی، ایجاد فضای سبز به عنوان مهم‌ترین تعدیل‌کننده زیست محیطی شهرها ضروری می‌باشد (۳). فضاهای سبز و چمن ها در دفع مواد سمی حاصل از کاربرد سوخت‌های فسیلی، جلوگیری از فرسایش خاک، تبخیر شدید آب از سطح زمین، تولید اکسیژن، جذب گازهای مضر و در نتیجه در تصفیه هوا و سلامتی انسان در شهرهای بزرگ انسان نقش دارند (۱). در احداث فضای سبز و پارک‌ها، چمن یکی از عناصر لازم و جدا نشدنی طراحی منظر به شمار می‌رود. چمن به علت دارا بودن قدرت پاخوری افزون بر جنبه تفریحی و زینتی، به عنوان بستر فضاهای سبز برای تفرج و بازی و برخی زمین‌های ورزشی نیز اهمیت دارد (۴). در حال حاضر در بیشتر مواقع سال چمن‌ها به صورت روزانه آبیاری می‌شود که لزوما بهترین رژیم آبیاری محسوب نمی گردد.

نگاهی به الگوی مصرف آب در آبیاری فضای سبز مناطق خشک و نیمه خشک نشان می‌دهد که بازده مصرف آب در این بخش بسیار کم می‌باشد و بخش عمده تلفات آب مصرفی در آبیاری فضای سبز این مناطق در هنگام کاربرد آب صورت می‌گیرد. از طرفی مدیریت صحیح آبیاری رمز موفقیت داشتن فضای سرسبز و با کیفیت برتر است زیرا با اعمال مدیریت صحیح می‌توان از بروز تنش‌های آبی ناشی از کمبود آب جلوگیری کرد. از آنجایی که مدیریت نا مناسب آبیاری بیش از هر عامل دیگری در کاهش کمیت و کیفیت فضای سبز نقش دارد می‌توان با بهبود مدیریت آبیاری یا به کارگیری روش

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(*- نویسنده مسئول: Email: noshadi@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.2021.67723.1002

های نوین آبیاری اثرهای ناشی از این نقیصه را کاهش داد(۸).

لولیوم یا رای گراس (Ray grass) با نام علمی *Lolium perenne* L. یک چمن سردسیری و چندساله بوده که نسبتا پاخوری خوبی دارد و به دلیل، سرعت استقرار و رشد نسبتا خوب آن یک جزء ترکیبی مهم در تولید بذر چمن‌های مخلوط است (۲).

بخش عمده از فضای سبز مناطق جنوب ایران را پوشش چمنی تشکیل می‌دهند که بیشتر سطح آن مربوط به چایر[1] است. از طرفی کمبود منابع آب با کیفیت در نواحی جنوبی ایران بیش از پیش روشن است و یکی از چالش‌های عمده در توسعه گیاهان با پوشش چمنی می‌باشد. در صورت وجود گونه‌های متحمل به شوری، امکان توسعه گونه‌های مختلف چمن با استفاده از منابع آب شور وجود خواهد داشت. در حال حاضر به دلیل اینکه پژوهش‌های اندکی در این زمینه انجام شده است، دامنه تحمل انواع مختلف چمن‌ها به شوری مشخص نیست و در نتیجه با توجه به اهمیت آن از نیازهای ضروری در زمینه گسترش پوشش گیاهی (چمن‌ها) در فضای سبز کشور به ویژه در مناطق جنوبی می‌باشد (۱۴).

منوچهری (۵) با مطالعه بر روی اثرهای برهمکنش تنش‌های شوری و خشکی بر شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک چمانواش بلند و چایر تحت سه سطح آبیاری۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل و چهار سطح شوری ۰/۵، ۳، ۶ و ۹ دسی‌زیمنس بر متر نشان دادند که کیفیت ظاهری چمن با افزایش شوری و تنش آبی کاهش یافت. همچنین با اعمال خشکی وزن تر و خشک ریشه و همچنین وزن تر ته شاخساره در بین تیمارهای آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد تفاوت معنی داری در سطح ۵ ٪ نداشت ولی این پارامترها در تیمار آبیاری ۵۰ درصد به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد.

رضایی و قائمی (۱۰) در پژوهش خود با در نظر گرفتن دو روش آبیاری بارانی و غرقابی و تنش آبی ۵۰٪ ، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبیاری بر چمن چمانواش بلند نشان دادند که روش آبیاری سنتی (غرقابی) به مراتب آب بیشتری نسبت به بارانی خودکار برای آبیاری چمن مصرف می‌کند، به گونه‌ای که میزان آب مصرفی در مدت سه ماه در تیمارهای ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ نیاز آبیاری در روش آبیاری سنتی به ترتیب ۲۱۳/۹، ۱۶۰/۴۲ و ۱۰۶/۹۴ میلی‌متر بیشتر از آبیاری بارانی خودکار بود. روش آبیاری برکیفیت ظاهری چمن تأثیر معنی‌داری نداشت ولی با افزایش تنش آبی کیفیت ظاهری، سرعت، وزن تر و خشک شاخساره کاهش یافت. همچنین چمانواش بلند تحت تنش آبی ۷۵٪ نیاز آبیاری کامل با انجام فعالیت‌های پرهیز از خشکی همچون گسترش ریشه، کم آبی را تحمل کرد. به طور کلی می‌توان گفت این نوع چمن تا حدی نسبت به خشکی مقاوم است.

به عبارت دیگر کمبود آب قابل دسترس برای آبیاری یکی از مهم ترین مشکلات روی فضای سبز و چمن کاری خصوصا در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران می‌باشد. اصولا کم آبیاری از راه کارهای بهینه‌سازی مصرف آب است که طی آن به محصولات زراعی اجازه داده می‌شود مقداری از تنش آبی را در طول فصل رشد تحمل نمایند. هدف اصلی در کم آبیاری افزایش کارایی مصرف آب، کاهش مقدار آبیاری و حذف جزئی از آب آبیاری است که تاثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد محصول ندارد.

محققان در پژوهشی به بررسی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چایر تحت تنش شوری و خشکی پرداختند و نتیجه گرفتند که تنش‌های خشکی و شوری و بر هم کنش آنها باعث افزایش معنی‌دار نشت الکترولیت و کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب و کلروفیل برگ شد (۶).

در پژوهشی اثر شرایط کم آبیاری بر ویژگی های مورفولوژیک چند رقم چایر Dacca، Fine Dacca و Khabbal بررسی شد. این گیاهان در چهار سطح آبیاری شامل ۱۰۰٪، ۷۵٪، ۶۵٪ و ۵۵٪ آبیاری کامل ارزیابی شدند. به طور کلی کیفیت همه ارقام با افزایش خشکی کاهش یافت ولی رقم Khabbal شرایط خشکی را بهتر از سایر رقم ها تحمل نمود (۱۱).

در مقایسه سامانه های آبیاری (زیر سطحی، بارانی و ترکیبی) و اثر آن بر خصوصیات رشد چمن اسپرت مشخص گردید که با کاهش مقدار آب مصرفی طول شاخساره، وزن خشک، کیفیت ظاهری، حجم و وزن خشک ریشه، محتوای نسبی آب برگ و کلروفیل کاهش ولی میزان پرولین افزایش یافت. اکثر صفات در مقادیر آب آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد آبیاری کامل تاثیر مشابه داشتند، اما به طور معنی‌داری در سطح ۵ ٪ بهتر از تیمار آبیاری در ۵۰ ٪ آبیاری کامل بودند. همچنین طول ریشه به طور معنی‌داری در آبیاری بارانی بیشتر از دو روش دیگر بود (۱۳).

مطالعات محققان در زمینه بررسی اثرات زه آب بازیافتی زمین های چمن و زمین‌های فوتبال و تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی چاوی چند ساله رقم انگلیسی تحت ۴ سطح زهاب (۰، ۲۵، ۵ و ۱۰۰ درصد) و آبیاری بر اساس ۳ سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و دور آبیاری ۲ روز نشان داد که، آبیاری ۵۰ ٪ ظرفیت زراعی در زه‌اب صفر درصد باعث کاهش ارتفاع، وزن خشک شاخساره، طول ریشه، کلروفیل، محتوای آب نسبی برگ و کیفیت ظاهری و افزایش میزان پرولین شد (۷).

بررسی واکنش ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای و عملکرد ۱۲ ژنوتیپ چمان‌واش بلند در شرایط تنش خشکی (بدون تنش، تنش متوسط و شدید) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد علوفه خشک شد به نحوی‌که کاهش عملکرد از شاهد به تنش متوسط و شدید به ترتیب ۱۵ ٪ و ۱۳ ٪ بود (۹).

در آزمایشی پژوهشگران رقم چایر را تحت تنش خشکی قرار

1- *Cynodon dactylon* L.(Pers.)

دادند به این نحو که بذر رقم‌های مختلف را در پلات‌های آزمایشی کاشتند، پس از نگهداری‌های اولیه، زمانی که گیاه برای اعمال تنش آماده شد، همه پلات‌ها به مقدار ۵ سانتی‌متر آب دریافت کردند. از زمان شروع تنش به وسیله پردازش تصویر، زمان رسیدن هر پلات به ۷۵ ٪ پوشش مشخص گردید. زمان رسیدن به ۷۵ ٪ پوشش در رقم های مختلف چایر از ۴۵ تا ۵۸ روز متفاوت بود. این اختلاف ۱۳ روزه، کوچکتر از چیزی بود که در آزمایش مشابه برای چمن فصل سرد مشاهده شده بود. این موضوع نشان داد که محدوده مقاومت به خشکی برای گونه‌های مختلف چایر کوچکتر از چمن فصل سرد (مانند چمانواش بلند) می‌باشد. بنابراین مقاومت به خشکی یک ویژگی کلی برای چایر است و تفاوت چندانی بین رقم‌ها وجود ندارد. همچنین قابل ذکر است که اولین نشانه‌های تنش خشکی حتی در ضعیف‌ترین رقم چایر قبل از ۴۵ روز خشکی بروز نکرد (۱۲).

با توجه به اینکه این پژوهش در گلخانه صورت گرفت محدویت های کنترل دما و گرما بی تاثیر در خروجی مدل نبود.

هدف از این پژوهش بررسی برهمکنش تنش آبی (تامین ۱۰۰٪، ۷۵٪ و۵۰٪ نیاز آبی) بر بهره‌وری مصرف آب و عوامل مورفوفیزیولوژیک دو رقم چمن فستوکا (TALLADEGA و ASTERIX) می‌باشد. با توجه به اهمیت فضای سبز و بحران کم آبی، چمن فستوکا به جهت سبزینگی و داشتن ژنوتیپ مقاوم به تنش آبی، مورد بررسی قرار گرفت تا در حد ممکن جایگزین نوع رقم چمن های دیگر در منطقه با شرایط آب و هوایی خشک و مشابه قرار گیرد که بتوان سبز فرش بودن را تا حد ممکن تضمین نمود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه به مساحت ۱۲۰ متر مربع واقع در دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز با طول جغرافیایی ´۳۲ °۵۲، عرض جغرافیایی ´ ۳۶ °۲۹ ، ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح آزاد دریا و در گلدان های به ابعاد ۳۰ *۳۰ * ۳۰ سانتی‌متر به منظور بررسی اثر تنش‌های آب در روش آبیاری سنتی بر عوامل مورفوفیزیولوژیک و بهره‌وری آب در دو رقم چمانواش بلند، انجام شد.

طرح تحقیقاتی به صورت طرح کرت‌های خرد شده پایه بلوک های کامل تصادفی با ۳ تکرار و ۳ تیمار ۱۰۰٪ (W_1)، ۷۵٪ (W_2) و ۵۰٪ (W_3) نیاز آبی بود. چمن‌های مورد استفاده در این طرح شامل Festuca Arundinacea Schreb با دو رقم با نام‌های Asterix و Talladega که از انواع چمن‌های سردسیر محسوب می‌شوند و دارای عمق ریشه ۱۵-۲۰ سانتی‌متر است، می‌باشند. در جدول ۱ نمای کلی طرح نشان داده شده است.

ابتدا ۳ سانتی‌متر شن (برای ایجاد شرایط زهکشی) مناسب در کف گلدان قرار داده شد و سپس بر روی آن ۲۴ سانتی‌متر خاک ریخته شد و فشرده گردید تا به دانسیته اولیه خود رسید. در دهم اردیبهشت ماه دو نوع بذر چمن به صورت دستی روی گلدان‌ها پاشیده شد (هر گلدان ۱۰ گرم بذر) و سپس در هر گلدان روی بذرها ۱۰۰ گرم کود حیوانی پوسیده و سرند شده ریخته شد و توسط سیستم سنتی (دستی) با شیلنگ آبیاری شد. در اوایل کاشت به دلیل استفاده بیشتر از آب و همچنین استقرار چمن‌ها، آبیاری به صورت دستی انجام شد به این صورت که به مدت یک هفته هر روز دو الی سه بار آبیاری و پس از سبز شدن بذرها (۱۰ روز پس از کشت)، روزانه یکبار آبیاری و تا جوانه‌زنی کامل بذرها (۲۰ روز پس از کشت) دور آبیاری بین ۷ الی ۱۵ روز بود و بعد از آن تنش‌های آبی صورت گرفت. اولین سرزنی چمن بعد از استقرار کامل چمن‌ها (۳۰ روز بعد از کاشت) صورت گرفت و همچنین به منظور جبران کمبود مواد غذایی خاک بعد از دو ماه (تیر ماه) ۶ گرم در متر مربع کود اوره (به هر گلدان ۰/۵۴گرم) داده شد. شروع دوره تنش دو ماه بعد از کاشت (۱۰ تیرماه ماه) و طول دوره تنش ۴۵ روز بود.

جدول ۱- نمای کلی طرح
Table 1- Overview of the design

تکرار Replications	W2(75 %)	W3(50 %)	W1(100 %)
	تیمارهای آبیاری Irrigation treatments		
1	Asterix Talladega	Talladega Asterix	Talladega Asterix
2	Asterix Talladega	Asterix Talladega	Talladega Asterix
3	Talladega Asterix	Asterix Talladega	Talladega Asterix

برای تعیین نیاز آبی یک گلدان جداگانه در بین گلدان‌های دیگر قرارداده شد و رطوبت آن به FC رسید. هر یک روز در میان با توجه به آب از دست داده شده توسط این گلدان نسبت به وزن اولیه (FC)، همان مقدار آب با ۲۰ درصد اضافه تر به عنوان نیاز آبشویی به

گلدان‌ها داده شد.

اندازه‌گیری‌ها

-اندازه‌گیری خصوصیات فیزیولوژیکی

کیفیت ظاهری

ارزیابی کیفیت ظاهری به این نحو انجام شد که افراد غیر متخصص در چمن، رنگ، تراکم، پوشش‌دهی و میزان علف هرز و شادابی چمن مورد نظر خود را با دادن شماره بین صفر تا ۹ بیان کردند. صفر به معنای بدترین و عدد ۹ به معنای بهترین کیفیت بود.

محتوای آب نسبی برگ

محتوای نسبی آب برگ ها بر اساس رابطه (۱) (Barrs&Weatherley, 1961) محاسبه شد:

$$RWC = \frac{(FW-DW)}{(SW-DW)} * 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه FW وزن تر برگ است. پس از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق خیسانده شدند و پس از آن بلافاصله نمونه‌ها با دستمال کاغذی خشک و وزن برگ‌ها دوباره محاسبه شد (SW). سپس نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس خشک شده و وزن خشک آن‌ها (DW) محاسبه شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های مورفولوژیک

وزن تر و خشک رو شاخساره

هر هفت روز چمن‌زنی انجام شد. ارتفاع چمن توسط چمن‌زنی تنظیم و به ۵ سانتی‌متر کاهش پیدا می‌کرد. برای تعیین وزن تر رو شاخساره مقدار چمن برداشته شده در پاکت‌های مخصوص قرار داده شد و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری گردید و سپس به مدت ۴۸ ساعت در آون با حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید.

وزن تر و خشک ته شاخساره

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک ته شاخساره بعد از آخرین چمن زنی، یک حلقه مربع شکل با ابعاد ۱۰*۱۰ سانتی‌متری به طور تصادفی در هر کرت قرار داده شد و در آن محدوده قسمت هوایی چمن به طور کامل جدا گردید و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد و سپس در آون (در حرارت ۷۰ درجه سلسیوس) به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید.

بهره‌وری آب

برای تعیین بهره‌وری آب در هر ماه، از وزن تر کل شاخساره در هر گلدان بعد از اعمال تنش آبی (مجموع مقادیر بیومس تولیدی (روشاخساره) در هر بار چمن‌زنی بعلاوه مقدار ته شاخساره در پایان هر ماه) استفاده شد. با توجه به سطوح مختلف آبیاری و آب بکار رفته و وزن تر کل شاخساره بدست آمده در هر کرت، شاخص بهره‌وری آب طبق رابطه (۲) تعیین شد.

$$W_p=F_W/W_u \qquad (۲)$$

در این رابطه F_W و W_U به ترتیب وزن تر شاخساره (kg) و حجم آب مصرفی (m^3) می‌باشد.

اندازه‌گیری سرعت رشد چمن

قبل از هر چمن‌زنی، ارتفاع چمن از محل طوقه تا انتهای برگ در سه نقطه از هر کرت توسط خط کش اندازه‌گیری شد و میانگین اندازه گیری‌ها به عنوان ارتفاع برای هر تیمار در نظر گرفته شد و سرعت رشد چمن رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$LR = \frac{L}{P} \qquad (۳)$$

که در آن P,L,LR به ترتیب سرعت رشد چمن (سانتی‌متر بر روز)، میزان رشد ارتفاعی چمن (سانتی‌متر)، مدت زمانی رشد ارتفاعی چمن (روز) می‌باشد.

خصوصیات خاک

برای تعیین مشخصات خاک، نمونه خاک دست نخورده از مزرعه تحقیقاتی به عمق ۳۰-۰ و ۶۰- ۳۰ سانتی‌متر گرفته شد و به آزمایشگاه منتقل و جرم مخصوص ظاهری، درصد رس، شن و سیلت و همچنین بافت خاک تعیین شد (جدول ۲). مقادیر FC و PWP این خاک به ترتیب برابر ۲۹/۷ و ۱۴/۷ درصد بود.

مشخصات آب مورد استفاده جهت آبیاری

ویژگی‌های آب مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲- مشخصات خاک

Table 2- Soil characteristics

مقدار Amount	مشخصات خاک Soil characteristics
36.54	درصد شن Sand Percentage
35.64	درصد سیلت Silt Percentage
27.82	درصد رس Clay Percentage
1.29	جرم مخصوص ظاهری $(g\ cm^{-3})$ Bulk density
0.297	ظرفیت زراعی (g/g) Field capacity((FC)

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری

Table 3- Chemical properties of irrigation water

EC $(dS\ m^{-1})$	pH	K	Na	Mg	CL	Ca	S O_4	HCO_3
		meq L^{-1}						
0.55	7	0.05	1.2	2.1	2.1	1.15	1	1.5

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل داده‌ها حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری sas9.4 انجام شد و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد و میانگین‌های حاصل با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. نتایج و تحلیل داده‌ها تحت تنش آبی در دو نوع جنس مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۴).

اثر خشکی و جنس بر بهره‌وری مصرف آب

بهره‌وری مصرف آب دو رقم فستوکا تحت تنش آبی در روش آبیاری سنتی اندازه‌گیری شد. جدول ۴ نتایج مقایسه میانگین بهره‌وری مصرف آب چمن فستوکا را تحت تنش آبی در روش آبیاری سنتی در یک دوره (۳۰ روزه) متوالی نشان می‌دهد. بهره‌وری آب در هر دو نوع چمن و در تیمارهای مختلف آبیاری تغییر معنی‌داری در سطح ۹۵ ٪ نداشت. بنابراین کاهش مقدار آب آبیاری تاثیر روی بهره‌وری آب نداشته است و می‌توان از تیمار ۵۰ ٪ آبیاری کامل (W3) استفاده کرد. به عبارت دیگر کم آبیاری می‌تواند بدون این که باعث کاهش مقدار چمن گردد، موجب افزایش کارآیی مصرف آب شود (Pessarakli, 2007).

برهمکنش خشکی و جنس بر کیفیت ظاهری

کیفیت ظاهری دو نوع چمن فستوکا در ده روز اول و دوم تیر ماه (دوره تنش آب) تعیین شد. نتایج نشان داد که اثر تنش آبی و بر هم کنش تنش آبی و نوع چمن بر کیفیت ظاهری چمن در سطح ۹۵٪ اختلاف معنی‌دار نداشت. البته در ده روز دوم مرداد کیفیت ظاهری نسبت به نیمه اول مطلوب تر بود. بنابراین افزایش مقدار آب آبیاری اثری برکیفیت ظاهری چمن ندارد و با مصرف آب کمتر (تا نصف آبیاری کامل) کیفیت ظاهری چمن به خوبی حفظ خواهد شد.

برهمکنش خشکی و جنس بر محتوای آب نسبی برگ (RWC)

محتوای آب نسبی برگ در طی دوره تنش (یک ماهه) به صورت هفتگی اندازه‌گیری شد. نتایج مقایسه میانگین محتوای آب نسبی برگ (RWC) تحت تنش آبی در دو نوع چمن فستوکا نشان داد که اثر بر هم کنش تنش آبی در رقم چمن آستریکس بر روی محتوای آب نسبی برگ در سطح ۹۵٪ معنی‌دار بوده است (جدول ۴). در هر دو نوع چمن آستریکس و تالادگا با افزایش تنش آبی تا ۷۵ ٪ آبیاری کامل باعث افزایش RWC معنی‌دار شده است ولی افزایش تنش آبی تا ۵۰ ٪ آبیاری کامل تاثیر معنی‌داری نسبت به ۷۵ ٪ آبیاری کامل داشته است. اعمال تنش آبی شدید (۵۰٪ نیاز آبی)، محتوای آب نسبی برگ را تحت تاثیر قرار داده و باعث کاهش معنی‌دار محتوای آب نسبی برگ نسبت به آبیاری کامل (w_1) شده است. بهترین محتوای آب نسبی برگ در ۷۵٪ آبیاری کامل (w_2) مشاهده شد. محتوای آب نسبی برگ شاخص مناسبی از وضعیت آب برگ‌ها می باشد و کاهش آن در برگ‌ها باعث پژمردگی و کاهش طراوت و کیفیت ظاهری چمن می‌شود. محتوای آب نسبی برگ در صورت پیشرفت تنش خشکی کاهش یافته و سبب تغییرهایی در غشای

سلولی و در نتیجه افزایش نشت الکترولیتی از سلول می‌شود. البته با توجه به اینکه تنش خشکی باعث کاهش کیفیت ظاهری چمن نشده است و کاهش محتوای آب نسبی برگ تاثیری روی کیفیت ظاهری چمن نگذاشته است.

جدول ٤- برهمکنش میانگین اثر تنش خشکی و رقم چمن فستوکا

Table 4- Interaction between mean effect of dryness stress and Festoka grass variety

تیمار های آبیاری Irrigation treatments	نوع چمن Variety of grass ASTERIX	TALLADEGA	میانگین
	(RWC) محتوای آب نسبی برگ (درصد) Relative leaf water content(Percentage)		
100% (W1)	55.25 ^{b}	53.25 ^{b}	54.25 ^{A}
75% (W2)	68.16 ^{a}	60.5 ^{b}	64.33 ^{A}
50% (W3)	45.85 ^{ab}	44.23 ^{ab}	45.04 ^{A}
	بهره وری آب Water productivity		
100% (W1)	5.5 ^{a}	4.34 ^{a}	4.94 ^{A}
75% (W2)	5.34 ^{a}	4.53 ^{ab}	4.93 ^{A}
50% (W3)	5.94 ^{a}	4.95 ^{ab}	5.44 ^{A}
	کیفیت ظاهری ۱۰ روز اول Appearance quality of the first 10 days		
100% (W1)	6 ^{a}	5.66 ^{a}	5.83 ^{A}
75% (W2)	6.1 ^{a}	5.85 ^{a}	5.97 ^{A}
50% (W3)	6.33 ^{a}	6.1 ^{a}	6.2 ^{A}
	کیفیت ظاهری ۱۰ روز دوم Appearance quality of the second 10 days		
100% (W1)	7 ^{a}	7 ^{a}	7 ^{A}
75% (W2)	8 ^{a}	8 ^{a}	8 ^{A}
50% (W3)	6 ^{a}	6 ^{a}	6 ^{a}
	سرعت رشد ۱۰ روز اول (سانتی متر بر روز) Growth rate of the first 10 days (cm/day)		
100% (W1)	0.83 ^{a}	0.63 ^{b}	0.73 ^{A}
75% (W2)	1.16 ^{a}	0.93 ^{b}	1.04 ^{A}
50% (W3)	0.74 ^{a}	0.5 ^{b}	0.62 ^{A}
	سرعت رشد ۱۰ روز دوم (سانتی متر بر روز) Growth rate of the 10 second days (cm/day)		
100% (W1)	0.86^{a}	0.65^{a}	0.75^{A}
75% (W2)	1.46^{bc}	0.95^{bc}	1.2^{B}
50% (W3)	0.84^{b}	0.5^{c}	0.67^{A}
	سرعت رشد ۱۰ روز سوم (سانتی متر بر روز) Growth rate of the third 10 days (cm/day)		
100% (W1)	0.8^{a}	0.7^{a}	0.75^{A}
75% (W2)	0.9^{bc}	0.66^{a}	0.78^{A}
50% (W3)	0.56^{a}	0.4^{a}	0.48^{A}

*میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک می‌باشند از لحاظ آماری، طبق آزمون دانکن در سطح ٪۵ اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means that have same letter are not statistically significant at 5% level of probability according to Duncan test.

جدول ۵- میزان آب آبیاری هر گلدان

Table 5- Irrigation rate of each flowerpot

ماه Month	W3(50 %)	W2(75 %) (لیتر) (L)	W1(100 %)
اردیبهشت May	30	30	30
خرداد June	35	35	35
تیر July	17.5	26	35
جمع Summation	82.5	91	100

برهمکنش خشکی و جنس بر سرعت رشد برگ

سرعت رشد برگ در طی دوره تنش (یک ماهه) به صورت سه دوره ده روزه (مرداد ماه) اندازه‌گیری شد. نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اثر بر هم کنش تنش آبی و دو رقم چمن بر روی سرعت رشد برگ در طول ده روز اول معنی‌دار نبود در ده روز دوم در هر دو چمن آستریکس و تالادگا تاثیر تنش آبی معنی‌دار بود و سرعت رشد در تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری با آبیاری کامل داشت. در ده سوم تاثیر تنش آبی در چمن آستریکس معنی‌دار بود ولی این تاثیر در چمن تالادگا معنی‌دار نگردید. به طور کلی سرعت رشد در هر سه دهه در تنش خشکی ۷۵٪ (w_2) حداکثر بود که بیانگر بالا بودن فتوسنتز گیاه در این تنش می‌باشد. البته تفاوت سرعت رشد در ۵۰ ٪ و ۷۵ ٪ با آبیاری کامل به استثنا چمن آستریکس در دهه سوم معنی‌دار نبود و در نتیجه می‌توان از تنش ۵۰٪ آبیاری کامل استفاده کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کم آبیاری می‌تواند بدون اینکه باعث کاهش کیفیت سبز فرش گردد، موجب افزایش کارایی مصرف آب شود. با مصرف آب کمتر (نصف آبیاری کامل) کیفیت ظاهری چمن به خوبی حفظ خواهد شد. محتوای آب نسبی برگ در صورت پیشرفت تنش خشکی کاهش یافت و سبب تغییرهایی در غشای سلولی و در نتیجه افزایش نشت الکترولیتی از سلول می‌شود. البته با توجه به اینکه تنش خشکی باعث کاهش کیفیت ظاهری چمن نشده است، کاهش محتوای آب نسبی برگ تاثیری روی کیفیت ظاهری چمن نگذاشته است. به طور کلی سرعت رشد در هر سه دهه در تنش خشکی ۷۵٪ (w_2) حداکثر بود که بیانگر بالا بودن فتوسنتز گیاه در این تنش می‌باشد.

منابع

1- Ademi pour N., and Salehi H. 2011. Investigation of the interaction of irrigation cycle and bright on the morphological and physiological indices of green cover chayer and high chamanvash and their seeds mixture. master of science dissertation. Agricultural College. University of Shiraz. (In Persian with English abstract)

2- Amiri Nasab K., Ghasemnezhad M., Zakizadeh H., and Biglouei M.H. 2013. The Aplication of drought pre-conditioning is a method to increase deficit irrigation tolerance in two turfgrass species, tall fescue (*Festuca arundinacea*) and creeping bentgrass (*Agrostis stolonifera*). Plant Physiology and Biochemistry, 47(2): 132-138. (In Persian with English abstract)

3- Domiri Ganji H., Babai S., Mataji A., and Rashidi F. 2010. Evaluation of green space changes in Tehran Region 2 using aerial photographs and satellite data. Magazine of Natural Resources Science and Technology 5(2): 13-24. (In Persian with English abstract)

4- Hedayat Nejad R., and Kafi M. 2008. Effect of bed heating and irrigation methods (sprinkler, Subsurface drop) on the quantitative and qualitative characteristics of sports grass. Master of Science dissertation. Horticulture and plant protection college. University of Karaj.

5- Manochehri R. 2012. The interaction effects of salinity steress and water shortage on morph physiological indices of tall chamanvash and chayer. master of science dissertation. Agricultural College. University of Shiraz. (In Persian with English abstract)

6- Manuchehri R., and Salehi H. 2014. Physiological and biochemical changes of common bermudagrass (*Cynodon dactylon* [L.] Pers.) under combined salinity and deficit irrigation stresses. South African Journal of Botany 92: 83-88.

7- Nuri K., and Kafi M. 2015. Study of the effects of recycled water drain fields grass and football and dryness stress on grass growth indices of *Lolium perenne* L.CV. (Grassland). Master of Science dissertation. Horticulture and

Green Space college. University of Karaj. (In Persian with English abstract)
8- Parvanak Brujeni K. 2014. Modern irrigation methods step for optimum management of green space irrigation. Islamic azad university,unit Rey city, Department of agrology.
9- Pir Njmedin F., Majidi M.M., and Keyani R. 2013. Reaction of root system characteristics and fanction of genotypes tall festuca (*Festuca arundinacea*) in conditions of moisture stress, Plant process and function, Volume 2, 3.2(5): 41-48. (In Persian with English abstract)
10- Rezaie Myandashti A., and Ghaemi A.A. 2015. The effect of different water stresses on water productivity and morphphysiological factors of tall chamanvash under automatic (pop-up) Sprinkler and traditional surface irrigation systems. master of science dissertation. Agricultural college. University of Shiraz. (In Persian with English abstract)
11- Riaz A., Younis A., Hameed M., and Kiran S. 2010. Morphological and biochemical responses of turf grasses to water deficit conditions. Pakistan Journal of Botany 42(5): 3441-3448.
12- Richardson M., Karcher D., and Mccalla J. 2010. Drought toleranceof 15 Bermudagrass cultivars. Arkansas Turfgrass Report, Arkansas Agricultural Experiment Research Service 579: 112-115.
13- Samei Zafarghandi A., and Kafi M. 2015. Comparison of irrigation systems (Subsurface, sprinkler, combinational) and its effect on the growth characteristics of sports grass. master of science dissertation. Horticulture and Green Space college. University of Karaj. (In Persian with English abstract)
14- Veysipour A., Majidi M.M., and Mirluhi A.F. 2013. Investigatio of physiological characteristics in response to dryness stress in several variety sainfoin agricultural (*Onobrychis viciifolia*). Journal of Genetic Scientific-Research and Reformation of Rangeland and Forest Plants of Iran, 21(2): 87-102. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 227-236

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۳۶-۲۲۷

Investigation of the Effect Dryness Stress and Deficit Irrigation on Water Use Efficiency and Morphophysiological Factors in Two Festuca Grass Varieties

M. Emadi[1]- M. Noshadi[2*]- A.A. Ghaemi[3]

Received: 29-12-2020
Accepted: 14-02-2021

Introduction: According to expantion of urbanization, it is necessary to create green space as the most important environmental factor in moderate cities. However in recent decades, shortage of water resources is one of the problems facing the expansion of green space especially grass type. Therefore, the application of management methods such as deficit irrigation is very important. Development of green space requires sufficient water supply and according to the climatic conditions of our country, finding alternative methods and resources for effective irrigation and utilizing all available capacities is one of the main goals of municipalities and water organizations.

Materials and Methods: This research was performed in a greenhouse with an area of 120 square meters located in the college of Agriculture of Shiraz university with longitude $52^{0}32^{'}$, latitude $29^{0}36^{'}$,1810 height above sea level, and in flower pots with dimensions of 30 * 30*30 in order to investigate the effect of water stress in the traditional irrigation method on morpho-physiological factors and water productivity in two variety long grass. The research was in the form of split plots based on a random full canton with three replication and three levels (%100 per) (w_1), (%75 per) (w_2), (%50 per)(w_3) of water requirement. The grass used in this design is Festuca, arundinacea Schreb with two variety named Asterix and Talladega which are considered as cold grasses and has a root depth of 15-20 cm. The first 3 cm of sand (to create drain conditions) was placed in the bottom of the flower pot, and then 24 cm of soil was poured on it and compacted until it reached the required density. On April 10, two variety of grass seeds were poured manually on the pots (10 grams of seeds per pot). Then, 100 gr of rotten and screened animal dung was poured on the seeds in each flower pot and irrigated with a hose by a traditional (manual) system. Early cultivation was done manually due to the application of more water and the establishment of grass. In this way, every day for a week, two to three times irrigation and after the seeds germinate (10 days after cultivation), once-daily irrigation and until the seeds germinate completely (20 days after cultivation), the irrigation period was once between 7 until 15 days, and then water stress was imposed. The first grass mowing was done after the grass was completely established (30 days after cultivation). Also, in order to compensate for the shortage of nutrients in the soil after two months (July) 6 gr /m^2 of urea fertilizer (0.54 gr/ m^2 to each flower pot) was applied. The onset of stress was two months after cultivation (July 10), and the duration of stress was 45 days. To determine the water requirement a separate flowerpot among the other flowerpots was located, and provide the moisture to FC level. Every other day, the water lost by this flower pot compared to the initial weight (FC), the same amount of water was given to the flowerpots with 20% more as for the leaching requirement.

Results and Discussion: Analysis of experimental data was performed by SAS 9.4 statistical software, and Duncan's multiple range experiments at 5% level were used to compare the means, at the level of 5% probability. Results and data analysis was investigated under water stress in two varieties.

Dryness stress and water use efficiency: Water productivity in both varieties of grass and in different irrigation treatments did not change significantly at 95%. So decline in the amount of irrigation water has not affected water productivity.

Interaction of dryness and grass quality: The results showed that water stress and the interaction of water stress and grass variety on the appearance quality of grass were not significantly different at 95% and in the second ten days of August, the appearance quality was more desirable than in the first half.

Interaction of dryness and relative leaf water content of leaf: The relative water content of the leaf was weekly measured during the stress period. The results of comparing the mean relative water content (RWC) of leaf under water stress in two types of Festuca grass showed that the effect of water stress interaction was

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate Professor of Water Engineering Department, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, respectively.
(*- Corresponding Author Email: noshadi@shirazu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.2021.67723.1002

significant in Asterix grass variety on the relative water content of leaf at 95% level. The relative water content of the leaves is a good index of the water situation of the leaves, and its reduction in the leaves causes wilting and reduces the freshness and appearance quality of the grass and reducing the relative water content of the leaf has not affected the appearance quality of the grass.

Interaction of dryness and leaf growth rate: The leaf growth rate was measured during the stress period (monthly) in three ten-day periods (August). The results of comparing the means showed that the effect of water stress interaction and two variety of grasses on leaf growth rate was not significant during the first ten days. In the second ten days, the effect of water stress was significant in both Asterix and Talladega grass and growth rate in irrigation treatments of 75 and 50% (percentage) of full irrigation was significantly different from full irrigation.

Conclusion: The results of this study showed that deficit irrigation could increase water use efficiency without reducing the quality of green cover. With less water consumption (half full irrigation), the appearance quality of the grass will be well maintained. The relative water content of the leaf decreased as dryness stress progresses and causing changes in the cell membrane and thus increasing electrolyte permeation from the cell. Considering that dryness stress has not reduced the appearance quality of the grass, reducing the relative water content of the leaf has not affected the appearance quality of the grass. Generally, the growth rate in all three decades was maximum in dryness stress 75% (percentage), which indicates the high photosynthesis of the plant in this stress.

