پژوهش های خشکسالی و تغییراقلیم

دوره اول، شماره سوم، پیاپی ۳، پاییز ۱۴۰۲

بررسی دقت تخمین بارش ماهواره GPM (مطالعه موردی استان مازندران) ۱
علیرضا یوسفی کبریا، مهدی نادی

بررسی روند تغییرات ارزش اقتصادی آب مصرفی محصولات زراعی در استان خراسان رضوی ۱۵
شجاعت زارع، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم

مقایسه روش‌های دراستیک، اصلاحی و فازی دراستیک در ارزیابی خطرپذیری آلودگی آبخوان دشت قزوین ۳۵
طالب مرادی نژاد، محسن رضایی، محمد نخعی

بررسی خشکسالی هیدرولوژیک آب های زیرزمینی با استفاده از شاخص HDMI در دشت ارومیه ۵۷
آروین میرعلیزاده، سمیه حجابی، مهدی کوچک زاده

اولویت‌بندی سیلخیزی زیرحوضه‌های رودخانه سرباز با استفاده از مدل SWAT ۷۳
جواد چزگی، احسان حامدی

بررسی تاثیر متقابل پارامترهای هواشناسی بر تبخیر از سطح آب با استفاده از تحلیل واریانس ۸۷
جواد ظهیری، عادل مرادی

اثرات توزیع نمک، و آلودگی نیترات و بور در عمق‌های مختلف خاک برمیزان محصول گندم و برنج در منطقه خوزستان ۱۰۵
علی غلامی، مسلم طهماسبی شامنصوری، تیمور بابایی نژاد، خوشناز پاینده، محی الدین گوشه

Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Fall 2023, Vol.1, No.3, pp 1-14

10.22077/JDCR.2023.6232.1022

Evaluation of the Accuracy of the GPM Satellite Precipitation Product (Case Study of Mazandaran Province)

Alireza Yousefi Kebriya[*1], Mehdi Nadi [2]

1. PhD student in Agricultural Meteorology, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Agricultural Meteorology, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

***Corresponding Author: a.yousefi@stu.sanru.ac.ir**

Keywords:
Auxiliary parameters, Precipitation estimation, Mazandaran, Grad-GPM.

Received:
22 Mar 2022

Revised:
13 May 2023

Accepted:
29 May 2023

Extende Abstract

Introduction

Accurate spatial estimation of rainfall is very important in hydrological simulations. Despite the development of automatic rain gauge stations in recent years, obtaining reliable precipitation data in data-poor areas is still a major challenge. Rain gauge stations measure rainfall data and depth at a point. However, their main shortcoming is that their measurements are point-based and do not provide sufficient surface coverage of the desired area. Although measurements in small areas are relatively accurate, they are not applicable to large basins. This research evaluates the accuracy of GPM satellite precipitation products in Mazandaran province.

Materials and Methods

In this research, the accuracy of GPM satellite precipitation products was compared with image interval weighted interpolation and kriging methods. For this purpose, 21 meteorological stations and 24 monthly and 2 annual GPM satellite images were used in 2015 and 2017. The evaluation of the methods was done using mean square error, deviation error, absolute mean percentage of error. Also, annual rainfall maps of the province were drawn and analyzed for 2015 and 2017.

Results and Discussion

The results showed that GPM satellite precipitation products have a high bias error. This means the amount of overestimation/underestimation of this satellite reaches more than 140 mm per year. Of course, the interpolation methods of kriging and dis-

How to cite this article:
Yosefi Kebriya, A., & Nadi, M. (2023). Checking the accuracy of GPM satellite rainfall estimation (case study of Mazandaran province). Journal of Drought and Climate change Research, 1(3), 1-14. 10.22077/JDCR.2023.6232.1022.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

tance image weighting also have a significant error and do not accurately distinguish between small and large circles of the province. Investigating and evaluating the possibility of combining the rainfall products of the desired satellites with latitude and longitude and altitude variables in most of the 4D gradient equations showed that the Grad-GPM combined method has significantly increased the accuracy of the spatial estimation of precipitation. And it reduces the error of GPM satellite and interpolation methods by 25 to 40%. Also, annual rainfall maps of 2015 and 2017 were drawn to compare and better understand the performance of Grad-GPM method in modifying GPM satellite data in monthly and annual rainfall estimation of Mazandaran province in GIS software environment. They were compared with the precipitation maps of Kriging, IDW and GPM satellite methods. It was compared with the precipitation maps of methods Kriging, IDW and GPM satellites. From the examination of the precipitation maps obtained by Grad-GPM methods, in both 2016 and 2018, it is concluded that the precipitation amount decreases from the west to the east of the province. Also, the amount of rainfall on the coasts is more than in the heights, so that it shows the highest amount of rainfall at an altitude of less than 700 meters, and with the increase of the altitude up to 2000 meters, the amount of rainfall decreases. But from the height of 2000 meters above, the amount of precipitation does not have a clear trend and fluctuates between 400 and 900 mm. This indicates the complex topography of the province and the role of local climate on the amount of precipitation in the province. In addition, the maps prepared by these methods clearly show that the heavy rainfall ring of the province is formed from the western coast to the central coast of the province near Fereydon Kenar. Also, the slope of rainfall-altitude changes in the west of the province is higher than in the east, which is due to the special topography of the west of Mazandaran province. The Grad-GPM precipitation map separates the western part of the province into several rainfall sections. In total, the detailed evaluation of the obtained maps indicates that the Grad-GPM map is more accurate than the map drawn using GPM satellite data and KRG and IDW methods, and the amount of rainfall in the province is better recognized.

Conclusion

The results showed that the use of auxiliary variables that have a reasonable and acceptable correlation with rainfall data reduces the error of rainfall data estimation by 25-35% and has a better estimation of rainfall data, especially in inaccessible areas with no recorded rainfall data. The results of the present research showed that satellite precipitation products alone do not have proper accuracy in the spatial estimation of precipitation and its use brings a lot of bias error, but their combination with interpolation methods as an auxiliary parameter increases the accuracy of spatial estimation of precipitation and It rains maps too. Also, the method presented in this research can be used to modify satellite precipitation products.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره سوم، پیاپی ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۱۴ - ۱

doi 10.22077/JDCR.2023.6232.1022

بررسی دقت تخمین بارش ماهواره‌ی GPM (مطالعه موردی استان مازندران)

علیرضا یوسفی کبریا*[۱]، مهدی نادی[۲]

۱. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران
۲. استادیار گروه هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران
*نویسنده مسئول: a.yousefi@stu.sanru.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
پارامترهای کمکی، تخمین بارش، مازندران، Grad-GPM.

چکیده

تخمین مکانی دقیق بارندگی اهمیت زیادی در شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی دارد. علی‌رغم توسعه‌ی شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی خودکار در سال‌های اخیر، دستیابی به داده‌های قابل اعتماد بارش در مناطق فاقد داده هنوز یک چالش بزرگ است. هدف از این تحقیق ارزیابی دقت محصولات بارش ماهواره‌ای GPM در استان مازندران می‌باشد. در این راستا دقت محصولات بارش ماهواره‌ای با روش‌های درون‌یابی وزنی عکس فاصله و کریجینگ مقایسه شد. برای این منظور از داده‌های ۲۱ ایستگاه هواشناسی و ۲۴ تصویر ماهانه و ۲ تصویر سالانه ماهواره‌ی GPM در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ استفاده شد. ارزیابی روش‌ها با استفاده از شاخص‌های میانگین مربعات خطا، خطای اریب و میانگین مطلق درصد خطا انجام شد. همچنین نقشه‌های هم‌بارش سالانه استان نیز برای دو سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ ترسیم و تحلیل گردید. نتایج نشان داد که محصولات بارش ماهواره‌ی GPM دارای خطای اریبی بالایی بوده به طوری‌که میزان بیش برآوردی/کم برآوردی این ماهواره به بیش از ۱۴۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. البته روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله نیز دارای خطای قابل‌توجهی بوده و تشخیص دقیقی از حلقه‌های کم‌بارش و پربارش استان ندارند. بررسی و ارزیابی امکان ترکیب محصولات بارش ماهواره‌های موردنظر با متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع در غالب معادلات گرادیان چهار بعدی نیز نشان داد روش ترکیبی Grad-GPM باعث افزایش دقت قابل‌توجه تخمین فضایی بارش شده و خطای روش‌های درون‌یابی و ماهواره‌ی GPM را حدود ۲۵ تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهد. به‌علاوه بررسی نقشه‌های هم‌بارش نیز بیانگر افزایش دقت روش‌های ترکیبی نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۱/۰۲

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۲/۲۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۳/۰۸

مقدمه

بارش یک متغیر اساسی در تحلیل‌های آب و هوایی بوده که بر فعالیت‌های انسانی تأثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد. تغییرات در میزان بارندگی در مناطق مختلف زمین مستقیماً بر میزان دسترسی میلیون‌ها نفر از مردم به آب تأثیر می‌گذارد. تخمین دقیق بارش در مناطق وسیع، مدیریت کارآمد آب را تا حد زیادی ممکن می‌سازد. بارش مهم‌ترین عامل تحلیل چرخه آب و متغیر اصلی در شبیه‌سازی مخاطرات طبیعی از قبیل سیل، خشکسالی و رانش زمین است (Azizian and Ramezani, 2019). تغییرات مکانی-زمانی بارش در چرخه هیدرولوژیکی، تعاملات زمین - جو و همچنین مدیریت منابع آبی اهمیت زیادی دارد (Modaresi et al., 2010). یکی از عوامل محدودکننده‌ی تحقیقات در زمینه هواشناسی و علوم آب در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، کمبود اطلاعات پایه نظیر بارش است. این کمبود شامل کوتاه بودن طول سری زمانی و یا پراکنش کم ایستگاه‌های برداشت اطلاعات است. علاوه بر این کمبود اطلاعات بارشی همواره یکی از محدودیت‌های اصلی تحقیقات و مطالعه در زمینه مهندسی آب و هواشناسی بوده است (Youse-fi kebriya et al., 2019). جهت تخمین میزان بارش از روش‌های مختلفی از جمله استفاده مستقیم از داده‌های ایستگاه‌های زمینی هواشناسی و مشاهدات مستقیم، به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌های سنجش از دور و یا استفاده از روش‌های دورن‌یابی که مبتنی بر روش‌های زمین آمار هستند، استفاده می‌شود (Guo et al., 2016). با توجه به اینکه در ایران و اکثر کشورهای درحال توسعه، شبکه‌های باران‌سنجی پراکنده بوده و در بعضی از مناطق نیز تعداد باران‌سنج‌ها محدود می‌باشد محاسبه بارش متوسط با استفاده از روش‌های درون‌یابی منجر به افزایش خطا می‌شود (Kidd and Huffman, 2011). در مسیر توسعه سریع فناوری‌های مشاهداتی در دهه‌های اخیر، استفاده از امکانات سنجش از دور مزایای منحصر به فردی برای به‌دست آوردن اطلاعات دقیق بارش در بعد فضایی-زمانی در مناطقی که فاقد مشاهدات هواشناسی هستند، داشته است (Ning et al., 2016). در ارتباط با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های درون‌یابی در تخمین مقدار بارش مطالعات زیادی صورت گرفته است که به طور نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود. تن و سانتو (Tan and San-to, 2018)، به مقایسه داده‌های شبکه‌بندی GMP ،IMERG TMPA 3B42 و PERSIANN-CDR در مالزی پرداختند. بر اساس شاخص‌های آماری نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی مناسب بودن تمام مجموع داده‌ها به جز PERSIANN-CDR بوده است. مددی و همکاران (Madadi et al., 2014)، به ارزیابی قابلیت داده‌های ماهواره TRMM در برآورد بارش روزانه، ماهانه و سالانه در مقیاس مکانی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۰ در حوضه‌ی مرزی غرب ایران پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد همبستگی معنی‌داری در سطح پنج درصد بین داده‌های بارش زمینی و داده‌های ماهواره‌ای در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه وجود دارد. جوان و همکاران (Javan et al., 2017) به ارزیابی کارایی الگوریتم 3B42 ماهواره TRMM برای برآورد مقدار بارندگی شش ساعته در حوضه آبریز دریاچه ارومیه و اعتبارسنجی داده‌ها با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی پرداختند که نتایج این تحقیقات بیانگر مطابقت قابل قبول داده‌های بارش برآورد شده با مقادیر ثبت شده ایستگاه‌های زمینی است. جائو و همکاران (Gao et al., 2018)، به مقایسه دو مجموعه داده شبکه‌بندی‌شده ماهانه با وضوح بالا در سین کیانگ چین پرداختند. نتایج نشان داد که داده‌های CHIRPS نسبت به PERSIANN-CDR در مقیاس ماهانه و سالانه دارای دقت بیشتر می‌باشند. ورکلول و همکاران (Worqlul et al., 2017)، در پژوهشی به ارزیابی داده‌های CFSR، TMPA 3B42 و داده‌های باران زمینی به عنوان ورودی برای مدل‌های هیدرولوژیکی، در مناطق داده کمیاب پرداختند. نتایج بیانگر این بود که TMPA 3B42، قادر به توصیف تغییرات زمانی باران نمی‌باشد و همچنین هر دو نوع داده باران‌سنجی و داده تحلیل مجدد CFSR به خوبی قادر به تولید داده‌های جریان رودخانه می‌باشند. یوسفی کبریا و همکاران (Yousefi Kabria et al., 2021)، با اصلاح شبکه ماهواره‌ای TRMM با استفاده از روش گرادیان چهار بعدی بارش استان مازندران را در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ تخمین زده و

نتایج بدست آمده نشان داد که اصلاح شبکه TRMM سبب افزایش ۳۰-۵۰ درصدی دقت این ماهواره شده است. آنچه قابل توجه است، این است که در استان مازندران با فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش در نقاط ارتفاعی مواجه هستیم، از طرفی به دلیل توپوگرافی پیچیده استان، استفاده از روش‌های درون‌یابی و تصاویر ماهواره‌ای به تنهایی دارای دقت پایینی می‌باشند (Yousefi Kabria et al , 2021)، بررسی مطالعات گذشته نشان داد استان مازندران بخصوص در ارتفاعات رشته کوه‌های البرز دارای توپوگرافی پیچیده بوده و اغلب ایستگاه‌های هواشناسی در بخش جلگه‌ای استان پراکنده بوده و به دلیل ارتفاعات صعب العبور آن امکان احداث متراکم ایستگاه‌های هواشناسی وجود ندارد (Yousefi Kabria et al., 2019). از طرفی به دلیل قرارگیری بخشی از قلل مرتفع ایران در ارتفاعات این استان و اهمیت ارتفاعات در مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی کشاورزی، مدیریت جنگل‌های هیرکانی و همچنین مدیریت گردشگری استان، دستیابی به داده‌های دقیق بارش در نقاط ارتفاعی فاقد داده هواشناسی اهمیت بسزایی دارد. لذا هدف از انجام این پژوهش ارائه یک روش جدید برای افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش بوسیله ترکیب محصول دما و بارش شبکه ماهواره‌ای GPM با روش‌های درون‌یابی در استان مازندران و مقایسه آن با داده‌های ماهواره‌ای GPM و افزایش دقت تخمین بارش با استفاده از روش درون‌یابی است.

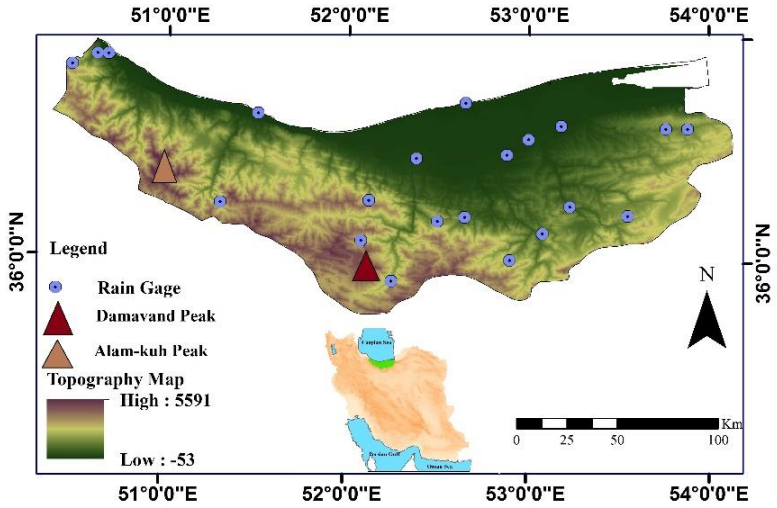
مواد و روش‌ها

استان مازندران از وسعتی معادل ۱/۴۶ درصد ایران برخوردار است. این استان با داشتن ۲۳۷۵۶/۴ کیلومتر مربع مساحت، بین طول جغرافیایی ’۳۴ °۵۰ و ’۱۰ °۵۴ و عرض جغرافیایی ’۴۷ °۳۵ و ’۳۵ °۳۶ در جنوب دریای مازندران (خزر) و در شمال رشته کوه البرز قرار دارد. شکل (۱) موقعیت استان مازندران را روی نقشه ایران به همراه نقشه پستی و بلندی‌های استان نشان می‌دهد. عوامل مؤثر در آب و هوای این منطقه را می‌توان به وجود رشته کوه البرز، جهت قرار گرفتن آن‌ها، ارتفاع مکان، نزدیکی به دریا، پوشش گیاهی، بادهای محلی، عرض جغرافیایی متوسط و پیش آمدن توده هوای شمالی و غربی نسبت داد. با توجه به شرایط حاکم بر این ناحیه می‌توان آب و هوا را به سه دسته، آب و هوای معتدل و مرطوب خزری، آب و هوای معتدل کوهستانی و آب و هوای سرد کوهستانی تقسیم کرد (Nadi and Dasti Gerdi).

در این پژوهش از داده‌های ۲۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک و باران‌سنجی زمینی و از ۲۴ محصول بارش ماهانه و ۲ محصول سالانه ماهواره GPM استفاده شد. آمار مذکور از سایت https://www.nasa.gov/mission_pages/GPM/main استخراج گردید. نقشه پراکنش ایستگاه‌ها در شکل (۱) قابل مشاهده است. با بررسی دوره آماری ایستگاه‌ها، از آمار سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ جهت انجام پژوهش مورد نظر استفاده شده است. با توجه به وجود محدودیت‌هایی از قبیل پیچیدگی توپوگرافی، شرایط اقلیمی خاص استان مازندران، تعداد اندک ایستگاه‌های باران‌سنجی با دوره‌ی بلند مدت به‌ویژه در ارتفاعات، تخمین بارش از طریق روش‌های درون‌یابی، تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور را دشوار می‌سازد. یافتن روش‌های مناسب برای گسترش شبکه بارشی استان مازندران، می‌تواند نقش به‌سزایی را در مطالعات بارش ایفا نماید.

ماهواره GPM

ماهواره GPM توسط NASA و JAXA به فضا پرتاب شد. تفکیک مکانی این ماهواره ۰/۱ در ۰/۱ درجه می‌باشد. این پایگاه از اطلاعات مایکروویو، مادون قرمز و ایستگاهی برای تولید محصولات خود استفاده می‌کند. ماموریت GPM باعث کمک به بهبود پیش‌بینی رویدادهای حدی که باعث مخاطرات و سوانح طبیعی هستند، می‌شود و همچنین قابلیت‌های استفاده از اطلاعات دقیق و به روز بارندگی را افزایش می‌دهد. محصولات این پایگاه در مقیاس زمانی ۳۰ دقیقه‌ای، سه ساعته، روزانه، هفتگی و ماهانه با تأخیر زمانی حداقل شش ساعت تا حداکثر چهار ماه در درگاه GPM به فرمت‌های مختلف از جمله: HDF، NTCF، KMZ، TXT، ASCII موجود است (Hou et al., 2015).



شکل ۱. موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان مازندران

Fig1. Location of meteorological stations used in Mazandaran province

معادله رگرسیون چند متغیره

رگرسیون خطی چندگانه یک روش تحلیل آماری برای پیدا کردن رابطه خطی بین یک متغیر پیش‌بینی‌شونده و یک یا چند متغیر پیش‌بینی‌کننده است. در این تحقیق از معادلات رگرسیون خطی چهار بعدی برای تخمین مکانی بارش استفاده شد. به طوری‌که محصولات بارش ماهواره‌های GPM در کنار ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی به عنوان پیش‌بینی‌کننده و متغیر بارش ماهانه و سالانه به عنوان متغیر پیش‌بینی‌شونده استفاده گردید. همچنین نقش محصولات ماهواره‌ای به عنوان متغیر کمکی در تخمین بارش استان مازندران آزموده شد. معادله رگرسیونی چهار بعدی مورد استفاده در این تحقیق به صورت رابطه (۱) می‌باشد (Nadi et al., 2013).

$$\hat{f}_{(s_0)} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x + \hat{a}_2 y + \hat{a}_3 h + \hat{a}_4 n \qquad (۱)$$

که در این رابطه $\hat{a}_i$ ها پارامترهای معادله و x، y، h، n به ترتیب طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و داده بارش ماهواره‌ای می‌باشند.

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی عدم قطعیت و محاسبه مقدار خطای روش‌های درون‌یابی و ماهواره‌ای GPM در این پژوهش از میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق درصد خطا و خطای اریب که به ترتیب به صورت روابط (۲) تا (۴) می‌باشند، استفاده گردید (Ghaderpour et al., 2020 ;. Kruse et al., 2014).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}[\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \qquad (۲)$$

$$MAPE = 1/N \sum_{i=}^{N} \frac{\sum_{i=1}^{N} |\hat{Z}(Xi) - Z(Xi)|}{\hat{Z}(Xi)} \qquad (۳)$$

$$MBE = {}^{1}/_{N} \sum_{i=}^{N} [\hat{Z}(Xi) - Z(Xi)] \qquad (۴)$$

که در آن، $\hat{Z}(Xi)$ مقدار برآورد شده، $Z(Xi)$ مقدار مشاهده شده و N تعداد داده‌ها هستند. در این پژوهش از نرم‌افزارهای GS+2018، Mini tab 16، Arc GIS 10.3، NDVI 5.3 و Excel 2016 استفاده شده است.

نتایج و بحث

از پارامترهای طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع ایستگاه‌ها و محصولات بارش ماهواره، برای ترکیب با روش درون‌یابی در این پژوهش استفاده شد. تحلیل معنی‌داری پارامترهای کمکی در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که افزایش ارتفاع در اغلب ماه‌ها به‌جز ماه‌های کم بارش (انتهای فصل بهار و تابستان) تأثیر منفی و معنی‌داری بر مقدار بارش در این استان دارد و همچنین داده‌های بارش در مقیاس سالانه همبستگی قابل قبولی با طول و عرض جغرافیایی نشان می‌دهد. اما در ماه‌های مختلف مورد بررسی، بارش همبستگی قوی با این دو متغیر نداشت. همچنین نتایج جدول (۱) نشان‌دهنده‌ی سطح معنی‌داری ۵ درصدی محصول بارش ماهواره‌ای GPM در اکثر ماه‌ها و داده‌های سالانه است. ماه‌هایی که با علامت ns مشخص شده‌اند، از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار نداشتند.

جدول ۱. تحلیل معنی‌داری پارامترهای کمکی با بارش در استان مازندران

Table 1. Significant analysis of auxiliary parameters with precipitation in Mazandaran province

GPM	ارتفاع Z	عرض Lat	طول Long	سال Year	ماه Month
0.12^{ns}	-0.27^{ns}	0.04*	0.07^{ns}	2016	ژانویه
-0.61*	-0.39*	0.60*	-0.60*	2018	(Jan)
0.14^{ns}	-0.04*	-0.13^{ns}	0.31*	2016	فوریه
0.56*	-0.27^{ns}	0.47*	-0.61*	2018	(Feb)
0.54*	-0.13^{ns}	0.22^{ns}	-0.49*	2016	مارس
0.15^{ns}	-0.35*	0.17^{ns}	-0.29^{ns}	2018	(Mar)
0.63*	0.81*	-0.37*	-0.31*	2016	آوریل
0.64*	0.34*	0.03*	-0.63*	2018	(Apr)
0.56*	0.36*	-0.17^{ns}	-0.53*	2016	می
0.52*	0.32*	-0.08^{ns}	-0.52*	2018	(May)
0.37*	-0.16^{ns}	-0.04^{ns}	-0.33*	2016	ژوئن
0.14^{ns}	0.31*	-0.38*	-0.01*	2018	(Jun)
0.35*	0.12^{ns}	0.02*	-0.68*	2016	ژوئیه
0.37*	-0.51*	0.27^{ns}	-0.17^{ns}	2018	(Jan)
0.33*	-0.59*	0.59*	-0.56*	2016	آگوست
0.41*	-0.28^{ns}	0.22^{ns}	0.04*	2018	(Aug)
0.44*	-0.26^{ns}	0.12^{ns}	0.15^{ns}	2016	سپتامبر
0.13^{ns}	-0.02*	0.11^{ns}	-0.31*	2018	(Sep)
0.26^{ns}	0.07^{ns}	-0.13^{ns}	0.31*	2016	اُکتبر
0.61*	-0.48*	0.58*	-0.57*	2018	(Oct)
0.28^{ns}	-0.52*	0.41*	-0.26^{ns}	2016	نوامبر
0.52*	-0.48*	0.65*	-0.65*	2018	(Nov)
-0.13^{ns}	-0.71*	0.53*	-0.22^{ns}	2016	دسامبر
0.36*	0.1*	0.45*	-0.44*	2018	(Dec)
0.10^{ns}	0.41*	0.27^{ns}	-0.26^{ns}	2016	سالانه
0.60*	-0.47*	0.57*	-0.57*	2018	(Annual)

^{ns}: Non significant ، *: significant in 95% confidence level

در این پژوهش به‌منظور افزایش دقت نقشه‌های هم‌بارش، از تصاویر ماهواره‌ای GPM برای ترکیب با روش‌های درون‌یابی استفاده گردید. به طوری‌که علاوه بر متغیرهای کمکی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع، از تصاویر ماهواره‌ای محصولات بارشی GPM نیز به عنوان پارامتر کمکی جدید در معادله خط گرادیان استفاده و معادله خط Grad-GPM را برآورد گردید و در رسم نقشه‌های هم‌بارش بکارگرفته شد. با توجه به نتایج جدول (۲)، متغیر کمکی جدید به کار رفته در این پژوهش در اکثر ماه‌ها همبستگی و معنی‌داری مناسبی با بارش استان دارد. بر اساس نتایج به دست آمده معادله گرادیان خط چهار بعدی با متغیرهای طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و تصاویر ماهواره GPM، در مقیاس ماهانه و سالانه محاسبه شد که در جدول (۲) ارائه شده‌اند.

جدول ۲. معادله رگرسیونی اصلاح شبکه بارش GPM استان مازندران

Table 2. Regression equation for correction of GPM precipitation network of Mazandaran province

سال (Year)	ماه (Month)	معادله رگرسیونی GPM	R^2
2016	ژانویه(Jan)	P = 1313 + 0.5 LONG – 35.3 LAT – 0.0211 Z + 0.55 GPM	0.12
2018		P = 635 – 9.3 LONG – 2.8 LAT – 0.0230 Z + 0.356 GPM	0.6
2016	فوریه(Feb)	P = -350 + 16.7 LONG – 12.6 LAT – 0.0023 Z + 0.34 GPM	0.08
2018		P = 1326 – 2.5 LONG – 31.3 LAT – 0.0246 Z + 0.41 GPM	0.54
2016	مارس(Mar)	P = 632 + 6.8 LONG – 26.4 LAT – 0.00484 Z + 0.835 GPM	0.31
2018		P = 1397 – 11.6 LONG – 19 LAT – 0.0135 Z – 0.07 GPM	0.26
2016	آوریل(Apr)	P = 584 – 6.07 LONG – 7 LAT + 0.0163 Z – 0.019 GPM	0.71
2018		P = 1426 – 11.1 LONG – 22.7 LAT + 0.00212 Z + 0.27GPM	0.51
2016	می(May)	P = 1442 – 11.5 LONG – 22.3LAT + 0.00235Z + 0.018GPM	0.41
2018		P = 1175 – 15 LONG – 9.8 LAT + 0.00385 Z – 0.73 GPM	0.39
2016	ژوئن(Jun)	P = 2277 – 6.9 LONG – 51.5 LAT – 0.0179 Z + 0.451 GPM	0.33
2018		P = 1140 – 3.58 LONG – 25.6 LAT + 0.0036 Z + 0.82 GPM	0.18
2016	ژوئیه(Jan)	P = 2834 – 24.5 LONG – 41.2 LAT – 0.00604Z + 0.03GPM	0.59
2018		P = 248 + 19.3 LONG – 35.7 LAT – 0.0202Z + 1.46 GPM	0.39
2016	آگوست(Aug)	P = 1056 – 19.1 LONG + 0.4 LAT – 0.0213 Z – 0.124 GPM	0.71
2018		P = 511 + 0.12 LONG – 14.1 LAT – 0.0087 Z + 1.54 GPM	0.21
2016	سپتامبر(Sep)	P = -726 + 5.3 LONG + 12.2 LAT + 0.0025 Z + 1.10 GPM	0.22
2018		P = -411 – 20.8 LONG + 41.4 LAT + 0.006 Z + 1.16 GPM	0.24
2016	اُکتبر(Oct)	P = -629 + 10.5 LONG + 5.6 LAT + 0.0036 Z + 0.5 GPM	0.11
2018		P = 2052 – 15 LONG – 32 LAT – 0.0928 Z + 0.74 GPM	0.61
2016	نوامبر(Nov)	P = 171 + 2.4 LONG – 5.5 LAT – 0.0718 Z + 0.451 GPM	0.53
2018		P = 1312 – 18.4 LONG – 7 LAT – 0.0358 Z + 0.266 GPM	0.74
2016	دسامبر(Dec)	P = 431 – 17.4 LONG + 17.4 LAT – 0.049 Z – 0.049 GPM	0.57
2018		P = -2252 – 7.48 LONG + 7.26 LAT + 0.0164Z – 0.382GPM	0.35
2016	سالانه(Annual)	P = 9982 - 73 LONG - 143 LAT – 0.174 Z + 0.083 GPM	0.24
2018		P = 11493 – 170 LONG – 49 LAT – 0/196 Z + 0.182 GPM	0.66

جهت ارزیابی روش‌های تخمین بارش مورد بررسی از میانگین مربعات خطا، خطای اریب، میانگین مطلق درصد خطا استفاده شد. برای مقایسه بهتر روش‌های درون‌یابی با روش ترکیبی جداول شاخص خطاها نیز آورده شد.

در شکل (۲) و جدول (۳)، به ارزیابی و مقایسه روش‌های درون‌یابی وزنی عکس فاصله، کریجینگ و تصاویر ماهواره‌ای GPM و روش‌های ترکیبی Grad-GPM پرداخته شده است. با بررسی میانگین مربعات خطا چنین استنباط می‌شود، که کمترین خطای تخمین بارش در استان مورد نظر مربوط به روش Grad-GPM می‌باشد و ماهواره GPM به تنهایی نتوانسته است تخمین مناسبی داشته باشد. همچنین روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله نیز دارای خطای قابل‌توجهی بوده‌اند. استفاده از روش ترکیبی Grad-GPM باعث افزایش دقت روش‌های بکار رفته در پژوهش شده است، به طوری‌که روش Grad-GPM در سال ۲۰۱۸ (بارش سالانه) خطای روش‌های کریجینگ و وزنی عکس فاصله را به ترتیب ۲۵ درصد کاهش داده و خطای میانگین مربعات ماهواره‌ی GPM ۴۳ درصد کاهش یافته است. همچنین این روش‌ها، در سال ۲۰۱۶ خطای هرکدام از روش‌های کریجینگ و وزنی عکس فاصله را ۲۱ درصد و خطای ماهواره‌ی GPM را بیش از ۳۵ درصد کاهش داده است. بررسی خطای اریب روش‌های تخمین بارش این تحقیق نشان داد که بیش‌ترین میزان خطا را ماهواره‌ی GPM در هر دو سال داشته است، که میزان خطای آن در جدول (۳) ارایه شده است. کمترین میزان میانگین مطلق درصد خطا در بین روش‌های مورد بررسی مربوط روش Grad-GPM می‌باشد.

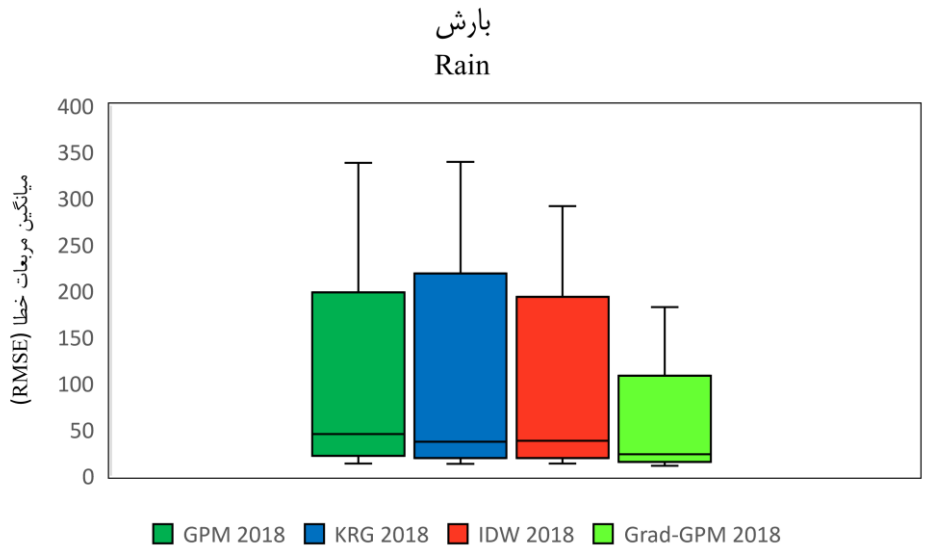
جدول ۳. مقادیر خطای اریب و میانگین مطلق درصد خطا روش‌های تخمین بارش

Table 3. MAPE and MBE values of rainfall estimation methods

Grad-GPM		GPM		کریجینگ (KRG)		وزنی عکس فاصله (IDW)		سال (Year)	ماه (Month)
MBE	MAPE	MBE	MAPE	MBE	MAPE	MBE	MAPE		
0	0.30	42.4	0.43	-6.3	0.34	-4.4	0.35	2016	ژانویه
0	0.31	54.2	0.82	-4.8	0.39	-6.6	0.4	2018	(Jan)
0	0.40	57.1	0.48	-7.3	0.38	-8.9	0.45	2016	فوریه
0	0.19	56.5	0.5	-0.7	0.25	-3.1	0.22	2018	(Feb)
0	0.19	24.1	0.25	-2.8	0.24	-3.5	0.24	2016	مارس
0	0.22	45	0.5	-2.3	0.19	-3.6	0.23	2018	(Mar)
0	0.48	27.8	1.76	-7	1	-8	0.53	2016	آوریل
0	0.64	30.7	0.88	0.4	0.95	-2.2	0.92	2018	(Apr)
0	0.70	18	1.1	-5.5	0.75	-6.3	0.76	2016	می
0	1.13	13	2.2	-0.2	1.9	0.1	2.14	2018	(May)
0	0.49	21.2	0.63	-5.3	0.53	-4.8	0.56	2016	ژوئن
0	5.7	29	1.86	-0.2	7.4	1.2	8.52	2018	(Jun)
0	0.36	31.6	1.12	-1.3	0.48	-6.1	0.42	2016	ژوئیه
0	0.47	40	0.76	-7.6	0.66	-7.8	0.57	2018	(Jan)
0	0.46	30.8	1.12	-5.1	0.87	-6.7	0.79	2016	آگوست
0	0.61	29.5	0.43	-3.2	0.89	1.3	0.94	2018	(Aug)
0	0.71	41.2	0.68	-11.8	0.87	-11.5	0.43	2016	سپتامبر
0	0.45	50.9	0.4	-7.5	0.57	-7.3	0.53	2018	(Sep)
0	0.45	56.3	0.5	-6.8	0.45	-6.5	0.51	2016	اُکتبر
0	0.46	118.9	1.13	-5.1	0.79	-4	0.96	2018	(Oct)
0	0.42	133.1	0.99	-14.4	0.44	-15.8	0.51	2016	نوامبر
0	0.28	59	0.59	-5.3	0.43	-8.1	0.42	2018	(Nov)
0	0.42	127.6	1.79	-11.6	0.58	-13.8	0.47	2016	دسامبر
0	0.33	34.3	0.63	-4.3	0.39	-5.6	0.36	2018	(Dec)
0	0.22	391.3	0.38	-22.5	0.26	-26.7	0.26	2016	سالانه
0	0.21	338/2	0.37	-45.4	0.37	-57.4	0.3	2018	(Annual)

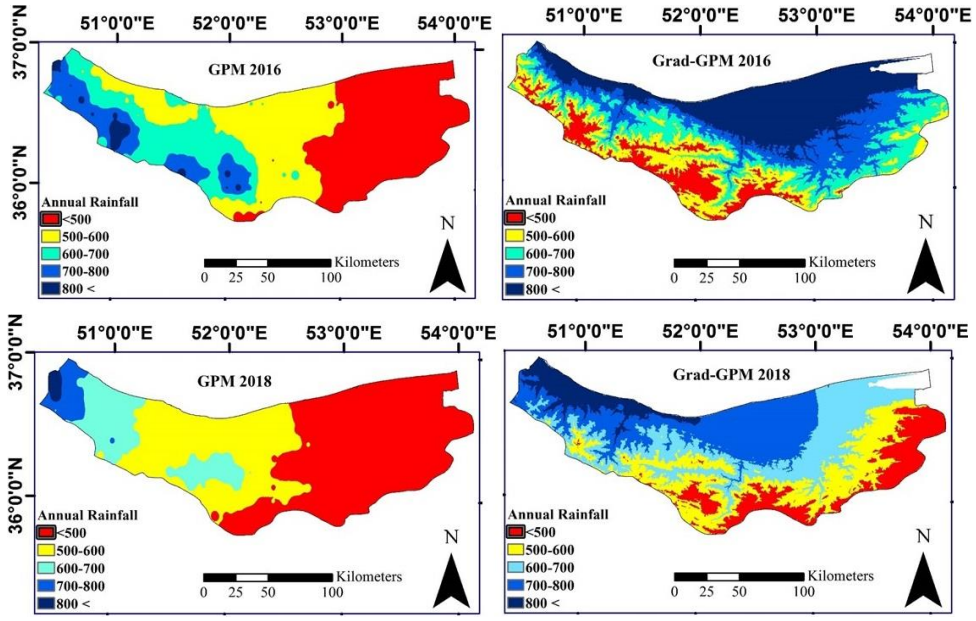
به منظور درک بهتر از نوسانات میانگین مربعات خطای روش‌های مورد بررسی، نمودار جعبه‌ای آن‌ها ترسیم شد که در شکل (۲) نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد روش Grad-GPM خطای کمتری نسبت به ماهواره‌ی GPM دارد. همچنین به خوبی کاهش خطای ماهواره توسط روش معرفی شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. به علاوه خطای روش‌های درون‌یابی تقریباً از محصولات بارش ماهواره‌ای کمی بیشتر بوده است. اما بنظر می‌رسد خطای روش اصلاح شده تقریباً کمتر از ۵۰ درصد روش‌های معمول درون‌یابی است.

نقشه‌های هم‌بارش سالانه ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ به‌منظور مقایسه و درک بهتر عملکرد روش Grad-GPM در اصلاح داده ماهواره‌ی GPM در برآورد بارش ماهانه و سالانه استان مازندران در محیط نرم افزاری Arc GIS ترسیم شد و برای تهیه نقشه Grad-GPM، از معادلات جدول شماره (۲) استفاده گردید. همچنین نقشه هم‌بارش استان با استفاده از داده‌های شبکه ماهواره‌ای GPM نیز تهیه گردید که در شکل (۳) قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای مقادیر میانگین مربعات خطا بارش

Fig2. Boxplot diagram of mean square error values of precipitation



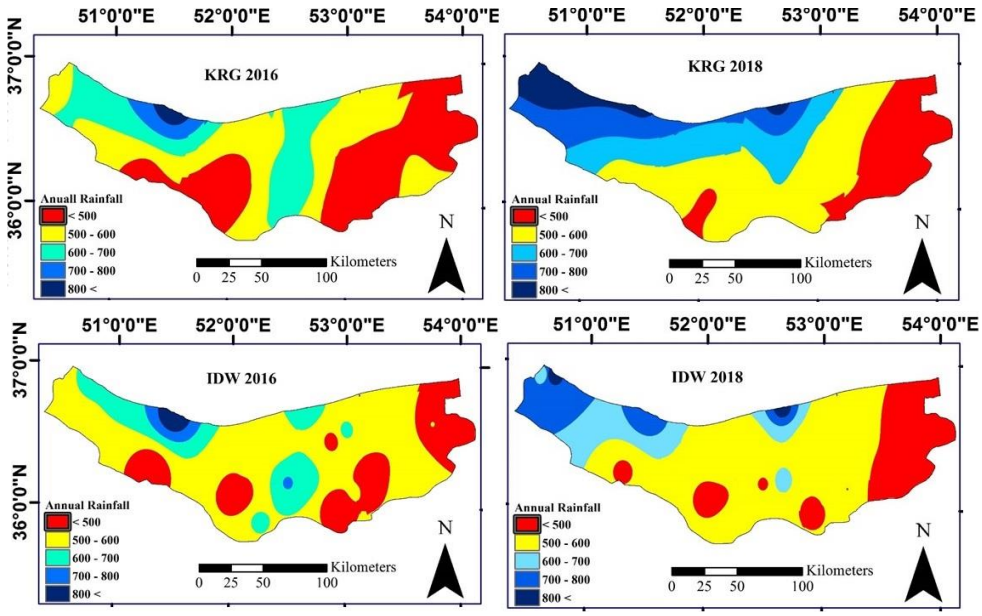
شکل ۳. نقشه هم‌بارش استان با داده‌ی شبکه و روش ترکیبی در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸

Fig3. Rainfall map of the province with network data and combined method in 2016 and 2018

نقشه توزیع مجموع بارندگی در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸ با استفاده از ماهواره‌ی GPM نشان دهنده‌ی دامنه بارندگی استان در این دو سال می‌باشد که بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر متغیر بوده است. همچنین بارش استان در غرب بیشتر بوده و هرچه به سمت شرق پیش می‌رویم از حجم بارشی استان کاسته می‌شود. از ایرادات وارد بر نقشه‌های هم‌بارش رسم شده با استفاده از ماهواره‌ی GPM، تفکیک نکردن بارش سواحل از نواحی کوهستانی استان است. از طرفی ایراد دیگر آن تغییرات بارشی استان می‌باشد که توسط این نوع ماهواره بر اساس طول جغرافیایی تفکیک شده است و در آن بارش کوهستان‌های غرب کشور را بیشتر از سواحل استان تخمین زده‌شده است. از بررسی نقشه‌های هم‌بارش حاصل از روش‌های Grad-GPM، در هر دو سال ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که از غرب به سمت شرق

استان، میزان بارش کاهش پیدا می‌کند. همچنین میزان بارش سواحل بیشتر از ارتفاعات می‌باشد، به طوری‌که بیش‌ترین بارش را در ارتفاع کمتر از ۷۰۰ متر نشان می‌دهد و با افزایش ارتفاع تا ۲۰۰۰ متر، میزان بارش کاهش پیدا می‌کنددر حالی که از ارتفاع ۲۰۰۰ متر به بالا میزان بارش روند مشخصی ندارد و بین ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر در نوسان است، که این امر نشان‌دهنده‌ی توپوگرافی پیچیده استان و اثر آب و هوای محلی بر میزان بارش استان است. علاوه بر این نقشه‌های تهیه شده توسط این روش‌ها به خوبی نشان می‌دهد که حلقه پر بارش استان از سواحل غربی تا سواحل مرکزی استان در نزدیکی فریدون‌کنار تشکیل می‌شود. همچنین شیب تغییرات بارش-ارتفاع در غرب استان بیشتر از شرق می‌باشد که دلیل آن توپوگرافی خاص غرب استان مازندران است. نقشه هم‌بارش روش Grad-GPM، بخش غربی استان را به چند بخش بارشی تفکیک کرده است. در مجموع ارزیابی دقیق نقشه‌های به دست آمده بیانگر آن است که نقشه Grad-GPM، نسبت به نقشه رسم شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای GPM از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد و میزان بارش نزولی استان را بهتر تشخیص می‌دهد.

برای درک بهتر نقش متغیرهای کمکی و دقت نقشه ترسیم شده به روش Grad-GPM نقشه هم‌بارش روش وزنی عکس فاصله و کریجینگ نیز رسم گردید. همانطور که در شکل (۴) مشخص است، با بررسی هر دو شکل می‌توان به این نتیجه رسید که این دو روش پراکندگی بارش را با توجه به اقلیم خاص و متنوع استان مازندران، به خوبی نشان نداده‌اند. نقشه هم‌بارش بدست آمده از روش کریجینگ نسبت به نقشه‌ی عکس فاصله بهتر بوده و پراکندگی بارش را در سواحل به خوبی نشان داده است. همچنین هرچه از غرب به شرق استان پیش می‌رویم میزان بارش استان کاهش می‌یابد، اما این روش، تفکیک بارشی مناسبی برای ارتفاعات استان به خصوص ارتفاعات غربی استان در نظر نگرفته است. با توجه به تحلیل نتایج و نقشه‌های ارائه شده در شکل‌های زیر، بهترین نقشه هم‌بارش مربوط به روش Grad-GPM می‌باشد، که این مسئله نیز بیانگر افزایش دقت روش‌های به کاربرده شده با استفاده از پارامتر کمکی تصویر ماهواره‌ای نسبت به سایر روش‌ها است



شکل۴. نقشه هم‌بارش استان مازندران با روش‌های درون‌یابی کریجینگ و وزنی عکس فاصله در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۸

Fig4. Map of Mazandaran province precipitation with KRG and IDW methods in 2016 and 2018

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی دقت محصولات بارش ماهواره‌ی GPM و امکان ترکیب این محصول با روش‌های درون‌یابی انجام شد. نتایج نشان داد که استفاده از متغیرهای کمکی که همبستگی معقول و قابل قبولی با داده‌های بارش داشته باشند باعث کاهش ۲۵ الی ۳۵ درصدی خطای تخمین داده‌های بارش شده و تخمین بهتری از داده‌های بارش بخصوص در مناطق سخت گذر و فاقد داده ثبت‌شده بارش دارد. تحلیل نمودار جعبه‌ای خطای روش‌های مورد بررسی نشان داد محصول بارش ماهواره GPM دارای خطای نسبتاً کمتری نسبت به روش‌های درون‌یابی می‌باشد. اما اصلاح آن‌ها با روش پیشنهادی در این تحقیق باعث بهبود بسیار خوب دقت ماهواره در تخمین بارش گردید و ترکیب آن‌ها در روش گرادیانی باعث رفع کامل خطای اریبی شده است. بررسی نقشه هم‌بارش استان با روش‌های مورد بررسی حاکی از برتری نقشه به‌دست‌آمده از روش ترکیبی است. تحلیل نقشه هم‌بارش با روش منتخب نشان داد بیشتر مناطق غربی استان، میزان بارش بیش از ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال را تجربه می‌کنند. نقشه‌های هم‌بارش نشان‌دهنده‌ی وقوع بارش کمتر در ارتفاعات شرقی نسبت به ارتفاعات غرب استان است. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، محصولات بارش ماهواره‌ای به‌تنهایی دقت مناسبی در تخمین مکانی بارش نداشته و استفاده از آن خطای اریبی زیادی به همراه دارد اما ترکیب آن‌ها با روش‌های درون‌یابی به‌عنوان یک پارامتر کمکی باعث افزایش دقت تخمین مکانی بارش و نقشه‌های هم‌بارش می‌شود. همچنین از روش ارائه شده در این تحقیق می‌توان برای اصلاح محصولات بارش ماهواره‌ای استفاده نمود.

سپاسگزاری

این تحقیق از محل طرح تحقیقاتی شماره ۰۷-۱۴۰۰-۰۲ توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدینوسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

Azizian, A. & Ramezani, H. (2019). Assessing the Accuracy of European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) Reanalysis Datasets for Estimation of Daily and Monthly Precipitation, Iranian Journal of Soil and Water Research, 50(4), 777-791. [In Persian].

Gao, F., Zhang, Y., Chen, Q., Wang, P., Yang, H., Yao, Y. & Cai, W. (2018). Comparison of two long-term and high-resolution satellite precipitation datasets in Xinjiang, China. Atmospheric Research,212 (89), 150-157.

Guo, H., Chen, S., Bao, A., Behrangi, A., Hong, Y., Ndayisaba, F. & Stepanian, P.M. (2016). Early assessment of integrated multi-satellite retrievals for global precipitation measurement over China, Atmospheric ResearchAtmos. Res, 176, 121-133.

Hou, A.Y., Kakar, R.K., Neeck, S., Azarbarzin, A.A., Kummerow, C.D., Kojima, M., Oki, R., Nakamura, K. & Iguchi, T. (2014). The global precipitation measurement mission, Bulletin of the American Meteorological Society, 95, 701-722.

Javan, KH., Rasuli, A.A., Erfanian, M. & Sari safr, B. (2017). Comparative evaluation of rainfall estimation methods in lake Urmia basin, Journal of geography and planning, 22(65), 93-100. [In Persian].

Kidd, C. and Huffman, G. (2011). Global precipitation measurement, Meteorol. Appl, 18, 334–353.

Madadi, GH., Hamzeh, S. & Noroozi, A.A. (2014). Evaluation of rainfall on a daily, monthly and annual basis using satellite imagery (case study : west boundary basin of iran), Journal of and GIS for natural, 6(2), 59-74. [In Persian].

Modaresi, F., Araghinejad, S.H., Ebrahimi, K. & Kholghi, M. (2010). Regional Assessment of Climate Change Using Statistical Tests: Case Study of Gorganroud-Gharehsou Basin, J. Water Soil, 24(3), 476-489. [In Persian].

Nadi M. & Dasti Gerdi M. (2022). Preparation of the climate map of Mazandaran province with extended Demarten method, 2nd National Conference on Environmental Changes Using Re-

mote Sensing and gis Technology, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari. [In Persian].

Nadi, M., Khalili, A., PourTahmasi, K. & Bazrafshan, J. (2013). Comparison of different climatological zoning techniques to determine the most important factors affecting the growth of Chahar Bagh area trees, Journal of Forest and Wood Products (iranian journal of natural recources), 66(1), 66-99. [In Persian].

Ning, S., Wang, J., Jin, J. & Ishidaira, H. (2016). Assessment of the latest GPMera high-resolution satellite precipitation products by comparison with observation gauge data over the Chinese Mainland, Water, 8(11), 481.

Tan, M. & Santo, H. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia, Atmospheric Research, 77, 63-76.

Worqlul, A.W., Yen, H., Collick, A.S., Tilahun, S.A., Langan, S. & Steenhuis, T.S. (2017). Evaluation of CFSR, TMPA 3B42 and ground-based rainfall data as input for hydrological models, in data-scarce regions: The upper Blue Nile Basin, Ethiopia, Catena, 152(78), 242-251.

Yousefi Kabria, A., Nadi, M. & Jamei, M. (2021). Combining interpolation methods and precipitation products of TRMM satellite to increase the accuracy of rainfall maps in Mazandaran province, Water and Soil Conservation, 28(3), 49-70. [In Persian].

Yousefi Kabria, A., Nadi, M. & Sheikh Arjanki, SH. (2019). Increasing the accuracy of monthly and annual precipitation maps using covariates in Mazandaran province. 3th Iranian National Conference on Hydrology, University of Tabriz. [In Persian].

Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Fall 2023, Vol.1, No.3, pp 15-34

10.22077/JDCR.2023.6219.1021

Investigating the Trend of Changes in the Economic Value of Water Consumed by Agricultural Crops in Khorasan Razavi Province

Shojaat Zare*[1], Seyyed Abolghasem Haghayeghi Moghaddam [2]

1. Assistant Professor of Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Center (AREEO), Mashhad, Iran.
2. Assistant Professor of Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research Center (AREEO), Mashhad, Iran.

***Corresponding Author: sh.zare@areeo.ac.ir**

Keywords:
Water economic productivity, added value, Production cost, Agricultural and horticultural products

Received:
15 Mar 2023

Revised:
14 May 2023

Accepted:
20 Jun 2023

Extended Abstract

Introduction

As a result of drought and decline in water resources, water input has become the most important input of agricultural product composition and area cultivated in Razavi Khorasan. Finding effective solutions to solve this crisis before it turns into a national disaster is not only a priority, but a national necessity. So all sectors, especially the agricultural sector, should play an effective role in solving the water crisis problem. The agricultural sector is the largest water consumer, and as a result, it is most affected by its challenges. Therefore, checking water efficiency in this sector is a prerequisite for reforming water exploitation management. In this study, the economic productivity and the economic value of water consumed by crops were compared in one year and over the years. This provided a clear picture of management solutions for policy-making and choosing the right option.

Materials and Methods

To calculate physical water productivity, the statistical yearbook of the Agriculture Organization of Khorasan Razavi province was Investigated during 2013-2016. In order to estimate the Physical Water Productivity in agricultural and horticultural crops of the province in the current situation, the average yield of crops and water consumption of each product per hectare were estimated by calculating the net irrigation requirement of plants in the province's cultivation pattern that gets from the national water docu-

How to cite this article:
Shojaat, Z., & Haghayeghi Moghaddam, A. (2023). Investigating the trend of changes in the economic value of water consumed by agricultural crops in Khorasan Razavi province. Journal of Drought and Climate change Research, 1(3), 15- 34. 10.22077/JDCR.2023.6219.1021.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

ment, and considering irrigation efficiency (54% on average in the province) and deficit irrigation (15-30%). Furthermore, the estimated physical water productivity was compared with the existing research results and confirmed to be accurate. In relation to the sale price and production costs of agricultural products, the official statistics provided in the statistical yearbook of the Ministry of Agriculture Jihad and the Iranian statistics center were analyzed. The economic water productivity used in agronomical and horticultural crops was calculated by the Irrigation Economic Water Use Index (IEWI). In order to estimate the economic value of water in crop production, the Basic Residual Method was used. The required information was also used from last 15 years of the agricultural production cost system (2006 to 2020) from the Agriculture Organization.

Results and Discussion

Comparing the changes in the economic value of water over time with the economic water productivity showed that for most crops, the economic value of water fluctuates but has a positive trend, and the economic productivity of each crop has fluctuations over many years that are influenced by effective factors on economic productivity. According to some crops have been introduced as low-consumption and some as high-consumption of water, a comparison of the economic productivity ranking of crops between 2015 and 2019 showed that products such as rice, potatoes and onions are in the top ranks and strategic crops such as wheat and barley are in the middle ranks of the table. Meanwhile, these two crops obtain part of their water requirement from rain. The average rating of economic productivity of crops during the considered years is presented in table 1.

Table 1. The average economic productivity rating of the studied crops during the years 2006 to 2020

Product	Average productivity	Rank	Product	Average productivity	Rank
Paddy rice	16.6	1	Sugar beet	3.93	10
potatoes	11.6	2	Alfalfa	3.88	11
onion	11.09	3	Wheat	3.76	12
tomato	6.89	4	Sunflower	3.62	13
cucumbers	5.33	5	Cotton	3.62	14
watermelon	5.22	6	Rapeseed	3.28	15
silage corn	5.06	7	Barley	3.13	16
seed corn	4.56	8	Red bean	3.02	17
pea	4.3	9	Lentil	2.42	18

Rice, potatoes and onions are in the first to third ranks, and barley, beans and lentils are in the last three ranks. The average economic productivity of water (gross income per cubic meter of water consumed) in the main agronomical crops of the province is currently 8840 rials per cubic meter. The economic efficiency of water in the main horticultural crops of the province in the current situation is estimated at 32500 rials per cubic meter. The reason for the higher economic water productivity in the province's horticultural crops is that nearly 60% of the province's horticultural lands are made up of saffron and pistachio. This means that the economic productivity of water in them is much higher than other crops in the province's cultivation pattern.