Keywords: Appearance quality, Irrigation deficit, Festuca, Water productivity, Water stress

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 237-250

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۵۰-۲۳۷

مقاله پژوهشی

تأثیر بازدارنده نیترات‌سازی ۳ و٤ دی متیل پیرازول فسفات بر کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج

محبوبه قیطاسی[۱]- شهرام کیانی[۲]*- علیرضا حسین‌پور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵

چکیده

مصرف زیاد کودهای نیتروژن‌دار در کشت سبزی‌ها برای دستیابی به عملکرد بهینه ضروری است. استفاده از بازدارنده‌های نیترات‌سازی می‌تواند در افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کاهش میزان کود مصرفی موثر باشد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی ۳ و۴ دی متیل پیرازول فسفات (DMPP) بر کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل نوع کود نیتروژن، نوع خاک و نوع واریته در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. کودهای نیتروژن شامل اوره، سولفات نیترات آمونیوم با و بدون بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بودند که به همراه تیمار شاهد (عدم کاربرد نیتروژن) در سه خاک با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت مورد استفاده قرار گفتند. همچنین واریته‌های مورد استفاده شامل یک واریته برگ صاف (*گیانت سانتوس*) و یک واریته برگ چروک (*وایکینگ*) بودند. نتایج نشان داد کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی اسفناج در خاک‌های شماره ۱ و ۲ و همچنین کارایی زراعی و فیزیولوژیک نیتروژن در مقایسه با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم شد. دلیل این مسئله را می‌توان به کاهش رشد اسفناج به دلیل عدم همخوانی فراهمی نیترات خاک با نیاز اسفناج به نیتروژن در نتیجه تعویق روند اکسایش آمونیوم به نیترات نسبت داد. بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در خاک شماره ۲ (لوم) مشاهده شد و واریته *گیانت سانتوس* در مقایسه با *وایکینگ* کارایی بیشتری در استفاده ار نیتروژن داشت. براساس نتایج این پژوهش، استفاده از سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در کشت اسفناج در خاک‌های مشابه شرایط این تحقیق قابل توصیه نیست، اگرچه کاربرد آن در بهبود ظاهر کیفی آن (رنگ سبز تیره) موثر است. همچنین با توجه به نبود تفاوت معنی‌دار بین اوره و سولفات نیترات آمونیوم از نظر شاخص‌های مورد بررسی، کاربرد هر دو کود برای تولید اسفناج در شرایط مشابه این پژوهش قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: اوره، جذب نیتروژن، سولفات نیترات آمونیوم، کیفیت

مقدمه

اسفناج (*Spinacia oleracea* L.) به گروهی از سبزی‌های برگی تعلق دارد که دارای دوره رشد کوتاه و سرعت رشد بالا است. برگ‌های سبز آن به صورت بخارپز، سرخ شده و یا به صورت خام در اوایل دوره رشد مصرف می‌شود. اسفناج حاوی مقادیر قابل توجهی ویتامین A، B، C و همچنین عناصر معدنی است (۲۰). مصرف فراوان کودهای نیتروژنه در تولید سبزی‌ها برای دستیابی به عملکرد بهینه ضروری است (۳۴). کاربرد مقادیر زیاد نیتروژن در کشت‌های مکرر، دوره رشد کوتاه و سیستم ریشه کم‌عمق (۳) و پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن (۷) چالش‌های مدیریت مصرف نیتروژن را در سبزی‌ها تشدید می‌کند. به طور کلی بازیافت نیتروژن در مزارع زیر کشت سبزیها کم است. کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج کمتر از ۲۰ درصد (۴۴)، در کاهو ۱۲ درصد (۳۹) و در فلفل قلمی تنها ۱۰ درصد (۳۸) است. بنابراین افزایش کارایی مصرف کودهای نیتروژن یکی از چالش‌های کشاورزی مدرن امروزی است که از گذشته نیز به آن توجه ویژه‌ای شده است. براساس برآوردهای انجام شده افزایش کارایی مصرف نیتروژن تنها به میزان ۲ درصد بیش از ۲/۵ میلیارد دلار به اقتصاد جهانی کمک می‌کند (۲۱).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: Email: shkiani2002@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.2021.14929.0

بازدارنده‌های نیترات‌سازی ترکیب‌هایی هستند که اکسایش زیستی یون آمونیوم (NH_4^+) به نیتریت (NO_2^-) را به‌واسطه کاهش فعالیت باکتری *نیتروزموناس* به تأخیر انداخته (۳۲) و منجر به نگهداری نیتروژن به شکلی با تحرک کمتر (آمونیوم) می‌گردند. یکی از بازدارنده‌های نیترات‌سازی ترکیب ۳ و ۴- دی متیل پیرازول فسفات[1] (DMPP) است که توسط شرکت باسف آلمان تولید شده است (۴۶). مطالعات متعددی در مورد اثرات مثبت این بازدارنده بر کاهش هدررفت نیتروژن (نیترات و آمونیوم) در خاک و زه‌آب (۸، ۲۲، ۳۵ و ۴۵)، تغذیه مطلوب نیتروژن گیاه (۲۸) و افزایش تولید محصول (۵، ۱۵، ۱۹، ۲۰ و ۳۵) انجام شده است. مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد بازدارنده DMPP نه تنها عملکرد محصول را در گندم، جو و ذرت افزایش داده بلکه در هویج و کاهو نیز عملکرد محصول قابل فروش را در مقایسه با تیمار مشابه اما بدون بازدارنده افزایش داده است (۳۲). این تأثیر احتمالا در نتیجه افزایش ذخیره نیتروژن معدنی (آمونیوم و نیترات) خاک، نگهداری نیتروژن خاک به شکل آمونیوم (۴۶) و در نتیجه تغذیه بهتر نیتروژن گیاه (۲۸) است.

تحقیقات انجام شده در مورد تأثیر بادارنده‌های نیترات‌سازی بر کارایی مصرف نیتروژن متفاوت است. در برخی از پژوهش‌های انجام شده کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن شده است (۹، ۱۰، ۳۲، ۳۳، ۳۷ و ۴۱). در این زمینه دوما و همکاران (۹) عنوان کردند مصرف بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به افزایش کارایی مصرف نیتروژن در گندم پاییزه و پنبه در یونان شد. همچنین شارما و کومار (۴۱) مشاهده کردند کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی دی سیانو دی آمید منجر به کاهش میزان کود نیتروژن مصرفی و افزایش جذب نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن در گندم گردید. نتایج تحقیقات رکو و بلو (۳۷) نیز نشان داد کاربرد کود سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به افزایش وزن خشک، نگهداشت نیتروژن خاک به مقدار بیشتر و افزایش کارایی مصرف کود نیتروژن در کلم بروکلی و چاودار شد. اما همیشه کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی کارایی مصرف نیتروژن را افزایش نداده است (۸ و ۱۴). به عنوان مثال دیزلوپز و همکاران (۸) عنوان کردند که کاربرد اوره به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بر کارایی مصرف نیتروژن در ذرت موثر نبوده است. هوئرفانو و همکاران (۱۴) نیز گزارش کردند که کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در مقایسه با کاربرد همین کود اما بدون بازدارنده تاثیر معنی‌داری بر وزن تر و خشک، کارایی مصرف نیتروژن و مقدار نیتروژن برگ در کاهو نداشته است. در برخی از پژوهش‌ها نیز کاربرد بازدارنده نیترات سازی منجر به کاهش کارایی مصرف نیتروژن شده است. به عنوان مثال کانالی و همکاران (۴) گزارش نمودند که کاربرد اوره به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در مقایسه با اوره به تنهایی منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اسفناج، جذب نیتروژن، کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن گردید.

پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که کارایی بازدارنده‌های نیترات‌سازی به شرایط آب و هوایی مانند دما و رطوبت (۳۲)، ویژگی های خاک از قبیل بافت، اسیدیته، درصد ماده آلی (۱) و احتمالا نوع گیاه کشت شده (۴۶) بستگی دارد. بنابراین انجام تحقیقات بیشتر برای تصمیم‌گیری در مورد مصرف کودهای حاوی بازدارنده‌های نیترات‌سازی در خاک‌های مختلف ضروری است (۱). بنابراین با توجه به موارد فوق، در تحقیق حاضر سعی گردید تا تاثیر استفاده از بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بر کارایی مصرف نیتروژن در دو واریته اسفناج در سه نوع خاک مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به صورت یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه عامل نوع کود نیتروژن، نوع خاک و نوع واریته گیاه اسفناج در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد انجام شد. کودهای نیتروژن شامل اوره (حاوی ۴۶ درصد نیتروژن)، سولفات نیترات آمونیوم (حاوی ۲۴ درصد نیتروژن: ۲۰/۸ درصد به شکل آمونیوم و ۳/۲ درصد به شکل نیترات ($(NH_4)_3SO_4NO_3$)) و سولفات نیترات آمونیوم با بازدارنده نیترات‌سازی DMPP (حاوی ۰/۸ درصد وزنی/وزنی DMPP) بودند. با توجه به کمبود ماده آلی در خاک‌های مورد مطالعه و جلوگیری از خطر احتمالی بروز سمیت آمونیوم و کاهش رشد اسفناج به خصوص در مرحله استقرار گیاه، ترجیح داده شد از کودی استفاده شود که علاوه بر آمونیوم حاوی مقدار اندکی نیترات باشد تا بتواند نیتروژن مورد نیاز گیاه را به خصوص در مراحل اولیه رشد تامین کند. یک تیمار بدون کاربرد نیتروژن نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. کودهای سولفات نیترات آمونیوم و سولفات نیترات آمونیوم با بازدارنده نیترات‌سازی DMPP از شرکت بازارگان کالا تهیه شدند. سه نوع خاک با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت شامل خاک شماره ۱ (شن لومی)، شماره ۲ (لوم) و شماره ۳ (رس سیلتی) به عنوان عامل خاک استفاده شد. واریته‌های مورد استفاده شامل یک واریته برگ صاف (*گیانت سانتوس*[2]) و یک واریته برگ چروک (*وایکینگ*[3]) بودند. میزان نیتروژن مصرفی در تمام تیمارهای آزمایشی ثابت و برابر ۱۵۰ میلی‌گرم نیتروژن بر کیلوگرم

1- 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate

2- *Giant Santos*

3- *Viking*

خاک بود که به منظور جلوگیری از هدررفت آن در اثر فرآیندهای کاهشی در دو تقسیط مساوی یک روز قبل از کشت و یکماه پس از کشت (۱۳) مصرف شد.

سه نمونه خاک از مناطق اطراف شهرکرد از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آنها از قبیل بافت به روش هیدرومتر (۱۱)، pH در سوسپانسیون ۱ به ۲ خاک به آب مقطر توسط دستگاه pH متر (۴۳)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱ به ۲ خاک به آب مقطر توسط دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی (۳۶)، درصد کربنات کلسیم معادل به روش خنثی کردن کربنات کلسیم با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود (۲۴) و درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (۳۰) اندازه‌گیری شدند. مقادیر نیترات و آمونیوم (محلول و تبادلی) پس از عصاره‌گیری با سولفات پتاسیم به ترتیب با روش‌های سولفوسالیسیلیک اسید و سالیسیلات- نیتروپروساید با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شدند (۲۹). میزان فسفر قابل دسترس پس از عصاره‌گیری با بی‌کربنات سدیم (۳۱) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان پتاسیم قابل دسترس پس از عصاره-گیری با استات آمونیوم (۱۸) توسط دستگاه فلیم فتومتر، آهن، منگنز، مس و روی قابل دسترس پس از عصاره‌گیری با DTPA-TEA (۲۳) با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. پس از تهیه خاک‌ها و برای جلوگیری از بروز کمبود عناصر غذایی به غیر از نیتروژن نسبت به مصرف کودهای شیمیایی مورد نیاز اسفناج اقدام شد. غلظت عناصر غذایی مورد استفاده برای هر سه نوع خاک (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک خشک) به این شرح بودند: فسفر ۱۰۰ (از منبع سوپر فسفات تریپل)، آهن ۵ (از منبع سکوسترین ۱۳۸ آهن)، روی ۱۵ (از منبع سولفات روی)، منگنز ۵ (از منبع سولفات منگنز) و مس ۲/۵ (از منبع سولفات مس). این کودها به همراه مرحله اول تقسیط نیتروژن یک روز قبل از کشت اسفناج به کار برده شدند. همچنین برای خاک شماره ۱ (شن لومی) ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) نیز استفاده شد. نمونه‌های خاک به درون گلدان‌های پلاستیکی به میزان هفت کیلوگرم ریخته شد و به داخل گلخانه منتقل شدند. سپس در هر گلدان ۱۲ عدد بذر اسفناج کاشته شد که پس از مرحله استقرار پنج بوته حذف شد. سپس مراقبت‌های زراعی معمول در حین دوره داشت (به مدت ۹ هفته) در گلخانه تا زمان برداشت صورت گرفت. مقدار و زمان آبیاری با آب چاه بر مبنای تامین رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و به روش وزنی تعیین شد. برای جلوگیری از هدررفت نیتروژن از طریق آبشویی برای گلدان‌ها، زیرگلدانی گذاشته و زهآب حاصله به گلدان‌ها برگردانده شد. در فاصله زمانی یک هفته قبل از برداشت، شاخص میزان کلروفیل برگ با دستگاه کلروفیل‌سنج (Hansatech, Model: CL-01) اندازه‌گیری شد. بدین منظور برای هر گلدان آزمایشی ۱۰ قرائت از برگ‌های مختلف انجام شد و سپس میانگین آنها به عنوان شاخص میزان کلروفیل برگ آن گلدان درنظر گرفته شد. در پایان آزمایش گیاهان اسفناج برداشت شده و به مدت ۷۲ ساعت در آون فن‌دار در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شده و وزن خشک آنها توسط ترازوی رقومی اندازه‌گیری شد. گیاهان با استفاده از آسیاب برقی خرد شده و غلظت نیتروژن در آنها با استفاده از روش کلدال اندازه‌گیری شد (۱۶). جذب نیتروژن اندام هوایی اسفناج از حاصل‌ضرب غلظت نیتروژن در وزن خشک نمونه‌ها محاسبه شد. شاخص‌های کارایی مصرف نیتروژن شامل کارایی زراعی[۱]، کارایی بازیافت[۲] و کارایی فیزیولوژیک[۳] با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ محاسبه شدند (۲۱).

$$AE_N = (Y_T - Y_0)/F_N \quad (۱)$$

در این رابطه: AE_N معادل کارایی زراعی نیتروژن بر حسب گرم ماده خشک تولیدی بر گرم نیتروژن مصرفی، Y_T مساوی وزن خشک اندام هوایی در تیمار دارای نیتروژن کودی، Y_0 نماینده وزن خشک اندام هوایی در تیمار شاهد (بدون مصرف نیتروژن) و F_N نشان‌دهنده میزان نیتروژن مصرفی است.

$$RE_N = (U_T - U_0)/F_N \quad (۲)$$

در این رابطه: RE_N نشان‌دهنده کارایی بازیافت نیتروژن بر حسب گرم بر ۱۰۰ گرم، U_T نماینده جذب نیتروژن توسط اندام هوایی در تیمار دارای نیتروژن کودی، U_0 مساوی جذب نیتروژن توسط اندام هوایی در تیمار شاهد (بدون مصرف نیتروژن) و F_N معادل میزان نیتروژن مصرفی است.

$$PE_N = (Y_T - Y_0)/(U_T - U_0) \quad (۳)$$

در در این رابطه PE_N نشان‌دهنده کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بر حسب گرم ماده خشک تولیدی بر میلی‌گرم نیتروژن جذب شده بوده و سایر پارامترها مشابه روابط ذکر شده قبلی هستند. نتایج حاصل توسط نرم افزار آماری SAS (نسخه ۸/۰۲) تجزیه و تحلیل شد و برای مقایسه و کلاسه‌بندی میانگین‌ها آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار فیشر (LSD) با سطح احتمال ۵٪ به‌کار گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد آزمایش نشان داد که خاک‌های مورد مطالعه دارای مشکل شوری نبوده و pH آنها به دلیل وجود کربنات کلسیم معادل بیشتر از هفت بود. همچنین درصد ماده آلی در خاک‌های مورد بررسی بسیار کم بود که این مسئله احتمالا منجر به پاسخ مثبت گیاه اسفناج نسبت به کاربرد نیتروژن می‌شود. نتایج حاصل حاکی از برتری مقدار قابل استفاده عناصر

1- Agronomic Efficiency
2- Recovery Efficiency
3- Physiological Efficiency

غذایی در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) نسبت به خاک شماره ۲ (لوم) و در خاک شماره ۲ نسبت به خاک شماره ۱ (شن لومی) است (جدول ۱). بنابراین به‌نظر می‌رسد خاک‌های شماره ۳ و ۲ نسبت به خاک شماره ۱ توانایی بیشتری در عرضه متناسب و متعادل عناصر غذایی به گیاه داشته باشند.

جذب نیتروژن اندام هوایی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر نوع کود نیتروژن، نوع خاک، نوع واریته و برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع خاک بر جذب نیتروژن اندام هوایی در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد در حالی که برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع واریته در سطح ۵ درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه
Table 1- Some physical and chemical properties of studied soils

شماره خاک Soil number	$pH_{1:2}$	قابلیت هدایت الکتریکی $EC_{1:2}$ (dS m^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent (%)	آمونیوم Ammonium (mg kg^{-1})	نیترات Nitrate (mg kg^{-1})	بافت خاک Textural class
1	7.9	0.14	0.26	28.5	3.7	0.5	Loamy Sand
2	7.9	0.23	0.30	29.0	9.9	1.5	Loam
3	8.0	0.31	0.35	36.2	13.6	4.6	Silty Clay

شماره خاک Soil number	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
	Available (mg kg^{-1})					
1	6.3	119.5	7.0	5.0	0.17	0.36
2	13.0	604.4	5.6	9.0	0.43	0.85
3	14.5	776.7	5.3	10.3	0.61	0.84

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تیمارها بر جذب نیتروژن اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی و شاخص میزان کلروفیل برگ اسفناج
Table 2- Variance analysis (mean square) of the treatments effects on shoot nitrogen uptake, shoot dry weight and leaf chlorophyll content index of spinach

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	جذب نیتروژن اندام هوایی Shoot nitrogen uptake	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	شاخص میزان کلروفیل برگ Leaf chlorophyll content index
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3	790232.65**	1030.10**	79.83.63**
نوع خاک Soil type	2	188425.50**	349.89**	93.31*
واریته اسفناج Spinach variety	1	68404.26**	176.09**	3.99ns
کود نیتروژن × نوع خاک Nitrogen fertilizer × soil type	6	13265.70**	19.69**	288.92**
کود نیتروژن × واریته اسفناج Nitrogen fertilizer × spinach variety	3	8138.01*	22.32**	27.45ns
نوع خاک × واریته اسفناج Soil type × spinach variety	2	642.74ns	3.70ns	41.33ns
کود نیتروژن × نوع خاک × واریته اسفناج Nitrogen fertilizer × soil type × spinach variety	6	1515.81ns	3.12ns	44.66ns
خطا Error	48	2350.12	3.56	34.06

ns غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ** معنی‌دار در سطح ۱٪

ns Non significant, * significant at 5%, ** significant at 1%

بر اساس نتایج، منابع مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر جذب نیتروژن اندام هوایی در خاک‌های شماره ۱ و ۳ داشتند. به طوری‌که در خاک شماره ۳ کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP باعث افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن اندام هوایی در مقایسه با کاربرد تیمار مشابه اما فاقد بازدارنده و همچنین تیمار شاهد گردید (جدول ۳). افزایش جذب نیتروژن اندام هوایی در نتیجه مصرف سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP را احتمالا می‌توان به جذب ترجیحی آمونیوم در مقایسه با نیترات (۶)، افزایش نگهداشت آمونیوم در خاک‌های تیمار شده با بازدارنده نیترات‌سازی (۴۰) و اثر هم‌افزایی (سینرژیسم) بین آمونیوم و نیترات (۲۶) نسبت داد. افزایش جذب نیتروژن با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم همراه با بازدارنده نیترات‌سازی در خاک شماره ۳ در مطابقت با تحقیقات انجام شده در گندم (۶، ۱۷ و ۴۱)، چاودار (۱۰)، مرکبات (۴۰) و توت فرنگی (۲۸) بود. نتایج نشان داد در خاک شماره ۱، کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP باعث کاهش معنی‌دار جذب نیتروژن اندام هوایی در مقایسه با کاربرد تیمار مشابه اما فاقد بازدارنده شد (جدول ۳) که دلیل این مسئله کاهش وزن خشک اندام هوایی اسفناج بود. در این میان نبود تفاوت معنی‌دار بین دو کود اوره و سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی در کلیه خاک‌های مورد بررسی از نظر جذب نیتروژن اندام هوایی را احتمالا می‌توان به تامین مقدار یکسان نیتروژن توسط این دو کود برای اسفناج نسبت داد. بر مبنای نتایج حاصل، اسفناج رشد کرده در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) در تیمار فاقد کود نیتروژن نسبت به خاک شماره ۲ (لوم) و شماره ۱ (شن لومی) دارای جذب نیتروژن بیشتری توسط اندام هوایی بودند (جدول ۳). حاصلخیزی بیشتر خاکهای رسی سیلتی و توانایی بهتر آنها در تامین عناصر غذایی (۲۵) از جمله دلایل جذب بهتر نیتروژن توسط اندام هوایی اسفناج در مقایسه با خاک لوم می‌باشد.

نتایج مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع واریته اسفناج نشان داد در هر دو واریته، کاربرد منابع مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر جذب نیتروژن اندام هوایی نداشت (جدول ۴). در این میان جذب نیتروژن اندام هوایی در واریته *گیانت سانتوس* به طور معنی‌داری بیشتر از واریته *وایکینگ* بود. به طور کلی توانایی ارقام گیاهی در جذب عناصر غذایی به ویژگی‌های ژنتیکی آنها مربوط بوده که این امر منجر به ایجاد اختلاف در بین ارقام گیاهی از لحاظ جذب عناصر غذایی می‌شود (۲۶).

جدول ۳- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع خاک بر جذب نیتروژن اندام هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر گلدان)

Table 3- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and soil types on shoot nitrogen uptake (mg pot^{-1}) of spinach

شماره خاک Soil number	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
1	52.66^{f}	386.61^{cd}	441.30^{c}	356.46^{d}	309.26^{C}
2	56.43^{f}	535.65^{b}	544.84^{b}	540.88^{b}	419.45^{B}
3	161.75^{e}	581.59^{ab}	565.51^{b}	629.35^{a}	484.55^{A}
میانگین (Mean)	90.28^{B}	501.28^{A}	517.21^{A}	508.89^{A}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

جدول ٤- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع واریته بر جذب نیتروژن اندام هوایی اسفناج (میلی‌گرم بر گلدان)

Table 4- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and variety types on shoot nitrogen uptake (mg pot^{-1}) of spinach

واریته اسفناج (Spinach variety)	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
گیانت سانتوس *Giant Santos*	94.06^{c}	544.03^{a}	558.70^{a}	534.17^{a}	435.24^{A}
وایکینگ *Viking*	86.50^{c}	448.54^{b}	475.73^{b}	483.62^{b}	373.59^{B}
میانگین (Mean)	90.28^{B}	501.28^{A}	517.21^{A}	508.89^{A}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter (small letters) are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

وزن خشک اسفناج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تاثیر نوع کود نیتروژن، نوع خاک، نوع واریته، برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع خاک و برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع واریته بر وزن خشک اسفناج در سطح یک درصد آماری معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج نشان داد در خاک‌های شماره ۱ و ۲ کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اسفناج در مقایسه با سولفات نیترات آمونیوم گردید، در حالی که تفاوت معنی‌داری با اوره نشان نداد (جدول ۵). این کاهش می‌تواند به دلایل مختلفی باشد. کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP با تعویق روند تبدیل آمونیوم به نیترات می‌تواند در افزایش قابل توجه آمونیوم خاک و تاثیر منفی آن بر رشد اسفناج موثر باشد. تجمع آمونیوم آزاد در بافت گیاهی با توقف فرایندهای سوخت و ساز از قبیل فتوسنتز می‌تواند منجر به کاهش رشد گیاه شود (۲۶). در مطابقت با این دلیل پاسدا و همکاران (۳۲) عنوان کردند با کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP تنها بخش کمی از کود آمونیومی در طول دوره رشد اسفناج به نیترات تبدیل شده و بنابراین گیاهان عمده نیتروژن خود را به شکل آمونیوم (به جای نیترات) جذب کرده‌اند. از طرف دیگر جذب بیش از حد آمونیوم توسط گیاه ممکن است باعث کاهش pH ریزوسفر شده و مانع از جذب کاتیونهایی مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم که برای رشد گیاه ضروری هستند (۲۶) شود. همچنین، کانالی و همکاران (۴) در خصوص کاهش رشد اسفناج با کاربرد بازدارنده DMPP عنوان کردند که استفاده از بازدارنده نیترات سازی به طور موثری فرایند نیترات‌سازی آمونیوم حاصل از اوره را تحت تاثیر قرار داده و احتمالا فراهمی نیترات خاک با نیاز اسفناج به نیتروژن همخوانی نداشته است. آنها عنوان کردند کاربرد اوره به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در مقایسه با اوره به تنهایی منجر به کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک اسفناج شد. تأثیر منفی کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی بر عملکرد اسفناج در تحقیقات پاسدا و همکاران (۳۲) نیز مشاهده شده که در مطابقت با نتایج این تحقیق است.

از طرفی، کاهش عملکرد اسفناج با کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در خاک‌های شماره ۱ و ۲ برخلاف یافته‌های کرزل و کولوتا (۲۰) است. آنها بیشترین عملکرد محصول قابل فروش اسفناج را با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP گزارش کردند. همچنین کاسار و همکاران (۵) عنوان کردند کاربرد یکباره کود نیتروژن (۷۰ درصد به صورت آمونیوم و ۳۰ درصد به صورت نیترات) به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در مقایسه با عرف کوددهی منطقه مورد آزمایش (۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در دو تقسیط) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اسفناج شد. در مطابقت با این امر کولوتا و همکاران (۱۹) عنوان کردند کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منبع خوبی برای تامین نیتروژن در مقایسه با نیترات آمونیوم به تنهایی بود که باعث تولید بیشترین عملکرد قابل فروش گل کلم و کمترین غلظت نیترات در آن شد. نتایج نشان داد در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) کاربرد نیتروژن از منابع مختلف تأثیر معنی‌داری بر عملکرد نداشت (جدول ۵). به نظر می‌رسد دلیل این عدم واکنش، توانایی خاک شماره ۳ در عرضه آمونیوم و نیترات به ریشه گیاه به دلیل قدرت بافری بیشتر باشد.

مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع واریته اسفناج بر وزن خشک گیاه نشان داد که کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در واریته *گیانت سانتوس* منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اسفناج در مقایسه با دو کود سولفات نیترات آمونیوم و اوره گردید (جدول ۶). با این حال در واریته *وایکینگ* منابع مختلف نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک اسفناج نداشتند.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع خاک بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج (گرم بر گلدان)

Table 5- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and soil types on shoot dry weight (g pot^{-1}) of spinach

شماره خاک Soil number	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
1	3.49^{f}	16.08^{cd}	17.59^{c}	14.07^{d}	12.90^{C}
2	3.89^{f}	22.78^{ab}	23.23^{a}	20.71^{b}	17.65^{B}
3	9.75^{e}	23.76^{a}	23.74^{a}	24.56^{a}	20.45^{A}
میانگین (Mean)	5.71^{C}	20.87^{AB}	21.64^{A}	19.78^{B}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter (small letters) are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع واریته بر وزن خشک اندام هوایی اسفناج (گرم بر گلدان)

Table 6- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and variety types on shoot dry weight (g pot^{-1}) of spinach

واریته اسفناج (Spinach variety)	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
گیانت سانتوس *Giant Santos*	5.89^{d}	23.35^{a}	24.09^{a}	20.93^{b}	18.56^{A}
وایکینگ *Viking*	5.53^{d}	18.39^{c}	19.19^{bc}	18.63^{c}	15.44^{B}
میانگین (Mean)	5.71^{C}	20.87^{AB}	21.64^{A}	19.78^{B}	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter (small letters) are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، واریته *گیانت سانتوس* نسبت به کاربرد نیتروژن واکنش بهتری نشان داد و وزن خشک بیشتری در مقایسه با واریته *وایکینگ* تولید کرد. با این وجود، این واریته در مقایسه با واریته *وایکینگ* حساسیت بیشتری نسبت به آمونیوم داشت. تفاوت در بین ارقام گیاهی در پاسخ نسبت به نیتروژن ناشی از متفاوت بودن راندمان فیزیولوژیکی آنها در استفاده از نیتروژن است (۲۱). بر مبنای نتایج این پژوهش، کاربرد نیتروژن از هر سه منبع مورد استفاده باعث افزایش معنی‌دار وزن خشک اسفناج در هر دو واریته در مقایسه با عدم مصرف نیتروژن گردید. با این وجود، بیشترین وزن خشک اندام هوایی در هر دو واریته با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم حاصل شد و در این تیمار وزن خشک اندام هوایی اسفناج در واریته *گیانت سانتوس* به طور معنی‌داری از واریته *وایکینگ* بیشتر بود (جدول ۶). پاسخ متفاوت واریته‌های اسفناج نسبت به منابع مختلف نیتروژن در تحقیقات کرزل و کولوتا (۲۰) نیز مشاهده شد که در مطابقت با نتایج این پژوهش است.

شاخص میزان کلروفیل برگ اسفناج

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تأثیر نوع کود نیتروژن و همچنین برهمکنش نوع کود نیتروژن با نوع خاک بر شاخص میزان کلروفیل برگ در سطح ۱ درصد آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). در حالی که تأثیر نوع خاک بر این شاخص در سطح ۵ درصد آماری معنی‌دار گردید. نتایج مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع خاک نشان داد که کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP باعث افزایش معنی‌دار شاخص میزان کلروفیل برگ در مقایسه با دو کود اوره و سولفات نیترات آمونیوم و همچنین تیمار شاهد در هر سه خاک مورد مطالعه شد (جدول ۷). به عبارت دیگر گیاهان کوددهی شده با سولفات نیترات آمونیوم به همراه DMPP در مقایسه با سایر منابع نیتروژن از رنگ سبز تیره بیشتری برخوردار بوده‌اند. شاخص میزان کلروفیل برگ که نشان‌دهنده شدت رنگ سبز برگ است یکی از شاخص‌های کیفی در اسفناج می‌باشد (۳۲). نتایج نشان داد همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P<0.05$) بین شاخص میزان کلروفیل برگ و غلظت نیتروژن آن (r= ۰/۷۹) وجود داشت که این نتیجه با توجه به نقش نیتروژن در ساختمان کلروفیل برگ منطقی بوده و با تحقیقات انجام شده در این زمینه (۲) همسو است. در این پژوهش تاثیر مثبت کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بر افزایش شدت رنگ سبز برگ اسفناج را می‌توان به تغذیه آمونیومی اسفناج نسبت داد. کاربرد آمونیوم بر سنتز پلی‌آمین‌ها، سیتوکنین و جیبرلین در گیاه اثرات مثبت دارد (۲۷). به طوری که مقادیر زیادی از پلی‌آمین‌ها مانند پوترسین و اسپرمین در گیاهان تغذیه شده با آمونیوم در مقایسه با نیترات گزارش شده است (۱۲). نقش پلی‌آمین‌ها به عنوان پیام‌رسان ثانویه در القای گلدهی و باردهی در اکثر میوه‌ها در نتیجه تغذیه آمونیومی به خوبی شناخته شده است. این امر ممکن است به افزایش متابولیسم سیتوکنین مرتبط باشد. حضور هورمون‌های گیاهی سیتوکنین و جیبرلین با تعویق فرایند پیری و تخریب کلروفیل، موجب می‌شود که گیاهان کوددهی شده با DMPP ظاهر بهتری (رنگ سبز تیره) در مقایسه با گیاهانی که DMPP دریافت نکرده‌اند، داشته باشند (۲۷). تاثیر مثبت کاربرد بازدارنده‌های نیترات‌سازی بر افزایش شاخص میزان کلروفیل برگ در سایر تحقیقات انجام شده در اسفناج (۴، ۱۵ و ۳۲) نیز مشاهده شده که با نتایج این پژوهش همسو می‌باشد. در این زمینه، مطالعه کانالی و همکاران (۴) نشان داد که برگ‌های اسفناج کوددهی شده با DMPP دارای رنگ سبز تیره بوده و حاوی نیترات کمتری بودند. همچنین مارتینز و همکاران (۲۸) گزارش کردند بیشترین شاخص میزان کلروفیل برگ در توت‌فرنگی با کاربرد ۱۰۰ درصد کل نیتروژن از منبع سولفات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP مشاهده شد. آنها دلیل این امر را به تقویت میزان کلروفیل برگ‌ها با کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP نسبت دادند. به طور مشابه کولوتا و همکاران (۱۹) گزارش کردند که پیازهای ژاپنی کوددهی شده با سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده DMPP در مقایسه با نیترات آمونیوم دارای مقدار بیشتری کلروفیل بودند.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهمکنش نوع کود نیتروژن و نوع خاک بر شاخص میزان کلروفیل برگ اسفناج

Table 7- Mean comparison of the interaction effect of nitrogen fertilizer types and soil types on leaf chlorophyll content index of spinach

شماره خاک Soil number	شاهد Control	اوره Urea	سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	میانگین Mean
1	18.28fg	45.78d	49.89cd	74.44a	47.23AB
2	15.70g	55.03c	53.60c	65.22b	47.39A
3	23.40f	43.13de	36.39e	72.67a	43.90B
میانگین (Mean)	19.30C	47.98B	46.63B	70.77A	

میانگین‌ها در هر ستون و ردیف با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند. اثرات اصلی با حروف بزرگ نشان داده شده است (آزمون LSD).

Means in each column and row with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test). The main effects are shown by capital letters.

کارایی مصرف نیتروژن اسفناج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نوع کود نیتروژن و نوع واریته اسفناج در سطح ۵ درصد آماری و تأثیر نوع خاک در سطح ۱ درصد آماری بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن معنی‌دار شد. همچنین تاثیر نوع خاک و نوع واریته اسفناج بر کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن در سطح ۱ درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار شد (جدول ۸). کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP باعث کاهش کارایی زراعی نیتروژن نسبت به تیمار مشابه اما فاقد بازدارنده به مقدار حدود ۱۲ درصد شد (جدول ۹). همچنین، کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به کاهش معنی‌دار کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در مقایسه با تیمار مشابه اما فاقد بازدارنده و اوره به میزان حدود ۸ درصد شد (جدول ۹). کاهش معنی‌دار کارایی زراعی و فیزیولوژیک نیتروژن با کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه DMPP در مقایسه با تیمار مشابه اما بدون بازدارنده را می‌توان به کاهش معنی‌دار وزن خشک اسفناج نسبت داد. کاهش معنی‌دار وزن خشک اسفناج را احتمالا می‌توان به اثرات منفی سطوح زیاد آمونیوم بر رشد گیاه و کاهش جذب برخی از عناصر غذایی از قبیل پتاسیم، کلسیم و منیزیم (۲۶) و عدم همخوانی فراهمی نیترات خاک با نیاز اسفناج (۴) در اثر کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP نسبت داد. بر اساس نتایج، کاربرد منابع مختلف نیتروژن تأثیری بر کارایی بازیافت نیتروژن نداشت. عدم تأثیر کاربرد بازدارنده نیترات‌سازی DMPP بر کارایی بازیافت نیتروژن را احتمالا می‌توان از یک طرف به دوره رشد کوتاه و سیستم کم عمق ریشه اسفناج (۳) و از طرف دیگر هدررفت بخشی از آمونیوم در اثر پدیده تصعید آمونیاک به خصوص در خاک‌های آهکی (۲۱) نسبت داد. در مطابقت با نتایج این پژوهش کانالی و همکاران (۴) عنوان کردند کاربرد اوره به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در مقایسه با اوره به تنهایی منجر به کاهش معنی‌دار کارایی زراعی نیتروژن از ۱۸/۵ به ۱۴/۹ گرم ماده خشک گیاهی بر گرم نیتروژن مصرفی و بازیافت آن از ۳۸/۱ به ۱۳/۶ گرم بر ۱۰۰ گرم در اسفناج شد. لازم به ذکر است که مقادیر ذکر شده در این تحقیق برای کارایی زراعی و جذب نیتروژن در اسفناج با اعداد گزارش شده توسط این پژوهش‌گران مشابهت داشت.

همچنین بر اساس نتایج، تفاوت معنی‌داری بین سه نوع خاک در کارایی مصرف نیتروژن وجود داشت؛ به طوری‌که کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن در خاک شماره ۲ (لوم) نسبت به خاک‌های شماره ۱ (شن لومی) و شماره ۳ (رس سیلتی) افزایش معنی‌داری یافت. همچنین کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در خاک‌های شماره ۱ و ۲ در مقایسه با خاک شماره ۳ به طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۱۰). کاهش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن (زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک) در خاک شماره ۳ نسبت به خاک شماره ۲ را می‌توان به وضعیت حاصلخیزی این خاک‌ها و افزایش وزن خشک و جذب نیتروژن اندام هوایی اسفناج در تیمار شاهد در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) نسبت به خاک شماره ۲ (لوم) نسبت داد که با توجه به محاسبات کارایی مصرف نیتروژن منجر به کاهش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن در خاک شماره ۳ نسبت به خاک شماره ۲ شده است. همچنین، توانایی ضعیف خاک شماره ۱ (شن لومی) در عرضه نیترات و آمونیوم به اسفناج می‌تواند دلیل احتمالی کاهش معنی‌دار کارایی زراعی و بازیافت نیتروژن این خاک در مقایسه با خاک شماره ۲ (لوم) باشد.

جدول ۸- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تاثیر تیمارها بر کارایی مصرف نیتروژن در اسفناج

Table 8- Variance analysis (mean square) of the treatments effects on nitrogen use efficiency in spinach

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	کارایی زراعی Agronomic efficiency	کارایی بازیافت Recovery efficiency	کارایی فیزیولوژیک Physiological efficiency
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3	14.27^{ns}	10.36^{ns}	0.00006^{*}
نوع خاک Soil type	2	145.29^{**}	838.13^{**}	0.00012^{**}
واریته اسفناج Spinach variety	1	167.83^{**}	636.76^{**}	0.00010^{*}
کود نیتروژن × نوع خاک Nitrogen fertilizer × soil type	6	8.63^{ns}	75.71^{ns}	0.000005^{ns}
کود نیتروژن × واریته اسفناج Nitrogen fertilizer × spinach variety	3	9.39^{ns}	31.12^{ns}	0.00001^{ns}
نوع خاک × واریته اسفناج soil type × spinach variety	2	1.25^{ns}	5.65^{ns}	0.000003^{ns}
کود نیتروژن × نوع خاک × واریته اسفناج Nitrogen fertilizer × soil type × spinach variety	6	4.09^{ns}	19.91^{ns}	0.000007^{ns}
خطا Error	48	5.47	31.90	0.00001

^{ns} غیر معنی‌دار، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ** معنی‌دار در سطح ۱٪

^{ns} Non significant, * significant at 5%, ** significant at 1%

جدول ۹- تأثیر نوع کود نیتروژن بر کارایی زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک نیتروژن در اسفناج

Table 9- The effects of nitrogen fertilizer types on agronomic, recovery and physiological efficiency of nitrogen in spinach

نوع کود نیتروژن Nitrogen fertilizer type	کارایی زراعی (گرم بر گرم) Agronomic efficiency ($g\ g^{-1}$)	کارایی بازیافت (گرم بر ۱۰۰ گرم) Recovery efficiency ($g\ 100\ g^{-1}$)	کارایی فیزیولوژیک (گرم بر میلی‌گرم) Physiological efficiency ($g\ mg^{-1}$)
اوره Urea	14.43^{AB}	39.14^{A}	0.036^{A}
سولفات نیترات آمونیوم Ammonium sulphate nitrate	15.17^{A}	40.66^{A}	0.036^{A}
سولفات نیترات آمونیوم + DMPP Ammonium sulphate nitrate +DMPP	13.39^{B}	39.86^{A}	0.033^{B}

میانگین‌ها (اثرات اصلی) در هر ستون با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند (آزمون LSD).

Means (main effects) in each column with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test).