Conclusion

The results of the study showed that the product price, as a variable outside the control of farmers, plays an important role in changing the economic productivity index, and establishing stability in the relative price of agricultural products depends on the formation of value chains in parallel with the implementation and modification of the crop pattern that has been notified by the Agriculture Organization.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره سوم، پیاپی ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۳۴ - ۱۵

doi 10.22077/JDCR.2023.6219.1021

بررسی روند تغییرات ارزش اقتصادی آب مصرفی محصولات زراعی در استان خراسان رضوی

شجاعت زارع*[1]، سید ابوالقاسم حقایقی مقدم[2]

۱. استادیار و عضو هیات علمی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

۲. استادیار و عضو هیات علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

*نویسنده مسئول: sh.zare@areeo.ac.ir

واژه‌های کلیدی:

بهره‌وری اقتصادی آب، ارزش افزوده، هزینه تولید، محصولات زراعی و باغی

چکیده

تداوم خشکسالی‌ها و کاهش منابع آبی باعث شده تا نهاده آب به عنوان مهم‌ترین نهاده موثر بر تعیین ترکیب و میزان سطح زیر کشت محصولات کشاورزی در الگوی کشت استان خراسان رضوی مطرح باشد. در واقع بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی هر محصول زراعی، نقش محوری و تعیین کننده در ترکیب الگوی کشت دارد. از این رو در این مطالعه وضعیت بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی طی سال‌های گذشته مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز جهت برآورد این شاخص برای محصولات اصلی زراعی، از سیستم هزینه تولید محصولات زراعی طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ و جهت برآورد شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، از روش ارزش اصلی پسماند استفاده شد. به منظور محاسبه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب مصرفی کلیه محصولات زراعی و باغی نیز از آمار و اطلاعات ۴ سال زراعی ۹۶-۱۳۹۳ استفاده شد. نتایج مطالعه نشان داد که قیمت محصول به عنوان یک متغیر خارج از کنترل کشاورزان، نقش مهمی در تغییر شاخص بهره‌وری اقتصادی دارد و ایجاد ثبات در قیمت نسبی محصولات زراعی در گرو تشکیل زنجیره‌های ارزش همگام با اجرا و اصلاح الگوی کشتی می‌باشد که توسط وزارت جهاد کشاورزی ابلاغ گردیده است.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۱۲/۲۴

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۲/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۳/۳۰

مقدمه

اکنون که مسئله آب به صورت یک معضل فراگیر در سطح جهان، منطقه و کشور گسترش دارد، یافتن راهکارهای موثر برای حل این بحران قبل از آن که به فاجعه‌ای ملی بدل شود، نه تنها یک اولویت، بلکه یک ضرورت ملی است و کلیه بخش‌ها، به‌ویژه بخش کشاورزی، می‌بایست نقشی موثر در راستای حل معضل بحران آب داشته باشند. زیرا بخش کشاورزی بیشترین مصرف‌کننده آب است و در نتیجه بیشترین تاثیرپذیری از چالش آن را دارد و از طرفی راهکارهای رفع بحران در این بخش امکان‌پذیرتر، اقتصادی‌تر و آسان‌تر است و با زمینه پذیرش بیشتر از سوی ذی‌نفعان روبروست و هر گونه صرفه‌جوئی آب در این بخش می‌تواند منجر به توسعه سایر بخش‌های اقتصادی شود. اهمیت آب در تولید محصولات کشاورزی به حدی است که می توان آن را جزء یکی از عوامل اصلی وجود خلاء بین عملکرد واقعی و پتانسیل تولید محصولات دانست بطوری که وجود شبکه‌های مدرن آبیاری به دلیل مدیریت دقیق تر منابع آبی منجر به کاهش خلاء تولید محصولات شده است(Youssef gomrokchi, 2021). همچنین نتایج شبیه‌سازی بلندمدت در ۱۰ شهرستان استان خراسان رضوی نشان داد عملکرد واقعی تولید چغندر قند (۳۳/۵ تن در هکتار) تنها یک‌سوم عملکرد قابل دستیابی (۹۷/۳ تن در هکتار) در مناطق مورد بررسی بوده که ۴۸ درصد از این خلاء عملکرد به‌دلیل محدودیت آب است. نداشتن مدیریت صحیح آبیاری، باوجود مصرف بالای آب در برخی از شهرستان‌ها موجب کاهش بهره‌وری مصرف آب و وقوع تنش خشکی در طول فصل رشد گردید(Mohammadi et al., 2019). بنابراین بالا بودن شکاف بین وضعیت موجود و وضعیت پتانسیل نشان از نقاط ضعف قابل توجه در مدیریت تولید کشاورزی و مدیریت آبیاری دارد. این شکاف همچنین نشان می‌دهد که فرصت‌های بالقوه‌ای برای ارتقای بهره‌وری آب و کاهش فشار به منابع آب و افزایش امنیت غذایی وجود دارد. در استان قزوین. متوسط شاخص بهره‌وری نسبی آب (نسبت بهره‌وری فعلی به بهره‌وری پتانسیل) نیز برای گندم، جو و ذرت به‌ترتیب ۰/۳۷، ۰/۵۴ و ۰/۳۹ درصد برآوردگردید. (Jenab and Nazari, 2017). افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی در اغلب مناطق از حد نصاب و مجاز گذشته و هزینه‌های نهایی تامین آب اضافی از منابع سطحی شتابی فزاینده پیدا کرده‌است. لذا حرکت برای ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای آب تنها با تکیه بر بعد مدیریت عرضه و تکیه بر تاسیسات جدید و جنبه‌های سخت افزاری فناوری نمی‌تواند مشکلات را تخفیف داده یا از عهده آنها برآید. از طرفی بر اساس آخرین آمار منتشر شده، سهم اراضی آبی در تولید غلات در کشور حدود ۷۷ درصد و در تولید تمام محصولات زراعی و همچنین باغی حدود ۹۳ درصد می‌باشد(Agriculture Organization, 2022). محدودیت‌های کمی و کیفی آب، محدودیت توسعه اراضی دیم کاری و مشکلات مالی توسعه منابع آب، باعث شده تا راهبرد اساسی و مشخص حل بحران آب کشور، صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها است. شاخص بهره‌وری آب در حدود ۱/۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب آب برآورد می‌شود(Abbasi et al., 2017; Abbasi et al., 2017) و لازم است در سال‌های آینده حداقل با نرخ رشد متوسط ۱/۵ درصد در سال ارتقا پیدا کند. نظر به اهمیت این شاخص، مطالعات زیادی نیز در زمینه برآورد و راهکارهای افزایش آن انجام شده است. کشاورز و دهقانی سن ایچ (Keshavarz and Dehghani Sanij, 2012) با بررسی میزان بهره ور آب کشاورزی در کشوربه این نتیجه رسیدند که میزان این شاخص در کشور در حدود ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای مترمکعب مصرف آب برآورد می‌شود و با برنامه‌ریزی بلندمدت باید تا سال ۱۴۰۴ به مقدار حداقل ۲ کیلوگرم در مترمکعب افزایش یابد. حیدری (Heidari, 2012) در تحقیق خود متوسط بهره‌وری مصرف آب در مناطق کرمان، همدان، مغان، گلستان و خوزستان برای محصولات گندم، چغندرقند، سیب‌زمینی، ذرت علوفه‌ای، پنبه، یونجه، جو، نخود آبی و نیشکر به ترتیب ۰/۷۳، ۴/۵۶، ۲/۱۸، ۵/۵۸، ۰/۷۱، ۱/۴۶، ۰/۵۶، ۰/۱۸، ۲/۹۴ کیلوگرم در مترمکعب آب برآورد. زوارت و بستیانسین (Zwart and

Bastiaanssen, 2004) با مطالعه ۸۴ منبع تحقیقاتی در سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۷۹ میلادی در سطح جهان نشان دادند که متوسط شاخص بهره‌وری آب محصولات گندم، برنج، پنبه (دانه)، پنبه (تولید وش) و ذرت به ترتیب ۱/۰۹، ۱/۰۹، ۰/۶۵، ۰/۲۳ و ۱/۸ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی بوده است. ایبراگیموو (Ibragi-mov et al., 2007) طی تحقیقی ۳ ساله نشان داد که با کاربرد روش آبیاری قطره‌ای نسبت به روش آبیاری شیاری، بهره‌وری مصرف آب ۱۰۳-۳۵ درصد افزایش یافته است. غلامی و همکاران (Gholami et al. 2016) با مقایسه بهره‌وری آب آبیاری در سیستم‌های آبیاری بارانی و سطحی در دشت قزوین، حداقل و حداکثر بهره‌وری اقتصادی آب در آبیاری سطحی به‌ترتیب برابر ۳۸۲ و ۵۰۵۰ و در آبیاری بارانی به‌ترتیب برابر ۶۷۳ و ۵۴۲۰ ریال بر مترمکعب برآورد کردند. باغانی و همکاران (Baghani et al.,2018) با بررسی نتایج تبدیل آبیاری سطحی به قطره‌ای در دو مطالعه در استان خراسان نشان دادند که در مطالعه اول در کشت‌های تابستانه، میانگین آب مصرفی بین ۳۴ تا ۴۹ درصد و در مطالعه دوم، آب مصرفی کلیه محصولات الگوی کشت به جز ذرت علوفه‌ای، بین ۲۲ تا ۵۲ درصد و به طورکلی با تغییر روش آبیاری، مقدار آب مصرفی کل کشت‌ها در واحد سطح، ۲۷/۵ درصد کاهش یافته است. حقایقی (Haghayeghi, 2019) با تکمیل پرسشنامه و بررسی ۲۰۵ چاه در دشت نیشابور، میانگین شاخص بهره‌وری مصرف آب برای گیاهان الگوی کشت این دشت را برابر با ۰/۹۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد کرد. مقایسه بهره‌وری اقتصادی آب نشان داد که کشت زعفران در نیشابور با ۸۶۲۳ ریال سود خالص به ازای هر متر مکعب آب مصرفی بالاترین بهره‌وری اقتصادی و زراعت گوجه‌فرنگی نیز با وجود مصرف آب زیاد از بهره‌وری اقتصادی آب بالا (۲۴۶۱ ریال بر متر مکعب) برخوردار بود؛ در حالی که آب زیرزمینی در دشت نیشابور بسته به زمان و مکان به طور میانگین مبلغ ۸۳۰ ریال خرید و فروش شده بود. وفابخش و همکاران (et al., 2016 vafabakhsh) با انجام مصاحبه با بهره‌برداران و تکمیل پرسشنامه، و همچنین برخی اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای (شامل اندازه‌گیری دبی و شوری آب) در ۴۱۷ حلقه چاه در سه دشت مهم استان خراسان رضوی شامل: دشت‌های مشهد-چناران، فریمان- تربت‌جام و فیض‌آباد- مه‌ولات، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب را ۳۶/۱ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آوردند. در بین محصولات مورد مطالعه، زعفران و پسته بالاترین بهره‌وری اقتصادی آب را به خود اختصاص دادند. برخی صاحب نظران معتقدند که آب یک کالای اقتصادی معمولی نیست بلکه یک کالای سیاسی اقتصادی پیچیده بوده و خصوصیاتی دارد که باعث می‌شود تئوری‌های اقتصادی درباره آب به راحتی قابل استفاده نباشد. (Grimble, 1999). در واقع مدیریت منابع آب بیشتر به دنبال افزایش بازده فیزیکی آب است، در حالی که افزایش بهره‌وری اقتصادی یک مفهوم گسترده تر بوده و به دنبال آن است که از طریق اقدامات فیزیکی و مدیریتی بالاترین ارزش اقتصادی مصرف آب به دست آید بدیهی است که رابطه بین کارایی فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی همیشه واضح نبوده و هر کدام از آنها ما را به سیاستهای متفاوتی هدایت می‌کند(Cai et al., 2003). کارایی اقتصادی در واقع برنامه کنترل منابع آبی و ابزار تحقق اهداف زیست محیطی بوده و کاراتر از کارایی هزینه است. (Bajčetić et al., 2016). براساس گزارش بانک جهانی در سال ۲۰۰۶ میانگین بهره‌وری آب در بخش کشاورزی ایران ۰/۲ دلار به ازای هر مترمکعب آب بوده که نسبت به میانگین جهانی آن اختلاف معنی‌دار و با کشورهایی مانند فرانسه که بهره وری آب در بخش کشاورزی آن ۸/۸ دلار به‌ازای هر مترمکعب آب می‌باشد، اختلاف بسیار زیادی دارد(World Bank, 2006). توجه به اثرات زیست محیطی همراه با افزایش بهره‌وری اقتصادی آب می‌توانند با استفاده از مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی شده و میزان تخصیص و تجارت آن را مشخص سازد. بطور مثال با شبیه‌سازی جریان برداشت آب از رودخانه چوشویی در تایوان، بهره‌وری اقتصادی استفاده از آب رودخانه حداکثر شد(Hung et al., 2014). فان و همکاران (Fan et al., 2018) با استفاده از بانک اطلاعات ملی آمریکا و یک مدل رگرسیونی، تاثیر هزینه آب و سایر عوامل غیراقتصادی بر تصمیم کشاورزان در

تخصیص زمین به کشت محصولات ذرت و سویا را بررسی کردند. نشان مطالعه نشان داد که تغییر هزینه برداشت آب‌های سطحی تاثیری بر میزان آب مصرفی ندارد اما تغییر زیاد هزینه آب زیرزمینی تاثیر منفی بر میزان آب استفاده شده در سویا دارد. فان و همکاران (Fan et al., 2014) به منظور کاهش مصرف آب و افزایش درآمد کشاورزان، کارایی زراعی و اقتصادی آب مصرفی هشت محصول زراعی در شمال غرب چین را با نمونه‌گیری از خانوارهای روستایی و تکمیل پرسشنامه بررسی و مقایسه کردند. نتایج مطالعه نشان داد با وجودی که کارایی فیزیکی آب مصرفی در برخی محصولات بالاتر است اما کارایی اقتصادی آنها کمتر بوده، لذا حذف آنها از ترکیب کشت بطور معناداری میانگین درآمد خانوارها را افزایش می‌داد. زمانی و همکاران (zamani et al., 2014) با بررسی بهره‌وری اقتصادی محصولات زراعی در دشت بهار استان همدان در سال زراعی ۸۸-۸۹ نشان دادند که بهره‌وری اقتصادی در محصولات زراعی (به استثنای خیار) در روش‌های نوین بیش از سنتی می باشد. محمدپور هنگروانی و ارسلان بد (Mohammadpour Hangarvani and Arsalanbod, 2014) با بررسی بهره‌وری اقتصادی و فیزیکی محصولات زراعی در شهرستان ارومیه نشان دادند که محصول آفتابگردان با ۴۲۷/۳۴ و محصول گندم با ۶۴/۲۴ تومان بر مترمکعب به ترتیب بیشترین و کمترین بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی را داشتند. قدمی فیروز آبادی و سیدان (Ghadami Firouzabadi and Seyedan, 2019) با بررسی بهره‌وری فنی و اقتصادی استفاده از آب در آبیاری محصول یونجه در۱۶ مزرعه در شهرستان همدان نشان دادند که سامانه آبیاری بارانی با کاهش ۳۷ درصدی در آب مصرفی باعث افزایش ۶۹ درصدی در بهره‌وری مصرف آب شده است. تحلیل اقتصادی نتایج نشان داد که نسبت منفعت به هزینه در سامانه آبیاری بارانی در شرایط کمک های بلاعوض دولت و بدون کمک های دولتی به‌ترتیب ۳/۸ و ۳/۲ است. کریمی و جلینی (Karimi and Jolaini, 2016) با بررسی شاخص های بهره‌وری آب در دشت مشهد نشان دادند، کشت‌هایی با مصرف آب بالا و بازده اقتصادی پائین مانند یونجه بایستی از الگوی کشت حذف شده تا ضمن کاهش مصرف آب، منافع اقتصادی کشاورزان و بهره‌برداران کشاورزی تامین گردد. زارع (Zare, 2018) با بررسی تأثیر سیاست کاهش برداشت آب در استان خراسان رضوی بر تعادل بخشی آبهای زیرزمینی نشان داد که این سیاست اگرچه می‌تواند باعث ایجاد تعادل برداشت آب گردد و مصرف انرژی را تا ۲۵ درصد کاهش دهد، اما موجب کاهش تولید محصولات مهمی مانند گندم و افزایش هزینه‌های اجتماعی بخصوص کاهش درآمدکشاورزان و افزایش واردات می‌شود.

بررسی منابع نشان داد که مقایسه بهره‌وری فیزیکی بین محصولات مختلف به دلیل اینکه میزان عملکرد محصولات با هم تفاوت زیادی داشته و این محصولات هم جنس نیستند صحیح نبوده و تنها میتوان هر محصول را با خودش و جهت بررسی تغییر در طی زمان و یا جهت بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر آن مانند روش کاشت و یا اقدامات به زراعی مقایسه نمود بنابراین جهت مقایسه هر محصول با محصولات دیگر، لازم است با یک پارامتر ارزشی مانند ارزش تولید و یا انرژی حاصله هم جنس شده و با هم مقایسه شوند. از طرفی تخصیص آب به محصولات تابع هزینه آب و ارزش اقتصادی آن می باشد از این رو در این مطالعه بهره‌وری اقتصادی و ارزش اقتصادی آب مصرفی محصولات با هم در یک سال و طی سالها و همچنین روند تغییر بهره‌وری مقایسه شد تا مشخص شود روند تغییر بهره‌وری چگونه بوده و کدام محصولات بهره‌وری اقتصادی بالاتری داشته‌اند تا تصویر روشنی از راهکارهای مدیریتی برای سیاست‌گزاری و انتخاب گزینه مناسب ارائه شود.

مواد و روش‌ها

به منظور محاسبه بهره‌وری فیزیکی آب از آمار و اطلاعات ۴ سال زراعی ۹۶-۱۳۹۳ سالنامه آماری سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی استفاده شد. برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب در محصولات زراعی و باغی استان در وضع موجود، میانگین عملکرد محصولات (صورت کسر بهره‌وری آب) و برای آب مصرفی هر محصول در واحد هکتار (مخرج کسر بهره‌وری آب)، از اعداد نیاز خالص آبیاری گیاهان الگوی

کشت استان در سند ملی آب استفاده شده و با در نظر گرفتن بازده آبیاری (میانگین ۵۴ درصد در استان) و میزان کم‌آبیاری (۱۵-۳۰ درصد) برآوردها انجام شد. همچنین اعداد برآورد شده آب با اعداد تحقیقاتی موجود سنجیده شده و صحت آنها مورد تایید قرار گرفته است(Baghani et al., 2018; vafabakhsh et al., 2016; Haghayeghi, 2019). در رابطه با قیمت فروش و هزینه‌های تولید محصولات کشاورزی از آمار رسمی ارائه شده در سالنامه آماری وزارت جهاد کشاورزی و مرکز آمار ایران استفاده گردید. با توجه به اینکه بهره‌وری اقتصادی آب می‌تواند هم تحت تاثیر آبیاری باشد و هم تحت تاثیر عوامل موثر بر ارزش تولید مانند عملکرد، قیمت و هزینه تولید، بر این اساس دالتون و همکاران (Dalton et al., 2001) چهار شاخص مقایسه اقتصادی را تعریف کردند:

۱- شاخص ارزش اقتصادی تولید آب مصرف شده (GPEWI[1]) این شاخص ارزش تولید به ازای کل آب مصرفی را نشان می دهد.

۲- شاخص اقتصادی آب استفاده شده در آبیاری (IEWI[2]) بیانگر ارزش تولید آب آبیاری استفاده شده است.

۳- شاخص اقتصادی آب استفاده شده در آبیاری نهایی (MIEWI[3]) بیانگر ارزش تولید آب استفاده شده با توجه به آبیاری است

۴- شاخص اقتصادی آب استفاده شده محصول (CEWI[4]) بیانگر ارزش تولید محصول به ازای میزان تبخیر و تعرق است.

در صورتی که به جای ارزش، از مقدار فیزیکی تولید در هر یک از چهار شاخص اخیر استفاده شود، شاخص‌های زراعی کارایی آب بدست خواهد آمد. از دید اقتصادی میزان بهینه مصرف آب جایی است که ارزش نهایی هر واحد آب با قیمت آن برابر شود. در این مطالعه بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در محصولات زراعی و باغی با استفاده از شاخص IEWI محاسبه گردید. این شاخص به دو شکل درآمد و سود محاسبه شد.

رابطه (۱) درآمد و رابطه (۲) سود هر مترمکعب آب آبیاری را نشان می‌دهد:

$$IEWIb = TR/Twi \quad (۱)$$

$$IEWIp = \pi/TWi \quad (۲)$$

TR ، کل درآمد حاصل از کشت یک محصول زراعی یا باغی، TWi کل آب آبیاری و π سود یا درآمد خالص هر محصول می‌باشد.

بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در محصولات زراعی و باغی استان در وضع موجود (سال پایه ۱۳۹۶) بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و ریال بر متر مکعب برآورد گردید.

به منظور برآورد ارزش اقتصادی آب در تولید محصولات زراعی از روش اصلی پسماند[5] (رابطه ۳) استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز نیز از اطلاعات ۱۵ سال اخیر سیستم هزینه تولید محصولات کشاورزی (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹) وزارت جهاد کشاورزی استفاده شد.

$$(P_W.X_W) = (Y.P_Y) - [(P_M.X_M) + (P_H.X_H) + (P_K.X_K) + (P_L.X_L)] \quad (۳)$$

در این رابطه X میزان نهاده، P قیمت نهاده یا ستاده و Y مقدار تولید است. اندیس (m)مواد و تجهیزات مصرفی، (h) نهاده نیروی انسانی ، (k) سرمایه، (l سایر منابع طبیعی مانند زمین و) (w جز باقی مانده که آب می‌باشد. قسمت اول رابطه، ($P_W.X_W$)، ارزش اقتصادی آب مصرفی می‌باشد(Ministry of energy, 2015). این شاخص بیانگر میزان ارزش حاصل از مصرف آب در تولید محصولات مورد نظر می باشد و نشان میدهد آب مصرفی به چه میزان درآمد خالص ایجاد کرده است.

به منظور محاسبه بهره‌وری اقتصادی هر واحد هزینه آب (بهره‌وری جزیی) از رابطه ارزش افزوده استفاده شد (رابطه ۴).

$$PR_W=(P_W.X_W)/C_W \quad (۴)$$

در این رابطه PR_W بهره‌وری اقتصادی هر واحد هزینه و C_W هزینه آب می‌باشد. این شاخص نشان می‌دهد به ازای هر واحد (ریال) هزینه آب چه میزان درآمد حاصل می‌شود این نسبت اکر کمتر از یک باشد نشان دهنده آن است که استفاده از آب

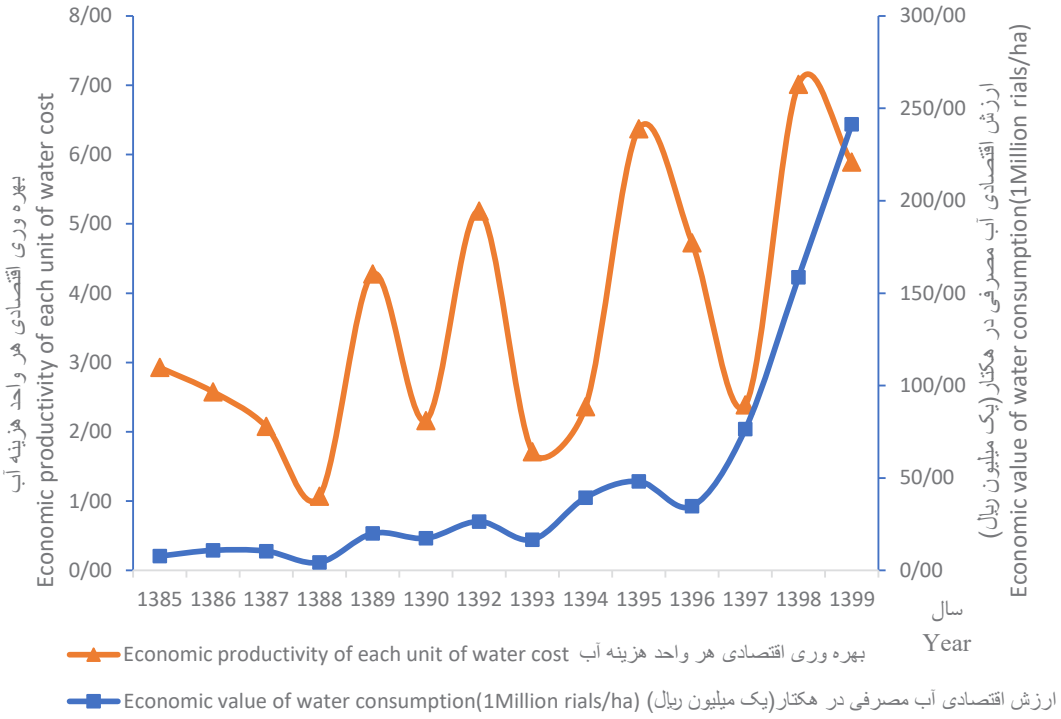
[1] Gross Production Economic Water Use Index
[2] Irrigation Economic Water Use Index
[3] Marginal Irrigation Economic Water Use Index
[4] Crop Economic Water Use Index

[5] The Basic Residual Method

در فعالیت مذکور(تولید محصول زراعی) فاقد توجیه اقتصادی است. مقایسه این شاخص در دو محصول یا فعالیت مختلف نشان خواهد داد که کدام فعالیت از نظر اقتصادی ارجحیت دارد. این شاخص فاقد واحد می‌باشد. آمار و اطلاعات سیستم هزینه تولید سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی شامل محصولات مهم زراعی است که از طریق نمونه گیری هر ساله تهیه می‌شود. اساس این نمونه گیری بر انتخاب بهره‌بردار و تکمیل پرسشنامه از هزینه تولید کلیه محصولاتی است که کشت کرده است. از این رو برخی محصولات در برخی سالها ممکن است فاقد نمونه باشند. همچنین اطلاعات هزینه تولید محصولات زراعی استان در سال ۱۳۹۱ از سوی وزارت جهاد کشاورزی جمع آوری نشده بنابراین فاقد اطلاعات می‌باشد.

نتایج و بحث

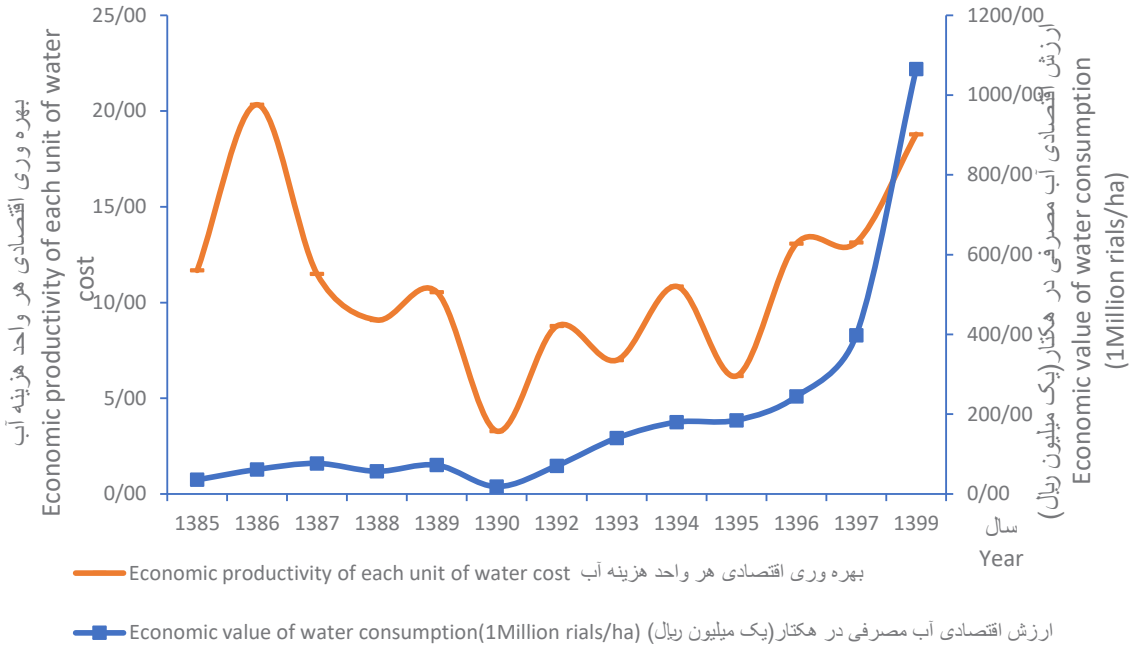
با توجه به تعدد محصولات، نتایج چند محصول منتخب بصورت مبسوط ارائه و برای سایر محصولات خلاصه آن نشان داده خواهد شد. شکل (۱) وضعیت این شاخص ها را در کشت پنبه آبی نشان می‌دهد. ارزش اقتصادی آب برای این محصول نوسان کمی داشته و روند مثبتی دارد اما بهره‌وری اقتصادی آب برای پنبه دارای حرکت سینوسی اما مثبت است. در اینجا نیز برآیند عوامل موثر منجر به این وضعیت شده است. بطور مثال در سال ۱۳۹۸ نسبت به سال ۱۳۹۷ قیمت و عملکرد افزایش و هزینه ها کاهشی شده است که نتیجه آن افزایش قابل ملاحظه ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب در کشت پنبه بوده است اما در سال بعد علیرغم افزایش قیمت به بیش از ۷۰ درصد، به علت کاهش عملکرد و افزایش هزینه تولید و هزینه آب، اگر چه ارزش اقتصادی آب افزایش یافته اما شاخص بهره‌وری آب کاهش یافته است.



شکل ۱. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در کشت پنبه طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹

Fig 1. Economic value and economic productivity of water used in cotton cultivation during 2006 to 2020

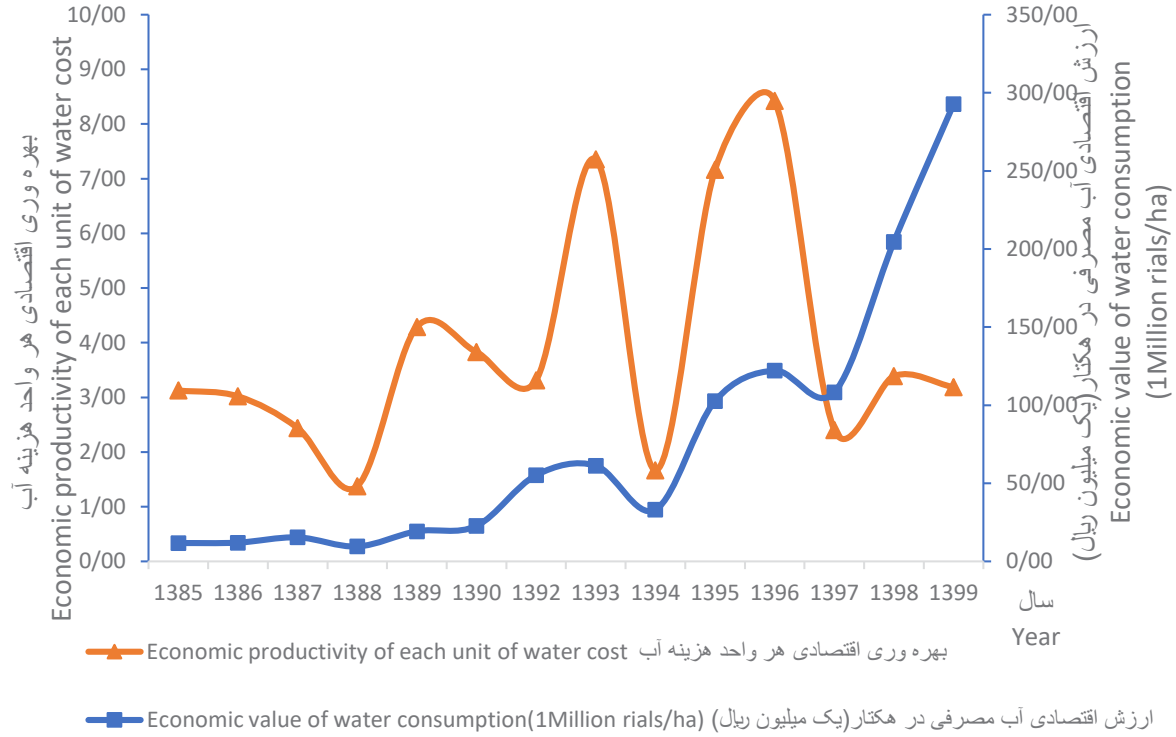
شکل (۲) وضعیت این شاخص ها را در کشت پیاز نشان می‌دهد. ارزش اقتصادی آب مصرفی تا سال ۱۳۹۶ دارای نوسان کم بوده و بعد از آن صعودی می‌شود اما بهره‌وری اقتصادی آب دارای نوسان نسبتا زیادی است که تحت تاثیر عوامل تاثیر گذار بر آن قرار دارد.



شکل ۲. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در کشت پیاز طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹

Fig 2. Economic value and economic productivity of water used in onion cultivation during 2006 to 2020

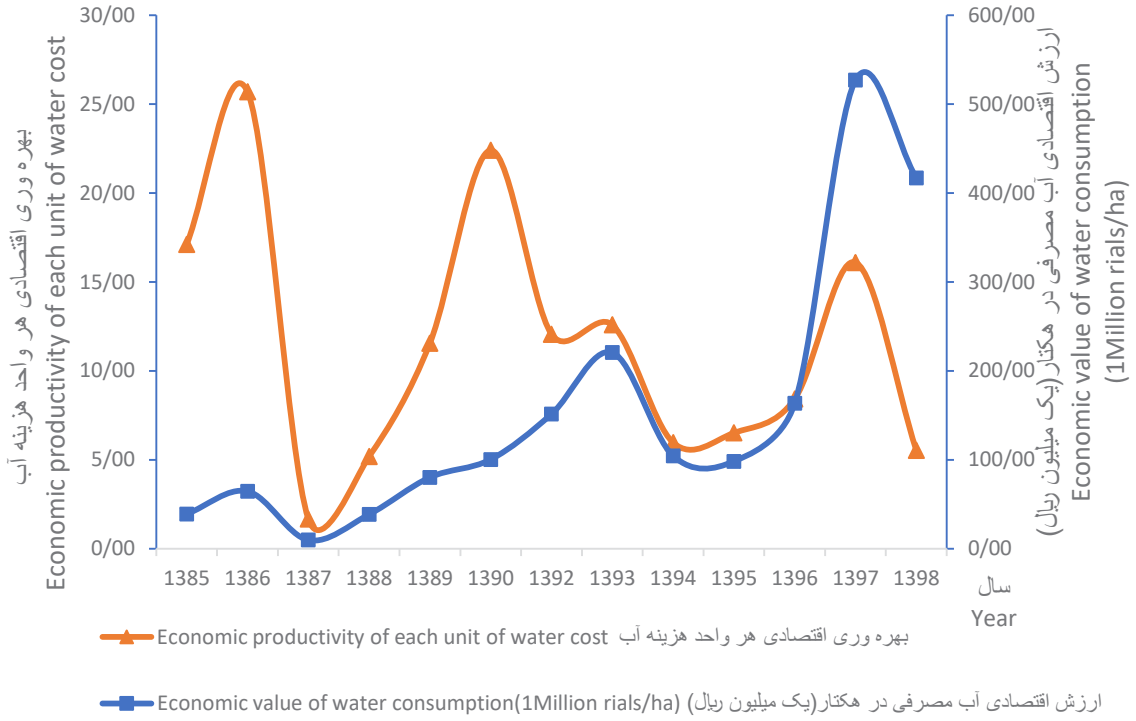
شکل (۳) وضعیت شاخص های اقتصادی را در کشت چغندر قند نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود اگر چه شاخص ارزش اقتصادی آب مصرفی و بهره‌وری اقتصادی آب هر دو دارای نوسان است اما ارزش اقتصادی آب مصرفی روند صعودی دارد بخصوص از سال ۱۳۹۵ که افزایش عملکرد در هکتار چغندر قند. قابل توجه و پایدار شده است. اما شاخص بهره‌وری اقتصادی آب علیرغم افزایش عملکرد دوباره کاهش یافته و معادل سال‌های ۱۳۸۵ شده است که بیانگر افزایش هزینه ها و بخصوص هزینه آب است.



شکل ۳. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در کشت چغندر طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹

Fig 3. Economic value and economic productivity of water used in sugar beet cultivation during 2006 to 2020

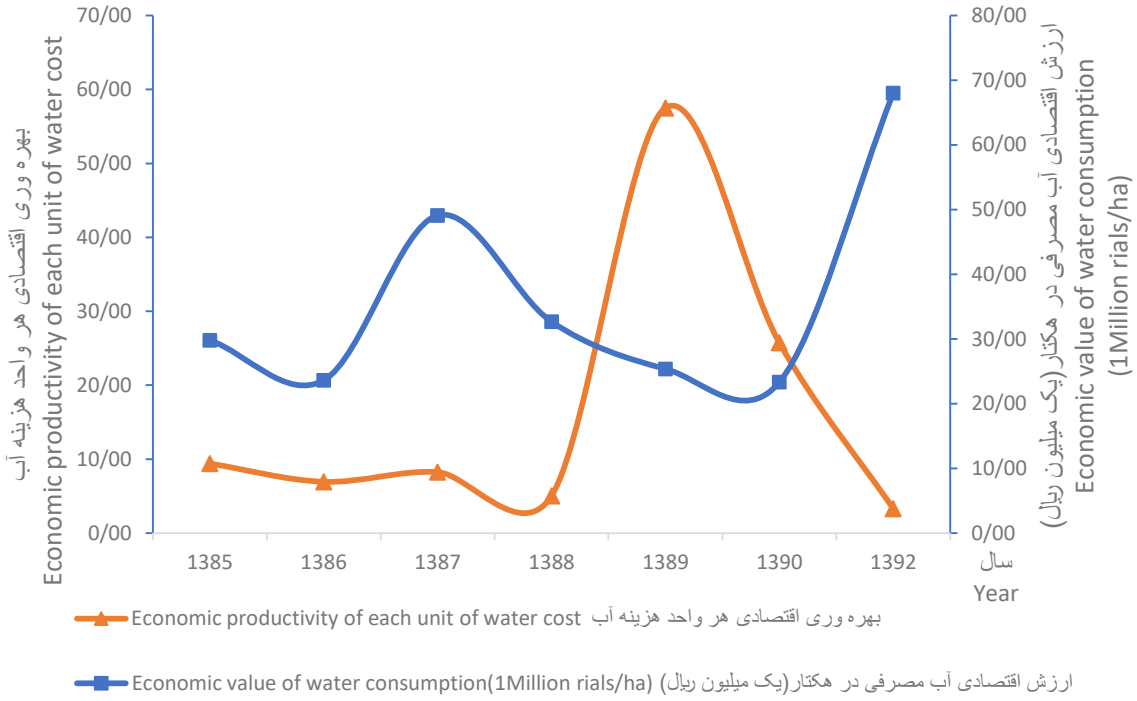
شکل (۴) وضعیت شاخص‌های اقتصادی در کشت سیب زمینی را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می شود علیرغم نوسان زیاد این دو شاخص، روند تغییرات شاخص بهره‌وری اقتصادی آب و ارزش اقتصادی آب تقریبا همسو بوده است.



شکل ۴. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در سیب زمینی طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۸

Fig 4. Economic value and economic productivity of water used in potato cultivation during 2006 to 2019

شکل(۵) وضعیت شاخص های اقتصادی در کشت شلتوک را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود ارزش اقتصادی آب در طی سالها دارای نوسان بوده که تحت تاثیر عوامل موثر بر آن و بخصوص عملکرد و قیمت برنج قرار داشته است اما شاخص بهره‌وری اقتصادی آب به استثنای سال‌های ۸۹ و ۹۰ که شاخص بهره‌وری اقتصادی آب عدد بالایی است در بقیه سالها به طور نسبی بسیار کم بوده و دارای نوسان کمی است.

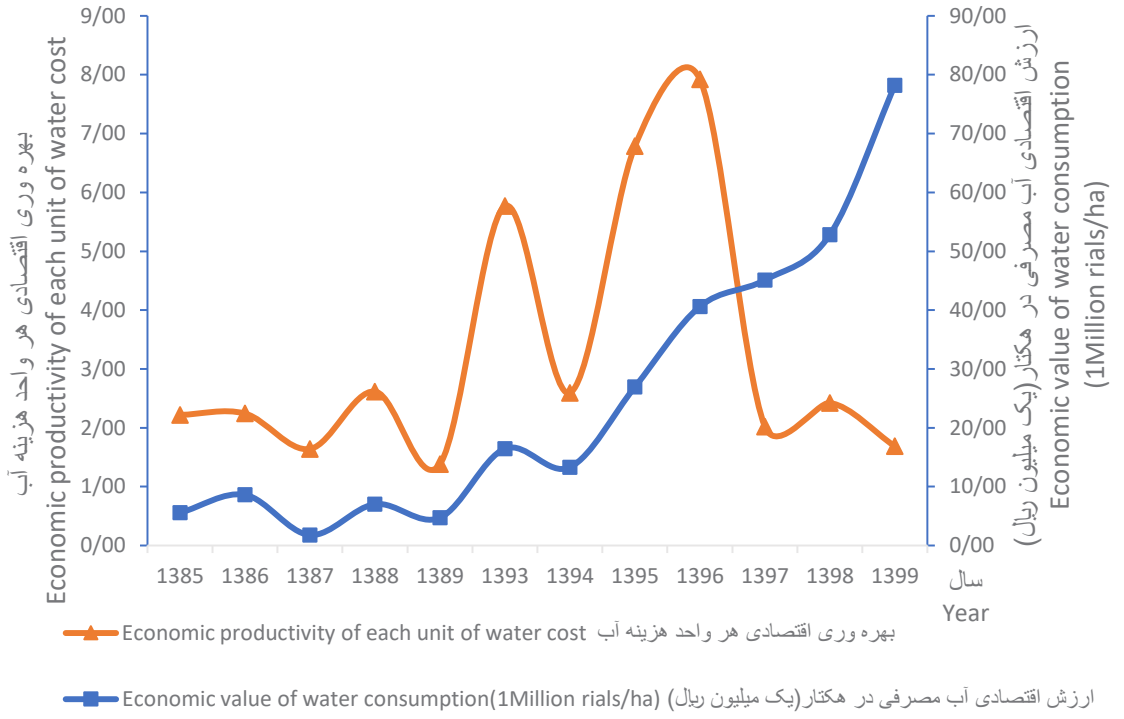


شکل ۵. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در شلتوک طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲

Fig 5. Economic value and economic productivity of water used in paddy rice cultivation during 2006 to 2013

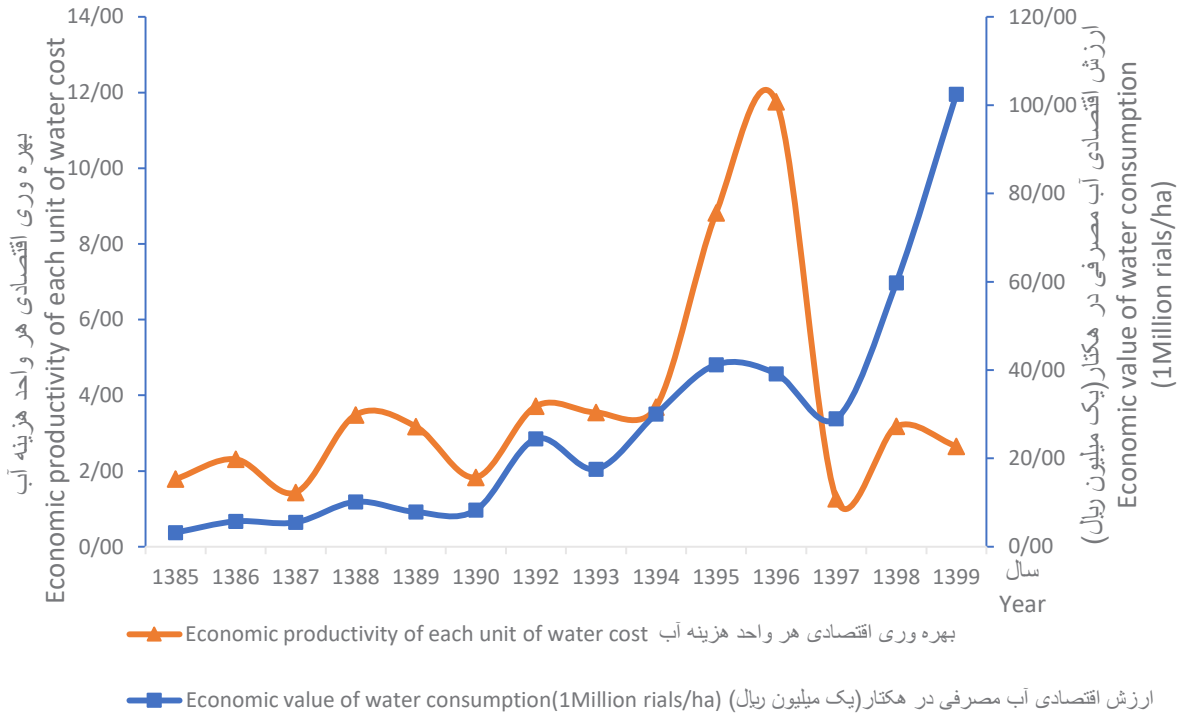
شکل (۶) وضعیت شاخص های اقتصادی در کشت کلزا را نشان می‌دهد. شاخص بهره‌وری اقتصادی آب و ارزش اقتصادی آب نیز تا سال ۱۳۹۶ همسو بوده است. شاخص بهره‌وری اقتصادی آب دارای نوسان و از سال ۱۳۹۶ نزولی و ارزش اقتصادی آب با نوسان کم و افزایشی بوده است. این تغییرات ناشی از تغییر عوامل دخیل در آن مانند قیمت محصول، هزینه تولید و عملکرد در هکتار بوده است.

شکل (۷) وضعیت شاخص های اقتصادی در کشت گندم را نشان می‌دهد. اگر چه شاخص بهره‌وری اقتصادی آب، با ارزش اقتصادی آب همسو است، اما شاخص بهره‌وری اقتصادی آب به استثنای سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، در بقیه سالها کم و دارای نوسان می‌باشد. ارزش اقتصادی آب نیز با نوسان کم و افزایشی است.



شکل ۶. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در کلزا طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹

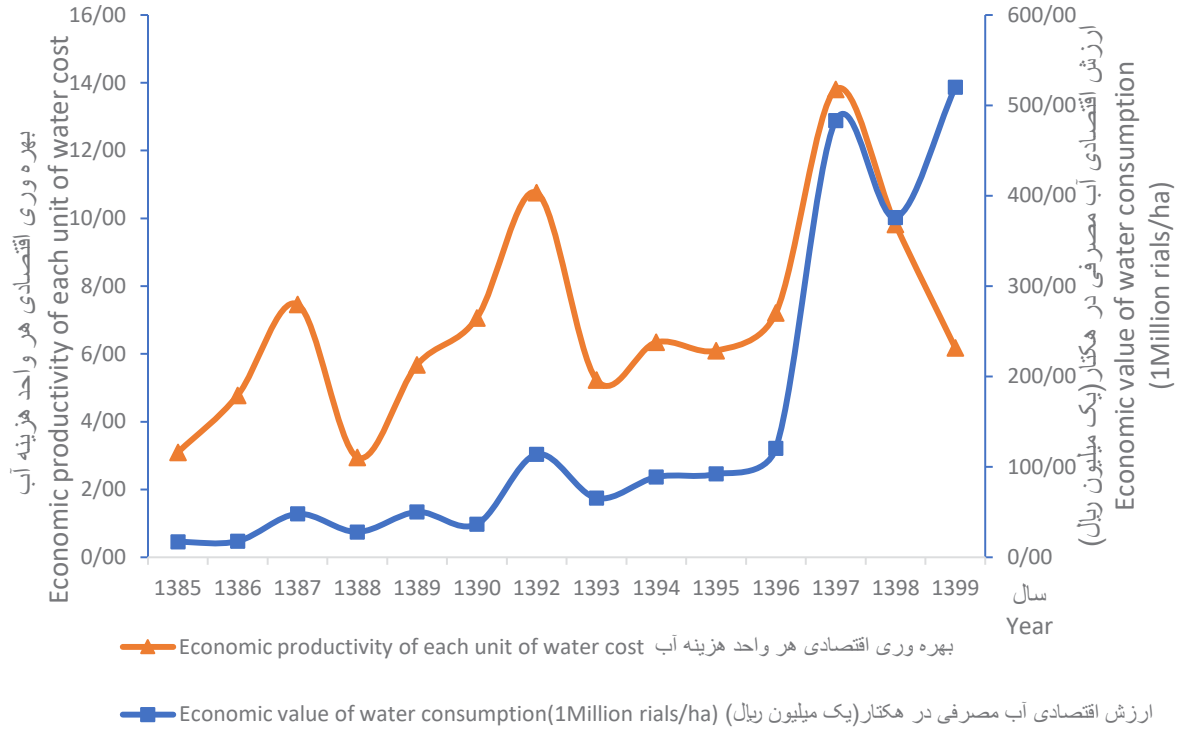
Fig 6. Economic value and economic productivity of water used in canola cultivation during 2006 to 2020



شکل ۷. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در گندم طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹

Fig 7. Economic value and economic productivity of water used in wheat cultivation during 2006 to 2020

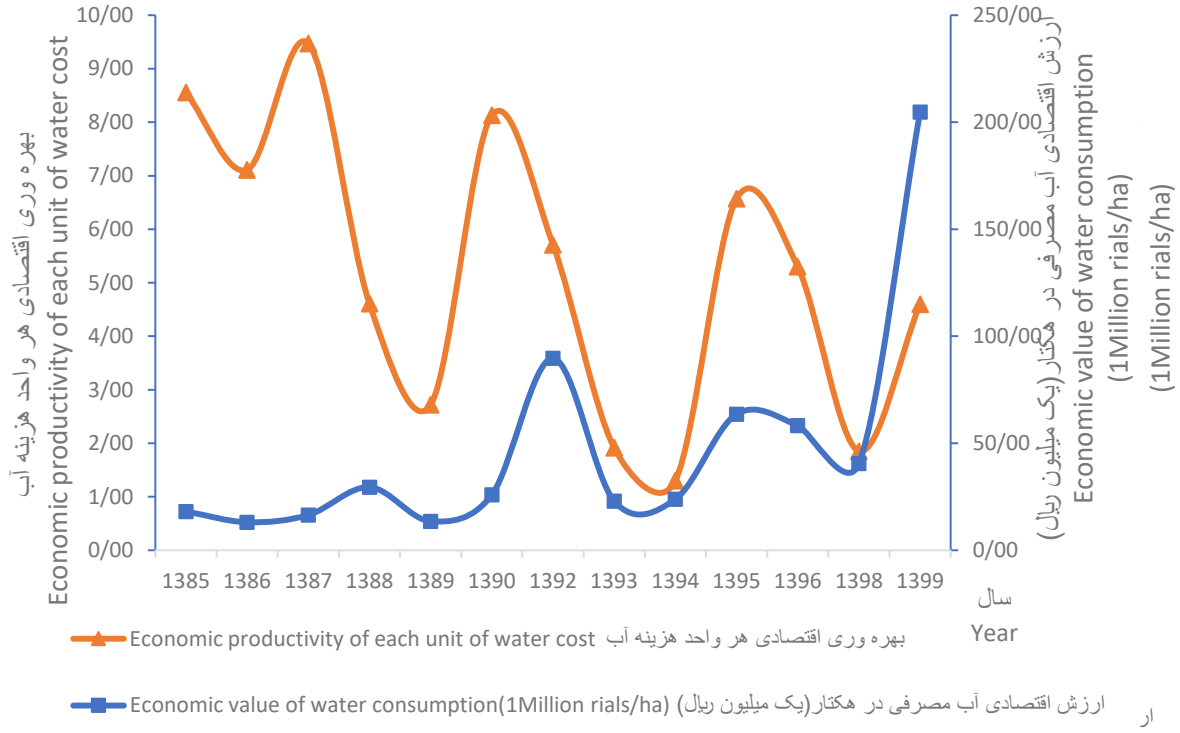
شکل (۸) وضعیت شاخص های اقتصادی در کشت گوجه فرنگی را نشان می‌دهد. اگر چه شاخص بهره‌وری اقتصادی آب و ارزش اقتصادی آب همسو است، اما شاخص ارزش اقتصادی آب تا سال ۱۳۹۶ دارای نوسان کم و بعد از آن با جهش مواجه شده است. شاخص بهره‌وری اقتصادی آب با نوسان بیشتر و بصورت دوره‌ای تقریبا سه ساله دارای فرود و فراز است بطور مثال از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ صعودی و بعد از نزول شدید در سال ۱۳۸۸، مجددا سه سال صعودی و بعد از نزول در سال ۱۳۹۳ و نوسان سه ساله مجددا در سال ۱۳۹۷ صعود و مجددا نزول کرده است.



شکل ۸. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در گوجه فرنگی طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹

Fig 8. Economic value and economic productivity of water used in tomato cultivation during 2006 to 2020

شکل(۹) وضعیت شاخص های اقتصادی در کشت هندوانه را نشان می‌دهد. شاخص بهره‌وری اقتصادی آب نوسانی و نزولی است. این شاخص و شاخص ارزش اقتصادی آب از سال ۱۳۸۹ همسو است. ارزش اقتصادی آب در سال ۱۳۹۲، به دلیل بالا رفتن قیمت و عملکرد افزایش یافته است. افزایش در بهره‌وری اقتصادی آب در سال ۱۳۸۷، بیشتر به دلیل افزایش عملکرد؛ در سال ۱۳۹۰ به دلیل افزایش قیمت و کاهش هزینه تولید و در سال ۱۳۹۵ به دلیل افزایش عملکرد و قیمت است.



شکل ۹. ارزش اقتصادی و بهره‌وری اقتصادی آب مصرف شده در هندوانه طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹

Fig 9. Economic value and economic productivity of water used in watermelon cultivation during 2006 to 2020

مقایسه بهره‌وری اقتصادی آب در بین محصولات

همانطور که در جداول قبلی نیز مشهود بود میزان بهره‌وری اقتصادی هر محصول در طی سال‌های متمادی دارای نوساناتی است که تحت تاثیر عوامل موثر بر بهره‌وری اقتصادی قرار دارد. برخی محصولات به عنوان کم مصرف و برخی پرمصرف یا آب‌برمعرفی شده‌اند. بنابراین رتبه بهره‌وری اقتصادی محصولات بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹ مورد مقایسه قرار گرفت. محصولاتی مانند شلتوک، سیب زمینی و پیاز بیشتر در رتبه‌های برتر قرار دارند. و محصولات استراتژیکی مانند گندم و جو در میانه جدول هستند. این در حالی است که این دو محصول بخشی از آب مورد نیاز خود را از باران تامین می‌کنند. میانگین رتبه محصولات طی سال‌های مورد نظر در جدول (۱) ذکر شده است. بر این اساس شلتوک، سیب زمینی و پیاز در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند و جو، لوبیا و عدس در سه رتبه آخر.