جدول ۱۰- تأثیر نوع خاک بر کارایی زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک نیتروژن در اسفناج

Table 10- The effects of soil types on agronomic, recovery and physiological efficiency of nitrogen in spinach

شماره خاک Soil number	کارایی زراعی (گرم بر گرم) Agronomic efficiency ($g\ g^{-1}$)	کارایی بازیافت (گرم بر ۱۰۰ گرم) Recovery efficiency ($g\ 100\ g^{-1}$)	کارایی فیزیولوژیک (گرم بر میلی‌گرم) Physiological efficiency ($g\ mg^{-1}$)
1	11.94^{C}	32.58^{C}	0.037^{A}
2	17.47^{A}	46.09^{A}	0.036^{A}
3	13.58^{B}	40.99^{B}	0.032^{B}

میانگین‌ها (اثرات اصلی) در هر ستون با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند (آزمون LSD).

Means (main effects) in each column with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test).

جدول ۱۱- تأثیر واریته اسفناج بر کارایی زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک نیتروژن

Table 11- The effects of spinach variety on agronomic, recovery and physiological efficiency of nitrogen

واریته اسفناج Spinach variety	کارایی زراعی Agronomic efficiency (g g^{-1})	کارایی بازیافت Recovery efficiency (g 100 g^{-1})	کارایی فیزیولوژیک Physiological efficiency (g mg^{-1})
گیانت سانتوس (Giant Santos)	16.09^{A}	43.32^{A}	0.037^{A}
وایکینگ (Viking)	12.57^{B}	36.45^{B}	0.034^{B}

میانگین‌ها (اثرات اصلی) در هر ستون با حروف مشابه فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند (آزمون LSD).

Means (main effects) in each column with the same letter are not statistically different at α =0.05 (LSD Test).

برمبنای نتایج جدول ۱۱، نوع واریته اسفناج تاثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف نیتروژن داشت؛ به طوری که کارایی زراعی، بازیافت و فیزیولوژیک نیتروژن در واریته *گیانت سانتوس* نسبت به واریته *وایکینگ* به طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش معنی‌دار جذب نیتروژن اندام هوایی (جدول ۴) و وزن خشک اسفناج (جدول ۶) در پاسخ به منابع مختلف نیتروژن در واریته *گیانت سانتوس* نسبت به واریته *وایکینگ* می‌تواند دلیل احتمالی افزایش کارایی مصرف نیتروژن در این واریته باشد. افزایش کارایی بازیافت نیتروژن نشان‌دهنده ظرفیت بیشتر واریته *گیانت سانتوس* برای جذب نیتروژن در مقایسه با واریته *وایکینگ* است. بدون شک افزایش کارایی بازیافت نیتروژن توسط گیاه منجر به هدررفت نیتروژن کمتری از خاک شده و در درازمدت در کاهش آلاینده‌های زیست محیطی نقش بسزایی خواهد داشت (۴۲). همچنین کارایی فیزیولوژیک بیشتر واریته *گیانت سانتوس* بیانگر توانایی بیشتر این واریته برای تولید زیست توده یا ماده خشک از نیتروژن جذب شده در مقایسه با واریته *وایکینگ* است (۲۱). توانایی واریته‌های گیاهی در استفاده بهتر از عناصر غذایی مربوط به ویژگی‌های ژنتیکی آنها بوده (۲۶) و استفاده از این عامل در مدیریت تولید محصول می‌تواند به کاهش هزینه‌های تولید کمک شایانی کند.

بر مبنای نتایج این تحقیق، کاربرد سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP منجر به افزایش معنی‌دار شاخص میزان کلروفیل برگ در مقایسه با سولفات نیترات آمونیوم به تنهایی و اوره در کلیه خاک‌های مورد بررسی شد. بهبود شاخص میزان کلروفیل برگ که به منزله افزایش شدت رنگ سبز تیره برگ است با بهبود رنگ ظاهری اسفناج در افزایش کیفیت و ظاهرپسندی آن نقش مهمی دارد. با این وجود کاربرد این بازدارنده منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی در خاک‌های شماره ۱ و ۲ و همچنین کارایی زراعی و فیزیولوژیک نیتروژن در مقایسه با عدم کاربرد آن شد که این مسئله از دیدگاه تولیدکننده دارای اهمیت زیادی است. بر مبنای نتایج این پژوهش چنانچه هدف از کاربرد بازدارنده بهبود کیفیت ظاهری اسفناج باشد مصرف آن می‌تواند مدنظر قرار گیرد. اما چنانچه وزن خشک اسفناج مدنظر قرار گیرد کاربرد آن به خصوص در شرایط خاک‌های شماره ۱ (شن لومی) و ۲ (لوم) این پژوهش قابل توصیه نمی‌باشد. اگرچه کاربرد کود سولفات نیترات آمونیوم به همراه بازدارنده نیترات‌سازی DMPP در خاک شماره ۳ (رس سیلتی) که افزایش شاخص میزان کلروفیل برگ با عدم کاهش وزن خشک اسفناج توام بوده است می‌تواند قابل توجه باشد. نتایج نشان داد تفاوت معنی‌داری بین دو کود اوره و سولفات نیترات آمونیوم از نظر جذب نیتروژن و وزن خشک اندام هوایی، شاخص میزان کلروفیل برگ و کارایی مصرف نیتروژن وجود نداشت؛ بنابراین کاربرد هر دو کود برای تولید اسفناج قابل توصیه است. همچنین از آنجایی که واریته *گیانت سانتوس* در مقایسه با *وایکینگ* بیشترین جذب نیتروژن و وزن خشک اندام هوایی را داشته و کارایی بیشتری در استفاده از نیتروژن داشت استفاده از آن در خاک‌های مشابه این تحقیق می‌تواند مطرح باشد. با این حال به منظور ارزیابی دقیق‌تر کارایی کودهای حاوی بازدارنده نیترات‌سازی DMPP، انجام تحقیقات بیشتر با کودهای نیتراته و آمونیومی حاوی آن در خاک‌های دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوت توصیه می‌شود.

منابع

1- Barth G., Tucher S.V., and Schmidhalter U. 2001. Influence of soil parameters on the effect of 3,4-dimethylpyrazole-phosphate as a nitrification inhibitor. Biology and Fertility of Soils 34: 98–102.

2- Bullock D.G., and Anderson D.S. 1998. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. Journal of Plant Nutrition 21: 741–755.

3- Cameron K.C., Di H.J., and Moir J.L. 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. Annals of Applied Biology 162: 145–173.

4- Canali S., Diacono M., Ciaccia C., Masetti O., Tittarelli F., and Montemurro F. 2014. Alternative strategies for nitrogen fertilization of over winter processing spinach (*Spinacia oleracea* L.) in Southern Italy. European Journal of Agronomy 54: 47–53.

5- Casar C., Munos-Guerra L.M., Ordiales E., and Lopez J. 2009. Ammonium fertilizers with nitrification inhibitors improve the nutritional quality of horticultural crops for industrial processing. p. 68–72. In C. Nunes (ed.) Proceedings of the International Conference “Environmentally friendly and safe technologies for quality of fruit and vegetables”, 14-16 Jan. 2009. Universidade do Algarve, Faro, Portugal.
6- Crawford D.M., and Chalk P.M. 1993. Sources of N uptake by wheat (*Triticum aestivum* L.) and N transformations in soil treated with a nitrification inhibitor (nitrapyrin). Plant and Soil 149: 59–72.
7- Di H.J., and Cameron K.C. 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. Nutrient Cycling in Agroecosystems 64: 237–256.
8- Díez-López J.A., Hernaiz-Algarra P., Arauzo-Sánchez M., and Carrasco-Martín I. 2008. Effect of a nitrification inhibitor (DMPP) on nitrate leaching and maize yield during two growing seasons. Spanish Journal of Agricultural Research 6: 294–303.
9- Douma A.C., Polychronaki E.A., Giourga C., and Loumou A. 2005. Effects of fertilizers with the nitrification inhibitor DMPP (3, 4-Dimethylpyrazole Phosphate) on yield and soil quality. Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Science and Technology, 1-3 Sept 2005. Rhodes, Greece.
10- Fangueiro D., Fernandes A., Coutinho J., Moreira N., and Trindade H. 2009. Influence of two nitrification inhibitors (DCD and DMPP) on annual ryegrass yield and soil mineral N dynamics after incorporation with cattle slurry. Communications in Soil Science and Plant Analysis 40: 3387–3398.
11- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Partical size analysis. p. 383-411. In: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. ASA and SSSA, Madison, WI.
12- Gerendás J., and Sattelmacher B. 1995. Influence of ammonium supply on growth, mineral and polyamine content of young maize plants. Z. flanzenernaehr. Bodenk 158: 299–305.
13- Hähndel R., and Zerulla W. 2001. Effects of ammonium stabilized N-fertilizers on yield and quality of vegetables. Acta Horticulture 563: 81–86.
14- Huérfano X., Menéndez S., Bolaños-Benavides M.M., González-Moro M.B., Estavillo J.M., and González-Murua C. 2016. The nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate decreases leaf nitrate content in lettuce while maintaining yield and N_2O emissions in the Savanna of Bogotá. Plant and Soil Environment 62: 533–539.
15- Irigoyen I., Lamsfus C., Aparicio-Tejo P., and Muro J. 2006. The influence of 3,4 dimethylpyrazole phosphate and dicyandiamide on reducing nitrate accumulation in spinach under Mediterranean conditions. Journal of Agricultural Science 144: 555–562.
16- Karla Y.P. 1998. Handbook of Reference Methods for Plant Analysis. CRC Press, Taylor & Francis Group. London.
17- Kiani S. 2012. Effects of nitrification inhibitor 3,4-dimethylpyrazole phosphate on the nitrogen uptake, yield components and yield of wheat in greenhouse conditions. Journal of Water and Soil 26: 1226–1235.
18- Knudsen D., Peterson G.A., and Partt P.F. 1982. Lithium, sodium, and potassium. p. 225–246. In: A.L. Page et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. ASA and SSSA, Madison, WI.
19- Kolota E., Adamczewska-Sowinska K., and Uklanska-Pusz C. 2013. Response of Japanese bunching onion (*Allium fistulosum* L.) to nitrogen fertilization. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 12: 51–56.
20- Krężel J., and Kołota E. 2014. Source of nitrogen affects the yield and quality of spinach cultivars grown for autumn harvest. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil and Plant Science 64: 583–589.
21- Ladha J.K., Pathak H., Krupnik T.J., Six J., and Kessel C.V. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. Advanced in Agronomy 87: 85–156.
22- Li H., Liang X., Chen Y., Lian Y., Tian G., and Ni W. 2008. Effect of nitrification inhibitor DMPP on nitrogen leaching, nitrifying organisms, and enzyme activities in a rice-oilseed rape cropping system. Journal of Environmental Sciences 20: 149–155.
23- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America Journal 42: 421–428.
24- Loeppert R.H., and Suarez D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437–474. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
25- Malakouti M.J., Keshavarz P., and Karimian N. 2008. A Comprehensive Approach towards Identification of Nutrients Deficiencies and Optimal Fertilization for Sustainable Agriculture. Tarbiat Modares University Press, Tehran.
26- Marschner P. 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London.
27- Martíneza F., Palencia P., Alonso D., and Oliveira J.A. 2017. Advances in the study of nitrification inhibitor DMPP in strawberry. Scientia Horticulturae 226: 191–200.
28- Martíneza F., Palencia P., Weiland C.M., Alonso D., and Oliveira J.A. 2015. Influence of nitrification inhibitor DMPP on yield, fruit quality and SPAD values of strawberry plants. Scientia Horticulturae 185: 233–239.
29- Mulvaney R.L. 1996. Nitrogen–inorganic forms. p. 1123–1184. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
30- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961–1010. In: D.L.

Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
31- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. p. 403–430. In: A.L. Page et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. ASA and SSSA, Madison, WI.
32- Pasda G., Hahndel R., and Zerulla W. 2001. Effect of fertilizers with the new nitrification inhibitor DMPP (3,4-dimethylpyrazole phosphate) on yield and quality of agricultural and horticultural crops. Biology and Fertility of Soils 34: 85–97.
33- Pereira J., Fangueiro D., Chadwick D., Misselbrook T.H., Coutinho J., and Trindade H. 2010. Effect of cattle slurry pre-treatment by separation and addition of nitrification inhibitors on gaseous emissions and N dynamics: a laboratory study. Chemosphere 79: 620–627.
34- Pionke H.G., Sharma M.L., and Hirschberg K.J. 1990. Impact of irrigated horticulture on nitrate concentrations in groundwater. Agriculture, Ecosystems and the Environment 32: 119–132.
35- Quiñones A., Martínez-Alcàntra B., Chi-Bacab U., and Legaz F. 2009. Improvement of the N fertilization by using the nitrification inhibitor (DMPP) in drip-irrigated citrus trees. Spanish Journal of Agricultural Research 7: 190–199.
36- Rhodes J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-435. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
37- Roco M.M., and Blu R.O. 2006. Evaluation of the nitrification inhibitor 3, 4-dimethylpyrazole phosphate in two Chilean soils. Journal of Plant Nutrition 29: 521–534.
38- Romic D., Romic M., Borosic J., and Poljak M. 2003. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation. Agricultural Water Management 60: 87–97.
39- Sanchez C.A. 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potential for leaching of nitrate-N. HortScience 35: 73–77.
40- Serna M., Balnus J., and Quinones A. 2000. Evaluation of 3,4-dimethylpyrazole phosphate as a nitrification inhibitor in citrus-cultivated soil. Biology and Fertility of Soils 32: 41–46.
41- Sharma S.N., and Kumar R. 1998. Effects of dicyandiamide (DCD) blended with urea on growth, yield and nutrient uptake of wheat. Journal of Agriculture Science 131: 389–394.
42- Singh S.N., and Verma A. 2007. The potential of nitrification inhibitors to manage the pollution effect of nitrogen fertilizers in agricultural and other soils: a review. Environmental Practice 9: 266–279.
43- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-490. In: D.L. Sparks et al (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3. SSSA and ASA, Madison, WI.
44- Uzochukwu V. 2018. Exploring the use of environmentally friendly fertilizers for desert vegetable production. M.Sc. Thesis, The University of Arizona.
45- Yang W.H., Weber K.A., and Silver W.L. 2012. Nitrogen loss from soil through anaerobic ammonium oxidation coupled to iron reduction. Nature Geoscience 5: 538–541.
46- Zerulla W., Barth T., Dressel J., Von Locquenghien K.E.K.H., Pasda G., Radle M., and Wissemeier A.H. 2001. 3,4-Dimethylpyrazole phosphate (DMPP) –a new nitrification inhibitor for agriculture and horticulture. Biology and Fertility of Soils 34: 79–84.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 237-250

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۵۰-۲۳۷

Effects of Nitrification Inhibitor 3,4-Dimethylpyrazole Phosphate (DMPP) on the Nitrogen Use Efficiency of Spinach

M. Gheitasi[1]- Sh. Kiani[2]*- A.R. Hosseinpur[3]
Received: 09-12-2019
Accepted: 13-02-2021

Introduction: Large amounts of nitrogen (N) fertilizers are being applied to optimize yield in vegetable production. Nitrogen use efficiency in vegetable fields is low due to high application of N fertilizers in frequent cultivation, short growth cycles and their shallow rooting system. Nitrification inhibitors (NI) are compounds that retard the biological oxidation of ammonium to nitrite by depressing the activity of *Nitrosomonas* bacteria in soil. In different studies, the positive effects of these compounds on the reduction of N losses from soil and increase of N use efficiency and crop yield have been demonstrated. The 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) is a very popular nitrification inhibitor around the world. The efficacy of this molecule depends on climatic conditions and soil properties including of texture, pH, organic matter, moisture, temperature and mineral nitrogen. In this experiment, the effects of NI 3, 4-dimethylpyrazole phosphate on the N use efficiency of two spinach varieties were investigated in different soils.

Materials and Methods: A pot experiment was conducted in a completely randomized design with a factorial arrangement with three replications at Shahrekord University. Experimental factors were different N fertilizer sources, soil types and spinach varieties. Three N fertilizer sources consisted of urea, ammonium sulfate nitrate (ASN) and ASN plus DMPP (0.8 %). A no added N fertilizer treatment was considered as the control. The soil factor contained three different soils with different physical and chemical characteristics. The textures of the soils No. 1, 2 and 3 were loamy sand, loam and silty clay, respectively. Three selected soils were non-saline ($EC_{1:2}$=0.14-0.31 dS m^{-1}) and alkaline ($pH_{1:2}$=7.9-8.0). Organic carbon and calcium carbonate equivalent (CCE) ranged from 0.26 to 0.35%, and 28.5 to 36.2%, respectively. Two spinach varieties were smooth-leaf (*Giant Santos*) and wrinkled-leaf (*Viking*). The used soils were mixed homogenously with 100 mg P kg^{-1} soil as triple super phosphate, 5 mg Fe kg^{-1} soil as Fe-EDDHA, 15 mg Zn kg^{-1} soil as $ZnSO_4.7H_2O$, 5 mg Mn kg^{-1} soil as $MnSO_4.H_2O$ and 2.5 mg Cu kg^{-1} soil as $CuSO_4.5H_2O$. Nitrogen was applied at the rate of 150 mg kg^{-1} soil in two split doses before sowing and after one month. Twelve seeds were sown in 7 kg soil in plastic pots, and then placed in a greenhouse. The pots were thinned to 7 seedlings per pot after plant establishment. One week before harvesting, 10 measurements were done using a chlorophyll content meter to determine chlorophyll content index of leaves. At the end of the experiment, shoot dry weight was determined and plants were mixed and dried to measure N concentration. Finally, shoot N uptake and N use efficiency were calculated in different treatments.

Results and Discussion: In the present study, spinach plants fertilized with ASN+DMPP had a better appearance (dark green color) than those grown without DMPP. The results indicated that application of ASN with DMPP led to significant increase of leaf chlorophyll content index in comparison of ASN and urea fertilizers in all studied soils. Application of DMPP slowed down the process of ammonium oxidation to nitrite. Thus, this increase may be due to the role of ammonium in N nutrition of spinach plants treated with DMPP. This may be explained by the fact that ammonium has a positive effect on the synthesis of polyamines, cytokinins and gibberellins. The presence of these two phytohormones retarded senescence and chlorophyll degradation in plants. However, adding ASN to DMPP resulted in a significant decrease of shoot dry weight as compared with the ASN and urea fertilizers in soils No. 1 (loamy sand) and 2 (loam). In soil No. 3, shoot dry weight was not affected in plants fertilized with ASN+DMPP. Also, agronomic and physiological efficiencies of N significantly decreased by applying ASN+DMPP in comparison with ASN. It seems that application of DMPP strongly delayed the ammonium nitrification to nitrate, and consequently the soil nitrate availability appears not to be synchronized with spinach N needs. Due to short growth cycle of spinach, low availability of nitrate

1, 2 and 3- Former M.Sc. Student, Associate Professor and Professor of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, ShahreKord University, respectively.
(*- Corresponding Author Email: shkiani2002@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.2021.14929.0

resulted in decreased shoot dry weight of spinach. The highest N use efficiency was observed is soil No. 2 (loam) and *Giant Santos* had more N use efficiency than *Viking*.

Conclusion: The results demonstrated that using ASN+DMPP led to yield loss, and we cannot recommend its application as a nitrogen fertilizer for spinach. However, application of ASN+DMPP is an effective strategy for improving qualitative appearance (dark green color) of spinach. Also, all studied indices were not affected in plants fertilized with ASN and urea. Therefore, application of both fertilizers is recommended for spinach production under similar conditions of the present study.

Keywords: Ammonium sulfate nitrate, Nitrogen uptake, Quality, Urea

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 251-266

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۶۶-۲۵۱

مقاله پژوهشی

تعیین مؤثرترین ویژگی‌ها به منظور ارزیابی کیفیت خاک در اراضی کشاورزی دشت محمدشهر کرج

کورش کمالی[1]*- غلامرضا زهتابیان[2]- طیبه مصباح‌زاده[3]- محمود عرب‌خدری[4]- حسین شهاب آرخازلو[5]- علیرضا مقدم نیا[6]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۶

چکیده

کیفیت خاک شاخصی ضروری برای مدیریت پایدار اراضی است که به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بستگی دارد. بسیاری از محققین ارزیابی کیفیت خاک را بر معدودی از ویژگی‌ها متمرکز کرده‌اند. در این تحقیق به منظور ارزیابی و انتخاب ویژگی‌های موثر در کیفیت خاکِ اراضی کشاورزی دشت محمدشهر کرج با مدیریت‌های مختلف آبیاری، از شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) استفاده شد. با حفر و تشریح ۱۲خاکرخ در چهار مزرعه و باغ و نمونه‌برداری از افق‌های سطحی و متوسط عمقی، ۱۶ویژگی مؤثر در کیفیت خاک تعیین و شاخص‌های یاد شده محاسبه گردیدند. بررسی شاخص‌های IQI و NQI نشان داد که خاک‌های این منطقه در نمونه‌های سطحی عمدتاً دارای درجه کیفیت III و در نمونه‌های متوسط عمقی به دلیل عدم تکامل پروفیلی، کربن آلی پایین و سنگریزه بالا دارای درجه کیفیت IV با محدودیت زیاد هستند. بیشترین و کمترین میانگین شاخص کیفیت خاک لایه سطحی به‌ترتیب به مزرعه یونجه (آبیاری بارانی) با ۰/۶۴ و مزرعه گندم (آبیاری بارانی) با ۰/۵۸ اختصاص یافت. تأثیر مدیریت آبیاری بر شاخص‌های کیفیت خاک نشان داد که نوع سامانه آبیاری نتوانسته است تفاوت معنی‌داری در کیفیت خاک ایجاد نماید. به‌طوری‌که در مزرعه گندم با آبیاری‌های بارانی و غرقابی، تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های کیفیت خاک مشاهده نشد. شاخص IQI در مجموعه کل داده‌ها نسبت به شاخص NQI دارای دقت و حساسیت بیشتری برای ارزیابی کیفیت خاک بود؛ لیکن بررسی ضرایب تبیین، قابل اطمینان بودن استفاده از مجموعه حداقل داده‌ها به جای مجموعه کل داده‌ها در هر دو مدل IQI و NQI را نشان داد. در مجموعه حداقل داده‌ها ویژگی‌های میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد سنگریزه دارای وزن بالاتری به ترتیب در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی بودند. استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک اثر تکرارپذیری حاصل از ویژگی‌های با همبستگی مشابه را کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مؤلفه‌های اصلی، سامانه‌های آبیاری، شاخص کیفیت تجمعی، شاخص کیفیت نمرو

مقدمه

کیفیت خاک بیانگر ظرفیت نوع مشخصی از خاک برای کاربرد آن در زیست بوم‌های طبیعی یا مدیریت شده برای تولیدات پایدار گیاهی و حیوانی، حفظ یا ارتقاء کیفیت آب و هوا و حمایت از سلامت و مسکن است (۲۱، ۲۰ و ۲). شاخص کیفیت مطلوب خاک، شاخصی است که بیانگر حداقل یک عملکرد خاک بوده، به مدیریت خاک حساس و به راحتی قابل اندازه‌گیری باشد (۳). باریوس و همکاران (۵)

۱- دانش‌آموخته دکتری بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران و مربی پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
(*- نویسنده مسئول: Email: kamali_kourosh@yahoo.com)
۲، ۳ و ۶- به‌ترتیب استاد و دانشیاران گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۵- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

DOI: 10.22067/jsw.2021.15005.0

با استفاده از تعریف دوران و پارکین (۷) معتقدند کیفیت خاک عبارت است از "ظرفیت خاک به صورت تابعی از محدودیت‌های اکوسیستم و کاربری اراضی به منظور حفظ باروری بیولوژیکی و کیفیت زیست محیطی و افزایش رشد گیاه، حیوان و سلامت انسان." ارزیابی کیفیت خاک از طریق اندازه‌گیری برخی از خصوصیات خاک که به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک در نظر گرفته می‌شوند، صورت می‌پذیرد (۲۷). محدودیت منابع آب و خاک سبب شده که استفاده بهینه از اراضی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد؛ دسترسی به این بهینه‌سازی، تنها با اعمال برنامه‌ریزی اصولی و مدیریت صحیح امکان‌پذیر است. در این میان مدیریت صحیح آب و آبیاری نقش موثری در کیفیت خاک و توسعه پایدار کشاورزی دارد (۲۴).

در مطالعات تعیین کیفیت خاک هر کدام از شاخص‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌توانند مورد استفاده قرار گیرد، اما همیشه یک مجموعه کامل از داده‌ها در تجزیه و تحلیل‌ها به‌کار نمی‌رود، زیرا زمانی که تعداد زیادی متغیر را اندازه می‌گیریم، علاوه بر اینکه یکسری مشکلات عملی به‌وجود می‌آید، تعداد روابط نیز بیش از حد تصور خواهد بود. لذا نیاز به تکنیک‌هایی است که تعداد داده‌ها را کاهش دهد (۸، ۴۴ و ۱۰). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[1] (PCA) از جمله این روش‌ها می‌باشد. هدف اصلی این روش کاهش تعداد متغیرها به یک مجموعه کوچک‌تر است به نحوی که این مجموعه کوچک بیشتر تغییرات موجود در داده‌ها را توجیه کند و اطلاعات موجود در متغیرها نیز حفظ شود (۱۸).

تجزیه مؤلفه‌های اصلی توسط محققان مختلف در توصیف تغییرپذیری ویژگی‌های خاک به‌کار رفته است. یاو و همکاران (۴۳) با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی تغییرپذیری مکانی ۱۷ ویژگی خاک را مورد بررسی قرار دادند و از بین آنها پنج ویژگی کلر، سدیم، پتاسیم، قابلیت هدایت الکتریکی و مواد آلی را به عنوان مهم‌ترین شاخص‌های مؤثر بر کیفیت خاک در اراضی کشاورزی مناطق شور کشور چین اعلام کردند. ژاو و همکاران (۱۵) کیفیت خاک را بر مبنای چهار روش کیفیت خاک تجمعی خطی و غیرخطی در دو دسته مجموعه کل داده‌ها[2] (TDS) و دسته حداقل داده‌ها[3] (MDS) بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در هر دو مدل شاخص کیفیت تجمعی و نمرو روش خطی از روش غیرخطی مناسب‌تر بود. حداقل شاخص‌های مؤثر برای تعیین کیفیت خاک در حوزه آبخیز دریاچه چغاخور توسط محقّق و همکاران (۲۶) تعیین شد.

گرجی و همکاران (۱۳) شاخص‌ها و روش‌های انتخاب ویژگی‌های مؤثر برای ارزیابی کیفیت خاک را در کاربری‌های مختلف

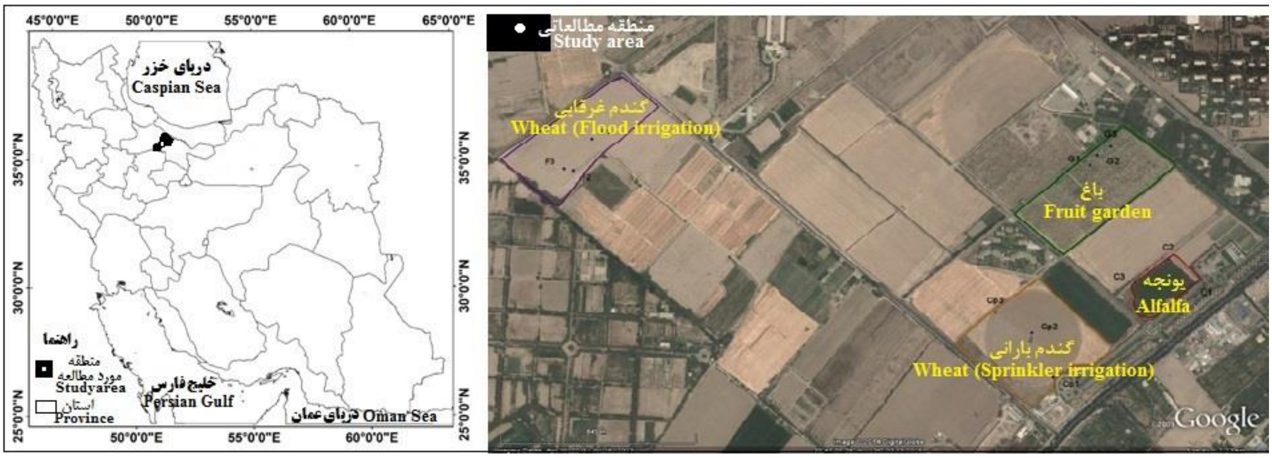
1- Principle Component Analysis (PCA)
2- Total Data Set (TDS)
3- Minimum Data Set (MDS)

مورد مقایسه قرار دادند. با انتخاب ۱۷ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در پنج کاربری و سه کلاس شیب به عنوان TDS، با استفاده از روش PCA هفت ویژگی به عنوان MDS انتخاب شدند. با استفاده از شاخص کیفیت تجمعی[4] (IQI) و شاخص کیفیت نمرو[5] (NQI) در این دو مجموعه داده، کیفیت خاک ارزیابی شد. نتایج نشان داد که کاربری‌های باغ و مرتع به ترتیب بیشترین مقدار شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو را داشتند اما کاربری‌های زراعت آبی، زراعت دیم و اراضی رها شده دارای کمترین کیفیت خاک بودند و تفاوت معنی‌داری با دو کاربری باغ و مرتع داشتند. ضریب تبیین بین دو مجموعه داده برای شاخص کیفیت تجمعی و شاخص کیفیت نمرو بیانگر قابل اطمینان بودن استفاده از MDS به جای TDS و همچنین کارایی بهتر شاخص کیفیت تجمعی برای ارزیابی کیفیت خاک منطقه مورد مطالعه بود. نتایج مطالعات آذرنشان و همکاران (۴) به منظور تعیین بهترین روش ارزیابی کیفیت خاک در اراضی خشک و نیمه خشک دشت قزوین نشان داد که روش IQI_{TDS} بیشترین همبستگی را در منطقه با میزان عملکرد دارد؛ به‌طوری‌که برای محاسبه شاخص کیفیت خاک در قزوین مدل IQI_{TDS} مناسب‌تر عمل نمود. همچنین روش IQI_{TDS} بیشترین میزان همبستگی را با IQI_{MDS} (R^2=۷۷/۹) نشان داد.

ارزیابی کیفیت خاک توسط نوری و همکاران (۳۰) نشان داد که مدل‌های کیفیت خاک IQI و NQI در مجموعه‌های TDS و MDS برای ارزیابی کمّی کیفیت خاک از کارآیی بالایی برخوردار بودند. با وجود این که در این تحقیق نتایج مشابهی از هر دو مدل ارزیابی کیفیت خاک به دست آمد، اما مدل IQI_{TDS} عملکرد مناسب‌تری ارائه نمود. ضریب تبیین (R^2) برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی بین دو مجموعه TDS و MDS در دو مدل IQI و NQI نشان‌دهنده قابل اطمینان بودن استفاده از مجموعه MDS به جای TDS در هر دو مدل بود. در واقع کاربرد روش MDS می‌تواند اطلاعات موجود در سایر ویژگی‌ها را به عنوان مجموعه منتخب نشان دهد.

از آنجا که استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک زمینه صرفه اقتصادی در بحث پایش و بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی را فراهم می‌نماید، لذا در پژوهش حاضر مؤثرترین ویژگی‌ها به منظور ارزیابی کیفیت خاک در اراضی کشاورزی دشت محمدشهر کرج با سامانه‌های مختلف آبیاری بررسی شده است. توجه به این موضوع موجب برنامه‌ریزی بهتر و پیشگیری از روند نزولی کیفیت خاک خواهد شد.

4- Integrated Quality Index (IQI)
5- Nemero Quality Index (NQI)



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط حفر خاکرخ در اراضی منتخب

Figure 1- Location of study area, selected farms and soil profiles

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه شرقی تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه و ۳۲ ثانیه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه و ۵۵ ثانیه شمالی تا ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ۱۴ ثانیه شمالی در محوطه معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی واقع در مسیر جاده کرج به محمدشهر قرار گرفته است (شکل ۱). در آبیاری مزارع و باغات این محوطه از سه نوع سامانه آبیاری بارانی، قطره‌ای و غرقابی استفاده می‌شود. نوع کشت در سامانه آبیاری بارانی، گندم و یونجه، در سامانه آبیاری قطره‌ای باغ آلو و در سامانه آبیاری غرقابی گندم است. با اتکا به داده‌های هواشناسی (۱۷)، متوسط درجه حرارت، بارندگی و تبخیر طی یک دوره پنج ساله منتهی به اجرای پژوهش به ترتیب ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد، ۲۸۲/۳ و ۲۰۶۵ میلی‌متر تعیین شد. در محدوده مطالعاتی مزارع و باغات با مدیریت‌های مختلف آبیاری و با سابقه بیش از ۵ سال از زمان اجرا و بهره‌برداری موجود بود. موقعیت خاکرخ‌ها با توجه به قرارگرفتن آن‌ها در شعاع تاثیر سامانه‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای و غرقابی و با استفاده از روش تصادفی طبقه‌بندی شده با سه تکرار در هر مزرعه انتخاب گردید. خاکرخ‌ها بر اساس راهنمایی شناسایی خاک (۲۸) تشریح و مشخصات خاکرخ، نوع و نحوه قرار گرفتن افق‌های مختلف خاک تعیین شد. خاکرخ‌ها تا لایه محدودکننده و حداکثر به عمق ۱/۵متر حفر و پس از تشریح، از افق‌های ژنتیکی آن‌ها نمونه‌برداری شد. با توجه به وضعیت سالانه رطوبت در خاک‌ها و بر اساس مقادیر بارش و درجه حرارت متوسط سالانه، رژیم رطوبتی و حرارتی[1] حاکم بر خاک‌های منطقه اجرای پژوهش با استفاده از نرم‌افزار نیوهال[2] به ترتیب زریک[3] و ترمیک[4] تعیین شد. این خاک‌ها با ریخت‌شناسی، شیب و سنگ‌شناسی یکسان در رده خاک‌های بدون تکامل پروفیلی[5] و در تحت گروه Typic xerofluvents طبقه‌بندی گردیدند (۴۰).

به منظور ارزیابی کیفیت خاک، ویژگی‌های بافت خاک[6] به روش هیدرومتری (۱۱)، هدایت الکتریکی[7] عصاره اشباع با دستگاه هدایت‌سنج (۳۱)، پ‌هاش خاک به روش الکترومتریک با pH متر (۳۱)، آهک به روش تیتراسیون با سود نرمال (۳۱)، نسبت جذب سدیم[8] به روش پیج و همکاران (۳۱)، جرم مخصوص ظاهری[9] به روش استوانه در لایه سطحی و روش مخروط ماسه‌ای با شماره استاندارد آزمایش ASTM- D1556 در لایه‌های زیرسطحی با درصد قابل توجهی سنگ و سنگریزه، درصد کربن آلی[10] به روش والکی- بلاک (۴۲)، شاخص پایداری ساختمان خاک[11] ($SI=\frac{1.724OC}{(Silt+Clay)} * 100$) به روش پیری (۳۲)، پتانسیل ماتریک (پتانسیل ماتریک بر حسب سانتی‌متر آب PF= -Log) در مکش‌های ۰، ۰/۱، ۰/۳۳، ۱، ۳، ۵ و ۱۵ بار با استفاده از دستگاه صفحات فشار[12]،

1- Soil Moisture & Temperature Regime

2- New Hall
3- Xeric
4- Thermic
5- Entisols
6- Soil Texture
7- Electrical Conductivity (EC)
8- Sodium Adsorption Ratio (SAR)
9- Bulk Density (BD)
10- Organic Carbon (OC)
11- Structural Index (SI)
12- Pressure Plate

شاخص دکستر یا شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف (Sgi) با برنامه نرم‌افزاری RETC و بر اساس طبقه‌بندی دکستر (۶) و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها[1] به روش الک تر و با استفاده از چهار الک با قطر ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌متر (۲۲)، اندازه‌گیری شدند. همچنین با استفاده از منحنی رطوبتی خاک ویژگی‌های رطوبت قابل استفاده گیاه[2] از تفاضل رطوبت در مکش‌های ۰/۳۳ بار (FC[3]) و ۱۵ بار (PWP[4])، تخلخل تهویه‌ای[5] از تفاضل رطوبت اشباع و رطوبت در مکش ۰/۱ بار و ظرفیت مزرعه نسبی[6] نیز از حاصل تقسیم رطوبت ظرفیت مزرعه بر رطوبت اشباع استخراج شدند (۳۶).

با توجه به اهمیت کیفیت خاک در پایداری اراضی، در این پژوهش از دو مدل شاخص کیفیت تجمعی (IQI) و شاخص کیفیت نمرو (NQI) برای تعیین کیفیت خاک استفاده شده است (۷، ۱۶، ۳۴، ۲۹ و ۲۳). از جمله مزیت شاخص‌های IQI و NQI این است که چون اطلاعات را بر مبنای روش‌های ریاضی با هم ترکیب می‌نمایند در نتیجه منجر به افزایش اطمینان در نتایج نهایی می‌شوند. در این شاخص‌ها مجموعه‌ای از ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک در قالب یک مدل ریاضی با هم ترکیب و به صورت یک کمیت عددی ارائه می‌گردد که این عدد به عنوان یک شاخص کلی کیفیت خاک، منعکس کننده مجموعه‌ی ویژگی‌های مورد نظر می‌باشد (۳۳). هر یک از شاخص‌های IQI و NQI با استفاده از دو مجموعه ویژگی‌های خاک تعیین شدند. مجموعه اول شامل تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک بوده که به عنوان مجموعه کل داده‌ها (TDS) در نظر گرفته شده و مجموعه دوم نیز شامل مهم‌ترین ویژگی‌های موثر بر کیفیت خاک است که مجموعه حداقل داده‌ها (MDS) نامیده شدند (۳۳). برای گزینش مجموعه MDS، از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد (۷). روش PCA از میان کل ویژگی‌های مورد بررسی خاک، ویژگی‌هایی که بیشترین تاثیر را بر کیفیت خاک منطقه دارند انتخاب می‌کند (۳۳). به این صورت که داده‌ها در چندین مؤلفه (PC) دسته‌بندی شده و فقط مؤلفه‌هایی که ارزش ویژه بالاتر از یک داشتند برای قرار گرفتن در دسته حداقل داده‌ها انتخاب شدند (۱ و ۱۴). هر یک از مؤلفه‌ها، ویژگی‌هایی که دارای کمتر از ۱۰ درصد اختلاف با بیشترین مقدار وزن موجود در هر ویژگی بود، برای دسته حداقل داده‌ها گزینش شدند. برای محاسبه IQI و NQI لازم است ویژگی‌های خاک امتیازدهی شوند (۳۳). با توجه به آن که واحد سنجش ویژگی‌های مورد بررسی متفاوت هستند، برای ارائه آنها در قالب یک مقدار کلی واحد سنجش حذف شده که برای این منظور از توابع امتیازدهی استاندارد[7] عضویت فازی استفاده شد (۱۹، ۱، ۲۵ و ۳۹). در این روش برای هر ویژگی خاک، تابعی تعریف می‌شود که با استفاده از آن، مقادیر ویژگی مورد نظر بین صفر (کمترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) و یک (بیشترین مطلوبیت برای کیفیت خاک) نمره‌دهی گردید. در این روش ویژگی‌های کیفیت خاک به سه دسته هر چه بیشتر بهتر[8] (خصوصیاتی که افزایش آنها موجب بهبود کیفیت خاک می‌گردد مانند کربن آلی)، هر چه کمتر بهتر[9] (خصوصیاتی که افزایش آنها موجب کاهش کیفیت خاک می‌گردد مانند جرم مخصوص ظاهری)، و تابع سطح بهینه[10] (در مورد خصوصیاتی از خاک است که افزایش یا کاهش آنها تا حد معینی موجب بهبود کیفیت خاک شده و افزایش یا کاهش آنها بیش از حد بهینه موجب کاهش کیفیت خاک می‌گردد مانند pH خاک) تقسیم شدند.