جدول ۱. میانگین رتبه بهره‌وری اقتصادی محصولات مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹

Table 1. The average economic productivity rating of the studied products during 2006 to 2020

نام محصول Product	شلتوک Paddy rice	سیب زمینی potatoes	پیاز onion	گوجه فرنگی tomatoe	خیار cucumbers	هندوانه watermelon	ذرت علوفه ای fodder corn	ذرت دانه‌ای seed corn	نخود pea
میانگین بهره‌وری Average productivity	16.60	11.60	11.09	6.89	5.33	5.22	5.06	4.56	4.30
رتبه Rank	1	2	3	4	5	6	7	8	9
نام محصول Product	چغندرقند Sugar beet	یونجه alfalfa	گندم wheat	آفتابگردان sunflower	پنبه cotton	کلزا rapeseed	جو barley	لوبیا قرمز red bean	عدس lentil
میانگین بهره‌وری Average productivity	3.93	3.88	3.76	3.62	3.62	3.28	3.13	3.02	2.42
رتبه Rank	10	11	12	13	14	15	16	17	18

جدول ۲. مساحت، عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب محصولات زراعی استان خراسان رضوی

Table 2. Area, yield, water consumption and physical and economic water productivity of crops in Khorasan Razavi province

رتبه بهره‌وری اقتصادی The rank Of economic productivity of crops	بهره‌وری اقتصادی آب economical water productivity (ده‌ریال بر مترمکعب) (10 Rials/m^3)	بهره‌وری فیزیکی آب physical water productivity (کیلوگرم بر مترمکعب) (Kg/m^3)	قیمت هر کیلو محصول Product price (ده‌ریال) (10 Rials/ kg)	آب مصرفی con consumption (متر مکعب در هکتار) (m^3/ha)	عملکرد Yield (کیلوگرم در هکتار) (Kg/ ha)	سطح زیر کشت Area (هکتار) (Ha)	نام محصول product
1	3091	2.77	1116	9300	25755	1458	سبزیجات برگی Leafy vegetables
2	2891	3.05	948	6450	19675	576	سبزیجات غده‌ای Tuberous vegetables
3	2453	2.28	1076	8160	18625	1883	خیار Cucumber
4	2421	4.21	575	9950	41885	2421	پیاز onion
5	2121	2.38	891	7300	17385	34268	خربزه Melon
6	2057	2.34	879	7600	17790	1477	طالبی Cantaloupe
7	2010	2.72	739	11400	31025	5918	سیب زمینی Potato
8	1588	7.86	202	6000	47155	840	سورگوم Sorghum
9	۱۵۵۵	0.96	1620	6800	6520	6317	سایر محصولات Other products
10	1348	3.01	448	7000	21080	12234	هندوانه Watermelon
11	1284	3.95	325	5300	20910	4624	خصیل Cereal forage
12	1282	0.27	4747	13800	3715	1966	شلتوک Paddy rice
13	1258	3.16	398	11950	37790	13089	گوجه فرنگی Tomato
14	1244	0.18	6913	5250	920	1209	کنجد Sesame
15	1232	4.4	280	11510	50625	20913	چغندرقند Sugar beet
16	1221	0.17	7180	4300	730	13138	هندوانه بذری Watermelon seeds
17	1060	3.8	279	8500	32285	332	چغندر علوفه‌ای Fodder beet
18	1023	4.92	208	9670	47540	17335	ذرت علوفه ای Fodder corn
19	848	0.35	2424	5100	1760	1866	کلزا Canola
20	747	0.2	3736	8500	1675	736	آفتابگردان Sunflower
21	722	0.88	820	9100	8045	333	شبدر Clover
22	716	0.61	1173	5575	3410	175089	گندم Wheat
23	601	0.22	2734	10080	2190	24276	پنبه cotton
24	545	0.58	940	4590	2680	131723	جو barly
25	473	0.56	844	13825	7770	31509	یونجه Alfalfa
	884	1.46	1660	6886	10073	505630	میانگین Average

با توجه به اینکه آماری از میزان آب مصرفی محصولات مورد مطالعه طی سال‌های گذشته در دسترس نیست بنابراین مقدار مساحت، عملکرد، آب مصرفی، قیمت و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در وضع موجود محصولات زراعی استان خراسان رضوی در جدول (۲) نشان داده شده است. بر این اساس، میانگین بهره‌وری اقتصادی آب (درآمد ناخالص بر متر مکعب آب مصرفی) در محصولات زراعی غالب استان در وضع موجود ۸۸۴ تومان بر مترمکعب است. بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات غالب باغی استان در وضعیت موجود ۳۲۵۰ تومان بر مترمکعب برآورد گردیده است. علت بالاتر بودن بهره‌وری اقتصادی آب در محصولات باغی استان این است که نزدیک به ۶۰ درصد مساحت اراضی باغی استان را دو محصول زعفران و پسته تشکیل می‌دهند. بهره‌وری اقتصادی آب در زعفران و پسته بسیار بالاتر از سایر محصولات الگوی کشت استان است و همین مطلب موجب شده اعداد بهره‌وری اقتصادی آب محصولات باغی استان نسبت به محصولات زراعی بیش از ۳ برابر باشد.

نتیجه گیری

نتایج مطالعه نشان داد که یکی از مولفه‌های موثر بر تغییر بهره‌وری اقتصادی آب مصرفی محصولات زراعی و باغی در استان خراسان رضوی، تغییر درآمد خالص محصولات می‌باشد.تغییر قیمت محصول به عنوان یک متغیر خارج از کنترل کشاورزان، نقش مهمی در تغییر درآمد خالص به عهده دارد. قیمت محصول تحت تاثیر میزان عرضه و تقاضا قرار دارد. عرضه و تقاضا نیز تحت تاثیر مولفه‌های اقتصادی و سیاست‌گزاری می‌باشد که برآیند آنها منجر به ایجاد الگوی کشتی می‌شود که کشاورزان تحت تاثیر آنها اقدام به اجرایی کردن الگوی کشت کرده‌اند. نوسانات قیمت محصول در سال‌های متمادی نشان می‌دهد که فرآیند مشخصی در انتقال اطلاعات صحیح به کشاورزان وجود ندارد تا بر اساس آن بهره برداران اطلاعات صحیحی دریافت کرده و اقدام به کشت کرده باشند زیرا کشاورزان به دنبال کسب حداکثر سود اقتصادی می‌باشند و اگر بهره‌برداری بداند محصولی که قصد کشت دارد، با بازار بدی مواجه می‌شود از اقدام به کشت آن خودداری می‌کند . بنابراین لازم است تا فرایند تعیین الگوی کشت در سطح کشور به گونه‌ای برنامه ریزی شود که ارزش محصول تولیدی به ازای هر متر مکعب برای تمام محصولات زراعی و باغی به سمتی حرکت کند که با هم مساوی شوند و در نهایت بهره‌وری‌های اقتصادی آب مصرفی محصولات موجود در الگوی کشت اختلاف معناداری نداشته باشند. انجام این کار در گرو تشکیل زنجیره‌های ارزش همگام با اجرا و اصلاح الگوی کشتی می‌باشد که توسط وزارت جهاد کشاورزی ابلاغ گردیده است.

منابع

Abbasi, F., Abbasi, N. & Tavakoli, A. (2017). Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. journal of water and sustainable development, 4(1), 141-144. [In Persian].

Abbasi, F., Sohrab, F. & Abbasi, N. (2017). Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. Irrigation and Drainage structures Engineering Research, 17(67), 113-128 [In Persian].

Baghani, J. Et al. (2018). Determining the water consumption of wheat in the country. The final report of the national research plan under the registration number 53636, Agricultural Engineering and Technical Research Institute, Karaj, Iran. [In Persian].

Bajčetić, M., Brnjas Z. & Drašković, B. (2016). Economic efficiency of water protection within environmentally friendly and integrated water resources management, International review, (1-2), 82-90.

Cai, X., Rosegrant, M.W. & Ringler, C. (2003). Physical and economic efficiency of water use in the river basin: Implications for efficient water management. Water Resources Research, 39(1), 1-11.

Dalton, P., S. Raine, & K. Broadfoot. (2001). Best management practices for maximising whole farm irrigation efficiency inthe Australian cotton industry. Final report to the Cotton Research and Development Corporation, National Centre for Engineering in Agriculture Report.

efficiency of irrigated cotton in Uzbekistan under drip and furrow irrigation. Agric. Water Manage, 90(1-2),112-120.

Jenab, M. & Nazari, b. (2017). The study of water productivity and yield gap of wheat, barley and maize in Qazvin province Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(6), 1405-1417. [In Persian].

Karimi M. & Jolaini M. 2016. Evaluation of Agricultural Water Productivity Indices in Major Field Crops in Mashhad Plain (Technical Note). Journal of Water and Sustainable Development, 4(1), 133-138. [In Persian].

Keshavarz, A. & Dehghani Sanij. H. (2012). Water productivity index and solution for future of agricultural activities in Iran. Quarterly Journal of Economic Strategy, 1(1), 199-203. [In Persian].

Ministry of Agriculture. (2022). Agricultural statistics for the year 2021, Volume 1: Crops. Tehran: Ministry of Agriculture, Deputy Planning and Economic Affairs, Information and Communication Technology Center [In Persian].

Ministry of Agriculture. (2022). Agricultural statistics for the year 2021, Volume 3: Report on horticultural and greenhouse products. Tehran: Ministry of Agriculture Jihad, Deputy Planning and Economic Affairs, Information and Communication Technology Center [In Persian].

Ministry of energy. (2015). Theoretical and practical foundations of economic valuation of water in agricultural uses. Tehran: Ministry of Energy, Water and Wastewater Affairs Deputy, Office of Water and Wastewater Standards and Plans.

Mohammadi, A., Mahmoudi, A., Deihim Fard, R. & Nouri, A. (2019). Assessment of water productivity and supply demand ratio index in sugar beet (Beta vulgaris L.) in Khorasan Razavi province, Iran using growth simulation models. Iranian Journal of crop Sciences, 21(3), 268-286. [In Persian].

Fan, Y., Massey, R. & Park, S.C. (2018). Multi-crop production decisions and economic irrigation water use efficiency: the effects of water costs, pressure irrigation adoption, and climatic determinants, Water, 10(11), 1637, doi: 10.3390.w10111637.

Fan, Y., Wang, C. & Nan, Z. (2014). Comparative evaluation of crop water use efficiency, economic analysis and net household profit simulation in arid Northwest China. Agricultural Water Management, 146, 335-345.

Ghadami Firouzabadi A. & Seyedan S. M. (2019). Evaluation of irrigation water productivity and economic analysis of alfalfa production in sprinkler and surface irrigation systems. Journal of Irrigation and Water Engineering, 10(1), 135-148. [In Persian].

Gholami, Z., Ebrahimian, H. & Noori, H. (2016). Investigation of irrigation water productivity in sprinkler and surface irrigation systems (Case study: Qazvin Plain). Journal of Irrigation Science and Engineering, 39(3), 135-146. [In Persian].

Grimble, R. (1999). Economic instruments for improving water use efficiency: theory and practice. Agricultural Water Management, 40(1), 77-82.

Haghayeghi, S. A. (2019). Sustainable management of underground water with the perspective of optimal agricultural water consumption in Razavi Khorasan province. The final report of the research project of the Agricultural Engineering and Technical Research Institute, registration number 89.995. [In Persian].

Heidari, N. (2012). Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. Journal of Water and Irrigation Management, 1(2), 43-57. [In Persian].

Hung, M.-F., Shaw, D. & Chie, B.-T.(2014). Water trading: locational water rights, economic efficiency, and third-party effect. Water, 6(3), 723-744.

Ibragimov, N., Evett, S. R., Esanbekov, Y., Kamilov, B. S., Mirzaev, L. & Lamers, J. P.A. (2007). Water use

Mohammadpour Hangarvani, M. & Arsalanbod, M. (2014). Investigating the economic efficiency of water and its more effective factors in major agricultural products; a case study of Urmia city. International conference on sustainable development with a focus on agriculture, environment and tourism. Tabriz, Iran. [In Persian].

vafabakhsh, c. , Haghayeghi, S.A., Khoshbazm, R., Shalforoshan, S.M. & Fatemi, S.M. (2016). Verification of water consumption and productivity in underground water sources in order to use its results in developing the crop pattern. The final report. [In Persian].

World Bank. (2006). World Development Indicators, Available at: www.worldbank.org

Youssef gomrokchi, A. (2021). Estimation of potential yield and yield gap of major crops in Qazvin irrigation network. Water Resources Engineering, 14(50), 75-88. [In Persian].

zamani, o., mortazavi, s. a. & balali, H.(2014). Economical Water Productivity of Agricultural Products in Bahar Plain, Hamadan. journal of Water Research in Agriculture, 28(1), 51-62. [In Persian].

Zare, S. (2018). Evaluation and comparison of water pricing policy with alternative options and their impact on the production, trade and crop pattern in Khorasan Razavi province. (Ph.D.), Faculty of agriculture, University of Zabol, zabol, Iran. [In Persian].

Zwart, S. J. & Bastiaanssen, W. G. M. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton, and maize. Journal of Agricultural Water Management, 69,115-133.

Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Fall 2023, Vol.1, No.3, pp 35 - 56

10.22077/JDCR.2023.6186.1020

Vulnerability Assessment of Groundwater Resources in Qazvin Aquifer with DRASTIC, Modified and Fuzzy Methods

Taleb Moradinejad*[1], Mohsen Rezaei[2], Mohammad Nakhaei[3]

1. Ph.D. Student. Hydrogeology, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
2. Professor Hydrogeology, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3. Professor Hydrogeology, Kharazmi University, Tehran, Iran.

***Corresponding Author: talebmoradinejad@yahoo.com**

Keywords:
Vulnerability assessment, Sensitivity analysis, Modified DRASTIC, Fuzzy DRASTIC

Received:
24 Apr 2023

Revised:
27 May 2023

Accepted:
13 Jun 2023

Extended Abstract

Introduction

Groundwater vulnerability is a relative, non-measurable, dimensionless property, that expresses the possibility of penetration and spread of pollutants from the ground surface to the groundwater system, and it depends on the characteristics of the aquifer, geological environment, and hydrogeology. This method has a low cost and can be used to determine vulnerability levels for large areas using a combination of layers with very little information. This study investigates the vulnerability of the Qazvin plain, considering its appropriate permeability, and the high probability of absorbing various pollutants. In order to find the most suitable model for zoning the vulnerability of Qazvin plain, different methods such as DRASTIC, modified DRASTIC, and fuzzy DRASTIC have been used.

Materials and Methods

DRASTIC is based on the seven hydrogeological data layers that provide input to the modeling. It corresponds to the initials of seven layers i.e., depth of water, net recharge, aquifer media, soil media, topography, impact of the vadose zone, and hydraulic conductivity. Combining the above parameters and creating a network layer, could create the standard DRASTIC vulnerability index. softwares such as ILWIS, ArcView, and ArcGIS software were used to find out the water-vulnerable zones in the aquifer. For this purpose, a database was created from the available statistics and information in the

How to cite this article:
Moradinejad, T., Rezaei, M., Nakhaei, M. (2023). Vulnerability Assessment of Groundwater Resources in Qazvin aquifer with Drastic, Modified and Fuzzy Methods. Journal of Drought and Climate change Research, 1(3), 35-56. 10.22077/JDCR.2023.6186.1020.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

GIS environment. The final map was prepared by combining layers and their weights. The final index is the result of multiplying the ranked numerical value of each parameter by the weight of that parameter. The sum of all the parameters for each part will indicate the degree of vulnerability, and the higher the number, the higher the risk. In the modified DRASTIC model, nitrate was used as a main parameter of groundwater pollutants to modify the model. In the third work method (fuzzy DRASTIC), first, the membership functions of the maps that can be fuzzified (for example, the hydraulic conductivity, the slope, and the depth of the groundwater) were produced and shown in the GIS software environment. Then, the standard deviation of the linear functions was calculated and applied based on the DRASTIC ratings of the desired parameters. Finally, a single-parameter sensitivity analysis was performed to evaluate the effect of each DRASTIC parameters on the vulnerability index.

Results and Discussion

According to the normal DRASTIC map, most of the Qazvin plain is in the range of moderate vulnerability. However, small areas of the plain are in the range of high vulnerability. In the modified DRASTIC method, the contradictions of the DRASTIC vulnerability category and the point concentration of nitrate have been resolved and corrected. The results of the single-parameter sensitivity analysis showed that there was not much change in the map resulting from the modified weights by the sensitivity analysis compared to the modified DRASTIC map. But, in the fuzzified method, the percentage of the area of the highly vulnerable area is much lower, which from the point of view of these researchers and considering the nitrate concentration in the plain, can be far from reality.

Conclusion

According to the results of this research, it can be concluded that in the studied area of Qazvin Plain, DRASTIC modified by nitrate data compared with DRASTIC and fuzzy DRASTIC has the best performance.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره سوم، پیاپی ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۵۶ - ۳۵

doi 10.22077/JDCR.2023.6186.1020

ارزیابی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی آبخوان قزوین با روش‌های دراستیک معمولی، اصلاحی و فازی

طالب مرادی‌نژاد*[۱]، محسن رضایی[۲]، محمد نخعی[۳]

۱. دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲. استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
۳. استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی تهران، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول: talebmoradinejad@yahoo.com

واژه‌های کلیدی:
ارزیابی آسیب‌پذیری، تحلیل حساسیت، دراستیک اصلاحی ، دراستیک فازی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۲/۰۴

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۳/۰۶

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۳/۲۳

چکیده

با توجه به افزایش تقاضا برای منابع آبی در بخش‌های کشاورزی، خانگی و صنعتی، کیفیت منابع آب زیرزمینی در ایران به ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور در خطر است. از این رو، ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق در معرض آلودگی انسان‌زاد، عنصر مهمی برای مدیریت معقول منابع آبی و کاربری زمین محسوب می‌شود. در تحقیق حاضر از روش‌های مختلف تخمین آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نظیر دراستیک معمولی، اصلاح شده و فازی به وسیله سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در دشت قزوین و تعیین روش بهینه از میان آن‌ها استفاده شده است. مدل دراستیک از هفت پارامتر محیطی (عمق آب، تغذیه خالص، محیط آبخوان، محیط خاک، توپوگرافی، تأثیر ناحیه غیر اشباع و هدایت الکتریکی) برای توصیف تنظیمات هیدروژئولوژیکی و ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده می‌کند. محدوده مطالعاتی بر حسب شدت آسیب‌پذیری به سه دسته کم، متوسط و بالا تقسیم شده است. نتایج نشان داد که محدوده آسیب‌پذیری متوسط دشت از ۶۳ درصد در مدل دراستیک معمولی به ۸۷ درصد در دراستیک اصلاحی و ۹۷ درصد در دراستیک فازی تغییر یافته است. صحت‌سنجی مدل دراستیک معمولی با غلظت داده‌های نیترات انجام و تناقضاتی در دشت به ویژه بخش شرقی و غربی آن مشاهده شد. بنابراین با استفاده از نرمال‌سازی داده‌های نیترات، مدل دراستیک اصلاحی پهنه‌بندی گردید. تحلیل حساسیت در مدل دراستیک حاکی از بیشترین تطابق این مدل پس از تغییر وزن پارامترها با مدل دراستیک اصلاحی می‌باشد. به علاوه، باتوجه به غلظت نیترات در دشت، درصد بسیار کم مساحت محدوده بسیار آسیب پذیر می تواند دور از واقعیت باشد. بنابراین، مدل دراستیک اصلاحی، مدلی بهینه در این دشت محسوب می‌گردد.

مقدمه

آب یکی از ضروری‌ترین مواد برای زندگی بوده و وجود این منبع طبیعی اغلب یک نقش حیاتی در فرآیندهای اقتصادی و سیاسی بازی می‌کند. افزایش تقاضا برای منابع آبی موجب توسعه شهرک‌های صنعتی و گسترش زمین‌های کشاورزی شده است به طوری که بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب (تا حدود ۹۰ درصد) و همچنین آسیب‌پذیرترین بخش در شرایط کم آبی است (Anvari et al., 2022). از طرفی، وجود نواحی صنعتی منجر به برهم زدن تعادل محیط زیست و در معرض خطر واقع شدن منابع آب سطحی و زیرزمینی پیرامون آن‌ها می‌شوند (Rahmani and Azari, 2019). در این میان، بی‌توجهی به سفره‌های آب زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع آبی در مناطق گرم و خشک نظیر ایران باعث نشر و انتقال آلاینده‌های مختلف به این منابع شده است (Asghari Moghadam et al., 2016). آلودگی آب‌های زیرزمینی از طریق فعالیت‌های انسانی از جمله فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، مراکز دفن زباله و ... ایجاد می‌گردد. از جمله برخی از آلاینده‌های کشاورزی مانند نیترات و فسفات و فلزاتی همچون آرسنیک، جیوه، کادمیوم و سرب که از آلاینده‌های صنعتی به حساب می‌آیند، نقش بیشتری در آلودگی این منابع حیاتی خواهند داشت (Pishkar Dehkordi and Pourmaghods, 2006). از این رو، تعیین شدت آسیب‌پذیری این منابع با ارزش گام مهمی در حفاظت از آن‌ها در برابر آلودگی محسوب می‌گردد.

به عقیده وربا و زوپوروزک (Vrba and Zoporozec, 1994) عبارت آسیب‌پذیری نخستین بار در فرانسه در سال ۱۹۸۶ ارائه گردید که طی آن آسیب‌پذیری آب زیرزمینی در برابر آلودگی تعیین می‌گردد. آسیب‌پذیری به عنوان یک استعداد ذاتی سیستم آب زیرزمینی، امکان نفوذ و پخش آلاینده‌ها از سطح زمین به سیستم آب زیرزمینی تعریف می‌شود که وابسته به میزان حساسیت این سیستم به تأثیرات انسانی و یا طبیعی می‌باشد (Vrba and Zoporozec, 1994). این کلید واژه مهم، یک خصوصیت نسبی، بدون بعد و غیرقابل اندازه‌گیری است و به ویژگی‌های آبخوان، محیط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی بستگی دارد (Antonakos and Lambrakis, 2007). از جمله روش‌های متداول برای بررسی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان، روش دراستیک است که کاربرد زیادی در بسیاری از مناطق دنیا داشته است (Aller et al., 1987). دراستیک از کاربردی‌ترین و رایج‌ترین مدل‌های کیفی است که هزینه انجام آن پایین بوده و با اطلاعات کم و در دسترس برای تولید درجات آسیب‌پذیری برای مناطق وسیع با ترکیب چندین لایه طراحی شده است (Aller et al., 1987). بنابراین در این پژوهش از مدل دراستیک (معمولی، اصلاحی و فازی) برای ارزیابی آسیب‌پذیری ذاتی آبخوان قزوین استفاده می‌گردد.

مطالعات زیادی با استفاده از مدل دراستیک در جهان انجام شده است. برای مثال، در پژوهشی در اردن (Al-Adamat et al., 2003)، جهت ارزیابی آسیب‌پذیری آبخوان از مدل DRASTIC استفاده گردید (البته لایه هدایت هیدرولیکی به علت نبود اطلاعات در نقشه نهایی وارد نشده است). آن‌ها، میزان تغذیه خالص را با ترکیب سه پارامتر میزان بارندگی، شیب زمین و نفوذپذیری خاک با روش Piscopo به دست آوردند. نتایج نشان داد، متوسط میزان نیترات با آسیب‌پذیری کم حدود ۹/۹۹ میلی‌گرم بر لیتر و برای آسیب‌پذیری متوسط ۱۰/۵۲ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین، اختلاف آماری معنی‌داری (با آزمون U test) بین مقادیر نیترات با آسیب‌پذیری کم و متوسط وجود نداشت. شواجین و همکاران (Shuaijun et al., 2011) در تحقیقی به بررسی آسیب‌پذیری آب‌های فریاتیک کواترنر در چین با روش دراستیک و با استفاده از نرم‌افزار GIS پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که ۱۶/۱۸ درصد از محدوده مورد مطالعه دارای پتانسیل آلودگی بالا، ۳۳/۰۵ درصد دارای پتانسیل آلودگی متوسط و ۵۰/۷۷ درصد دارای پتانسیل آلودگی کم می‌باشد. در تحقیقی دیگر الحلاق و الایش (Al Hallaq and Elaish, 2012) تکنیک آسیب‌پذیری را برای تئوری و کاربرد انباشت جریان، کاربری زمین و هدایت هیدرولیکی در یک آبخوان کم‌عمق در حوضه رودخانه ولتا در شرق غنا ارائه و نتایج آن را با مدل استاندارد DRASTIC مقایسه

نمودند. آن‌ها نشان دادند که شاخص آسیب‌پذیری نهایی تا حد زیادی تحت تأثیر حذف پارامترهای هدایت هیدرولیکی و کاربری زمین قرار گرفته است. وارول و داراواز (Varol and Davraz, 2010) در پژوهشی به بررسی آسیب‌پذیری حوضه Sarkikaraagac در جنوب غربی ترکیه با روش دراستیک پرداختند. به عقیده آن‌ها، مهم‌ترین عامل آلاینده در این حوضه، آلودگی انسانی است و از فعالیت‌های کشاورزی متراکم و گسترده ناشی می‌شود که از طریق آب‌های زیرزمینی به سمت دریاچه Beysehir حرکت می‌کند. آن‌ها محدوده مطالعاتی را در سه دسته آسیب‌پذیری زیاد (۳۰ درصد محدوده)، متوسط (۲۰ درصد محدوده) و کم (۵۰ درصد محدوده) طبقه‌بندی کردند (Varol and Davraz, 2010). مطالعات پیشرفته‌تری از این مدل در دو دهه اخیر انجام شده است. برای مثال، ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی در مناطق کشاورزی با استفاده از مدل اصلاح شده DRASTIC در دشت ساوه – نوبران توسط سادات نوری و ابراهیمی (Sa-dat-Noori and Ebrahimi, 2016) نشان داد که اصلاح پیشنهادی که شامل استفاده از تکنیک‌های آماری است، عملکرد رتبه‌بندی پارامترهای مدل DRASTIC را برای به دست آوردن نقشه آسیب‌پذیری دقیق‌تر بهینه می‌نماید. آن‌ها نرخ‌های جدید را با استفاده از روابط بین پارامترها و غلظت کلرید داده‌های نقطه‌ای در آب‌های زیرزمینی محاسبه کردند. عبدالسلام و همکاران (Abdeslam et al., 2017)، روش دراستیک را با هدف ارزیابی آسیب‌پذیری یک سفره آبرفتی در یک محیط نیمه‌خشک در شمال شرق الجزایر (منطقه آبرفتی که از افزایش شوری به سمت بخش شمالی حوضه متحمل شده است) به کار برده‌اند. طبق مدل ارائه شده، قسمت شمالی دشت بالاترین کلاس آسیب‌پذیری (آسیب‌پذیرترین منطقه در برابر آلودگی‌های خارجی) را نشان می‌داد. طبقه متوسط در جنوب، شرق و منطقه شمال غرب پراکنده است. کمترین آسیب‌پذیری متعلق به بیشترین قسمت دشت است. باربولشو (Barbulescu, 2020) به مرور روش DRASTIC و برخی روش‌های شبیه به DRAS-TIC که توسط دانشمندان مختلف معرفی شده‌اند، پرداخته و کاربردها، مزایا و معایب آن‌ها را ارائه نموده است. به عقیده وی، DRASTIC از پارامترهای متعددی استفاده می‌کند و خروجی‌های آن فقط گاهی با داده‌های جمع‌آوری‌شده در صحرا مقایسه می‌شوند. بنابراین پیش‌بینی مبتنی بر DRASTIC باید قبل از تصمیم‌گیری مدیریت به‌دقت بررسی شود. همچنین، وی معتقد است که هیچ کدام از روش‌های ارائه شده جهت ایجاد نقشه‌های آسیب‌پذیری قابل اعتمادترین روش نبوده و هر یک از آن‌ها به ویژگی‌های آبخوان، کاربری زمین، در دسترس بودن داده‌ها، پارامترهای درگیر در مدل، وزن‌ها و رتبه‌بندی اختصاص داده شده به هر پارامتر وابسته می‌باشند. پاتل و همکاران (Patel, 2022) کاربرد روش DRASTIC در ارزیابی آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها تحلیلی سیستماتیک از مقالات تحقیقاتی موجود در مورد کاربردهای فرآیند مدیریت عملکرد دراستیک (DRASTIC) و دراستیک اصلاح شده (DRASTIC-L) در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارائه دادند. نتایج نشان داد که ادغام GIS با DRASTIC مؤثرترین و دقیق‌ترین راه برای تعیین آسیب‌پذیری آب‌های زیرزمینی است. همچنین در مناطق کشاورزی، خشک، نیمه‌خشک و بازالتی، مدل DRASTIC اصلاح شده نیز بهتر از مدل DRASTIC سنتی عمل می‌نماید.

در ایران نیز تحقیقات مشابه در این زمینه در چند سال اخیر صورت گرفته است. به عنوان نمونه رنگزن و همکاران (Rangzen et al., 2006)، در آسیب‌پذیری آبخوان آبرفتی ورامین، با استفاده از روش DRASTIC در محیط GIS، وزن‌های مدل را با استفاده از غلظت نیترات برای دشت ورامین اصلاح نمودند. آن‌ها نشان دادند که اختلاف عمده مدل DRASTIC تصحیح شده آسیب‌پذیری نیتراته با مدل اصلی در کاهش وزن اثر زون غیراشباع از ۵ به ۲ است که با پایداری یون نیترات در محیط غیر اشباع مطابقت دارد. در تحقیقی دیگر، ارزیابی تأثیر کودهای کشاورزی در آلودگی نیتراته آب زیرزمینی دشت باغملک با استفاده از مدل DRASTIC (Faryabi et al., 2007) نشان داد که علی رغم درشت دانه بودن رسوبات سطحی در بخش نسبتاً وسیعی از دشت، میزان آسیب‌پذیری آب زیرزمینی پایین است.

حاجی کریمی و همکاران (Haji Karimi et al., 2011)، در تحقیقی به بررسی آسیب‌پذیری زیست محیطی آب زیرزمینی دشت برتش و دهلران با استفاده از مدل DRASTIC پرداختند. به عقیده آن‌ها، قسمت‌هایی از شرق و مرکز آبخوان دارای آسیب‌پذیری زیاد بوده و قسمت اعظم آبخوان در محدوده آسیب‌پذیری متوسط قرار می‌گیرد. همچنین آن‌ها، صحت مدل را با استفاده از نتایج تحلیل نیترات نمونه‌های آب زیرزمینی از ایستگاه‌های منتخب در دو فصل، واسنجی و تأیید نمودند. افروزی و محمد زاده (Afrozi and Mo-hammadzadeh, 2011) در تحقیقی مشابه، به ارزیابی و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت فارسان-جونقان نسبت به آلودگی با استفاده از شاخص DRASTIC در محیط GIS پرداختند. در مدل آن‌ها، شاخص دراستیک بین ۱۰۰ تا ۱۷۸ متغیر بوده و بترتیب در حدود ۱۰، ۲۸، ۳۵ و ۱۸درصد از سطح منطقه دارای آسیب‌پذیری کم، کم تا متوسط، متوسط تا زیاد و زیاد قرار گرفت. مردان و یار قلی (Mardan, and Yarqali, 2019) در مطالعه‌ای تحت عنوان پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان دشت آبرفتی اردبیل با استفاده از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل دراستیک نشان دادند که آسیب‌پذیری آبخوان دشت اردبیل تقریباً در نیمه‌شرقی در گروه آسیب‌پذیری کم و در نیمه غربی در گروه آسیب‌پذیری زیاد قرار گرفته است. نتایج نشان داد که پتانسیل و میزان آلودگی آبخوان دشت اردبیل بالا بوده و حفاظت این مناطق به منظور جلوگیری از آلودگی و مدیریت بهینه منابع آب ضروری است. بهرامی و شهیدی (Bahrami and Shahidi, 2022)، به بهبود مدل دراستیک با استفاده از مدل هوشمند بیان ژن پرداختند. در این تحقیق متغیرهای دراستیک با طول دوره‌ی آماری ۲۰ ساله (۱۳۷۸-۱۳۹۸) به عنوان ورودی مدل و غلظت نیترات به عنوان خروجی مدل تعریف گردید.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، از مدل دراستیک به منظور ارزیابی پتانسیل آلودگی سفره زیرزمینی دشت قزوین استفاده شده است. مدل دراستیک نخستین بار در سال ۱۹۸۷ توسط آلر معرفی گردید (Aller et al., 1987). سپس در سال ۱۹۹۰، آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) به توسعه مدل حاضر پرداخت تا بتوان از این مدل به عنوان یک سیستم استاندارد شده جهت ارزیابی پتانسیل آلودگی آب‌های زیرزمینی استفاده نمود (Boughriba et al., 2009). استفاده از این مدل، چهار پیش شرط دارد که بطور خلاصه به شرح زیر است (Voudouris et al., 2010). ۱) آلودگی از سطح زمین وارد آب زیرزمینی شده باشد، ۲) آلودگی از طریق بارندگی شسته شده و به آب زیرزمینی وارد شده باشد، ۳) انتقال آلودگی از طریق آب با سرعتی مشابه آن صورت گرفته باشد ۴) محدوده مطالعاتی جهت استفاده از این مدل ۴ هکتار یا بیشتر باشد. با توجه به نفوذپذیری مناسب آبرفت دشت قزوین و احتمال بالای این آبخوان در جذب آلاینده‌های مختلف در اثر بارندگی و یا مجاورت با منابع آبی، کشاورزی گسترده در این دشت و همچنین وجود صنایع آلاینده، در این تحقیق به مطالعه آسیب پذیری آن پرداخته شده است. مطالعاتی که پیشتر در جهان و ایران ارائه شده حاکی از استفاده بیشتر از مدلهای اصلاحی آسیب پذیری نسبت به مدل خام آن بوده است. بنا براین، در این تحقیق ضمن پهنه بندی آسیب پذیری دشت قزوین با روشهای مختلف منتج از دراستیک (DRASTIC)، سعی بر آن است که مدلهای مختلف با یکدیگر مقایسه شده و مدل بهینه انتخاب گردد. از این رو، از مدل‌های مختلف دراستیک معمولی، اصلاحی و فازی بهره گرفته شده است.

منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی قزوین در فاصله حدود ۱۵۰ کیلومتری شمال غربی تهران بین طول‌های شرقی ۱۰′ -۴۹° و ۴۰′ -۵۰° و عرض‌های شمالی ۲۰′ -۳۵° و ۳۰′ -۳۶° جغرافیایی قرار گرفته است. همچنین آبخوان قزوین در محدوده مختصات متریک ۳۴۴۷۱۴ الی ۴۶۷۲۹۰ و ۳۹۳۶۵۵۶ الی ۴۰۳۱۷۷۱ قرار دارد. حداکثر ارتفاع منطقه حوضه قزوین برابر ۲۹۷۱ متر و حداقل ۱۱۰۰ متر و متوسط منطقه حدود ۱۲۵۰ متر از سطح دریا می‌باشد. کل حوضه آبریز ۹۳۷۶ کیلومتر مربع مساحت دارد که ۳۸۴۲ کیلومتر مربع از آن را دشت و باتلاق تشکیل داده است (جدول ۱). این

محدوده از شمال با حوضه آبریز شاهرود، از غرب با حوضه‌های آبریز ابهر رود و خررود، از جنوب با حوضه آبریز رودخانه‌های شور چای، قره‌بلاغ لار و قره‌چای و از شرق با حوضه‌های آبریز رودخانه‌های کردان و کرج هم‌جوار می‌باشد (Ab Ara Sazeh Consulting Engineering Company, 2009).

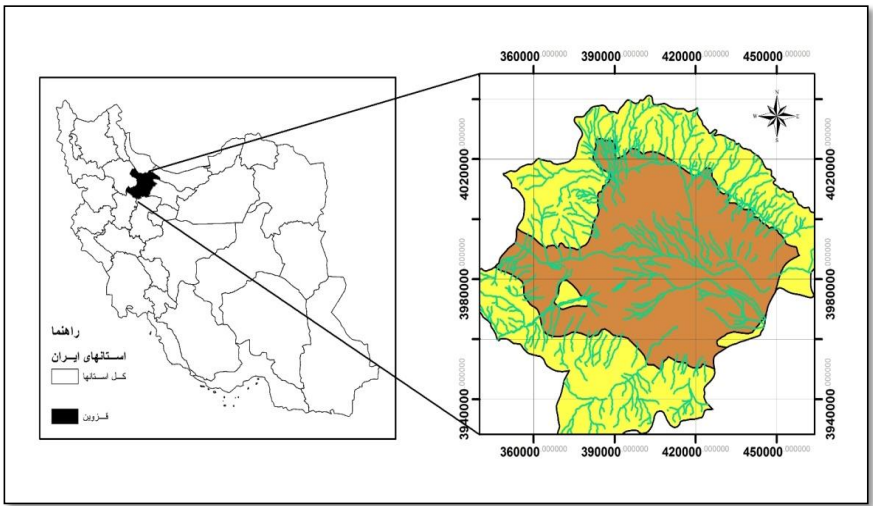
منطقه مورد مطالعه از نقطه نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز کشور در حوضه آبریز دریاچه نمک حوض سلطان قرار گرفته است و در واقع به عنوان زیر حوضه رودخانه شور محسوب می‌شود.

موقعیت جغرافیایی محدوده منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) ارائه گردید. آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده در منطقه نشان می‌دهد که آلودگی محیط زیست در منطقه در جهات مختلف در حال گسترش است و مهم‌ترین اثر آلودگی را می‌توان در منابع آلاینده صنعتی، کشاورزی و شهری جستجو نمود. کارگاه‌ها و کارخانه‌های بزرگ صنعتی از عمده‌ترین منابع آلوده کننده در سطح استان قزوین می‌باشند. بنا بر اطلاعات موجود بیش از ۵۵۰ کارگاه بزرگ صنعتی در این منطقه در حال فعالیت هستند.

جدول ۱. خلاصه مشخصات محدوده مطالعاتی قزوین (Ab Ara Sazeh Consulting Engineering Company, 2009)

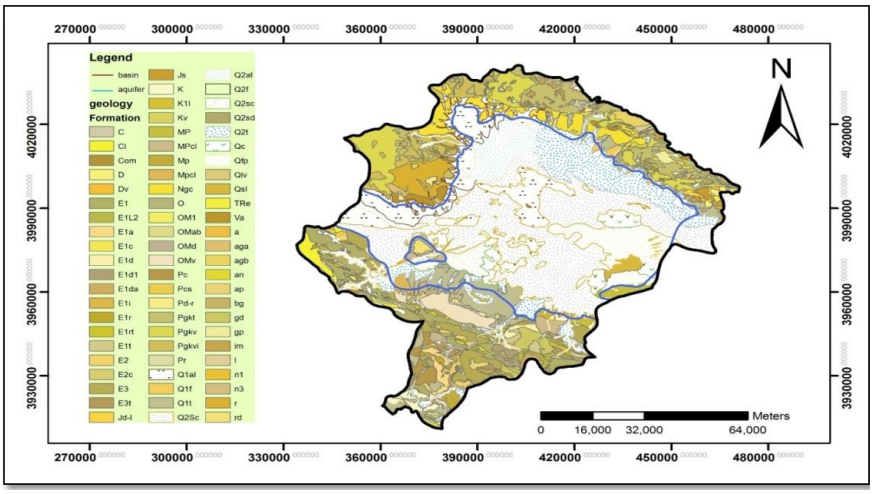
Table 1. Summary of Qazvin study area characteristics (Ab Ara Sazeh Consulting Engineering Company, 2009)

نام محدوده مطالعاتی Study Area	مساحت (کیلومتر مربع) Area (Km^2)			ارتفاع – متر از سطح دریا Altitude (m.a.sl)		
	کل Total	دشت Plain	سازند سخت Hard Rock	حداکثر Max	حداقل Min	متوسط Avg
قزوین Qazvin	9376	3842	5534	2971	1100	1250



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده منطقه مورد مطالعه

Fig 1. Geographical location of the study area



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Fig 2. Geological map of the study area

دشت قزوین با وسعتی برابر با ۵۰۵۹/۳ کیلومتر مربع در اثر رویدادهای تکتونیکی (حد فاصل دو زون تکتونیکی متفاوت یعنی زون البرز مرکزی در شمال دشت قزوین و زون آتشفشانی ارومیه- دختر در ارتفاعات جنوب دشت قزوین) بوجود آمده است و حالت گرابنی را دارد که توسط مواد حمل شده از ارتفاعات مجاور بوسیله آب‌های جاری پر شده است. در بخش شمالی، سنگ‌های آتشفشانی آئوسن ارتفاعات منطقه را عمدتاً تشکیل داده‌اند و سنگ نهشته‌های نئوژن به دلیل سست بودن واحدهای سنگی آن فرسایش‌پذیر بوده و مناطق پست و کم ارتفاع را بوجود آورده‌اند. در قسمت جنوبی نیز سنگ‌های سخت و مقاوم آتشفشانی ارتفاعات عمده منطقه را تشکیل داده در صورتی که تشکیلات با مقاومت کمتر در معرض تخریب و فرسایش بیشتری بوده و نقاط پست منطقه را تشکیل می‌دهند. همچنین به علت فعالیت شدید تکتونیکی منطقه، اغلب سیستم‌های آبراهه‌ای از مسیر گسل‌ها و شکستگی‌های اصلی تبعیت می‌نمایند. نحوه رسوب‌گذاری و وجود رودخانه‌های بزرگ و کوچک و تغذیه از سطح این رودخانه‌ها (نظیر زیاران، رودک، چهر رود و خررود) آبخوان نسبتاً مناسبی با وسعتی برابر با ۳۹۵۲/۴۵ کیلومتر مربع در این دشت تشکیل داده است (Abkhan Consulting Engineers, 2013).

معرفی مدل و پارامترهای آن

واژه دراستیک از هفت پارامتر به کار رفته در این مدل تشکیل شده که عبارتند از: عمق سطح ایستابی (Depth to watertable)، تغذیه خالص (net Recharge)، محیط آبخوان (Aquifer media)، محیط خاک (Soil media)، توپوگرافی (Topography)، تأثیر محیط غیراشباع (Im-pact of vadose zone) و هدایت هیدرولیکی (Hydraulic Conductivity) (Babiker et al., 2005). مدل DRASTIC در صورت لزوم از توانایی کم و اضافه نمودن پارامترهای مورد بررسی برخوردار است. هر پارامتر بسته به نوع تأثیرگذاری در حرکت املاح به آب زیرزمینی دارای وزن ثابتی می‌باشد. از محدودیت‌های روش DRAS-TIC نبود ویژگی خاک در آن می‌باشد. چرا که S در DRASTIC نمایانگر بافت خاک بوده نه ساختمان آن و حال آنکه ساختمان خاک و میزان خلل و فرجها در انتقال املاح نقش زیادی دارند.

لایه‌های اطلاعاتی روش دراستیک در محدوده مطالعاتی

عمق آب زیرزمینی (D): اطلاعات آماری عمق آب زیرزمینی از چاه‌های مشاهده‌ای حفاری شده در آبخوان حاصل گردید (Asghari Moghadam et al. 2016). شکل (۳) نشان‌دهنده‌ی نقشه‌ی رتبه‌بندی شده‌ی عمق سطح آب زیرزمینی دشت می‌باشد. لازم به ذکر است که کمترین عمق سطح آب زیرزمینی به جنوب و جنوب شرقی دشت که دو خصوصیت دشت بر آن موثر هست، اول اینکه بر اساس نقشه های جریان آب، خروجی دشت می باشد و دوم به دلیل وجود دریاچه نمک غیر دایمی می باشد، که آسیب‌پذیری ذاتی آن قسمت از آبخوان به طور چشمگیری افزایش می‌یابد و در نهایت لایه عمق آبخوان در هفت کلاس

رتبه‌بندی و ارائه گردید.

تغذیه خالص (R): در روش دراستیک، تغذیه خالص با استفاده از روش پیسکوپو (Piscopo et a., 2001) از مجموع بارندگی، شیب و نفوذپذیری بدست می‌آید. منابع تغذیه آبخوان دشت قزوین شامل تغذیه ناشی از ریزش‌های جوی Rp، تغذیه ناشی از جریان‌های سطحی و روان آب‌ها Rr، پساب‌های برگشتی به آب زیرزمینی ناشی از مصارف کشاورزی، شرب و صنعت می‌باشد. از این رو، تغذیه خالص (تغذیه کل) از حاصل جمع آن‌ها و با تلفیق خطوط هم‌باران، نقشه خاک و میزان ضریب نفوذپذیری سطحی بدست آمد. لایه بارندگی به دلیل اینکه بارندگی دشت قزوین از ۵۰۰ میلیمتر در سال کمتر است با ضریب یک استفاده شد. چنانچه در شکل (۴) قابل مشاهده است لایه تغذیه در چهار کلاس رتبه و ارائه گردید.

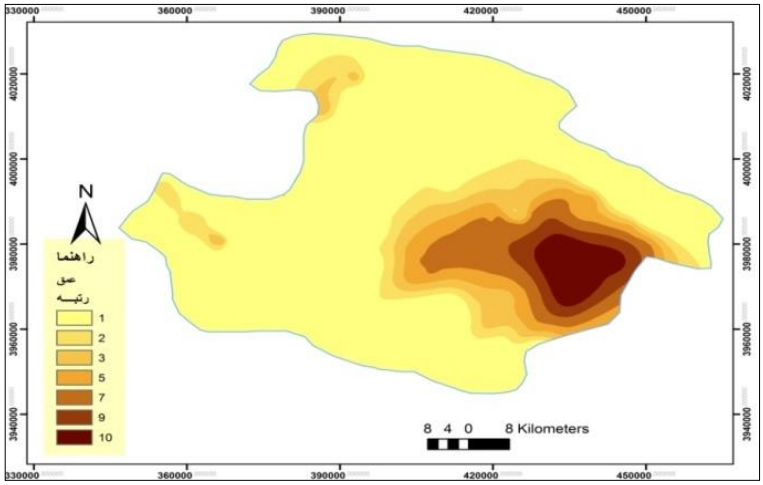
محیط آبخوان (A): اطلاعات مربوط به محیط آبخوان در دشت قزوین از لوگ حفاری چاه‌های اکتشافی، پیزومتری و بررسی زمین‌شناسی منطقه به دست آمده است. این لایه در نهایت پس از کلاس‌بندی شامل دو رتبه گردید. کلاس‌بندی محیط آبخوان در شکل (۵) قابل مشاهده است.

خاک (S): لایه محیط خاک معمولاً با ضخامتی حدود ۰/۵ تا ۲ متر به لحاظ میکروبیولوژی منطقه بسیار فعال به شمار می‌رود. لایه خاک به دلیل فعالیت نسبتاً بالای میکروبی، وجود مواد آلی بالا و وجود ریشه گیاهان، برای حذف و کاهش غلظت آلاینده‌ها از پتانسیل بالایی برخوردار است. شکل (۶) نشان‌دهنده‌ی نقشه‌ی رتبه‌بندی شده‌ی خاک‌شناسی دشت قزوین می‌باشد که در چهار کلاس رتبه‌بندی گردید.

توپوگرافی (T): نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاع محاسبه و استخراج و در نهایت نقشه بدست آمده چنانچه در شکل (۷) مشخص است، در پنج کلاس رتبه‌بندی گردید که به دلیل هموار بودن منطقه و پایین بودن شیب توپوگرافی این لایه عمدتاً در رتبه‌های ۹ و ۱۰ می‌باشد.

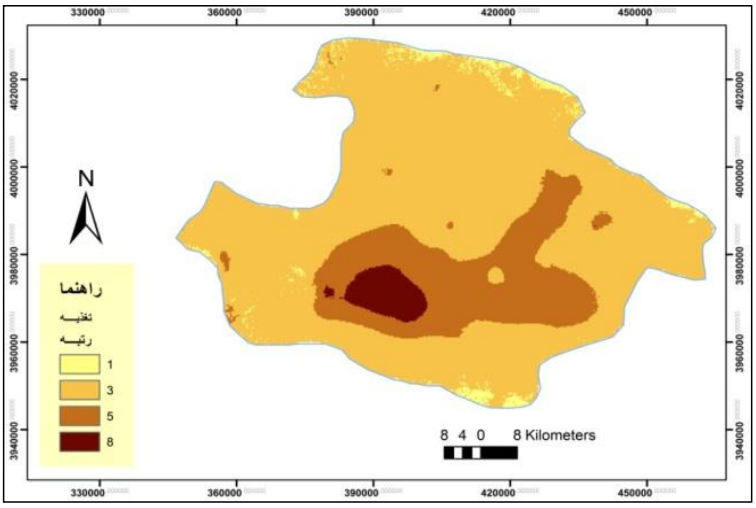
محیط غیر اشباع (I): اثر ناحیه غیراشباع منطقه با استفاده از اطلاعات لوگ‌های حفاری و چاه‌های اکتشافی و بررسی لیتولوژیکی آن‌ها و با ترکیب نفوذپذیری و عمق سطح ایستابی محاسبه گردید. بر این اساس، این نقشه از تلفیق دو نقشه عمق سطح ایستابی و نفوذپذیری به دست آمد. نقشه لایه محیط غیراشباع در شکل (۸) و در سه کلاس رتبه‌بندی و ارائه شده است.

هدایت هیدرولیکی (C): با تقسیم نقشه قابلیت انتقال بر نقشه ضخامت لایه آبدار، نقشه هدایت هیدرولیکی بدست می‌آید. این پارامتر بیان‌کننده قابلیت هدایت آب و آلاینده‌های محلول در آبخوان می‌باشد. اطلاعات مربوط به قابلیت از آزمایشات پمپاژ صورت گرفته در سال ۱۳۵۰ استخراج شده است. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش پمپاژ ۶۳ حلقه چاه اکتشافی و ۳۹۶ حلقه چاه بهره‌برداری در محدوده مطالعاتی قزوین، ضریب قابلیت انتقال بین ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ مترمربع در روز متغیر می‌باشد (Abkhan Consulting Engineers, 2013). طبق مطالعات انجام گرفته (Abkhan Consulting Engineers, 2013)، ضخامت آبرفت در ابتدای مخروط‌افکنه و میانه دشت به حدود ۳۰۰ متر و در پایاب دشت (نواحی جنوبی) به کمتر از ۱۰۰ متر می‌رسد. در شکل (۹)، لایه نهایی هدایت هیدرولیکی در چهار کلاس رتبه‌بندی گردید.



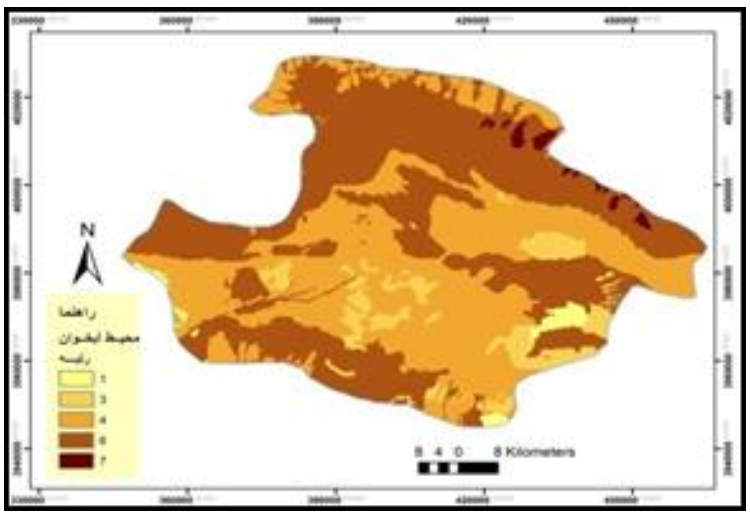
شکل ۳. لایه عمق آب زیرزمینی

Fig 3. Groundwater depth layer



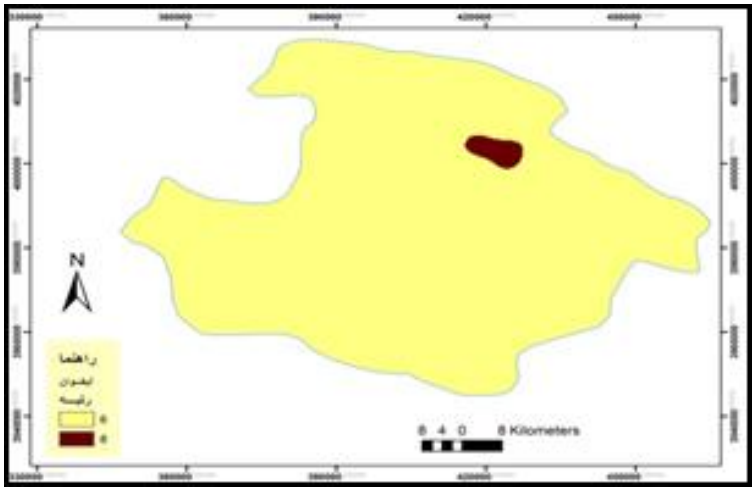
شکل ۴. لایه تغذیه

Fig 4. Recharge layer



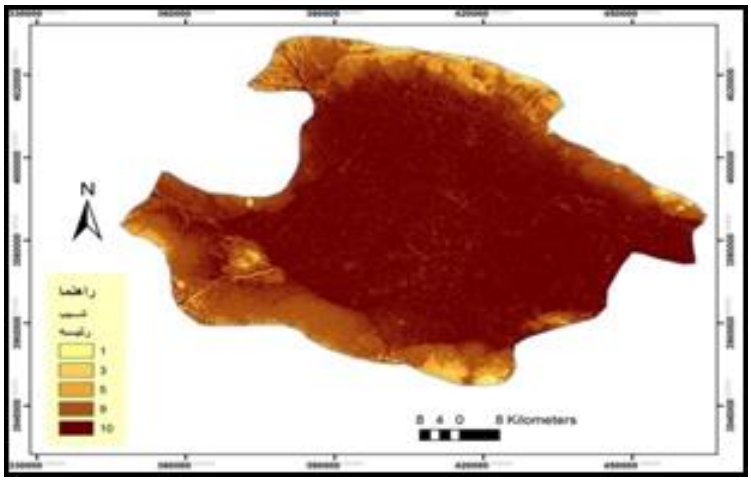
شکل ۵. لایه محیط آبخوان

Fig 5. Aquifer environment layer



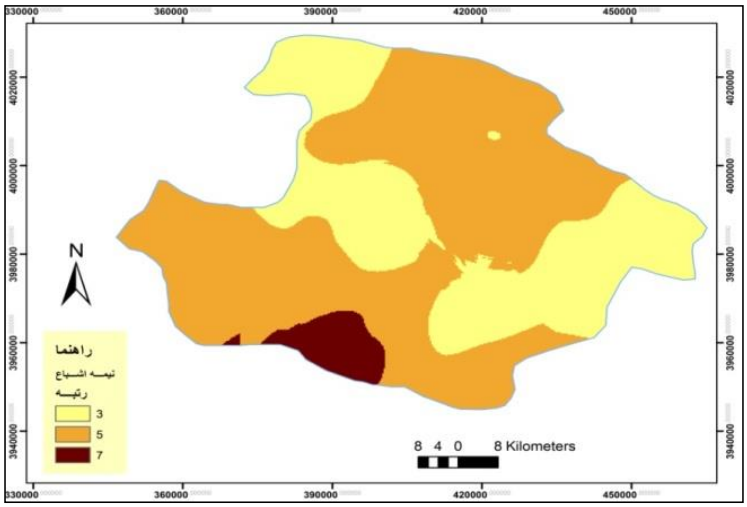
شکل ۶. لایه محیط خاک

Fig 6. Soil layer



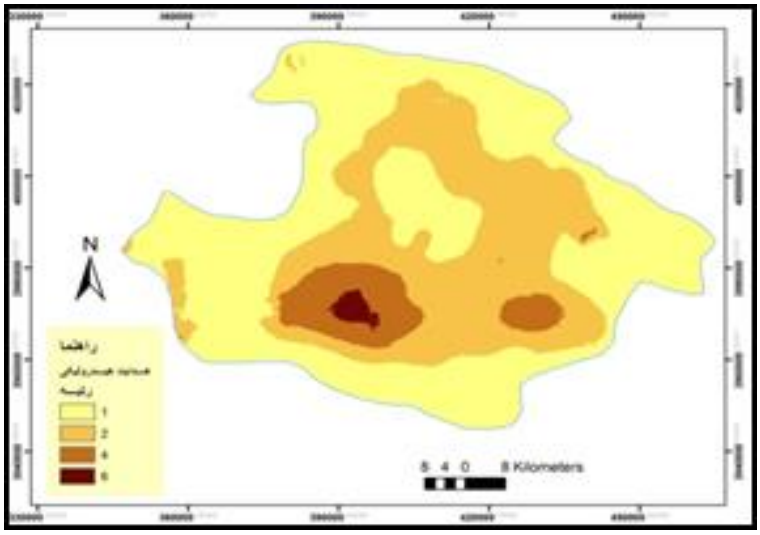
شکل ۷. لایه توپوگرافی

Fig 7. Topography layer



شکل ۸. لایه غیر اشباع

Fig 8. unsaturated layer



شکل ۹. لایه هدایت هیدرولیکی

Fig 9. Hydrollic condoctivity layer

شاخص استاندارد آسیب‌پذیری دراستیک

با تلفیق پارامترها بر اساس شاخص دراستیک، نتیجه حاصل یک لایه شبکه‌ای است که در این لایه سلول‌های دارای اعداد بزرگ‌تر بیان‌کننده مناطقی هستند که آسیب‌پذیری ذاتی آب زیرزمینی در مقابل آلودگی بیشتر است و سلول‌های دارای ارزش عددی کمتر مناطقی را نشان می‌دهند که آسیب‌پذیری ذاتی آب‌های زیرزمینی در مقابل آلودگی در این مناطق کمتر می‌باشد. در مدل دراستیک شاخص نهایی حاصل ضرب ارزش عددی رتبه‌بندی‌شده هر پارامتر در وزن آن پارامتر می‌باشد. حاصل جمع تمامی پارامترها برای هر قسمت بیانگر درجات آسیب‌پذیری خواهد بود.

برای بدست آوردن شاخص نهایی دراستیک از رابطه (۱) استفاده گردید و بر اساس روش استاندارد دراستیک، به هر پارامتر مدل دراستیک و نسبت به اهمیت هر یک از آن‌ها در آسیب‌پذیری، وزنی برابر ۱ تا ۵ اختصاص داده شد. به مهم‌ترین آن‌ها وزن ۵ و کم‌اهمیت‌ترین آن‌ها وزن یک داده شد و با استفاده از نقشه‌های تهیه شده و به کمک وزن‌های در نظر گرفته شده برای هر پارامتر در روش DRASTIC نقشه آسیب‌پذیری سفره آب زیرزمینی محدوده آستانه بدست آمد (Babiker et al., 2005).

$$D_i = \sum_{j=1}^{7} (W_j \times R_j) \quad (۱)$$

در این رابطه Di مقدار نهایی شاخص آسیب‌پذیری، Ri رتبه هر یک از پارامترهای هفتگانه و Wj وزن مؤثر هر پارامتر می‌باشد.

عدد محاسبه‌شده نشان‌دهنده میزان حساسیت سفره به آلوده شدن بوده به این ترتیب که اعداد بزرگ‌تر تعیین‌کننده استعداد بیشتر سفره آب زیرزمینی برای آلوده شدن می‌باشد. تقسیم‌بندی اعداد استاندارد خاصی نداشته، بلکه بسته به نوع منطقه از لحاظ آلودگی و بازه اعداد، کل دامنه اعداد به فواصل یکسان تقسیم می‌شود. شاخص مورد نظر به صورت توصیفی به ۵ کلاس مختلف به صورت جدول (۲) تقسیم‌بندی گردید (Aller et al., 1987).

دراستیک معمولی: حاصل جمع تمامی پارامترها برای هر قسمت بیانگر درجات آسیب‌پذیری خواهد بود (رابطه ۱). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری در محیط GIS و با استفاده از نرم‌افزارهای ArcView و ArcGIS انجام شده است. بدین منظور از آمار و اطلاعات موجود، یک پایگاه اطلاعات داده در محیط GIS تشکیل گردید و با تلفیق لایه‌ها و وزن‌های مربوط به آن‌ها نقشه نهایی تهیه شد.

جدول ۲- تقسیم بندی کلاس‌های مختلف آسیب پذیری (Aller et al., 1987)

Table 2- Classification of different classes of vulnerability (Aller et al., 1987)

شماره کلاس Class number	توصیف علمی آسیب پذیری Scientific description of vulnerability	کلاس آسیب پذیری Vulnerability class	دامنه تغییرات Range of changes
2	زمانی که لایه محبوس کننده که مؤلفه عمودی جریان در آن ناچیز است، در محیط وجود دارد. The existence of a confining layer with the lowest amount of vertical flow	خیلی کم	23-46
4	زمانی که تغذیه به صورت پیوسته وگسترده به آبخوان صورت می‌گیرد و آلاینده‌ها توانایی واکنش در محیط را ندارند Continuous and extensive recharge to the aquifer and no reaction of pollutants in the environment	کم low	46-92
5	زمانی که تغذیه به آبخوان به صورت پیوسته باشد آسیب‌پذیری نسبت به بعضی از آلاینده‌ها ایجاد می‌شود. Continuous recharge to the aquifer and vulnerability to some pollutants in the environment	متوسط average	92-136
6	آسیب‌پذیری در خیلی از موارد نسبت به بسیاری از آلاینده‌ها (بجز آلاینده‌هایی که جذب یا انتقال بالایی دارند) ایجاد می‌شود. Extreme vulnerability to pollutants except those with high absorption or transmission	زیاد high	136-184
8	آسیب‌پذیری نسبت به اکثر آلاینده‌ها با تأثیر سریع در اکثر مواقع ایجاد می‌شود. Extreme vulnerability to pollutants	بسیار زیاد very high	184-230

دراستیک اصلاحی: در این بخش، از نیترات به عنوان یک پارامتر اصلی آلاینده آب‌های زیرزمینی جهت اصلاح مدل دراستیک استفاده شده است. برای این کار باید ابتدا از نرمال بودن توزیع داده‌های غلظت نیترات مطمئن شد. جهت اطمینان از داده‌های نیترات در محدوده مطالعاتی، از مدل زمین آماری ArcGIS بهره گرفته شده است. نرمال‌سازی با استفاده از تبدیل باکس-کاکس[1] که از گروه تبدیلات توانی[2] (نمایی) است انجام و در نهایت از مدلی با کمترین میزان خطا، کشیدگی و چولگی استفاده شده است. پس از آن رتبه‌های اصلاحی محاسبه شدند.

دراستیک فازی: از لایه‌های اطلاعات ورودی به مدل تلفیقی دراستیک سه لایه هدایت هیدرولیکی، توپوگرافی و عمق سطح آب زیرزمینی دارای ماهیت فازی و مقادیر پیوسته می‌باشند و چهار مورد دیگر شامل نقشه‌ی تغذیه، خاک‌شناسی، محیط غیراشباع و آبخوان به دلیل عدم پیوستگی در مقادیر بینابینی قابلیت فازی شدن ندارند. برای تهیه‌ی نقشه‌ی فازی دراستیک آبخوان در ابتدا توابع عضویت نقشه‌هایی که قابلیت فازی شدن دارند تولید شده و در ادامه توابع عضویت این نقشه‌ها که در محیط نرم افزار GIS تولید شده‌اند و از تابع عضویت خطی پیروی می‌کنند نشان داده می‌شود. توسط این نرم افزار انحراف معیار توابع خطی بر اساس رتبه‌بندی‌های دراستیک پارامترهای مورد نظر محاسبه و اعمال شد. نحوه‌ی تولید توابع عضویت خطی بدین صورت است که با توجه به رتبه‌بندی‌های دراستیک برای هر نقشه میانگین تابع خطی پارامتر مورد نظر تولید می‌شود. برای مثال تابع عضویت خطی در شکل (۱۰) آورده شده است.

تحلیل حساسیت مدل دراستیک

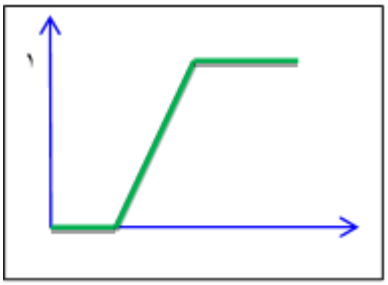
تحلیل حساسیت تک پارامتری توسط ناپولیتانو و فابری (Napolitano and Fabbri, 1996) در سال ۱۹۹۶ برای ارزیابی تأثیر هرکدام از پارامترهای دراستیک برروی اندیس آسیب پذیری انجام شد. وزن مؤثر با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود (Babiker, 2005):

(۲)

$$W = (pr\ pw / V) * 100$$

در این رابطه W وزن مؤثر هر پارامتر، pr و pw به ترتیب رتبه و وزن هر کدام از پارامترها و V اندیس آسیب‌پذیری بدست آمده است.

[1] Box-Cox
[2] Power Transform



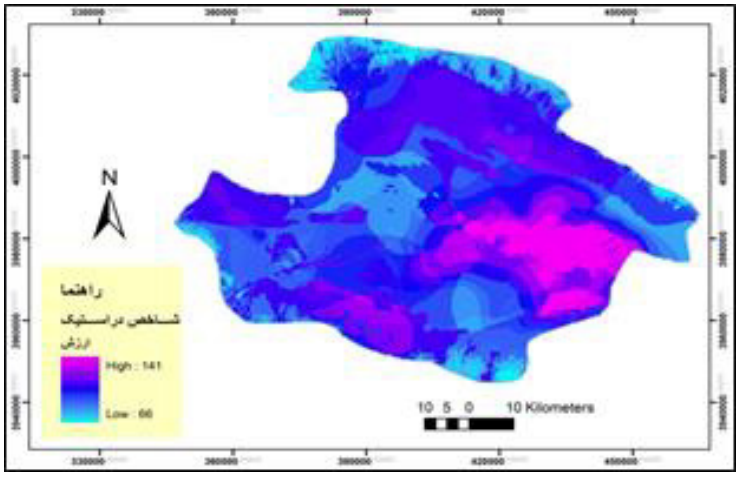
شکل ۱۰. تابع عضویت خطی

Fig 10. Linear membership function

نتایج و بحث

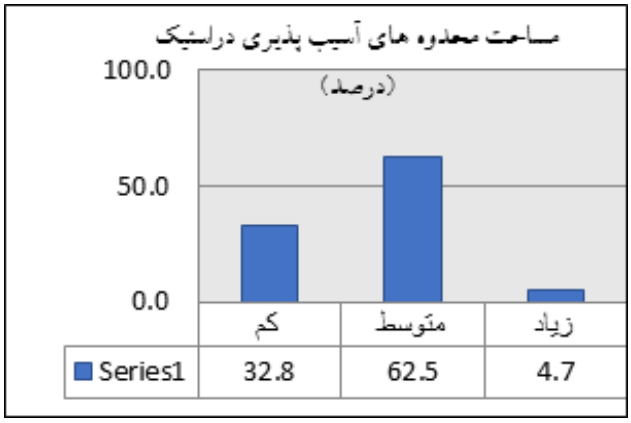
پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت قزوین به روش دراستیک معمولی: مطابق شکل (۱۱) بیشتر مساحت دشت قزوین در محدوده‌ی آسیب‌پذیری متوسط و مساحت‌های کوچکی از دشت در محدوده‌ی آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرند. طبق نقشه‌ی دراستیک معمولی و بر اساس جدول (۲) که نشان‌دهنده‌ی توصیف علمی آسیب‌پذیری است دشت قزوین از لحاظ آسیب‌پذیری در سه محدوده‌ی کم، متوسط و زیاد واقع شده است. مساحت هر کدام از این محدوده‌ها در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت قزوین به روش دراستیک اصلاحی: به نظر می‌رسد نقشه‌ی به دست آمده به دلیل محدودیت‌های ناشی از تهیه‌ی آن با روش هم‌پوشانی شاخص قادر به بیان مناسب محدوده‌های آسیب‌پذیری در دشت قزوین نباشد. این موضوع با استفاده از نیترات اندازه‌گیری‌شده در منابع آب زیرزمینی دشت تایید شده است (Khol-ghi and Taki, 2002). برای مثال، منتها الیه شرقی و غربی دشت که شاخص آسیب‌پذیری دراستیک کم است، مقادیری بالا و متوسط از غلظت نیترات مشاهده می‌شود (شکل ۱۳). لذا برای بررسی هر چه بهتر شاخص‌های آسیب‌پذیری دشت قزوین و بررسی میزان صحت آن از داده‌های اندازه‌گیری‌شده نیترات استفاده و شاخص ارزیابی پتانسیل آلودگی مجدداً بررسی شد. برای این کار باید ابتدا از نرمال بودن توزیع داده‌های غلظت نیترات مطمئن گردید. پس از بررسی داده‌ها و تعیین نرمال نبودن آن‌ها، با استفاده از تبدیل لگاریتمی، توزیع آن‌ها به نرمال بسیار نزدیک شد. پس از آن رتبه‌های اصلاحی محاسبه گردیدند. با رتبه‌های اصلاحی جدید نقشه پتانسیل آلودگی جدید تهیه گردید که در شکل (۱۴) ارائه شده است.



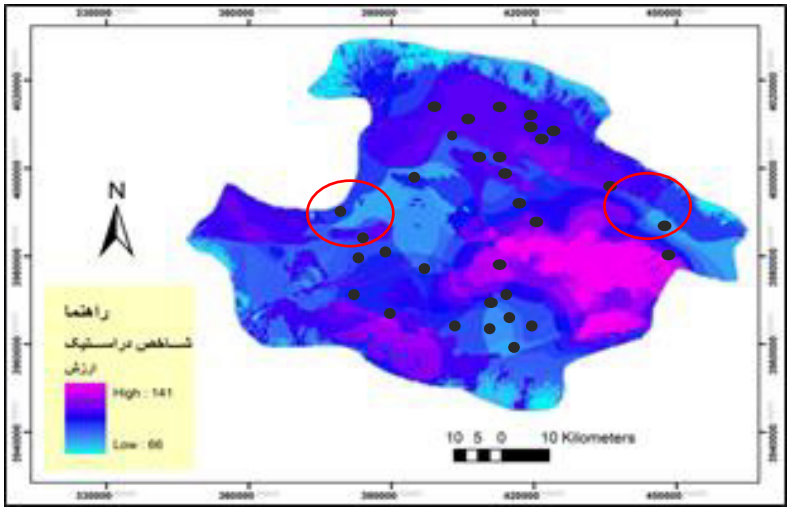
شکل ۱۱ . نقشه‌ی آسیب‌پذیری دراستیک

Fig 10. DRASTIC vulnerability map



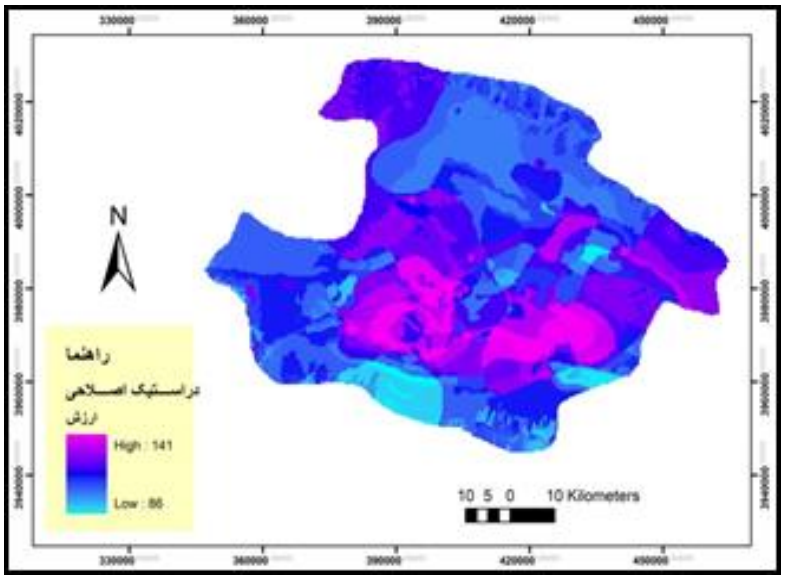
شکل ۱۲. درصد فراوانی آسیب‌پذیری دراستیک

Fig 12. DRASTIC vulnerability frequency percentage



شکل ۱۳. محدوده دارای تناقض در شاخص دراستیک و غلظت نیترات (Kholghi and Taki, 2002)

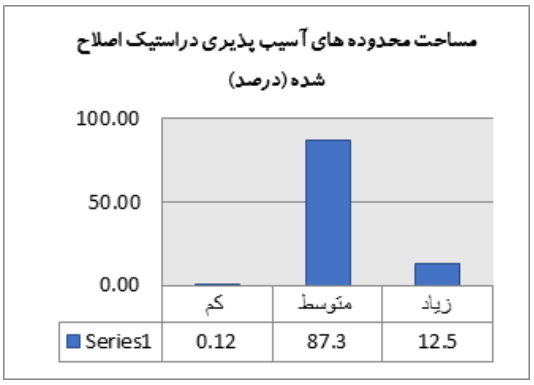
Fig 13. Range with contradictions in DRASTIC index and nitrate concentration



شکل ۱۴. نقشه‌ی آسیب‌پذیری شاخص دراستیک آبخوان قزوین پس از اصلاح رتبه‌ها

Fig 14. Vulnerability map of DRASTIC index of Qazvin aquifer after correcting the ratings

طبق نقشه‌ی دراستیک اصلاح شده و بر اساس جدول (۲) که نشان‌دهنده‌ی توصیف علمی آسیب‌پذیری است دشت قزوین از لحاظ آسیب‌پذیری در سه محدوده‌ی کم، متوسط و زیاد قرار می‌گیرد. مساحت هر کدام از این محدوده‌ها در شکل (۱۶) نشان داده شده است که مشاهده می‌شود بخش عمده‌ای از دشت که در محدوده کم آسیب‌پذیر بود در کلاس متوسط قرار گرفته است و محدوده کم آسیب‌پذیر مساحتی نزدیک به صفر را به خود اختصاص داده است.



شکل ۱۵. درصد فراوانی دراستیک اصلاح شده

Fig 15. Modified DRASTIC Frequency

تحلیل حساسیت

به منظور بهبود هر چه بیشتر شاخص آسیب‌پذیری دراستیک، وزن‌های استاندارد با استفاده از روش تحلیل حساسیت تک پارامتری برای ناحیه مورد مطالعه اصلاح شدند. در این تحقیق آسیب‌پذیری به وسیله نرم افزار ILWIS و با استفاده از رابطه (۲) تحلیل حساسیت انجام و نتایج آن در جداول (۳) و (۴) ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهد که لایه عمق تأثیر کمتری در آسیب‌پذیری دشت قزوین دارد و وزن کمتری را به خود اختصاص می‌دهد و وزن لایه توپوگرافی(شیب) پس از تحلیل حساسیت بیشتر گردید. وزن لایه‌های غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی نیز بیشتر شدند و وزن تغذیه کمتر شد ولی وزن محیط آبخوان و محیط خاک تغییری نکرد. در نهایت با وزن‌های پس از تحلیل حساسیت و رتبه‌های اصلاحی نقشه جدید حاصل گردید که در شکل (۱۶) قابل مشاهده است. در نقشه بدست آمده در مقایسه با نقشه پتانسیل آلودگی دراستیک اصلاحی (شکل ۱۶) تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود.

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری دشت قزوین به روش دراستیک فازی: همانگونه که پیشتر بیان شد، از لایه‌های اطلاعات ورودی به مدل تلفیقی دراستیک، سه لایه هدایت هیدرولیکی، شیب و عمق سطح آب زیرزمینی دارای ماهیت فازی و مقادیر پیوسته می‌باشند. از آنجا که شیب در بخش‌های میانی دشت قزوین بسیار کم می‌باشد و علی‌رغم اینکه در رتبه‌بندی دراستیک در دو کلاس ۹ و ۱۰ قرار می‌گیرد لزومی برای تهیه‌ی نقشه‌ی شیب دراستیک در دشت دیده نمی‌شد، نقشه مورد نظر ساخته و ارائه گردید. پس از آن نقشه‌ی دراستیک فازی آبخوان بدست آمد، برای این منظور نقشه‌های حاصل را طبق وزن دهی‌های دراستیک با هم جمع کرده و نقشه فازی نهایی بدست آمد. شکل (۱۷) نشان‌دهنده‌ی نقشه‌ی فازی دراستیک دشت قزوین می‌باشد.

مقایسه‌ی نقشه‌های فازی دراستیک، دراستیک اصلاحی و دراستیک معمولی: برای این منظور مساحت قسمت‌هایی از دشت که در کلاس‌های مختلف آسیب‌پذیری در این سه نقشه بود محاسبه شده و بر حسب درصد بیان شدند. طبق جدول (۲) پس از اعمال دراستیک فازی در منطقه مورد مطالعه ۲/۱۸ درصد از مساحت دشت قزوین در محدوده‌ی با خطرپذیری بالا می‌باشد و ۰/۸۷ درصد دشت در محدوده‌ی با خطرپذیری کم می‌باشد. اما محدوده‌ی با خطر پذیری متوسط با ۹۶/۹۵ درصد بیشترین مساحت را به خود اختصاص می‌دهد.

جدول ۳. نتایج آماری تحلیل حساسیت تک پارامتری شاخص دراستیک

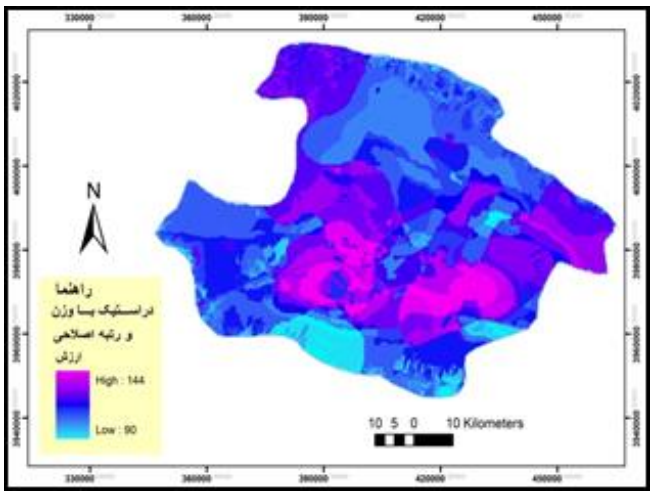
Table 3. Statistical results of single-parameter sensitivity analysis of DRASTIC index

وزن موثر ٪ Effective Weight %				وزن تئوریک ٪ Theoretical weight percentage	وزن تئوریک Theoretical weight	پارامتر Parameter
انحراف معیار ٪ Standard Deviation	حداکثر ٪ Max	حداقل ٪ Min	میانگین ٪ Avg			
2.19	24.76	11.03	17.19	21.7	5	عمق (D) Depth
4.31	28.57	6.11	15.08	17.4	4	تغذیه (R) Recharge
1.35	21.43	10.64	12.98	13	3	آبخوان (A) Aquifer media
2.98	15.05	1.47	8.62	8.7	2	خاک (S) Soil media
0.784	10.35	10.08	7.68	4.3	1	توپوگرافی (T) Topography
3.62	38.04	11.03	23.81	21.7	5	غیر اشباع (I) unsaturated
2.03	20.69	6.62	14.69	13	3	هدایت هیدرولیکی (C) Hydraulic Conductivity

جدول ۴. وزن‌های اصلاح شده پس از تحلیل حساسیت تک پارامتری شاخص دراستیک

Table 4. Modified weights after single-parameter sensitivity analysis of DRASTIC index

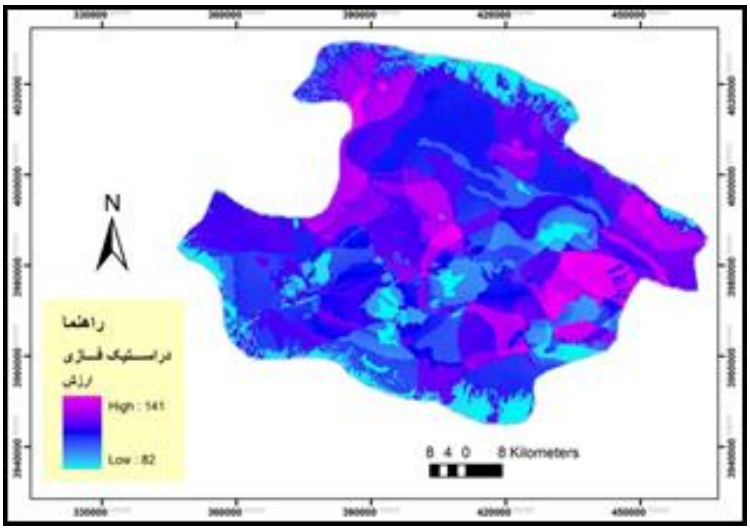
هدایت هیدرولیکی (C) Hydraulic Conductivity	غیر اشباع (I) Vadose zone	شیب (T) Topography	خاک (S) Soil media	آبخوان (A) Aquifer media	تغذیه (R) Recharge	عمق (D) Depth	پارامتر Parameter
3.39	5.49	1.79	2	3	3.47	3.96	وزن اصلاح شده Modified weight



شکل ۱۶. نقشه‌ی آسیب‌پذیری شاخص دراستیک دشت قزوین پس از اصلاح رتبه‌ها و وزن‌ها

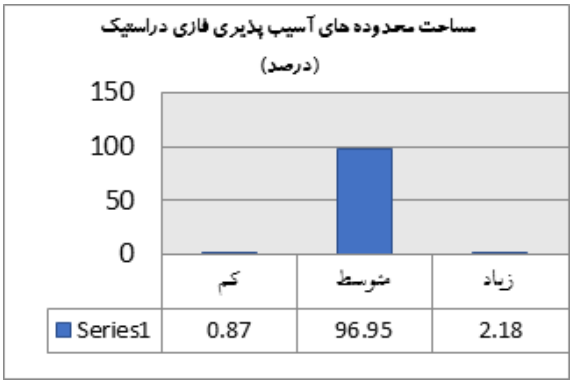
Fig 16. Vulnerability map of DRASTIC index Qazvin Plain after correcting the ranks and weights

نکته حائز اهمیت در این مورد می‌تواند این باشد که همانطور که تغییر محسوسی در نتایج حاصل از دراستیک پیش از اصلاح و پس از اصلاح به وجود آمد، پس از فازی‌سازی دراستیک نیز در نتایج حاکی از خطرپذیری دشت اختلافاتی دیده شد و درصد مساحت محدوده زیاد آسیب‌پذیر بسیار کمتر شده که از دید این محققین و با توجه به غلظت نیترات در دشت می‌تواند دور از انتظار و واقعیت باشد. در جدول (۶) و همچنین با مقایسه شکل‌های (۱۴) و (۱۶) مربوط به دراستیک اصلاحی و فازی شده می‌توان تغییر کلاس در بخش‌های مختلف دشت را به وضوح مشاهده نمود. از طرفی، تحلیل حساسیت نشان داد که مدل دراستیک اصلاحی مدلی بهینه محسوب می‌گردد.



شکل ۱۷. نقشه‌ی فازی دراستیک آبخوان دشت قزوین

Fig 17. Fuzzy DRASTIC map of Qazvin plain aquifer



شکل ۱۸. درصد فراوانی در منطق فازی

Fig 18. Frequency percentage in fuzzy DRASTIC

جدول ۶. درصد آسیب پذیری دراستیک فازی، دراستیک اصلاحی و دراستیک معمولی

Table 6. Vulnerability percentage of Normal, Modified, and Fuzzy DRASTIC

شماره‌ی کلاس Class Number	کلاس آسیب پذیری Vulnerability class	درصد آسیب پذیری منطق فازی Fuzzy Vulnerability%	درصد آسیب پذیری دراستیک اصلاحی Modified Vulnerability%	درصد آسیب پذیری هم پوشانی شاخص Index Overlay Vulnerability%
کم Low	2	0.87	0.12	32.8
متوسط moderate	3	96.95	87.3	62.5
زیاد High	4	2.18	12.5	4.7
مجموع		100	100	100

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به مقایسه آسیب‌پذیری دشت قزوین با روش‌های دراستیک معمولی، اصلاحی و فازی پرداخته است. بر اساس مدل دراستیک معمولی و با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی مقدار آسیب‌پذیری برای آبخوان دشت قزوین بین ۶۶ تا ۱۴۱ به دست آمد. با توجه به محاسبات انجام شده، در روش دراستیک معمولی بیش از ۶۲ درصد از مساحت دشت قزوین در محدوده‌ی آسیب‌پذیری متوسط قرار گرفته است و آسیب‌پذیری زیاد و کم به ترتیب ۵ و ۳۳ درصد از ناحیه را به خود اختصاص داده‌اند. طبق نقشه‌های دراستیک قسمت‌هایی از دشت قزوین (میانه دشت) به دلیل زیاد بودن هدایت هیدرولیکی و بخش جنوب شرقی به دلیل کم بودن عمق سطح آب زیرزمینی در محدوده آسیب‌پذیری بالا قرار گرفت. برای صحت‌سنجی مدل ارائه شده، از غلظت نیترات نرمال شده با پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آبخوان استفاده شد. بر این اساس، تناقضاتی در دشت مشاهده شد که نشان‌دهنده مناطقی با غلظت بالای نیترات و آسیب‌پذیری کمتر مدل دراستیک (در نواحی شمال غرب و شرق دشت) بود. شاخص اصلاح شده با تابع نرمال شده نیترات نشان داد که بخش وسیعی از دشت (حدود ۸۷ درصد) در رتبه متوسط آسیب‌پذیری قرار دارد. بر این اساس، مناطق کم آسیب‌پذیر در بررسی دراستیک معمولی در کلاس متوسط دراستیک اصلاحی قرار گرفتند. از طرفی در تحلیل حساسیت انجام شده بر روی مدل دراستیک، مشاهده شد که بیشترین تطابق بین مدل دراستیک اصلاحی و پهنه‌بندی پس از تغییر وزن‌ها با تحلیل حساسیت وجود دارد. بر این اساس، پس از اعمال تحلیل حساسیت تک پارامتری و تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده، وزن لایه‌های عمق آبخوان و تغذیه کمتر، وزن لایه‌های توپوگرافی(شیب)، غیر اشباع و هدایت هیدرولیکی بیشتر شد و وزن لایه‌های محیط آبخوان و محیط خاک بدون تغییر بود. مدل با استفاده از تابع فازی تک عضویتی مجدداً راه اندازی شد و محدوده‌ی با خطرپذیری متوسط با ۹۶/۹۵ درصد بیشترین مساحت را به خود اختصاص داد. بر اساس مدل دراستیک فازی، درصد بسیار کم مساحت محدوده بسیار آسیب‌پذیر با توجه به غلظت نیترات در دشت می‌تواند دور از انتظار و واقعیت باشد. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق می‌توان چنین نتیجه گیری کرد که در منطقه مورد مطالعه آبخوان دشت قزوین دراستیک اصلاح شده توسط داده‌های نیترات بهترین عملکرد را در بین روش‌های استفاده مذکور دارد و نتایج آن از دراستیک و فازی دراستیک قابل قبول‌تر می‌باشد.

منابع

Aller, L., Bennet, T. & Lehr. (1987). DRASTIC, A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydro geologic Settings, EPA 600/2-87-035. Ada, Oklahoma, U.S.Environmental Protection Agency.

Antonakos, A.K., Lambrakis. & N.J. (2007). Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the DRASTIC model, an example from NE Korinthia, Greece, Journal of Hydrology, 333, 288-304.

Babiker, I.S., Mohamed, M.A.A., Hiyama, T. & Kato, K. (2005). A GIS based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, Central Japan, Science of the Total Environment, 345(1-3), 127–140.

Napolitano, P., & Fabbri, A.G. (1996). Single parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS Hydro GIS 96: application of geographical information systems in hydrology and water resources management, Proceedings of Vienna Conference, IAHS Pub, 235, 559–566.

Vrba, J., & Zoporozec, A. (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability, International Contributions to Hydrogeology, Verlag Heinz Heise GmbH and Co. KG.

Ab Ara Sazeh Consulting Engineering

example from NE Korinthia, Greece, Journal of Hydrology, 333, 288- 304.

Anvari, S. & Rezakhani Nejad, M. (2022). A GIS-Based DRASTIC Model for Assessing Aquifer Vulnerability, Irrigation science and engineering, 45(2), 19-29. doi: 10.22055/jise.2022.41088.2033. [In Persian].

Asghari Moghadam, A., Nadiri, A. & Paknia, V. (2016). Vulnerability assessment of Dasht Bostan Abad aquifer using DRASTIC and SINTACS methods, Hydrogeomorphology, 3 (8), 28-52. [In Persian].

Babiker, I.S., Mohamed, M.A.A., Hiyama, T. & Kato, K. (2005). A GIS based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, Central Japan, Science of the Total Environment, 345(1-3), 127–140.

Bahrami, I. & Shahidi, A. (2022). Improving the DRASTIC Model by Programming Gene Expression in Determining Aquifer Vulnerability to Nitrate, Case Study: Kermanshah Plain Aquifer, Hydrogeomorphology, 8(28), 39-62. doi: 10.22034/hyd.2021.44284.1574. [In Persian].

Barbulescu, A. (2020). Assessing Groundwater Vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-Like Methods: A Review. Water, 12(5), 13-56. https://doi.org/10.3390/w12051356

Boughriba, M., Barkaoui. A., Zarhloule. Y., Lahmer. Z., El-Houadi. B. & Verdoya, M. (2009). Groundwater vulnerability and risk mapping of the Angad transboundary aquifer using DRASTIC index method in GIS environment, Arabian Journal of Geoscience, 3, 207-220

Faryabi, M., Kalantari, N., Chitsazan, M. & Rahimi, M. (2007). Evaluation of the effect of agricultural fertilizers on nitrate contamination Company (2009). Qazvin aquifer pollution atlas. Department of Geology and Hydrogeology. Department of Environment Islamic Republic of Iran. [In Persian].

Abkhan Consulting Engineers. (2013). Studies on updating the balance of water resources of the study areas of the Namak Lake watershed, Qazvin study area water resources balance report (4106). [In Persian].

Afrozi, M., & Mohammadzadeh, H. (2011). Evaluation and zoning of vulnerability of Farsan-Jonghan plain to pollution using DRASTIC index in GIS environment, The 15th conference of the Geological Society of Iran, Tarbiat Moalem University of Tehran. Iran. [In Persian].

Al Hallaq, A.H., & Elaish, B.S.A. (2012). Assessment of Aquifer Vulnerability to Contamination in Khanyounis Governorate, Gaza Strip—Palestine, Using the DRASTIC Model within GIS Environment, Arabian Journal of Geosciences, 5, 833-847. https://doi.org/10.1007/s12517-011-0284-9

Al-Adamat, R.A.N., Foster, I.D.L. & Baban, S.M.J. (2003). Groundwater vulnerability and risk mapping for the Basaltic aquifer of the Azraq basin of Jordan using GIS, Remote sensing and DRASTIC, Applied Geography, 23(4), 303-324, 0143-6228, https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2003.08.007.

Aller, L., Bennet, T. & Lehr. (1987). DRASTIC, A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydro geologic Settings, EPA 600/2-87-035. Ada, Oklahoma, U.S.Environmental Protection Agency.

Antonakos, A.K. & Lambrakis, N.J. (2007). Development and testing of three hybrid methods for the assessment of aquifer vulnerability to nitrates, based on the DRASTIC model, an

the chemical quality of groundwater (case study), 1st Conference of Environmental Engineering, Tehran https://civilica.com/doc/11878. [In Persian].

Priyank, P., Darshan M. & Neeraj, S. (2022). A review on the application of the DRASTIC method in the assessment of groundwater vulnerability. Water Supply, 22 (5), 5190–5205. doi: https://doi.org/10.2166/ws. (2022).126

Rahmani, M. & Azari, T. (2019). Application of DRASTIC Model in the Studying Process of Industrial Development of Sari Plain with its impact on environmental pollution, Environmental Research and Technology, 4(6), 83-92. SID. https://sid.ir/paper/375493/fa. [In Persian].

Rangzen, K., Ziyaian, P., Mirzaei, L. & Alikhani, P. (2006). Vulnerability assessment of Varamin plain groundwater to nitrate pollution using modified DRASTIC in GIS environment, st Conference of Environmental Engineering, Tehran. [In Persian].

Regional Water Company of Qazvin. (2019). Statistics and information on groundwater sources. [In Persian].

Sadat-Noori, M. & Ebrahimi, K. (2016). Groundwater vulnerability assessment in agricultural areas using a modified DRASTIC model, Environ Monit Assess, 188, 19. https://doi.org/10.1007/s10661-015-4915-6

Shuaijun, H., Maosheng, Z., Yin, L., Yunfeng, L. & Jiaqiu, D. (2011). A GIS-based groundwater vulnerability assessment for the Northern Shaanxi energy and chemical base, China. 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection, 4, 2789-2793.

Varol, SO. & Davraz, A. (2010). Hydrogeological investigation of Sarkikaraagac Basin (Isparta, of groundwater in Baghmolek Plain using DRASTIC model, Geomatics conference. [In Persian].

Haji Karimi, A., Melmasi, S. & Saraei, L. (2011). Investigating the environmental vulnerability of the groundwater of Dasht Bartash and Dehlran using the DRASTIC model, the 15th conference of the Geological Society of Iran. Tarbiat Moalem University of Tehran. Iran. [In Persian].

Ilhem, A., Chemseddine, F. & Larbi, D. (2017). Application of DRASTIC method for determining the vulnerability of an alluvial aquifer, Morsott - El Aouinet north east of Algeria: using arcgis environment, Energy Procedia, 119, 308-317, 1876-6102, https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.114.

Kholghi, M. & Taki, R. (2002). Vulnerability assessment of Qazvin plain groundwater, Journal of Engineering Geology, 1(3), 255. [In Persian].

Mardan, H. & Yarqali, B. (2019). Vulnerability zoning of Ardabil alluvial plain aquifer using integration of geographic information system and DRASTIC model, Environmental Science and Technology, 22(6), 391-407. doi: 10.22034/jest.2018.20118.2915. [In Persian].

Napolitano, P. & Fabbri, A.G. (1996). Single parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS Hydro GIS 96: application of geographical information systems in hydrology and water resources management. Proceedings of Vienna Conference, IAHS Pub, 235, 559–566.

Piscopo, G., P. Please. & Sinclair, P. (2001). Macquarie Catchment Groundwater Vulnerability Map Explanatory Notes, Department of Land and Water Conservation, New South Wales.

Pishkar Dehkordi, A., & Pourmaghods, H. (2006). Investigating the effect of industrial wastewater on

Turkey) and groundwater vulnerability, Water International, 35(2), 177-194, doi: 10.1080/02508061003663445

Voudouris, K., Nazakis, N., Polemio, M. & Kareklas, K. (2010). Assessment of intrinsic vulnerability using the DRASTIC model and GIS in the Kiti aquifer, Cyprus, European Water, 30, 13-24.

Vrba, J. & Zoporozec, A. (1994). Guidebook on mapping groundwater vulnerability, International Contributions to Hydrogeology. Verlag Heinz Heise GmbH and Co. KG.

Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Fall 2023, Vol.1, No.3, pp 57-72

10.22077/JDCR.2023.6432.1025

Investigation of the Hydrological Drought of Groundwater Using HDMI Index in Urmia Plain

Arvin Miralizadeh[*1], Somayeh Hejabi [2], Mehdi Kouchakzadeh [3]

1. M.Sc Student, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

***Corresponding Author: Arvinmiralizadeh@modares.ac.ir**

Keywords:
Drought, Groundwater Resources Index, Hydrological drought management index, Standardized Well Discharge Index, Modified Standad Electrical Conductivity Index

Received:
30 May 2023

Revised:
26 Jun 2023

Accepted:
03 Jul 2023

Extended Abstract

Introduction

Groundwater is one of the important resources that provide resilience against climate change and water shortage during drought. One of the advantages of using groundwater during a drought is that it is often less vulnerable to fluctuations in weather patterns than surface water. While surface water can be affected by changes in precipitation and temperature, groundwater is insulated by the layers of rock and sediment that surround it, which can help maintain a relatively stable water supply even during drought. Therefore, accurate and sustainable management of groundwater resources is important, especially during times of drought when the demand for water is high. Urmia Plain, located in the northwest of Iran, is a semi-arid region that relies heavily on groundwater for agricultural and domestic purposes. Droughts in this region have become increasingly frequent and severe and are a significant threat to the sustainability of groundwater resources. As a result, sustainable management of groundwater resources during drought requires a combination of actions and decisions aimed at reducing water demand, increasing water supply, and improving water use efficiency. By using the combination of quantitative indicators of drought GRI (Groundwater Resource Index), SDWI (Standardized Discharge Index of Exploitation Wells) and qualitative index MSECI (Modified Standard Electrical Conductivity Index) to multivariable hydrological drought management index HDMI in Urmia plain during the

How to cite this article:
Miralizadeh, A., Hejabi, S., & Kouchakzadeh, M. (2023). Investigating the hydrological drought of groundwater using HDMI index in Urmia plain. Journal of Drought and Climate change Research, 1(3), 57- 72. 10.22077/JDCR.2023.6432.1025.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

years (2003 to 2018) was discussed and the trend of this management index was investigated using Mann-Kendall and Sen's Slope.

Materials and Methods

In order to carry out this study, information on quantitative and qualitative parameters of groundwater in Urmia plain was received from the Water Resources Management Organization. Quantitative information of groundwater, including the level of underground water (water table), discharge of observation wells, and qualitative parameters, including sampling information of observation wells, such as electrical conductivity (EC), are used to calculate the following drought indicators

Drought indices

Groundwater Resources Index

The GRI index is used to monitor the hydrological drought of groundwater. At first, a suitable statistical distribution is fitted, which is usually used due to the flexibility of the gamma distribution. Then, the cumulative distribution function is converted to a normal distribution using equal probabilities, so that its standardized and average becomes zero for each region and each desired period and the standard deviation becomes one. Its positive numbers indicate the absence of drought and negative numbers indicate the existence of this phenomenon.

standardized electrical conductivity index

Electrical conductivity is one of the most important parameters in determining the quality of groundwater. Extracting and calculating the SECI index is the same as the GRI index, with the difference that in this index, the electrical conductivity factor is used instead of the groundwater level.

Standardized Well Discharge Index

This index uses the flow rate of production wells to evaluate the quantitative status of the aquifer, the extraction and calculation method of the SWDI index is the same as the GRI index, and the gamma distribution can be used, with the difference that in this index, the flow rate of production wells is used instead of the groundwater level.

Results and Discussion

The results of the study showed that Urmia plain has experienced several hydrological droughts during the years under study. The monitoring results of hydrological drought management index for the entire region of Urmia Plain show that the longest observed duration is 7 years, which started from 2012 and until the end of 2018, and the most severe drought observed in 2018 was -2.2.

The results of Mann-Kendall's test on the drought indicators of Urmia Plain are presented in the table below (Table 1). The results show that the HDMI and GRI drought indices have a decreasing trend with a slope of -0.144 and -0.297 respectively, which if the current situation continues, the GRI index in 2026 will be less than -2 and the HDMI index in 2031 will reach less than -6. Therefore, taking management decisions to prevent the consequences of the drought of groundwater resources is a vital and necessary matter.

Conclusion

Using the HDMI index can help decision makers to identify periods of hydrological drought and take appropriate measures to reduce the effects of drought on groundwater resources. The findings of this study can be used for better management of groundwater resources in Urmia plain. Also, the suggestion of future studies on the effects of climate change and human activities on the groundwater resources of Urmia plain should be considered.

Table 1. General results of Mann-Kendall test in Urmia Plain

S (Sen's Slope)	**Z** MK	
-0.144	**-5.62	GRI
-	-0.219	SDWI
-	0.276	SECI
-0.297	**-6.19	HDMI

Significance at the 0.05 level**

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره سوم، پیاپی ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۷۲ - ۵۷

doi 10.22077/JDCR.2023.6432.1025

بررسی خشکسالی هیدرولوژیک آب های زیرزمینی با استفاده از شاخص HDMI در دشت ارومیه

آروین میرعلیزاده*[1]، سمیه حجابی[2]، مهدی کوچک زاده[3]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه تربیت مدرس،تهران، ایران
۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳. دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*نویسنده مسئول: Arvinmiralizadeh@modares.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
خشکسالی، شاخص مدیریت خشکسالی هیدرولوژیکی، شاخص منبع آب زیرزمینی، شاخص دبی استانداردشده چاه‌های بهره‌برداری، شاخص هدایت الکتریکی استاندارد اصلاح‌شده

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۳/۰۹

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۴/۰۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۴/۱۲

چکیده

از آنجاکه آب‌های زیرزمینی اهمیت بسزایی در تأمین نیاز آب مصرفی بخش‌های مختلف دارند درنتیجه مدیریت و برنامه‌ریزی پیامدهای ناشی از خشکسالی بر منابع زیرزمینی از مسائل مهم و حیاتی در برنامه‌ریزی و اداره کشورها محسوب می‌شود. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از ترکیب شاخص‌های کمی خشکسالی GRI (شاخص منبع آب زیرزمینی)، SDWI (شاخص دبی استانداردشده چاه‌های بهره‌برداری) و شاخص کیفی MSECI (شاخص هدایت الکتریکی استاندارد اصلاح‌شده) به شاخص چند متغیره مدیریتی خشکسالی هیدرولوژیکی HDMI در دشت ارومیه در طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ پرداخته‌شد. نتایج پایش این شاخص مدیریتی خشکسالی در دشت ارومیه نشان می‌دهد که طولانی‌ترین تداوم مشاهده‌شده طبق این شاخص مدیریتی ۷ سال است که از سال ۱۳۹۱ شروع و تا پایان سال ۱۳۹۷ ادامه‌دار بود و شدیدترین خشکسالی مشاهده‌شده در سال ۱۳۹۷ با مقدار ۲/۲- بوده است. جهت مشاهده روند خشکسالی بر روی شاخص‌های خشکسالی از آزمون من کندال استفاده شد نتایج نشان داد با ادامه این شیب‌خط روند فعلی در منطقه تا سال ۱۴۰۵ مقدار شاخص GRI به کمتر از ۲- و تا سال ۱۴۱۰ شاخص مدیریت خشکسالی HDMI به کمتر از ۶- خواهد رسید که نشان از وضعیت عدم بهره‌برداری و قرار گرفتن منابع زیرزمینی در معرض خشکسالی بسیار شدید است. در صورت ادامه وضع موجود امکان استفاده پایدار از منابع زیرزمینی دشت ارومیه غیرممکن خواهد بود.

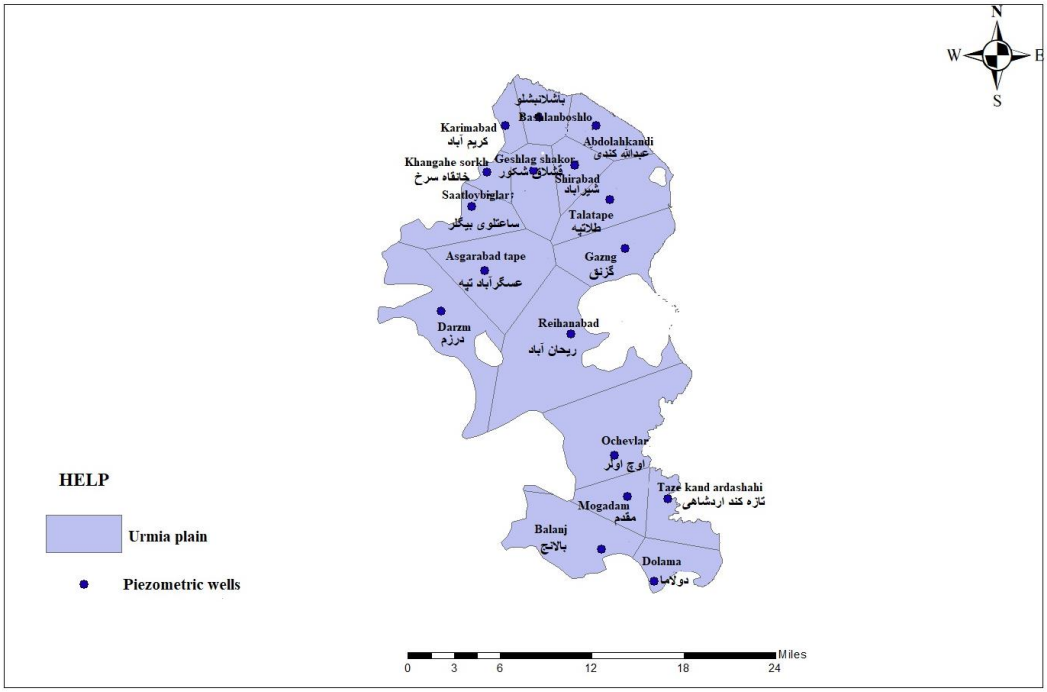
مقدمه

آب‌های زیرزمینی، یک منبع حیاتی برای میلیاردها نفر در سراسر جهان به شمار می‌روند و انعطاف‌پذیری را در برابر تغییرات آب‌وهوا و کمبود آب در طول خشکسالی فراهم می‌نمایند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل توزیع نامتوازن باران در زمان و مکان‌های مختلف، آب‌های زیرزمینی منبع اصلی تأمین آب شرب، صنعت و کشاورزی به‌حساب می‌آیند. هم‌زمان با افزایش جمعیت در جهان، به دلیل افزایش تقاضای آب و بهره‌برداری بیش‌ازحد، کمیت و کیفیت آب زیرزمینی در بسیاری از سفره‌های زیرزمینی در سراسر جهان کاهش‌یافته است. کارشناسان معتقدند انسان در قرن بیست و یکم با بحران کم‌آبی مواجه خواهد شد، این بحران در مناطق خشک و نیمه‌خشک کره‌ی زمین به علت محدودیت منابع آب سطحی چشم‌گیرتر خواهد بود(Belhassan, 2021; Mirzavand et al., 2020). نبود یک تعریف دقیق از پدیده خشکسالی موجب شده است تشخیص وقوع این پدیده طبیعی با مشکل مواجه شود، خشکسالی باید برای هر منطقه و هر بهره‌بردار به‌طور اختصاصی تعریف شود و نباید به دنبال یک تعریف واحد برای خشکسالی بود، بر اساس تعاریف مختلف ارائه‌شده برای خشکسالی، می‌توان آن را در ۴ دسته شامل خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی- اقتصادی تقسیم‌بندی نمود. خشکسالی هیدرولوژی مربوط به اثر دوره‌های خشکی بر آب‌های سطحی یا زیرزمینی است. خشکسالی زمانی اتفاق می‌افتد که سطح تراز ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی از حد معمول خود پایین‌تر باشد. علاوه بر بارش عامل های اقلیمی دیگر مانند دماهای بالا، توسعه شهری، تغییر در کاربری اراضی و تأسیس سدها نیز می‌توانند به‌طور عمده بر روی خشکسالی هیدرولوژی تأثیر بگذارند(Ndayiragije and Li, 2022). ارزیابی پایش خشکسالی و بررسی تأثیر آن بر منابع آب یکی از پیش‌نیازها جهت تهیه تصمیمات مدیریتی و استراتژیک از اقدامات مهم و اساسی مجریان و دست‌اندرکاران می‌باشد(Ghorbani et al., 2023). در سال‌های گذشته شاخص‌های مختلفی جهت تعریف کمی خشکسالی توسعه پیداکرده‌اند که کارایی این شاخص‌ها در پایش خشکسالی تحت تأثیر انتخاب دقیق این شاخص‌ها قرار می‌گیرد. بر همین اساس در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده از شاخص‌های مختلف خشکسالی توسط محققین استفاده‌شده است که در ادامه به نتایج تعدادی از آن‌ها اشاره می‌گردد: نصری و مدرس (Nasri and Modarres, 2017) به بررسی روند خشکسالی هیدرولوژیک با استفاده از شاخص‌های جریان کم در استان اصفهان پرداختند برای این منظور از دوری آماری ۲۰ ساله برای ۲۲ ایستگاه هیدرومتری مورداستفاده قراردادند. نتایج تحلیل روند با استفاده از روش من-کندال و همبستگی اسپیرمن نشان داد دبی میانگین روزانه و شاخص جریان‌های کم در اغلب ایستگاه‌ها دارای روند معنی‌دار منفی است. درنتیجه کاهش دبی روزانه و کاهش دبی جریان‌های کم به‌ویژه در سال‌های اخیر زنگ خطری برای مدیریت منابع آب به‌ویژه در حوضه سد زاینده‌رود در سال‌های آینده است. مصطفی و رحمان (Mustafa and Rahman, 2018) به بررسی روند و شدت خشکسالی شاخص SPI در دوره‌های زمانی مختلف در کشور اردن پرداختند و مشاهده نمودند خشکسالی طولانی‌مدت در کل کشور هر ۱۵ تا ۲۰ سال یک‌بار رخ می‌دهد. نتیجه آزمون من-کندال نشان از روند معنی‌دار کاهشی می‌دهد که به این نتیجه رسیدند در سال‌های نه‌چندان دور با کاهش تدریجی میزان بارندگی دچار خشکسالی شدید در منطقه خواهند شد. میرونیدیس و همکاران (Myronidis et al., 2018) به تحلیل و پیش‌بینی روند خشکسالی هیدرولوژیک در قبرس پرداختند، آن‌ها برای این منظور از شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی جریان استانداردشده (SDI) برای ۱۱ ایستگاه هیدرومتری استفاده کردند و مشاهده کردند این شاخص هیدرولوژیکی بر اساس آزمون من کندال در سری‌های زمانی سالانه و فصلی از روند معنی‌دار کاهشی با شیب سن۹/۴- درصد پیروی کرده است. افضل و رغاب (Afzal and Ragab, 2019) خطر خشکسالی و تغییرات اقلیم بر منابع آب حوضه فروم در انگلستان تحت مدل DiCaSM با استفاده از سناریو تغییر اقلیم UKCP09 در آینده با استفاده از شاخص‌های خشکسالی SPI، RDI[1] وSMD[2] مورد بررسی قراردادند و افزایش شدت وقایع خشکسالی در تمام شاخص‌های

[1] Reclamation Drought Index
[2] Soil Moisture Deficit index

خشکسالی مشاهده کردند و بیشترین کاهش سطح منابع آب زیرزمینی را در دهه ۲۰۸۰ پیش‌بینی کردند. ناظری تهرودی و همکاران (Nazeri Tahroudi et al., 2020) به بررسی مدیریت خشکسالی هیدرولوژیکی در استان خراسان جنوبی پرداختند، برای این کار از شاخص‌های منبع آب زیرزمینی(IRG[1])، هدایت الکتریکی اصلاح‌شده (MSECI[2]) و دبی برداشت استانداردشده (IDWS[3]) استفاده کردند و با تلفیق این سه شاخص به شاخص مدیریت خشکسالی هیدرولوژیکی IMDH[4] رسیدند و مشاهده کردند که بهره‌برداری از آب زیرزمینی در بیشتر نواحی منطقه موردمطالعه با مشکل مواجه گردیده، به‌طوری‌که ۸۶ درصد مناطق موردمطالعه در وضعیت بهره‌برداری محدود و ۱۰ درصد در وضعیت بهره‌برداری بدون مشکل و ۴ درصد در وضعیت عدم بهره‌برداری قرار دارند. ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi et al., 2022) به ارزیابی تغییرات خشکسالی با استفاده از آزمون من کندال و شیب سن در استان کرمان در طی سال‌های (۱۹۹۰ -۲۰۱۸) با استفاده از شاخص خشکسالی بارش- تبخیر و تعرق استاندار شده پرداختند و به این نتیجه رسیدند شیب روند شاخص IEPS[5] در طی دوره زمانی (۱۹۹۰ - ۱۹۹۶) افزایشی است که بیانگر کاهش خشکسالی و در طی سال‌های (۱۹۹۷ - ۲۰۱۸) روند کاهشی داشته است که نشان‌دهنده افزایش شدت خشکسالی در سال‌های اخیر در این استان است. ویشواکارما و همکاران (Vishwakarma et al., 2022) به بررسی شاخص‌های خشکسالی SPEI،SPI و IPSA[6] پرداختند و روند این شاخص ها را با استفاده از آزمون من کندال و شیب سن در کشور هند مورد بررسی قرار داند و به این نتیجه رسیدند که ASPI بهتر از SPEI برای ارزیابی خشکسالی کشاورزی عمل می‌کند و شاخص ASPI از روند معنی‌دار با شیب سن ۰/۰۰۹- پیروی می‌کند که نشان می‌دهد احتمال قرار گرفتن در معرض خشکسالی در آینده نزدیک بسیار بالا است. توماسلا و همکاران (Tomasella et al., 2023) به بررسی اثرات خشکسالی و روند آن در برزیل با استفاده از دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) و شاخص بارش _ تبخیر و تعرق استانداردشده (SPEI) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که روند خشکسالی بر اساس دو شاخص موردمطالعه معنی دار بوده و در حال افزایش است. وقوع خشکسالی هیدرولوژیک در مقایسه با هواشناسی و کشاورزی با تأخیر روی می‌دهد درنتیجه کاهش یا جبران خسارات ناشی از این خشکسالی بسیار مشکل و پرهزینه است. بدین‌جهت آگاهی، برنامه‌ریزی و تهیه برنامه مدون مقابله با خشکسالی جهت پایش و کاهش خسارات ناشی از آن برای هر منطقه‌ای ضروری است ازآنجاکه در دشت ارومیه چنین مطالعاتی صورت نگرفته است. ازاین‌رو در این پژوهش با ترکیب ۳ شاخص خشکسالی کمی و کیفی آب زیرزمینی شامل SDWI،GRI و MSECI به بررسی روند مدیریتی هیدرولوژیکی شاخص چند متغیره HDMI در منطقه خشک و نیمه‌خشک دشت ارومیه پرداخته‌شده است. با توجه به داده های کمی وکیفی آب های زیرزمینی منطقه ۱۷ چاه پیزومتری مناطق مختلف در محدوده دشت ارومیه در بازه زمانی ۱۶ ساله (۱۳۸۲ - ۱۳۹۷) انتخاب گردید و با استفاده از روش چندضلعی تیسن پارامترهای موردنیاز نظیر سطح ایستابی، دبی چاه‌های بهره‌برداری و هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی به‌کل منطقه تعمیم داده شد و شاخص‌های خشکسالی مورداستفاده در پژوهش با استفاده از تابع آماری گاما در نرم‌افزار برنامه‌نویسی R موردمحاسبه قرارگرفته است.