وزن دهی به ویژگی‌های مختلف کیفیت خاک نیز با استفاده از محاسبه واریانس مشترک متغیرها صورت گرفت که با استفاده از روش تجزیه عاملی[11] به دست آمد. در این روش از تقسیم واریانس مشترک هر متغیر به واریانس مشترک کل، وزن ویژگی به دست آمد (۳۷ و ۳۸). در نهایت با استفاده از روابط زیر مدل‌های IQI و NQI محاسبه شدند.

$$IQI = \sum_{i=1}^{n} \mathrm{WiNi} \quad (۱)$$

که در آن Wi وزن تعلق یافته به هر ویژگی خاک، و Ni نیز مقدار نمره تعلق یافته به هر ویژگی و n تعداد ویژگی مورد نظر است.

$$NQI = \sqrt{(P^2ave + P^2\min)/2} \times (n-1)/n \quad (۲)$$

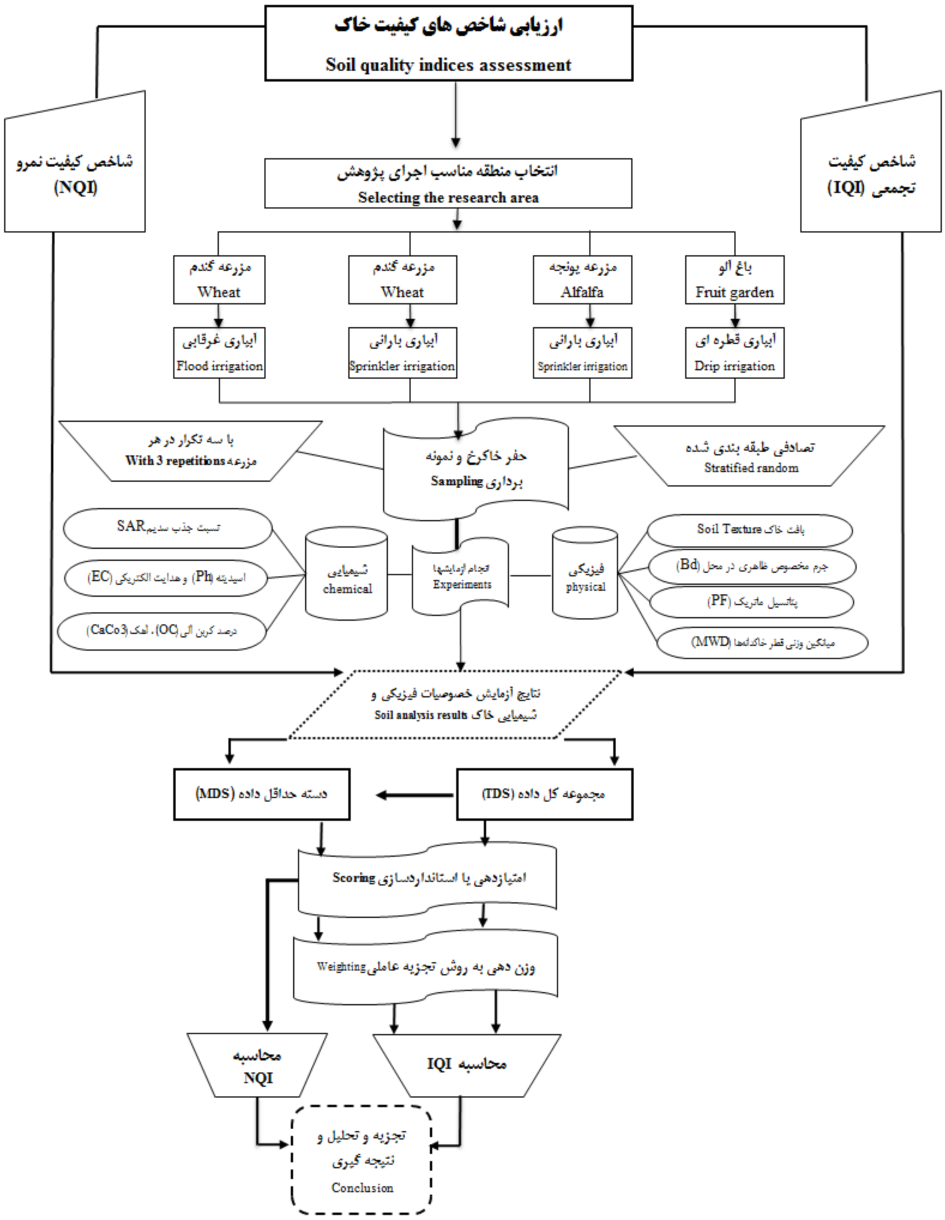
در این معادله pave میانگین نمره تعلق یافته به ویژگی‌های انتخاب شده در هر نمونه خاک، pmin حداقل نمره موجود در بین ویژگی‌های انتخاب شده برای هر نمونه و n تعداد ویژگی‌های مورد نظر برای محاسبه شاخص است. در نتیجه در پایان برای هر نمونه خاک، چهار مدل کلی کیفیت خاک شامل IQI_{TDS}، IQI_{MDS}، NQI_{TDS}، NQI_{MDS} محاسبه شد. شکل ۲ مراحل اجرای پژوهش را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی (کل واریانس تبیین شده

1- Mean Weight Diameter (MWD)
2- Plant Available Water Capacity (PAWC)
3- Field Capacity (FC)
4- Permanent Wilting Point (PWP)
5- Air Capacity (AC)
6- Relative Field Capacity (RFC)
7- Standard Scoring Functions (SSF)
8- More is better
9- Less is better
10- Optimum curve
11- Factor Analysis (FA)

ویژگی‌های خاک با عوامل چرخش یافته) در نمونه‌های سطحی را نشان می‌دهد. مطابق این جدول چهار مولفه اصلی دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک می‌باشند. این مولفه‌ها در مجموع بیش از ۸۳ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. در مولفه اول رطوبت قابل استفاده گیاه بیشترین ارزش را به خود اختصاص داد. در مؤلفه دوم ماده آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک بیشترین ارزش را داشتند که اختلاف آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود. از آنجا که بیش از یک ویژگی در این مؤلفه انتخاب شد، همبستگی بین آن‌ها محاسبه و ویژگی که بیشترین ضریب همبستگی را داشت در دسته حداقل داده‌ها قرار گرفت. لذا ویژگی ماده آلی به عنوان متغیر وابسته‌ی رابطه‌ای که علاوه بر معنی‌داری ($P<0.01$) دارای بیشترین ضریب رگرسیون و بیشترین ضریب تعیین بود، انتخاب شد. در جدول ۲ ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های سطحی آمده است. در مؤلفه سوم ویژگی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و در مولفه چهارم نیز درصد سیلت به دلیل داشتن بیشترین ارزش ویژه انتخاب گردیدند. همان‌طور که مشاهده می‌شود از بین ۱۶ ویژگی مورد بررسی در TDS، چهار ویژگی رطوبت قابل استفاده گیاه، درصد ماده آلی، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و درصد سیلت به عنوان MDS لایه سطحی خاک انتخاب شدند.



شکل ۲- مراحل اجرای پژوهش

Figure 2- Flowchart of the research

جدول ۱- نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های سطحی

Table 1- Principle Component Analysis results of the topsoils

	مؤلفه یک Component(1)	مؤلفه دو Component(2)	مؤلفه سه Component(3)	مؤلفه چهار Component(4)
ارزش ویژه Eigenvalue	6.504	3.339	2.149	1.304
درصد واریانس Percent of variance	40.651	20.886	13.432	8.148
درصد تجمعی واریانس Cumulative variance percent	40.651	61.517	74.949	83.096
ویژگی‌ها Properties				
AWC	0.905	0.008	-0.058	0.111
Sgi	0.795	0.418	-.242	0.183
EC	0.747	0.180	0.182	-0.001
BD	-0.649	-0.255	0.004	-0.002
Clay	0.589	0.390	0.439	0.251
Gravel	-0.502	-0.331	-0.431	0.269
OC	-0.266	-0.926	-0.150	-0.056
SI	-0.305	-0.898	-0.145	-0.168
SAR	-0.015	0.767	0.618	-0.017
pH	0.440	0.645	-0.408	-0.301
MWD	-0.208	-0.083	0.919	0.139
TNV	0.336	0.418	0.808	0.107
Silt	0.132	-0.134	-0.098	0.898
Sand	-0.520	-0.206	-0.265	-0.749
RFC	0.097	0.274	0.597	0.705
AC	0.505	-0.079	-0.165	-0.671

مطابق جدول ۳ که نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در لایه‌های متوسط عمقی را نشان می‌دهد، شش مولفه اصلی دارای ارزش ویژه بزرگ‌تر از یک می‌باشند. این مولفه‌ها در مجموع ۹۲/۲ درصد از واریانس داده‌ها را توجیه می‌کنند. در مولفه اول ماده آلی، شاخص پایداری ساختمان خاک و آهک بیشترین ارزش را داشتند که اختلاف آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد بود. از آنجا که بیش از یک ویژگی در این مؤلفه انتخاب شد، همبستگی بین آن‌ها محاسبه و ویژگی شاخص پایداری ساختمان خاک به عنوان متغیر وابسته‌ی رابطه‌ای که علاوه بر معنی‌داری ($P<0.01$) بیشترین ضریب تعیین ($R2=0.66$) را داشت، در دسته حداقل داده‌ها قرار گرفت. این موضوع برای مولفه‌هایی که بیشتر از یک ویژگی داشتند، مورد توجه قرار گرفت. در مؤلفه دوم درصد شن و در مولفه سوم بین دو ویژگی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها و شیب منحنی رطوبتی در نقطه عطف، ویژگی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها انتخاب گردید. در مولفه چهارم تخلخل تهویه‌ای، در مولفه پنجم درصد سنگریزه و در مولفه ششم رطوبت قابل استفاده گیاه بیشترین ارزش را به خود اختصاص دادند. در جدول ۴ ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های متوسط عمقی آمده است.

مقادیر سهم هر ویژگی[1] حاصل از تجزیه عاملی در مجموعه TDS و MDS در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی در جدول ۵ ارائه شده است. میزان تاثیرگذاری هر ویژگی در مدل‌های کیفیت خاک به وزن اختصاص یافته به آن ویژگی بستگی دارد. به عبارت دیگر ویژگی‌های دارای وزن بالاتر در مجموعه TDS و MDS دارای تاثیر بیشتر بر مدل کیفیت خاک بوده و با کاهش وزن آن، این تاثیر کمتر می‌شود (۱۴). نتایج حاصل از محاسبه وزن در مجموعه TDS نشان داد که ویژگی‌های نسبت جذب سدیم و ماده آلی دارای وزن بالاتری بودند، در حالی که جرم مخصوص ظاهری دارای کمترین تاثیر در کیفیت خاک لایه سطحی منطقه مورد مطالعه بود. در مجموعه‌ی MDS نیز میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دارای وزن بالاتری در لایه سطحی این منطقه است. تخلخل تهویه‌ای، درصد شن و رطوبت قابل استفاده گیاه در مجموعه‌ی TDS، و درصد سنگریزه در مجموعه‌ی MDS بیشترین تاثیر را در کیفیت خاک لایه متوسط عمقی دارند.

1- Communality

جدول ۲- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های سطحی

Table 2- Pearson correlation coefficient between variables in surface samples

	AC	AWC	BD	RFC	SI	OC	MWD	Sand	Silt	Clay	Gravel	TNV	SAR	Sgi	EC	pH
AC	1	0.435	-0.199	-.494	0.038	-0.001	-0.268	0.216	-0.449	0.087	-0.210	-0.093	-0.120	0.220	0.194	0.540
AWC		1	-0.454	0.074	-0.361	-0.305	-0.148	-0.585*	0.186	0.631*	-0.251	0.245	-0.070	0.641*	0.651*	0.433
BD			1	-0.213	0.340	0.334	0.220	0.326	0.021	-0.457	0.446	-0.398	-0.168	-0.718**	-0.306	-0.393
RFC				1	-0.446	-0.376	0.588*	-0.789**	0.553	0.595*	-0.195	0.720**	0.587*	0.214	0.177	-0.226
SI					1	0.991**	-0.041	0.527	-0.056	-0.662*	0.463	-0.575	-0.745**	-0.556	-0.429	-0.586*
OC						1	-0.037	0.420	0.045	-0.602*	0.495	-0.572	-0.772**	-0.520	-0.421	-0.621*
MWD							1	-0.236	0.062	0.265	-0.123	0.665*	0.511	-0.463	-0.003	-0.477
Sand								1	-0.670*	-0.781**	0.190	-0.527	-0.306	-0.533	-0.387	-0.042
Silt									1	0.060	0.162	0.009	-0.163	0.228	0.139	-0.195
Clay										1	-0.392	0.701*	0.549	0.525	0.403	0.220
Gravel											1	-0.585*	-0.489	-0.454	-0.618*	-0.220
TNV												1	0.832**	0.298	0.486	0.095
SAR													1	0.178	0.241	0.280
Sgi														1	0.661*	0.626*
EC															1	0.373
pH																1

**معنی‌دار در سطح یک درصد

**significant at P<0.01

*معنی‌دار در سطح پنج درصد

*significant at P<0.05

برای تعیین امتیاز ویژگی‌های خاک از توابع امتیازدهی خطی استفاده شد. شاخص کیفیت تجمعی و نمرو نیز با استفاده از روابط موجود برای داده‌های سطحی و متوسط عمقی در دو مجموعه TDS و MDS محاسبه و نتایج در جدول ۶ ارائه شده است. مطابق طبقه‌بندی کیفیت خاک (جدول ۷) به روش کی و همکاران (۳۳)، IQI_{TDS} و NQI_{TDS} در لایه سطحی مزارع منتخب دارای درجه کیفیت III و در لایه متوسط عمقی دارای درجه کیفیت IV هستند (جدول ۸). همچنین IQI_{MDS} و NQI_{MDS} در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی دارای درجه کیفیت IV می‌باشند.

مقدار ماده آلی و به تبع آن شاخص پایداری ساختمان خاک اثرات تعیین‌کننده‌ای بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مانند چرخه عناصر غذایی، رشد ریشه گیاه، فعالیت میکروارگانیسم‌ها، افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک و افزایش بهره وری آب کشاورزی و .... دارد. همچنین پایین بودن مقدار نسبت جذب سدیم لایه‌های سطحی و متوسط عمقی تمامی مزارع (کمتر از ۲) نقش موثری در درجه کیفیت خاک مزارع داشته است. در لایه‌های متوسط عمقی کم بودن مقدار کربن آلی و شاخص پایداری ساختمان خاک به همراه سایر خصوصیات فیزیکی بیشترین محدودیت را برای کیفیت خاک در منطقه مورد مطالعه داشتند. بطوری‌که میانگین درصد سنگریزه در لایه‌های سطحی بین ۲۰ تا ۳۰ و در لایه‌های متوسط عمقی بین ۴۰ تا ۶۰ درصد می‌باشد. رسوبات مخروط افکنه‌ای و رودخانه‌ای، مواد مادری خاک‌های منطقه را تشکیل داده و نظم چینه‌ای رسوبات و تناوب درشت‌دانه و ریزدانه بیانگر نوع رودخانه‌ای این نهشته‌هاست.

جدول ۳- نتایج تجزیه مؤلفه‌های اصلی در نمونه‌های متوسط عمقی

Table 3- Principle Component Analysis results of the weighting average for the depths

	مؤلفه یک **Component(1)**	مؤلفه دو **Component(2)**	مؤلفه سه **Component(3)**	مؤلفه چهار **Component(4)**	مؤلفه پنج **Component(5)**	مؤلفه شش **Component(6)**
ارزش ویژه Eigenvalue	4.101	3.837	2.9.18	1.567	1.235	1.093
درصد واریانس Percent of variance	25.630	23.948	18.239	9.793	7.719	6.833
درصد تجمعی واریانس Cumulative variance percent	25.630	49.614	67.853	77.646	85.365	92.198
ویژگی‌ها Properties						
SI	0.886	-0.235	0.217	0.078	0.036	-0.154
OC	0.851	0.265	0.140	0.052	-0.223	-0.127
TNV	-0.819	0.002	0.066	0.251	0.247	-0.270
pH	-0.665	0.543	-0.090	-0.179	0.335	0.196
EC	0.545	0.149	-0.323	-0.327	0.332	-0.324
Sand	0.016	-0.965	0.148	-0.066	0.086	-0.147
Silt	0.181	0.856	-0.289	-0.089	-0.132	0.310
Clay	-0.434	0.710	0.233	0.369	0.056	-0.283
MWD	0.164	-0.146	0.929	0.226	0.007	0.099
Sgi	-0.148	0.072	-0.926	-0.237	-0.110	-0.088
SAR	0.222	0.411	-0.573	0.162	0.509	0.250
AC	0.063	0.073	-0.142	-0.978	-0.072	0.022
RFC	0.032	0.273	0.307	0.776	0.103	0.284
Gravel	0.382	0.254	0.043	-0.106	-0.820	-0.118
BD	-0.156	0.028	0.549	0.100	0.727	-0.227
AWC	-0.169	0.287	0.108	0.155	0.031	0.909

جدول ٤- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرها در نمونه‌های متوسط عمقی

Table 4- Pearson correlation coefficient between variables in sublayers (weighting average for the depths)

	AC	AWC	BD	RFC	SI	OC	MWD	Sand	Silt	Clay	Gravel	TNV	SAR	Sgi	EC	pH
AC	1	-0.149	-0.226	-0.782**	-0.083	0.028	-0.350	-0.037	0.227	-0.393	0.200	-0.320	-0.049	0.368	0.356	0.156
AWC		1	-0.093	0.494	-0.312	-0.169	0.145	-0.403	0.436	0.126	-0.155	-0.064	0.244	-0.171	-0.376	0.428
BD			1	0.314	0.017	-0.193	0.457	0.142	-0.331	0.339	-0.580*	0.375	-0.026	-0.526	-0.006	0.235
RFC				1	-0.014	0.028	0.429	-0.271	0.120	0.460	-0.020	0.037	0.131	-0.463	-0.225	0.072
SI					1	0.793**	0.372	0.287	-0.171	-0.392	0.211	-0.635*	-0.035	-0.343	0.333	-0.729**
OC						1	0.230	-0.248	0.353	-0.108	0.508	-0.614*	0.111	-0.205	0.272	-0.558
MWD							1	0.250	-0.344	0.082	0.032	0.003	-0.447	-0.989**	-0.336	-0.304
Sand								1	-0.934**	-0.632*	-0.255	0.016	-0.491	-0.187	-0.052	-0.515
Silt									1	0.314	0.335	-0.263	0.583*	0.302	0.155	0.363
Clay										1	-0.049	0.528	0.041	-0.157	-0.199	0.582*
Gravel											1	-0.556	-0.288	0.042	0.112	-0.383
TNV												1	-0.041	-0.049	-0.454	0.476
SAR													1	0.372	0.322	0.297
Sgi														1	0.275	0.225
EC															1	-0.129
pH																1

* معنی‌دار در سطح پنج درصد

*significant at P<0.05

**معنی‌دار در سطح یک درصد

**significant at P<0.01

جدول ٥- جدول اشتراک ویژگی‌های مورد بررسی با عامل‌های مستخرج (واریانس مشترک) به همراه ضریب وزنی در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی

Table 5- Table of Communality with extracted agents (common variance) with weight coefficient of surface and weighting average for the depths

ویژگی‌های خاک Soil properties	نمونه‌های سطحی Surface samples				نمونه‌های متوسط عمقی Subsurface samples			
	TDS		MDS		TDS		MDS	
	واریانس مشترک Common variance	ضریب وزنی Weight coefficient	واریانس مشترک Common variance	ضریب وزنی Weight coefficient	واریانس مشترک Common variance	ضریب وزنی Weight coefficient	واریانس مشترک Common variance	ضریب وزنی Weight coefficient
AC	0.739	0.056			0.992	0.067	0.604	0.134
AWC	0.835	0.063	0.747	0.218	0.974	0.066	0.759	0.168
BD	0.486	0.037			0.916	0.062		
RFC	0.938	0.071			0.864	0.059		
SI	0.948	0.071			0.919	0.062	0.725	0.160
OC	0.954	0.072	0.833	0.243	0.882	0.060		
MWD	0.914	0.069	0.937	0.273	0.972	0.066	0.765	0.169
Sand	0.944	0.071			0.987	0.067	0.810	0.179
Silt	0.850	0.064	0.913	0.266	0.970	0.066		
Clay	0.755	0.057			0.967	0.066		
Gravel	0.619	0.047			0.910	0.062	0.857	0.190
TNV	0.952	0.072			0.872	0.059		
SAR	0.972	0.073			0.894	0.061		
Sgi	0.898	0.068			0.960	0.065		
EC	0.624	0.047			0.746	0.051		
pH	0.867	0.065			0.928	0.063		

جدول ٦- مقادیر محاسبه شده شاخص‌های کیفیت خاک در مدل‌های IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی خاک

Table 6- Calculated values of soil quality indices of IQI and NQI models in TDS and MDS in surface and weighting average for the depths

اراضی و نوع محصول Lands and cultivation type	سامانه آبیاری Irrigation system	IQI_{TDS}		IQI_{MDS}		NQI_{TDS}		NQI_{MDS}	
		لایه سطحی Surface layer	لایه متوسط عمقی Subsurface layer	لایه سطحی Surface layer	لایه متوسط عمقی Subsurface layer	لایه سطحی Surface layer	لایه متوسط عمقی Subsurface layer	لایه سطحی Surface layer	لایه متوسط عمقی Subsurface layer
باغ میوه Fruit garden	قطره‌ای Drip irrigation	0.61 0.57 0.62	0.56 0.48 0.50	0.31 0.32 0.34	0.39 0.32 0.31	0.42 0.39 0.43	0.37 0.32 0.33	0.17 0.17 0.18	0.28 0.22 0.24
یونجه Alfalfa	بارانی Sprinkler irrigation (classic)	0.60 0.60 0.73	0.45 0.48 0.50	0.42 0.42 0.58	0.30 0.33 0.30	0.41 0.39 0.48	0.30 0.32 0.33	0.23 0.26 0.35	0.22 0.23 0.21
گندم Wheat	بارانی Sprinkler irrigation (center pivot)	0.60 0.57 0.56	0.53 0.47 0.47	0.42 0.37 0.40	0.40 0.28 0.33	0.40 0.39 0.38	0.35 0.31 0.31	0.22 0.19 0.21	0.26 0.22 0.27
گندم Wheat	غرقابی Flood irrigation	0.58 0.61 0.59	0.48 0.46 0.47	0.39 0.43 0.41	0.34 0.32 0.33	0.41 0.42 0.42	0.32 0.30 0.31	0.20 0.22 0.21	0.25 0.25 0.26

جدول ۷- درجه‌بندی کیفیت خاک در مدل‌های IQI و NQI در دو مجموعه TDS و MDS (۳۳)

Table 7- Soil quality grade for IQI and NQI models based on TDS and MDS (33)

نوع مدل Soil quality index model	روش Indicator method	درجه کیفیت خاک Soil quality grade I	II	III	IV
IQI	TDS	$IQI_{TDS}\geq0.76$	$0.76>IQI_{TDS}\geq0.66$	$0.66>IQI_{TDS}\geq0.56$	$0.56>IQI_{TDS}$
	MDS	$IQI_{MDS}\geq0.78$	$0.78>IQI_{MDS}\geq0.68$	$0.68>IQI_{MDS}\geq0.58$	$0.58>IQI_{MDS}$
NQI	TDS	$NQI_{TDS}\geq0.55$	$0.55>NQI_{TDS}\geq0.45$	$0.45>NQI_{TDS}\geq0.35$	$0.35>NQI_{TDS}$
	MDS	$NQI_{MDS}\geq0.80$	$0.80>NQI_{MDS}\geq0.70$	$0.70>NQI_{MDS}\geq0.60$	$0.60>NQI_{MDS}$

جدول ۸- مقادیر میانگین شاخص‌های کیفیت خاک و درجه بندی آن

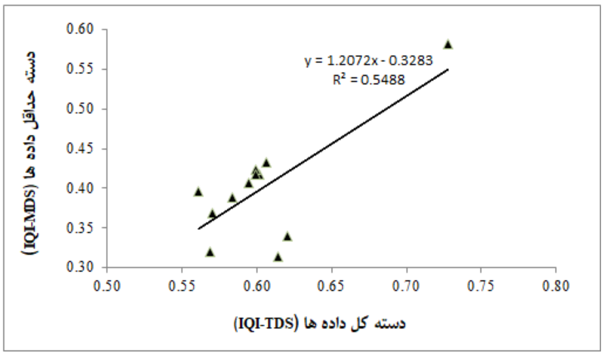
Table 8- Average values and classification of soil quality indices

اراضی Lands (Cultivation type)	سامانه آبیاری Irrigation system	IQI_{TDS} سطحی Surface	IQI_{TDS} متوسط عمقی Subsurface	IQI_{MDS} سطحی Surface	IQI_{MDS} متوسط عمقی Subsurface	NQI_{TDS} سطحی Surface	NQI_{TDS} متوسط عمقی Subsurface	NQI_{MDS} سطحی Surface	NQI_{MDS} متوسط عمقی Subsurface
باغ Fruit garden	قطره‌ای Drip irrigation	0.60 (III)	0.51 (IV)	0.32 (IV)	0.34 (IV)	0.41 (III)	0.34 (IV)	0.17 (IV)	0.24 (IV)
یونجه Alfalfa	بارانی Sprinkler irrigation (classic)	0.64 (III)	0.48 (IV)	0.47 (IV)	0.31 (IV)	0.43 (III)	0.32 (IV)	0.28 (IV)	0.22 (IV)
گندم Wheat	بارانی Sprinkler irrigation (center pivot)	0.58 (III)	0.51 (IV)	0.39 (IV)	0.34 (IV)	0.39 (III)	0.33 (IV)	0.21 (IV)	0.25 (IV)
گندم Wheat	غرقابی Flood irrigation	0.59 (III)	0.47 (IV)	0.41 (IV)	0.33 (IV)	0.42 (III)	0.31 (IV)	0.21 (IV)	0.25 (IV)

همبستگی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل و حداقل داده‌ها

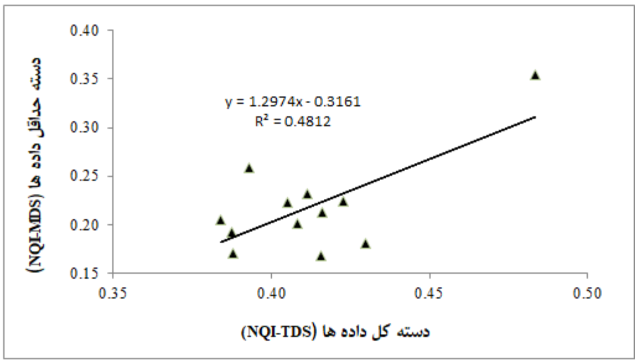
بررسی همبستگی خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل و حداقل داده‌ها نشان داد که شاخص IQI ضریب همبستگی بالاتری نسبت به شاخص NQI در نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی دارد (شکل‌های ۳ الی ۶). استفاده از شاخص IQI نتایج بهتری نسبت به شاخص کیفیت نمرو می‌دهد. محققین مختلف نیز از شاخص IQI برای ارزیابی کمّی کیفیت خاک استفاده کردند (۳۵ و ۱۲). با توجه به اینکه در این مدل، برای هر پارامتری ضریب وزنی در نظر گرفته می‌شود در نتیجه دقت مناسب‌تری در ارزیابی کیفیت خاک دارد (۳۳). به عبارت دیگر شاخص IQI در مجموعه TDS دارای دقت و حساسیت بیشتری برای ارزیابی کیفیت خاک بود که این امر را می‌توان به ویژگی‌های بیشتر در محاسبه این شاخص نسبت داد. در شاخص IQI هم وزن ویژگی‌ها و هم امتیاز آن‌ها اثرگذار است در صورتی که در شاخص NQI تنها امتیاز ویژگی‌ها در نظر گرفته می‌شود.

از سوی دیگر ضریب تبیین بین دو مجموعه TDS و MDS برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی در مدل IQI به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۵۶ درصد و در مدل NQI به ترتیب ۰/۴۸ و ۰/۱۶ درصد بود. این ضرایب نشان می‌دهند که با اطمینان ۰/۵۵ در مدل IQI و ۰/۴۸ در مدل NQI می‌توان از مجموعه MDS به جای مجموعه TDS برای نمونه‌های سطحی استفاده نمود. این کار علاوه بر صرفه‌جویی در زمان موجب کاهش هزینه در انجام مطالعات می‌شود. در واقع به رغم آن که روش انتخاب معیار TDS تمامی پارامترهای خاک را لحاظ نموده و در نتیجه نتایج بسیار قابل قبولی را ارائه می‌نماید، لیکن برای اینکه یک روش در پژوهشی استاندارد شده و نتیجه‌گیری را تسهیل نماید؛ روش انتخاب معیار MDS مناسب‌تر از روش TDS پیشنهاد می‌شود؛ زیرا ضمن بهره‌گیری از ویژگی‌های کمتر، نتایجی مشابه روش TDS را نشان می‌دهد. ذکر این نکته ضروری است یک روش استاندارد باید سریع، قابل اطمینان و از نظر اقتصادی منعطف باشد. در واقع کاربرد روش MDS و بهره‌گیری از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک، ضمن کاهش زمان انجام مطالعات، زمینه صرفه اقتصادی در بحث پایش و بهره‌برداری پایدار از اراضی کشاورزی را فراهم می‌نماید (۱۳، ۴، ۳۰ و ۳۳).



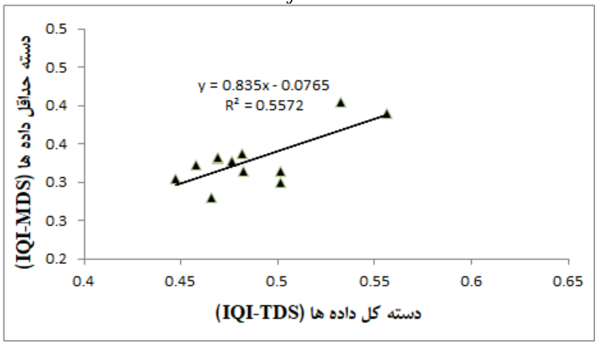
شکل ۳- رابطه خطی IQI_{TDS}-IQI_{MDS} در نمونه‌های سطحی

Figure 3- IQI_{TDS}-IQI_{MDS} linear relationship for surface layers



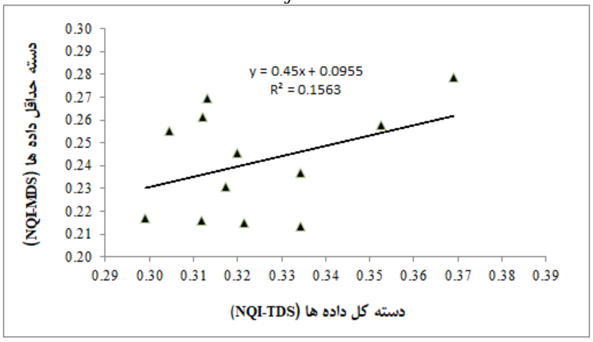
شکل ٤- رابطه خطی NQI_{TDS}-NQI_{MDS} در نمونه‌های سطحی

Figure 4- NQI_{TDS}-NQI_{MDS} linear relationship for surface layers



شکل ۵- رابطه خطی IQI_{TDS}-IQI_{MDS} در نمونه‌های متوسط عمقی

Figure 5- IQI_{TDS}-IQI_{MDS} linear relationship for weighting average for the depths



شکل ٦- رابطه خطی NQI_{TDS}-NQI_{MDS} در نمونه‌های متوسط عمقی

Figure 6- NQI_{TDS}-NQI_{MDS} linear relationship for weighting average for the depths

بررسی تاثیر مدیریت آبیاری و الگوی کشت (نوع کاربری) بر شاخص‌های کیفیت خاک

نتایج تجزیه واریانس یک طرفه در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی مزارع منتخب نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص IQI_{TDS} و NQI_{TDS} و همچنین میانگین شاخص‌های IQI_{MDS} و NQI_{MDS} اراضی مختلف وجود ندارد. به عبارت دیگر مدیریت آبیاری و نوع کاربری، نتوانسته است تفاوتی در شاخص‌های کیفیت خاک منطقه مطالعاتی ایجاد کند. عدم تفاوت قابل توجه در مقادیر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و کیفیت یکسان آب آبیاری مزارع (تیپ آب آبیاری در تمامی سامانه‌های آبیاری بیکربناته و رخساره آب کلسیک با EC کمتر از یک دسی‌زیمنس بر متر)، تاثیر مستقیمی در عدم اختلاف بین میانگین‌های شاخص کیفیت خاک این اراضی داشت. لیکن بررسی جدول ۹، مقدار کمّی شاخص کیفیت خاک در لایه سطحی مزرعه یونجه را بیشتر از سایر اراضی نشان می‌دهد. وجود ماده آلی در این اراضی و تاثیر آن در دیگر ویژگی‌های خاک دلیل عمده این تفاوت است. تحقیقات وحدت‌خواه و همکاران (۴۱) و فلاح‌زاده و حاج‌عباسی (۹) به نقش مواد آلی و پتانسیل بالای ترسیب کربن در زمین‌های زیر کشت یونجه در افزایش کیفیت خاک اشاره دارند. میانگین ماده آلی در لایه سطحی مزرعه یونجه، باغ، مزرعه گندم با آبیاری بارانی و مزرعه گندم با آبیاری غرقابی به ترتیب ۱/۴۳، ۰/۹۸، ۰/۷۷ و ۰/۴۸ درصد است.

نتیجه‌گیری

نتایج تجزیه واریانس در لایه‌های سطحی و متوسط عمقی منطقه مطالعاتی اختلاف معنی‌داری بین میانگین شاخص IQI_{TDS} و NQI_{TDS} و میانگین شاخص‌های IQI_{MDS} و NQI_{MDS} اراضی مختلف نشان نداد. نتایج ارزیابی شاخص‌های کیفیت خاک از طریق تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و تعیین سهم هر ویژگی حاصل از آنالیز تجزیه عامل در دو مجموعه TDS و MDS نشان داد که در مجموعه TDS ویژگی‌های کربن آلی و نسبت جذب سدیم و در مجموعه‌ی MDS، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دارای وزن بالاتری در لایه سطحی اراضی این منطقه هستند. تخلخل تهویه‌ای و درصد شن در مجموعه‌ی TDS، و درصد سنگریزه در مجموعه‌ی MDS بیشترین تاثیر را در کیفیت خاک لایه متوسط عمقی داشتند. استفاده از

مدل‌های IQI و NQI دارای مزیت‌هایی نسبت به سایر شاخص‌ها می‌باشد؛ به‌طوری‌که محققان، مدیران خاک و همچنین کشاورزان هر دو نوع شاخص را به راحتی درک می‌کنند، هر دو شاخص اطلاعات را بر اساس روش‌های ریاضی ترکیب می‌نمایند که منجر به افزایش اطمینان داده‌ها می‌شود و هر دو شاخص می‌توانند زمینه‌ای را برای برنامه‌ریزی سایر تحقیقات کشاورزی فراهم نمایند. بررسی همبستگی خطی بین شاخص‌های کیفیت خاک با دسته کل داده‌ها و دسته حداقل داده‌ها نشان داد که شاخص IQI ضریب همبستگی نزدیک نسبت به شاخص NQI در نمونه‌های سطحی دارد. در نمونه‌های متوسط عمقی نیز شاخص IQI ضریب همبستگی بالاتری نسبت به شاخص NQI دارد. در مجموع می‌توان گفت که در مناطق مطالعاتی شاخص IQI برای محاسبه کیفیت خاک مناسب‌تر عمل نموده و نتایج بهتری نسبت به شاخص NQI داشته است. زیرا در شاخص IQI هم وزن ویژگی‌ها و هم امتیاز آنها اثرگذار است در صورتی که در شاخص NQI تنها امتیاز ویژگی‌ها در نظر گرفته می‌شود. بررسی ضریب تبیین (R^2) برای نمونه‌های سطحی و متوسط عمقی بین دو مجموعه TDS و MDS در دو مدل IQI و NQI نشان‌دهنده قابل اطمینان بودن استفاده از مجموعه MDS به جای TDS در لایه سطحی می‌باشد. بنابراین استفاده از مؤثرترین ویژگی‌های خاک در مطالعات ارزیابی کیفیت خاک علاوه بر صرفه‌جویی در زمان، موجب کاهش هزینه در انجام مطالعات شده و اثر تکرارپذیری حاصل از ویژگی‌های با همبستگی مشابه را کاهش می‌دهد.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از نتایج طرح پژوهشی خاتمه یافته با کد ۹۴۰۰۳- ۹۴۵۳-۲۹-۲۹-۰۱۴ در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری می‌باشد که با حمایت مالی معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی اجرا شده است. لذا نگارندگان مقاله سپاسگزاری خود را از سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی اعلام می‌دارند.