[1] Groundwater Resources Index
[2] Standardized electrical conductivity index
[3] Standardized Well Discharge Index
[4] Hydrogeological Drought Management Index
[5] Standardized Precipitation Evapotranspiration Index
[6] Agricultural Standardized Precipitation Index



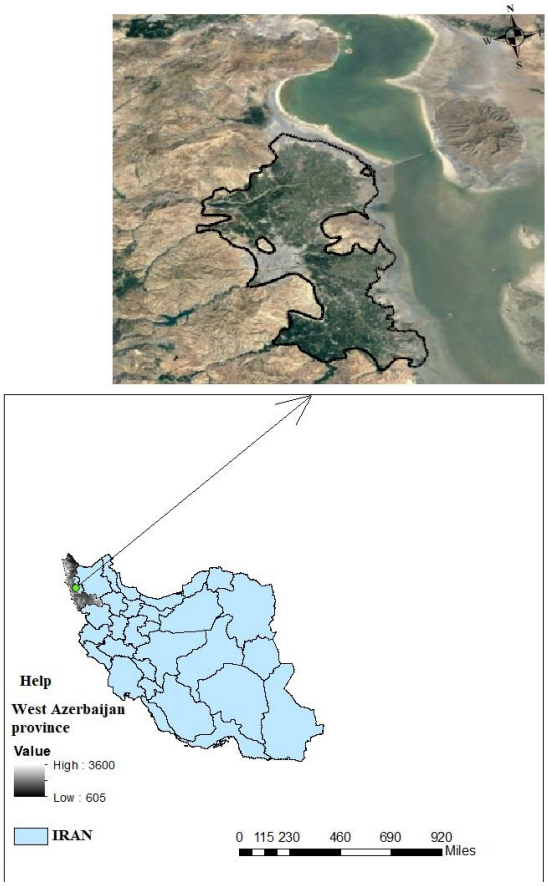
شکل ۱. پلیگون بندی منطقه موردمطالعه به روش چندضلعی تیسن

Fig1. Polygonization of the studied area using Thiessen's polygonal method

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

شهر ارومیه مرکز استان آذربایجان غربی است که در فاصله ۱۸ کیلومتری دریاچه‌ی ارومیه، در مختصات ۴۵ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۷ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی از مبدأ خط استوا در داخل جلگه‌ای به طول ۷۰ کیلومتر و به عرض ۳۰ کیلومتر قرارگرفته است. این شهرستان در آخرین سرشماری ارائه‌شده از سوی مرکز آمار ایران دارای جمعیتی بالغبر ۱۰۴۰۵۶۵ نفر است. دشت ارومیه با مساحت ۱۱۴۳۱۷ هکتار در کنار ضلع غربی دریاچه ارومیه قرارگرفته است. دشت ارومیه با متوسط بارندگی ۳۰۴ میلیمتر در سال دارای اقلیم سرد وخشک می باشد و متوسط سالانه تبخیر سطحی آن حدود ۱۵۰۰ میلیمتر تخمین زده شده است. این دشت در اراضی ساحلی و کم شیب غرب دریاچه ارومیه واقع‌شده و رودخانه‌های شهرچای، روضه چای، باراندوزچای و نازلو چای پس از عبور از ارتفاعات غربی وارد دشت ارومیه شده و به دریاچه ارومیه می‌ریزند.



شکل ۲. محدوده مورد مطالعه

Fig2. Study area

داده های مورد استفاده

جهت انجام این مطالعه، اطلاعات داده‌های پارامترهای کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی دشت ارومیه از اداره‌ی کل آب منطقه‌ای و سازمان مدیریت منابع آب دریافت شد. اطلاعات کمی آب زیرزمینی شامل سطح آب زیرزمینی (ایستابی)، دبی چاه‌های مشاهداتی و پارامترهای کیفی شامل اطلاعات نمونه‌برداری چاه‌های مشاهداتی نظیر هدایت الکتریکی (EC) استفاده‌شده است. به‌منظور تعیین سال‌های مشترک آمار ۱۷ حلقه چاه پیزومتری طی دوره‌ی آماری (۱۳۸۲ - ۱۳۹۷) انتخاب و آزمون همگنی به روش ران تست، روی‌داده‌ها انجام و داده‌های مفقود به روش نسبت‌ها با نزدیک‌ترین ایستگاه یا چاه مشاهداتی که بیشترین همبستگی را با ایستگاه دارای داده‌های کامل داشته است، بازسازی شد.

شاخص منابع آب زیرزمینی GRI

شاخص منبع آب زیرزمینی GRI به‌منظور پایش خشکسالی هیدرولوژیکی آب‌های زیرزمینی به‌کاربرده می‌شود که توسط مندسینو و سناتوره برای منطقه‌ی مدیترانه‌ای در کالابریای ایتالیا در سال ۲۰۰۸ ایجاد و مورد آزمایش قرار گرفت، آن‌ها شاخص GRI را با استفاده از یک مدل ساده تعادل توزیع ماهانه آب استخراج و مورد ارزیابی قراردادند(Mendicino et al., 2008). برای محاسبه این شاخص نیز می‌توان از توزیع گاما استفاده کرد. شاخص GRI با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$GRI_{y,m} = \frac{D_{y,m} - \mu_{D,m}}{\delta_{D,m}} \quad (۱)$$

که در این رابطه، $D_{y,m}$ تراز سطح آب زیرزمینی در ماه m از سال y است. $\mu_{D,m}$ و $\delta_{D,m}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار داده‌های تراز سطح آب زیرزمینی ماه m برای سال D است. وضعیت خشکسالی مشاهده‌شده، طبق این شاخص هیدرولوژیکی را با استفاده از (جدول ۱) می‌توان مورد ارزیابی قرارداد.

شاخص SECI

هدایت الکتریکی یکی از مهم‌ترین پارامترها در تعیین وضعیت کیفی آب زیرزمینی به‌حساب می‌آید. استخراج و نحوه محاسبه شاخص SECI همانند شاخص GRI است، با این تفاوت که در این شاخص از عامل هدایت الکتریکی به‌جای تراز سطح آب زیرزمینی استفاده می‌شود.

$$SECI = \frac{EC_i - \overline{EC}}{\sigma} \quad (۲)$$

که EC_i شوری (هدایت الکتریکی)، EC متوسط شوری (هدایت الکتریکی) و σ انحراف معیار شوری (هدایت الکتریکی) است.

ازآنجاکه روند نزولی سطح آب زیرزمینی مشخص‌کننده خشکسالی است، اما در مورد هدایت الکتریکی این روند به‌صورت صعودی است زیرا براثر خشکسالی و افت سطح آب، هدایت الکتریکی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. برای هماهنگ شدن دو شاخص منبع آب زیرزمینی و تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی براثر خشکسالی و درنهایت ارزیابی اثر ترکیبی آن‌ها در این مطالعه، شاخص هدایت الکتریکی به‌صورت زیر استاندارد شد(Faryabi and Mozaffarizade, 2017).

$$MSECI = -\left(\frac{EC_i - EC_{\text{Ave}}}{\sigma}\right) \quad (۳)$$

شاخص دبی استانداردشده چاه‌های بهره‌برداری SWDI

برای ارزیابی وضعیت کمی آبخوان‌ها معمولاً از ضرایب قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی آن‌ها استفاده می‌شود، اما ازآنجاکه دبی بیشتر نشان‌دهنده قابلیت انتقال بیشتر آبخوان و وضعیت هیدرولوژیکی مناسب‌تر است. از چگونگی پراکندگی چاه‌های بهره‌برداری و دبی آن‌ها برای ارزیابی پتانسیل کمی استفاده می‌شود(Nazeri Tahroudi et al., 2020b). این شاخص از دبی چاه‌های بهره‌برداری برای ارزیابی وضعیت کمی آبخوان استفاده می‌کند، استخراج و نحوه محاسبه شاخص SWDI نیز همانند شاخص GRI است و می‌توان از توزیع گاما استفاده کرد، با این تفاوت که در این شاخص از دبی چاه‌های بهره‌برداری به‌جای تراز سطح آب زیرزمینی استفاده می‌شود.

$$SWDI = \frac{Q_i - Q_{Ave}}{\sigma} \quad (۴)$$

SDWI شاخص دبی استانداردشده چاه‌های بهره‌برداری، Q_{Ave} متوسط دبی چاه‌های بهره‌برداری و σ انحراف معیار دبی چاه‌های بهره‌برداری است.

شاخص HDMI

شاخص HDMI یک شاخص چند متغیره است که از ترکیب پارامترهای کمی و کیفی، سطح آب زیرزمینی، هدایت

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت شاخص‌های GRI, SECI,SWDI (Mendicino et al., 2008).

Table1 . Severity classification of GRI, SECI, SWDI indicators(Mendicino et al., 2008).

مقدار شاخص Index value	طبقه‌بندی خشکسالی Classification of drought
2 < -	ترسالی بسیار شدید Very severe
1.5 تا 1.99	ترسالی شدید Severe
1 تا 1.49	Moderate ترسالی متوسط
0 تا 0.99-	نرمال Normal
1- تا 1.49-	خشکسالی متوسط Moderate drought
1.5- تا 1.99-	خشکسالی شدید Severe drought
- < 2-	خشکسالی بسیار شدید Very severe drought

الکتریکی و دبی چاه بهره‌برداری جهت مدیریت خشکسالی هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. فاریابی و مظفری زاده در سال ۱۳۹۶ با ترکیب دو شاخص کمی GRI و SWDI با یک شاخص کیفی MSECI به یک شاخص مؤثر در مدیریت خشکسالی برای چاه‌های بهره‌برداری رسیدند، دامنه تغییرات این شاخص در (جدول ۲) ارائه‌شده است.

$$HDMI = GRI + MSECI + SWDI \quad (۵)$$

جدول ۲. میزان تأثیر خشکسالی و پیشنهادهای مدیریتی شاخص HDMI(فاریابی و مظفری زاده، ۱۳۹۶).

Table 2. The impact of drought and management suggestions of the HDMI index (Faryabi and Mozafarizadeh, 2016)

مقدار شاخص HDMI HDMI index value	میزان تأثیر خشکسالی The impact of drought	چگونگی بهره‌برداری How to operate
- > 6	بدون تأثیر Effectless	بهره‌برداری بدون مشکل Operation without problems
3 تا 6	کم Low	بهره‌برداری بدون مشکل Operation without problems
0 تا 3	متوسط medium	بهره‌برداری با محدودیت کم Low-restraint operation
0 تا -3	متوسط medium	بهره‌برداری محدود Limited use
-3 تا -6	زیاد Much	عدم بهره‌برداری Non-exploitation
-6 > -	خیلی زیاد very much	عدم بهره‌برداری Non-exploitation

توزیع آماری گاما

توزیع گاما یکی از توزیع‌های احتمالی پیوسته دارای دو پارامتر مقیاس β و پارامتر شکل α است. ابتدا داده‌ها با توزیع احتمال دو پارامتری گاما برازش داده و به توزیع نرمال تبدیل می‌گردند. استفاده از این روش بر روی‌داده‌ها منجر به نمایش دقیق و مؤثر آن از طریق تابع ریاضی احتمال تجمعی می‌گردد. به کمک آن می‌توان احتمال رخ داد داده‌ها را حول محور یک از طریق جابجایی تابع احتمال تجمعی گاما به متغیر Z تصادفی نرمال استاندارد، با میانگین صفر و انحراف استاندارد یک به دست آورد. تابع توزیع گاما به‌صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی به‌صورت زیر طبق فرمول شماره (۶) تعریف‌شده است.

$$g(x_k) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x_k^{\alpha-1} e^{-x_k/\beta}, \mathrm{X} > 0 \quad (۶)$$

در این رابطه، α >۰ پارامتر شکل، β >۰ پارامتر مقیاس، X مجموع بارندگی در مقیاس زمانی k و Γ(α) تابع گاما است که بر اساس رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (۷)$$

آزمون من ـ کندال

روش‌های مختلفی برای تحلیل روند سیر تحولات متغیرهای محیطی ارائه شده است. از جمله این روش‌های می‌توان به آنالیز همبستگی و آزمون‌های ناپارامتری اشاره نمود، در این تحقیق به‌منظور آنالیز روند خشکسالی از آزمون نا پارامتری من کندال استفاده گردید. این آزمون ابتدا توسط من در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال در سال ۱۹۴۸ توسعه‌یافته شده است. این آزمون با استفاده از روابط زیر موردمحاسبه قرار می‌گیرد (Kendall, M.G. 1975.McKee, TB.1993)

$$S = \sum_{i=1}^{t} \sum_{j=t+1}^{T} \mathrm{sgn}\left(X_i - X_j\right) \quad (۸)$$

که در آن X_j مدار داده J، n تعداد داده‌ها و $\mathrm{sgn}\left(X_i - X_j\right)$ تابع علامت است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{sign}\,(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (۹)$$

جهت محاسبه واریانس آماره از رابطه شماره (۱۰) استفاده می‌شود. (۱۰)

$$\text{var}\,(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{n} tp(p)(p-1)(2p+5)}{18}$$

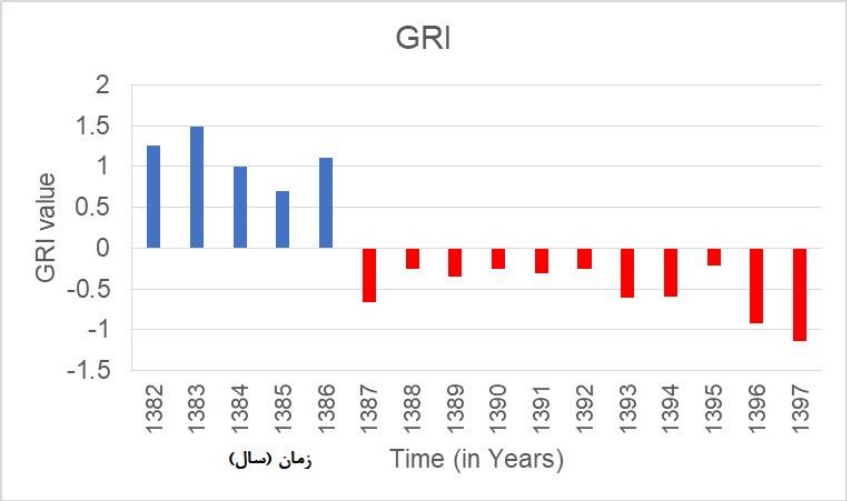
tp تعداد دنباله‌ها برای P امین مقدار و P تعداد مقادیر دنباله‌ها است. درنهایت آمار استانداردشده Z از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$z = \begin{cases} \dfrac{s-1}{\sqrt{\text{var}\,(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 \text{ when } & \text{if } s = 0 \\ \dfrac{s-1}{\sqrt{\text{var}\,(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (۱۱)$$

فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. در صورت وجود روند مقادیر Z مثبت نشان‌دهنده وجود روند مثبت و مقادیر Z منفی نشان‌دهنده وجود روند منفی است.

نتایج و بحث

با بررسی و تحلیل نتایج حاصل از شاخص خشکسالی آب زیرزمینی GRI طبق (شکل ۳) مشاهده می‌شود وضعیت منابع آب زیرزمینی دشت ارومیه در طی مدت ۱۶ سال روند نزولی داشته و از سال ۱۳۸۷ به بعد مقدار این شاخص به منفی رسیده و این روند منفی ادامه‌دار بوده است که شدیدترین وضعیت خشکسالی در سال ۱۳۹۷ با مقدار ۱/۲- در منطقه مشاهده‌شده است.

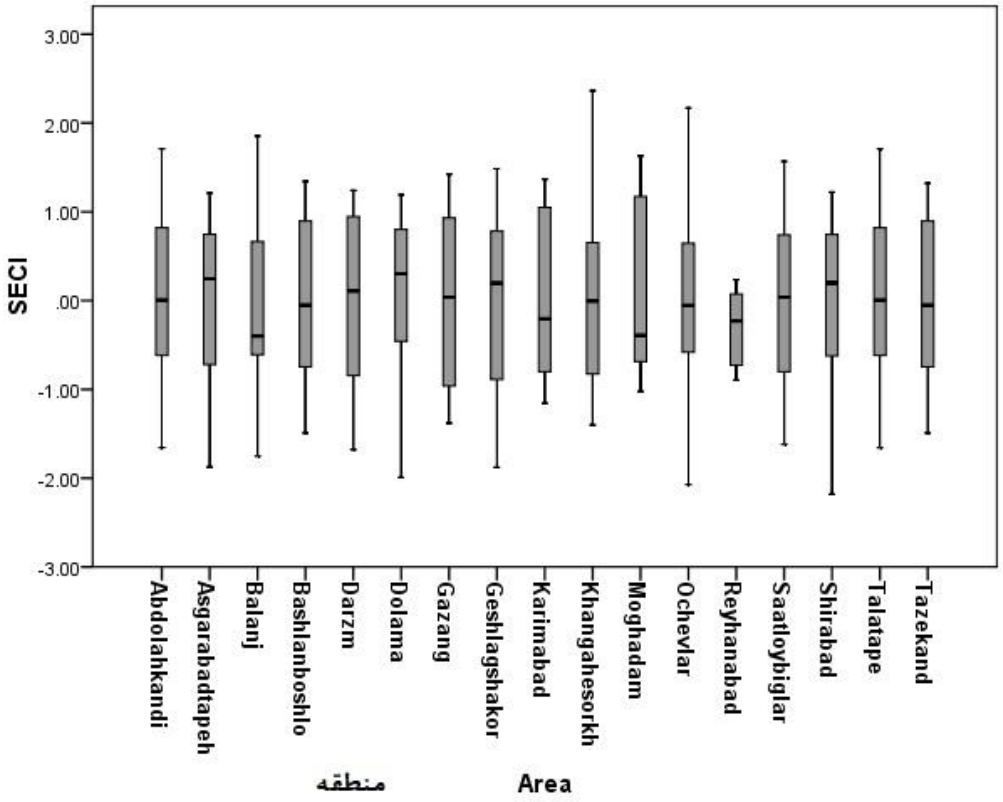


شکل ۳. نمودار شاخص متوسط GRI منطقه موردمطالعه

Fig.3. Average GRI index chart of the studied area

نتایج وقوع شدت خشکسالی ها بر اساس شاخص GRI در طول بازه زمانی در محدوده دشت ارومیه برای ۱۷ چاه پیزومتری نشان می‌دهد، شدیدترین خشکسالی مشاهده‌شده در مقیاس ماهانه در منطقه طلاتپه با مقدار ۳/۸۷- در ماه فروردین سال ۱۳۹۲ بوده است. در حقیقت خشکسالی در این منطقه از شهریور سال ۱۳۹۱ شروع‌شده و تا اردیبهشت سال ۱۳۹۲ ادامه‌دار بوده است. طولانی‌ترین تداوم مشاهده‌شده در مقیاس زمانی ماهانه در منطقه دولاما با تداوم ۷۹ ماهه است که در آن خشکسالی از شهریور سال ۱۳۹۱ شروع‌شده و تا پایان اسفند سال ۱۳۹۷ ادامه‌دار بوده است. جهت تعمیم اطلاعات چاه‌های پیزومتری به‌کل محدوده دشت از روش چندضلعی تیسن در نرم‌افزار Arc Gis استفاده گردید. شدیدترین خشکسالی مشاهده‌شده در مقیاس ماهانه برای کل منطقه با مقدار ۱/۳۹- در ماه خرداد سال ۱۳۸۷ بوده است، به‌طوری‌که خشکسالی از اردیبهشت سال ۱۳۸۷ شروع گشته و تا شهریور سال ۱۳۸۸ ادامه‌دار بوده است. طولانی‌ترین تداوم مشاهده‌شده در مقیاس زمانی ماهانه با تداوم ۲۴ ماهه است که در آن خشکسالی از فروردین سال ۱۳۹۶ شروع‌شده و تا اسفند ۱۳۹۷ ادامه‌دار بوده است. برای دستیابی به شاخص SECI از پارامتر هدایت الکتریکی (شوری) استفاده‌شده است. مقدار این شاخص

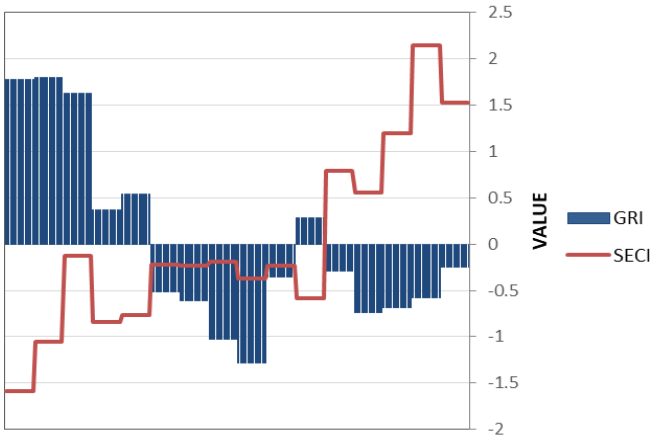
برای ۱۷ چاه بهره‌برداری در محدوده دشت ارومیه به‌صورت سالیانه محاسبه گردید، نمودار جعبه‌ای شاخص SECI محاسبه‌شده مناطق موردمطالعه در محدوده دشت ارومیه (شکل۴) نشان می‌دهد که وضعیت چاه بهره‌برداری منطقه قشلاق شکور، ساعتلوی بیگلر و عبدالله کندی در وضعیت نسبتاً بدتری نسبت به سایر مناطق قرارگرفته بودند به‌طوری‌که میانه نمودار جعبه‌ای این مناطق در بازه ۰ تا ۲ در طی سال‌های موردمطالعه قرارگرفته است. نتایج این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده افزایش محدودیت‌های برداشت از منابع زیرزمینی باشد. با استفاده از روش چندضلعی تیسن پارامتر هدایت الکتریکی به‌کل منطقه موردمطالعه تعمیم داده شد.



شکل ۴. نمودار شاخص SECI سالیانه مناطق موردمطالعه در محدوده دشت ارومیه

Fig4. Annual SECI index diagram of the study areas in Urmia plain

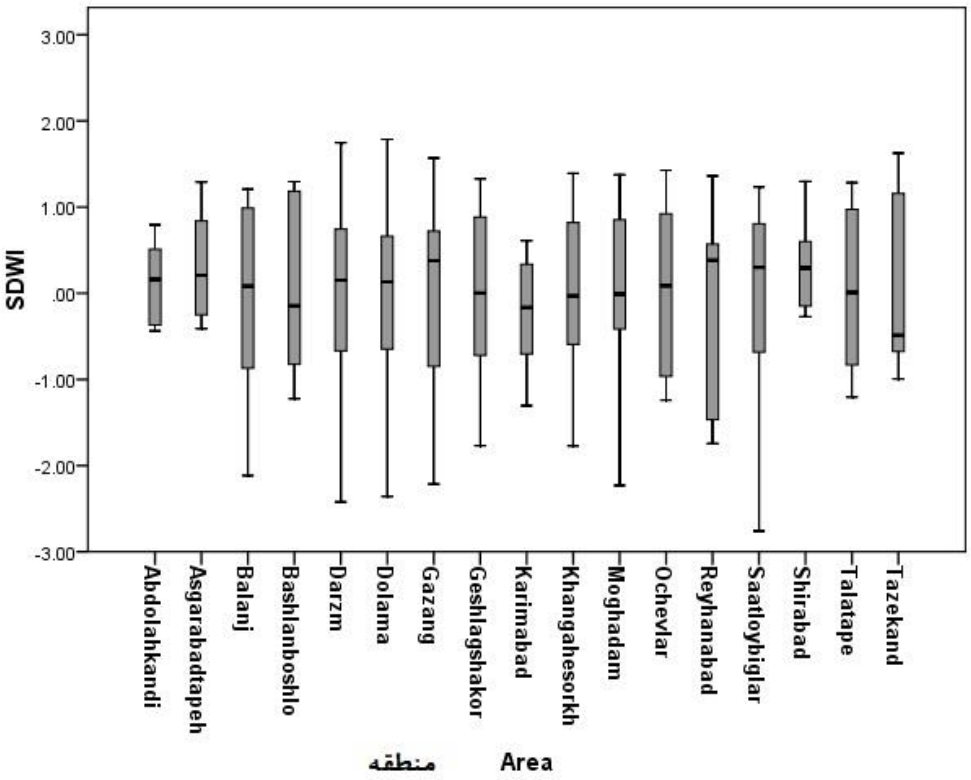
طولانی‌ترین تداوم مشاهده‌شده در مناطق باشلانبشلو و تازه کند با تداوم ۸ سال است که در آن خشکسالی از سال ۱۳۸۳ شروع‌شده و تا سال ۱۳۹۰ ادامه‌دار بوده است. نتایج این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده افزایش محدودیت‌های برداشت از منابع زیرزمینی باشد. با استفاده از روش چندضلعی تیسن پارامتر هدایت الکتریکی به‌کل منطقه موردمطالعه تعمیم داده‌شده است. طولانی‌ترین تداوم خشکسالی مشاهده‌شده برای کل منطقه دشت ارومیه تداوم ۳ ساله است که از سال ۱۳۹۵ شروع و تا سال ۱۳۹۷ ادامه‌دار بوده است. همان‌طور که در (شکل۵) مشاهده می‌کنید با کاهش شاخص خشکسالی منبع آب زیرزمینی شاخص استانداردشده هدایت الکتریکی افزایش‌یافته، این بدین معنی است که افت سطح آب زیرزمینی باعث افزایش شوری آب زیرزمینی شده است. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که خشکسالی از سال ۱۳۸۹ بر روی آب‌های زیرزمینی تأثیرگذار بوده است و باعث افت سطح آب زیرزمینی و به‌تبع آن شوری آن گشته است.



شکل ۵. نمودار مقایسه نوسانات شاخص GRI و SECI سالیانه در دشت ارومیه در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷

Fig 5. Comparison chart of annual fluctuations of GRI and SECI index in Urmia plain in the period from 2003 to 2018

برای محاسبه شاخص SDWI از پارامتر دبی چاه‌های بهره‌برداری مناطق موردمطالعه در محدوده دشت ارومیه استفاده شد، نمودار شاخص SDWI محاسبه‌شده مناطق موردمطالعه در محدوده دشت ارومیه در (شکل ۶) نشان می‌دهد، نزدیکی میانه نمودار جعبه‌ای شاخص SDWI به چارک سوم در منطقه تازه کند اردشاهی نشان‌دهنده عدم وجود پتانسیل مناسب آب زیرزمینی در این منطقه از دشت ارومیه بوده است، به‌طورکلی هرچه این شاخص منفی‌تر باشد ناچیز بودن پتانسیل آب زیرزمینی در آن منطقه را می‌توان نتیجه گرفت (تهروردی و همکاران، ۱۳۹۹). نتایج پهنه‌بندی مکانی شاخص SDWI نشان می‌دهد که مناطق شیرآباد و عسگرآباد تپه به ترتیب در سال‌های (۱۳۸۲ - ۱۳۸۴) و (۱۳۹۴ - ۱۳۹۶) بیشترین مقدار خشکسالی شدید را تجربه کرده‌اند و در سال ۱۳۸۸ بیشترین مناطق شامل بالانج، درزم، ساعتلوی بیگلر و مقدم تحت تأثیر خشکسالی شدید بوده‌اند.

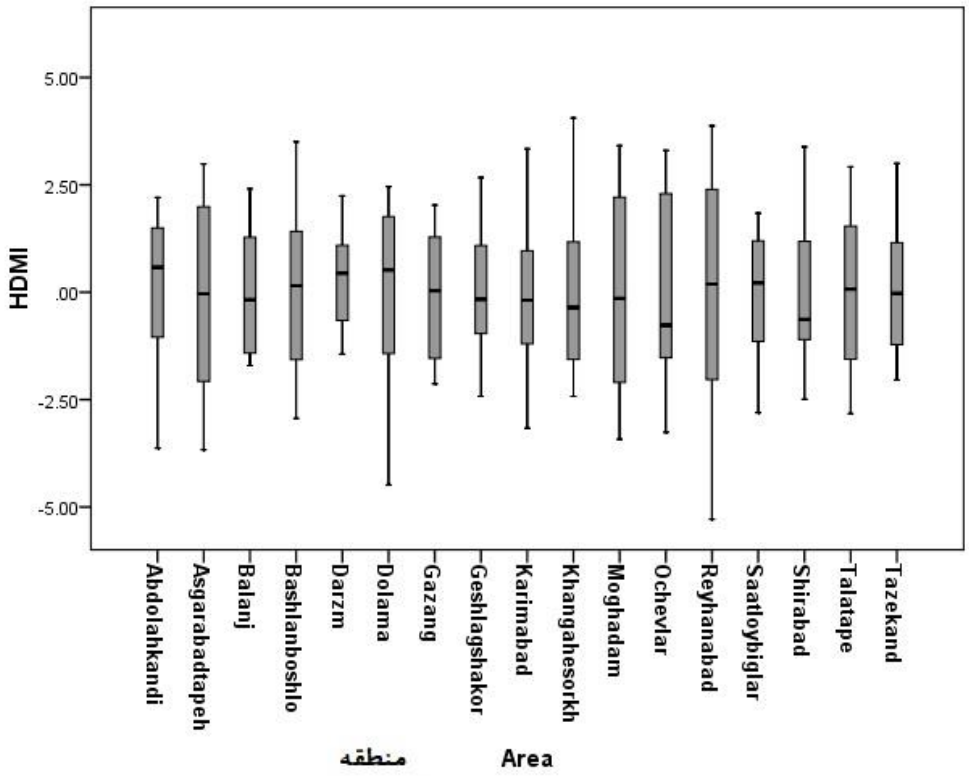


شکل ۶. نمودار شاخص SDWI سالیانه مناطق موردمطالعه در محدوده دشت ارومیه

Fig6.Annual SDWI index diagram of the studied areas in Urmia plain

شدیدترین خشکسالی مشاهده‌شده با استفاده از شاخص SDWI در مناطق دزم و دولاما به ترتیب با مقدار ۲/۴- و ۲/۳- در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۶ بوده است. طولانی‌ترین تداوم مشاهده‌شده در مناطق باشلانبشلو، تازه کند و کریم آباد با تداوم ۹ سال بوده است.

برای محاسبه شاخص مدیریتی خشکسالی HDMI از ترکیب ۳ شاخص GRI، MSECI و SDWI استفاده گردید. بیشترین مقدار این شاخص نشان‌دهنده وضعیت بهتر خشکسالی و کمیت و کیفیت مناسب آب زیرزمینی در این منطقه و کمترین مقدار این شاخص هم بیانگر تأثیر زیاد خشکسالی و کمیت و کیفیت نامناسب آب زیرزمینی در منطقه موردمطالعه است. در شکل ۷ با توجه به میانه نمودار جعبه‌ای شاخص HDMI مناطق موردمطالعه در دشت ارومیه در طی مدت ۱۶ سال نشان می‌دهد که مناطق اوچ اولر و شیرآباد متمایل به چارک اول در محدوده ۰ تا ۳- قرار داشته‌اند که نشان می‌دهد در این سال‌ها بیشترین وضعیت غالب، وضعیت بهره‌برداری محدود با میزان تأثیر متوسط خشکسالی بر این مناطق در طول بازه زمانی موردمطالعه بوده است. میانه نمودار جعبه‌ای سایر مناطق موردمطالعه در بازه ۰ تا ۳ قرارگرفته که نشان می‌دهد این مناطق بیشتر در وضعیت بهره‌برداری با محدودیت کم قرار داشته‌اند که نشان می‌دهد وضعیت غالب بر این مناطق، وضعیت بهره‌برداری با محدودیت کم قرار بوده است. نتایج شاخص HDMI حاکی از این است که خشکسالی تأثیر آن‌چنانی بر وضعیت بهره‌برداری مناطق نداشته است.



شکل ۷. نمودار شاخص HDMI مناطق موردمطالعه در محدوده دشت ارومیه

Fig7. HDMI index diagram of the studied areas in Urmia plain

شاخص چند متغیره مدیریتی HDMI نشان می‌دهد شدیدترین خشکسالی در مناطق ریحان آباد با مقدار ۵,۲- در سال ۱۳۹۷ بوده که خشکسالی از سال ۱۳۹۳ در این منطقه شروع‌شده و تا سال ۱۳۹۷ ادامه‌دار بوده است. طولانی‌ترین تداوم مشاهده‌شده در منطقه اوچ اولر با تداوم ۷ سال است که در آن خشکسالی از سال ۱۳۸۷ شروع‌شده و تا سال ۱۳۹۳ ادامه‌دار بوده است. نتایج پایش این شاخص مدیریتی خشکسالی برای کل منطقه دشت ارومیه نشان می‌دهد طولانی‌ترین تداوم مشاهده‌شده ۷ سال است که از سال ۱۳۹۱ شروع و تا سال ۱۳۹۷ ادامه‌دار بوده و شدیدترین خشکسالی مشاهده‌شده در سال ۱۳۹۷ با مقدار ۲/۲- بوده است. نتایج شاخص HDMI به

دو صورت، بررسی تأثیرات خشکسالی و محدودیت‌های بهره‌برداری قابل‌بررسی است که نشان می‌دهد که در سال‌های (۱۳۸۲ - ۱۳۹۷) مناطق موردمطالعه در محدوده دشت ارومیه هیچ‌کدام در وضعیت عدم بهره‌برداری قرار نگرفته‌اند و از سال (۱۳۹۵ - ۱۳۹۷) اکثر مناطق در وضعیت بهره‌برداری محدود قرارگرفته‌اند که نشان می‌دهد بهره‌برداری از آب زیرزمینی در اکثر مناطق با مشکل مواجه شده است که می‌تواند نشان‌دهنده هشدار وضعیت بهره‌برداری برای سال‌های آینده باشد و بهره‌برداری از آب زیرزمینی تمام مناطق موردمطالعه در دشت ارومیه باید با تأمل بیشتری انجام گیرد. نتایج آزمون من کندال بر روی شاخص‌های خشکسالی دشت ارومیه در جدول زیر ارائه‌شده است. نتایج نشان می‌دهد شاخص‌های خشکسالی HDMI، GRI از روند کاهشی به ترتیب با شیب سن های ۰/۱۴۴- و ۰/۲۹۷- برخوردار می‌باشند که در صورت ادامه وضع موجود شاخص GRI در سال ۱۴۰۵ به کمتر از ۲- و شاخص HDMI در سال ۱۴۱۰ به کمتر از ۶- خواهد رسید. لذا اخذ تصمیمات مدیریتی جهت جلوگیری از پیامدهای ناشی از خشکسالی منابع زیرزمینی یک امر حیاتی و ضروری است.

جدول ۳. متغیر z آزمون من کندال شاخص‌ها و پارامتر ها در دشت ارومیه

Table 3. The z variable of Kendall's Man test of indicators and parameters in Urmia Plain

	Z_{MK}	Sen's Slope
GRI	**-5.62	-0.144
SDWI	-0.219	-
SECI	0.276	-
HDMI	**-6.19	-0.297

** معنی داری در سطح ۰/۰۵

نتیجه‌گیری

یکی از اقدامات اولیه و مؤثر برای کاهش اثرات و خسارات خشکسالی، پایش و پیش‌بینی خشکسالی است که باید به‌طور مستمر در دستور کار مرکز ملی خشکسالی و ستاد بحران قرار گیرد، به همین منظور در این تحقیق به بررسی روند مدیریتی خشکسالی هیدرولوژیکی چند متغیره HDMI آب‌های زیرزمینی با ترکیب ۳ شاخص خشکسالی SDWI،GRI و MSECI در طی سال‌های (۱۳۸۲ - ۱۳۹۷) در دشت ارومیه پرداخته و نتایج کلی پژوهش حاصل به شرح زیر ارائه می‌شود:

- از سال (۱۳۹۵ - ۱۳۹۷) تمامی مناطق موردمطالعه با استفاده از شاخص مدیریتی HDMI در وضعیت بهره‌برداری محدود قرار داشته‌اند که نشان می‌دهد بهره‌برداری از آب زیرزمینی با مشکل مواجه شده که می‌تواند نشان‌دهنده هشدار وضعیت بهره‌برداری برای سال‌های آینده باشد و بهره‌برداری از آب زیرزمینی تمام مناطق موردمطالعه در دشت ارومیه باید با تأمل بیشتری انجام گیرد.

- نتایج آزمون من کندال بر روی شاخص مدیریت خشکسالی هیدرولوژیکی HDMI نشان از وجود روند معنی‌دار منفی با شیب سن ۰/۲۹۷- است، نشان می‌دهد به‌طور متوسط هرسال ۰/۱۲ درصد از مقدار این شاخص کاسته می‌شود. بدین‌صورت با ادامه این روند در دشت ارومیه از سال ۱۴۱۰ به بعد مقدار این شاخص به کمتر از ۶- خواهد رسید. با ادامه روند موجود اکثر مناطق در محدوده دشت ارومیه در محدوده عدم بهره‌برداری قرار خواهند گرفت.

- نتایج آزمون من کندال بر روی شاخص خشکسالی هیدرولوژیکی GRI منابع زیرزمینی دشت ارومیه نشان از وجود روند منفی با شیب سن ۰/۱۴۴- است. این روند نشان می‌دهد به‌طور متوسط هرسال ۰/۰۹ درصد از مقدار این شاخص کاسته و با ادامه این روند کاهشی تا سال ۱۴۰۵ مقدار GRI به کمتر از ۲- خواهد رسید که نشان از قرار گرفتن خشکسالی بسیار شدید بر روی منابع آب زیرزمینی منطقه موردمطالعه است. در صورت ادامه وضع موجود امکان استفاده پایدار از منابع زیرزمینی دشت ارومیه غیرممکن خواهد بود. تدوین برنامه جامع مقابله با خشکسالی برای کاهش آسیب‌های

خشکسالی یک ضرورت است و باید راهکارهای مدیریتی، سیاست‌ها و فعالیت‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت جهت کاهش خسارات و آسیب‌های وارده اتخاذ گردد.

منابع

Afzal, M. & Ragab, R. (2019). Drought Risk under Climate and Land Use Changes: Implication to Water Resource Availability at Catchment Scale, Water, 11, 1790.

Belhassan, K. (2021). Water scarcity management, In Water Safety, Security and Sustainability: Threat Detection and Mitigation (pp. 443-462), Cham: Springer International Publishing.

Ebrahimi-Khusfi, Z., Mirakbari, M., Ebrahimi-Khusfi, M. & Soleimani-Sardoo, M. (2022). Evaluation of Drought Temporal Changes using Mann-Kendall test and Sens Slope in Kerman Province for the Period 1990 to 2018, Iranian Journal of Desert Ecosystem Engineering, 11, 1–16. [In Persian].

Faryabi, M. & Mozaffarizade, J. (2017). Hydrogeological drought management index (HDMI) as a tool for groundwater resource management under drought conditions (Case Study: Dayyer-Abdan district, Boushehr province), Iranian Journal of Ecohydrol, 4, 737–748. [In Persian].

Nasri, M. & Modares, R. (2017). Investigating Low Flows Trend Assessment in Isfahan Province, Journal of Range and Watershed Managment, 70(1), 247–256. [In Persian].

Mendicino, G., Senatore, A. & Versace, P. (2008). A Groundwater Resource Index (GRI) for drought monitoring and forecasting in a mediterranean climate, Journal of Hydrology, 357, 282–302.

Mirzavand, M., Ghasemieh, H., Sadatinejad, S.J. & Bagheri, R. (2020). An overview on source, mechanism and investigation approaches in groundwater salinization studies, International Journal of Environmental Science and Technology, 17, 2463-2476.

Mustafa, A. & Rahman, G. (2018). Assessing the Spatio-temporal Variability of Meteorological Drought in Jordan, Earth Systems and Environment, 2, 247-264.

Myronidis, D., Ioannou, K., Fotakis, D. & Dörflinger, G. (2018). Streamflow and Hydrological Drought Trend Analysis and Forecasting in Cyprus, Water resources management, 32, 1759-1776.

Nazeri Tahroudi, M., Ramezani, Y. & Ahmadi, F. (2020). Hydrogeological Drought Management Based on HDMI Multivariate Index, Environment and Water Engineering, 6(4), 473-484. [In Persian].

Nazeri Tahroudi, M., Ramezani, Y. & Ahmadi, F. (2020b). Hydrogeological Drought Management Based on HDMI Multivariate Index, Environment and Water Engineering, 6(4), 473-484. [In Persian].

Tomasella, J., Cunha, A.P.M.A., Simões, P.A. & Zeri, M. (2023). Assessment of trends, variability and impacts of droughts across Brazil over the period 1980–2019, Natural Hazards, 116(2), 2173-2190.

Vishwakarma, A., Choudhary, M.K. & Chauhan, M.S. (2022). Non-parametric trend and the validity of a newly developed drought indicator for agricultural application over the central India region, Arabian Journal of Geosciences, 15(4), 1-13.

Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Fall 2023, Vol.1, No.3, pp 73-86

10.22077/JDCR.2023.6478.1026

Flood Prioritization of Sarbaz River Sub-Basins Using the SWAT Model

Javad Chezgi*[1], Ehsan Hamedi [2]

1. Assistant Professor, Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjand, Iran.
2. MSc student, Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Birjand, Birjan, Iran.

***Corresponding Author: chezgi@birjand.ac.ir**

Keywords:
Prioritization, Runoff, Sarbaz river, SWAT model, Watershed Management

Received:
13 Jun 2023

Revised:
21 Aug 2023

Accepted:
26 Aug 2023

Extended Abstract

Introduction

Flooding is one of the most important threats to human society, which has increased in recent decades with population growth and climate change. To prevent such harmful phenomena, it is currently impossible to change the factors and elements of the atmosphere. Therefore, any fundamental solution should be sought on the ground, especially in watersheds. From this point of view, areas with a high potential for flooding should be properly identified. Of course, to do this, it is necessary to identify the flood-prone areas inside the watershed, because due to the large size and extent of the country's watersheds, it will not be possible to carry out implement and correct operations in principle. Therefore, studying the features of basins related to flooding levels can help to properly manage this risk. Nowadays, several methods such as morphological characteristics, decision-making methods and hydrological models are used to prioritize watershed sub-basins.

Materials and methods

This research was carried out using SWAT hydrological model in 21 sub-basins of Sarbaz basin located in Sistan and Baluchistan province. After preparing the parameters and input data, while considering two years of warming, the model was recalibrated for a 17-year period from 1999 to 2016 and then validated during a five-year period from 2017 to 2021. The first step in watershed simulation is to divide the watershed into several sub-basins and hydrological response units (HRU). The necessary inputs

How to cite this article:
Chezgi, J., & Hamedi, E. (2023). Flood prioritization of Sarbaz river sub-basins using SWAT model. Journal of Drought and Climate change Research, 1(3), 73- 86. 10.22077/JDCR.2023.6478.1026.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

for the watershed configuration are: GIS maps of the basin, which include: digital elevation map (DEM), land use map, soil map, digitized stream map, study area map. Meteorological data includes: precipitation, minimum and maximum temperature, solar radiation, wind speed and relative humidity during the desired time period. Hydrometric data includes discharge statistics and information in the desired time period that was used in this monthly research. After entering the required information for the model, the database was completed and the model was prepared for simulating the watershed. It should be noted that the warm up period was used for model preparation, calibration and validation in SWAT-CUP software.

Results and discussion

The results obtained in the calibration stage were NS=0.76 and R2=0.86 and in the validation stage NS=0.56 and R2=0.58. The initial curve number parameter for medium humidity conditions and the alpha parameter in the return flow had the greatest effect on the sensitivity analysis. The initial curve number parameter for medium humidity conditions and the alpha parameter in the return flow had the greatest effect in the sensitivity analysis, which is consistent with the results of Saraei et al. (2019) and Haydari et al. (2019). According to table (4), sub-basin 20 ranks first among 21 sub-basins with an average runoff of 2.46, and sub-basin 10 has the lowest amount of runoff with an average of 0.06. The results of prioritization show that the south and southwest basins are prioritized, due to the reduction of vegetation and permeability.

Conclusion

This research was carried out using SWAT hydrological model in 21 sub-basins of Sarbaz watershed located in Sistan and Baluchistan province. The results obtained in the calibration stage were NS=0.76 and R2=0.86 and in the validation stage NS=0.56 and R2=0.58. It can be concluded that the SWAT model has performed well in the simulation of the Sarzab watershed and this model can be used to simulate large watersheds with complex and heterogeneous conditions such as the Sarzab watershed with an area of 6850 square kilometers, provided that the input data is accurate. However, subbasins have been prioritized less than this model. Hydrological methods also allow the application of scenarios and different managements in land management. In the continuation of this research, by applying flood management scenarios, the amount of destructive floods that always cause river flooding and cause irreparable damages in the studied area can be minimized, and these scenarios can be used to reduce possible risks in the future.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره سوم، پیاپی ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۸۶ - ۷۳

doi 10.22077/JDCR.2023.6478.1026

اولویت‌بندی سیلخیزی زیرحوضه‌های رودخانه سرباز با استفاده از مدل SWAT

جواد چزگی*[۱]، احسان حامدی[۲]

۱. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
*نویسنده مسئول: chezgi@birjand.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
آبخیزداری، اولویت‌بندی، رواناب، رودخانه سرباز، مدل SWAT.

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۳/۲۳

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۶/۰۴

چکیده

سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده جامعه بشری محسوب می‌شود، که در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم اثرات این مخاطره بیشتر شده است. بنابراین مطالعه ویژگی‌های حوضه‌ها که با میزان سیل‌خیزی مرتبط می‌باشد می‌تواند به مدیریت صحیح این مخاطره کمک نماید. امروزه برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز از روش‌های متعددی مانند خصوصیات مورفولوژیکی، روش‌های تصمیم‌گیری و مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌گردد. این تحقیق با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در ۲۱ زیرحوضه آبخیز سرباز واقع در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفت. پس از آماده‌سازی پارامترها و داده‌های ورودی، ضمن در نظر گرفتن دو سال برای گرم کردن، مدل برای یک دوره ۱۷ ساله از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۶ واسنجی و سپس طی یک دوره پنج ساله از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ صحت سنجی گردید. نتایج بدست آمده در مرحله واسنجی NS =۰/۷۶ و R^2 =۰/۸۶ و در مرحله صحت‌سنجی NS =۰/۵۶ و R^2 =۰/۵۸ بدست آمد. همچنین پارامتر شماره منحنی اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط و پارامتر آلفا در جریان برگشتی بیشترین تأثیر را در آنالیز حساسیت داشتند. نتایج نشان داد که در اولویت‌بندی سیل‌خیزی منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه ۲۰ با میانگین ارتفاع رواناب ۲/۴۶ در اولویت اول و زیرحوضه ۱۰ با ارتفاع رواناب ۰/۰۶ در اولویت آخر قرار گرفت. براساس معیار ضریب تبیین و نش-ساتکلیف می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل در شبیه‌سازی حوضه آبخیز سرباز به خوبی عمل کرد و می‌تواند برای مدل‌سازی در حوضه استفاده گردد. کنترل سیل با اولویت‌بندی سیلخیزی زیرحوضه‌ها و با اعمال مدیریت‌های بهبود پوشش مراتع و احداث سازه‌های آبخیزداری در حوضه رودخانه سرباز میزان دبی سیلاب را کاهش می‌دهد و از خسارات ناگهانی پیشگیری می‌نماید.

مقدمه

سیل یکی از بزرگترین بلایای طبیعی است که تقریباً در همه کشورهای جهان رخ می‌دهد و منجر به خسارات جانی و مالی و خسارات ساختاری می‌شود (Mukherjee and Singh, 2019). سیل و فراوانی آن تحت کنترل عوامل متعددی از جمله آب و هوا، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، شیوه‌های مهندسی نادرست در بستر رودخانه‌ها، تخریب دشت سیلابی، زمین‌های کشاورزی و جنگل‌ها به دلیل شهرنشینی و افزایش جمعیت و غیره قرار دارد (Skilodimou et al., 2019; Komolafe et al., 2020). در ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از جمله اقلیم خشک و نیمه‌خشک، رگبار شدید، وجود کوهستان‌های متعدد با شیب تند و اراضی غیرقابل نفوذ، شرایط برای وقوع سیلاب کاملاً فراهم شده است. بیشتر مناطق ایران با قرارگیری مرکز پرفشار جنب حاره‌ای در ماه‌های متوالی از ریزش‌های جوی محروم می‌باشند و در ماه‌های دیگر سال، ممکن است میزان قابل توجهی باران در مدت چند روز یا گاهی چند ساعت ریزش کرده و سیلاب‌های مخربی را به وجود آورد (Male-kian et al., 2012). سیل و حوادث مرتبط با آن یکی از مهمترین بلایای طبیعی بوده که همه ساله در کشور باعث بروز خسارت‌های عمده‌ای به تأسیسات، راه‌ها و از دست رفتن آب و خاک می‌شود. رواناب در اقلیم خشک و نیمه‌خشک سبب ایجاد سیلاب‌های خطرناکی می‌گردد. بنابراین تجزیه و تحلیل مکانی رواناب برای مدیریت بحران ضروری به نظر می‌رسد (Khosravi et al., 2022). علاوه بر این، افزایش سریع جمعیت جهان و گشودن دشت‌های سیلابی به روی سکونتگاه‌ها با شیوه‌های مهندسی اشتباه در حاشیه رودخانه‌ها، تخریب پوشش گیاهی و جنگلی و برداشت‌های بی‌رویه زمین از مهم‌ترین عوامل وقوع سیل است (Aydin and Raja, 2020). ایجاد رواناب در سطح زمین مشکلاتی مانند فرسایش خاک، وقوع سیلاب، کاهش حاصلخیزی خاک و پوشش گیاهی و حتی کاهش منابع آب زیرزمینی را دربرخواهد داشت. با اطلاع از سطوحی از یک حوضه آبخیز که پتانسیل تولید رواناب و سیل‌خیزی بالاتری دارند می‌توان تدابیری برای کاهش رواناب در نظر گرفت (Derakhshan, 2009). برای جلوگیری از بروز اینگونه پدیده‌های زیانبار در حال حاضر نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد نمود بنابراین هر گونه راه حل اصولی و چاره‌ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوضه‌های آبخیز جستجو کرد. از این نظر مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند باید به طریقی شناسایی شوند. مسلماً برای انجام این کار نیاز به شناسایی مناطق سیل‌خیز در داخل حوضه می‌باشد، زیرا به دلیل وسعت زیاد و گستردگی حوضه‌های آبخیز کشور انجام عملیات اجرایی و اصلاحی به صورت اصولی امکان‌پذیر نخواهد بود (Arbabi et al., 2007). تجارب مطالعاتی و مدیریتی کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین گام در راستای کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است تا بتوان بر اساس نتایج به‌دست آمده با مدیریت یکپارچه و برنامه‌ریزی شهری جامع تا حد ممکن مانع از آثار زیان‌بار سیلاب‌های شهری گردید. ویژگی‌های فیزیکی حوضه آبخیز، ویژگی‌ها و اقدامات ناشی از فعالیت‌های بشری، از جمله عواملی است که شناخت و دسته‌بندی آن‌ها در هر منطقه‌ای از اصول اولیه مهار سیلاب و خطرات آن است (Razavi, 2007). اخیراً به دلیل افزایش فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی، سیل هر سال در سرتاسر جهان به دفعات بیشتر اتفاق می‌افتد. بنابراین نیاز به توسعه مدل‌های دقیق برای پیش‌بینی و نقشه‌برداری حساسیت سیل احساس می‌گردد که می‌تواند در توسعه برنامه‌های مدیریت سیل مؤثر و مفید باشد (Luu et al., 2021). بنابراین، درک صحیح از فرآیندهای دخیل در زمان وقوع، بزرگی و تداوم سیلاب‌ها برای طراحی و مدیریت سازه‌های آبی و پروژه‌های کنترل سیلاب از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. با مشخص کردن نواحی از نظر خطر سیل‌خیزی می‌توان برای مناطق مختلف، کاربری‌های متناسب با همان مناطق را تعریف نمود و تا آن‌جا که ممکن است پیشگیری‌های لازم را انجام داد. بنابراین اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز باعث هدایت صحیح و مؤثر بودجه،

منابع انسانی، تجهیزات و سایر منابع درون حوضه‌ای می‌شود که توان و پتانسیل بیشتر برای اقدام مشابه به سایر حوضه‌ها در منطقه را دارد. همچنین یکی از ابزارهای مهم آبخیزداری و تصمیم‌گیری بهینه، اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز است که می‌تواند در حفظ آب و خاک و مدیریت سیلاب مؤثر باشد (Na-siri Khiavi et al., 2022).

در سال‌های اخیر، توسعه فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور منجر به پیدایش روش‌های بسیاری به منظور درک و پیشگیری از حوادث سیل شده است. بسته به این توسعه، مدل‌ها یا روش‌های آماری مانند مطالعات خطر و ریسک سیل، مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی سیل، حساسیت و اولویت سیل بر اساس مورفومتری حوضه زهکشی برای درک دینامیک سیل پدیدار شده‌اند (Luu et al., 2021; El-Fakharany and Mansour, 2021). روش‌های مختلفی برای تعیین میزان رواناب و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی وجود دارد، که اکثر این روش‌ها بر پایه روش‌های نمودار و استفاده از فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیلاب، تفکیک حوضه به زیرحوضه‌ها، مدل‌های تصمیم‌گیری، داده‌های دورسنجی و GIS و تلفیق آن‌ها با آنالیزهای مورفومتریک می‌باشد (Tajbakhsh and Chezgi, 2023) بطوریکه که کمتر از روش هیدرولوژیکی SWAT در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز استفاده شده است.

پژوهشگران در تحقیقی به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز سردآبرود از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل SWAT پرداختند. برای واسنجی مدل از داده سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۹ و برای اعتبارسنجی از آمار سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۳ استفاده کردند. نتایج واسنجی براساس شاخص‌های آماری R^2، bR2 و ضریب نش ساتکلیف تعیین گردید که بترتیب معادل ۰/۷۷ ، ۰/۶۳ و ۰/۷۷ و در مرحله اعتبار سنجی آن به ترتیب معادل ۰/۷۹، ۰/۷۶ و ۰/۷۱ برآورد شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد پارامترهای ثابت تخلیه آب زیرزمینی، زمان تاخیر آب زیرزمینی و حداقل مقدار ذخیره آب لازم برای ایجاد جریان پایه به ترتیب حساسیت بیشتری داشتند. در نهایت زیرحوضه شماره ۶ با ارتفاع رواناب ۱۲۳،۰۵ در رتبه اول قرار گرفت (Saraei et al., 2019).

محققان در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب سطحی حوضه مزلقان با استفاده از مدل SWAT پرداختند. در این تحقیق جهت شبیه سازی رواناب از داده‌های آماری سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۵ و جهت ارزیابی توانایی مدل SWAT در شبیه سازی دبی رواناب از شاخص‌های نش-ساتکلیف و R^2 استفاده نمودند. نتایج مدل نشان‌دهنده‌ی توانایی مدل با نش-ساتکلیف و R^2 بترتیب ۰/۶ و ۰/۶۱ در مرحله واسنجی و ۰/۵۸ و ۰/۵۸ در مرحله اعتبار سنجی می‌باشد. نتایج بدست آمده از مدل LARS_WG نشان از قابل قبول بودن پیش‌بینی تغییرات اقلیم بر متوسط رواناب می‌باشد (Haji Ghasemi et al., 2021). در تحقیقی دیگر محققان با هدف ایجاد یک مدل هیدرولوژیکی پایدار، شبیه‌سازی جریان را با حداقل عدم قطعیت در بین پارامترهای کالیبراسیون انجام دادند. در این تحقیق از مدل SWAT 2012 برای شبیه‌سازی جریان حوضه Lidder واقع در بخش جنوب شرقی دره کشمیر برای دوره‌های (۲۰۰۷-۲۰۱۵) و از الگوریتم SWAT-CUP به نام برازش عدم قطعیت متوالی (SUFI-2) برای کالیبراسیون مدل چند سایتی و اعتبارسنجی برای مراحل زمانی ماهانه استفاده شده است. نتایج کالیبراسیون برای شبیه‌سازی ماهانه برای دوره (۲۰۰۹-۲۰۱۲) عملکرد مدل را عالی برای نرخ جریان با R^2 ۰/۸۹، ۰/۸۵، و ۰/۸۹ نشان می‌دهد و مقادیر NSE معادل ۰/۷۳، ۰/۷۲، و ۰/۸۳ به دست آمد. با این حال، نتایج اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی ماهانه برای دوره (2013-2015) و همچنین عملکرد خوب مدل برای نرخ‌های جریان با مقادیر R^2 به‌دست‌آمده است (Malik et al., 2022).