فهرست اختصارات مهم استفاده شده در این مقاله

معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری	معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری
رطوبت قابل استفاده گیاه	Plant Available Water Capacity	PAWC	تخلخل تهویه‌ای	Air Capacity	AC
پ‌هاش	Power of Hydrogen	pH	جرم مخصوص ظاهری	Bulk Density	BD
ظرفیت زراعی نسبی	Relative Field Capacity	RFC	هدایت الکتریکی	Electrical Conductivity	EC
نسبت جذب سدیم	Sodium Adsorption Ratio	SAR	عاملی تجزیه	Factor Analysis	FA
شاخص پایداری ساختمان خاک	Structural Index	SI	شاخص کیفیت تجمعی	Integrated Quality Index	IQI
استاندارد توابع امتیازدهی	Standard Scoring Functions	SSF	مجموعه حداقل داده‌ها	Minimum Data Set	MDS
مجموعه کل داده‌ها	Total Data Set	TDS	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها	Mean Weight Diameter	MWD
حجم کل مواد خنثی شونده	Total Neutralizing Value	TNV	شاخص کیفیت نمرو	Nemero Quality Index	NQI
ظرفیت نگهداری آب	Water Holding Capacity	WHC	کربن آلی	Organic Carbon	OC

منابع

1- Andrews S.S., Flora C.B., and Mitchell J.P. 2002. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in northern California, Agriculture, Ecosystems and Environment 90: 25-45.
2- Andrews S.S., Karlen D.L., and Cambardella C.A. 2004. The soil management assessment framework. Soil Science Society of America Journal 68(6): 1945-1962.
3- Armenise E., Redmile-Gordon M.A., Stellacci A.M., Ciccarese A., and Rubino P. 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil and Tillage Research 130: 91-98.
4- Azarneshan S., Khormali F., Sarmadian F., Kiani F., and Eftekhari K. 2018. Soil quality evaluation of semi-arid and arid lands in Qazvin Plain, Iran, Journal of Water and Soil 32(2): 359-374. (In Persian with English abstract)
5- Barrios E., Delve R.J., Bekunda M., Mowo J., Agunda J., Ramisd J., Trejo M.T., and Thomas R.J. 2006. Indicators of soil quality: A south-south development of a methodological guide for linking local and technical knowledge. Geoderma 135: 248-259.
6- Dexter A. 2004. Soil physical quality, Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about Stheory. Geoderma 120: 227-239.

7- Doran J.W., and Parkin B.T. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., and et al.(Eds.), Defining soil quality for a sustainable Environment. Soil Science Society of American, Inc., Madison, WI, USA, pp. 3-21. Special Publication. Number 35.
8- Emami H., Neyshabouri M.R., and Shorafa M. 2012. Relationships between some soil quality indicators in different agricultural soils from Varamin, Iran. Agriculture Science and Technology 14: 951-959. (In Persian with English abstract)
9- Fallahzade J., and Hajabbasi M.A. 2011. Changes in Soil Quality Indicators by Reclamation of Salt–Affected Land in Abarkooh Plain, Central Iran, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 15(55): 139-150. (In Persian with English abstract)
10- Fox G.A., and Metla R. 2005. Soil property analysis using principle component analysis, soil line and regression models. Soil Science Society and American Journal 69: 1782-1788.
11- Gee G.W., and Bauder J.M. 1986. Partical-size analysis. Pp 383-411. In: Page, A. L., and et al (Eds), Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monogroph No. 9 (2nd edition), American Society of Agronomy, Madison, WI.
12- Ghahramanpoor R., Gorji M., Pourbabaee A.A., and Farahbakhsh M. 2018. Investigating the Effects of Conservation and Reduced Tillage Systems on Soil Quality Indices, Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR) 49(6): 1355-1364. (In Persian with English abstract)
13- Gorji M., Kakeh J., and AliMohammadi A. 2017. Quantitative soil quality assessment in different land uses at some Parts of south eastern of Qazvin, Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR) 48(5): 941-950. (In Persian with English abstract)
14- Govaerts B., Sayre K.D., and Deckers J. 2006. A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. Soil and Tillage Research 87: 163–174.
15- Guo L., Sun Z., Ouyang Z., Han D., and Li F. 2017. A comparison of soil quality evaluation methods for Fluvisol along the lower Yellow River. Catena 152: 135-143.
16- Han W.J., and Wu Q.T. 1994. A primary approach on the quantitative assessment of soil quality. Chinese Journal of Soil Science 25: 245–247.
17- Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). 2018. Meteorological Administration of Alborz province, Summary of statistics of Alborz province's meteorological station. (In Persian)
18- Jiang P., and Telen K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north central cornsoybean cropping system. Agronomy Journal 96: 252-258.
19- Karlen D.L., and Scott D.E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. Defining soil quality for a sustainable environment, (definingsoilqua), 53-72.
20- Karlen D.L., Mausbach M.J., Doran J.W., Cline R.G., Harris R.F., and Schuman G.E. 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). Soil Science Society of America Journal 61(1): 4-10.
21- Karlen D.L., Andrews S.S., and Doran J.W. 2001. Soil quality: current concepts and Lal, R, forest soils and carbon sequestration, Forest Ecology and Management 13: 317-333.
22- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part a: Physical and Mineralogical Methods. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison, WI:425–442.
23- Koohafkan P., Lantieri D., and Nachtergaele F. 2003. Land Degradation Assessment in Drylands (LADA): Guidelines for a Methodological Approach. Land and Water Development Division, FAO, Rome.
24- Kouchaki A., Hasheminia S.M., and Ghahraman N. 1997. Salt water utilization in sustainable agriculture, Mashhad University Jihad, 236p. (In Persian)
25- Liu Z., Zhou W., Shen J., Li S., He P., and Liang G. 2014. Soil quality assessment of Albic soils with different productivities for eastern China. Soil and Tillage Research 140: 74-81.
26- Mohaghegh P., Naderi M., and Mohammadi J. 2016. Determination of Minimum Data Set for Assessment of Soil Quality: A Case Study in Choghakhur Lake Basin, Journal of Water and Soil 30(4): 1232-1243. (In Persian with English abstract)
27- Mohammadi J., Khademi H., and Nael M. 2005. Study the variability of soil quality in selected ecosystems of Centeral Zagros. J. of Science and Technology of Agriculture and Natural Resourses, Isfahan University of Technology 9(3): 105-120. (In Persian with English abstract)
28- Motaghi M.M. 1998. Soil Survey Manual, Agricultural Research, Education and Extension Organization. (In Persian)
29- Mukherjee A., and Lal R. 2014. Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. PLoS ONE 9(8): e105981. doi:10.1371/journal.pone.0105981.
30- Nori N., Rostaminia M., Keshavarzi A., and Rahmani A. 2019. Quantitative Evaluation and Zoning of Spatial Distribution of Soil Quality Index in Some Parts of Arid and Semi-Arid Lands of Western Iran (Case Study: Kane Sorkh Region, Ilam Province), Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR) 50(7): 1701-1719. (In Persian

with English abstract)
31- Page A.L., Miller R.H., and Keeney D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part2- Chemical and Microbiological methods. Seconds edition. Soil Science Society of America, Inc. Publisher Madison, Wisconsin. USA.
32- Pieri C.J.M.G. 1992. Fertility of Soils: A Future for Farming in the West African Savannah. Springer-Verlag, Berlin, Germany.
33- Qi Y., Darilek J.L., Huang B., Zhao Y., Sun W., and Gu Z. 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma 149(3-4): 325-334.
34- Qin M.Z., and Zhao J. 2000. Strategies for sustainable use and characteristics of soil quality changes in urban-rural marginal area: a case study of Kaifeng. Acta Geogr. Sin. 55: 545–554.
35- Rahmani poor F., Bahrami H., Rahimi Bandarabadi S., and Fereidooni Z. 2015. Quantitative Evaluation of Soil Quality and Its Spatial Distribution in Some Agricultural Regions of Qazvin Province, Iran, Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR) 43(1): 1-8. (In Persian with English abstract)
36- Reynolds W.D., Drury C.F., Tan C.S., Fox C.A., and Yang X.M. 2009. Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality. Geoderma 152: 252-263.
37- Shukla M.K., Lal R., and Ebinger M. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. Soil and Tillage Research 87: 194-204.
38- Sun B., Zhou S., and Zhao Q. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. Geoderma 115(1): 85-99.
39- Swanepoel P.A., Du Preez C.C., Botha P.R., Snyman H.A., and Habig J. 2014. Soil quality characteristics of kikuyu–ryegrass pastures in South Africa. Geoderma 232: 589-599.
40- USDA. 2014. Keys to soil Taxonomy, Soil Survey Staff. Twelfth Edition.
41- Vahdatkhah M., Farpoor M.H. and Sarcheshmehpoor M. 2013. Comparison of some Soil Quality Indicators in Different Land Uses/Covers in Mahan-Joopar Area,Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science 17(64): 107-117. (In Persian with English abstract)
42- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determining soil organic matter and aproposed modification of chromic acid titration method. Soil Science 37(1): 29-38.
43- Yao R.J., Yang J.S., Zhao X.F., Li X.M., Liu M.X. 2013. Determining minimum data set for soil quality assessment of typical salt-affected farmland in the coastal reclamation area Soil and Tillage Research 128: 137–148.
44- Yemefack M., Jetten V.G., and Rossiter D.G. 2006. Developing a minimum data set for characterizing soil dynamics in shifting cultivation systems. Soil and Tillage Research 86: 84–98.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 251-266

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۶۶-۲۵۱

Determining the Most Effective Properties to Evaluate Soil Quality of Agriculture Lands in Mohammadshahr Plain of Karaj

K. Kamali[1*]- G.R. Zehtabian[2]- T. Mesbahzadeh[3]- M. Arabkhedri[4]- H. Shahab Arkhazloo[5]- A. Moghadamnia[6]

Received: 15-09-2020
Accepted: 06-03-2021

Introduction: Soil quality is an essential indicator for sustainable land management that generally depends on soil physical, chemical and biological properties. Due to the multiplicity of soil properties, the number of variables is usually reduced to a minimum set by statistical methods, which reduces study time, decreases monitoring cost for sustainable use of agricultural lands. The aim of this study was to introduce the most effective soil characteristics of agricultural lands in Mohammadshahr plain, Karaj, to prevent the descending trend of soil quality.

Materials and Methods: In this study, four farms and orchards which were different in terms of crop type and irrigation system were selected and evaluated with Integrated Quality Index (IQI) and Nemero Quality Index (NQI). In both indicators, the characteristics affecting soil quality are combined in the form of a mathematical model and presented as a numerical quantity. For this purpose, first 12 soil profiles were described, followed by sampling from topsoil (surface layer) and sublayers (weighting average for the depths) and testing 17 soil characteristics affecting its quality. In the next step, both indicators were calculated using two different sets of soil properties. The first category, the Total Data Set (TDS), included all measured soil characteristics, and the second group, the Minimum Data Set (MDS), included the most important properties affecting soil quality. The Principle Component Analysis was implemented to select the MDS. Soil properties were scored to calculate IQI and NQI. For this purpose, a function was defined for each soil feature to standardize all scores between zero and one. Weighting various soil quality properties was also performed by calculating the common variance of the variables, which was obtained by factor analysis method.

Results and Discussion: Calculation of IQI and NQI indices showed that the topsoil samples were in grade III and sublayer samples belonged to grade IV with major limitations due to lack of profile development, organic carbon deficiency, salinity and high gravel. Four and six items out of 16 variables were identified effective for topsoil and sublayers, respectively. The IQI index based on TDS was more accurate and sensitive than the NQI index for soil quality assessment, as more features are considered for TDS. In the IQI index, both the weight of attributes and their scores are effective, while in the NQI index, only the attribute score is considered. On the other hand, the coefficient of determination between the TDS and MDS for topsoil and sublayer samples was 0.55 and 0.56% for IQI model, respectively, and 0.48 and 0.16% for NQI model, respectively. In other words, the determination coefficients showed the reliability of using the MDS instead of TDS in both IQI and NQI models. In the MDS, mean weight diameter (MWD) showed the highest effect on the surface layer and percentage of gravel had the greatest impact on the soil quality of the sublayer.

Conclusion: Although TDS took into account all soil properties and showed a slightly higher coefficient of determinations with both soil quality indicators, the MDS obtained similar results to the TDS with only about half of the properties. In the MDS, the features with an internal correlation is eliminated rendering it more cost effective. The results of this study assist decision-makers to choose better quality management and soil sustainability strategies while decreasing the monitoring cost.

1- Graduated Ph.D. in Combating Desertification, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, and Member of Scientific Board, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran
(*- Corresponding Author Email: kamali_kourosh@yahoo.com)
2, 3 and 6- Professor and Associate Professors, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, respectively.
4- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
5- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2021.15005.0

Keywords: Irrigation systems, Integrated quality index, Karaj, Nemoro quality index, Principle component analysis

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 267-284

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۸۴-۲۶۷

مقاله پژوهشی

بررسی سیستم ریشه‌ای ارقام مختلف جو زراعی تحت کاربرد منابع کودی در شرایط دیم

رحیم ناصری[1]*- امیر میرزایی[2]- امین عباسی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹

چکیده

کودهای زیستی بدلیل محلول نمودن فسفات‌های تثبیت شده و در اختیار گذاشتن عناصرغذایی جهت رشد گیاه در خاک، نقش مهمی در حاصلخیزی خاک دارند، قارچ میکوریزا از جمله مهمترین ریزسازواره‌های مفید خاکزی بشمار می‌آید، به همین منظور جهت ارزیابی و نقش تلقیح با قارچ میکوریزا روی سیستم ریشه ارقام جو دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله واقع در شهرستان چرداول در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل ارقام جو (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر، قارچ میکوریزا (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum* and *Rhizophagus irregularis*)، مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و مصرف ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر قابل توصیه بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که برهمکنش رقم و منابع کودی بر خصوصیات ریشه‌ای جو دیم معنی‌دار بود، به طوری‌که بیشترین طول ریشه (افزایش ۷۶/۶ درصدی)، حجم ریشه (افزایش ۷۵/۷ درصدی)، سطح ریشه (افزایش ۷۳/۳ درصدی)، تراکم طول ریشه (افزایش ۷۶/۸ درصدی)، تراکم بافت ریشه (افزایش ۸۹/۹ درصدی)، حجم مخصوص ریشه (افزایش ۶۵/۷ درصدی) و چگالی سطح ریشه (افزایش ۷۰/۶ درصدی) در رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد. بنابراین در بین ارقام مورد استفاده رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر می‌تواند موجب توسعه سیستم ریشه‌ای و در نهایت سبب افزایش عملکرد دانه تحت شرایط دیم گردد.

واژه‌های کلیدی: تراکم بافت ریشه، تراکم طول ریشه، چگالی سطح ریشه، حجم مخصوص ریشه، قطر ریشه

مقدمه

بایستی توجه کرد که در شرایط کم‌آبی با مدیریت صحیح منابع در حضور کودهای زیستی علاوه بر کاهش میزان آب مصرفی ، افزایش فعالیت سیستم‌های دفاعی گیاه و غنی‌سازی محصولات زراعی می‌توان گامی اساسی در راستای ایجاد کشاورزی پایدار برداشت (۵۴). کودهای زیستی نقش مهمی در باروری و حاصلخیزی خاک بواسطه محلول نمودن فسفات‌های تثبیت شده و تولید عناصرغذایی مورد نیاز برای رشد گیاه در خاک، دارد. از مهمترین ریزموجودات مفید خاکزی، به قارچ میکوریزا می‌توان اشاره نمود، قارچ میکوریزا با دارابودن شبکه هیفی گسترده و افزایش سطح و سرعت جذب ریشه، کارآیی گیاه را در جذب آب و عناصر غذایی به خصوص عناصر کم‌تحرک مثل فسفر، روی و مس را افزایش داده و سبب بهبود رشد گیاه میزان می‌شود. همچنین، این قارچ با تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین و سیتوکینین، مقاومت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا افزایش داده و سبب بهبود ساختمان خاک از طریق اتصال ذرات خاک به یکدیگر می‌گردد (۶). قارچ میکوریزا بر تعادل آبی گیاه تاثیر گذار می‌باشد (۵). نتایج سایر محققین نیز نشان داد که اصلاح روابط آبی به دلیل افزایش هدایت روزنه‌ای و تعرق، اثرات هورمونی و تعادل هورمونی، افزایش سریع جذب آب و رساندن پتانسیل گیاه به حد تعادل، جذب بیشتر آب به واسطه هیف‌ها و خاکدانه‌سازی تحت تأثیر گیاه بوسیله قارچ میکوریزا قرار می‌گیرد (۳۱). همزیستی با قارچ میکوریزا منجر به ایجاد تغییراتی در سرعت حرکت آب به داخل، سراسر و یا خارج گیاه میزبان می‌شود و بر آبگیری بافت و فعالیت‌های فیزیولوژیک برگ تأثیر (۵) و

۱- گروه تکنولوژی تولیدات گیاهی، آموزشکده فنی‌مهندسی و کشاورزی دهلران، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
۳- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه مراغه
DOI: 10.22067/jsw.2021.15046.0

می‌تواند سطح جذب ریشه‌ها را حدود ۴۷ برابر زیاد کند (۶۲). با توجه به اهمیت و نقش گسترش مناسب سیستم ریشه در گیاه، به ویژه‌ای در شرایط دیم از یک طرف و نقش ریشه در جذب آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طرفی دیگر، سیستم ریشه از عوامل تاثیرگذار در تولید عملکرد جو و محصولات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای در برخوردار می‌باشد (۱۵). قارچ‌های میکوریزدر گیاه میزبان با جذب کارآمدتر آب سبب باز نگه داشتن روزنه‌ها و افزایش در هدایت روزنه‌ای گیاه می‌شوند، این ارتباط آب با گیاه میزبان توسط قارچ میکوریزا را به واسطه افزایش هدایت هیدرولیکی خاک، افزایش نسبت تعرق، کم‌شدن مقاومت روزنه‌ای نسبت داده‌اند (۵۴). در گزارش‌های محمد و همکاران (۳۸) روی گندم نشان دادند که قارچ میکوریزا سبب افزایش طول ریشه می‌شود. اصلاح روابط آبی گیاه توسط قارچ‌های میکوریز می‌تواند به علت افزایش توان جذب آب و بهبود هدایت روزنه‌ای، جذب بیشتر آب به وسیله هیف‌ها، افزایش جذب آب و به حداکثر رساندن سریع پتانسیل گیاه به حد تعادل و ساخت خاکدانه‌ها باشد (۱۴). قارچ میکوریزا به دلیل تحریک تشکیل ریشه و به دنبال آن افزایش سطح ریشه از طریق تولید هورمون‌های اکسین و جیبرلین، موجب افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (۵۶). اثر اصلی قارچ میکوریز کاهش مقاومت انتقال آب در ریشه‌هاست که ناشی از وجود هیف‌ها در کورتکس ریشه و افزایش سطح جذب کنندهٔ آب به واسطه رشد هیف می‌باشد (۳۳). با توجه به نقش مهم و کلیدی ریشه در رشد و نمو گیاهان زراعی بخصوص در زراعت دیم به دلیل وابستگی رشد این گیاهان به بارندگی، داشتن اطلاعات کافی و بررسی شناخت خصوصیات موفولوژیکی ریشه کمک مهمی به محققین و کشاورزان در جهت بهره برداری بیشتر در محصولات زراعی بخصوص جو خواهد نمود، بنابراین، این پژوهش با هدف بررسی نقش سیستم ریشه در حضور قارچ میکوریزا در ارقام جدید جو در منطقه ایلام در شرایط دیم به اجرا درآمد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل عامل ارقام جو (محلی، ماهور، خرم و فردان) و تیمار منابع کودی شامل: شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)، ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر، مصرف توآم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و ۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر بودند. در این پژوهش طول ردیف در هر کرت چهار متر، فاصله بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و بین تکرارها نیز فاصله دو متر انتخاب شد. قارچ میکوریزا مورد استفاده در این پژوهش از موسسه خاک و آب کرج تهیه گردید. بذور جو با این قارچ که هر گرم آن دارای ۷۰ اسپور زنده بود، آغشته شد و بعد آماده‌شدن زمین، بذور تلقیح شده با قارچ با خاک پوشانده شدند. آمار هواشناسی در طرح پژوهشی در جدول ۱ ارائه شده است. کود نیتروژن به میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) و کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید (جدول ۲).

جدول ۱- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸

Table 1- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2019-2020 cropping seasons

Month	ماه	حداقل دما	حداکثر دما	میزان بارش	حداقل رطوبت	حداکثر رطوبت
		Min temp (°C)	Max temp (°C)	Precipitation (mm)	Min. RH (%)	Max RH (%)
Oct.	مهرماه	13.2	37.2	15	18	41
Nov.	آبان	0.8	27.2	44.6	33	73
Dec.	آذر	0.2	19.6	134.4	53	83
Jan.	دی	-2	16.4	37.4	47	84
Feb.	بهمن	-8.5	19.5	60.3	43	79
Mar.	اسفند	1.7	24.8	267.1	47	84
Apr.	فروردین	2.6	26.6	33.5	40	80
May	اردیبهشت	4.8	36.5	11.3	24	64
Jun.	خرداد	16	39.7	0	12	31

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۹۹-۱۳۹۸
Table 2- Soil physical and chemical properties of experimental area

بافت خاک	Soil texture	رسی‌لومی	Clay loam
اسیدیته	pH		7.1
شوری	EC	($dS\ m^{-1}$)	0.40
کربن آلی	Organic Carbon	(%)	1.5
نیتروژن	Total N	(%)	0.13
فسفر	Available P	($mg\ kg^{-1}$)	6
پتاسیم	Available K	($mg\ kg^{-1}$)	280
منیزیم	Mg	($mg\ kg^{-1}$)	216
منگنز	Mn	($mg\ kg^{-1}$)	12
مس	Cu	($mg\ kg^{-1}$)	5.2
روی	Zn	($mg\ kg^{-1}$)	1.4
آهن	Fe	($mg\ kg^{-1}$)	10

جهت اندازه‌گیری صفات مرتبط با ریشه (وزن تر و خشک ریشه، مجموع طول ریشه و حجم ریشه) در داخل مزرعه در مرحله گرده‌افشانی از استوانه‌ای فلزی (شبیه به اوگر نمونه‌برداری خاک) که به صورت دستی طراحی و الگو برداری شده بود، استفاده گردید. استوانه فلزی مورد استفاده در این پژوهش دارای ۳۰ سانتی‌متر طول و دو سانتی‌متر قطر بود. جهت نمونه‌گیری ریشه داخل خاک، استوانه را تا عمق مورد در خاک فرو برده، سپس ریشه‌ها در ظرف یکبار مصرف گذاشته و پس از اتمام نمونه‌گیری به آزمایشگاه منتقل و اقدام به شستشوی آن‌ها و در داخل یخچال نگهداری نگهداری شدند. پس از شستشوی ریشه و انتقال ریشه‌ها به داخل آزمایشگاه وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن گردید (۳). طول ریشه‌ها پس از قرار دادن در آب جهت شناورشدن آن‌ها توسط خط‌کش با دقت زیاد اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری پارمترهای مربوط به ریشه، ریشه‌های مورد آزمایش در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گذاشته سپس توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ اندازه‌گیری شدند.

محاسبه حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق رابطه زیر انجام گرفت:

$$A = B - C$$

A= حجم ریشه، B= حجم آب و ریشه، C= حجم آب خالی

سطح ریشه که از فرمول زیر محاسبه شد (۳ و ۵۸):

$$RA = 2 \times SQRT\langle RV \times 3.14 \times RL \rangle$$

RA[1]= سطح ریشه، RV[2]= حجم ریشه، RL[3]= طول ریشه، SQRT= ریشه دوم

شادابی ریشه از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (۱۹):

$$RF = \frac{RL}{RFW}$$

RF[4]= شادابی ریشه، RL= طول ریشه، RFW[5]= وزن تر ریشه

قطر ریشه که طریق محاسبه آن به صورت زیر انجام گرفت (۱۹ و ۵۵):

$$RD = \left(4 \times FRW \big/ (RL \times 3.14) \right)^{1/2}$$

RD[6]= قطر ریشه، FRW= وزن تر ریشه، RL= طول ریشه

طول مخصوص ریشه که محاسبه آن به صورت زیر انجام گرفت (۲۴ و ۳۲):

$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$

SRL[7]= طول مخصوص ریشه، RL= طول ریشه، DRW[8]= وزن خشک ریشه

طریقه محاسبه محتوای آب ریشه به صورت زیر صورت گرفت (۲۲ و ۳۰):

$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

RWC[9]= محتوای آب ریشه، RFW= وزن تر ریشه، DRW=

1- Root Area
2- Root volume
3- Root length
4- Root fineness
5- Fresh root weight
6- Root diameter
7- Special root length
8- Dry root weight
9- Root water content

وزن خشک ریشه

تراکم طول ریشه از طریق رابطه زیر بدست آمد (۳۲ و ۳۴):

$$RLD = \frac{RL}{SV}$$

RLD[1]= تراکم طول ریشه، RL= طول ریشه، SV[2]= حجم خاک

حجم مخصوص ریشه از طریق رابطه زیر بدست آمد (۲۲):

$$SRM = \frac{RDW}{SV}$$

SRM[3]= حجم مخصوص ریشه،DRW= وزن خشک ریشه ،SV= حجم خاک

طریقه محاسبه تراکم بافت ریشه به صورت زیر انجام گرفت (۴۹):

$$RTD = RDW \times RV$$

RTD[4]= تراکم بافت ریشه، DRW= وزن خشک ریشه،RV= حجم ریشه

طریقه محاسبه تراکم حجم ریشه به صورت زیر انجام گرفت (۱۹):

$$RMD = \frac{FRW}{SV}$$

RMD[5]= تراکم حجم ریشه، FRW= وزن تر ریشه، SV= حجم خاک

طریقه محاسبه چگالی سطح ریشه به صورت زیر انجام گرفت (۳):

$$RSAD = RL \times RD \times 3.14$$

RSAD[6]= چگالی سطح ریشه، RL= طول ریشه، RD= قطر ریشه.

اندازه‌گیری عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه‌ای (۵۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتها) برای هرکرت انجام شد. تجزیه آماری داده‌های این طرح پژوهشی بوسیله نرم‌افزار SAS، مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و ترسیم شکل‌ها توسط نرم‌افزار اکسل صورت گرفتند.

1- Root length density
2- Soil volume
3- Special root mass
4- Root tissue density
5- Root mass density
6- Root surface area density

نتایج و بحث

خصوصیات سیستم ریشه‌ای

وزن ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی رقم و ترکیب کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر وزن ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). در این پژوهش نشان داده‌شد که رقم فردان دارای بیشترین وزن ریشه و کمترین وزن ریشه در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش وزن ریشه گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان وزن بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که قارچ میکوریزا با افزایش ساخت فیتوهورمون‌ها به ویژه اکسین در پیرامون ریشه می‌شوند که این هورمون در توسعه سیستم ریشه و نگهداری آن ایفای نقش نماید (۴۸). در مطالعه‌ای روی گیاه زراعی ماش مشاهده شد که تلقیح هم‌زمان گیاه با قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن خشک ریشه و تعداد گره در ریشه شد. این موضوع می‌تواند به دلیل اثرات هم‌افزایی قارچ میکوریزا روی رشد ریشه باشد (۹). افزایش وزن خشک ریشه‌ها به دلیل نقش قارچ میکوریزا در تحریک ترشح هورمون‌ها و افزایش جذب فسفر توسط گیاه و با توجه به نقش اکسین در تحریک ریشه‌های نابجا و همچنین نقش عنصر غذایی فسفر در بهبود ریشه‌زایی در گیاهان می‌تواند باشد (۶۴). سادات و همکاران (۵۲) در آزمایش‌های خود بر گندم نشان دادند استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن خشک ریشه می‌شود. در گزارشات مختلف بیان شده است که تغییرات ژنتیکی معنی‌داری بین ارقام از نظر وزن خشک ریشه وجود دارد (۴۱)، اما مطالعات زیادی نیز وجود دارند که تأکید می‌نمایند صفات مربوط به ریشه به‌شدت تحت تأثیر محیط و عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرند (۴۷). سایر تحقیقات انجام شده روی گندم نیز نشان داده شد که کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش معنی‌داری در وزن ریشه نسبت به تیمار شاهد (عدم تلقیح با قارچ میکوریزا) گردید (۲۷ و ۵۹). قارچ میکوریزا از طریق تغذیه مناسب سبب افزایش وزن خشک ریشه شده به طوری‌که قارچ میکوریزا از طریق میسیلیوم‌های خود عناصر غذایی را در فاصله دورتری نسبت به ریشه‌های گیاه میزبان جذب که نتیجه آن افزایش وزن ریشه خواهد بود (۲۶ و ۶۷). خلوتی و همکاران (۲۷) در آزمایش‌های خود روی گندم نیز افزایش وزن خشک ریشه در تیمار تلقیح با قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد (غیر میکوریزایی) نشان دادند. در گزارش‌های دیگر پژوهشگران نیز نشان داده شده است که قارچ میکوریزا سبب افزایش وزن خشک ریشه و زیست توده ریشه گردید (۴۵ و ۶۶).

مجموع طول ریشه

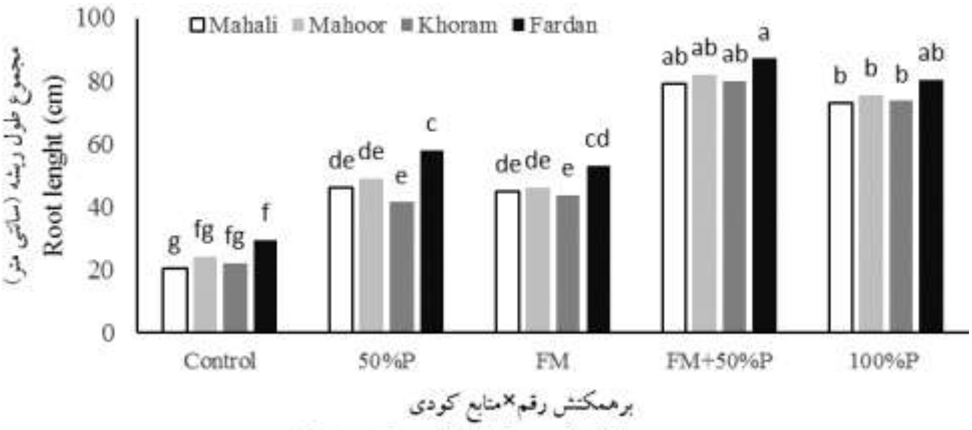
اثر برهمکنش رقم و منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر مجموع طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین طول ریشه از رقم فردان با مصرف توآم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین طول ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۶/۶ درصدی در طول ریشه گردید (شکل ۱). قارچ میکوریزا از طریق تغییر در ساختار مورفولوژیکی ریشه و همچنین افزایش طول ریشه سبب جذب آسان‌تر آب می‌گردد (۱۳). در تحقیقات دیویس و همکاران (۱۲) مشاهده شد که تلقیح بذر با قارچ میکوریزا موجب افزایش طول ریشه در فلفل شد. طول ریشه به‌عنوان مهمترین پارامتر در روند رشد گیاه استفاده گردد، محققین با این باورند که طول ریشه به عنوان مهمترین پارامتر جهت سنجش دوره رشد گیاه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین خصوصیت جهت ارزیابی آب خاک و جذب عناصر توسط گیاه می‌باشد (۲۸). ریشه‌های گسترده و طویل به واسطه زیادشدن جذب رطوبت و به دنبال آن افزایش در میزان تعرق، در افزایش عملکرد دانه (جدول ۵) موثر است (۴۲). در گزارش‌های سایر محققین نیز نشان داده شده است که قارچ میکوریزا روی رشد ریشه گندم دارای تأثیر معنی‌داری بوده، در پژوهش‌های این پژوهشگران قارچ میکوریزا سبب افزایش طول ریشه گردید (۱۰ و ۶۹).

روسو و همکاران (۵۱) اعلام کردند تلقیح بذور ذرت و گندم با قارچ میکوریزا باعث افزایش عمق نفوذ و حجم ریشه می‌شود، به نظر می‌رسد حضور قارچ میکوریزا باعث تغییراتی در ریخت‌شناسی ریشه شده به نحوی که انتشار میسیلیوم‌های قارچ میکوریزا مرتبط با بافت‌های درونی ریشه باعث افزایش طول ریشه شد.

مانسک و همکاران (۳۶) بذرهای مختلف گندم را با قارچ میکوریزا تلقیح نمودند، نتایج نشان داد که قارچ میکوریزا با تولید انواع هورمون‌های گیاهی، رشد طولی و تراکم رشد ریشه‌های گندم را افزایش داده و میزان آلودگی ریشه‌های گندم را به قارچ میکوریزا در همه رقم‌ها به طور قابل مشاهده‌ای افزایش داد. نشان داده شده است که قارچ میکوریزا از طریق تغییر در ساختار ریشه و افزایش طول ریشه موجب بهبود جذب آب می‌گردد (۳۶). مزایای تلقیح گیاه با کود زیستی شامل افزایش شاخص‌های متعددی مانند رشد ریشه، میزان تولید در واحد سطح، وزن اندام هوایی و ریشه، سطح برگ، محتوای کلروفیل، همچنین کنترل زیستی عوامل بیماری‌زا، مقاومت به خشکی و افزایش فعالیت میکروبی می‌باشد (۳۱).

طول مخصوص ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر طول مخصوص ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین طول مخصوص ریشه و کمترین طول مخصوص ریشه در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که تیمار مصرف توآم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش طول مخصوص ریشه گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول ۴).



شکل ۱- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر مجموع طول ریشه

Figure 1- Interaction of cultivar×fertilizer sources on root length

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات ریشه‌ای تحت کاربرد کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا در ارقام جو دیم

Table 3- Analysis of variance (mean squares) for root traits under application of phosphours fertilizer and mycorrhizl fungi in dry land barley cultivars

منابع تغییر	S.O.V.	درجه آزادی d.f	مجموع طول ریشه Root length	وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	حجم ریشه Root volume	سطح ریشه Root area	شادابی ریشه Root fineness	قطر ریشه Root diameter
تکرار	Replication	2	619.3	6.6	0.44	4.6	747.8	1.4	0.0056
رقم	Cultivar	3	262.1**	14.6**	0.55**	12.01**	590.8**	10.1**	0.0018
منابع کودی	Fertilizer sources	4	6649.4**	62.8**	9.1**	94.3**	10072.9**	18.1**	0.031**
برهمکنش رقم × منابع کودی	Cultivar × Fertilizer sources	12	142.2**	0.35	0.04	1.5**	49.9*	0.32	0.0031*
خطا	Error	38	25.5	0.69	0.04	0.43	21.6	0.73	0.0013
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	9.1	9.4	7.7	7.7	6.08	14.1	7.8

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

*و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

Table 3- Continued

ادامه جدول ۳-

منابع تغییر	S.O.V.	درجه آزادی d.f	طول مخصوص ریشه Specific root length	آب ریشه Root water	تراکم طول ریشه Root length density	حجم مخصوص ریشه Specific root mass	تراکم بافت ریشه Root tissue density	چگالی سطح ریشه Root surface area density	عملکرد دانه Grain yield
تکرار	Replication	2	32.6	6.8	0.0021	0.0000015	136.9	927.7	2871850.7
رقم	Cultivar	3	29.2**	15.05**	0.00089**	0.0000019**	212.6**	791.9**	3148800.08**
منابع کودی	Fertilizer sources	4	76.4**	61.5**	0.022**	0.000031**	2523.1**	8657.9**	9799611.6**
برهمکنش رقم × منابع کودی	Cultivar × Fertilizer sources	12	2.5	0.35	0.00049**	0.0000014**	35.9**	193.3**	342748.1*
خطا	Error	38	2.5	0.74	0.000087	0.00000015	5.9	30.3	140705.4
ضریب تغییرات (درصد)	CV (%)	-	7.8	10.08	9.1	7.7	9.9	7.05	15.4

* and **: significant at the 5% and 1% levels, respectively

*و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

جدول ٤- مقایسه ساده صفات مربوط به ریشه تحت تاثیر رقم و منابع کودی در شرایط دیم

Table 4- Simple comparison of root traits related by affected cultivar and fertilizer source under dryand conditions

		وزن تر ریشه Fresh root weight (g)	وزن خشک ریشه Dry root weight (g)	شادابی ریشه Root fineness (cm root /root fresh weight)	آب ریشه Root water (g)	طول مخصوص ریشه root Specific lenght (cm root lenght/ cm^3 soil volume)
رقم	Cultivar					
محلی	Mahali	8.002c	2.4c	5.7b	7.7c	16.9d
ماهور	Mahoor	9.1b	2.6b	6.2a	8.8b	20.5b
خرم	Khoram	8.07c	2.5bc	5.9b	7.7c	18.7c
فردان	Fardan	10a	2.9a	6.2a	9.8a	22.6a
منابع کودی	fertilizer sources					
شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی)	Control	5.4d	1.4d	4.4c	5.1d	16.4c
۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر	50%P	8.4c	2.4c	5.7b	8.1c	19.9b
قارچ میکوریزا	FM	8.3c	2.3c	5.5b	8.1c	19.7c
مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر	FM+50%P	11.3a	3.6a	7.3a	11.05a	22.7a
۱۰۰ درصد کود شیمیایی فسفر	100%P	10.4b	3.3b	7.2a	10.1b	22.2a

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

تلقیح گیاه دارویی بادرشبو با میکروارگانیسم‌ها باعث افزایش جذب پتاسیم و افزایش غلظت این عنصر در گیاه شد که شاید این مسأله به اثرات مفیدی که ایـن میکروارگانیسـم‌هـا بـر افـزایش تـراکم طـول ریشه‌های موئین و سطح جذبی ریشه گیاه دارند، مرتبط باشد (۵۰). در این زمینه، ویژگی‌های متفاوتی از ریشه مورد مطالعه قرار گرفته‌اسـت، برخی معتقدند که در مطالعه ریشه اندازه‌گیری تراکم و طول ریشه‌های بذری و گره‌ای بهتر از اندازه‌گیری توزیع وزن ریشه در خاک است، زیرا که طول ریشه‌ها تعیین‌کننده وضـعیت جـذب آب و عناصـر غـذایی از لایه‌های زیرین نیمرخ خاک می‌باشد که این ویژگـی در شـرایط دیـم حائز اهمیت است (۳۹). علاوه بر طول ریشه، طول مخصـوص ریشـه (نسبت طول ریشه به جرم آن) نیز از صفات مهم در نشان دادن کارایی ریشه در جذب آب و مقاومت به کم‌آبی بشمار می‌آید (۸).