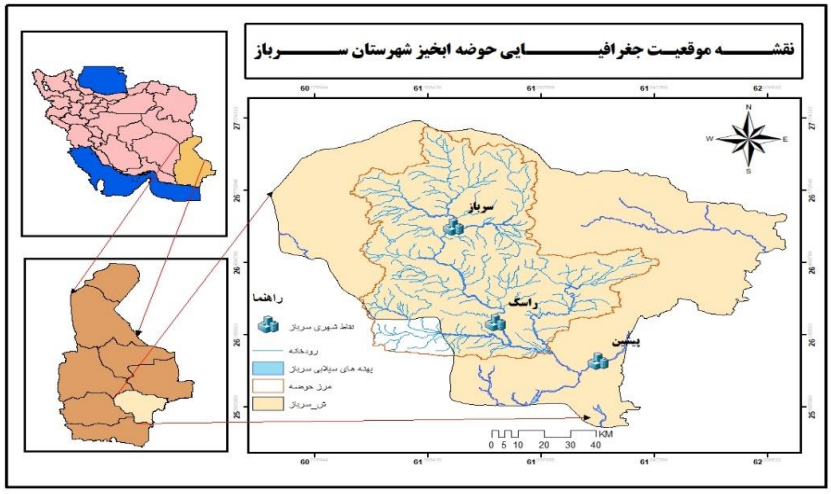
پژوهش حاضر به اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های رودخانه سرباز با استفاده از مدل SWAT در جنوب استان سیستان و بلوچستان پرداخته است زیرا اکثر بارندگی‌های این حوضه بصورت رگبار و اتفاقی است که همواره موجب طغیان و سیلاب در این رودخانه می‌شود و خسارت‌های زیادی را متوجه مناطق مسکونی، راه‌ها، جاده‌ها و کشاورزان حاشیه رودخانه می‌نماید. بنابراین ارائه روشی مناسب برای

کاهش خسارت‌های ناشی از سیل در حوضه ضرورت پیدا کرده است (Gorgij, 2018). با توجه به شرایط توپوگرافی و آب و هوایی حوضه آبخیز سرباز طرح‌های آبخیزداری می‌تواند کمک شایانی به جلوگیری از بروز این مشکلات نماید. در این تحقیق سعی بر آن است تا با استفاده از سناریوهای پروژه‌های مختلف آبخیزداری بهترین روش‌ها انتخاب و در اجرا استفاده گردد. تعیین مناطق مستعد سیل از اولین و مهمترین بخش‌های پروژه‌های آبخیزداری است که می‌تواند به کنترل و مدیریت سیلاب در مراحل اولیه تشکیل کمک نماید. تحقیق حاضر با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در ۲۱ زیرحوضه آبخیز سرباز واقع در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفته‌است، تا زیرحوضه‌های بحرانی از نظر سیل‌خیزی را تعیین نماید. بعد از تعیین زیرحوضه‌های سیل‌خیز برای مدیریت این مناطق می‌شود از روش‌های بیولوژیکی و میکانیکی آبخیزداری استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سرباز در قسمت‌های جنوبی استان سیستان و بلوچستان و در جنوب شرقی ایران در محدوده‌ی بین ۶۰ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و ۲۶ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی واقع شده است و از زیر حوضه‌های دریای مکران محسوب می‌شود (شکل ۱). این حوضه از شمال به حوضه آبخیز زابلی و هامون و جازموریان، از جنوب به حوضه آبریز باهوکلات و از غرب به حوضه آبریز قصر قند محدود می‌گردد. رودخانه سرباز قسمتی از رودخانه باهوکلات می‌باشد.



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه در ایران و در استان سیستان و بلوچستان

Fig 1. Map of the study area in Iran and in Sistan and Baluchistan province

با توجه به قرار گرفتن حوضه آبخیز شهرستان سرباز در عرض ۲۶ تا ۲۷ درجه شمالی تقریباً این حوضه در بین قلمرو آب و هوای خشک و نیمه خشک واقع گردیده است. این منطقه از دو رژیم بارندگی تبعیت می‌کند. ۱-رژیم بارندگی سیستماتیک که منشأ آن دریای مدیترانه و دریای سرخ می‌باشد ناحیه جنوب شرقی کشور را در بر گرفته و در فصل پاییز و زمستان در این منطقه تولید ریزش می‌نماید، بطوریکه بیش از ۹۰ درصد باران منطقه بر اثر این رژیم بارندگی رخ می‌دهد. ۲-رژیم بارندگی مانسون که منشأ آن اقیانوس هند می‌باشد پس از طی کشورهای هند و پاکستان نهایتاً از مرز جنوب شرقی وارد شده و مناطق جنوب شرقی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که در در فصل تابستان بسته به شرایط آب و هوایی بصورت رگباری و شدید و گاهی سیل آسا ایجاد ریزش می‌نماید. متوسط بارندگی این منطقه ۹۰ میلی‌متر در سال و دمای متوسط نیز بین ۳,۱۳ الی ۳۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است.

روش تحقیق

در این تحقیق اولویت زیرحوضه‌های آبخیز رودخانه

سرباز با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT تعیین گردید. در این راستا ابتدا داده‌های مورد نیاز از سازمان‌های مربوطه تهیه شد و سپس جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT مورد استفاده قرار گرفت.

مدل SWAT[1]

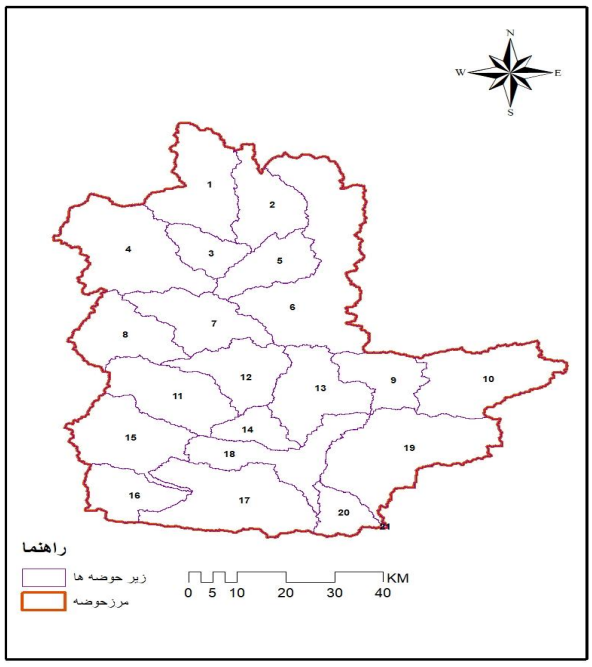
مدلی فیزیکی می‌باشد که به‌جای ضمیمه کردن روابط رگرسیونی برای تشریح روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی، نیازمند اطلاعاتی در مورد آب‌وهوا، مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های مدیریت و کاربری اراضی در سطح حوضه می‌باشد. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، حرکت رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی و مشابه آن در این مدل به‌طور مستقیم از روی پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند. مدل SWAT می‌تواند تغییرات در واکنش هیدرولوژیکی حوضه، کیفیت آب و فرسایش را مدل‌سازی و همچنین اثرات تغییرات کاربری زمین و تنوع آب و هوا بر روی یک حوضه را به خوبی تخمین نماید. این مدل به منظور مدل‌سازی بهتر، حوضه آبخیز را به چندین زیر حوضه و هر زیرحوضه را به چندین HRU[2] تقسیم می‌کند. HRU از ترکیب نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک و نقشه طبقات شیب حاصل می‌شود. رواناب سطحی، رسوب، آب موجود در خاک و عناصر شیمیایی ابتدا در هر HRU و سپس در هر زیر حوضه و در آخر در کل حوضه آبخیز محاسبه می‌گردد (Arnold, 2001).

ورودی‌های مدل

ورودی‌های پایه حوضه آبخیز

اولین مرحله شبیه‌سازی حوضه آبخیز، تقسیم حوضه به چندین زیر حوضه و واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) است. ورودی‌های لازم برای پیکربندی حوضه آبخیز عبارتند از: نقشه‌های GIS حوضه که شامل: نقشه رقومی ارتفاعی (DEM)، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک، نقشه آبراهه‌های رقومی شده و نقشه محدوده مورد مطالعه می‌باشد (Karami, 2017) که در این تحقیق منطقه مورد مطالعه به ۲۱ زیر حوضه تقسیم گردید (شکل ۲).

نقشه DEM، نقشه شیب، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک به ترتیب در شکل‌های (۳) تا (۴) نشان داده شده اند.

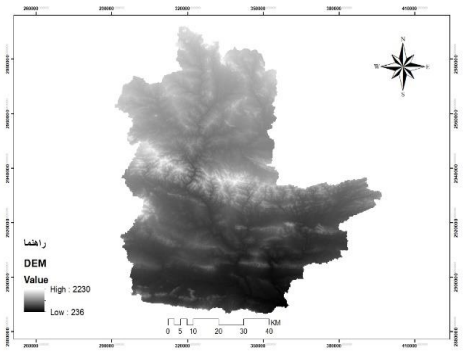


شکل۲. نقشه زیرحوضه‌های حوضه آبخیز منطقه مورد مطالعه

Fig 2. Map of the watershed sub-basins of the study area

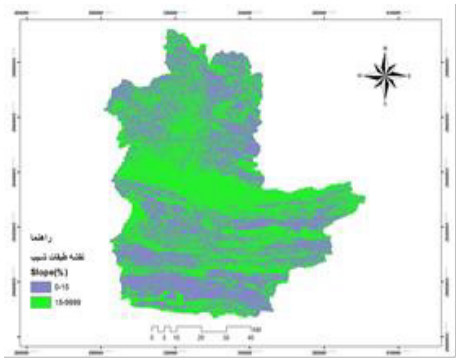
[1] Soil and Water Assessment Tool

[2] Hydrologic Response Unit



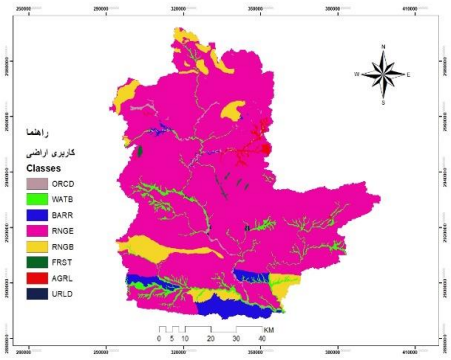
شکل۳. نقشه DEM(مدل رقومی ارتفاعی)

Fig 3. Dighital Elevation Model (DEM)



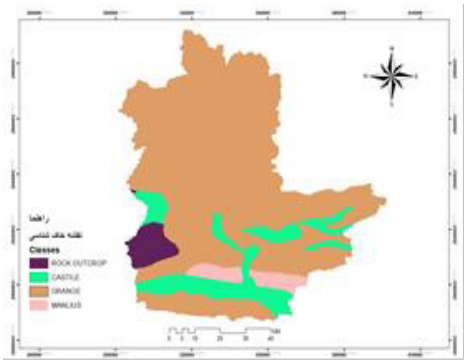
شکل۴. نقشه طبقات شیب

Fig 4. Map of slope



شکل۵. نقشه کاربری اراضی

Fig 5. Land use map



شکل۶. نقشه طبقات خاکشناسی

Fig 6. Map of Soil

داده‌های هواشناسی

شامل: بارش، دمای حداقل و حداکثر، تشعشع خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی در طی دوره زمانی مورد نظر می‌باشد (Sedighi Hamidi et al., 2017).

داده‌های هیدرومتری

شامل آمار و اطلاعات دبی در بازه زمانی مورد نظر که در این تحقیق به صورت ماهانه و براساس راهنمای مدل (Neitsch et al., 2011) مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Characteristics of the studied stations

نام ایستگاه Station name	نوع ایستگاه Station type	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی latitude	ارتفاع Height
سرباز(کجدر) Sarbaz	باران سنج Rain gauge	61º 15` 0``	26º 37` 59``	880
باهوکلات Bahokalat	تبخیرسنج Evaporator	61º 24` 55``	25º 41` 59``	120
پیشین Pishein	هیدرومتری Hydrometry	61º 37` 0``	26º 07` 0``	257

پس از ورود اطلاعات مورد نیاز مدل، بانک اطلاعاتی تکمیل و مدل برای شبیه‌سازی حوضه آبخیز آماده شد. لازم به ذکر است که دوره گرم‌کردن (Warm up) به منظور آماده‌سازی مدل، واسنجی مدل (Calibration) و اعتبارسنجی (Validation) در نرم افزار SWAT-CUP انجام گردید.

نرم افزار SWAT-CUP که توسط Abbaspour et al., 2011 ارائه شد، مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT را دریافت کرده و با مقادیر مشاهداتی که توسط کاربر به این نرم افزار معرفی می‌شود، کالیبراسیون مدل را انجام می‌دهد. الگوریتم SUFI2 قادر است واسنجی را با استفاده از معیارهای دقتی که در خود دارد، ارزیابی نماید (Nazari et al., 2018).

نتایج و بحث

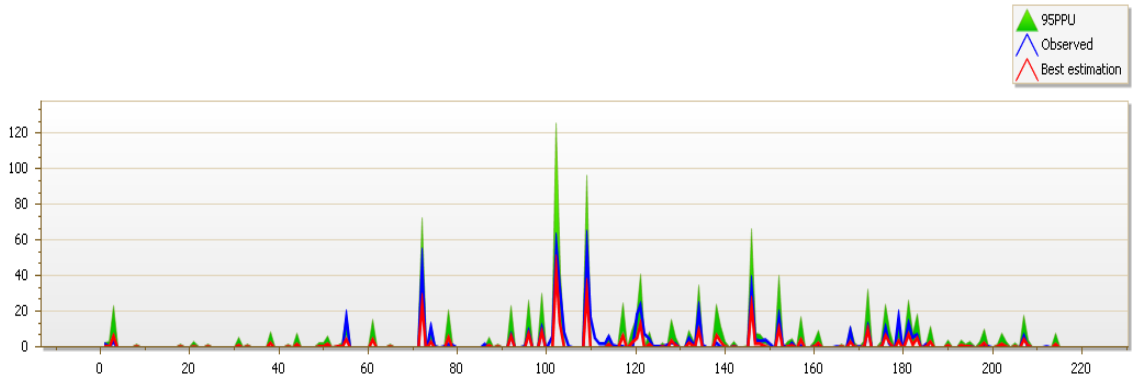
پس از تهیه پارامترهای حساس، مدل SWAT جهت واسنجی به مدت ۱۷ سال از سال ۱۹۹۹ تا سال ۲۰۱۶ ضمن در نظر گرفتن دو سال برای warm up (۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹) با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهانه ایستگاه پیشین واقع در خروجی حوضه اجرا و پس از اتمام واسنجی، اعتبارسنجی مدل همانند دوره واسنجی با استفاده از دامنه پارامترهای بهینه شده از مرحله واسنجی انجام گردید. این مرحله با طول دوره آماری ۵ سال از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهانه ایستگاه پیشین انجام گرفت که نتایج مطلوبی بدست آمد و خلاصه نتایج در جدول (۲) ارائه گردید.

جدول۲. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی میانگین دبی ماهانه ایستگاه پیشین

Table 2. The results of calibration and validation of the average monthly discharge of the Pishein station

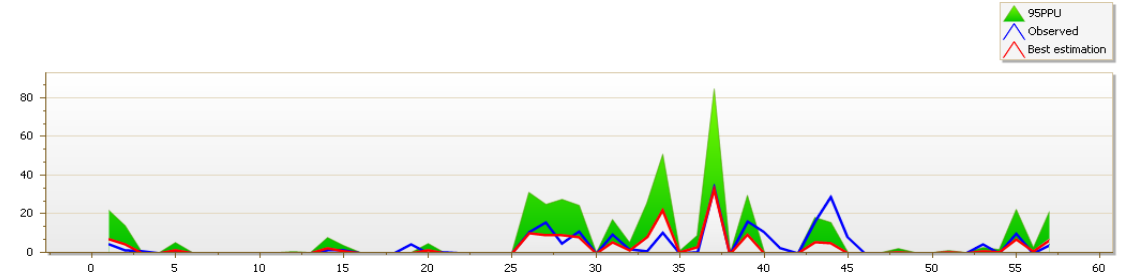
R^2	NS	
0.86	0.76	واسنجی (FLOW-OUT)
0.58	0.56	اعتبارسنجی (FLOW-OUT)
0.58	0.53	واسنجی (SED-OUT)
0.53	0.53	اعتبارسنجی (SED-OUT)

نمودار میانگین دبی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) و نمودار میانگین رسوب ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب در شکل‌های (۹) و (۱۰) نشان داده شده است.



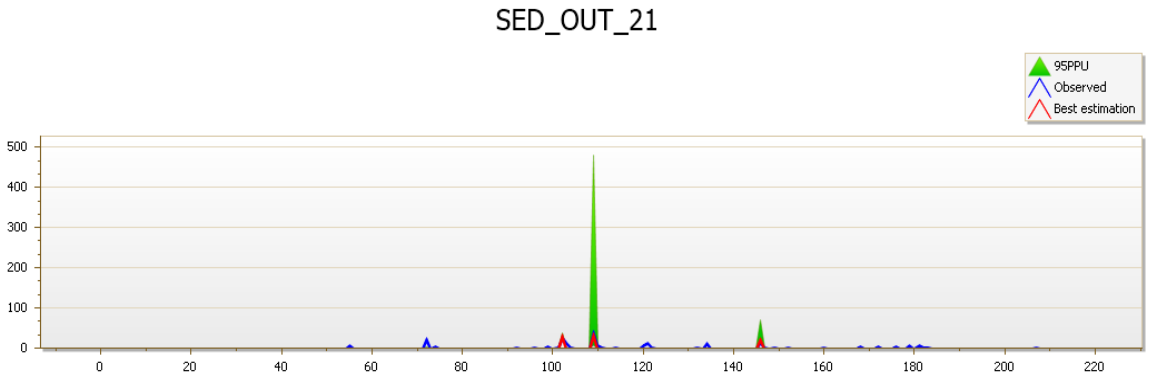
شکل۷. نمودارمیانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در واسنجی مدل

Fig 7. The graph of the average observed and simulated discharge of the Pishein station in model calibration



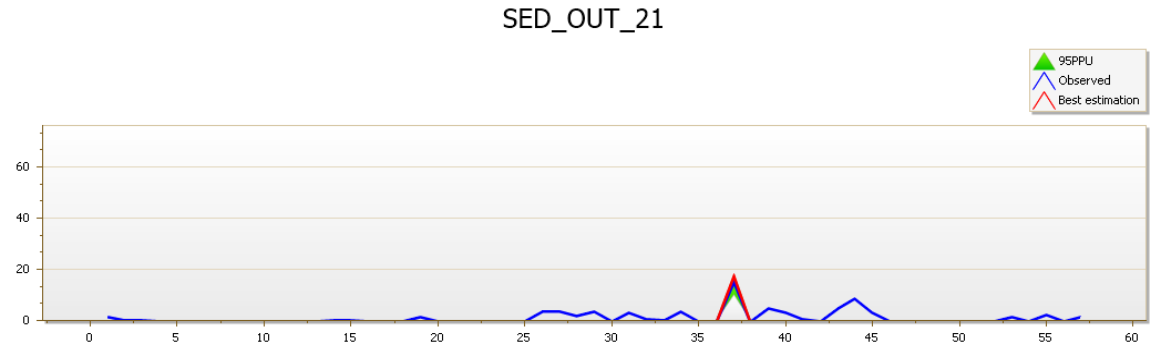
شکل ۸. نمودارمیانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در اعتبارسنجی مدل

Fig 8. The graph of the observed and simulated average discharge of the Pishein station in the validation model



شکل ۹. نمودارمیانگین دبی رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در واسنجی مدل

Fig 9. The graph of the average observed and simulated sediment discharge of the Pishein station in model calibration



شکل ۱۰. نمودارمیانگین دبی رسوب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ایستگاه پیشین در اعتبارسنجی مدل

Fig 10. The graph of the average observed and simulated sediment discharge of the Pishein station in the validation model

طبق طبقه‌بندی توصیفی ارائه شده توسط (موریاسی[1] و همکاران، ۲۰۰۷) مقدار معیار نش–ساتکلیف بین ۰/۷۵ تا ۱ در کلاس خیلی خوب ،از ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ در کلاس خوب و از ۰/۵۰ تا ۰/۶۵ در کلاس قابل قبول قرار دارد. که با توجه به نتایج بدست آمده از واسنجی (NS=0.76) معیار نش–ساتکلیف در کلاس خیلی خوب قرار گرفته است.

پس از اتمام واسنجی، صحت‌سنجی مدل با استفاده از دامنه پارامترهای بهینه شده از مرحله واسنجی انجام گردید. این مرحله با طول دوره آماری ۵ سال از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ با استفاده از داده‌های میانگین دبی و رسوب ماهانه ایستگاه پیشین انجام گرفت که نتایج بدست آمده در کلاس قابل قبول قرار دارد. با توجه به نتایج بدست آمده از مرحله صحت‌سنجی و سایر تحقیقات انجام شده مشابه (Gorgij, 2018; Aghakhani et al., 2018; Barati et al., 2019; Zarezadeh Mehrizi et al., 2016) دقت مدل شبیه‌سازی قابل قبول و نتایج بدست‌آمده با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد.

براساس آنالیز حساسیت موثرترین پارامترها بترتیب در جدول (۳) ارائه شده است.

[1] Moriasi

جدول۳. پارامترهای انتخابی براساس آنالیز حساسیت جهت انجام مرحله واسنجی

Table 3. Selected parameters based on sensitivity analysis to carry out the calibration stage

شماره ردیف Row	پارامتر Parameter
1	v_ALPHA_BF.gw پارامتر آلفا در جریان برگشتی
2	r-CN2.mgt اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط SCS شماره منحنی
3	r_SOL_AWC().sol مقدار آب قابل دسترس(mm)
4	v_CH_K2.rte هدایت هیدرولیکی موثر بستر در کانال اصلی(mm/h)
5	r_HRU_SLP.hru شیب متوسط زمین در هر میلی متر
6	v_GW_DELAY.gw زمان تاخیر برای تغذیه آبخوان(روز)
7	v_GW_REVAP.gw ضریب تبخیر آب زیر زمینی
8	v_EPCO.hru فاکتور جریان برداشت آب گیاه
9	v-REVAPMN.gw حداقل مقدار ذخیره آب در سفره کم عمق که برای شروع تبخیر آب زیر زمینی از طریق موییننگی یا تغذیه سفره عمیق لازم است(mm)
10	v_RCHRG_DP.gw ضریب انتقال از سفره کم عمق به عمیق

پارامتر شماره منحنی اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط و پارامتر آلفا در جریان برگشتی بیشترین تأثیر را در آنالیز حساسیت داشتند که با نتایج (Sar-aei et al., 2019; Heidary et al., 2020) همخوانی و با نتایج (Haji Ghasemi et al., 2021) که پارامتر ضریب تعیین نفوذ به سفره عمیق از سفره کم عمق را به عنوان پارامتر تأثیرگذار مطرح نمودند، مطابقت ندارد. با استفاده از SWAT رتبه هریک از زیرحوضه‌های موجود در یک حوضه آبخیز بر اساس مشارکتی که در سیلاب خروجی زیرحوضه و کل حوضه آبخیز دارند بر اساس معیارها و متغیرهای مختلف هیدرولوژی مشخص شد (جدول ۴).

مطابق جدول (۴) زیر حوضه ۲۰ با میانگین رواناب تولیدی ۲.۴۶ میلی‌متر رتبه اول در تولید رواناب را از بین ۲۱ زیر حوضه دارد و همچنین زیر حوضه ۱۰ با میانگین ۰،۰۶ میلی‌متر رواناب تولیدی کمترین میزان رواناب را به خود اختصاص داده است. نتایج اولویت‌بندی نشان داد که حوضه‌های جنوب و جنوب غربی در اولویت می‌باشند که علت آن کاهش پوشش گیاهی و نفوذپذیری می‌باشد.

جدول۴. رتبه زیرحوضه‌ها بر اساس میزان رواناب (میلی‌متر)

Table 4. The ranking of sub-basins based on the amount of runoff (mm)

زیرحوضه Subbasin	میانگین رواناب Runoff Average	رتبه Rank
20	2.46	1
16	1.89	2
17	1.79	3
15	1.23	4
18	0.54	5
21	0.42	6
14	0.30	7
11	0.291	8
19	0.29	9
2	0.27	10
1	0.254	11
6	0.237	12
4	0.227	13
5	0.22	14
13	0.191	15
3	0.181	16
9	0.12	17
8	0.115	18
12	0.106	19
7	0.084	20
10	0.06	21

نتیجه‌گیری

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی از مباحث مهم در تصمیم‌گیری اولیه برای کنترل سیل و اجرای پروژه‌های آبخیزداری است که در این راستا از روش‌های متعددی مانند خصوصیات مورفولوژیکی، روش‌های تصمیم‌گیری و مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌گردد. این تحقیق با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در ۲۱ زیرحوضه آبخیز سرباز واقع در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفته‌است. نتایج در دو مرحله‌ی واسنجی و صحت‌سنجی معادل NS=0.76 و R^2=0.86 در مرحله واسنجی و در NS=0.56 و R^2=0.58 مرحله صحت‌سنجی به دست آمد. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدلSWAT در شبیه‌سازی حوضه آبخیز سرباز به خوبی عمل کرده‌است و می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز بزرگ با شرایط پیچیده و ناهمگن همچون حوضه‌آبخیز سرباز با مساحت ۶۸۵۰ کیلومتر مربع به شرط داشتن داده‌های ورودی با دقت مناسب استفاده کرد. از توانایی‌های مهم دیگر روش‌های هیدرولوژکی اعمال سناریو و مدیریت‌های مختلف در مدیریت سرزمین است. در ادامه این تحقیق می‌توان با اعمال سناریوهای مدیریت سیلاب، میزان سیلاب‌های مخرب که همواره موجب طغیان رودخانه‌ها گردیده و خسارت‌های جبران ناپذیری را در منطقه مورد مطالعه بوجود می‌آورند را به حداقل رساند و از این سناریوها برای کاهش مخاطرات احتمالی در آینده بهره جست.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این تحقیق از شرکت آب منطقه ای سیستان و بلوچستان بابت حمایت ها و همکاری در تامین داده های مورد نیاز کمال تقدیر و تشکر را دارند.

منابع

Abbaspour, K.C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang H., & Klove, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Jour-

on Watershed Runoff and Sedimentation Using SWAT and WEPP Models (Case Study: Dehbar Basin). Iranian Journal of Soil and Water Research, 51(4), 1027-1040. doi: 10.22059/ijswr.2020.287152.668293. [In Persian].

Karami, Sh., & Karami, A. (2017). Reviewing the required input data and various SWAT model calibration methods, the first conference on the use of water and soil management tools (SWAT) in the country's water resources management, Isfahan. [In Persian].

Komolafe, A. A., Awe, B.S., Olorunfemi, I. E., & Oguntunde, P.G. (2020). Modelling flood-prone area and vulnerability using integration of multi-criteria analysis and HAND model in the Ogun River Basin, Nigeria. Hydrol Sci J, 65(10),1766–1783.

Luu, Ch., Thai Pham, B., Van Phong, T., Costache, R., Duy Nguyen, H., Amiri, M., Duy Bui, Q., Thanh Nguyen, L., Van Le, H., Prakash, I., & Trong, T. (2021). GIS-based ensemble computational models for flood susceptibility prediction in the Quang Binh Province, Vietnam, Journal of Hydrology, 599(4), 126500.

Malekian, A., Oftadegan Khuzani, A., & Ashurnejad, G. (2012). Flood Hazard Zoning in Watershed Scale using Fuzzy Logic (Case study: Akhtar Abad Watershed). Physical Geography Research Quarterly, 44(4), 131-152. doi: 10.22059/jphgr.2012.30246. [In Persian].

Malik, M.A., Dar, A.Q., & Jain, M.K. (2022). Modelling streamflow using the SWAT model and multi-site calibration utilizing SUFI-2 of SWAT-CUP model for high altitude catchments, NW Himalaya's. Model. Earth Syst. Environ, 8, 1203–1213.

Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., & Veith, T.L. nal of Hydrology, 524, 733-752.

Aghakhani, M., Nasrabadi, T., & Vafainejad, A (2018). Hydrological simulation of Taleghan watershed using SWAT model of environmental science and technology. Journal of Environmental Science and Technology (JESt), 21(9), 147-159. doi: 10.22034/jest.2020.26325.3576[In Persian].

Arnold, J.G. (2001). Soil and water Assessment tool (Appendix A: Model fact sheets), http:// www. brc.tamus.edu/ SWAT /index. htm.

Barati, F., Hosseini, M., Sarmi, A., & Mokhtari, A. (2019). Simulation of hydrological balance of Eskandari watershed using SWAT model and SUFI algorithm. Iranian Journal of Watershed Science and Engineering, 14(48), 90-99[In Persian].

Derakhshan, Sh. (2009). Studying the flood potential of the Kasilian watershed using geographic information system. Journal of applied research of geographical sciences, 13(1),51-63. [In Persian].

El-Fakharany, M.A., & Mansour, N.M. (2021). Morphometric analysis and flash floods hazards assessment for Wadi Al Aawag drainage Basins, southwest Sinai, Egypt. Environ Earth Sci 80, 168. https://doi.org/10.1007/s12665-021-09457-1.

Gorgij, Kh. (2018). Hydrological simulation of Sarbaz watershed using SWAT model. Master's thesis, Zabul University. [In Persian].

Haji Ghasemi, Sh., Zakari Neiri, M., & Najafi Jilani, A. (1400). Investigating the impact of climate change on surface runoff with the SWAT model. Study: Mazalghan River. Iran Irrigation and Drainage Journal, 15(1), 121-137[In Persian].

Heidary, H., Mousavi, M., esmaili, K., & Golkarian, A. (2020). The Impact of Climate Change

(2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the Asabe, 50(3), 885–900.

Mukherjee, F., & Singh, D. (2019). Detecting flood prone areas in Harris County: a GIS based analysis. GeoJournal, 85(3), 647–663.

Nash, J.E., & Sutcliffe, T.E. (1970). River flow forecasting through Conceptual model, Part I. A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10(3), 282-290.

Nasiri Khiavi, A., Vafakhah, M., & Sadeghi, S.H. (2022). Comparative prioritization of sub-watersheds based on Flood Generation potential using physical, hydrological and co-managerial approaches. Water Resour Management, 36, 1897–1917.

Nazary, B., Batoukhteh, F., Mohamadi Ghale Ney, M., & Ababaei, B. (2018). The estimated volume of runoff and sediment in the Gerahty dam basin using the SWAT model. Journal of Water and Soil Conservation, 25(4), 321-330. doi: 10.22069/jwsc.2018.12580.2733. [In Persian].

Razavi, A. (2007). The principles of determining the privacy of water resources, first edition. Publications of Tehran University of Water and Electricity Industry. [In Persian].

Saraei, B., Talebi, A., Muzhesi, A., & Parvizi, S. (2019). Prioritization of Sardabroud watershed in terms of flooding using SWAT model. Natural environment hazards, 9(23), 85-98. doi: 10.22111/jneh.2019.29033.1500. [In Persian].

Sedighi Hamidi, P., Besharat, S., & Verdinijad, V. (2017). Introduction to the SWAT model and its application, the 7th National Conference on Water Resources Management of Iran, Yazd, [In Persian].

Skilodimou, H. D., Bathrellos, G. D., Chousianitis, K., Youssef, A. M., & Pradhan, B. (2019). Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: a case study. Environ Earth Sci, 78(2),47–87.

Tajbakhsh, S. M., & Chezgi, J. (2023). Prioritization of flooding sub-basins in the north of the Birjand Plain using morphometric factors and VIKOR model. Water and Soil Management and Modelling, 3(3), 240-255. doi: 10.22098/mmws.2022.11855.1179. [In Persian].

Zarezadeh Mehrizi, Sh., Khorani, A., Bazarafshan, J., & Bazarafshan. A. (2016). Evaluating the effectiveness of SWAT model in simulating the runoff of Gamasiab watershed. Pasture and Watershed (Natural Resources of Iran), 70(4), 881-893. doi: 10.22059/jrwm.2018.243898.1174. [In Persian].

Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Fall 2023, Vol.1, No.3, pp 87-104

10.22077/JDCR.2023.6498.1028

Investigation of the Effects of Meteorological Parameters on Evaporation from the Water Surface Using Variance Analysis

Javad Zahiri [*1], Adell Moradi Sabzkouhi [2]

1. Associate Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran.

***Corresponding Author: j.zahiri@asnrukh.ac.ir**

Keywords:
Reservoir losses, Meteorological parameters, Analysis of variance, Interaction effects

Received:
17 Jun 2023

Revised:
16 Aug 2023

Accepted:
17 Aug 2023

Extended Abstract

Introduction

The challenge of reducing fresh water resources is more serious due to the hot and dry climate in Iran, and requires the optimal use of available water resources. Most of the losses in the reservoirs of dams are due to evaporation. Considering the number of dams in the country, every year a huge amount of the dams' reservoirs is lost due to evaporation. Changes in evaporation rates due to climate change can greatly affect hydrological parameters such as soil water content and runoff. Therefore, the investigation of the effects of different meteorological parameters on the evaporation rate provides insights into new ways of evaporation suppression methods. In addition to this, evaporation is considered the main factor in the loss of water resources in hot and dry regions. Based on this, investigating the rate of evaporation from these reservoirs under the climate change can help to understand this phenomenon and deal with it. By knowing the effective parameters on the evaporation and the mutual effects of different parameters, it is possible to take more effective measures in choosing the appropriate evaporation reduction methods and increasing their efficiency under different conditions. In this research, the main and interaction effects of different meteorological parameters such as temperature, relative humidity, wind speed, radiation and average vapor pressure on the evaporation rate from the free surface of water were investigated using variance analysis.

How to cite this article:
Zahiri, J., & Moradi Sabzkouhi, A. (2023). Investigating the interaction effects of meteorological parameters on evaporation from the water surface using variance analysis. Journal of Drought and Climate change Research, 1(3), 87- 104. 10.22077/JDCR.2023.6498.1028.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Methodology

In this study, the information from Ahvaz weather station during 1991 to 2019 was analyzed. Ahvaz airport's weather station is at 31°32° latitude, 48°66° longitude and 16 meters above sea level. Class A evaporation pans are used at this station to measure the evaporation rate. The Mann-Kendall test was used in this study at four significance levels of 0.001, 0.01, 0.05 and 0.1. To perform the Mann-Kendall test, the MAKESENS application developed by the Meteorological Institute of Finland was applied. In this study, one-way and two-way variance analyses were used to compare and investigate the effect of evaporation reduction methods and different meteorological parameters. In this study, a two-way analysis of variance was used to check the effect of different meteorological parameters on the performance of different methods. Analysis of variance requires all parameters to follow normal distribution to some extent. In addition, the independent variables must have a nominal or ordinal scale. Accordingly, all meteorological parameters were divided into three levels: high, medium and low. For this purpose, first, different meteorological parameters were modified based on the average of each parameter. In this way, the average of each parameter was reduced from all the data of that parameter. In such a case, the average data of that parameter will be equal to zero. After that, according to the standard deviation (Sd) of each parameter, the data of that parameter were divided into three parts. Values less than -1Sd were considered as low (level 1), values greater than +1Sd as high (level 3) and values between -1Sd and +1Sd as intermediate (level 2). All calculations were done in SPSS environment. The statistical characteristics of different meteorological parameters during the investigated period are presented in Table 1.

Table 1. Statistical characteristics of different meteorological parameters during the studied period

Parameter	Minimum	Maximum	Average	Standard deviation	Bond 1	Bond 2	Bond 3
Temperature (C)	3.4	44.3	26.7	10.3	<16.4	16.4-36.9	>36.9
Humidity (%)	4.4	94.62	30.9	20.2	<10.7	10.7-51.1	>51.1
Surface Pressure (kPa)	98.6	102.42	100.5	0.8	<99.6	99.6-101.3	>101.3
Wind Speed (m/s)	0.6	8.33	2.2	0.9	<1.3	1.3-3.2	>3.2
Solar Irradiance (MJ/m^2/day)	0.5	32.03	19.8	7.1	<12.7	12.7-26.9	>26.9

Discussion and Results

At first, only the main effects of different parameters on the rate of evaporation were calculated using analysis of variance, and then the interaction effects of different meteorological parameters on the rate of evaporation were investigated. In Table 2, the main effects of temperature parameters, relative humidity, surface pressure, wind speed and the amount of radiation on evaporation are presented.

Table 2. Results of ANOVA based on the main effects

Source	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Temperature	2	2095.521	187.417	.000	.036
Humidity	2	3979.157	355.883	.000	.066
Surface Pressure	2	7765.179	694.493	.000	.122
Wind Speed	2	3113.505	278.462	.000	.053
Solar Irradiance	2	8253.249	738.144	.000	.129

Based on the analysis, all the mentioned parameters had a significant effect on the evaporation rate. The results of the Bonferroni test, which is used to observe the effects within the group, show that there is a significant difference in all meteorological parameters between the different levels of these parameters on the evaporation rate. The calculated explanation coefficient for the main effects is equal to 0.69, which shows that the main effects can estimate 0.69 of the output variance. Considering that only the main effects are used in this section, the Eta squared parameter can show the percentage of influence of each parameter on the output. Based on this parameter, solar radiation has the greatest effect on evaporation. Surface pressure and relative air humidity are also placed in the next place.

Conclusion

Based on the analysis, all the mentioned parameters had a significant effect on the evaporation rate. According to Eta squared, the main effects could estimate 69% of the output variance. Based on this parameter, solar radiation had the most significant effect on the evaporation rate. The results of variance analysis showed that all the interactive effects had a significant effect on the evaporation rate, and only the interactive effect of wind speed and radiation was not significantly different. The interactive effect of surface pressure on temperature and radiation had the most significant effect on the rate of evaporation, followed by the interactive effect of temperature and relative humidity. Investigation of the effect of various meteorological parameters on the rate of evaporation from the water surface and their interactive effects can be used to investigate the efficiency of various methods to reduce evaporation.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره سوم، پیاپی ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۱۰۴ - ۸۷

doi 10.22077/JDCR.2023.6498.1028

بررسی تأثیر متقابل پارامترهای هواشناسی بر تبخیر از سطح آب با استفاده از تحلیل واریانس

جواد ظهیری*[۱]، عادل مرادی سبزکوهی[۲]

۱. دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
*نویسنده مسئول: j.zahiri@asnrukh.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
آنالیـز واریانـس، اثـرات متقابـل، پارامترهـای هواشناسـی، تلفـات مخـزن

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۳/۲۷

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۵/۲۶

چکیده

در کشـور ایـران با توجه به شـرایط اقلیمی گرم و خشـک، چالـش کاهش منابع آب شـیرین جدی‌تر بـوده و لزوم اسـتفاده بهینـه از منابع آب موجـود را ایجاب می‌کند. قسـمت اعظم تلفـات در مخازن سـدها ناشـی از پدیـده تبخیـر بـوده و با توجه بـه تعداد سـدهای موجود در کشـور، هرسـاله حجم عظیمـی از ذخیـره‌ی سـدها در اثر تبخیر تلف می‌شـود. جهت بررسـی پدیـده تبخیر نیاز اسـت که تأثیـر پارامترهـای مختلف هواشناسـی بـر میزان تبخیـر از سـطح آزاد آب مورد ارزیابی قـرار گیرد. بـر همیـن اسـاس در این تحقیق سـعی شـد تـا تأثیـر پارامترهـای درجه حـرارت، درصـد رطوبت نسـبی، سـرعت بـاد، میزان تابـش و میانگین فشـار بخـار بـر روی میزان تبخیـر از سـطح آزاد آب بـر اسـاس داده‌هـای درازمدت ایسـتگاه هواشناسـی اهواز مـورد ارزیابی قـرار گیرد. جهت بررسـی اثـرات اصلـی و متقابـل پارامترهـای مختلـف هواشناسـی بـر میـزان تبخیـر از سـطح آب، از آنالیز واریانـس اسـتفاده گردیـد. بـر اسـاس تحلیل صـورت گرفتـه کلیـه پارامترهای مـورد اشـاره تأثیر معنـاداری بـر میـزان تبخیر داشـتند. ضریـب تبیین محاسبه‌شـده جهت تعییـن اثرات اصلـی، برابر بـا ۰/۶۹ بـوده که نشـان می‌دهد، اثـرات اصلـی می‌تواننـد ۰/۶۹ واریانـس خروجی را بـرآورد کنند. بـر اسـاس پارامتـر مجذور اتـا میـزان تابش خورشـیدی بیشـترین تأثیر را بـر میزان تبخیر داشـته اسـت. فشـار سـطح و رطوبـت نسـبی هـوا نیـز در جایگاه‌های بعـدی قـرار گرفتنـد. نتایـج آنالیز واریانـس بـا در نظـر گرفتن اثـرات متقابل نشـان داد که کلیـه اثرات متقابـل دارای تأثیـر معنادار بر میـزان تبخیـر بـوده و تنهـا اثـر متقابل سـرعت باد و میـزان تابـش فاقد تفـاوت معنادار می‌باشـد. اثـرات متقابـل فشـار سـطح در درجـه حـرارت و میـزان تابـش و نیز اثـر متقابـل درجه حـرارت و رطوبـت نسـبی بـه ترتیـب بیشـترین تأثیـر را بر میـزان تبخیـر داشـت. اطـلاع از اثـر پارامترهای مختلـف هواشناسـی بـر میـزان تبخیـر از سـطح آب و اثـرات متقابل آن‌هـا می‌تواند جهت بررسـی کارایـی روش‌هـای مختلـف کاهـش تبخیر مورد اسـتفاده قـرار گیرد.

مقدمه

براساس مطالعات سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، در بین ۱۱۲ کشور از نظر بحران آب، ایران در رده ۱۱ قرار دارد که نشان دهنده وضعیت نامناسب ایران از لحاظ منابع آبی است. بر این اساس می‌بایستی کشور تا سال ۲۰۲۸ جهت حفظ شرایط موجود ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیافزاید که این افزایش می‌تواند از راه‌های مختلفی از قبیل افزایش راندمان آبیاری و کاهش تبخیر صورت پذیرد. بجز نواحی محدودی از ایران در حاشیه دریای خزر، در سایر مناطق مقدار بارندگی به مراتب کمتر از تبخیر است. به‌عنوان مثال توان تبخیری نیوار در یزد و مناطق کویری ایران در حدود ۹۳۱۱ میلی‌متر می‌باشد (Hashemi Garmdeh and Eslamian, 2005). آب شیرین از اساسی‌ترین نیازهای جوامع بشری است و چگونگی حفظ و بهره‌برداری از منابع آب شیرین یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر محسوب می‌شود. این چالش در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان وضعیت وخیم‌تری دارد و در حال تبدیل شدن به یک بحران می‌باشد به‌طوری که گفته می‌شود در حال حاضر بیش از نیمی از جمعیت جهان با کمبود منابع آب شیرین مواجه هستند. سهم ایران از منابع آب شیرین جهان نسبت به مناطق دیگر در سطح پایین‌تری قرار دارد. با وجود آن‌که یک درصد جمعیت و ۱/۱ درصد خشکی‌های جهان به ایران اختصاص دارد، سهم آن از منابع آب شیرین تنها ۰/۳ درصد است. از طرف دیگر، کمبود بارندگی در ایران به دلیل قرار گرفتن آن در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان باعث شده که کشور ما به‌صورت طبیعی همواره با کمبود آب مواجه باشد و در زمره کشورهای با محدودیت منابع آبی قلمداد شود (Madadi et al., 2020). با توجه به منابع آبی محدود و آب و هوای گرم و خشک در ایران، مدیریت منابع آب و پیش‌بینی‌های آتی نقش مهمی در ارزیابی منابع موجود و سطوح تقاضا دارد (Zarghami et al., 2011; Solomon, 2007). اگرچه وزارت نیرو در دهه‌های گذشته احداث سدها را برای مقابله با مشکل کم آبی در دستور کار خود قرار داد ولی عدم توجه به نرخ بالای تبخیر در کشور (متوسط تبخیر سالانه در ایران ۲۱۰۰ میلی‌متر است که سه برابر متوسط تبخیر جهانی است (Mozafari et al., 2019) باعث شده که هر ساله میلیاردها مترمکعب آب از مخازن بیش از ۶۰۰ سد موجود در کشور تبخیر شود. بر اساس مطالعه‌ای که بر روی ۷۲۴۲ مخزن بزرگ جهانی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۶ صورت گرفته، مشخص شده است که سالانه حدود ۹۳۳/۸ کیلومتر مکعب آب از این مخازن بزرگ طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۶ تبخیر شده است که این میزان تلفات نزدیک به حدود ۷۳ درصد برداشت آب شهری در سال ۲۰۱۰ را تشکیل می‌دهد (Tian et al., 2022). همچنین توسعه بخش کشاورزی در کشور با احداث هزاران استخر ذخیره آب در اراضی باغی و زراعی همراه بوده است که میزان تبخیر از آن استخرها در مناطق گرمسیری به میلیون‌ها مترمکعب در سال می‌رسد به طوری که امروزه تبخیر از سطح مخازن سدها و استخرهای ذخیره آب کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های تشکیل خشکسالی و کاهش ذخیره منابع آبی در کشور ما محسوب می‌شود. این پدیده سهم مهمی در اتلاف آب به‌ویژه در مناطق کویر مرکزی دارد.

از این‌رو کنترل شدت تبخیر از سطوح آبی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند کمک شایانی در حفظ و تأمین منابع آب مناطق گرمسیری با پتانسیل تبخیر بالا بنماید.

عوامل متعددی بر میزان تبخیر از سطح آب مؤثرند که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

پتانسیل تبخیر: که خود بستگی به عواملی نظیر تابش خورشید، رطوبت نسبی، سرعت باد، دما، وسعت منطقه‌ی تبخیر، فشار هوا و ... دارد (Ganjiza-deh, 2013).

تابش خورشیدی: در اصل انرژی خورشیدی می‌باشد و با توجه به فصول مختلف، میزان ابرناکی آسمان و... مقدار آن متفاوت است (Craig et al., 2005). پنمن سال ۱۹۴۸ فرمول ترکیبی آئرودینامیکی تابشی ارائه داد که تبخیر از سطح آب، روی خاک و روی سطوح با پوشش علفی را پیش‌بینی می‌کند. معادلات اساسی پنمن به‌عنوان روش استاندارد جهت کاربردهای مهندسی هیدرولوژی در تخمین تبخیر پتانسیل از سطح آب

برای مکان‌ها و شرایط اقلیمی متفاوت کاربرد زیادی دارد (Shuttleworth, 1993; Dingman, 2015).

رطوبت نسبی: رطوبت نسبی، نسبت فشار بخار واقعی به فشار بخار اشباع است که بر حسب درصد بیان می‌شود. رطوبت نسبی با تغییر بخار هوا، یا تغییر دما تغییر می‌کند (Malek, 1991).

سرعت باد: باد عامل اصلی تبخیر محسوب نمی‌شود ولی با افزایش سرعت باد، جابجایی هوای اشباع زودتر رخ می‌دهد و این باعث افزایش سرعت تبخیرمی‌شود (Craig et al., 2005).

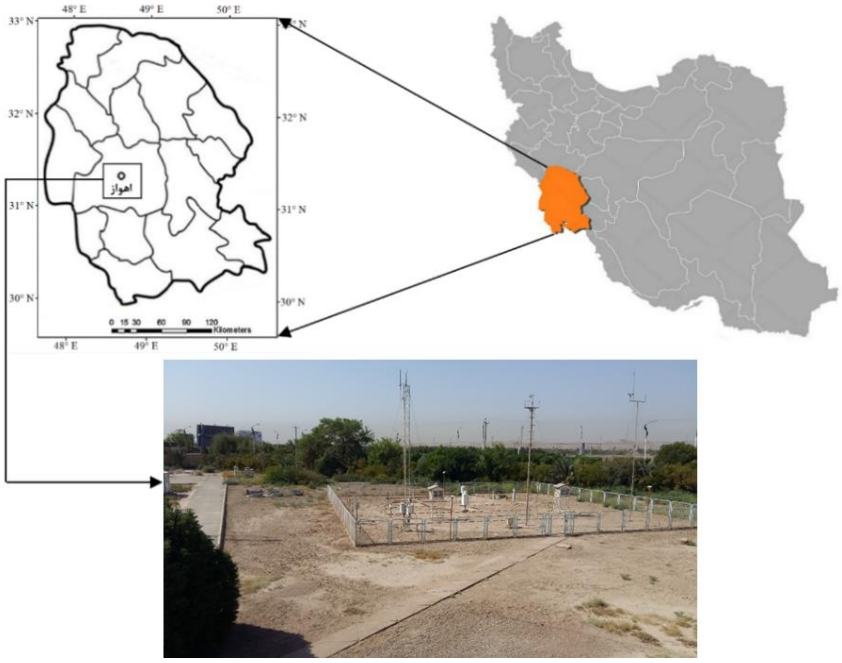
دما: موجب تشدید جنبش مولکولی آب شده و جنبش مولکولی آب موجب افزایش تبخیر می‌شود بنابراین ازدیاد دما باعث ازدیاد تبخیر می‌گردد.

وسعت منطقه‌ی تبخیر سطح: در مورد سطوح آزاد آب‌ها، میزان تبخیر در کناره‌های منبع آبی بیشتر از قسمت‌های مرکزی است زیرا در کناره‌ها انتشار عمودی و جانبی بخار آب سریع‌تر است. همچنین در مورد یک سطح تبخیر وقتی توده هوا به سمت مرکز سطح حرکت می‌کند به دلیل جذب رطوبت توان تبخیرش پایین می‌آید لذا مقدار تبخیر در قسمت‌های مرکزی کم می‌شود. از طرفی هرچقدر املاح درون آب بیشتر شود توان تبخیر کاهش پیدا می‌کند زیرا فشار بخار اشباع در مجاورت آب ناخالص کمتر از آب خالص است.

نرخ تبخیر به طور گسترده با استفاده از متغیرهای هواشناسی مانند تابش خالص، سرعت باد، رطوبت نسبی و دمای هوا فرموله شده است (Liu and Xia, 2012). در سال‌های اخیر، علی‌رغم افزایش دمای هوا، روند کاهشی در نرخ تبخیر در چندین منطقه از جهان گزارش شده است. این پدیده را پارادوکس تبخیر می‌نامند (Roderick and Farquhar, 2002). محققان این پدیده را به روش‌های مختلفی توصیف می‌کنند: کاهش تابش خورشیدی به دلیل افزایش پوشش ابر و غلظت آئروسل (Roderick and Farquhar, 2002)، کاهش سطح سرعت باد (Rayner, 2007) و غیره. تغییرات نرخ تبخیر ناشی از تغییرات آب و هوایی می‌تواند تا حد زیادی بر پارامترهای هیدرولوژیکی مانند محتوای آب خاک و رواناب تأثیرگذار باشد (Donohue et al., 2007). بنابراین، بررسی اثرات پارامترهای مختلف هواشناسی بر نرخ تبخیر بینش‌هایی را در مورد شیوه‌های جدید مدیریت آب ارائه می‌دهد. علاوه بر این تبخیر عامل اساسی اتلاف منابع آب در مناطق گرم و خشک به‌حساب می‌آید. مخازن طبیعی منبع حیات آب خانگی و کشاورزی برای بسیاری از مناطق خشک کشور به‌حساب می‌آید. بر همین اساس بررسی نرخ تبخیر از این مخازن تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی می‌تواند کمک شایانی به شناخت این پدیده و مقابله با آن نماید (Bazzi et al., 2021). با شناخت دقیق پارامترهای مؤثر بر پدیده تبخیر و اثرات متقابل پارامترهای مختلف می‌توان در انتخاب روش‌های کاهش تبخیر مناسب و افزایش کارایی آن‌ها تحت شرایط مختلف اقدامات مؤثرتری انجام داد. در این تحقیق به بررسی اثرات اصلی و متقابل پارامترهای مختلف هواشناسی از قبیل درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، میزان تابش و میانگین فشار بخار بر روی میزان تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از تحلیل واریانس پرداخته شده است. از طریق شناخت دقیق‌تر پارامترهای مؤثر بر پدیده تبخیر و اثرات متقابل آن‌ها می‌توان در انتخاب روش‌های مناسب جهت کاهش تبخیر در مناطق مختلف استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه از اطلاعات ایستگاه هواشناسی اهواز در طول دوره ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ استفاده شده است. ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز با عرض جغرافیایی ۳۲° ۳۱' و طول جغرافیایی ۴۸° ۶۶' در ارتفاع ۱۶متری از سطح دریا قرار گرفته است. در این ایستگاه جهت اندازه‌گیری میزان تبخیر از تشت‌های تبخیر کلاس A استفاده می‌گردد. نمایی از ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل ۱. ایستگاه هواشناسی اهواز در استان خوزستان

Fig 1. Ahvaz meteorological station in Khuzestan province

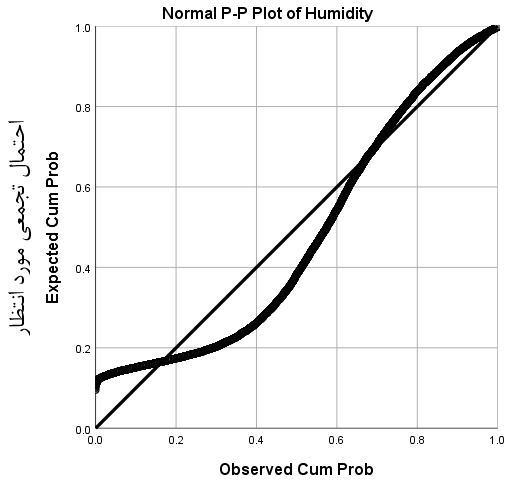
اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق شامل درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی، میانگین فشار بخار، سرعت باد، میزان تابش و تبخیر از تشت می‌باشد که به‌صورت روزانه در طول بازه ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ از ایستگاه هواشناسی به‌دست آمده است. مشخصات آماری پارامترهای مختلف هواشناسی در طول دوره‌ی مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. در این جدول میزان تبخیر به صورت متوسط روزانه می‌باشد. در این تحقیق جهت بررسی معنی‌داری روندها از آزمون من-کندال[1] در چهار سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۵ و ۰/۱ استفاده شد. جهت انجام آزمون من-کندال نیز از برنامه MAKESENS که توسط مؤسسه هواشناسی کشور فنلاند توسعه داده شده است، استفاده گردید (Salmi et al., 2002). علاوه بر این در این مطالعه از آنالیزهای واریانس یک‌طرفه و دوطرفه جهت مقایسه و بررسی تأثیر روش‌های کاهش تبخیر و پارامترهای مختلف هواشناسی استفاده گردید. در ابتدا جهت بررسی معنادار بودن تفاوت میان روش‌های مختلف کاهش تبخیر از آنالیز واریانس یک‌طرفه استفاده گردید و پس از آن جهت بررسی تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر روی عملکرد روش‌های مختلف، از آنالیز واریانس دوطرفه استفاده شد. جهت استفاده از آنالیز واریانس می‌بایستی کلیه پارامترها تا حدودی از توزیع نرمال تبعیت کنند. بر این اساس از نمودار احتمال نرمال (probability–probability plot) P-P استفاده گردید. نتایج مربوط به نمودار احتمال P-P کلیه پارامترهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در شکل (۲)ارائه شده است. علاوه بر این جهت انجام آزمون واریانس دوطرفه، متغیرهای مستقل می‌بایستی دارای مقیاس اسمی یا ترتیبی باشند. بر همین اساس کلیه پارامترهای هواشناسی به سه سطح بالا، متوسط و پایین تقسیم شدند. جهت این کار ابتدا پارامترهای مختلف هواشناسی بر اساس میانگین هر پارامتر اصلاح گردید. بدین گونه که میانگین هر پارامتر از تمامی داده‌های آن پارامتر کاسته شد. در چنین حالتی میانگین داده‌های آن پارامتر برابر با صفر خواهد شد. پس‌ازآن با توجه به انحراف معیار (Sd) هر پارامتر، داده‌های آن پارامتر به سه قسمت تقسیم گردید (Karimzadeh et al., 2023). مقادیر کمتر از 1Sd- به‌عنوان مقادیر کم (سطح ۱)، مقادیر بیشتر از 1Sd+ به‌عنوان مقادیر زیاد (سطح ۳) و مقادیر بین 1Sd- و 1Sd+ به‌عنوان مقادیر بینابین (سطح ۲) در نظر گرفته شد. کلیه محاسبات در محیط SPSS انجام پذیرفت. مشخصات آماری پارامترهای مختلف هواشناسی در طول دوره مورد بررسی در جدول (۱) ارائه شده است.