حجم ریشه

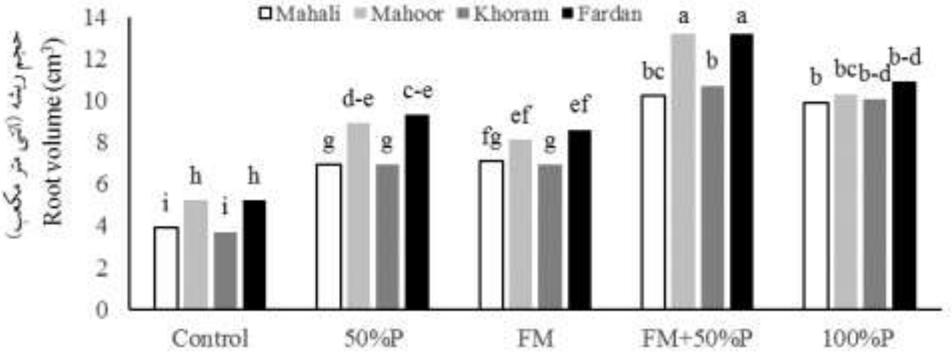
اثر برهمکنش رقم و منابع مختلف کودی در سطح احتمـال یـک درصد بر حجم ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین حجم ریشـه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شـیمیایی فسفر و کمترین حجم ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد بدست آمد، که نسبت به شاهد موجب افزایش ۷۵/۷ درصدی حجم ریشـه گردیـد (شکل ۲).

حجم ریشه‌ای از مهمترین صـفات و معیـاری بـرای جـذب آب و املاح غذایی بوده و یک واحـد انـدازه‌گیـری مناسـبی در روابـط بـین قسمت‌های هوایی و ریشه گیاه محسوب می‌گردد (۱۸ و ۱۹). در ایـن پژوهش نشان داده‌شد بین ارقام مختلف جو تفاوت زیادی وجـود دارد، به نظر می‌آید رقم فردان از سـرعت اولیـه ریشـه بیشـتری برخـوردار است، به عبارت دیگر گیاه برای اینکه توانایی جذب ریشه‌ها را افزایش دهد ماده خشک بیشتری را به سیسـتم ریشـه‌ای اختصـاص مـی‌دهـد (۴۱). در نتیجه تغییراتی درخصوصیات مورفولوژیـک ریشـه‌هـا ماننـد افزایش حجم ریشه می‌شود. ساجدی و رجـالی (۵۳) در گـزارش‌هـای خود عنوان داشتند که تلقیح با قارچ میکوریزا سبب توسعه سیستم گیاه میزبان شده و این امر سبب زیادشدن سطح جذب ریشه‌هـا بـه دلیـل نفوذ ریسه‌های قارچ میکوریزا در خاک بوده کـه نهایتـاً ریشـه حجـم بیشتری از خاک را اشغال و موجب افزایش جذب آب، عناصـر غـذایی می‌گردد. در سایر پژوهش‌های صورت گرفته روی جو و جوالدوزک نیز نشان داده شده است که قارچ میکـوریزا روی رشـد ریشـه دارای اثـر مثبت بوده، به‌طوری که قارچ میکـوریزا سـبب افـزایش حجـم ریشـه گردید (۵۷ و ۶۹).

سطح ریشه

اثر برهمکنش رقم و منابع مختلف کودی در سطح احتمـال یـک درصد بر سطح ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین سطح ریشـه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شـیمیایی فسفر و کمترین سطح ریشه از رقم محلی و با افزایش ۷۳/۳ درصدی نسبت به شاهد شاهد بدست آمد (جدول ۵).

افزایش سطح ریشه توسط قارچ میکوریزا را به واسطه ایجاد هیف و افزایش جذب آب و عناصر غذایی توسط گیاه میزبان عنوان نمـوده‌اند، قارچهای میکوریزا به دلیل افزایش مـؤثر سـطح جـذب ریشـه از طریق ایجاد هیف، سبب افزایش جذب آب و مواد غـذایی بـه وسـیله گیاهان می‌شوند. علاوه بر این بـه علـت تـأثیر قـارچ میکـوریزا روی هدایت روزنه‌ای، میزان فتوسنتز گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهـان تلقیح نشده با میکوریز بیش‌تر می‌باشد، این قارچ ها با کاهش مقاومت انتقال آب به ریشه‌ها و وجود هیف‌های قارچ در ناحیه کورتکس ریشه جذب آب توسط گیاه را تسریع نموده و بـا جـذب بـیش‌تـر آب باعـث افزایش هدایت روزنه‌ی می شوند.



شکل ۲- اثر برهمکنش رقم×منابع کودی بر حجم ریشه

Figure 2- Interaction of cultivar×fertilizer sources on root volume

علاوه بر این، قارچ های میکوریز با جذب کارآمد آب کم‌تر در معرض تنش رطوبتی قرار گرفته و روزنه‌های خود را باز نگه داشته و هدایت روزنه‌ای گیاه را افزایش می دهند (۱۴). در تیمار کاربرد قارچهای میکوریزا با افزایش پتانسیل آب برگ، افزایش سرعت مصرف دی‌اکسیدکربن، افزایش میزان جذب آب و نیز گسترش و تغییر ساختار مورفولوژی ریشه گیاه، افزایش سطح جذب ریشه و انتقال مواد غذایی به ریشه (۲۵) این امکان را به گیاه میزان می‌دهد که بتواند شرایط کم‌آبی را بهتر تحمل کند. گیاهانی که طول ریشه اصلی، تعداد ریشه‌های جانبی، تراکم طول ریشه و نسبت ریشه به قسمت‌های هوایی بالاتری دارند در مقابل کم‌آبی تحمل بالاتری نیز دارند (۶۱). تلقیح قارچ میکوریزا باعث تغییرات مورفولوژیک ریشه می‌شود. علاوه بر آن باعث افزایش مقدار عناصر روی و فسفر قابل دسترس گیاه می‌گردد و این تغییرات باعث می‌شود که اثر فسفر افزایش یابد (۶۶). همزیستی میکوریزایی اغلب منجر ایجاد تغییراتی در سرعت حرکت آب به داخل، سراسر و یا خارج گیاه میزبان می‌گردد و بر آبگیری بافت و فعالیت‌های فیزیولوژیک برگ تأثیر گذاشته و می‌تواند سطح جذب ریشه را حدود ۴۷ برابر افزایش دهد (۷۰). قارچ میکوریزا با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین ۱۰۰۰-۱ برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیب گیاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می کند (۶۰).

در گزارش‌های سایر محققین روی جو و جوالدوزک نیز گزارش شد که تلقیح بذر با قارچ میکوریزا در گیاه میزبان روی رشد ریشه دارای اثر مثبت بوده و کاربرد قارچ میکوریزا سبب افزایش سطح ریشه گردید (۱۱ و ۶۹). تلقیح گیاه با قارچ میکوریزا سبب بوجود آمدن یک سری تغییراتی در سرعت حرکت آب به داخل، سراسر و یا خارج گیاه شده و بر آبگیری‌بافت و کارکردهای‌فیزیولوژیکی برگ اثر داشته (۵) که این افزایش سطح جذب ریشه‌ها می‌تواند کارآیی جذب آب و عناصر را که در مناطق دورتر ریشه وجود دارند را با افزایش طول ریشه و در نهایت افزایش سطح ریشه فراهم آورد، زیاد نماید (۲ و ۴).

شادابی ریشه (ظرافت ریشه)

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر شادابی ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین شادابی ریشه بود و کمترین شادابی ریشه در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که در تیمار مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر موجب افزایش شادابی ریشه گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول ۴). در واقع صفت شادابی طراوت و ظرافت ریشه در داخل خاک را نشان می‌دهد، هر چه این ظرافت ریشه بیشتر باشد نشان‌دهنده نازک بودن ریشه بوده (۱۹) که به نظر می‌رسد می‌تواند در جذب آب و املاح نقش موثرتری داشته باشد. در سایر گزارش‌نیز نشان داده که استفاده از کود زیستی روی خصوصیات ریشه تاثیرگذار بوده، به‌طوری‌که استفاده از قارچ میکوریزا در مقایسه با تیمار شاهد باعث افزایش شادابی ریشه در گندم شد (۴۴).

قطر ریشه

اثر برهمکنش رقم و منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر قطر ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین قطر ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد و کمترین میزان قطر ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر بدست آمد، که نسبت به شاهد) موجب افزایش ۲۷/۲ درصدی در قطر ریشه مشاهده شد (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد می‌توان دلیل کاهش قطر ریشه با مصرف کود زیستی را مربوط به افزایش طول ریشه مربوط دانست (۲۶).

بانرجی و همکاران (۷) و وسی و باس (۶۸) افزایش حجم ریشه در غلات را به دلیل تلقیح بذر با کود زیستی را گزارش نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که تأثیر مواد تنظیم کننده رشد تولید شده به وسیله کود زیستی بر رشد ریشه از طریق پارامترهایی بروز می‌کند که مهمترین آن‌ها افزایش وزن و انشعابات ریشه، کاهش ضخامت ریشه و افزایش تارهای مویین سطح ریشه می‌باشند. اندازه قطر هیف‌ها کوچکتر از اندازه قطر ریشه‌ها است، این ویژگی به گیاه میزبان امکان دسترسی به منافذ خاک بسیار کوچک را می‌دهد که با خشک‌شدن خاک آب و مواد مغذی را در خود نگه می‌دارند. هیف در مناطقه ریشه گیاه میزبان قادر است که مواد غذایی و رطوبت که از اطرف ریشه گیاه دور هستند را به طور گستره تخلیه نمایند و به نوبه خود ممکن است باعث رشد متراکم ریشه شود (۳۷ و ۶۳). کاهش قطر ریشه در تیمار قارچ میکوریزا در تحقیقات سایر محققین روی جوالدوزک نیز گزارش شده است (۶۹).

جدول ۵- مقایسه برهمکنش رقم × منابع کودی بر صفات مربوط به ریشه تحت شرایط دیم

Table 5- Interaction comparsion of cultivar× fertilizer sources on root traits related under dryand conditions

Cultivar	fertilizer sources	سطح ریشه Rot area (cm^2)	قطر ریشه Root diameter (cm)	تراکم طول ریشه Root length density (cm RL/cm^3 soil volume)	تراکم بافت ریشه Root tissue density (g root weght /cm^3 soil volume)	عملکرد دانه Grain yield (kg/ha)
محلی Mahali	Control	31.6h	0.55a	0.037g	5.3g	876.9i
	50%P	63.3ef	0.45e-j	0.085de	15.5f	1402.6hi
	FM	63.3ef	0.5c-j	0.083de	15.7f	1635.8gh
	FM+50%P	100.6b	0.43ij	0.14ab	33.3d	2632.06c-f
	100%P	100.79b	0.42g-j	0.13b	36.03cd	2548.04c-f
ماهور Mahour	Control	39.7gh	0.54ab	0.044fg	7.3g	1234.6hi
	50%P	75.48cd	0.49a-f	0.09de	23.8e	2971.9c-f
	FM	70.31de	0.47a-d	0.085de	20.4e	2489.06d-f
	FM+50%P	115.4a	0.4e-j	0.15ab	47.8b	3783.9ab
	100%P	97.19b	0.41f-j	0.13ab	34.04d	2784.1c-f
خرم Khorram	Control	32.11h	0.53a-d	0.04fg	5.3g	854.8i
	50%P	58.74f	0.47b-h	0.076e	14.25f	2095.2fg
	FM	61.33f	0.48b-j	0.08e	15.64f	2271.7e-g
	FM+50%P	104.99b	0.43e-j	0.14ab	39.05c	3338.9bc
	100%P	96.84b	0.42i-j	0.13ab	33.52d	3106.4cd
فردان Fardan	Control	43.92g	0.53a-c	0.054f	8.6g	1216.4hi
	50%P	80.63c	0.46c-j	0.107c	24.7e	2999.2cd
	FM	73.77de	0.46c-j	0.098cd	21.2e	2630.6c-f
	FM+50%P	120.49a	0.4ij	0.16a	52.6a	4238.3a
	100%P	100.81b	0.41f-j	0.14ab	36.4cd	3290.9bc

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

آب ریشه

با توجه به جدول تجزیه واریانس اثرات اصلی رقم و مخلوط کود شیمیایی فسفر و کود زیستی بر آب ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). در این پژوهش نشان داده شد که رقم فردان دارای بیشترین آب ریشه بود و کمترین آب ریشه در رقم محلی مشاهده گردید (جدول ۴). در این پژوهش مشاهده گردید که در تیمار مصرف توآم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر در موجب افزایش آب ریشه گردید و تیمار شاهد (عدم استفاده از کود شیمیایی فسفر و قارچ میکوریزا) دارای کمترین میزان بود (جدول ۴). در گزارش‌های ناصری و همکاران (۴۱) نیز نشان داده شد که قارچ میکوریزا دارای اثر معنی‌داری روی جذب آب توسط هیف‌های خود دارد در داخل خاک شده به طوری که سبب افزایش محتوای آب ریشه در گیاه گندم شد. افزایش جذب آب در گیاهان تحت تیمار قارچ میکوریزا به هدایت هیدرولیکی ریشه در شرایط تلقیح در ارتباط است (۳۳).

تراکم طول ریشه

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر تراکم طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین تراکم طول ریشه از رقم فردان با مصرف توآم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین تراکم طول ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۶/۸ درصدی در تراکم طول ریشه گردید (جدول ۵).

آن چه مشخص است قارچ میکوریزا در گیاه میزبان از طریق ایجاد یک یک سیستم جذب اضافی مکمل سیستم ریشه‌ای موجب تخلیه از حجم بیشتر خاک و جذب عناصر غذایی مثل فسفر را موجب می‌گردد (۴۶). به نظر می‌رسد در حضور قارچ میکوریزا، میسیلیوم‌ای قارچ با پراکنش زیادتر در اطراف ریشه سطح جذب بیشتری را بوجود آورده که گیاه را قادر می‌سازند آب جذب بیشتری را جذب کند (۱۸). از جمله ویژگی‌های مهم ریشه گندم که سبب می‌گردد میزان رطوبت کافی و عناصر غذایی جذب گرد می‌توان تراکم طول ریشه اشاره نمود

(۳۰). افزایش تراکم طول ریشه در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا روی گندم در سایر گزارش‌های محققین نیز آمده است (۱).

حجم مخصوص ریشه

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر حجم مخصوص ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین حجم مخصوص ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین حجم مخصوص ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۵۷ درصدی در حجم مخصوص ریشه گردید (شکل ۳).

در مطالعات مانسک و همکاران (۳۶) روی گندم نشان داده شد که قارچ میکوریزا از طریق هورمون‌های گیاهی سبب زیاد شدن رشد طولی و تراکم رشد ریشه شد.

تراکم بافت ریشه

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر تراکم بافت ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین تراکم بافت ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین تراکم بافت ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۸۹/۹ درصدی در تراکم بافت ریشه گردید (جدول ۵). به طورکلی افزایش وزن خشک ریشه گیاه در اثر تلقیح با کودهای زیستی مشاهده شد اما این افزایش در حضور کودهای شیمیایی به دلیل تأمین بیشتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تشدید گردید. بررسی‌های مختلف اثرات مثبت کاربرد کود زیستی را برشاخص‌های رشد ریشه را نشان داده‌اند (۲۰ و ۲۱). با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان چنین بیان کرد که در نتیجه همزیستی قارچ‌های میکوریزا با ریشه، رشد و سطح جذب ریشه افزایش یافته و ضمن افزایش جذب عناصر غذایی (به‌ویژه افزایش محتوی فسفر خاک)، موجب جذب بیشتر آب از مناطق دورتر از ریشه گردیده و موجبات عملکرد بیشتر گیاه را فراهم آورده است که این افزایش جذب آب و عناصر غذایی در تیمارهای تحت تیمار کود زیستی بیشتر بوده است.

به عبارت دیگر، در گیاهان میکوریزایی، مقدار تولید و عملکرد به ازای مقدار آب داده شده به گیاه، بیشتر بود. این اطلاعات نشان می‌دهد که قارچ میکوریزا سبب افزایش تحمل گیاه در شرایط دیم و احتمالاً از افت عملکرد به واسطه توسعه سیستم ریشه جلوگیری نموده‌است (۴۴).

چگالی سطح ریشه

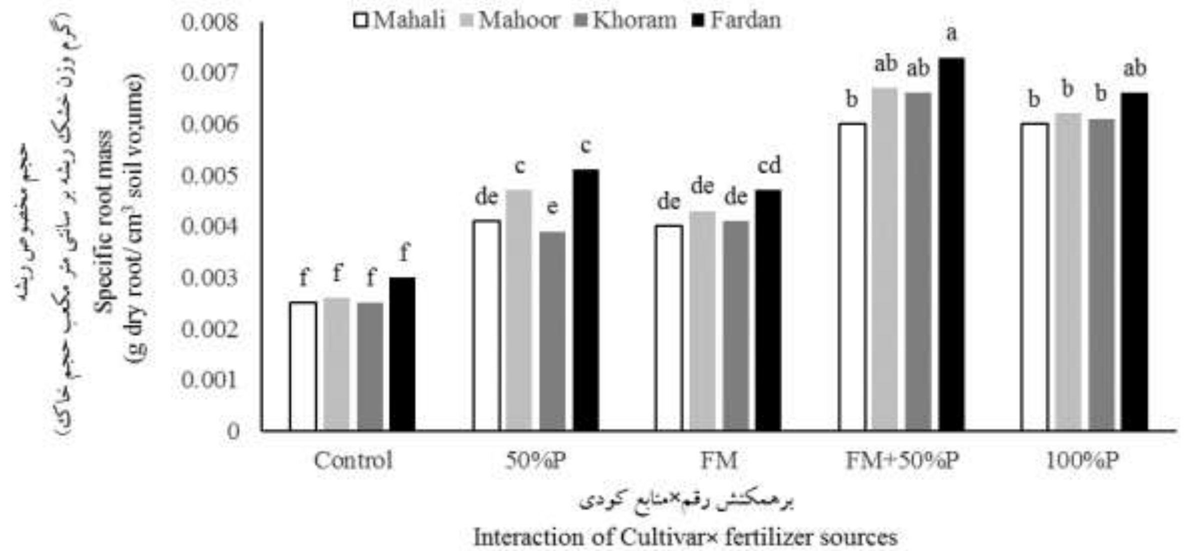
اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر چگالی سطح ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین چگالی سطح ریشه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین چگالی سطح ریشه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۰/۶ درصدی در چگالی سطح ریشه گردید (شکل ۴).

نتایج تحقیقات بر گیاه میکوریزی و غیرمیکوریزی نشان داده است که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بیشتر از گیاهان غیر میکوریزی است که این امر در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول ریشه‌های میکوریزی می‌باشد (۵۳). در این تحقیق، به نظر می‌رسد تلقیح قارچ میکوریزا با ریشه جو به واسطه زیاد کردن جذب آب و عناصر غذایی توانسته سبب زیادشدن رشد و عملکرد گردد. این نتیجه نشان‌دهنده آن است که در شرایط کم‌آبی و گرما، گیاه برای تأمین رطوبت مورد نیاز خود و جذب آب از مناطق دورتر ریشه، طول ریشه خود را افزایش می‌دهد. در واقع قارچ‌های میکوریزا به جو از طریق گسترش طول و افزایش سطح جذب ریشه، موجبات جذب آب و عناصر غذایی بیشتر برای گیاه را فراهم آورده است (۴۳).

قارچ میکوریزا با تشکیل شبکه‌هایی در اطراف ریشه‌های گیاهان، سطح تماس آن‌ها با خاک و رطوبت را بین ۱۰۰۰-۱ برابر افزایش می‌دهند و به این ترتیب گیاه توانایی بیشتری در استفاده از منابع موجود در محیط اطراف خود را پیدا می‌کند (۶۰). در پژوهش‌های ناصری و همکاران (۴۳) نیز مشاهده شد که قارچ میکوریزا موجب افزایش سیستم ریشه در ارقام مختلف گندم گردد به طوری‌که در تیمار قارچ میکوریزا توانست چگالی سطح ریشه را ۶۰/۸ درصد افزایش داد. در بررسی چگالی سطح ریشه گندم، نتایج نشان داد که تلقیح بذور قارچ میکوریزا توانست چگالی سطح ریشه را ۲۰ درصد افزایش دهد (۲۶).

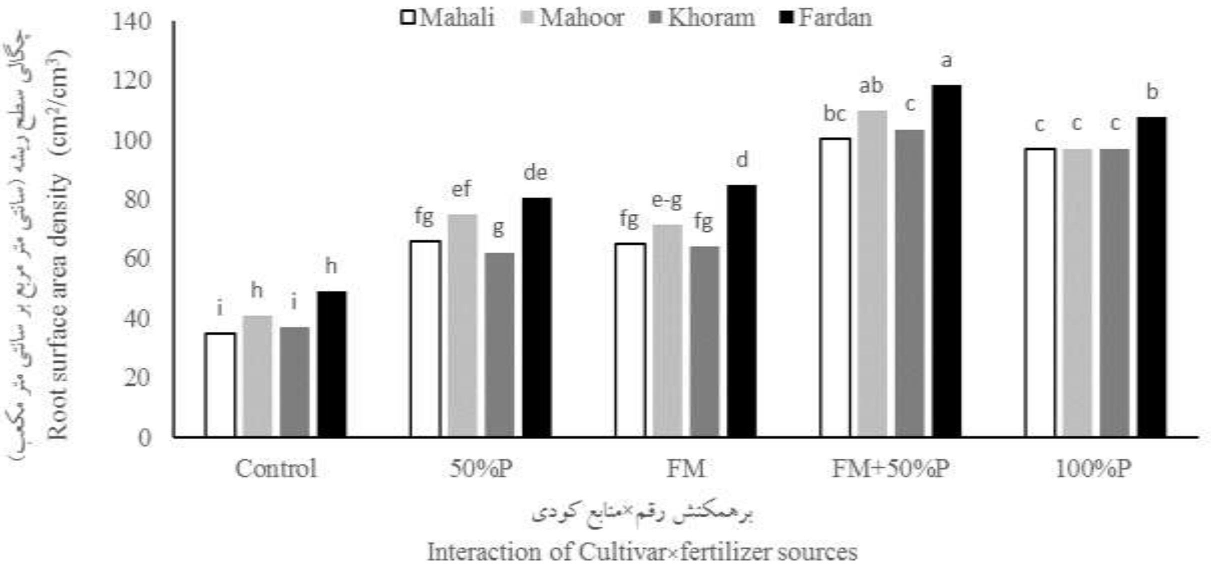
عملکرد دانه

اثر برهمکنش رقم×منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار گردید (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه از رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و۵۰ درصد کود شیمیایی فسفر و کمترین میزان عملکرد دانه از رقم محلی و در تیمار شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) بدست آمد، که نسبت به شاهد (عدم مصرف هیچ منبع کودی) موجب افزایش ۷۹/۳ درصدی در سرعت فتوسنتز گردید (جدول ۵).



شکل ۳- برهمکنش رقم×منابع کودی بر حجم مخصوصریشه

Figure 3- Interaction of cultivar×fertilizer sources on specific root mass



شکل ۴- برهمکنش رقم×منابع کودی بر چگالی سطح ریشه

Figure 4- Interaction of cultivar×fertilizer sources on root surface area density

در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده قارچ میکوریزا در تمامی ارقام جو سبب افزایش عملکرد دانه گردید، بیشتر بودن عملکرد دانه در تیمارهای تلقیح قارچ میکوریزا در ارقام مختلف جو را می‌توان به افزایش جذب مواد معدنی توسط افزایش سیستم ریشه مثل طول ریشه (شکل ۱)، حجم ریشه (شکل ۲)، سطح ریشه (جدول ۵)، تراکم طول ریشه (جدول ۵) و چگالی سطح ریشه (شکل ۴) جو با قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه شد.

قارچ میکوریزا میزان تولید هورمون‌های رشدی (جیبرلین، اکسین و سیتوکینین) افزایش داده که از این طریق رشد و نمو بهتر و در نهایت تولید عملکرد دانه بیشتر خواهد شد (۶۴). سادات و همکاران (۵۲) در آزمایش‌های خود بر گندم نشان دادند استفاده از قارچ میکوریزا سبب افزایش عملکرد دانه می‌شود. نتایج این بررسی، نقش سودمند قارچ میکوریزا را به ویژه در کاهش خسارت انتهایی فصل در شرایط دیم را تأیید کرد. آنچه مشخص است قارچ میکوریزا از طریق

کلونیزه کرده و افزایش سطح تماس با خاک بـه منظـور کسـب آب و مواد غذایی که منتج به تولید عملکرد دانه بیشتری می‌گردد (۲۳).

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد کـه اسـتفاده از قـارچ میکوریزا سبب افزایش سیستم ریشه و تغییرات مورفولوژیکی ریشه در ارقام جدید جو گردید. آنچه مشخص است و در گـزارش‌هـای سـایر محققین نیز به آن اشاره شده است قارچ میکـوریزا بـا ایجـاد سیسـتم ریشه‌دهی قوی در گیاه میزبان در محیط ریزوسفر مـی‌توانـد حـداکثر استفاده را در جهت بهره‌برداری رطوبت و جذب عناصر غذایی کسـب نماید. در پژوهش اخیر نشان داده شد که رقم فردان در حضـور قـارچ میکوریزا، دارای حداکثر طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشـه، تـراکم طول ریشه، تراکم بافت ریشه و در نهایت چگالی سطح ریشـه بـود و زمانی که هیچ منبع کودی استفاده نشد در تمامی ارقام کاهش زیادی در سیستم ریشه‌دهی مشاهده شد. بنابراین در بین ارقام مورد اسـتفاده رقم فردان با مصرف توأم قارچ میکوریزا و ۵۰ درصـد کـود شـیمیایی فسفر می‌تواند موجـب توسـعه سیسـتم ریشـه‌ای و در نهایـت سـبب افزایش عملکرد دانه در منطقه تحت شرایط دیم گردد.

منابع

1- Abdel-Fattah G.M., Ibrahim A.H., Al-Amri S.M., and Shoker A.E. 2013. Synergistic effect of arbuscular mycorrhizal fungi and spermine on amelioration of salinity stress of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Gimiza). Australian Journal of Crop Science 7: 1525–1532.

2- Abrishamchi P., Ganjeali A., and Sakeni H. 2012. Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Iranian Journal of Pulses Research 3(2): 17-30. (In Persian with English abstract.

3- Akhavan S., Shabanpour M., and Esfahani M. 2012. Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. Journal of Water and Soil 26(1): 725-735.

4- Amerian M., Yousefsani M., and Koocheki A. 2014. Effects inoculation of mycorhizae species and irrigation levels impacts on growth criteria, yield and water use efficiency of corb (*Zea mays* L.). Agroecology 6(1): 152-161. (In Persian with English abstract)

5- Auge R.M., Duan X., Ebel R.C., and W. Stodola A.J. 2001. Nonhydraulic signalling of soil drying in mycorrhizal maize. Planta 193: 74-82.

6- Azarnia M., Safikhani S., and Biabani A. 2015. The effect of Bio-Fertilizer on Crops yield, sustainable agriculture and organic farming. Journal of Biosafety 8(2): 85-97. (In Persian with English abstract)

7- Banerjee M., Yesmin R.L., and Vessey J.L. 2006. Plant-growth-promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides. pp. 137-181. In: Handbook of microbial biofertilizers. Ed., Rai, M., K., Food Production Press, U.S.A.

8- Bauhus J., and Messier C. 1999. Evaluation of Fine Root Length and Diameter Measurements Obtained Using RHIZO Image Analysis. Agronomy Journal 91: 142–147.

9- Bhat M.I., Bangroo S.A., Tahir A., Yadav S.R.S., and Aziz M.A. 2011. Combined effects of rhizobium and vesicular arbuscular fungi on green gram (*Vigna radiata* L. Wilczek) under temperate conditions. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 2(1): 17-20.

10- Boris L., Tomáš L., and Ahmad M.M. 2018. Arbuscular mycorrhizae modify winter wheat root morphologyand alleviate phosphorus deficit stress. Plant Soil Environment 64(1):47-52.

11- Campos P., Borie F., Cornejo P., López-Ráez J.A., López-García Á., and Seguel A. 2018. Phosphorus acquisition efficiency related to root traits: Is mycorrhizal symbiosis a key factor to wheat and barley cropping? Frontiers in Plant Science 9: 1-21.

12- Davies J.R., Olalde-Portugal L., Agvilera-Gomez M.J., Alvarao R.C., Ferrera-cerrato T., and Boutton W. 2002. Alleviation of drought stress of chile ancho pepper (*Capsicum annuum* L. CV. Sanluis) with Arbuscular mycorrhiza indi gennus to mexico. Scientia Horticulturoe 92: 342-359.

13- Ebadi N., Sseyed Sharifiand R., and Sedg M. 2019. Effects of biofertilizers on yield and some biochemical and physiological traits of Sahand barley cultivar under rainfed and supplementary irrigation. Environmental stresses in Crop Science 12(2): 1141-1150. (In Persian with English abstract)

14- Esmaielpour B., and Amani N. 2014. Investigating the effect of mycorrhizal inoculation on growth and uptake of nutrients in *lactuca sativa* cv Syaho. Journal of Soil Management and Sustainable Production 4(2): 49-68. (In Persian with English abstract)

15- Feiziasl V., Fotovat A., Astaraeiand A., and Lakzyan A. 2014. Effects of nitrogen fertilizer rates and application time on root characteristics of dryland wheat genotypes. Iranain Journal of Dryland Agriculture 3(1): 41-94. (In Persian with English abstract)

16- Ganjeali A., and Kafi M. 2007. Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot

characteristics chickpea (*Cicer arietinum* L.). Pakistan Journal of Botany 39(5): 1523-1531.
17- Ganjeali A., Kafi M., and Sabet Teimouri M. 2010. Variations of root and shoot physiological indices in chickpea (*Cicer arietinum* L.) in response to drought stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 3(1): 35-45. (In Persian with English abstract)
18- Ghabouli M., Shahriary F., Sepehrin M., Marashi H., and Hosseini Salekdeh G. 2011. An evaluation of the impact of the endophyte fungus Piriformospora indica on some traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) in drought stress. Journal of Agroecology 3(3): 328-336. (In Persian with English abstract)
19- Hajabbasi M.A. 2001. Tillage Effects on Soil Compactness and Wheat Root Morphology. Journal of Agricultural Science and Technology 3*:* 67-77.
20- Hamidi A., Asgharzadeh A., Choukan R., Dehghan Shoar M., Ghlavand A., and Malakouti M.J. 2010. Effects of PGPR application on dry matter partitioning and some growth characterstices of maize (*Zea mays* L.) hybrids under greenhouse conditions. Iranian Journal of Soil Science 24(1): 55-67. (In Persian with English abstract)
21- Hamidi A., Chaokan R., Asgharzadeh A., Dehghanshoar M., Ghalavand A., and Malakouti M.J. 2009. Effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on phenology of late maturity maize (*Zea mays* L.) hybrids. Iranian Journal of Crop Sciences 11(3): 249-270. (In Persian with English abstract)
22- Hasanabadi T., Ardakani M.R., Rejali F., Paknejad F., Eftekhari S.A., and Zargari K. 2010. Response of barley root characters to co-inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas flouresence* under different levels of nitrogen. American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science 9(2): 156-162.
23- Hassanpour J., and Zand B. 2014. Effect of wheat (*Triticum aestivum* L.) seed inoculation with bio-fertilizers on reduction of drought stress damage. Iranian Journal of Seed Sciences and Research 1(2): 1-12. (In Persian with English abstract)
24- Huang B.R., Taylor H.M., and Mcmichael B.L. 1991. Growth and development of seminal and crown roots of wheat seedlings as affected by temperature. Environmental and Experimental Botany 31(4)*:* 471-477.
25- James B., Rodel D., Lorettu U., Reynaldo E., and Tariq H. 2008. Effect of vesicular arboscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of Senna Spectabilis. Pakistan Journal of Botany 40(5): 2217-2224.
26- Jiriaie M., Fateh E., and Aynehband A. 2014. The consequences of single and integrated application of Mycorrhiza and *Azospirillum* inoculants on yield and yield components of warm region wheat cultivars (*Triticum* spp.). Journal of Agroecology 16(3): 520-528. (In Persian with English abstract)
27- Khalvati M.A., Mozafar A., and Schmidhalter V. 2005. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. Plant Biology Stuttgart 7(6): 706-712.
28- Khazaei H.R., Riahinia Sh., and Eshghizadeh H.R. 2014. Effect of Water Stress on Root Distribution and Extension of Different Triticale Genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 12(3): 417-426. (In Persian with English abstract)
29- King J., Gay A., Sylvester-Bradley R., Bingham I., Foulkes J., Gregory P., and Robinson D. 2003. Modeling cereal root systems for water and nitrogen capture: Towards an economic optimum. Annals of Botany 91: 383–390.
30- Lovelli S., Pernio M., Di Tommaso T., Biochicchio R., and Amato M. 2012. Specific root length and diameter of hydroponically-grown tomato plants under salinity. Journal of Agronomy 11(4): 101-106.
31- Lucy M., Reed E., and Glick B.R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. Antonie van Leewenhoek 86: 1-25.
32- Mahanta D., Rai R.K.b., Mishra S.D., Raja A., Purakayastha T.J., and Varghese E. 2014. Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. Field Crops Research 166: 1–9.
33- Manafi H., Aliasgharzad N., Neyshabouri M.R., and Rejali F. 2010. Tolerance to Water Deficit Stress in Tomato Inoculated with *Arbuscular mycorrhizal* Fungi. Journal Water and Soil Science 22(2): 1-16. (In Persian with English abstract)
34- Mandal K.G., Hati K.M., Misra A.K., Ghosh P.K., and Bandyopadhyay K.K. 2003. Root Density and Water Use Efficiency of Wheat as Affected by Irrigation and nutrient management. Journal of Agricultural Physics 3(1 & 2): 49-55.
35- Manoharan P., Pandi M., Shanmugaiah V., Gomathinayagam S., and Balasubramanian N. 2008. Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungus on the physiology and biochemical changes of five different tree seedlings grown under nursery conditions. African Journal of Biotechnology 7(19): 3431-3436.
36- Manske G.G.B., Luttger A.B., Behl R.K., and Vlek P.L.G. 1995. Nutrient efficiency based on VA mycorrhiza (VAM) and total root length of wheat cultivars grown in India. Journal of Applied Botany 69: 108-110.
37- Miransari M., Bahrami H.A., Rejali F., Malakouti M.J., and Torabi H. 2007. Using arbuscular mycorrhiza to reduce the stressful effects of soil compaction on corn (*Zea mays* L.) growth. Soil Biol Biochem 39: 2014–2026.
38- Mohammad M.J., Pan W.L., and Kennedy A.C. 1991. Wheat responses to vesicular and arbuscular mycorrhizal fungi inoculation of soil from eroded to consequence. Soil Science Society of America Journal 59: 1086-1099.

39- Musters P.A.D., and Bouten W. 2000. A method for identifying optimum strategies of measuring soil water contents for calibrating a root mater uptake model. Journal of Hydrology 227: 273-286.
40- Naseri N., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., and Tahmasebi Z. 2016. Studying Morphological Characteristics of Seminal and Adventitious Root Systems of Durum and Bread Wheat Cultivars. Journal of Crop Ecophysiology 10 (2): 477-492. (In Persian with English abstract)
41- Naseri N., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., and Tahmasebi Z. 2017. Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on root charactrestics, some activities of antioxidative enzymes of wheat under dry land conditions. Applied Research of Plant Ecophysiology 5(1): 163-188. (In Persian with English abstract)
42- Naseri N., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., and Tahmasebi Z. 2019a. Wheat- Root System Influenced by Application of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi under Different Levels of Phosphorous Chemical Fertilizer. Journal of Sol Biology 6(2): 137-155.
43- Naseri N., Barary M., Zarea M.J., Khavazi K., and Tahmasebi Z. 2019b. Evaluation of root and grain yield of wheat cultivars affected by phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi under dry land conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 17(1): 83-98. (In Persian with English abstract)
44- Naseri R. 2017. Effect of Phosphate Solubilizing Bacteria and Mycorrhizal Fungi on Morpho-Physiological Traits and yield of Two Wheat Cultivars under Dryland Farming. P.hD. THESIS. Faculty of Agriculture, Ilam University 356 Pp. (In Persian with English abstract)
45- Padmavathi T., Dikshit R., and Seshagiri S. 2016. Influence of rhizophagus spp. and burkholderia seminalison the growth of tomato (*Lycopersicon esculatum*) and bell pepper (*Capsicum annuum*) under drought stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis 47: 1975–1984.
46- Paras-Motlagh B., Mahmoodi S., Sayyar-Zahan M.H., and Naghibzadeh M. 2011. Effect of mycorrhiza fungi and phosorus fertilizer on concentration of leaf nutrients and photosynthetic pigments of common bean (*haseolus vulgaris* L.) under salinity stress condition. Journal of Agroecology 3(2): 233-244. (In Persian with English abstract)
47- Pardo A., Amato M., and Chiaranda F.Q. 2000. Relationships between soil structure, root distribution and water uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Plant growth and water distribution. European Journal of Agronomy 13: 39-45.
48- Paul A. 2007. Soil Microbiology. Ecology and Biochemistry 514p.
49- Paula P., and Pausas J.G. 2011. Root traits explain different foraging strategies between resprouting life histories. Oecologia 165: 321–331.
50- Rahim Zadeh S., Sohrabi Y., Heidar Gh.R., Eivazi A.R., Hosseni S.MT., and Taher Hosseini M. 2013. Effect of biofertilizer on macro and micro nutrients uptake and essential oil continent in (*Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Field Crops Research 11(1): 179-190. (In Persian with English abstract)
51- Russo A., Felici C., Toffanin A., Gotz M., Collados C., and Barea J.M. 2005. Effect of Azospirillum inoculants on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. Journal of Biology and Fertility of Soils 41: 301–309.
52- Sadat A., Savaghebi Gh., Rejali F., Farahbakhsh M., Khavazi K., and Shirmardi M. 2010. Effects of some Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the growth and yield indices of two wheat varieties in a saline soil. Journal of Water and Soil 24(1): 53-62. (In Persian with English abstract)
53- Sajedi N., and Rejali F. 2011. Effect of drought stress, Zinc application and Mycorrhiza inoculation on uptake micro nutrients in maize. Iranian Journal of Soil Research 25(2): 83-92 (In Persian with English abstract)
54- Salehi F., Moradi Ghahderijani M., Mirabol Fathy M., and Ali Asghar Zadeh N. 2008. Influence of mycorrhizal fungi (VA) inoculation and different levels of phosphorus on vegetative features of pistachio seedling and uptake of P, K, Ca, Mg and Zn. Pajouhesh & Sazandegi 78: 48-56. (In Persian with English abstract)
55- Schafer P., Pfiffi S., Voll L.M., Zajic D., Chandler P.M., Waller F., Scholz U., Pons-Kuhnemann J., Sonnewald S., Sonnewald U., and Kogel K.H. 2009. Manipulation of plant innate immunity and gibberellin as factor of compatibility in the mutualistic association of barley roots with *Piriformospora indica*. The Plant Journal 59: 461-474.
56- Schenk M.K., and Barber S.A. 1979. Root Characteristics of Corn Genotypes as Related to P Uptake. Agronomy Journal 71: 921-927.
57- Sendek A., Karakoç C., Wagg C., Domínguez-BeginesJ., Martucci do Couto G., Heijden M.G.A., Ahmad A., Lochner A., Chatzinotas A., Klotz S., Gómez-Aparicio L., and Eisenhauer N. 2019. Drought modulates interactions between arbuscular mycorrhizal fungal diversity and barley genotype diversity. Scientific Reports 1-15.
58- Shaban M., Mansourifar S., Ghobadi M., and Ashrafi Parchin R. 2012. Effect of Drought Stress and Starter Nitrogen Fertilizer on Root Characteristics and Seed Yield of Four Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes. Seed and Plant Production Journal 27(4): 451-470. (In Persian with English abstract)
59- Shaharoona B., Naveed M., Arshad M., and Zahir Z.A. 2008. Ferttilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Microbial Biotechnology 79:

147-155.
60- Sharma A.K. 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. 1sd edition. Jodhpur: agrobios, Indian, 456p.
61- Singh G., Sekhon H.S., and Kolar J.S. 2005. Pulses. Agrotech Publishing Academy. Udaipur, India, 329 pp.
62- Smith S.E., and Read D.J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis 2nd Edition. Academic Press. USA 803 pp.
63- Smith S.E., Jakobsen I., Grønlund M., and Smith F.A. 2011. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understating and manipulating plant phosphorus acquisition. Plant Physiology 156:1050–1057.
64- Sohrabi Y., Weisany W., Heidari Gh., Mohammadi Kh., and Ghasemi Golezani K. 2019. Effects of mycorrhiza fungi species application on growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. Environmental stresses in Crop Science 12(2): 507-524. (In Persian with English abstract)
65- Subramanian K., Santhanakrishnan P., and Balasubramanian P. 2006. Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. Scientia Horticulture 107: 245–253.
66- Subramanian K.S., Bharathi C., and Jegan A. 2008. Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. Biology and Fertility of Soils 45:133–144.
67- Tasang A., and Maum M.A. 1992. Mycorrhizal fungi increase salt tolerance of *Strophostyles helvola* in coastalforedunes. University of Waterloo, Canada. Plant Ecology 144: 159–166.
68- Vessey J.K., and Buss T.J. 2002. *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation and Naccumulation in grain Iegumes. Controlled-environment studies. Canadian Journal of Plant Science 82: 282-290.
69- Wei Chen Y., Panpan Meng Y., Feng H., and Wang C. 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on Growth and physiological performance of catalpa bungei C.A.Mey. under drought stress. Forests 11: 1-29.
70- Yaghoubian Y., Pirdashti H., Mohammadi Goltapeh E., Feiziasl V., and Esfandiari E. 2012. Investigation of dryland wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Azar 2) plants response to symbiosis with arbuscular mycorrhiza and mycorrhiza like fungi under different levels of drought stress. Journal of Agroecology 4(1): 63-73. (In Persian with English abstract)

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 267-284

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۸۴-۲۶۷

Root System of Different Barley Cultivars Influenced by Applications of Different Fertilizer Sources under Dryland Farming

R. Naseri[1*]- A. Mirzeai[2]– A. Abbasi[3]
Received: 12-10-2020
Accepted: 09-03-2021

Introduction: Biofertilizers play a crucial role in soil fertility by dissolving stabilized phosphates and producing the nutrients needed for plant growth in the soil. One of the most important soil microorganisms is mycorrhizal fungi. Mycorrhizal fungi, with their extensive hyphae network and increasing the level and speed of root uptake, increases the plant efficiency in nutrients, especially inactive elements such as phosphorus, and improves plant growth. Mycorrhiza fungi increase nutrient uptake of plants due to stimulation of root formation and subsequent increase in root level through the production of auxin and gibberellin hormones. By extending the root system, mycorrhizal fungi increase the total absorption surface of inoculated plants and thus improves crop plant access to water absorption. Considering the important and critical role of roots in crops, having sufficient information and understanding the morphological characteristics of the root system is important. Therefore, this study was conducted to investigate the role of the root system in the presence of mycorrhizal fungi in new barley cultivars in the Ilam region in rainfed conditions.

Materials and Methods: In order to investigate the effect of inoculation with mycorrhiza fungi on the root system of barley cultivars in rainfed conditions, a factorial field experiment was carried out based on a randomized complete block design with three replications in the farm station of Sarablah Agricultural Research Center during 2019-2020 cropping season. Experimental treatments were including barley cultivars (Mahali, Mahour, Khorram, and Fardan) and fertilizer sources treatment including control (without fertilizer), 50% P fertilizer, mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum*, and *Rhizophagus irregularis*), mycorrhizal fungi+50% P chemical fertilizer and 100% P chemical fertilizer. Root-related characteristics were measured inside the field at the pollination stage using a metal cylinder with dimensions of 30 cm in length and 2 cm in width, which had been pre-designed by hand. To measure grain yield after removing the marginal effects (50 cm from the beginning and end) were recorded for each plot. Statistical analysis of the data of this research project was done by SAS software, means were compared by Duncan's multiple range test method, and graphs were prepared by Excel software

Results and Discussion: This study showed that the interaction between cultivar× fertilizer sources was significant on the characteristics of rainfed barley roots. So that the maximum root length (76.6%), root volume (75.7%), root area (73.3%), root length density (76.8%), root tissue density (89.9%), root-specific mass (65.7%), and root surface area density (70.6%) was obtained from Fardan cultivar×mycorrhizal fungi+50% P chemical fertilizer compared to control treatment (without fertilizer source). It seems that the presence of mycorrhizal fungi has caused changes in root morphology so that the spread of mycorrhizal mycelium related to the internal tissues of the root has increased root length.

Conclusion: The results of this study showed that the use of mycorrhizal fungi increased root system and root morphological changes in new barley cultivars. What is clear and has been mentioned in the reports of other researchers is that the mycorrhizal fungi can gain maximum use of moisture and nutrient uptake by creating a strong rooting system in the host plant from the rhizosphere. Recent research has shown that Fardan cultivar in the presence of mycorrhiza fungi had maximum root length, root volume, root area, root length density, root tissue density, and finally, root surface area density, and when no fertilizer source was used, a large reduction in

1- Department of Plant Production Technology, Dehloran Faculty of Agriculture and Engineering, Ilam University, Ilam, Iran
(*- Corresponding Author Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran
3- Department of Plant Production and Genetics., Faculty of Agriculture, University of Maragheh, Maragheh, Iran
DOI: 10.22067/jsw.2021.15046.0

the rooting system was observed in all cultivars. Therefore, among the cultivars used, Fardan cultivar with co-consumption of mycorrhizal fungi and 50% of P fertilizer can cause the development of root system and ultimately increase grain yield in the region under dryland conditions.

Keywords: Root diameter, Root length density, Root-specific mass, Root surface area density, Root tissue density

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 285-297

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۹۷-۲۸۵

مقاله پژوهشی

واکاوی تأثیر ابرناکی بر تابش فرابنفش تجمعی روزانه UVB در مناطق خشک و نیمه خشک ایران

علی اکبر سبزی پرور[1*]– علیرضا سیف زاده مومن سرایی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

چکیده

اگرچه سهم کل انرژی در طیف UV بین ۵ الی ۷ درصد کل انرژی خورشید می‌باشد، ولی همین مقدار کم نقش مهمی در فعالیت‌های بیولوژیکی و فتوشیمیایی زمین و جو ایفا می‌کند. طبق سوابق موجود، تاکنون پژوهشی جهت مقایسه تابش فرابنفش در شرایط مختلف جوی در ایران انجام نگرفته است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های عمق نوری ابر، عمق نوری هواویز، اُزون کلی جو و آلبیدوی سطح که از تصاویر ماهواره‌ای دریافت شد، مقدار تابش تجمعی روزانه در محدوده طیف UVB (280-315nm) با استفاده از مدل چند لایه‌ای انتقال تابشی TUV5.3 (تهیه شده در مرکز NCAR کلرادوی آمریکا) در دوره‌ی اقلیمی ۱۳ ساله در ۲۲ ایستگاه از مناطق خشک و نیمه خشک کشور برآورد گردید. نتایج در سه حالت شرایط آسمان کاملاً صاف، کاملاً ابری و واقعی برآورد و با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. برآوردها در شرایط آسمان کاملاً صاف و ابری حکایت از حضور بیشینه تابش UVB در فصل تابستان در نواحی جنوبی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه دارد. بر اساس نقشه‌های بدست آمده، کمینه مقادیر روزانه UVB نیز در تمامی شرایط مورد بررسی در فصل زمستان مشاهده گردید. مقادیر UVB تحت شرایط آسمان کاملاً ابری به نسبت آسمان کاملاً صاف به طور متوسط از ۳۳ درصد در فصل تابستان تا ۶۷ درصد در فصل پاییز کاهش نشان داد که تاکید بر اهمیت ابرناکی در کاهش تابش لحظه‌ای و تجمعی طیف UVB در ماه‌هایی با زوایای مایل خورشید و مقادیر کم ازون دارد. در شرایط واقعی آسمان، بیشینه شدت تابش تجمعی روزانه UVB در اغلب فصول در مناطق جنوبی منطقه متمرکز بود. البته در فصل تابستان، نفوذ مونسون هندوستان از سمت جنوبشرق، این بیشینه را قدری به سمت شمالغرب منطقه مورد مطالعه منتقل نمود.

واژه‌های کلیدی: آسمان صاف، تابش بیولوژیکی سطحی، شرایط ابری، مدل انتقال تابش چند لایه‌ای TUV5، میانگین فصلی UVB

مقدمه

در فیزیک تابش پرتوهای فرابنفش خورشیدی به سه زیر طیف مجزا تقسیم می‌شوند. محدوده طول موج‌های تابش فرابنفش برای زیر طیف UV-A ۳۱۵ تا ۴۰۰ نانومتر، برای UV-B ۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر و برای UV-C ۲۰۰ تا ۲۸۰ نانومتر می‌باشد. بخش UV-C کاملا در اُزون آرام‌سپهری جذب می‌شود و به سطح زمین نمی‌رسد. معمولا UV رسیده به سطح زمین ترکیبی از UV–A و UV–B است. به بیانی دیگر ۹۴ درصد آن مربوط به UV-A و ۶ درصد مربوط به UV-B است. فوتون‌های طول موج UV–B به سلول های بدن آسیب می‌رسانند و تغییرات شیمیایی را در مواد تشکیل دهنده آن‌ها ایجاد می‌کنند. تابش‌های مضر UV–B تأثیرات کوتاه مدت و بلند مدتی بر پوست دارند، باعث بیماری‌های گوناگون پوستی، ازجمله آفتاب سوختگی، حساسیت‌های پوستی و سرطان پوست می‌شوند و زنجیره DNA را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. اثرات بلند مدت UV بر موجودات زنده با تغییر در مواد ژنتیک ایجاد می شود. در گذشته چالش تغییرات شدت UV-B به دلیل نوسانات ناچیز دراز مدت در ضخامت لایه اُزون خیلی جدی نبود، اما با نازک شدن لایه اُزون در سال‌های اخیر، توجه به مخاطرات افزایش شدت UV-B نیز اهمیت یافته است.

۱ و ۲– به‌ترتیب استاد و دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
(*– نویسنده مسئول: (Email: swsabzi@basu.ac.ir
DOI: 10.22067/jsw.2021.15010.0

تا به امروز تحقیقات بسیاری در زمینه سنجش و ارزیابی تـأثیرات اشعه فرابنفش بر روی گیاهان و سلامت انسان توسط محققین رشـته های زیست‌شناسی، علوم گیاهی و علوم پزشکی بـه صـورت مطالعـه موردی و آزمایشگاهی صورت گرفتـه کـه از آن جملـه مـی‌تـوان بـه کارهـای عابـدزاده و پـور اکبـر (۱)، خـاتمی و قنـاتی (۵)، مـرادی و همکاران (۱۱) و WHO (۱۸) بطور مشخص اشـاره نمـود. مطالعـات انجام شده در ایران بیشتر به تأثیر پرتو فرابنفش بر پارامترهای گیاهی مانند طول قسمت هوایی و طول ریشه و ساقه و همین طـور تـأثیرات مخرب این اشعه بر روی پوست و چشم و بطور کلی سـلامت انسـان پرداخته شده است. اما هدف این پژوهش محاسـبه و ارزیـابی میـزان پرتو فرابنفش UV-B تحـت شـرایط آب و هـوایی گونـاگون و پهنـه بندی آن در منطقه مورد مطالعه است. چنین مطالعاتی غالبـاً در خـارج از ایران انجام شده امـا متاسـفانه بـا توجـه بـه متفـاوت بـودن اقلـیم ایستگاه‌های مورد مطالعه نتایج مطالعات مذکور به شرایط ایران قابـل انتقال و تعمیم نمی‌باشد.

پیشینه پژوهش

شرعی پور و علی اکبری (۱۷) اثرات عوامل ابرناکی و اُزون کلی را بر تابش UVB برای یک دوره یک ساله ۲۰۰۳ – ۲۰۰۴ در منطقه اصفهان بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشـترین مقـدار تـابش در ماه‌های ژوئن و ژوئیه رخ می‌دهد. بررسی ارتباط تابش UVB با برخی عوامل موثر از جمله اُزون کلی جو و ابرناکی نیز نشان داد در ماه‌هایی که اثر ابرناکی قابل ملاحظه است (ماه‌های دسامبر تـا آوریـل) عامـل ابرناکی موثرتر از اُزون کل می‌باشد. در پـژوهش نامبردگـان بررسـی مقادیر روزانه فاکتور ابرناکی نشان داد که پوشش ابری زیاد مـی‌توانـد باعث کاهش شدید تابش UVB تجمعی روزانه شود.

فرجزاده اصل و همکاران (۲) در سال ۲۰۱۴ بـه تحلیـل تغییـرات تابش فرابنفش در چهار مقیاس زمانی روزانه، ماهانه، فصلی و سـالانه در منطقه اصفهان پرداختند. نتـایج حاصـل از بـرازش رونـد تغییـرات فصلی نشان داد که مقدار تابش در فصل بهار روندی افزایشی داشـته است در حالیکه این روند برای دیگر فصـل‌هـا کاهشـی بـوده اسـت. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین شاخص تابش فرابنفش (UVI) به مقدار ۱۱/۵ در اواسـط تابسـتان روی داده اسـت و کمتـرین آن بـا مقدار ۰/۵ در زمستان رخ داده است.

لام و همکـاران (۶) تحقیقـی را درخصـوص تـابش فـرابنفش سطحی و اُزون کلی در شهر هنک کنگ انجام دادند. براسـاس نتـایج این تحقیـق، مقدار UVB همبستگی منفی با اُزون کلی نشـان داد و تغییرات دوره ۱۹۹۵ – ۲۰۰۱ نشان داد که افزایش ۱٪ در اُزون کلـی باعث کاهش ۱ درصد در مقدار UVB سطحی می‌گردد.

پالانکار و تاسلی (۱۳) بـا اسـتفاده از پیرانـومتر YES- UVB وا YES TSP-700 اقدام به اندازه‌گیری تابش UVB و TSR در یکی از شهرهای آفتابگیر کشور آرژانتین نمـوده و نتیجـه را بـا برآوردهـای حاصل از مدل TUV 4.1 مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که در روزهای صاف برای زوایای سمت الراس کوچکتر از ۷۰ درجه، خطای مدل TUV کمتر از ۱۰درصد می‌باشد.

علاوه بر تـاثیر قابـل ملاحظـه اُزون بـر تـابش UVB دریـافتی، عوامل دیگری نظیر آلبیدوی سطح زمین و ارتفـاع از سـطح دریـا بـر مقدار تابش فرابنفش دریافتی اثرگذار می‌باشند. در پژوهش پریبولـوا و چملیک (۱۴) تاثیر ارتفاع از سطح دریا و آلبیدو بر شدت تـابش UVB تحت شرایط آسمان صاف در دو ایستگاه مرتفع و برف گیر اسـلوواکیا مطالعه شد. در این تحقیق تحت زاویه سمت الرس ۵۵ الی ۶۵ درجـه و بدون پوشش برفی گرادیان UVB به ازای هر یـک کیلـومتر ٪ ۱۵ افزایش نشان داد. در حالیکه افزایش ارتفاع برای TSR حدود ٪ ۶ بـر کیلومتر بدست آمد.

مطالعات نشان می‌دهد که هم تغییر اقلیم بر توزیع اُزون و شـدت UVB اثر گذاشته وهم متقابلاً تغییرات اُزون بر سـیگنال‌هـای تغییـر اقلیم اثر گذار است (۸). حتی بدون تغییر در اُزون ، تغییر اقلیم با تـاثیر بر ابرناکی و آلبیدو می‌تواند موجب تغییر در مقـدار UVB سـطحی در قرن ۲۱ شود. در مجموع، تحقیقات فوق نشان می‌دهـد کـه ابهامـات زیادی در رابطه با آینده تابش UV در قرن ۲۱ وجود دارد که علت آن تغییرات غیر قابل پیش بینی در مقدار ابرها و هواویزهـا (آئروسـل‌هـا) است. اگر چه تاثیر اُزون در افزایش شدت UV در چنـد دهـه اخیـر از موضوعات مهم و قابل توجه محافل علمی و بین‌المللـی بـوده اسـت، ولی متاسفانه اندازه‌گیری‌هـای سیسـتماتیک انـدکی جهـت مطالعـات مرتبط با اشعه فرابنفش موجود است. علـت ایـن امـر هزینـه سـنگین اندازه گیری و مشکلات و پیچیدگی‌های نگهداری دستگاه‌های انـدازه گیری طیف فرابنفش می‌باشد. به همین علت اغلب مطالعات بر اساس برآوردهای انجام شده با مدل‌های تابش انجام می‌گیرد.

جهت تفسیر تغییرات مکانی مشاهده شده و بررسی روند تغییـرات زمانی تابش فـرابنفش، مطالعـه منطقـه‌ای تـابش بیولـوژیکی امـری اجتناب ناپذیر به نظر مـی‌رسـد. در مقیـاس جهـانی مطالعـات انـدکی تاکنون ارائه شده است که ازجمله می توان به تحقیق سـبزی پـرور و همکاران (۱۵) اشاره نمود. آنها با استفاده از مدل تابش مالتی اسـتریم (چند چشمه‌ای) و یک جو چند لایه‌ای به ارائه میانگین‌های دراز مدت تابش‌هـای بیولـوژیکی نـوع UVA، UVB، آفتـاب سـوختگی و آب مروارید چشمی در مقیاس°۱/۲۵ ×°۱/۲۵ اقدام نمودند. مقایسه نتـایج مدل نامبردگان با اندازه گیری‌های واقعـی نشـان داد کـه در منـاطق خشک و کم ابر خطای پیش بینی‌های مدل کمتر از ۱۰± درصد مـی باشد ولی برای مناطق مرطوب و ابری ایـن اخـتلاف تـا ۲۰± درصـد قابل انتظـار اسـت. در ایـن تحقیـق نشـان داده شـده کـه در توزیـع جغرافیایی تابش‌های بیولـوژیکی موقعیـت سـمت الـرس خورشـید در محل نقشی مهم تر از اُزون ایفا می‌کند.

در مجموع، ریسک بالای تابش فرابنفش بیش از نرمال، و تاثیر سوء بر سلول‌های حیاتی انسان، دام و گیاهان به ویژه در مناطق خشک و بیابانی سبب شده تا انجام چنین پژوهشی ضرورت پیدا کند. با توجه به اینکه در مباحث تغییر اقلیم احتمال افزایش ابرناکی در دهه‌های اخیر و آینده و تاثیر مثبت آن بر کاهش شدت پرتوهای فرابنفش دریافتی در سطح زمین وجود دارد، انجام این پژوهشی می تواند به بررسی فرض مذکور بپردازد و تاثیر نوسانات عوامل اقلیمی چون ابرناکی، هواویزها و اُزون را بر تابش فرابنفش تعیین کند.

مواد و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر ۲۲ ایستگاه که براساس سیستم طبقه بندی اقلیمی دومارتن اصلاح شده در مناطق خشک، نیمه خشک و فراخشک قرار دارند انتخاب شدند. اطلاعات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در جدول ۱ قابل مشاهده است.

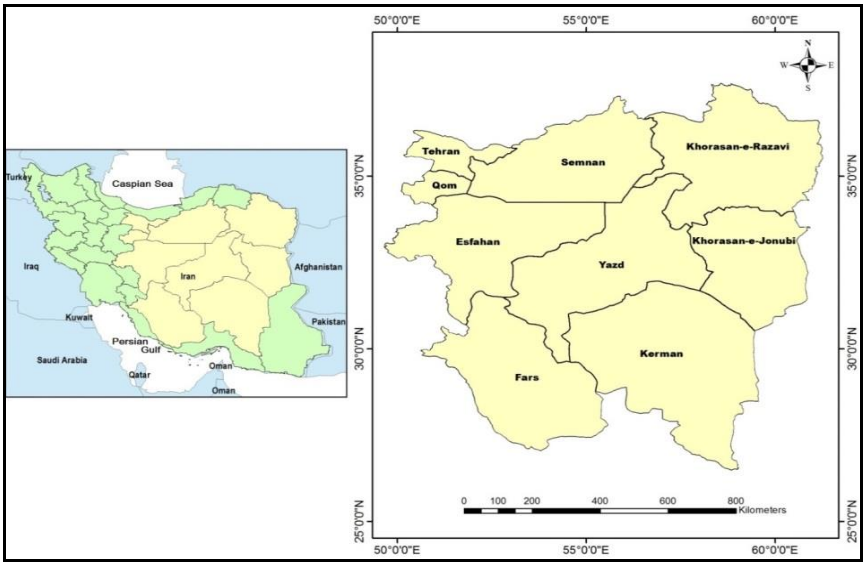
موقعیت منطقه مورد مطالعه نیز در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل ۲۲ شهر مورد نظر در ۹ استان ایران قرار گرفته‌اند.

با توجه به عدم وجود شبکه پایش تابش فرابنفش در کشور، مقادیر ساعتی و روزانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه از مدل انتقال تابشی TUV5 استفاده شد. مدل‌های چند لایه‌ای انتقال تابشی نقش مهمی در مطالعات پرتوهای فرابنفش و برنامه‌های عملیاتی مرتبط با آن دارند. از جمله مزیت‌های مدل انتقال چند لایه‌ای TUV نسبت به سایر مدل‌ها انعطاف پذیری بیشتر این مدل است

جدول ۱- اطلاعات جغرافیایی و نوع اقلیم شهرهای واقع در منطقه مورد مطالعه

Table 1- Geographical information and climate types of cities located in the study area

ردیف No.	شهر City	طول جغرافیایی Longitude (E)	عرض جغرافیایی Latitude (N)	ارتفاع (متر) Altitude (m)	نوع آب وهوا (دمارتن اصلاح شده) Climate type (adjusted De Martonne)
1	Abadeh آباده	52.67	31.18	2030	Arid خشک
2	Anar انار	55.25	30.88	1409	Hyper- arid فراخشک
3	Baft بافت	56.58	29.23	2280	Semi-arid نیمه خشک
4	Bam بم	58.35	29.10	1067	Hyper- arid فراخشک
5	Birjand بیرجند	59.20	32.86	1491	Arid خشک
6	Isfahan اصفهان	51.87	32.67	1601	Hyper- arid فراخشک
7	Ferdows فردوس	58.17	34.02	1250	Arid خشک
8	Garmsar گرمسار	52.27	35.20	825	Hyper- arid فراخشک
9	Qom قم	50.85	34.70	877	Arid خشک
10	Gonabad گناباد	58.68	34.35	1056	Arid خشک
11	Kabootar-Abaad کبوترآباد	51.85	32.52	1545	Hyper- arid فراخشک
12	Kashan کاشان	51.45	33.98	982	Semi-arid نیمه خشک
13	Kashmar کاشمر	58.47	35.30	1110	Hyper- arid فراخشک
14	Kerman کرمان	56.97	30.25	1754	Arid خشک
15	Khoor-Biabanakخوربیابانک	55.03	33.78	845	Arid خشک
16	Minadeh-Jiroft میانده جیرفت	57.80	28.58	601	Arid خشک
17	Semnan سمنان	53.55	35.55	1171	Arid خشک
18	Shahre-Babak شهر بابک	55.13	30.10	1834	Arid خشک
19	Sirjan سیرجان	55.68	30.47	1739	Arid خشک
20	Tabbas طبس	56.92	33.60	711	Extra arid فراخشک
21	Tehran تهران	51.32	35.68	1190	Arid خشک
22	Yazd یزد	54.40	31.90	1230	Extra arid فراخشک



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Geographical location of the study area

که با توجه به در نظر گرفتن موارد اضافی همچون گازهای کمیاب[1] و انعکاس ناهمسانگرد[2] (به علت در نظر گرفتن آلبیدو) همچنین سرعت محاسبه بالا و سادگی استفاده از آن سبب شده تا در بسیاری از مطالعات تحقیقاتی مورد توجه قرار گیرد (۴). در مجموع، مدل‌های انتقال تابشی در مقایسه با سایر مدل‌ها از جمله مدل‌های تجربی مطابقت بیشتری با مقادیر اندازه‌گیری از خود نشان می‌دهند. ضمن اینکه بر خلاف مدل‌های اشاره شده در گستره بیشتری از شرایط جوی قابلیت استفاده دارند. ضمنا، مدل‌های تجربی و نیمه تجربی تنها در شرایطی که از قبل نسبت به شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه کالیبره شده باشند، قابلیت استفاده دارند (۹). مدل انتقال تابشی TUV اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط مدرونیچ[3] در مرکز ملی تحقیقات علوم جوی آمریکا[4] (NCAR) عرضه شد (۷). این مدل برای محاسبه تابش طیفی در طول موج‌های فرابنفش و مرئی با دقّت قابل قبولی قابل استفاده می باشد. از جمله داده‌های ورودی مورد نیاز مدل TUV می‌توان طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر، عمق نوری ابر (Cloud Optical Thickness)، ارتفاع ایستگاه از سطح دریا، آلبیدوی زمین (Surface Albedo) در طول موج‌های فرابنفش، عمق نوری هواویز (Aerosol Optical Thickness) و اُزون کلی جو را نام برد.

1- Trace gases
2- Anisotropic reflection
3- Madronich
4- U.S National Center for Atmospheric Research (NCAR)

ب) داده‌ها

روش آماده سازی داده‌ها

داده‌های موردنیاز این پژوهش که عمدتاً همان داده‌های ورودی مدل TUV می‌باشند در طول دوره آماری ۱۳ ساله (۲۰۰۵ – ۲۰۱۷)، برای ۲۲ ایستگاه مورد مطالعه در مناطق مرکزی ایران از منابع زیر تهیه گردید:

طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد نظر و ارتفاع ایستگاه از سطح دریا از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی اخذ گردید (جدول ۱). همچنین، حداکثر طول روز (N) و مقدار ساعات آفتابی (n) به صورت متوسط ماهیانه جهت محاسبه ضریب (n/N) که یک ضریب تعدیلی برای محاسبه شرایط واقعی آسمان است، از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی دریافت گردید. در این پژوهش تصاویر ماهواره‌ای عمق نوری ابر و عمق نوری هواویز (آئروسُل) از سنجنده Terra & Aqua/MODIS دریافت گردید. تصاویر ماهواره‌ای اُزون کلی جو (Total Column Ozone) از سنجنده OMI/Aura TOMS بدست آمد. تصاویر ماهواره‌ای آلبیدوی زمین در طیف طول موج‌های فرابنفش با استفاده از داده‌های بازتحلیل پروژه MERRA-2 ناسا که با استفاده از ماهواره ERA و سیستم مشاهدات زمینی Goddard نسخه ۵ (GEOS-5) و سامانه داده گواری جوی (ADAS[5]) نسخه ۵,۱۲,۴ تهیه می‌شود، مورد استفاده قرار گرفت. این تصاویر ماهواره‌ای نیز همانند تصاویر قبلی بصورت روزانه در شبکه

5- Atmospheric Data Assimilation System

(Grid) جهانی ۰/۲۵ × ۰/۲۵ درجه (۲۵ کیلومتر در ۲۵ کیلومتر) در اختیار قرار دارند و از سال ۱۹۸۰ تاکنون در آرشیو مرکزی موجود می باشند. تصاویر ماهواره‌ای مورد اشاره از طریق سایت اداره کل ملی هوانوردی و فضای[1] آمریکا (به اختصار ناسا) بصورت رایگان در دسترس عموم پژوهشگران قرار دارد.

ج) روش پژوهش

در این پژوهش با در اختیار داشتن داده‌های ورودی مورد نیاز مدل TUV برآورد مقادیر نابش UVB در چهار حالت زیر انجام شد:

الف) شرایط آسمان کاملاً صاف (Clear Sky): در این حالت، مقدار ابرناکی در ورودی مدل TUV صفر در نظر گرفته می‌شود.

ب) شرایط آسمان کاملاً ابری (Overcast): در این حالت، مقدار ابرناکی در ورودی مدل TUV صد در صد در نظر گرفته می‌شود.

ج) شرایط واقعی (All Sky): منظور از شرایط واقعی، تاثیر مقدار ابرناکی گزارش شده و اعمال آن در طول ساعات آفتابی در نتایج مدل TUV است. برای محاسبه این حالت در ابتدا حداکثر طول روز (N) و مقدار ساعات آفتابی (n) به صورت متوسط ماهیانه جهت محاسبه ضریب (n/N) که یک ضریب تعدیلی است، محاسبه گردید. سپس با ضرب کردن این ضریب تعدیلی در مقادیر تابش شرایط آسمان کاملاً صاف، تابش در شرایط فوق بدست می‌آید. ذکر این نکته ضروریست که پایش‌های دقیق پوشش ابری، ارتفاع موثر ابرها، توزیع اندازه قطرک‌های داخل ابر و تفکیک مایع یا کریستال بودن ذرات داخل ابر که بر تابش فرابنفش دریافتی تاثیرگذارند، در مقیاس‌های زمانی طولانی مدت در دنیا در دسترس نمی‌باشد. به همین علت فرض شرایط فوق کاملا واقعی نیست. با این حال، در ادبیات تابش از این اصطلاح استفاده می‌گردد (۱۶).

د) اختلاف نسبی تابش آسمان کاملاً صاف با آسمان کاملاً ابری: در این حالت تفاوت نسبی دو حالت (الف) و (ب) محاسبه و پهنه‌های مربوطه تولید شد. هدف از ارائه این حالت پاسخ به این پرسش است که آیا ابرناکی کامل در منطقه می‌تواند ریسک تابش UVB را بطور قابل ملاحظه کاهش دهد؟

در انتها، نقشه‌های پهنه‌بندی مقادیر UVB در تمام حالت‌های ذکر شده در محدوده مورد مطالعه بصورت متوسط فصلی (میانگین ۱۳ ساله) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰،۴،۱ تولید می‌گردد.

1- National Aeronautics and Space Administration (https://disc.gsfc.nasa.gov)

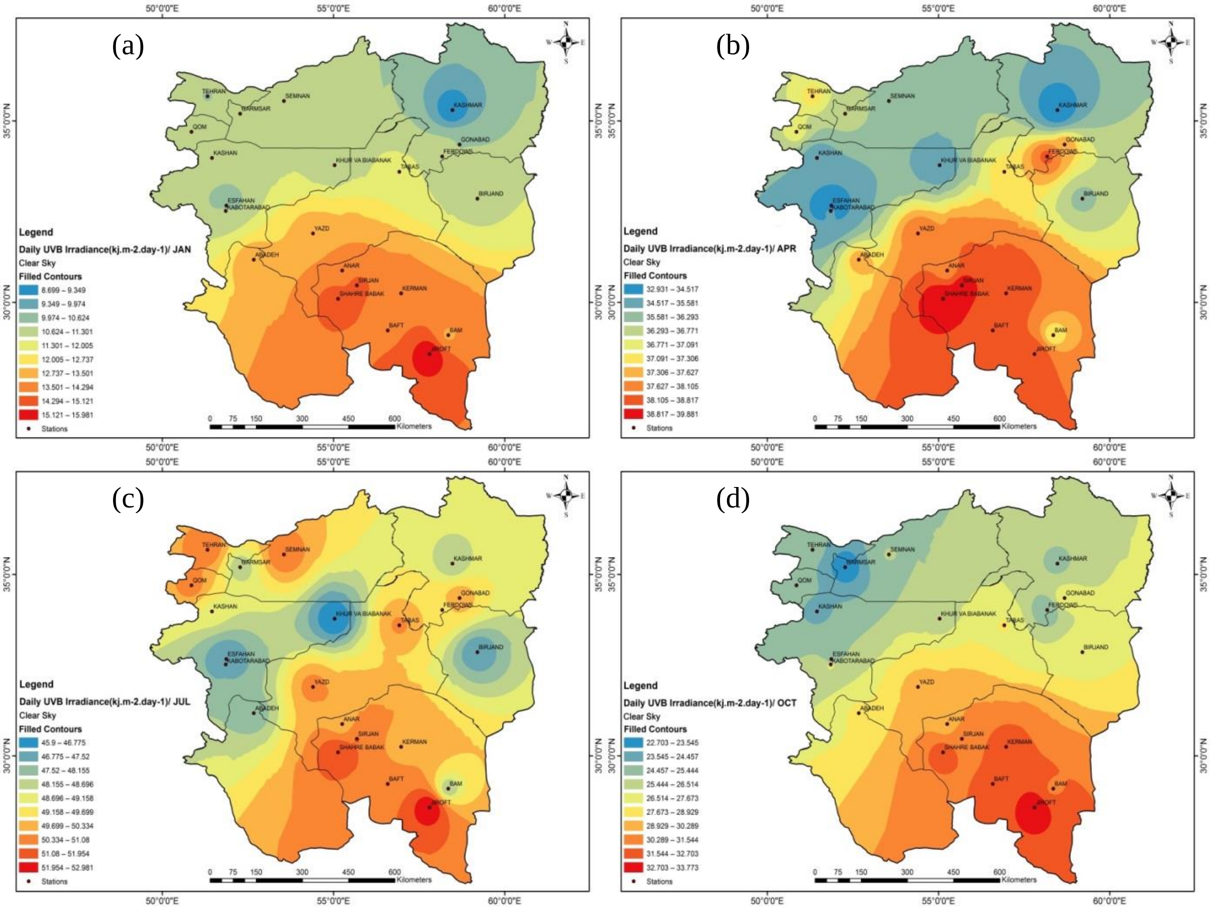
نتایج و بحث

شرایط آسمان کاملاً صاف

در این مطالعه ابتدا با استفاده از مدل TUV و داده‌های ورودی عمق نوری هواویز، اُزون کلی جو و آلبیدوی سطح زمین مقدار تابش تجمعی روزانه UVB تحت شرایط ایده‌آل آسمان صاف (بدون ابر) برآورد گردید تا پتانسیل منطقه برای دریافت بیشترین تابش فرابنفش در فصول مختلف برآورد گردد. در شکل ۲ پهنه‌های جغرافیایی تابش تجمعی روزانه UVB در ماه‌های ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر (به ترتیب بعنوان نماینده فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز) در شرایط آسمان کاملاً صاف ارائه شده است.

با توجه به شکل 2c فصل تابستان بیشترین مقادیر UVB روزانه را در منطقه تجربه کرده است (با بیشینه ۵۳ کیلوژول بر متر مربع در روز برای ایستگاه جیرفت). برعکس، ماه ژانویه (بعنوان نماینده فصل زمستان) نیز در بین ماه‌های سال کمترین مقادیر UVB به خود اختصاص داده است (با کمینه ۹ کیلوژول بر متر مربع در روز در ایستگاه کاشمر). با توجه با شکل 2d بزرگترین بازه تغییرات جغرافیایی تابش روزانه UVB در فصل پاییز (بین ۲۲ تا ۳۳ کیلوژول بر متر مربع در روز) رخ شده است. این در حالیست که کوچکترین بازه تغییرات جغرافیایی در نماینده فصل تابستان (بین ۴۵ تا ۵۲ کیلوژول بر مترمربع در روز) به وقوع پیوسته است. در مجموع، بیشترین و کمترین مقادیر UVB روزانه در نواحی جنوب شرقی (تابستان) و شمالشرقی (زمستان) منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. در فصول بهار و تابستان (شکل‌های ۲b,c) گرچه همچنان بیشینه شدت تابش UVB در نواحی جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه متمرکز است، اما برخی نواحی شمال غربی به خصوص ایستگاه‌های تهران، قم و سمنان استثنائا" افزایشی تا ۱۰ درصد در شدت روزانه UVB نسبت به نواحی همجوار از خود نشان می‌دهند. بررسی نقشه پهنه اُزون فصلی (بهار) در دوره مطالعاتی تایید نمود که در شهرهای ذکر شده مقدار اُزون کلی جو کمتر از ایستگاه‌های اطراف بوده است. کاهش ازون در ایستگاه‌های فوق مطالعه مجزایی نیاز دارد.

توزیع جغرافیایی تابش روزانه تجمعی UVB تحت شرایط آسمان صاف بیانگر این واقعیت است که در اغلب فصول سال تمرکز بیشینه آن در جنوب منطقه می‌باشد و حاکی از ریسک بالای دریافت پرتوهای فرابنفش برای سلول‌های زیستی این منطقه است. بر عکس شدت‌های کمتر در نواحی شمال‌شرقی منطقه برآورد گردید. همخوانی پهنه‌های ماهیانه UVB با مقادیر ماهیانه اُزون کلی در منطقه مورد مطالعه (حاصل این پژوهش) نیز وجود داشت. ولی در برخی ماه‌ها مانند آگوست و سپتامبر استثنائا در مناطقی علی‌رغم مقدار اُزون بیشتر، تابش روزانه فرابنفش UVB دریافتی نیز بالا بود. در این رابطه تاثیر عمق نوری آئروسول‌ها بر شدت تابش دریافتی را نمی‌توان نادیده گرفت.