[1] Mann-Kendall test

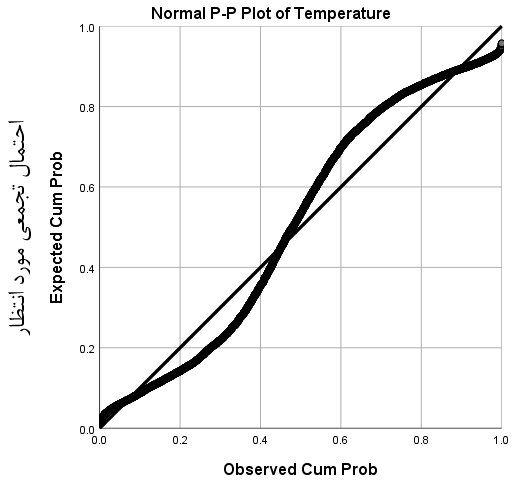
جدول ۱. مشخصات آماری پارامترهای مختلف هواشناسی در طول دوره مورد مطالعه

Table 1. Statistical characteristics of different meteorological parameters during the studied period

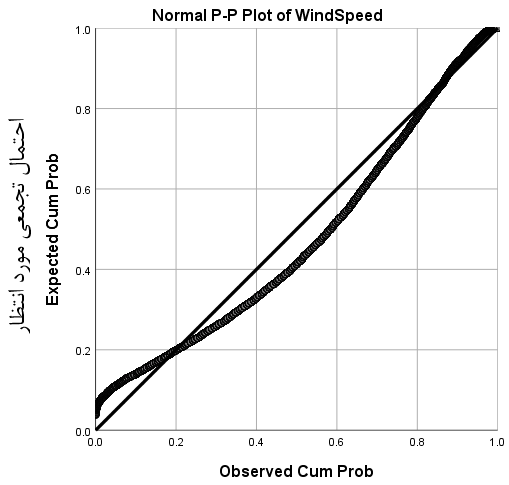
سطح ۳ Bond 3	سطح ۲ Bond 2	سطح ۱ Bond 1	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Average	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	
>36.9	16.4-36.9	<16.4	10.3	26.7	44.3	3.4	درجه حرارت Temperature (C)
>51.1	10.7-51.1	<10.7	20.2	30.9	94.62	4.4	درصد رطوبت نسبی Humidity (%)
>101.3	99.6-101.3	<99.6	0.8	100.5	102.42	98.6	میانگین فشار هوا (کیلو پاسکال) Surface Pressure (kPa)
>3.2	1.3-3.2	<1.3	0.9	2.2	8.33	0.6	سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind Speed (m/s)
>26.9	12.7-26.9	<12.7	7.1	19.8	32.03	0.5	میزان تابش (مگا ژول بر مترمربع در روز) Solar Irradiance (MJ/m^2/day)



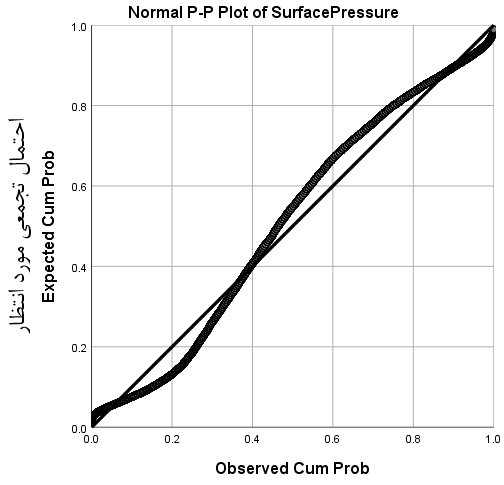
احتمال تجمعی مشاهداتی



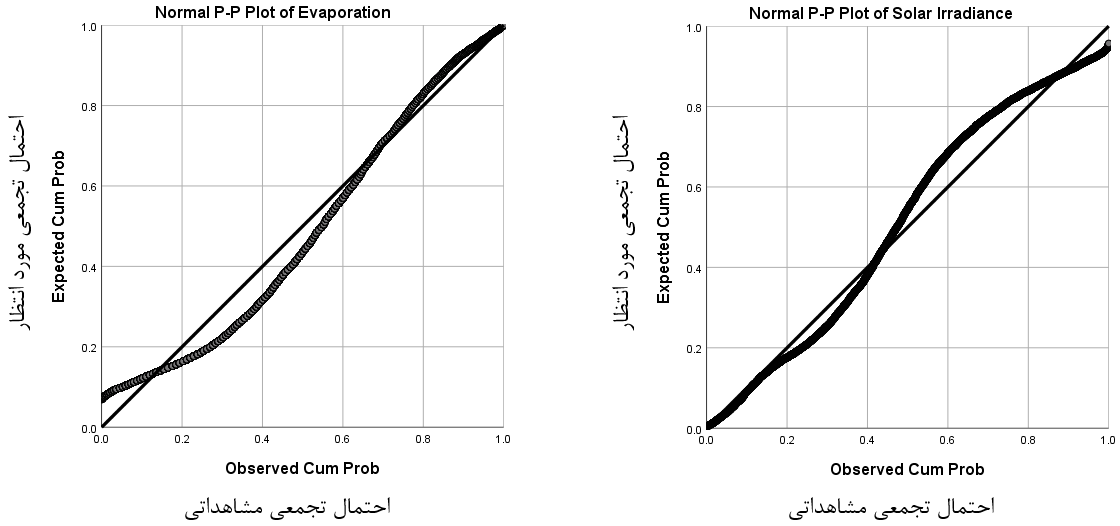
احتمال تجمعی مشاهداتی



احتمال تجمعی مشاهداتی



احتمال تجمعی مشاهداتی

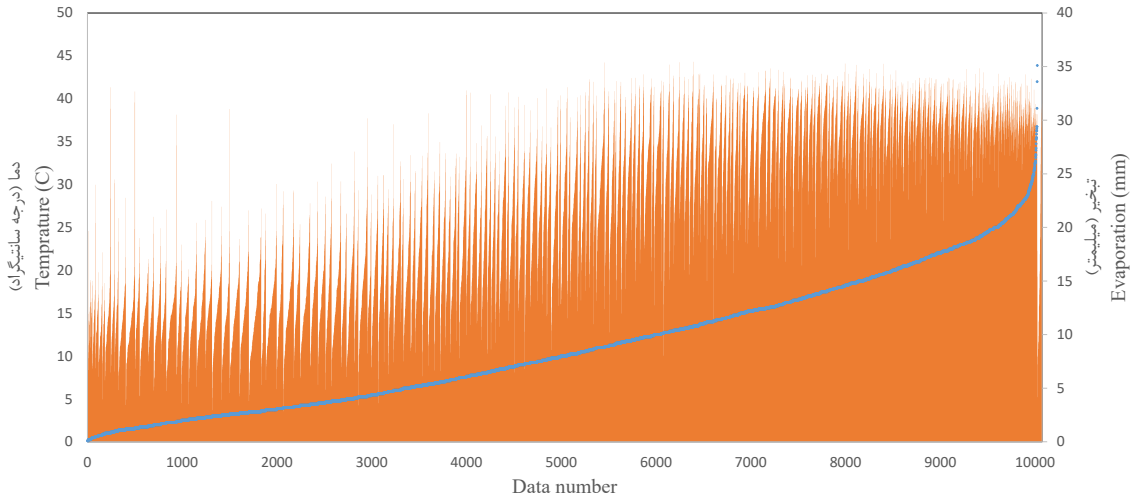


شکل ۲. نمودار توزیع احتمال P-P کلیه پارامترهای مورد استفاده

Fig 2. Probability–probability plot of all studied parameters

نتایج و بحث

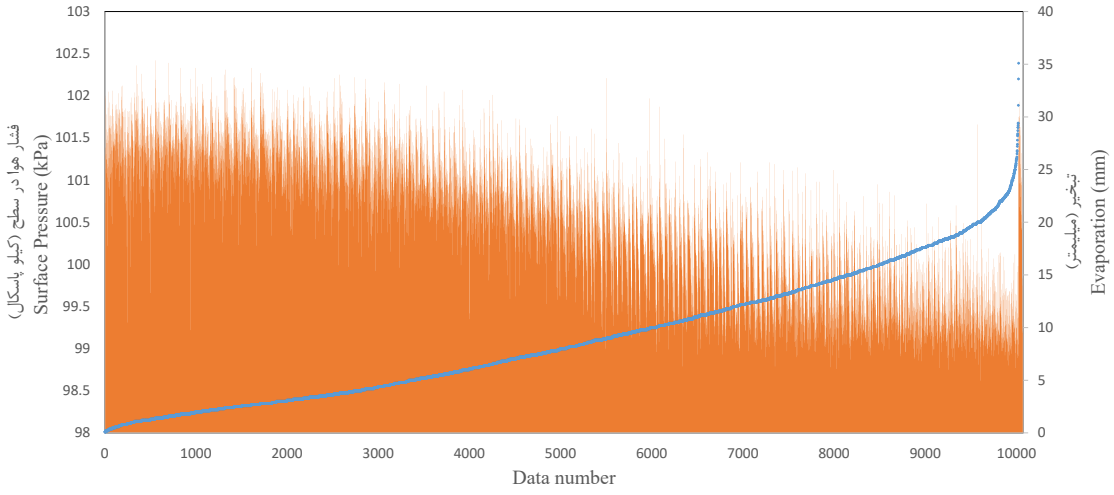
از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی مؤثر بر میزان تبخیر از سطح آب می‌توان به درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، میزان تابش و میانگین فشار بخار اشاره نمود. تبخیر از سطح آزاد آب به شدت تحت تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بوده و با توجه به شرایط مختلف، میزان تبخیر از سطح آب نیز تغییر می‌نماید. در این قسمت جهت مشاهده تأثیر پارامترهای دمای هوا، سرعت باد، درصد رطوبت نسبی، فشار هوا در سطح زمین و میزان تابش بر میزان تبخیر، شکل‌های (۳) تا (۷) ارائه شده است. در تمامی شکل‌های (۳) تا (۷)، نقاط آبی مربوط به تبخیر از تشت می‌باشند. در شکل (۳) تغییرات دمای متوسط هوا در بازه‌ی آزمایش‌ها به‌صورت صعودی مرتب شده تا تأثیر این پارامتر بر میزان تبخیر واضح‌تر گردد. همین فرآیند برای کلیه‌ی پارامترهای هواشناسی صورت گرفته است. بر اساس شکل (۳)، با افزایش میزان تبخیر، درجه حرات با توجه به آزمون من-کندال در سطح اطمینان ۹۹/۹٪ روند صعودی داشته است. افزایش تبخیر با افزایش دما برای کلیه روزها مشاهده نمی‌شود که نشان می‌دهد علاوه بر دمای هوا، دیگر پارامترهای هواشناسی نیز بر روند تبخیر مؤثر بوده که اثر آن‌ها نیز می‌بایستی در نظر گرفته شود.



شکل ۳. تأثیر متوسط دمای هوا بر میزان تبخیر در بازه مورد مطالعه

Fig 3. The effect of mean air temperature on the rate of pan evaporation in the studied period

در شکل (۴) تأثیر میزان فشار هوا در سطح زمین بر میزان تبخیر نشان داده شده است. بر اساس این شکل و با توجه به آزمون من-کندال فشار هوا در سطح اطمینان ۹۹/۹٪ روند نزولی داشته است.

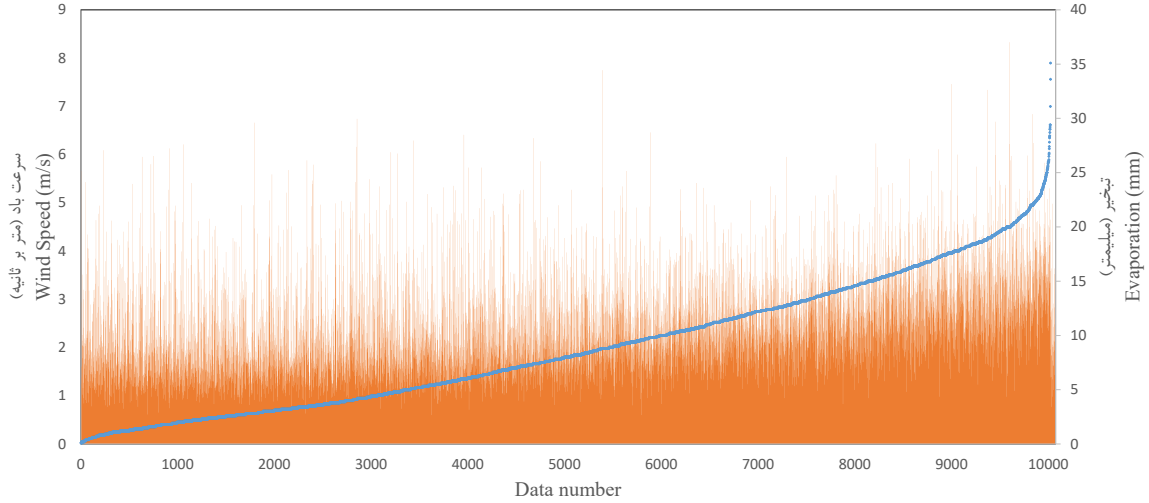


شکل ۴. تأثیر فشار هوا بر میزان تبخیر در بازه‌ی مورد مطالعه

Fig 4. The effect of air pressure on the rate of evaporation in the studied period

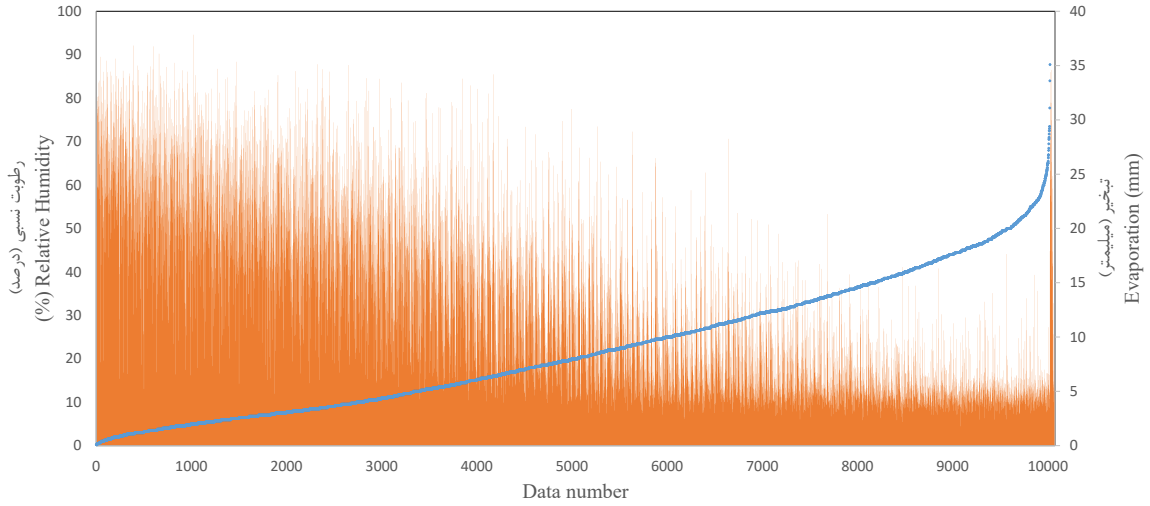
تأثیر سرعت باد بر میزان تبخیر در شکل (۵) ارائه شده است. در حالت کلی رابطه مستقیمی میان سرعت باد و میزان تبخیر از سطح آزاد آب وجود دارد و بر اساس آزمون من-کندال روند تغییرات سرعت باد در سطح اطمینان ۹۹٪ دارای روند صعودی می‌باشد. اکثر داده‌های سرعت باد کمتر از ۴ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است که بر اساس استاندارد FAO این بادها جزء بادهای با سرعت ضعیف و متوسط تقسیم‌بندی می‌شوند. علاوه بر این بیش از نیمی از داده‌های اندازه‌گیری شده دارای سرعت باد کمتر از ۲ متر بر ثانیه بوده که بر اساس استاندارد FAO، جزء بادهای ضعیف به حساب می‌آیند.

از جمله دیگر پارامترهای مؤثر بر میزان تبخیر از سطح آب، درصد رطوبت نسبی بوده که تأثیر این پارامتر بر میزان تبخیر در روزهای آزمایش در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمون من-کندال رطوبت نسبی در سطح اطمینان ۹۹/۹٪ دارای روند نزولی می‌باشد و رابطه‌ی معکوس میان درصد رطوبت نسبی و میزان تبخیر از سطح آب وجود دارد. بر اساس آمار مورد استفاده در بازه‌ی انجام آزمایش‌ها، درصد رطوبت نسبی در بیش از ۵۰ درصد اطلاعات مورد استفاده بین ۴۰ تا ۷۰ بوده که بر اساس استاندارد FAO، این مقادیر جزء رطوبت متوسط به حساب می‌آیند.



شکل ۵. تأثیر سرعت باد بر میزان تبخیر در بازه‌ی مورد مطالعه

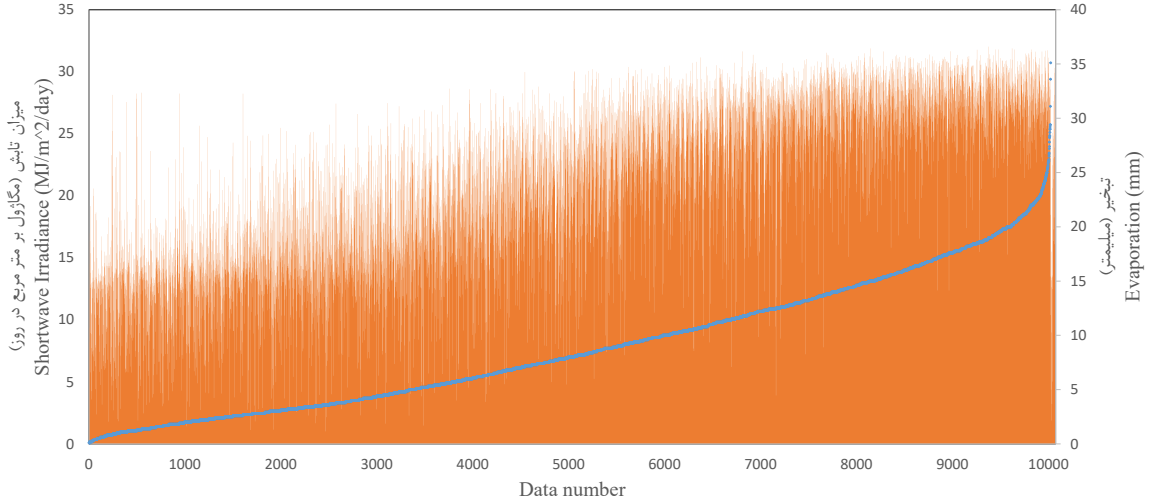
Fig 5. The effect of wind speed on the rate of evaporation in the studied period



شکل ۶. تأثیر درصد رطوبت نسبی بر میزان تبخیر در بازه‌ی مورد مطالعه

Fig 6. The effect of relative humidity percentage on the rate of evaporation in the studied period

در شکل (۷) تأثیر میزان تابش بر میزان تبخیر ارائه شده است. بر اساس آزمون من-کندال روند تغییرات میزان تابش در سطح اطمینان ۹۹/۹٪ دارای روند صعودی می‌باشد. این پارامتر نیز جزء پارامترهای مهم و مؤثر بر پدیده‌ی تبخیر به‌حساب می‌آید.



شکل ۷. تأثیر میزان تابش بر میزان تبخیر در بازه‌ی مورد مطالعه

Fig 7. The amount of radiation on the rate of evaporation in the studied period

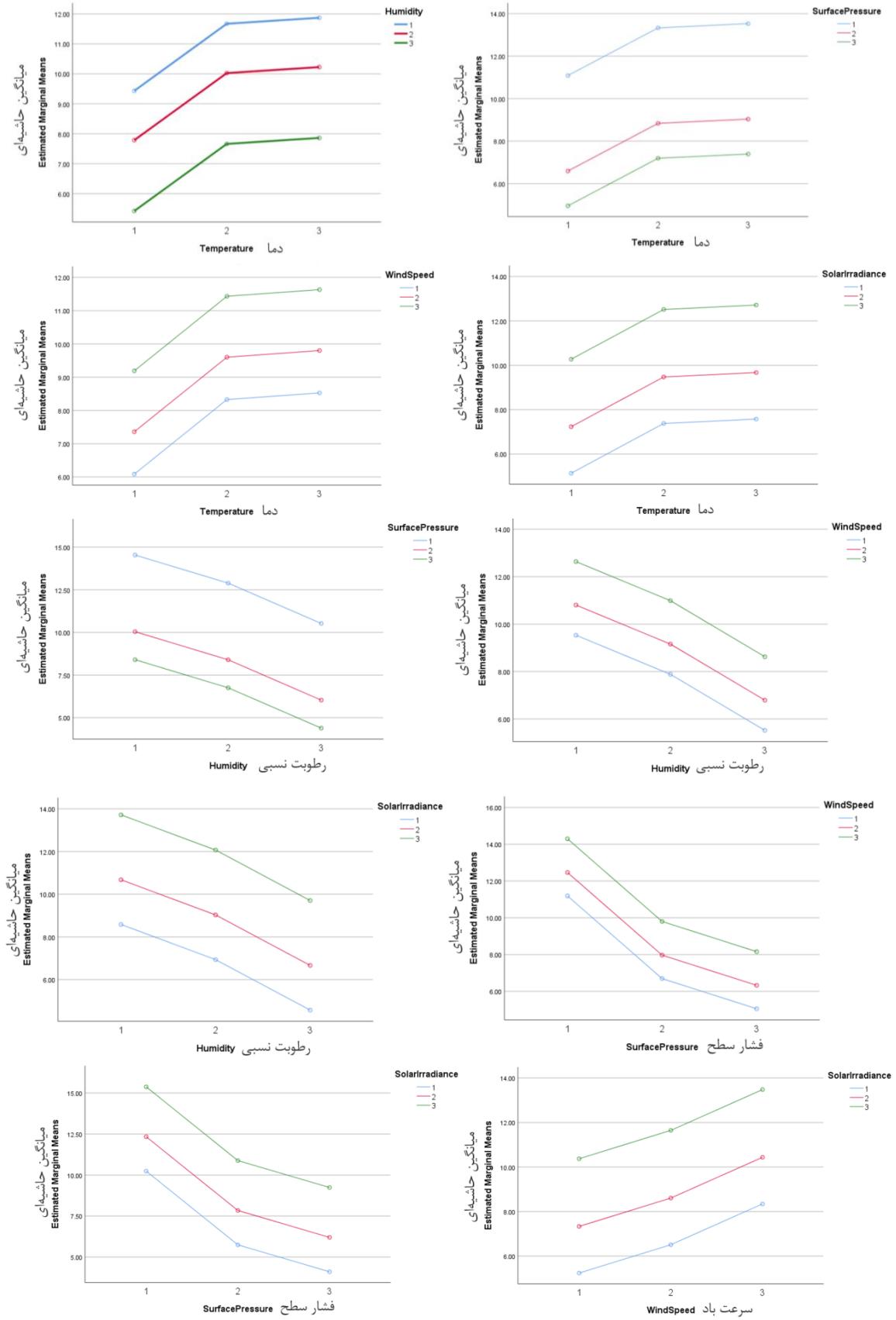
جهت بررسی دقیق‌تر اثر پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آب، از آنالیز واریانس استفاده گردید. با توجه به اینکه در کلیه نمودارهای احتمال ارائه شده در شکل (۲)، پراکندگی داده‌ها اکثراً در اطراف خط ۴۵ درجه قرار گرفته بودند می‌توان فرض نرمال بودن داده‌ها را صحیح در نظر گرفت. بر همین اساس در ابتدا تنها اثرات اصلی پارامترهای مختلف بر میزان تبخیر با استفاده از آنالیز واریانس محاسبه گردید و پس از آن اثرات متقابل پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر مورد بررسی قرار گرفت. در جدول (۲) اثرات اصلی پارامترهای درجه حرارت، رطوبت نسبی، فشار سطح، سرعت باد و میزان تابش بر تبخیر ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج تحلیل واریانس دو طرفه بر اساس اثرات اصلی

Table 2. Results of ANOVA based on the main effects

منبع Source	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	F	Sig.	پارامتر مجذور اتا Partial Eta Squared
درجه حرارت Temperature	2	2095.521	187.417	.000	.036
رطوبت نسبی Humidity	2	3979.157	355.883	.000	.066
فشار سطح Surface Pressure	2	7765.179	694.493	.000	.122
سرعت باد Wind Speed	2	3113.505	278.462	.000	.053
میزان تابش Solar Irradiance	2	8253.249	738.144	.000	.129

بر اساس تحلیل صورت گرفته کلیه پارامترهای مورد اشاره تأثیر معناداری بر میزان تبخیر داشته‌اند. نتایج آزمون بنفرونی که جهت مشاهده اثرات درون گروهی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد که در کلیه پارامترهای هواشناسی اختلاف معناداری میان سطوح مختلف این پارامترها بر میزان تبخیر وجود دارد. ضریب تبیین محاسبه‌شده جهت اثرات اصلی، برابر با ۰/۶۹ بوده که نشان می‌دهد، اثرات اصلی می‌توانند ۰/۶۹ واریانس خروجی را برآورد کنند. با توجه به اینکه در این قسمت تنها از اثرات اصلی استفاده شده است، پارامتر مجذور اتا می‌تواند درصد تأثیرگذاری هر پارامتر را بر روی خروجی نشان دهد. مجذور اتا یکی از معیارهای مربوط به اندازه‌گیری اثر بخصوص در جدول تحلیل واریانس و شیوه استنباطی آن است. از این مقدار برای تحلیل واریانس بین آزمودنی یا تحلیل واریانس یک طرفه یا تحلیل فاکتوریل استفاده می‌شود. همچنین بهره‌گیری از این شاخص در تحلیل واریانس آمیخته نیز میسر است. بر اساس این پارامتر حدود میزان تابش خورشیدی بیشترین تأثیر را بر میزان تبخیر دارد. فشار سطح و رطوبت نسبی هوا نیز در جایگاه بعدی قرار گرفته‌اند. در شکل (۸) تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آب بر اساس میانگین‌های حاشیه‌ای نشان داده شده است. در این شکل‌ها از اثرات متقابل پارامترهای مختلف صرف‌نظر شده است. یکی از نکات مهم در این شکل‌ها اختلاف نسبتاً کم میان سطوح مختلف پارامترهای هواشناسی مورد مطالعه بر میزان تبخیر می‌باشد که نشان می‌دهد مکانیسم انتخاب سطوح مختلف در پارامترهای مورد استفاده تا حدود زیادی درست بوده است. نمودار مربوط به درجه حرارت و رطوبت نسبی نشان می‌دهد که با افزایش دما از سطح ۱ (کمتر از ۱۶ درجه سانتی‌گراد) به سطح ۲ (بین ۱۶ تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد)، میزان تبخیر افزایش چشمگیری داشته، با این‌حال با افزایش دما از سطح ۲ به سطح ۳ (بیشتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد)، میزان تبخیر رشد چندانی نداشته است. همین نکته در ارتباط با نمودار فشار سطح نیز مشاهده می‌شود، به‌گونه‌ای که با افزایش فشار سطح از سطح ۱ (کمتر از ۹۹/۶ کیلو پاسکال) به سطح ۲ (بین ۹۹/۶ و ۱۰۱/۳ کیلوپاسکال) میزان تبخیر افت چشمگیری داشته ولی افزایش فشار از سطح ۲ به سطح ۳ (بیشتر از ۱۰۱/۳ کیلوپاسکال) تأثیر کمتری بر میزان تبخیر داشته است. در ارتباط با تأثیر سرعت باد بر میزان تبخیر مشاهده می‌شود که نرخ تبخیر با تغییر سرعت باد از سطح ۲ (بین ۱/۳ و ۳/۲ متر بر ثانیه) به سطح ۳ (بیشتر از ۳/۲ متر بر ثانیه) بیشتر از تغییر میان سطوح ۱ (کمتر از ۱/۳ متر بر ثانیه) و ۲ می‌باشد. در ارتباط با شدت تابش خورشیدی نیز اختلاف میان سطح ۲ و سطح ۳ (بیشتر از ۲۶/۹ مگا ژول بر مترمربع در روز) بیشتر از سطح ۱ (کمتر از ۱۲/۷ مگا ژول بر مترمربع در روز) و ۲ می‌باشد.



شکل ۸. تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر با در نظر گرفتن اثرات اصلی

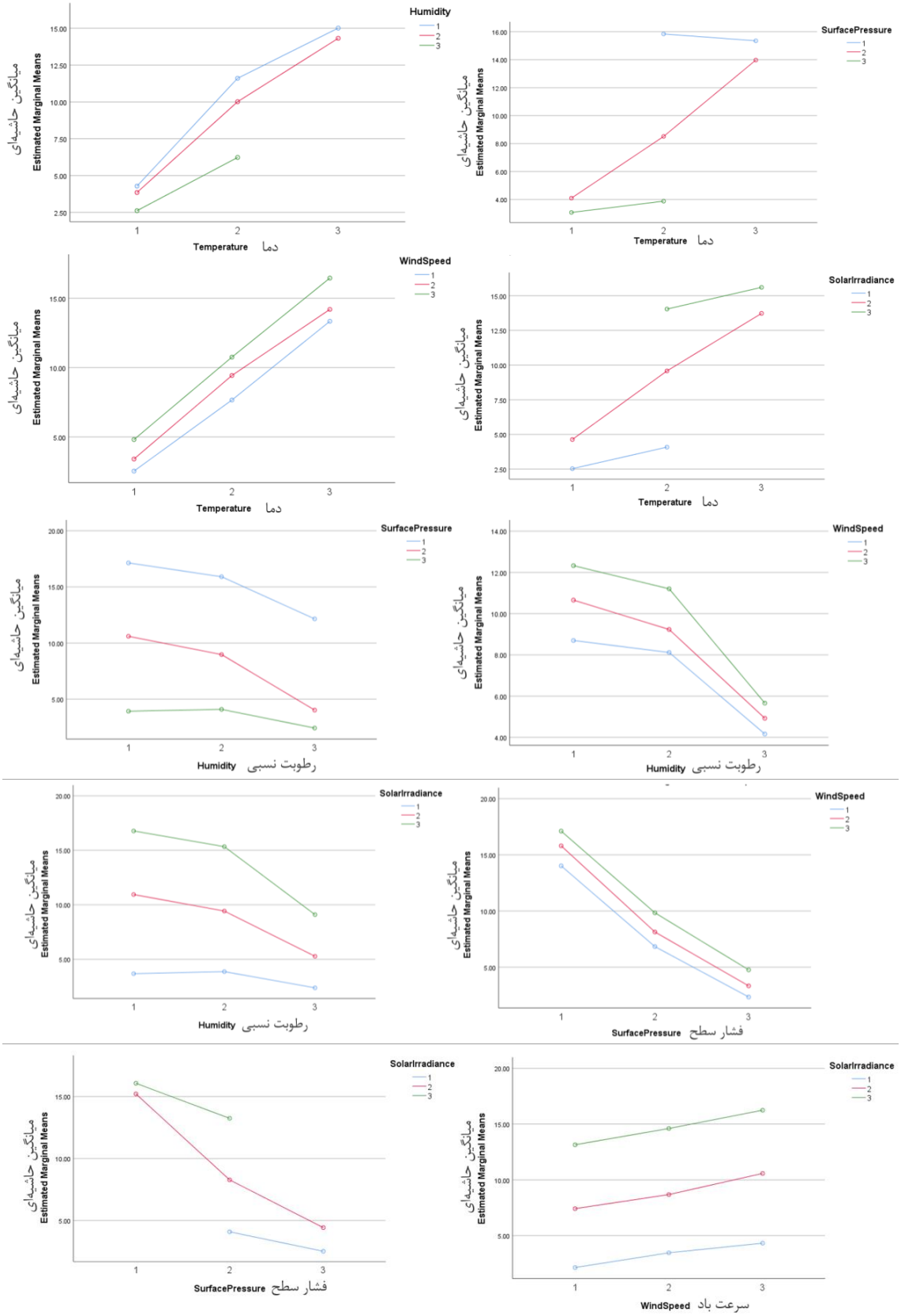
Fig 8. Effect of meteorological parameters on evaporation based on the main effects

در مرحله بعد از آنالیز واریانس دو طرفه جهت بررسی اثرات متقابل پارامترهای هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آب استفاده شده است. نتایج تحلیل صورت گرفته در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس نتایج ارائه شده، کلیه اثرات متقابل دارای تأثیر معنادار بر میزان تبخیر بوده و تنها اثر متقابل سرعت باد * میزان تابش فاقد تفاوت معنادار می‌باشد. اثرات متقابل فشار سطح در درجه حرارت و میزان تابش بیشترین تأثیر را بر میزان تبخیر داشته و بعد از آن اثر متقابل درجه حرارت * رطوبت نسبی بیشترین تأثیر را داشته است. در شکل (۹) تأثیر متقابل پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آب بر اساس میانگین‌های حاشیه‌ای ارائه شده داده است. در بعضی از نمودارها، گسستگی مشاهده می‌شود که بیانگر فقدان آن حالت در میان داده‌های مورد استفاده می‌باشد که با توجه به اینکه بازه بسیار طولانی از داده‌ها در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته شده است می‌توان نتیجه گرفت که احتمال اتفاق افتادن چنین حالت‌هایی نزدیک به صفر می‌باشد. به‌عنوان مثال در نمودار مربوط به اثر متقابل دما و رطوبت نسبی، سطح ۳ درجه حرارت و رطوبت نسبی فاقد داده می‌باشد و به عبارتی در حالتی‌که میانگین دما بالای ۳۷ درجه سانتی‌گراد باشد، رطوبت نسبی نمی‌تواند بالای ۵۱٪ باشد. در نمودار اثر متقابل درجه حرارت و رطوبت نسبی، با افزایش رطوبت نسبی از سطح ۲ به سطح ۳، افت محسوسی در میزان تبخیر مشاهده می‌شود که این تفاوت میان سطوح ۱ و ۲ قابل مشاهده نیست. مقایسه نمودار درجه حرارت و سرعت باد در دو حالت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن اثرات متقابل نشان می‌دهد که اثرات متقابل باعث شده است که شیب تند میزان تبخیر بین سطح ۱ و ۲ در سطح ۳ نیز اتفاق افتد. به عبارتی اثر متقابل درجه حرارت و سرعت باد باعث شده است در سطح ۳ درجه حرارت، میزان تبخیر به شدت افزایش یابد. همین روند در مورد اثر متقابل دو پارامتر درجه حرارت و میزان تابش نیز مشاهده می‌شود. با در نظر گرفتن اثرات متقابل، تأثیر سرعت باد بر میزان تبخیر در مقادیر رطوبت نسبی بالا بسیار کاهش می‌یابد، به‌گونه‌ای که تفاوت میان میزان تبخیر در رطوبت نسبی سطح ۳ به ازای کمترین و بیشترین سرعت باد کمتر از ۳ میلی‌متر می‌باشد. همین مسئله با شدت کمتر در مورد اثر متقابل رطوبت نسبی و میزان تابش نیز مشاهده می‌شود. در دیگر نمودارها، تفاوت محسوسی میان دو حالت مورد مقایسه مشاهده نمی‌شود.

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس دو طرفه بر اساس اثرات اصلی

Table 3. Results of two-way ANOVA based on interaction effects

منبع Source	درجه آزادی df	Mean Square	F	Sig.	پارامتر مجذور اتا Partial Eta Squared
رطوبت نسبی* میزان تابش Humidity * Solar Irradiance	4	64.784	6.760	.000	.003
رطوبت نسبی* فشار سطح Humidity * Surface Pressure	4	32.464	3.388	.009	.001
دما * رطوبت نسبی Temperature * Humidity	3	256.222	26.737	.000	.008
رطوبت نسبی * سرعت باد Humidity * Wind Speed	4	49.811	5.198	.000	.002
فشار سطح * میزان تابش Surface Pressure * Solar Irradiance	2	488.015	50.924	.000	.010
دما * میزان تابش Temperature * Solar Irradiance	2	129.920	13.557	.000	.003
سرعت باد * میزان تابش Wind Speed * Solar Irradiance	4	29.200	3.047	.016	.001
دما * فشار سطح Temperature * Surface Pressure	2	1593.254	166.255	.000	.032
فشار سطح * سرعت باد Surface Pressure * Wind Speed	4	31.602	3.298	.010	.001
دما * سرعت باد Temperature * Wind Speed	4	33.012	3.445	.008	.001



شکل ۹. تأثیر پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر با در نظر گرفتن اثرات متقابل

Fig 9. Effect of meteorological parameters on evaporation based on the interaction effects

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از اطلاعات بلندمدت ایستگاه هواشناسی اهواز از قبیل درجه حرارت، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد، میزان تابش و میانگین فشار بخار جهت بررسی تأثیر این پارامترها بر روی میزان تبخیر از سطح آزاد استفاده شده است. جهت بررسی اثر پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آب، از آنالیز واریانس استفاده گردید. بر همین اساس در ابتدا تنها اثرات اصلی پارامترهای مختلف بر میزان تبخیر با استفاده از آنالیز واریانس محاسبه گردید و پس از آن اثرات متقابل پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس تحلیل صورت گرفته کلیه پارامترهای مورد اشاره تأثیر معناداری بر میزان تبخیر داشته‌اند. ضریب تبیین محاسبه‌شده جهت اثرات اصلی، برابر با ۰/۶۹ بوده که نشان می‌دهد، اثرات اصلی می‌توانند ۰/۶۹ واریانس خروجی را برآورد کنند. نتایج آنالیز واریانس با در نظر گرفتن اثرات متقابل نشان داد که کلیه اثرات متقابل دارای تأثیر معنادار بر میزان تبخیر بوده و تنها اثر متقابل سرعت باد * میزان تابش فاقد تفاوت معنادار می‌باشد. اثرات متقابل فشار سطح در درجه حرارت و میزان تابش بیشترین تأثیر را بر میزان تبخیر داشته و بعد از آن اثر متقابل درجه حرارت * رطوبت نسبی بیشترین تأثیر را داشته است. نمودار اثر متقابل درجه حرارت و رطوبت نسبی نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت نسبی از سطح ۲ به سطح ۳، افت محسوسی در میزان تبخیر مشاهده می‌شود که این تفاوت میان سطوح ۱ و ۲ دیده نمی‌شود. مقایسه تأثیر درجه حرارت و سرعت باد در دو حالت با در نظر گرفتن و بدون در نظر گرفتن اثرات متقابل نشان می‌دهد که اثرات متقابل باعث شده است که شیب تند میزان تبخیر بین سطح ۱ و ۲ در سطح ۳ نیز اتفاق افتد. به عبارتی اثر متقابل درجه حرارت و سرعت باد باعث شده است در سطح ۳ درجه حرارت، میزان تبخیر به شدت افزایش یابد. همین روند در مورد اثر متقابل دو پارامتر درجه حرارت و میزان تابش نیز مشاهده می‌شود. بررسی اثر متقابل میان میانگین فشار با درجه حرارت نشان می‌دهد که به ازای فشارهای کمتر از ۹۹/۶ کیلو پاسکال، با افزایش درجه حرارت از سطح ۲ به سطح ۳، به جای افزایش تبخیر شاهد کاهش تبخیر هستیم که با نتایج رودریک و فارکوهار (۲۰۰۲) مطابقت دارد. با دانستن اثر پارامترهای مختلف هواشناسی بر میزان تبخیر از سطح آب و اثرات متقابل آن‌ها می‌توان جهت بررسی کارایی روش‌های مختلف کاهش تبخیر بهره برد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی سازمان جهاد دانشگاهی استان خوزستان در قالب پروژه تحقیقاتی به شماره ۱۶۲۴۶-۲۱۵۶۱۱ صورت پذیرفته است.

منابع

Bazzi, H., Ebrahimi, H., & Aminnejad, B. (2021). A comprehensive statistical analysis of evaporation rates under climate change in Southern Iran using WEAP (Case study: Chahnimeh Reservoirs of Sistan Plain). Ain Shams Engineering Journal, 12(2), 1339-1352.

Craig, I., Green, A., Scobie, M. & Schmidt, E. (2005). Controlling Evaporation Loss from Water Storages. NCEA publication, University of Southern Queensland, Australia.

Dingman, S. L. (2015). Physical hydrology. Waveland press.

Donohue, R. J., Roderick, M. L., & McVicar, T. R. (2007). On the importance of including vegetation dynamics in Budyko's hydrological model. Hydrology and Earth System Sciences, 11(2), 983-995.

Ganjizadeh, R. (2013). Evaluating the amount of evaporation and transpiration using remote sensing and comparing it with the experimental method. MSc dissertation, Faculty of Water Engineering. Shahid Chamran University of Ahvaz. [In Persian]

Hashemi Garmdeh, A. & Eslamian, S. (2005). Using covers to reduce evaporation from reservoirs. 2nd National Conference on Watershed

Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., & Amnell, T. (2002). Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates MAKESENS–The excel template application. Finish Meteorological Institute, Helsinki.

Shuttleworth, W. J. (1993). Evaporation. Chapter 4 in: Handbook of Hydrology. DR Maidment (ed.) McGraw-Hill. Inc. New York.

Solomon, S. (2007). Climate change the physical science basis. In AGU fall meeting abstracts (Vol. 2007, U43D-01).

Tian, W., Liu, X., Wang, K., Bai, P., Liu, C., & Liang, X. (2022). Estimation of global reservoir evaporation losses. Journal of Hydrology, 607, 127524.

Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y., & Kanani, R. (2011). Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. Global & Planetary Change, 78(3-4), 137-146.

Management and Water and Soil Resources Management. Kerman, Iran. [In Persian]

Hooshmand, A., Salari-jazi, M., Bahrami, M., Zahiri, J., & Soleimani, S. (2013). Assessment of pan evaporation. Changes in South Western Iran. African Journal of Agricultural Research, 8(16), 1449-1456.

Irmak S., Haman, D. & Jons, J. (2002). Evaluation of Class A pan coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128(3), 153-159.

Liu, Q., & Xia, X. H. (2012). Contribution of meteorological variables to changes in potential evaporation in Haihe River Basin, China. Procedia Environmental Sciences, 13, 1836-1845.

Madadi, M. R., Kouhestani, S., Jadavi, M., & Zakariayi, M. (2020). Performance Comparison of Two Types of Natural and Artificial Covers in Reducing Evaporation from Water Reservoirs: A Case Study (Jiroft). Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 14(4), 1448-1459. [In Persian]

Malek, A. (1991). Recognition and measurement of effective atmospheric structures in agriculture. (1st Edition). Shiraz University Publishing Center. [In Persian]

Mozafari, A., Mansouri, B., & Chini, S.F. (2019). Effect of Wind Flow and Solar Radiation on Functionality of Water Evaporation Suppression Monolayers. Water Resources Management, 33(10), 3513-3522.

Rayner, D.P. (2007). Wind run changes: the dominant factor affecting pan evaporation trends in Australia. Journal of Climate, 20(14), 3379-3394.

Roderick, M.L. & Farquhar, G.D. (2002). The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years. Science, 298(5597), 1410-1411.

Original Article

Journal of Drought and Climate change Research (JDCR)

Fall 2023, Vol.1, No.3, pp 105-124

10.22077/JDCR.2023.6523.1030

Distribution of Soil Salt and Pollution of Nitrate and Boron at Different Depths Affecting Wheat and Rice Yields in the Khuzestan Province

Moslem Tahmasebi Shamansouri[1], Ali Gholami[2*], Teimour Babaeinejad[1], Khoshnaz Payandeh[1], Mohiaddin Goosheh[1,3]

1. Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2. Department of Agriculture, Shahin Shahr Branch, Islamic Azad University, Shahin Shahr, Iran.
3. Agriculture and Natural Resources, Research Centre of Khouzestan, Ahvaz, Iran.

***Corresponding Author: a.gholami@iauahvaz.ac.ir**

Keywords:
Balanced fertilization, Soil leaching, Soil specifications, Water quality, Wheat and rice genotype

Received:
25 Jun 2023

Revised:
20 Aug 2023

Accepted:
26 Aug 2023

Extended Abstract

Introduction

Wheat (Triticum aestivum L.) and rice (Oryza sativa L.) are two important sources of food for people worldwide. Soil macro- and micro-nutrients can significantly affect wheat and rice tolerance in salt stressed conditions. The province of Khuzestan, Iran is one of the most important agricultural regions in the country. Wheat and rice are largely planted in the province especially in the areas near the Karun River. However, planting such crop plants in the region is subjected to stresses such as salinity and soil pollution with nitrate and boron, which is mainly due to high evaporation and excess chemical fertilization. Accordingly, investigating the distribution of salt, nitrate and boron in the region is of economic and environmental significance, because it may be useful for finding methods, which reduce salinity stress and provide an optimum rate of fertilization for wheat and rice production. The objective was to investigate salt distribution and pollution of nitrate and boron, resulting from chemical fertilization, in the non-alkaline and arid area of Khuzestan province, affecting wheat (Chamran genotype) and rice (Anbarbou genotype) yields.

Materials and methods

The research was conducted in the regions of Arab Asad (region 1) and Veis (region 2) and soil samples were collected from five different stations, in four different seasons and from the depths of 0-30, 30-60, 60-90, and 90-120, and their salinity, and concentrations of nitrate and boron were determined. Soil samples were collected from agricultural re-

How to cite this article:
Gholami, A., Tahmasebi Shamansouri, M., Babaeinejad, T., Payandeh, Kh., & Goosheh, M. (2023). Distribution of soil salt and pollution of nitrate and boron of different depths affecting wheat and rice yields in the Khuzestan province. Journal of Drought and Climate change Research, 1(3), 105- 124. 10.22077/JDCR.2023.6523.1030.

Copyright: © 2022 by the authors. Licensee Journal of *Drought and Climate change Research* (JDCR). This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

gions planted with wheat and rice. Soil samples were analyzed for physicochemical properties. Wheat and rice relative yields were determined according to the control region. The experimental design was factorial on a complete randomized block design. Excel software was used for arranging data and drawing graphs. Data were subjected to analysis of variance and means were compared using least significant differences at $P \leq 0.05$.

Results and discussion

According to the results, for region 1, the soil salinity at different depths was 1.96-5.16 dS/m. For region 2 it was in the range of 1.90-4.92 dS/m. The highest nitrate concentrations at different depths were 13.5, 18, 8.5, and 9 ppm (region 1) and 12.5, 16, 10, and 7 ppm (region 2). The corresponding values for boron were 37, 49, 27 and 23.5 (region 1), and 37.5, 48, 28, and 24 (region 2). Increased salinity decreased wheat and rice yields as wheat yield decreased by 17.8% (region 1) and 15.9% (region 2), and rice yield decreased by 12.9% (region 1), and 14.4% (region 2). The higher level of salinity at the soil surface is due to high evaporation and the upward movement of salt to the soil surface. The lower rainfall level in the region is also another important reason for salt accumulation on the soil surface. Additionally, nitrate and boron were leached to 30-60 cm depth indicating the high susceptibility of such nutrients to leaching. Accordingly, the farmers must use more efficient fertilization methods in the region, which result in less leaching of nitrate and boron and higher uptake of such nutrients by plants. Investigating the distribution of salt, nitrate and boron in wheat and rice fields can be beneficial in helping farmers use the present resources for optimum yield production.

Conclusion

In the present research applicable analyses were used to investigate the distribution of salt, nitrate and boron in some agricultural regions of Khuzestan province, Iran. Collecting soil samples to 120 cm in different seasons and different research stations indicated the high accumulation of salt on the soil surface and of nitrate and boron in the 30-60-cm depths. Accordingly, it is of significance to analyze such depths before planting wheat and rice in the region, so that proper leaching and fertilization methods may be suggested.

مقاله پژوهشی

مجلـه
پژوهش‌های خشکسالی و تغییر اقلیم

دوره اول، شماره سوم، پیاپی ۳، پاییز ۱۴۰۲، صفحات ۱۲۴ - ۱۰۵

doi 10.22077/JDCR.2023.6523.1030

اثرات توزیع نمک، و آلودگی نیترات و بور در عمق‌های مختلف خاک برمیزان محصول گندم و برنج در منطقه خوزستان

مسلم طهماسبی شامنصوری[۱]، علی غلامی*[۲]، تیمور بابایی نژاد[۱]، خوشناز پاینده[۱]، محی الدین گوشه[۱و۳]

۱. گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲. گروه کشاورزی، واحد شاهین شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهین شهر، ایران.
۳. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
*نویسنده مسئول: a.gholami@iauahvaz.ac.ir

واژه‌های کلیدی:
آبشویی خاک، خصوصیات خاک، رقم گندم و برنج، کودهی متعادل، کیفیت آب

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۴/۰۴

تاریخ ویرایش:
۱۴۰۲/۰۵/۲۹

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۶/۰۴

چکیده

از مهمترین عوامل مؤثر بر مقاومت گندم و برنج در شرایط تنش شوری، عناصر غذایی زیاد و ریز مغذی خاک هستند. این پژوهش با هدف بررسی توزیع نمک، و آلودگی نیترات و بور حاصل از کودهای شیمیایی موجود در یک منطقه غیربازی استان خوزستان و اثر بر میزان محصول گندم (رقم چمران) و برنج (رقم عنبربو) انجام گردید. آزمایش در مناطق عرب اسد (منطقه ۱) و ویس (منطقه ۲) انجام و نمونه‌های خاک در پنج ایستگاه مختلف، در چهار فصل و از اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ و ۱۲۰-۹۰ برای تعیین میزان شوری، نیترات و بور تهیه گردیدند. میزان شوری نواحی اعماق مختلف خاک در منطقه ۱ در بازه ۵/۱۶ dS/m – ۱/۹۶ و برای منطقه ۲ در بازه ۴/۹۲ dS/m-۱/۹۰ بود. حداکثر غلظت نیترات در چهار عمق مختلف (صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متر) به ترتیب ۱۳/۵ ppm، ۱۸، ۸/۵ و ۹ در منطقه ۱ و ۱۲/۵ ppm، ۱۶، ۱۰ و ۷ در منطقه ۲ به ثبت رسید. این نتایج برای بور به ترتیب برابر با ۳۷ppm، ۴۹، ۲۷ و ۲۳/۵ در منطقه ۱ و برابر با ۳۷/۵ ppm، ۴۸، ۲۸ و ۲۴ در منطقه ۲ بودند. با افزایش میزان شوری خاک روند کاهشی عملکرد هر دو گیاه کاملاً مشخص بود، بصورتیکه عملکرد گندم تا حد ۱۷/۸٪ در منطقه ۱ و ۱۵/۹٪ در منطقه ۲، و عملکرد برنج تا حد ۱۲/۹٪ در منطقه ۱ و ۱۴/۴٪ در منطقه ۲ کاهش داشت. بررسی نحوه توزیع نمک، نیترات و بور در مناطق تحت کاشت گندم و برنج کمک شایانی به کشاورزان برای استفاده مناسب از منابع موجود برای تولید محصول می‌نماید.

مقدمه

گندم (Triticum aestivum L.) و برنج (Oryza sativa L.) دو منبع مهم غذایی برای تغذیه مردم دنیا هستند. اگر چه این دو محصول در مناطق مختلف دنیا کاشت می‌گردند، در مناطق خشک و نیمه خشک در معرض تنش‌های مختلف همچون شوری هستند. استان خوزستان از نظرکشاورزی یکی از مهمترین استان‌های کشور است. این استان به دلیل وضعیت اقلیمی خصوصاً نزدیکی به منابع آبی توانسته است نقش بسیار مهمی در حوزه کشاورزی ایفاء نماید. این استان دارای شرایط اقلیمی بسیار مناسبی برای کشت اکثر محصولات کشاورزی است (Moradi-Majd et al., 2022). یکی از مهمترین محصولاتی که در این منطقه کشت می‌شود، گندم است که هر ساله سطح بسیار بالایی از زمین‌های کشاورزی این استان را بخود اختصاص می‌دهد. برنج یکی دیگر از محصولاتی است که کشت آن در این منطقه طی سال‌های گذشته رواج یافته است، این محصول بیشتر در مناطق پر آب، در اهواز و در نقاط پیرامونی رودخانه کارون کشت می‌شود. شور شدن و آلودگی به نیترات و بور، ایجاد آلودگی در آب و همچنین بالا آمدن سطح آب‌های زیرزمینی منطقه از مهمترین پیامدهای کوتاه مدت و تغییر ساختار فیزیکی و شیمیایی خاک، انباشت مخرب نمک و بور و فقر خاک از نظر دیگر مواد معدنی، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش بازدهی، شیوع بسیاری از بیماری‌ها، آفات و قارچها در خاک و در نهایت تخریب اراضی از مهمترین پیامدهای بلندمدتی است که آب و خاک این منطقه را با مشکلات شدیدی مواجه نموده است (Khordebin and Landi, 2011; Sabzghabaei et al., 2021).

در نتیجه شور شدن زمین، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک تقلیل یافته و در نتیجه اثرات نامطلوب فیزیولوژیکی همچون افزایش غلظت سدیم وکلر در گیاه که موجب افزایش پتانسیل اسمزی گیاه نیز می‌گردد، میزان محصول بشدت کاهش می‌یابد (Miransari and Smith, 2019). در بین ترکیباتی که موجب آلوده گردیدن خاک می‌گردد، و در نتیجه اثرات نامطلوب زیست محیطی را به دنبال خواهد داشت، ترکیبات حاوی نیترات و بور هستند. علت افزایش غلظت این ترکیبات عمدتاًبه علت استفاده از کودهای شیمیایی با حلالیت فراوان می‌باشد، که در نتیجه آبشویی موجب آلودگی محیط زیست می‌گردند (Miransari and Mackenzie, 2015; Farooq et al., 2018). ازت و بور دو عنصر مهم برای رشد و تولید محصول گندم و برنج هستند و بنابراین لازم است، که به میزان مناسب برای گیاه مهیا گردند. با توجه به خصوصیات شیمیایی این دو عنصر، هر دو در معرض آبشویی هستند و بنابراین بایستی با استفاده از روش‌های مناسب کوددهی مانع از آبشویی این عناصر و در نتیجه آلودگی محیط زیست گردید. کودهی ازته معمولاً بصورت اوره، نیترات پتاسیم و غیره و کودهای بوراته نیز برای تأمین بور مورد نیاز گیاه استفاده می شوند (Shi et al., 2022; Li et al., 2023; Songsriin et al., 2023). بنابراین به تعادل رساندن نمک خاک، همراه با میزان مناسب نیترات و بور برای رشد مناسب گندم و برنج و همچنین برای سلامت محیط زیست حائز اهمیت فراوان می‌باشد.

یک نکته مهم که شایسته توجه فراوان است، تحقیق در مورد اثرات توزیع نمک و آلودگی نیترات و بور بر میزان محصول دو گیاه استراتژیک گندم و برنج می‌باشد. چنین بررسی‌هایی رفتار نمک در خاک‌های منطقه در یک بازه زمانی را مشخص می‌نماید، و در نتیجه ارائه روش‌های کنترل مناسب برای کاهش اثرات نامطلوب نمک در خاک و کاهش آبشویی و آلودگی نیترات و بور را میسر می‌سازد. اگرچه در ایران، شوری یک مسئله فراگیر و محدود کننده تولید پایدارکشاورزی محسوب می‌گردد و بخش وسیعی از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، به ویژه در فلات مرکزی و دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان با درجات مختلف مبتلا به شوری‌اند، اما این روند در منطقه مورد مطالعه با شدت بیشتری در حال وقوع است. با توجه به اهمیت این موضوع، پژوهش حاضر درصدد است تا به بررسی و تعیین رابطه شوری و میزان آلودگی خاک به نیترات و بور در اراضی تحت کشت گندم و برنج در منطقه حاصلخیز بخش شمالی حوضه آبریز کارون (به ویژه دو منطقه

عرب اسد و ویس) بپردازد. با توجه به جزییات بالا، پیش فرضیه این تحقیق عبارتست از اینکه، با بررسی تغییرات غلظت نمک و آلودگی نیترات و بور درعمق‌های مختلف خاک، می‌توان روش‌های مناسب برای کنترل افزایش غلظت این پارامترها را در اعماق مختلف خاک ارائه نمود. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر تغییرات نمک و آلودگی نیترات و بور بر میزان دو محصول مهم گندم و برنج در مناطق مورد مطالعه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مناطق عرب اسد (منطقه ۱) و ویس (منطقه ۲) در بخش شمالی حوضه آبریز رودخانه کارون واقع در استان خوزستان انجام گردید. میزان بارندگی سالانه استان ۲۵۰ میلی‌متر، و میزان تبخیر سالانه بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر می‌باشد (Meteorology Bureau of Khuzestan). منطقه ۱ تحقیق در ۲۳ کیلومتر دورتر از شهرستان شوشتر و منطقه ۲ تحقیق در ۳۱ کیلومتر دورتر از شهرستان اهواز واقع گردیده است. این دو منطقه در قسمت شرقی رودخانه کارون واقع گردیده و جزء نزدیکترین مناطق به این رودخانه می‌باشند.

تهیه نمونه‌ها

ابتدا موقعیت دو منطقه با استفاده از GIS مشخص و بعد محل‌های تهیه نمونه نیز تعیین گردیدند. مناطق تعیین شده برای تهیه نمونه از بخش‌هایی که کاربری آن‌ها کشاورزی و به ویژه کشت برنج و گندم بود، انتخاب شد و ریز نقاط جهت تهیه نمونه نیز به صورتی تعیین گردید، که نمونه‌ها همه‌ی بخش‌های مناطق تحت مطالعه را پوشش دهند. در این راستا در هر کدام از دو منطقه، ۵ نقطه (ایستگاه) جهت نمونه گیری انتخاب شد. نمونه‌های خاک در چهار مقطع زمانی ابتدای پاییز (قبل از کاشت گندم)، ابتدای زمستان (مرحله توسعه رشد گندم)، ابتدای بهار (مراحل رشد زایشی-پرشدن دانه گندم)، و ابتدای تابستان (بعد از برداشت گندم و شروع آیش تابستانه) تهیه گردیدند. از آنجا که لازم بود کل نواحی این دو منطقه بررسی شود، این ۵ نقطه در جهات مختلف جغرافیایی تعیین شدند. به بیان کامل‌تر برای هر کدام از دو منطقه مورد مطالعه، ۵ ایستگاه یا نقطه تهیه نمونه S1 (غرب)، S2 (جنوب)، S3 (شمال)، S4 (مرکز) و S5 (شرق)) به‌ترتیب در غرب، جنوب، شمال مرکز و شرق انتخاب شد. به منظور بررسی الگوی توزیع شوری، نیترات و بور، در هر یک از مناطق مورد مطالعه نمونه‌های خاک در چهار مرحله از ۴ عمق (به ازای هر ۳۰ سانتی‌متر تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر)، در ۵ ایستگاه (نقاط S1 تا S5) تهیه گردیدند. در حقیقت برای هر کدام از مناطق عرب اسد و ویس ۸۰ نمونه و در مجموع ۱۶۰ نمونه تهیه شد.

آنالیز نمونه‌ها

نمونه‌های استخراج شده از دو منطقه به منظور بررسی، آنالیز و شناسایی و سنجش میزان عناصر موجود به آزمایشگاه منتقل و مطابق با جزییات ذیل مطابق با روش‌های استاندارد تجزیه و تحلیل گردیدند (Miransari et al., 2008). به منظور سنجش میزان شوری خاک پس از خشک شدن و آماده سازی خاک، خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن با دستگاه سنجش هدایت الکتریکی یا هدایت سنج (EC متر) در واحداندازه‌گیری دسی‌زیمنس بر متر(dSm^{-1}) مشخص گردید.در این راستا با بهره گیری ازروش‌های معمول، خصوصیات خاک شامل قابلیت هدایت الکتریکی (شوری) و واکنش خاک (pH) مطابق با Gregorich and Carter (2007) با استفاده از تهیه عصاره خاک، بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1979) با استفاده از کالگون و مجزا نمودن ذرات خاک، درصد کربنات کلسیم معادل با روش کلسیمتری (Loeppert and Suarez, 1996)، میزان کربن آلی خاک به روش (Walkley and Black, 1934) با استفاده از اکسیداسیون نمونه‌های خاک با اسید سولفوریک و بیکرومات، فسفر خاک به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982) با استفاده از بی‌کربنات‌سدیم و هیدروکسیل، و تعیین فسفر مجزا گردیده از ذرات خاک با روش رنگ‌سنجی، و پتاسیم قابل جذب به روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (Helmke and Sparks, 1996) وجایگزینی پتاسیم ذرات خاک با آمونیوم، برای اندازه گرفتن پتاسیم تبادلی و محلول خاک با استفاده از فلیم فتومتر، بور به روش استخراج با آب داغ وکلرید کلسیم و روش رنگ‌سنجی

(Dible et al., 1954) و نیترات با آب استخراج و به روش رنگ‌سنجی و با واکنش با دیسولفونیک اسید تعیین گردید.

آنالیز عملکرد گندم و برنج

برای مشخص نمودن میزان نسبی عملکرد گندم و برنج، ناحیه با شوری کمتر ایستگاه S1 به عنوان مبنا در نظرگرفته شده و عملکرد سایر نواحی منطقه براساس آن مشخص گردیده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

از طرح فاکتوریل برای انجام آزمایش و آنالیز نتایج استفاده گردید. از نرم افزار Excel برای مرتب نمودن داده‌ها، ارائه نتایج و رسم نمودارها استفاده گردید. برای تجزیه و تحلیل و محاسبه واریانس داده‌ها بصورت بین گروهی و درون گروهی برای اعماق مختلف و مقایسه میانگین داده‌ها از نرم افزار SAS و آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار Least significant difference (LSD) استفاده گردید.

میزان نسبی کاهش محصول گندم و برنج در مناطق مختلف نسبت به منطقه کنترل محاسبه و نمودارهای تغییرات نمک، نیترات و بور برای مناطق و اعماق مختلف رسم گردید.

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل واریانس

نتیجه آزمون تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که در سطح احتمال پنج درصد تفاوت‌های میان عمق‌های مختلف از نظرمیزان نمک خاک معنی دار است (جدول ۱). برای مقایسه میزان شوری نقاط مختلف تهیه نمونه (S1 تا S5) در لایه‌های مختلف، از آزمون تجزیه و تحلیل واریانس استفاده شد تا وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار در هر لایه مشخص شود. جدول (۲) نتایج تجزیه و تحلیل واریانس صورت گرفته برای مقایسه هر لایه را نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول مشاهده می‌گردد، نتایج حاصل از آزمون تجزیه و تحلیل واریانس حاکی‌از وجود اختلاف معنی‌دار میان نقاط مختلف در همه لایه‌ها می‌باشد. یا به عبارت دیگر در هر لایه حداقل نتایج یک نقطه نسبت به سایر نقاط متفاوت بوده است.

جدول ۱. آنالیز واریانس عمق‌های مختلف از نظر میزان نمک

Table 1. Analysis of variance for the amounts of salt in different depths

	مجموعه مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares	F	P
منطقه ۱ , Region 1					
مقایسه بین گروهی Between-group comparison	8.93	3	2.97	39.51	*0.000
مقایسه درون گروهی In-group comparison	4.21	55	0.074		
کل Total	13.15	59			
منطقه ۲ , Region 2					
مقایسه بین گروهی Between-group comparison	23.56	3	7.867	302.544	*0.000
مقایسه درون گروهی In-group comparison	1.455	55	0.025		
کل Total	25.024	60			

*معنی‌دار در سطح ۵ درصد

جدول۲. آنالیز واریانس مقایسه عمق‌های مختلف از نظر میزان نمک

Table 2. Analysis of variance for the amounts of salt in different depths

عمق (سانتی متر) Depth (cm)		مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean of squares	F	P
منطقه ۱ Region 1						
30-0	مقایسه بین گروهی Between-group comparison	3.48	4	0.86	60.52	*0.000
	مقایسه درون گروهی In-group comparison	0.13	10	0.02		
	کل Total	3.62	15			
60-30	مقایسه بین گروهی Between-group comparison	5.98	4	1.48	40.01	*0.000
	مقایسه درون گروهی In-group comparison	0.36	10	0.03		
	کل Total	6.37	15			
90-60	مقایسه بین گروهی Between-group comparison	3.76	4	0.93	14.82	*0.000
	مقایسه درون گروهی In-group comparison	0.62	10	0.05		
	کل Total	4.37	15			
120-90	مقایسه بین گروهی Between-group comparison	0.49	4	0.13	18.18	*0.000
	مقایسه درون گروهی In-group comparison	0.08	10	0.008		
	کل Total	0.56	15			
منطقه ۲ , Region 2						
30-0	مقایسه بین گروهی Between-group comparison	2.67	4	0.68	47.88	*0.000
	مقایسه درون گروهی In-group comparison	0.13	10	0.013		
	کل Total	2.81	15			
60-30	مقایسه بین گروهی Between-group comparison	3.87	4	0.96	24.22	*0.000
	مقایسه درون گروهی In-group comparison	0.41	10	0.03		
	کل Total	4.27	15			
90-60	مقایسه بین گروهی Between-group comparison	3.2	4	0.84	19.47	*0.000
	مقایسه درون گروهی In-group comparison	0.41	10	0.041		
	کل Total	3.72	15			
120-90	مقایسه بین گروهی Between-group comparison	0.51	4	0.127	11.34	*0.000
	مقایسه درون گروهی In-group comparison	0.12	10	0.012		
	کل Total	0.64	15			

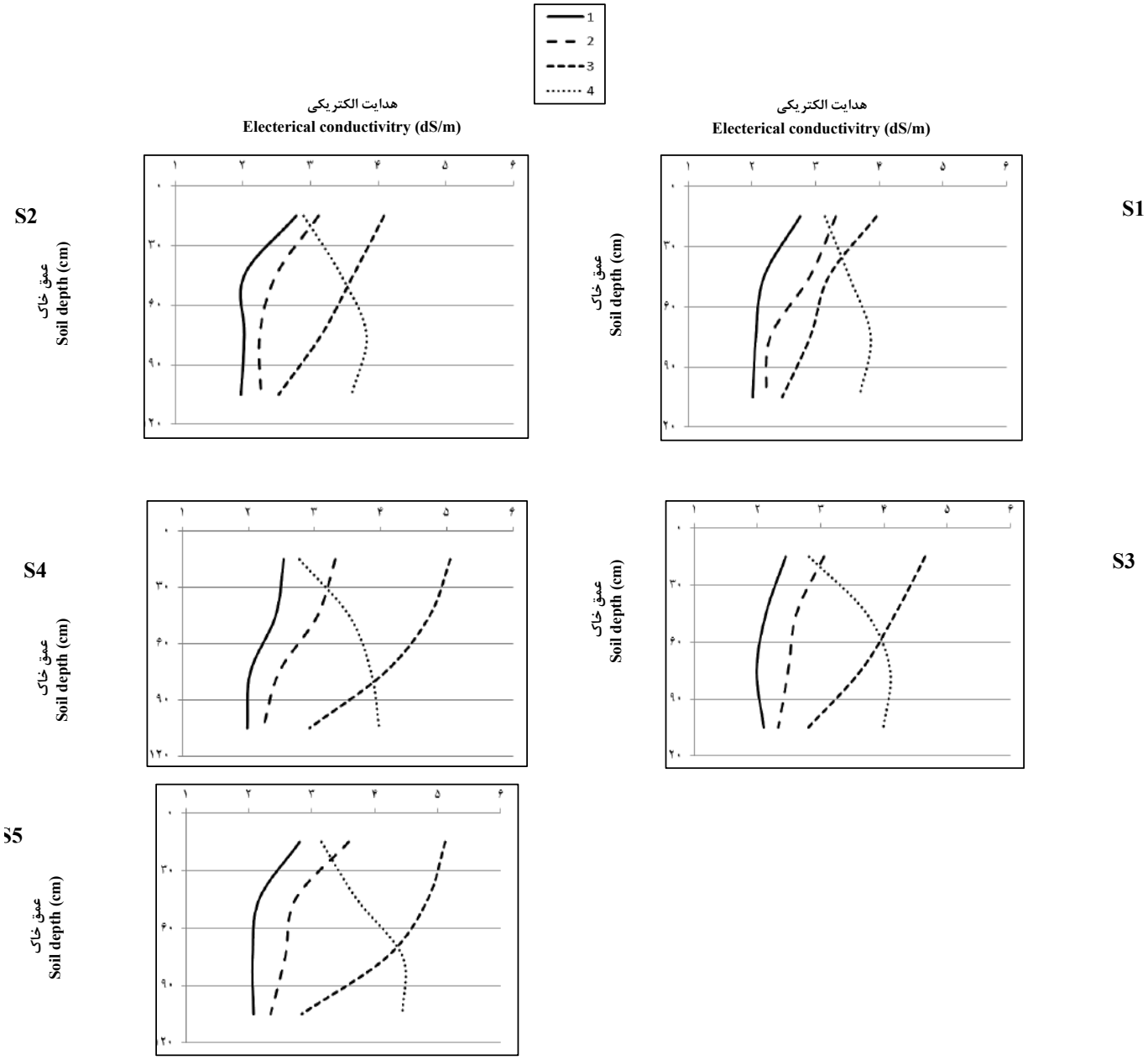
*معنی دار در سطح پنج درصد

الگوی توزیع نمک

االگوی توزیع نمک در چهار مرحله تهیه نمونه خاک تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر به ازای هر ۳۰ سانتی‌متر، در ۵ ایستگاه (نقاط S1 تا S5) برای منطقه ۱مشخص نمود، که میزان نمک در بازه ۵,۱۶ - ۱,۹۶ دسی زیمنس بر متر متغیر می‌باشد، برای منطقه ۲ این میزان در بازه ۵,۱۶ -۱,۹۰ دسی زیمنس بر متر بود (شکل ۱). در تمامی نقاط (S1 تا S5) متوسط میزان نمک در عمق ۳۰ سانتی‌متر سطح خاک از سایر عمق‌ها بیشتر بود. مطابق با نتایج، بجز در مرحله دوم تهیه نمونه (T2)، در سایر مراحل با افزایش عمق، شوری خاک کاهش یافته است (شکل ۱و ۲). عمق ۶۰-۳۰ در شکل‌ها دارای شوری کمتر از عمق ۳۰-۰ است اما نسبت به سایر عمق‌ها از شوری بالاتری برخوردار است (شکل‌های ۱ و ۲). برای بررسی دقیق‌تر این موضوع و مشخص نمودن اختلافات بین عمق‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌ادار (LSD) استفاده گردید. نتایج این آزمون در جدول ۳ ارائه گردیده است. با توجه به اشکال ۱ و ۲، لایه ۹۰-۶۰ سانتی‌متر نسبت به دو لایه فوقانی خود دارای سطح شوری پایین‌تری است. اما نسبت به لایه ۱۲۰-۹۰ از نظر شوری اختلاف چندانی نشان نمی‌دهد. معنی‌دار نبودن این اختلاف نسبت به لایه ۱۲۰-۹۰ در آزمون LSD مشهود است (جدول ۳). این آزمون میزان نمک در این عمق را نسبت به دو عمق فوقانی معنی‌دار دانسته اما در سطح احتمال ۵ درصد بین این لایه و لایه ۱۲۰-۹۰ اختلاف معنی‌داری نیست. اما عمیق‌ترین لایه (۱۲۰-۹۰) در تمامی نقاط تقریبا دارای مقدار ثابتی از لحاظ سطح شوری است و مقدار آن کمتر ازتمامی لایه‌های دیگر می‌باشد. در آزمون LSD تفاوت سطح نمک در این لایه نسبت به لایه‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ معنی‌دار می‌باشد (جدول ۳).

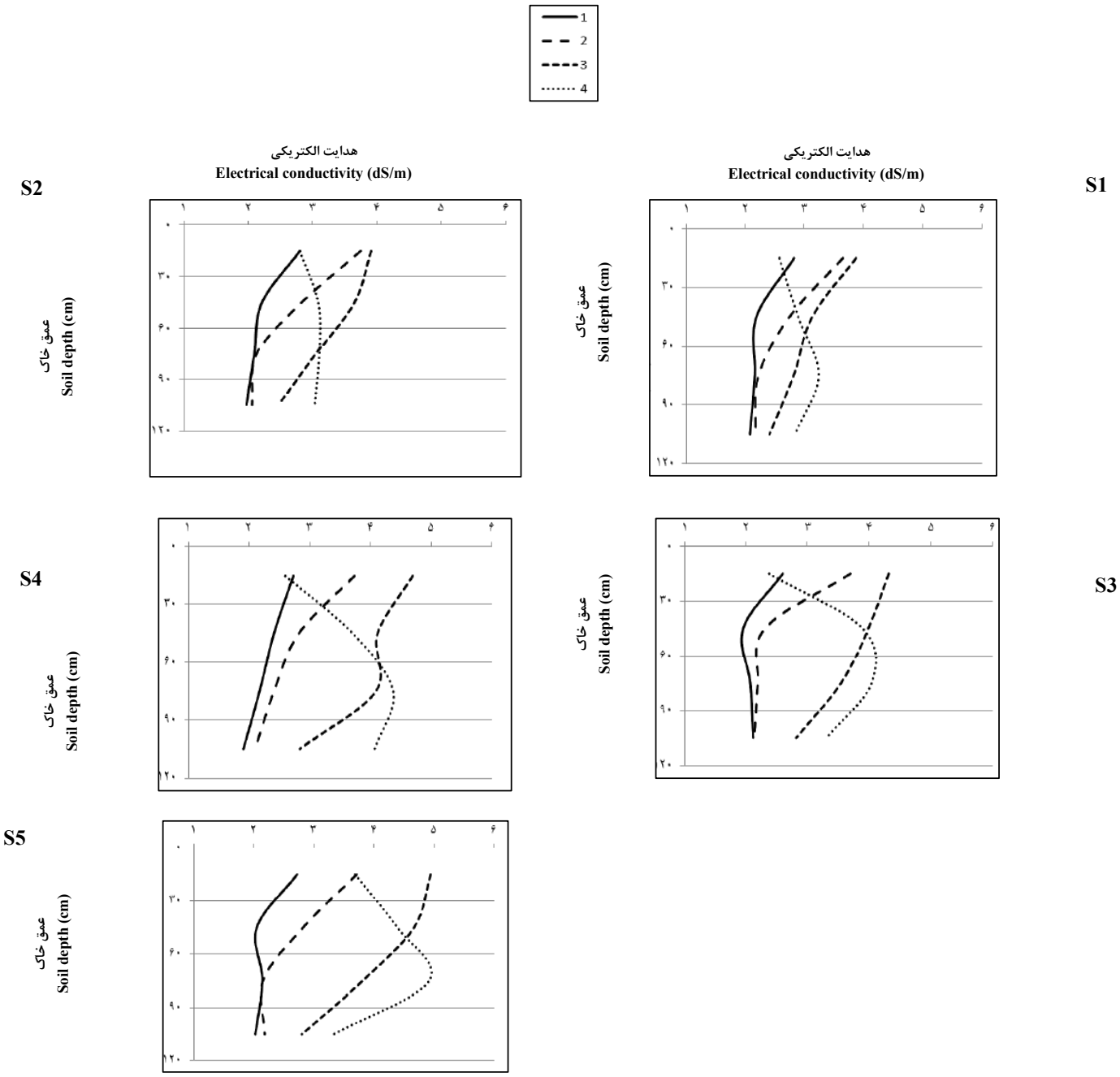
الگوی توزیع نیترات

در شکل (۳) میزان نیترات درنقاط مختلف (ایستگاه‌های S1 تا S5)، اعماق مختلف لایه خاک و در زمان‌های مختلف در مناطق ۱ و ۲ دیده می‌شود. در منطقه ۱ با افزایش سطح کود نیتروژن، میزان غلظت نیترات نیز افزایش یافت. همچنین در برخی نقاط به ازای کاهش میزان سطح آب کاربردی، نیترات بیشتر در خاک تجمع یافته است. بیشترین مقدار نیترات در طول مطالعه در ایستگاه S5 و تا حدی S4 به ثبت رسیده است. در نمونه‌های مراحل اول تا چهارم حداکثر غلظت نیترات به ترتیب ۱۳,۵، ۱۸، ۸,۵ و ۹ قسمت در میلیون (ppm) در اعماق مختلف (صفر تا ۱۲۰ سانتی‌متر) به ثبت رسید. شکل (۳) بیانگر این است که به‌تدریج در طی زمان، نیترات ازلایه‌های بالایی شسته شده وبه سمت لایه‌های زیرین خاک حرکت نموده است. در شکل ۳ همچنین میزان نیترات در نقاط مختلف (ایستگاه‌های S1 تا S5)، اعماق مختلف لایه خاک و در زمان‌های مختلف در منطقه ۲ دیده می‌شود. با افزایش سطح کود نیتروژن، افزایش در میزان غلظت نیترات مشاهده می‌گردد. همچنین در برخی نقاط به ازای کاهش میزان سطح آب کاربردی، نیترات بیشتر در خاک تجمع یافته است. بیشترین مقدار نیترات در طول مطالعه در ایستگاه (نقطه) S3 به ثبت رسید. در نمونه‌های مراحل اول تا چهارم حداکثر غلظت نیترات به ترتیب ۱۲,۵، ۱۶، ۱۰ و ۷ قسمت در میلیون (ppm) در اعماق مختلف (صفر تا۱۲۰ سانتی‌متر) به ثبت رسید (شکل ۳).



شکل ۱. الگوی توزیع زمانی (T1-T4) نمک در عمق‌ها (سانتی‌متر ۱۲۰ -۰) و نواحی مختلف (S1-S5) در منطقه ۱

Fig 1. Time distribution trend of salt (T1-T4) in different depths (0-120 cm) and zones (S1-S5) in region 1



شکل ۲. الگوی توزیع زمانی (T1-T4) نمک در عمق‌ها (سانتی‌متر ۱۲۰ -۰) و نواحی مختلف (S1-S5) در منطقه ۲

Fig 2. Time distribution trend of salt (T1-T4) in different depths (0-120 cm) and zones (S1-S5) in region 2

جدول ۳. نتایج آزمون LSD در مقایسه عمق‌های مختلف از نظر میزان نمک

Table 3. LSD comparisons for the salt amounts of different depths

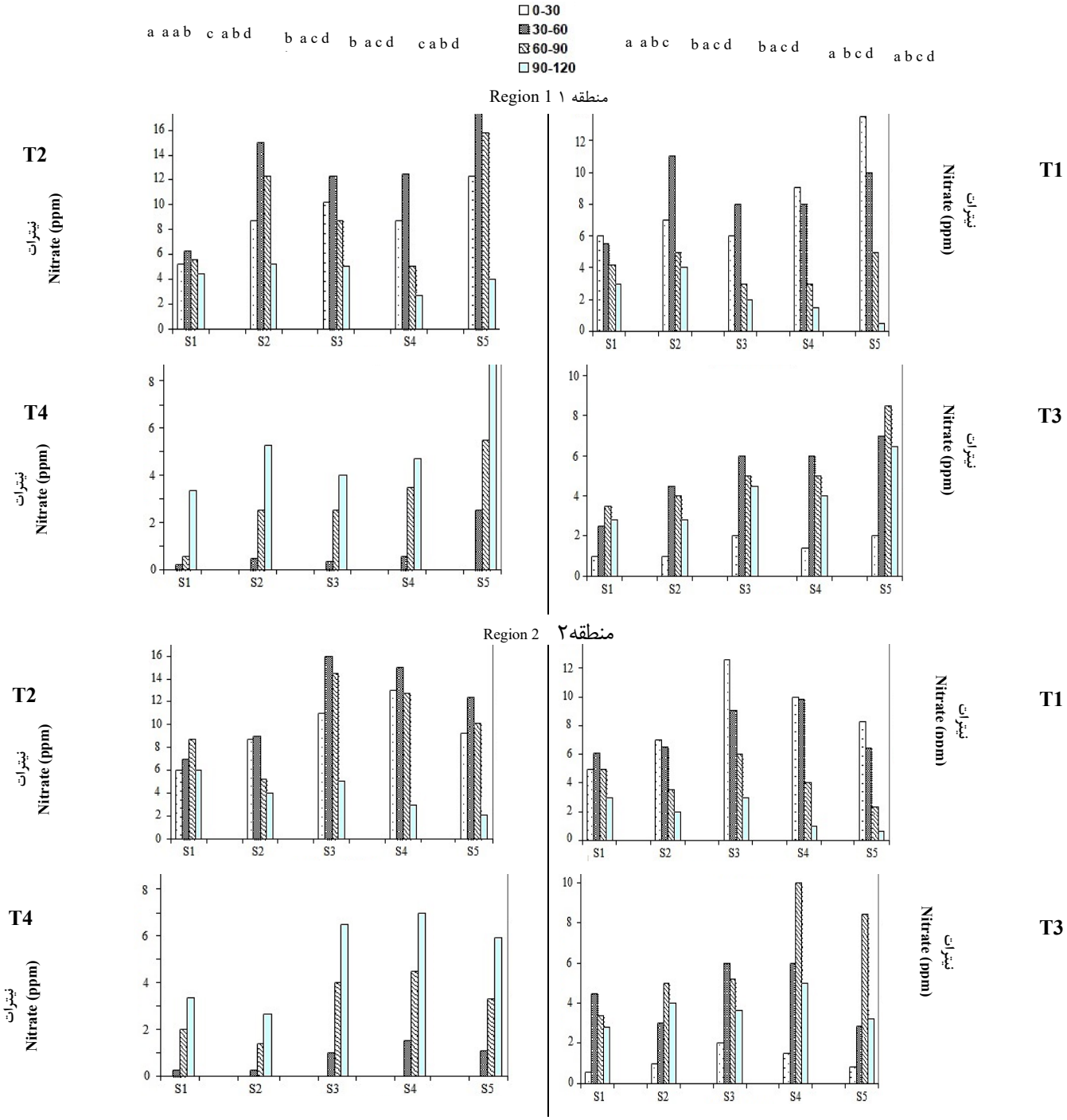
منطقه ۱ , Region 1

P	خطای استاندارد Standard error	اختلاف میانگین Average difference	عمق (سانتی متر) Depth (cm)	عمق (سانتی متر) Depth (cm)
0.000	0.10027	0.52*	30-60	
0.000	0.10027	0.86*	60-90	0-30
0.000	0.10027	1.00*	90-120	
0.000	0.10027	-0.52*	0-30	
0.001	0.10027	0.35*	60-90	30-60
0.000	0.10027	0.49*	90-120	
0.000	0.10027	-0.86*	0-30	
0.001	0.10027	-0.35*	30-60	60-90
0.178	0.10027	0.14^{ns}	90-120	
0.000	0.10027	-1.00*	0-30	
0.000	0.10027	-0.48*	30-60	90-120
0.178	0.10027	-0.14*	60-90	

* معنی دار در سطح 5 درصد، ns معنی دار نمی باشد

منطقه ۲ , Region 2

P	خطای استاندارد Standard error	اختلاف میانگین Average difference	عمق (سانتی متر) Depth (cm)	عمق (سانتی متر) Depth (cm)
0.000	0.05885	1.00*	30-60	
0.000	0.05885	1.49*	60-90	0-30
0.000	0.05885	1.58*	90-120	
0.000	0.05885	-1.00	0-30	
0.000	0.05885	0.48*	60-90	30-60
0.000	0.05885	0.57*	90-120	
0.000	0.05885	-1.49*	0-30	
0.000	0.05885	-0.48*	30-60	60-90
0.120	0.05885	0.093^{ns}	90-120	
0.000	0.05885	-1.58*	0-30	
0.000	0.05885	-0.57*	30-60	90-120
0.120	0.05885	-0.093^{ns}	60-90	



شکل ۳. الگوی توزیع زمانی نیترات (T1-T4) در عمق‌های مختلف خاک (۱۲۰ cm –۰) در نواحی مختلف (S1-S5) در مناطق ۱و۲

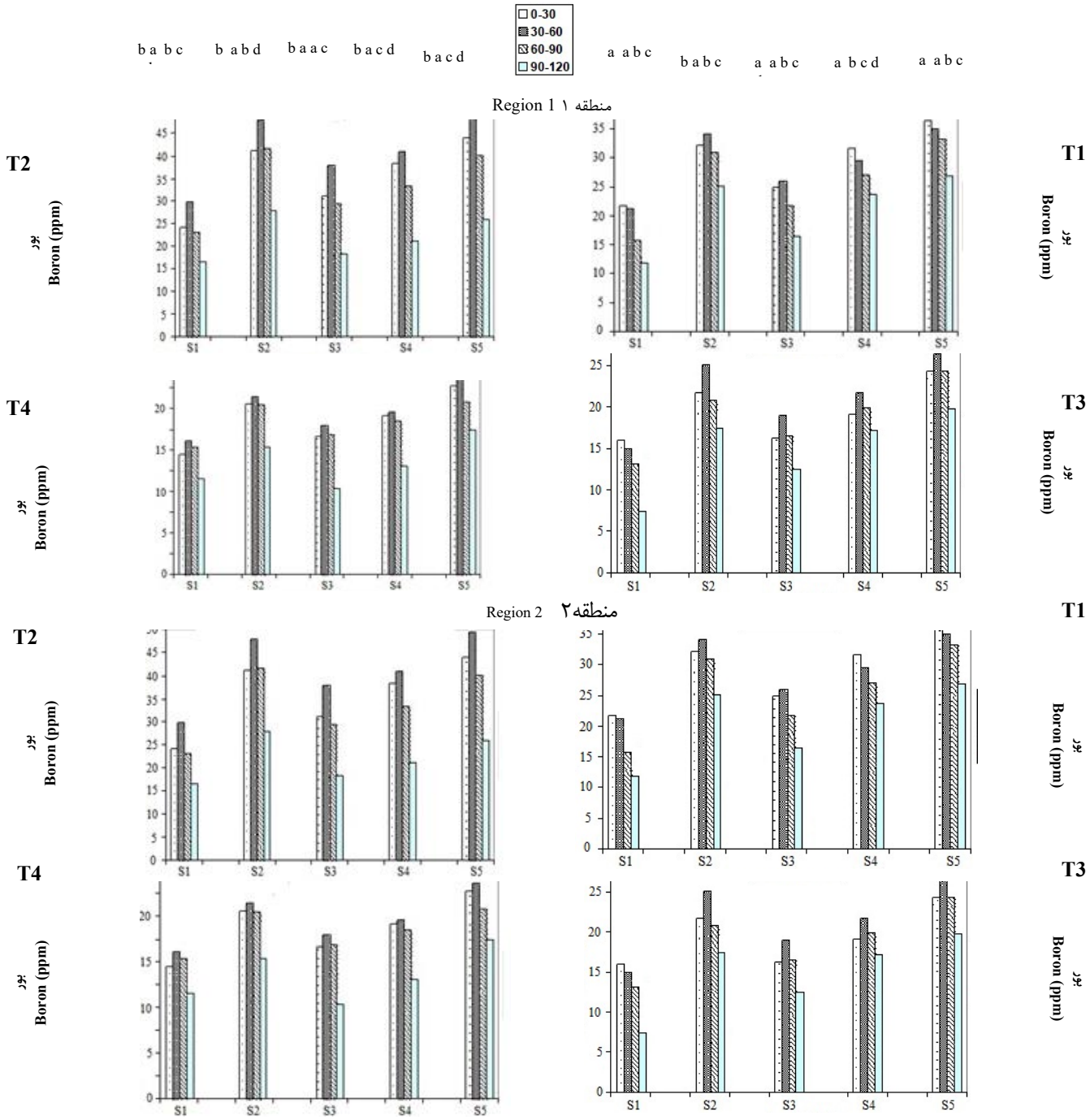
Fig 3. Time distribution trend of nitrate (T1-T4) in different depths (0-120 cm) and zones (S1-S5) in regions 1 & 2

الگوی توزیع بور

در شـکل (۴) میـزان بـور در نقـاط مختلـف (ایسـتگاه‌های S1 تـا S5)، اعمـاق مختلـف لایـه خـاک و در زمان‌هـای مختلـف در مناطـق ۱ و ۲ دیـده می‌شـود. در منطقـه ۱ بیشـترین میـزان بـور در ایسـتگاه‌های S5 و S2 در منطقـه ۱ بـه ثبـت رسـیده اسـت. ایسـتگاه S1 نیـز دارای کمتریـن میـزان بـور در هـر ۴ مرحلـه تهیـه نمونـه در منطقـه ۱ بـوده اسـت. در نمونه‌گیری‌هـای اول تـا چهـارم حداکثـر میـزان بـور بـه ترتیـب ۳۷، ۴۹، ۲۷ و ۲۳٫۵ قسـمت در میلیـون (ppm) در اعمـاق مختلـف (صفـر تـا ۱۲۰ سـانتی‌متر) بـه ثبـت رسـید. شـکل (۴) بیانگـر ایـن اسـت کـه بیشـترین میـزان بـور در لایه‌هـای عمـق ۳۰ تـا ۶۰ سـانتی‌متر نقـاط مختلـف ثبـت شـده اسـت. همچنیـن کمتریـن میـزان بـور در لایه‌هـای عمـق ۹۰ تـا ۱۲۰ سـانتی‌متر در نقـاط مختلـف ثبـت شـده اسـت. در شـکل ۴ میـزان بـور در نقـاط مختلـف (ایسـتگاه‌های S1 تـا S5)، اعمـاق مختلـف لایـه خـاک و در زمان‌هـای مختلـف در منطقـه ۲ دیـده می‌شـود. بیشـترین میـزان بـور در مـدت زمـان تهیـه نمونـه درایسـتگاه‌های S5 و S4 بـه ثبـت رسـیده اسـت. ایسـتگاه S2 نیـز دارای کمترین میـزان بـور در هـر ۴ مرحلـه تهیـه نمونـه در منطقـه ۱ بـوده اسـت. درنمونه‌هـای مراحـل اول تـا چهـارم حداکثـر میـزان بـور بـه ترتیـب ۳۷٫۵، ۴۸، ۲۸ و ۲۴ قسـمت در میلیـون (ppm) در اعمـاق مختلـف (صفـر تـا ۱۲۰ سـانتی‌متر) بـه ثبـت رسـید. مشـابه منطقـه ۱ شـکل (۴) بیانگـر ایـن اسـت کـه بیشـترین میـزان بـور در عمـق ۳۰ تـا ۶۰ سـانتی‌متر نقـاط مختلـف ثبـت شـده اسـت. همچنیـن کمتریـن میـزان بـور در لایه‌هـای عمـق ۹۰ تـا ۱۲۰ سـانتی‌متر در نقـاط مختلـف ثبـت شـده اسـت (شـکل ۴).

تاثیر شوری برعملکرد گندم و برنج

همانگونـه کـه از نتایـج جـدول (۴) مشـخص اسـت، در منطقـه ۱، یـک رابطـه مسـتقیم بیـن افزایـش میـزان شـوری و کاهـش عملکـرد گنـدم رقـم چمـران وجـود دارد. بـا افزایـش شـوری خـاک عملکـرد تـا حـد ۱۷٫۸ درصـد نسـبت بـه حالـت پایـه (عملکـرد ناحیـه S1) کاهـش یافتـه اسـت. در مـورد برنـج نیـز بـه همیـن صـورت یـک رابطـه مسـتقیم بیـن افزایـش میـزان شـوری وکاهـش عملکـرد برنـج رقـم عنبربـو وجـود دارد. همانطورکـه ملاحظـه می‌شـود بـا افزایـش شـوری خـاک عملکـرد تـا حـد ۱۲/۹ درصـد نسـبت بـه حالـت پایـه (عملکـرد ناحیـه S1) کاهش یافتـه اسـت. در منطقـه ۲، نیـز یـک رابطـه مسـتقیم بیـن افزایـش میـزان شـوری و کاهـش عملکـرد گنـدم رقـم چمـران وجـود دارد. بـا افزایـش شـوری خـاک عملکـرد تـا حـد ۱۵/۹ درصـد نسـبت بـه حالـت پایـه (عملکـرد ناحیـه S1) کاهـش یافتـه اسـت. یـک رابطـه مسـتقیم بیـن افزایش میـزان شـوری و کاهـش عملکـرد برنـج رقـم عنبربـو نیـز وجـود دارد، بصورتیکـه بـا افزایـش شـوری خـاک عملکـرد تـا حـد ۱۴٫۴ درصـد نسـبت بـه حالـت پایـه (عملکـرد ناحیـه S1) کاهـش یافتـه اسـت.



شکل ۴. الگوی توزیع زمانی بور (T1-T4) در عمق‌های مختلف خاک (۱۲۰ cm –۰) در نواحی مختلف (S1-S5) در مناطق ۱ و ۲

Fig 4. Time distribution trend of boron (T1-T4) in different depths (0-120 cm) and zones (S1-S5) in regions 1 & 2

جدول ۴. تاثیر میزان شوری نواحی مختلف مناطق ۱ و ۲ بر عملکرد گندم رقم چمران و برنج رقم عنبربو

Table 4. Salt effects of regions 1 and 2 on wheat (Chamran) and rice (Anbarbou) yield

عملکرد (٪) Yield	متوسط شوری (dSm^{-1}) Average of salinity	دامنه شوری (dSm^{-1}) Salinity range	نواحی Region
		wheat گندم	
		Region 1 , منطقه ۱	
100	2.933	3.98 – 2.01	S1
98.3	3.008	4.13 – 1.98	S2
90.2	3.201	4.67- 1.96	S3
86.24	3.287	5.07- 1.99	S4
82.21	3.340	5.16 – 2.07	S5
		Region 2, منطقه ۲	
100	2.753	3.82 – 2.01	S1
99.1	2.868	3.93 – 2.12	S2
92.2	3.025	4.32- 1.91	S3
88.4	3.275	4.72- 1.90	S4
84.1	3.368	4.92 – 2.09	S5
		rice , برنج	
		Region 1, منطقه ۱	
100	2.933	3.98 – 2.01	S1
98.1	3.008	4.13 – 1.98	S2
93.3	3.201	4.67- 1.96	S3
89.2	3.287	5.07- 1.99	S4
87.1	3.340	5.16 – 2.07	S5
		Region 2, منطقه ۲	
100	2.753	3.82 – 2.01	S1
97.9	2.868	3.93 – 2.12	S2
92.3	3.025	4.32- 1.91	S3
88.2	3.275	4.72- 1.90	S4
85.6	3.368	4.92 – 2.09	S5

در ایـن پژوهـش الگـوی توزیـع شـوری، بـور و نیتـرات در دو منطقـه عـرب اسـد و ویـس اسـتان خوزسـتان مـورد بررسـی وتحلیـل قـرار گرفـت. ایـن پژوهـش بـا هدفـی کاربـردی و به‌منظـور شناسـایی اثـرات شـوری، نیتـرات و بـور برعملکـرد گیـاه گنـدم و برنـج و همچنیـن بهره‌بـرداری از نتایـج بـه دسـت آمـده به‌منظـور بهبـود عملکـرد گنـدم و برنـج در مناطـق مـورد مطالعـه انجـام شـد. بـه منظـور انجـام پژوهـش و بررسـی فاکتورهـای موجـود، با اسـتفاده از مشـاهده میدانـی منطقـه مـورد مطالعـه، بررسـی و تحلیـل گردیـد. نمونه‌هـای خـاک از مناطـق مـورد مطالعـه تهیـه و بـا اسـتفاده از روش‌هـای اسـتاندارد آزمایشـگاهی عناصـر موجـود در خـاک دو منطقـه تجزیـه و تحلیـل گردیـد. نتایـج حاصـل از سـنجش هدایـت الکتریکـی و در نتیجـه توزیـع متوسـط شـوری در قالـب نمودارهـای مجـزا بـرای هـر ناحیـه ارائـه شـد. عـدم وجـود اختـلاف معنـی‌دار لایـه ۱۲۰-۹۰ بـا لایـه ۹۰ - ۶۰ نیزهمانطورکـه گفتـه شـد بـه علـت مشـابه بـودن ایـن دو لایـه از نظـر شـرایط و عوامـل تأثیرگـذار بـر سـطح شـوری می‌باشـد.

همانگونـه کـه در اشـکال مشـاهده می‌گـردد، شـوری اعصاره اشـباع خـاک در سـطوح فوقانـی خـاک بیـش از سـطوح پایینـی تحـت تأثیـر عوامـل مختلـف قـرار می‌گیـرد یـا بـه عبـارت دیگـر دامنـه تغییـرات شـوری عصـاره اشـباع خـاک در سـطح خـاک بیشـتر از عمـق آن می‌باشـد کـه وجـود تبخیـر ازسـطح خـاک و برجـا مانـدن نمک‌هـا و حتـی حرکـت رو بـه بـالای امـلاح بـر اثـر مکانیسـم‌های مختلـف را میتـوان از دلایـل ایجـاد ایـن پدیـده دانسـت. مطابـق بـا

نتایج، عمق ۳۰-۰ در همه نقاط دارای بیشترین شوری نسبت به عمق‌های دیگر است. این موضوع در آزمون LSD نیز نمایان گشته است. بدین صورت که اختلاف شوری در لایه ۳۰-۰ با سایر لایه‌ها معنی‌دارگردیده که دلیل آن را میتوان وجود تبخیر از سطح خاک و برجا ماندن نمک‌ها و حرکت و تجمع آن‌ها در سطح خاک دانست که بعلت شرایط حاکم در مناطق خشک همچون بارندگی کمتر از حد لازم برای رشد گیاه و تولید محصول می‌باشد. عمق ۶۰-۳۰ در نمودارها دارای شوری کمتر از عمق ۳۰-۰ است اما نسبت به سایر عمق‌ها از شوری بالاتری برخوردار است. در آزمون LSD انجام شده نیز این مورد به صورت اختلاف معنی‌دار باسایر عمق‌ها در سطح احتمال ۰,۰۵ بیان گردیده است. این شرایط به علت نزدیکی این عمق به سطح خاک وتأثیرپذیری از تبخیر سطحی زیاد به علت پتانسیل تبخیر از باد منطقه ایجاد می‌گردد. از طرفی، عمق آب اعمال شده زیاد نبوده و قسمت عمده آن در لایه‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری ذخیره می‌گردد، لذا از این جهت معنی‌دار بودن اختلاف شوری در این عمق نسبت به اعماق پایین‌تر طبیعی و موجه به‌نظر می‌رسد. میزان نمک لایه ۹۰-۶۰ نسبت به دو لایه فوقانی معنی‌دار بوده اما تفاوت آن در سطح احتمال ۰,۰۵ با لایه ۱۲۰-۹۰ معنی دار نمی‌باشد. علت این امر وجود فاصله این لایه از سطح خاک می‌باشد که تبخیر ازسطح خاک تأثیر بسیار کمی بر تجمع شوری داشته لذا تفاوت بین آن و دو لایه بالایی معنی‌دار گشته است. از سویی مرطوب نشدن زیاد این عمق از خاک به دلیل کم بودن عمق آب آبیاری از دیگر دلایل تفاوت سطح شوری آن با لایه بالایی است. عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین این لایه و لایه زیرین (۱۲۰-۹۰) نیز به‌علت شرایط مشابه این دو لایه از نظر عدم تأثیرپذیری ازتبخیر سطحی و همچنین نرسیدن رطوبت به مقدار زیاد به این دو لایه هنگام آبیاری می‌باشد. در آخرین مرحله نمونه، میزان غلظت نیترات به خصوص در لایه‌های بالایی کاهش یافت، چون قسمتی از نیتروژن خاک به وسیله گیاه جذب و قسمتی از آن بوسیله عمل دنیتریفیکاسیون به صورت گاز نیتروژن از خاک خارج گردیده و قسمتی از آن نیز به لایه‌های زیرین (زیر منطقه ریشه) حرکت نموده است. همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌گردد در نمونه مرحله چهارم میزان نیترات در عمق ۳۰-۰ به صفر رسیده است، که برای منطقه ۲ نیز مشهود می‌باشد. این نتایج مشخص می‌نماید، که نیترات در این منطقه و در سطح خاک بشدت در معرض آبشویی بوده و دارای حلالیت حتی بیشتر از نمک‌های خاک می‌باشد. با توجه به این موضوع لازم است، که کشاورزان منطقه بیشتر به نحوه استفاده صحیح از روش‌های کوددهی شامل زمان و میزان مناسب توجه نمایند. از نتایج مهم ارائه گردیده دراین تحقیق می‌توان برای اهداف مختلف استفاده نمود. از مهم‌ترین کاربردهای این تحقیق نمایش توزیع نمک در خاک است، که با توجه به خصوصیات فیزیولوژیکی گندم و برنج برای کاشت این دو محصول باید در نظر گرفته شود (Saharan et al., 2022; Pastuszak et al., 2022). به تبع آن می‌توان با استفاده از روش‌های مناسب آبشویی خاک میزان نمک را به سطح مناسب برای رشد گندم و برنج کاهش داد. همانگونه که از نتایج مشخص می‌باشد وجود نمک در خاک موجب کاهش محصول گندم به میزان حداکثر ۱۷,۸درصد و ۱۴,۴درصد برای برنج گردیده است. بنابراین رقم برنج کشت شده در مناطق مورد آزمایش تا حدی دارای تحمل بیشتردر برابر نمک خاک نسبت به رقم گندم کشت شده می‌باشد. از طرفی با توجه به اینکه بیشترین نمک خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر تجمع نموده است می‌توان با استفاده از روش‌های آبشویی مناسب و یا استفاده از ارقام مقاوم به شوری، تولید گندم و برنج در مناطق مورد تحقیق و مناطق مشابه را افزایش داد. در تحقیقات خود (Zhang et al. 2022) دریافتند، که استفاده از آب شور موجب کاهش محصول گندم به میزان ۹,۴۳ تا ۱۸,۱۹ درصد در مقایسه با کنترل گردید، که با نتایج این تحقیق مشابه می‌باشد. تحقیقات مختلف کاهش میزان محصول برنج در شرایط شوری را مشخص نموده که تابع عواملی همچون ژنوتیپ، اقلیم و شرایط خاک می‌باشد (Liu et al., 2019). افزایش استفاده از کودهای شیمیایی موجب

افزایش غلظت نیترات و بور در زمین‌های کشاورزی تحت کاهش محصولات مختلف همچون گندم و برنج گردیده است (Wlasniewski et al., 2019). همچنین توصیه می‌گردد، که با استفاده از روش‌های کوددهی بیولوژیک همچون افزودن مواد آلی به خاک و استفاده از میکروب‌های مفید خاک موجب تقویت خصوصیات خاک و گیاه و در نتیجه افزایش تولید محصول در منطقه گردید (Miransari et al., 2008; Miransari and Smith, 2019).

با بررسی توزیع نیترات و بور در مناطق تحت کاشت گندم و برنج، راندمان استفاده از کود در منطقه برای کشاورزان مشخص گردیده، و در نتیجه می‌توان ضمن ارائه توصیه‌های مناسب کودی موجب افزایش راندمان استفاده از کود و کاهش آلودگی‌های زیست محیطی گردید. پارامترهای مختلفی همچون اقلیم، خصوصیات گیاه و خاک، و میزان آبیاری بر آبشویی نیترات و بور در خاک مؤثر هستند (Oveisi et al., 2019; Chen et al., 2019). نتایج مشخص نمود، که بیشترین میزان تجمع نیترات (ppm ۱۸) و بور (ppm ۴۹) در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر خاک می‌باشد. در نتیجه کودهای بور در مقایسه با کودهای ازته در مناطق مورد تحقیق بیشتر در معرض آبشویی هستند، و به میزان کمتر برای استفاده گیاه لازم بوده، و در نتیجه دارای راندمان کمتر می‌باشد. به کشاورزان منطقه توصیه می‌گردد، که از کودهای حاوی بور به میزان مناسب استفاده نمایند، که ضمن افزایش راندمان کود، کمتر موجب آلودگی زیست محیطی گردند. تحقیقات قبلی اهمیت مشخص نمودن میزان نیترات باقیمانده در خاک برای کاشت گندم و ذرت را مشخص نموده است (Miransari and Mackenzie, 2012; 2015). به عبارتی برای اینکه حداکثر راندمان استفاده از کودهای ازته حاصل گردد (Saberali, 2022)، توصیه می‌گردد، که قبل از کاشت گندم و برنج در مناطق مورد تحقیق و مناطق مشابه نمونه‌های خاک تهیه و میزان ازت و بور موجود در نمونه‌ها مشخص گردد. به این صورت میتوان توصیه‌های دقیق‌تر کودی ارائه نمود، که از نظر اقتصادی و زیست محیطی حائز اهمیت فراوان می‌باشد. در صورتی‌که نمونه‌های خاک در زمان‌های مختلف تهیه گردند، همانگونه که در این تحقیق نیز انجام گردیده، می‌توان روند تغییرات ازت و بور خاک را بررسی نموده و در زمان مناسب ودر مراحل مختلف رشد گیاه با توجه به نیاز گیاه و همچنین خصوصیات خاک و اقلیم از میزان مناسب کودهای ازته و حاوی بور جهت نیل به میزان محصول بهینه استفاده نمود. نکته مهم دیگر در مورد این تحقیق بررسی تغییرات نمک خاک در فصول مختلف مطابق با مراحل رشدی گندم و برنج می‌باشد. همچنین می‌توان میزان آبشویی لازم برای کاهش نمک خاک به میزان مناسب برای تولید محصول را در مراحل مختلف رشد گیاه مشخص نمود. این موضوع همچنین مانع از افزایش نمک خاک با زمان گردیده و در نتیجه کاشت گندم و برنج برای مدت زمان طولانی در منطقه امکان‌پذیر می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برخی آنالیزها و تحلیل‌های مهم و مورد استفاده برای کاشت دو محصول استراتژیک و مهم یعنی گندم و برنج ارائه گردید. نمونه‌های خاک از دو منطقه مختلف برای زمان‌ها و اعماق مختلف خاک تهیه و پس از آنالیز توزیع نمک، نیترات و بور در خاک مشخص گردید. مطابق با نتایج بیشترین میزان تجمع نمک، مربوط به عمق ۳۰-۰ و نیترات و بور مربوط به عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر بود. این موضوع بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک در عمق ۶۰-۰ سانتی‌متر را قبل از کاشت گندم و برنج در منطقه به وضوح مشخص می‌نماید. در مقایسه با نیترات میزان آبشویی بور به اعماق خاک بیشتر بود. وجود نمک در خاک موجب کاهش محصول گندم و برنج گردید. با استفاده از نتایج این پژوهش می‌توان نحوه حرکت نمک، نیترات و بور را درزمین‌های کشاورزی منطقه تحت کاشت گندم و برنج مشخص نموده و ضمن ارائه روش‌های مناسب آبشویی و همچنین توصیه‌های دقیق کودی سبب افزایش راندمان کودی و کاهش آلودگی زیست محیطی گردید. همچنین استفاده از ارقام مقاوم به شوری، برای افزایش تولید محصول گندم و برنج توصیه می‌گردد. استفاده از روش‌های زمین آمار که بتوانند، بصورت تلفیقی با استفاده از میزان

نمـک، نیتـرات و بـور بدسـت آمـده، پیش‌بینی‌هـای لازم بـرای ارائـه توصیـه کـودی، و زمان‌هـای مناسـب کاشـت بـا توجـه بـه توزیـع بارندگـی درمنطقـه را ارائـه نماینـد نیـز بـرای تحقیقـات آینـده توصیـه می‌گـردد. همچنیـن اسـتفاده ازایـن روش‌هـا و نرم‌افزارهـای شبیه‌سـاز بـرای تعمیـم نتایـج حاصـل در نقـاط منتخـب بـه سـایر نقـاط دو منطقـه مـورد مطالعـه پیشـنهاد می‌گـردد، کـه می‌توانـد بـه ایجـاد الگـوی دقیـق شـوری، نیتـرات و بـوردر نواحـی مـورد مطالعـه کمـک کنـد. همچنیـن پیشـنهاد می‌شـود تأثیـر شـوری بـر سـایر ارقـام برنـج و گنـدم نیـز بررسـی گـردد.

سپاسگزاری:نویسـندگان ایـن تحقیـق تمایـل دارنـد از شـرکت علمـی (مشـاوره مهندسـی) آبتیـن برکـه (https://Abtinberkeh.com)، شـامل آموزشـگاه آبتیـن برکـه (https://academy.abtinberkeh.com)، بـرای اصـلاح و ویرایـش ایـن تحقیـق تشـکر کننـد.

منابع

Chen, L., Li, C., Feng, Q., Wei, Y., Zhao, Y., Zhu, M. & Deo, R.C. (2019). Direct and indirect impacts of ionic components of saline water on irrigated soil chemical and microbial processes. Catena, 172, 581-589.

Dible, W.T., Truog, E. & Berger, K.C. (1954). Boron determination in soils and plants. Analytical Chemistry, 26, 418-421.

Farooq, M., Rashid, A., Nadeem, F., Stuerz, S., Asch, F., Bell, R.W. & Siddique, K.H. (2018). Boron nutrition of rice in different production systems. A review. Agronomy for Sustainable Development, 38, 1-24.

Gee, G.W. & Bauder, J.W. (1979). Particle size analysis by hydrometer: a simplified method for routine textural analysis and a sensitivity test of measurement parameters. Soil Science Society of America Journal, 43, 1004-1007.

Gregorich, E.G. & Carter, M.R. (2007). Soil sampling and methods of analysis. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Helmke, P.A. & Sparks, D.L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of Soil Analysis: Part 3 chemical methods.

Khordebin, S. & Landi, A. (2011). Comparison of the land qualitative suitability with the use of FAO method and ALES model for major crops in Sardasht of Behbahan Khuzestan Province, Iran. Middle East Journal of Scientific Research, 10, 477-481.

Li, W., Ma, L., Shi, F., Wang, S., Zhao, J., Zheng, W., Li, Z., Li, Z. & Zhai, B. (2023). Regulation of soil water and nitrate by optimizing nitrogen fertilization and the addition of manure based on precipitation: An 8-year field record. Agriculture, Ecosystems & Environment, 354, 108586.

Liu, C., Chen, K., Zhao, X., Wang, X., Shen, C., Zhu, Y., Dai, M., Qiu, X., Yang, R., Xing, D. & Pang, Y. (2019). Identification of genes for salt tolerance and yield-related traits in rice plants grown hydroponically and under saline field conditions by genome-wide association study. Rice, 12, 1-13.

Loeppert, R.H. & Suarez, D.L. (1996). Carbonate and gypsum. Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods, 5, 437-474

Miransari, M. & Mackenzie, A.F. (2012). Corn (Zea mays L.) grain and stover yield as affected by soil residual mineral nitrogen. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 43, 799-810.

Miransari, M. & Mackenzie, A.F. (2015). Development of soil N testing for wheat production using soil residual mineral N. Journal of Plant Nutrition, 38, 1995-2005.

Miransari, M. & Smith, D. (2019). Sustainable wheat (Triticum aestivum L.) production in saline fields: a review. Critical Reviews in Biotech-

Marwaha, S., Rajput, V.D. & Minkina, T. (2022). Molecular and physiological mechanisms to mitigate abiotic stress conditions in plants. Life, 12, 634.

She, Y., Li, P., Du, Z., Qi, X., Zhao, S., Li, T. & Guo, W. (2022). Nitrogen fertilization effects on soil nitrate, water use, growth attributes and yield of winter wheat under shallow groundwater table condition. Agronomy, 12, 3048.

Songsriin, J., Yamuangmorn, S., Lordkaew, S., Jumrus, S., Veeradittakit, J., Jamjod, S. & Prom-u-thai, C. (2023). Efficacy of soil and foliar boron fertilizer on boron uptake and productivity in rice. Agronomy, 13, 692.

Walkley, A. & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37, 29-38.

Wlasniewski, S., Hajduk, E., Kaniuczak, J., & Nazarkiewicz, M. (2019). Effect of mineral fertilization on the yield, boron content and bioaccumulation factor in grain of cereals. Journal of Elementology, 24(3), 1047-1061.

Zhang, Z., Zhang, Z., Feng, G., Lu, P., Huang, M. & Zhao, X. (2022). Biochar amendment combined with straw mulching increases winter wheat yield by optimizing soil water-salt condition under saline irrigation. Agriculture, 12, 1681

nology, 39, 999-1014.

Moradi-Majd, N., Fallah, G. & Chatrenour, M. (2021). Estimation of CH_4, N_2O and NO emissions in Khuzestan wheat and rice fields (Case study: Shush and Baghmalek). Journal of Climate Research, 1399, 79-90. [In Persian].

Moradi-Majd, N., Fallah-Ghalhari, G. & Chatrenor, M., 2022. Estimation of greenhouse gas emission flux from agricultural lands of Khuzestan province in Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 194, 811.

Olsen, S.R. & Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. In: Page, A.L., Ed., Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, 403-430.

Oveisi, F., Fattahi Ardakani, A. & Fehresti Sani, M. (2019). Investigation of virtual water and ecological footprints of water in wheat fields of Isfahan province. Journal of Water and Soil Science, 23(1), 87-99. [In Persian].

Pastuszak, J., Dziurka, M., Hornyák, M., Szczerba, A., Kopeć, P. & Płażek, A. (2022). Physiological and biochemical parameters of salinity resistance of three durum wheat genotypes. International Journal of Molecular Sciences, 23, 83-97.

Saberali, S.F. (2022). Response of winter wheat growth and yield to planting date and nitrogen application rate. Journal of Crop Improvement, 25, 405-418. [In Persian].

Sabzghabaei, G., Bohlolzadeh, A. & Dashti, S. (2021). Ecological water footprints and virtual water for wheat and rice products in Khuzestan province in order to manage water resources sustainability. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 15, 329-341.

Saharan, B.S., Brar, B., Duhan, J.S., Kumar, R.,

Journal of
Drought and Climate change Research
JDCR
Fall, 2023, Vol. 1, No.3

Evaluation of the Accuracy of the GPM Satellite Precipitation Product (Case Study of Mazandaran Province) 1
Alireza Yosefi Kebriya, Mehdi Nadi

Inves tigating the Trend of Changes in the Economic Value of Water Consumed by Agricultural Crops in Khorasan Razavi Province 15
Shojaat zare, Seyyed Abolghasem Haghayeghi Moghaddam

Vulnerability Assessment of Groundwater Resources in Qazvin Aquifer with DRASTIC, Modified and Fuzzy Methods 35
Taleb Moradinejad, Mohsen Rezaei, Mohammad Nakhaei

Investigation of the Hydrological Drought of Groundwater Using HDMI Index in Urmia Plain 57
Arvin Miralizadeh, Somayeh Hejabi, Mehdi Kouchakzadeh

Flood prioritization of Sarbaz river sub-basins using SWAT model 73
Javad Chezgi, Ehsan Hamedi

Investigating the interaction effects of meteorological parameters on evaporation from the water surface using variance analysis 87
Javad zahiri, Adell Moradi-Sabzkouhi

Distribution of soil salt and pollution of nitrate and boron of different depths affecting wheat and rice yields in the Khuzestan province 105
Ali Gholami, Moslem Tahmasebi Shamansouri, Teimour Babaeinejad, Khoshnaz Payandeh, Mohiaddin Goosheh