شکل ۲- میانگین فصلی تابش تجمعی روزانه UVB (کیلوژول بر متر مربع در روز): a) زمستان، b) بهار، c) تابستان، d) پاییز در منطقه مورد مطالعه تحت شرایط آسمان کاملاً صاف

Figure 2- Seasonal mean daily UVB radiation (kj/m^2.day): a) Winter, b) Spring, c) Summer, d) Autumn in the study area for Clear-Sky conditions

در برخی ایستگاها نظیر اصفهان، کبوترآباد و خور بیابانک که مقدار اُزون کلی تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشت کاهش شدت تابش روزانه UVB تا حدود ۲۰ درصد در بهار و تابستان در این ایستگاه‌ها مشاهده گردید. با بررسی مقادیر عمق نوری هواویزها مشخص شد که علت این کاهش، افزایش عمق نوری هواویزها (تا ۳ برابر نواحی اطراف) در ایستگاه‌های مذکور می باشد. بطوریکه که تاثیر عمق نوری بالای آئروسول‌ها در فصول بهار و تابستان در شهرهای کبوترآباد و خوربیابانک استان اصفهان در کاهش قابل ملاحظه تابش UVB دریافتی در شرایط آسمان صاف به وضوح مشهود است. لازم به توضیح است که در پژوهش حاضر نقشه‌های پهنه توزیع جغرافیایی اُزون کلی،آلبیدوی سطح، عمق نوری آئروسُول‌ها، و عمق نوری ابرناکی در مقیاس ماهیانه تهیه گردید (جمعا ۴۸ شکل)، ولی به علت محدودیت تعداد صفحات در مقاله درج نگردید.

با توجه به نتایج مطالعات پیشین که بیشینه تابش روزانه UVB را برای عرض‌های میانی تا ۸۰ کیلوژول بر متر مربع در روز گزارش نموده‌اند (۱۵)، ریسک بالای تابش در شرایط آسمان صاف در محدوده طول موج‌های UVB در ایران مشهود است (با بیشینه ۵۴ کیلوژول بر متر مربع در روز در ماه خرداد در ایستگاه جیرفت). ذکر این نکته ضروریست که علاوه بر زاویه تابش خورشید (زاویه سمت الراس خورشید) طول روز در منطقه در ایجاد این بیشینه تابش تجمعی روزانه نقش داشته است (۱۶). به نظر می‌رسد که با توجه به افزایش طول روزهای تابستان در شمال منطقه، وقوع بیشینه تابش روزانه UVB در جنوب منطقه، غلبه ازون کلی و زاویه تابش را بر طول روز تایید می‌کند.

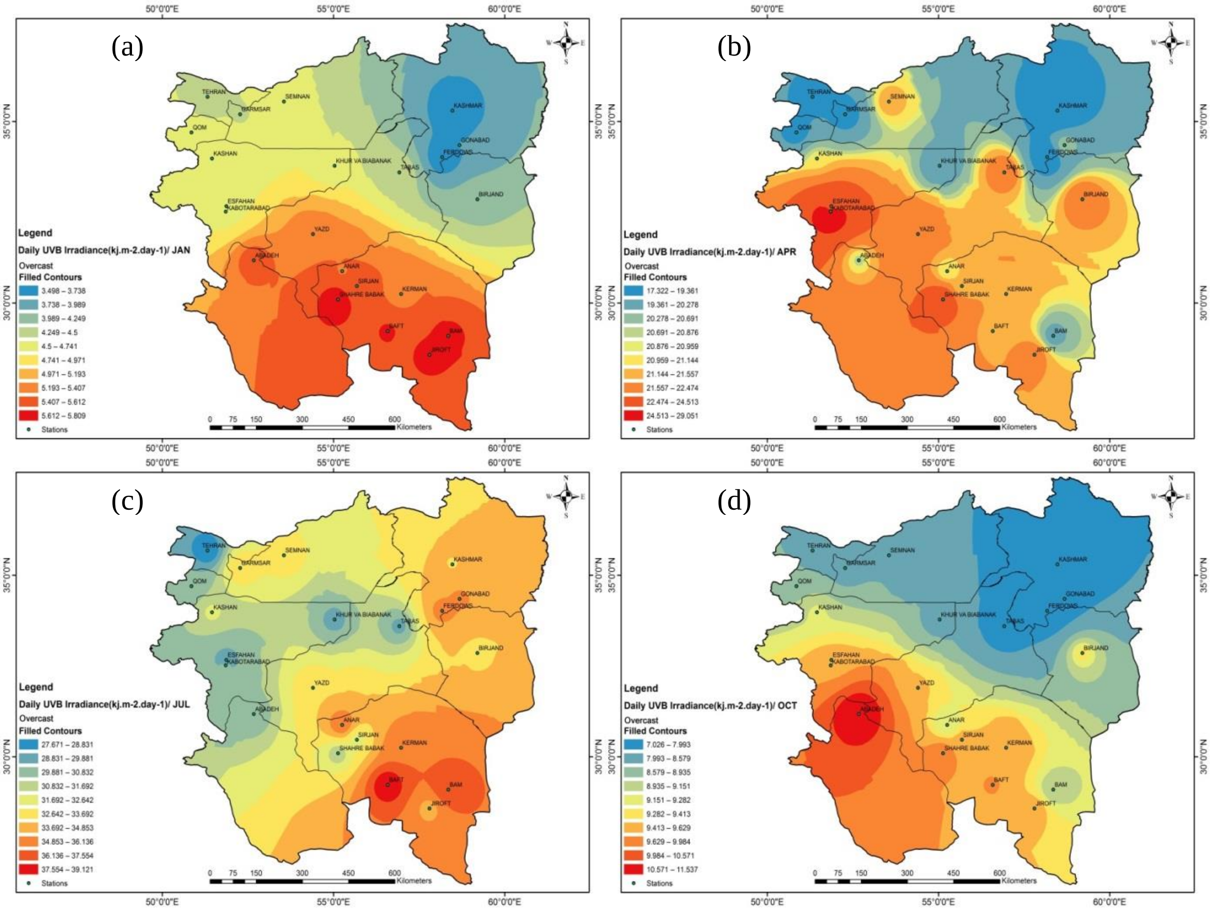
شرایط آسمان کاملاً ابری

در این پژوهش مقدار تابش تجمعی روزانه UVB تحت شرایط

آسمان کاملاً ابری نیز برآورد گردید تا با شرایط آسمان کـاملا صـاف مقایسه شوند و تاثیر ابرناکی و هواویزها بـر تـابش رسیده بـه سـطح زمین مورد ارزیابی قرار گیرد. در شکل ۳ پهنـه بنـدی UVB در مـاه های ژانویه، آوریل، جولای و اکتبر (به ترتیب بعنوان شاخص فصـل-های زمستان، بهار، تابستان و پاییز) در شرایط آسمان کاملاً ابری ارائه گردیده است.

همانند شرایط آسمان کاملاً صاف، فصل تابسـتان تحـت شـرایط فرضی کاملا ابری بیشترین و فصل زمسـتان کمتـرین تـابش روزانـه UVB را تجربه نموده است (شکل‌های ۳a,c). بزرگترین بازه تغییرات جغرافیایی تابش در فصل بهار و تابسـتان (حـدود ۱۲ $kj/m^2.day$) رخ داده است، در حالی‌که کـوچکترین بـازه تغییـرات در فصـل زمسـتان (حدودا ۲/۳ $kj/m^2.day$) به وقوع پیوسـته اسـت. در شـرایط آسـمان کاملاً صاف، بزرگترین بازه تغییرات در فصل پاییز و کـوچکترین بـازه تغییرات در فصل تابستان رخ داده بود که بیانگر این واقعیت است کـه شرایط تمام ابری منجر به تغییرات فصلی دامنه تابش روزانه می‌گردد.

با انطباق جغرافیایی نقشه‌های روزانه تابش UVB بـا نقشـه داده هـای ورودی (اُزون، ابرنـاکی، آلبیـدوی سـطحی و هـواویز جـوی) مشخص شد کـه پهنـه‌هـای UVB در شـرایط تمـام ابـری، تطـابق بیشتری با پهنه‌های ابرناکی دارند. به طوری‌که در هـر ناحیـه‌ای کـه کمینه ابرناکی وجود داشت مقادیر بیشتری از تابش فـرابنفش تجربـه شده بود، و بالعکس (به دلیل محدودیت تعـداد صـفحات، نقشـه‌هـای پهنه داده های ورودی نشان داده نشد). البته این به آن معنا نیست که تاثیر سایر پارامترها را باید نادیده گرفت. در مجموع، بیشـترین مقـدار تابستانه تابش UVB در نواحی جنوب شرقی منطقه مورد مطالعـه بـه خصوص ایستگاه‌های بم، بافت و جیرفت (تا ۳۹ کیلوژول بر متر مربع در روز) و کمترین مقدار در زمستان در نـواحی شـمال شـرقی منطقـه مورد مطالعه به خصوص ایستگاه‌های کاشمر و فردوس (کمتـر از ۳/۸ کیلوژول بر متر مربع در روز) مشاهده می‌شود (شکل ۳a). در ماه‌هـای آوریل و اکتبر (نماینده فصول بهار و پاییز) کمتـرین مقـادیر تـابش در نواحی شمالی منطقه مشاهده می گردند (شکل‌های ۳b,d).



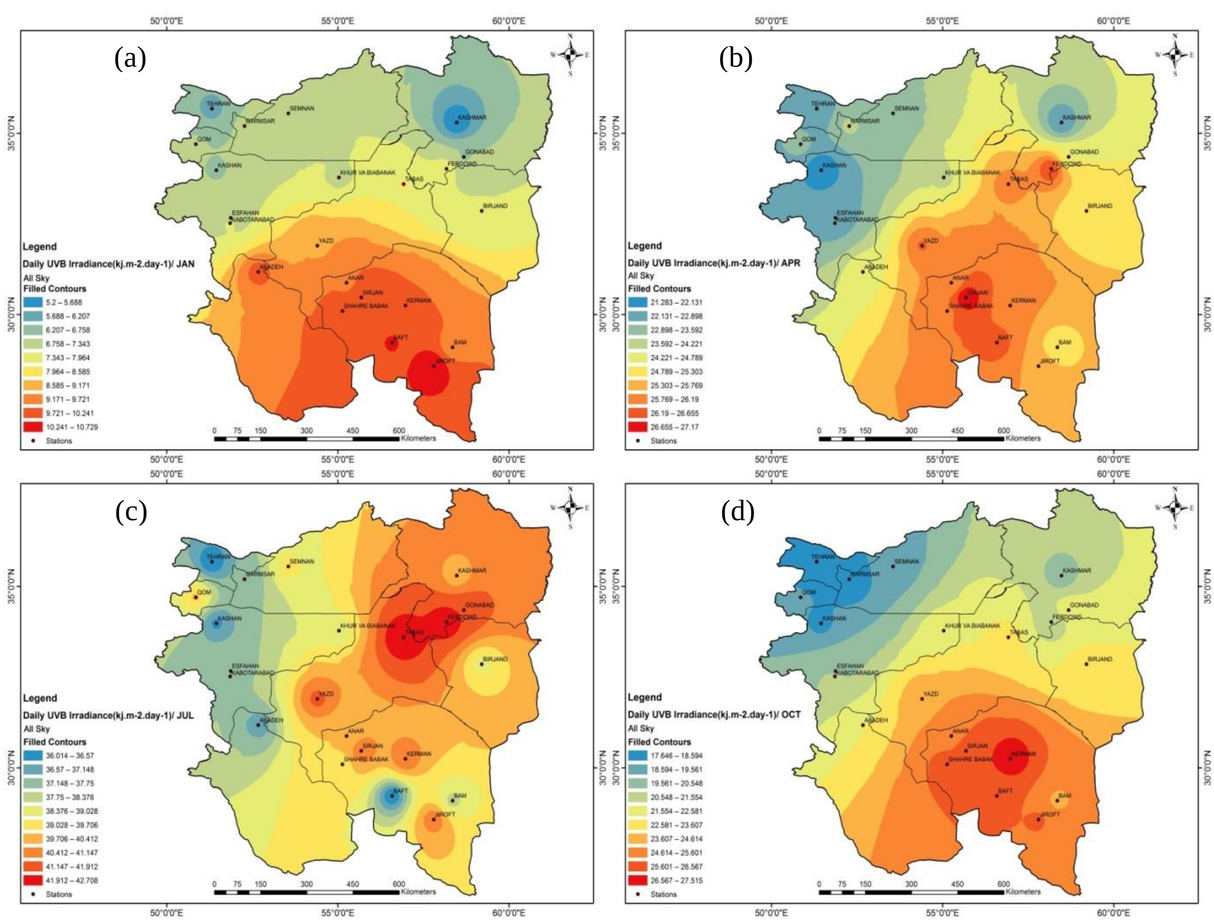
شکل ۳- میانگین فصلی تابش تجمعی روزانه UVB (کیلوژول بر متر مربع در روز): a) زمستان، b) بهار، c) تابستان، d) پاییز در منطقه مورد مطالعه تحت شرایط آسمان کاملاً ابری

Figure 3- Seasonal mean daily UVB radiation ($kj/m^2.day$): a) Winter, b) Spring, c) Summer, d) Autumn in the study area for overcast conditions

شرایط واقعی آسمان

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، با استفاده از طول روز (N) و مقدار ساعات آفتابی (n) ماهیانه، ضریب تعدیلی (n/N) محاسبه و با اعمال این ضریب تعدیلی در مقادیر UVB آسمان کاملاً صاف تابش روزانه UVB در شرایط واقعی آسمان (All Sky) برآورد گردید. در شکل ۴ پهنه بندی UVB در ماه‌های ژانویه، آوریل ، جولای و اکتبر (به ترتیب بعنوان نماینده فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز) در شرایط واقعی آسمان ارائه گردیده است. مقادیر UVB تحت شرایط واقعی آسمان به نسبت آسمان کاملاً صاف به طور متوسط از ۱۹ درصد در فصل پاییز تا ۳۳ درصد در فصل بهار کاهش پیدا نموده است.

مطابق انتظار فصل تابستان دارای بالاترین مقادیر UVB در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده است و فصل زمستان دارای کمترین مقادیر در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه است. بزرگترین بازه تغییرات (اختلاف کمینه و بیشینه) تابش روزانه UVB (حدودا بین ۱۷/۶ تا ۲۷/۵ k/m^2.day) در فصل پاییز (شکل ۴d) حادث شده است، در حالی که کوچکترین بازه تغییرات (بین ۳۶/۱ تا ۴۲/۷ k/m^2.day) در فصل تابستان به وقوع پیوسته است. بیشترین بیشینه شدت تجمعی تابش UVB روزانه در همه فصول به استثناء تابستان در نواحی جنوب منطقه متمرکز بوده است. در فصل تابستان بیشینه تابش روزانه به نواحی شمال شرقی منطقه مورد مطالعه منتقل شده است (شکل ۴c). از دلایل این انتقال، علاوه بر تاثیر ازون به تاثیر مونسون تابستانه هند در بر هم زدن توزیع جغرافیایی بخار آب، ابرناکی و ریزگرد در منطقه اشاره نمود.



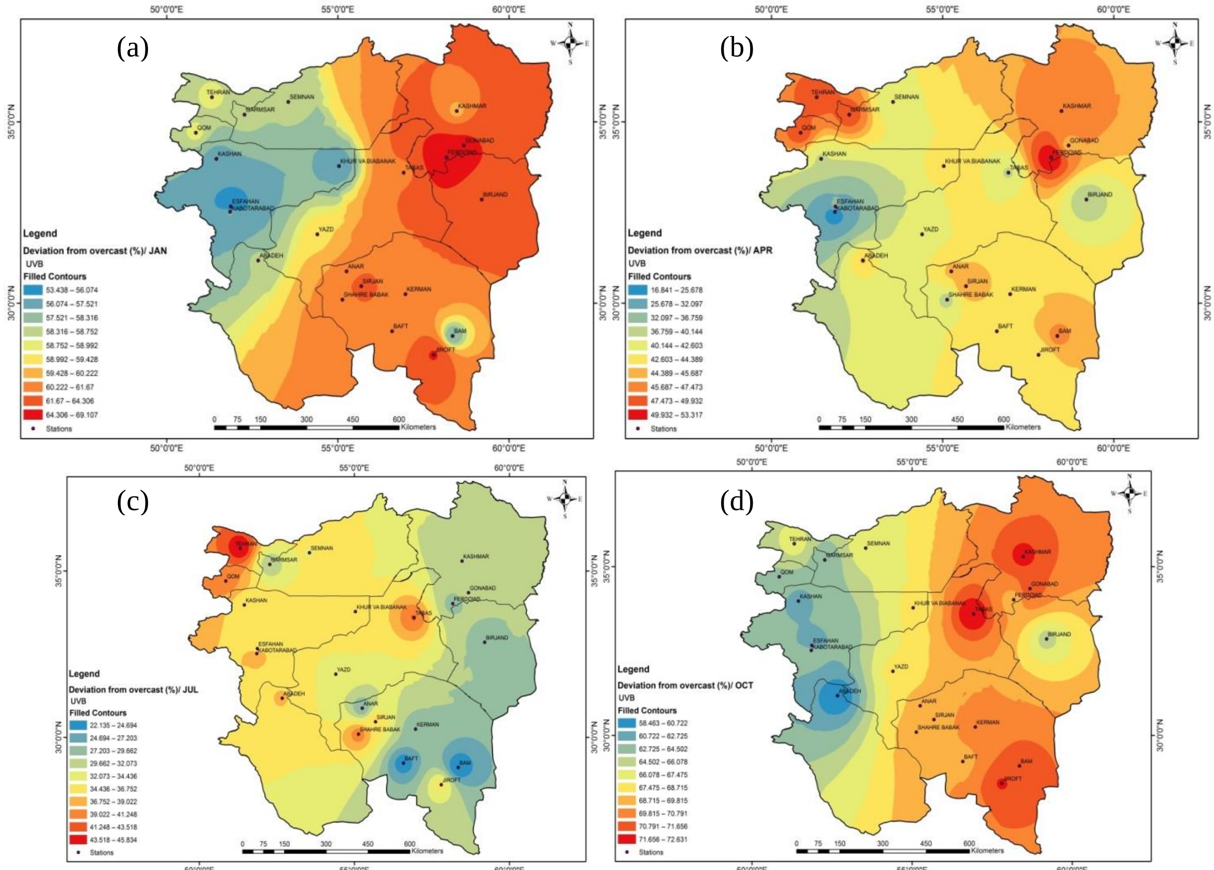
شکل ٤- میانگین فصلی تابش تجمعی روزانه UVB (کیلوژول بر متر مربع در روز): a) زمستان، b) بهار، c) تابستان، d) پاییز در منطقه مورد مطالعه تحت شرایط واقعی آسمان

Figure 4- Seasonal mean daily UVB radiation (kj/m^2.day): a) Winter, b) Spring, c) Summer, d) Autumn in the study area for All-Sky conditions

تفاوت آسمان کاملاً صاف با آسمان کاملاً ابری

به منظور بررسی تاثیر ابرناکی در شدت تابش تجمعی روزانه UVB در سطح زمین مقادیر تابش تجمعی در دو حالت حدی آسمان کاملا صاف و کاملا ابری در منطقه مورد مقایسه قرار گرفت. با این هدف که ایا شرایط کاملا ابری خطر شدت‌های بالای تابش UVB را در صورت وقوع در منطقه کاهش خواهد داد؟ در این بخش به منظور درک بهتر مقایسه بصورت نسبی انجام شد تا میزان کاهش حاصل از پوشش ابری بهتر درک شود. همچنین با توجه به اینکه هدف از مطالعه شناسایی مناطق با ریسک زیاد و بررسی تاثیر پوشش ابری یکسان در منطقه مورد مطالعه است، ضخامت ابر بصورت پیش فرض در کل منطقه یک کیلومتر فرض شد. لازم به ذکر است در صورتیکه مقادیر حدی حداکثر شدت UV مد نظر نباشد، اطلاعات دقیق ضخامت ابر در هر ایستگاه و بکارگیری آن در مدل TUV ضروریست. متاسفانه این اطلاعات فعلا در ایستگاه‌های هواشناسی کشور ثبت نمی‌شود و اطلاعات سنجنده‌های ماهواره‌ای دقت لازم را برای ورودی مدل‌های تابش ندارند. در این بخش نیز ماه‌های ژانویه، آپریل، جولای و اکتبر به ترتیب بعنوان شاخص فصل‌های زمستان، بهار، تابستان و پاییز در نظر گرفته شد.

در شکل ۵ پهنه‌بندی تفاوت نسبی (درصد) تابش تجمعی روزانه UVB در شرایط تفاوت آسمان کاملاً صاف با آسمان کاملاً ابری ارائه است. همانطور که قبلاً اشاره شد، این حالت از حاصل تقسیم، تفاوت مقادیر آسمان کاملاً صاف و کاملاً ابری، بر مقدار مشابه در آسمان کاملا صاف به دست آمده است. حداکثر تفاوت نسبی UVB با میانگین منطقه‌ای ۶۵/۵ درصد در فصل پاییز رخ داده است. در سایر فصل‌های مورد مطالعه فصل تابستان با مقدار متوسط ۳۲ درصد کمترین انحراف نسبی را به خود اختصاص داده است (شکل ۵c). بزرگترین بازه انحراف نسبی UVB روزانه (بین ۱۶/۸ تا ۵۳/۳ درصد) در ماه آوریل (نماینده فصل بهار) مشاهده می‌شود (شکل ۵b)، در حالی که کوچکترین بازه تغییرات UVB (بین ۵۸/۴ تا ۷۲/۶ درصد) در نماینده فصل پاییز به وقوع پیوسته است (شکل ۵d). طبق شکل ۵ کمترین و بیشترین تفاوت نسبی نقطه‌ای در ایستگاه‌های کبوترآباد اصفهان (آوریل، ۱۶/۸ درصد) و طبس (اکتبر، ۷۲ درصد) ثبت شده است.



شکل ۵- تفاوت نسبی تابش تجمعی روزانه UVB آسمان صاف نسبت به آسمان تمام ابری: a) زمستان، b) بهار، c) تابستان، d) پاییز (بر حسب درصد)

Figure 5- Relative differences between the total daily UVB radiation in clear-sky with overcast conditions: a) Winter, b) Spring, c) Summer, and d) Autumn (in percent)

بررسی پهنه‌ها نشان می‌دهد که ابرناکی تاثیر به سزایی بر تابش روزانه UVB دارد. این تاثیر به گونه ایست که شرایط آسمان تمام ابری (با ابری به ضخامت یک کیلومتر در ارتفاع ۴ کیلومتری بالای منطقه) قادر است تابش روزانه دریافتی را در در محدوده طول موجهای UVB در مقیاس نقطه‌ای تا ۷۳ درصد (پاییز) کاهش دهد. این تاثیر کاهشی در همه فصول سال یکسان نمی‌باشد. تاثیر کاهشی ابر بر تابش سطحی فرابنفش در فصول گرم سال (به دلیل زاویه سمت‌الراس کمتر) بطور نسبی کمتر از فصول سرد سال می‌باشد. مقدار انحراف مشاهده شده از تاثیر کاهشی آسمان تمام ابری در ماه های گرم ژوئن، جولای، اگوست و سپتامبر در محدوده طول موج‌های UVB بین ۲۲ الی ۴۶ در صد می‌باشد. در ماه‌های سرد نوامبر تا مارس، میانگین تاثیر کاهشی پوشش تمام ابری بر تابش دریافتی در محدوده ۵۳ الی ۷۳ درصد بدست آمد (بطور متوسط ۲ برابر تابستان). علت این امر را می‌توان به زاویه سمت الراس بیشتر (پرتوهای مایل‌تر در فصول سرد سال) نسبت داد. لازم به یادآوریست که در این بخش، در محاسبه تابش روزانه چه در شرایط آسمان صاف و چه در شرایط تمام ابری متغیرهای ورودی نظیر عمق اپتیکی هواویزها، اُزون کلی، و ضریب آلبیدو در محاسبات یکسان نظر گرفته شد تا امکان بررسی تاثیر ابرناکی فراهم گردد. در این رابطه نیز ضخامت ابر در کل منطقه یکسان و برابر یک کیلومتر (ارتفاع پایه ۴ کیلومتر و ارتفاع قله ۵ کیلومتر) لحاظ گردید.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج بدست آمده حاکی از این است که فصل تابستان در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه و در تمامی شرایط مورد بررسی (آسمان کاملاً صاف، کاملاً ابری و واقعی) بالاترین مقادیر تجمعی روزانه UVB را تجربه نموده است. کمینه مقادیر روزانه UVB نیز برای تمام شرایط مورد بررسی در فصل زمستان رخ داد. این نتیجه با نتایج تحقیقات موقری و خسروی (۱۲) و موسوی و همکاران (۱۰) همخوانی نشان داد. نامبردگان عنوان نمودند شدت بالای شاخص پرتو فرابنفش (UVI) در گستره ایران، در فصول گرم سال (بهار و تابستان) در نیمه جنوبی کشور رخ می‌دهد و بیشینه شاخص پرتو فرابنفش در عرض‌های جنوبی کشور متمرکز است (۱۰ و ۱۲). نتایج مقایسه تابش تجمعی روزانه شبیه سازی شده در شرایط آسمان کاملاً صاف با شرایط آسمان کاملاً ابری نشان می‌دهد که مقادیر روزانه UVB تحت شرایط آسمان کاملاً ابری نسبت به آسمان کاملاً صاف به طور متوسط از ۳۳ درصد در فصل تابستان تا ۶۷ درصد در فصل پاییز کاهش می‌یابد. علت کاهش بیشتر در فصل پاییز این است که در ماه‌های سرد سال به دلیل زاویه سمت الراس بیشتر و افزایش طول مسیر پرتوها، تاثیر کاهشی ابر بر تابش سطحی UVB بطور نسبی بیشتر از ماه‌های گرم سال رخ می‌دهد. برآوردها نشان داد که تابش تجمعی روزانه UVB در اغلب فصول سال در مناطق جنوبی منطقه مورد مطالعه شدت بیشتری دارد و این مناطق در معرض ریسک بیشتری از خطرات بیولوژیکی پرتوهای فرابنفش قرار دارند. البته در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست به دلیل نفوذ مونسون هندوستان از سمت جنوب‌شرق، این بیشینه قدری به سمت عرض‌های شمالی کشیده می‌شود.

لازم به ذکر است که علاوه بر زاویه تابش خورشیدی، طول روز در نقاط مختلف منطقه در ایجاد و جابجایی بیشینه UVB نقش دارد. به نظر می‌رسد که علیرغم بالاتر بودن طول روز تابستانه در شمال منطقه، علت انتقال بیشینه به شهرهای جنوب منطقه به زاویه تابش عمودی‌تر (زاویه سمت الراس کمتر) و اُزون کلی کمتر مرتبط باشد. در تحقیق فیولوتوف و همکاران (۳) نیز عنوان شده است که شدت تابش اشعه فرابنفش با مقدار زاویه سمت الرأس نسبت معکوس دارد. بطوریکه افزایش در زاویه مذکور، کاهش در شدت تابش پرتو فرابنفش را در پی دارد (شدت تابش دریافتی در سطح زمین متناسب با کسینوس زاویه سمت الرأس خورشیدی است). ضمنا، طول مسیر پرتوهای عبوری از جو با افزایش زاویه سمت‌الرأس خورشیدی افزایش می‌یابد. بنابراین هرگونه جذب یا پخش توسط گازهای جوی یا ذرات معلق در هوا با افزایش طول مسیر افزایش می‌یابد. مقایسه کلی پهنه های تابش فرابنفش با مقادیر اُزون، ابرناکی، آلبیدو و هواویزها حاکی از این واقعیت است که وقوع کمینه و بیشینه‌های تابش فرابنفش UVB در شرایط تمام ابری بیشتر تحت تاثیر توزیع اُزون کلی جو و عمق اپتیکی ابرها قرار دارند و نوسانات ماهیانه آلبیدو و غلظت هواویز تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر جابجایی مراکز بیشینه و کمینه تابش روزانه UVB ندارد (در پژوهش حاضر ۴۸ نقشه ماهیانه توزیع جغرافیایی آلبیدوی سطحی و عمق نوری هواویزها تهیه ولی بدلیل محدودیت تعداد صفحات در مقاله ارائه نگردید). مقایسه پهنه جغرافیایی مقادیر تابش تجمعی روزانه UVB با اُزون کلی و عمق نوری ابر روشن ساخت که در مواقعی که عمق نوری ابرها قابل ملاحظه است (ماه-های دسامبر تا آوریل) عامل ابرناکی در کاهش تابش UVB مؤثرتر از غلظت اُزون کلی عمل می‌کند. برعکس، در مواقعی که مقدار ابرها و عمق نوری آنها کم است تاثیر نسبی اُزون کلی بر تابش UVB بیشتر است. این نتیجه با نتایج پژوهش شرعی پور و علی اکبری (۱۷) در ایستگاه اصفهان همخوانی داشت.

با توجه به اینکه در این پژوهش محاسبات بصورت ایستگاهی صورت گرفت، جهت استخراج پهنه‌های دقیق‌تر، پیشنهاد می شود از داده‌های گریدبندی شده سایر نقاط خارج از ایستگاه نیز استفاده گردد. ضمنا چون اعتبارسنجی خروجی مدل‌های انتقال تابش نیاز مبرم به

داده های زمینـی دارد، امیـد اسـت کـه همکـاری مشـترک سـازمان هواشناسی و سازمان محـیط زیسـت کشـور زمینـه مناسـبی را بـرای تاسیس شبکه پایش زمینی تابش فرابنفش خورشیدی در کشور فراهم نماید.

سپاسگزاری

مقاله حاضر برونداد طرح پژوهشی با شـماره قـرارداد ۸۵۱۰۵/۵۰ تحت حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران ریاسـت جمهـوری انجام شده است که بدینوسیله از آن مرکز تشکر و قدردانی مـی‌شـود. نویسندگان مقاله صمیمانه از راهنمایی علمی دکتر ساشـا مـدرونیچ در مرکز NCAR کلُرادو آمریکا قدردانی می‌نمایند. همچنـین از مـدیران آرشیو اطلاعات سایت ناسا بخاطر در اختیار گذاشـتن داده‌هـای مـورد نیاز قدردانی می‌شود.

منابع

1- Abedzadeh M., and Pourakbar L. 2014. Effects of UV-B and UV-C radiation on antioxidative enzymes activity of Melissa officinalis and influences of salicylic acid in UV-stress ameliorations. Iranian Journal of Plant Biology 6(21): 1-14. (In Persian with English abstract)
2- Farajzadeh Asl M., Ghavidel Rahimi Y., and Ardeshiri Kalhor M. 2014. Analysis of ultraviolet radiation changes in Isfahan region. Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards 1(2): 93-105. (In Persian with English abstract)
3- Fioletov V., James B., Kerr R., and Fergusson A. 2010. The UV Index: Definition, Distribution and Factors Affecting it. Canadian Journal of Public Health 101(4): 15-19.
4- Kerr J.B., and Fioletov V. 2008. Surface Ultraviolet Radiation. Journal of Atmosphere Ocean 46(1): 159-184.
5- Khatami F., and Ghanati F. 2014. Investigating the effect of tension of ultraviolet B and C rays on the pharmacological composition of cheese calluses (*Malva neglecta* Wallr.). Scientific-Research Quarterly Journal of Iranian Medicinal and Aromatic Plants Research 30(1): 30-41. (In Persian with English abstract)
6- Lam K.S., Aijun D., Chan L.Y., Wang T., and Wang T.J. 2002. Ground-based measurements of total ozone and UV radiation by the Brewer spectrophotometer at Hong Kong. Atmospheric Environment Journal 36: 2003-2012.
7- Madronich S. 1993. The atmosphere and UV radiation at ground level. Journal of Environmental UV Photobiology 69(3): 1-39.
8- McKenzie R.L., Aucamp P.J., Bais A.F., Bjorn L., and llyas M. 2007. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. Journal of Photochem and Photobiology 6: 218-231.
9- Michalsky J.J., and Kiedron P.W. 2008. Comparison of UV-RSS spectral measurements and TUV model runs for clear skies for the May 2003 ARM aerosol intensive observation period. Journal of Atmospheric Chemistry and Physics 8: 1813-1821.
10- Mousavi SH., Hajizadeh A., and Hasani M. 2012. Modified Satellite Data Model in Solar Ultraviolet Radiation Zoning in Iran. Ozone and Ultraviolet Radiation Conference 71-78. (In Persian with English abstract)
11- Moradi M.M., Pourakbar L., Moghaddam S.S., and Popović-Djordjević J. 2019. Agrobiological, chemical and antioxidant properties of saffron (*Crocus sativus* L.) exposed to TiO_2 nanoparticles and ultraviolet-B stress. Industrial Crops and Products 117: 137-143.
12- Movaghari A., and Khosravi M. 2014. Calculation, evaluation and analysis of spatial distribution of ultraviolet light index in Iran. Journal of Applied Research in Geographical Sciences 14(34): 11-31. (In Persian with English abstract)
13- Palancar G.G., and Toselli B.M. 2004. Effects of meteorology on the annual and interannual cycle of the UV-B and total radiation in Córdoba city, Argentina. Journal of Atmospheric Environment 38: 1073-1082.
14- Pribullova A., and Chmelik M. 2008. Typical distribution of the solar erythemal UV radiation over Slovakia. Atoms. Chem. Phys. Discuss Journal 8: 5919-5938.
15- Sabziparvar A.A., Keith P., Shine B., and Piers M. 1999. A Model Derived Global Climatology of UV Irradiation at the Earth Surface. Journal of Photochem and Photobiology 69(2): 193-202.
16- Sabziparvar A.A. 2007. General formula for estimation of monthly mean global solar radiation in different climates of south and north coasts of Iran. International Journal of Photoenergy doi:10.1155/2007/94786.
17- Shariepour Z., and Aliakbari Bidokht A. 2012. The effects of cloudiness and total ozone on UV-B radiation in Esfahan region. Iranian Journal of Geophysics 5(4): 74-88. (In Persian with English abstract)
18- WHO. 2006. Global disease burden from solar ultraviolet radiation. World Health Organization Report. ISBN 92-4-159440-3: 15-43.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 2, May-June 2021, p. 285-297

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۴۰۰، ص. ۲۹۷-۲۸۵

Evaluating the Impact of Clouds on Total Daily UVB Irradiances in Arid and Semi-arid Regions of Iran

A.A. Sabziparvar*[1]- A.R. Seifzadeh Momensaraei[2]

Received: 14-07-2020
Accepted: 27-02-2021

Introduction: Although the contribution of Ultra-violet (UV) radiation is about 5-7% of the whole solar energy; nevertheless, it plays an important role in regulating the biological and photochemical processes within the Earth-atmospheric system. Ultra-violet radiation is well-known for its significant influence on human health and the environment. High UV doses have negative effects on the skin (erythema (sunburn), skin cancer) and cause eye diseases and immune suppression. However, moderate UV doses have positive effects causing vitamin D production. Apart from the solar elevation, ozone and cloudiness are the main factors affecting UV level and providing significant year-to-year variability of UV radiation. The effect of clouds on UV radiation is as varied as the clouds change. Fully overcast skies lead to reductions in surface UV irradiance. On average, scattered or broken clouds also cause reductions, but short-term or localized UV levels can be larger than for cloud-free skies if direct sunlight is also present. It is noted that long-term cloud type and amount trends are largely unknown due to the relatively short data record of comprehensive cloud observations and the high variability of clouds on interannual and longer time scales. So far, most studies have focused on in-vitro impacts of UV radiation on human health and plant physiology. Unfortunately, not much research has addressed the effect of ozone and clouds distribution on total daily UVB irradiances in central arid deserts of Iran. Meanwhile, these limited investigations have used Tropospheric Ultraviolet-Visible (TUV5) radiation. The present work is aimed to evaluate the influence of clouds and ozone on daily UVB in different sky conditions.

Materials and Methods: To estimate the total daily UVB irradiances (280-315 nm), 13-year (2005-2017) historical data from 22 meteorological sites (9 provinces) were applied as the input of the TUV5 multilayer radiative transfer model. The Tropospheric Ultraviolet-Visible (TUV) model is used widely by the scientific community for applications including atmospheric photochemistry, solar radiometry, and environmental photobiology. The model calculates spectral radiance, irradiance, and actinic flux over 120-750 nm at an underlying resolution of 0.01 nm, as well as weighted spectral integrals including wavelength bands (visible, UVA, UVB, UVC), photolysis coefficients (112 reactions), and biologically active irradiances (UV index, DNA damage, vitamin D production, etc.). Atmospheric inputs include vertical profiles of N2, O2, O3, NO2, SO2, clouds, and aerosols. The propagation of radiation through multiple atmospheric layers (concentric spherical shells for direct solar beam, plane-parallel for diffuse radiation) is computed using a fast 2-stream approximation or a multi-stream discrete ordinates scheme. Version 5.3 provides updated spectroscopic data for a number of photolysis reactions (7). The aforesaid dataset includes Total column ozone (TCO), Cloud optical depth (COD), Aerosol optical depth (AOD), and Surface albedo (SALB), which were freely extracted from ://disc.gsfc.nasa.gov satellite-based images.

Results and Discussion: TUV5 Model estimated total daily UVB radiation for three different sky conditions (Clear-sky, whole sky cover, real sky) and the results compare to each other. The maximum daily UVB for clear-sky and overcast conditions (whole cloud cover) was found in summer and for the south and south-east of the region (Kerman, Fars, and Yazd provinces). The observed decline in daily UVB due to the clouds varied from 33% in summer to 67% in autumn, which highlights the importance of total cloud cover (overcast) in reducing the UVB radiation in the study sites. For the real sky condition (all-sky), the maximum daily UVB irradiances were found in southern parts of the region for most of the seasons. However, as the Indian summer Monsoon result, the maximum UVB has slightly moved toward the northwest of the region. Meanwhile, the inter-comparison of daily UVB maps with total column ozone (TCO), cloud optical depth (COD), aerosol optical depth (AOD), and surface albedo (SALB) maps show that the geographical position of maximum UVB radiation in southern provinces is in good agreement with the total column ozone and cloud optical depth. In this regard, variations of monthly SALB and AOD have less influence on the determination of displacing the maximum UVB.

1 and 2- Professor in Meteorology and Ph.D. Candidate in Agrometeorology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: swsabzi@basu.ac.ir)
DOI: 10.22067/jsw.2021.15010.0

Conclusion: Results of the present work highlight the high biological risk of solar UVB irradiances during clear-sky days over the study region. For full cloud cover (overcast condition), the maximum and minimum UVB are observed in the south and northeast of the region, respectively. A relative comparison of total daily UVB in clear-sky conditions versus the UVB of overcast conditions highlights the fact that clouds can significantly reduce the biological risk from 33% in summer to 67% in autumn. The UVB reduction by clouds is more pronounced during cold seasons due to the combined interaction of larger solar zenith angle (lower sun angle) with clouds and ozone.

Keywords: Clear-sky, Cloudy-sky, Multilayer Radiative Transfer, Surface biological radiation, Seasonal average UVB, TUV5 model

Contents

WATER AND SOIL

(AGRICULTURAL SCIENCES AND TECHNOLOGY)

Vol . 35 No. 2 2021

Published by: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad

Address: Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

P.O. Box: 91775- 1163

Fax: +98 51 8787430

E-Mail: jswa3@um.ac.ir

Web Site: https://jsw.um.ac.ir/

Journal of Water and Soil is published bimonthly (six issues per year).