

Assessing spatial pattern of irrigation hydromodule under different crop patterns in northwestern Iran

Arash Amirzadeh¹, Majid Raof^{2*}, Raof Mostafazadeh³

¹ Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

² Professor, Department of Water Engineering and Member of Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

³ Associate Professor, Department of Natural Resources and Member of Water Management Research Center, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Extended Abstract

Introduction

As the population continues to grow, the significance of boosting food production becomes increasingly evident. Consequently, it is imperative to find solutions to address water limitations and enhance food production in regions facing water scarcity. In this context, it is proposed to implement strategies that involve expanding cultivated areas and optimizing the utilization of available water resources, particularly in scenarios where irrigation is restricted. To determine the amount of water consumed and to optimize its use, it is first necessary to establish the relationship between the cropping pattern of each region and the water consumption in that region. Essentially, the water consumption of each region and its cropping pattern should be evaluated based on the volume of water required per unit of time for each hectare. Successful water engineering projects necessitate precise estimation of plants' water requirements across various regions. The goal is to maximize the efficiency of water usage per unit volume to ensure optimal agricultural output. This study aims to explore fluctuations in the water requirements and hydromodule of crops within different cultivation patterns in select regions of northwest Iran in response to climatic variables.

Materials and Methods

The objective of this study is to evaluate the variations in plant water needs in cultivation patterns across different regions in northwest Iran, taking into account climatic parameters. Initially, meteorological data from stations in Tabriz, Kalibar, Parsabad, Germe, and Bukan were collected from the National Meteorological Organization. Subsequently, utilizing CROPWAT 8.0 software, based on the FAO56 equation, factors such as evapotranspiration of grass (used as a reference plant), solar radiation, and effective rainfall were determined for the selected stations. Solar radiation and potential evapotranspiration values for the reference grass crop were calculated using meteorological data (temperature, humidity, wind speed, and sunshine hours) in CROPWAT. Effective rainfall was determined using total rainfall data and the FAO method. Soil data (medium-textured) and crop information were input, with irrigation efficiency set at 60% and timing based on FAO-defined soil moisture depletion. Allowable depletion coefficients and root depths were sourced from FAO tables. Hydromodules were extracted monthly, with the highest value per year identified as the region's maximum hydromodule. The hydromodule, representing water requirements, was then calculated monthly for the desired cultivation patterns in the respective areas. Finally, employing the Weibull distribution transformation coefficient, the irrigation hydromodule for various return periods was derived for the study region.

Results and Discussion

The results indicated that the average potential evapotranspiration of grass, serving as the reference plant, was calculated as 4.12, 3.03, 2.86, 3.32, and 3.86 mm/day for the Tabriz, Kalibar, Parsabad, Germe, and Bukan stations, respectively. Furthermore, the average irrigation hydromodule for these stations was determined as 0.73, 0.35, 0.6, 0.7, and 0.62 L s⁻¹ ha⁻¹, respectively. Utilizing the linear variation function, the average irrigation hydromodule for return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100, and 200 years for the aforementioned stations was obtained as 0.81, 0.55, 0.71, and 0.72 L s⁻¹ ha⁻¹, respectively. Similarly, using the exponential function, the corresponding values were extracted as 0.82, 0.63, 0.72, 1.0, and 0.73 L s⁻¹ ha⁻¹, respectively. Specifically, for the Tabriz, Kalibar, Parsabad, Germe, and Bukan stations, the irrigation hydromodule values with a return period of two years, using the linear function, were calculated as 0.74, 0.44, 0.62, 0.82, and 0.67 L s⁻¹ ha⁻¹, and with the exponential function, they were determined as 0.74, 0.44, 0.62, 0.83, and 0.68 L s⁻¹ ha⁻¹, respectively.

Additionally, for these stations, with a return period of 200 years, using the linear function, the calculated irrigation hydromodule values were 0.85, 0.61, 0.76, 1.02, and 0.74 L s⁻¹ ha⁻¹, while employing the exponential function, they were determined as 0.86, 0.75, 0.77, 1.10, and 0.76 L s⁻¹ ha⁻¹, respectively.

Conclusion

The irrigation hydromodule values in the Tabriz station increased by 0.851 L s⁻¹ ha⁻¹, which is equivalent to a 10.88 % increase compared to the average. Similarly, in the Kalibar, Parsabad, Germi, and Bukan stations, the increases were 0.61, 0.76, 1.01, and 0.75 L s⁻¹ ha⁻¹, respectively, representing increments of 8.44, 13.17, 38.00, 19.70, and 7.78 % compared to the average. Utilizing the exponential function, when the return period was adjusted from 2 years to 200 years and the probability of occurrence was reduced, the irrigation hydromodule increased by 0.862 L s⁻¹ ha⁻¹ in the Tabriz station, which corresponds to a 12.23 % increase relative to the average. Similarly, in the Kalibar, Parsabad, Germi, and Bukan stations, the increases were 0.75, 0.78, 1.10, and 0.76 L s⁻¹ ha⁻¹, respectively, representing rises of 30.50, 15.82, 27.04, and 9.04 % compared to the average. Given the water scarcity in various regions of the country, it is recommended to use the minimum values of functions (linear or exponential) to estimate the irrigation hydromodule for different return periods. Regarding linear function changes, and considering that the irrigation hydromodule does not decrease significantly (~ 20% on average) with an increase in the return period (up to 200 years), it is advisable to design and implement storage facilities, transfer systems, and water distribution networks in the studied plains with a low probability of occurrence (high return period). This approach minimizes the increase in costs and reduces risks during water transfer and distribution operations.

Keywords: CROPWAT 8.0, FAO56, Reference plant, Planting calendar, Water requirement

Article Type: Research Article

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of Mohaghegh Ardabili for the financial and logistical support, which significantly contributed to the research works.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Arash Amirzadeh: Resources, software, writing, original draft preparation; **Majid Raof:** Conceptualization, supervision, resources, software, analysis, manuscript editing; **Raof Mostafazadeh:** Conceptualization, analysis, spatial mapping, manuscript editing.

*Corresponding Author, E-mail: m_raoof@uma.ac.ir

Citation: Amirzadeh, A., Raof, M., & Mostafazadeh, R. (2025). Assessing spatial pattern of irrigation hydromodule under different crop patterns in northwestern Iran. *Water and Soil Management and Modeling*, 5(1), 195-212.
doi: 10.22098/mmws.2024.15135.1463

Received: 25 May 2024, Received in revised form: 04 July 2024, Accepted: 05 July 2024, Published online: 21 March 2025
Water and Soil Management and Modeling, Year 2025, Vol. 5, No. 1, pp. 195-212

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





ارزیابی الگوی مکانی تغییرات هیدرومدول آبیاری تحت الگوهای کشت متفاوت در شمال غرب ایران

آرش امیرزاده^۱، مجید رئوف^{۲*}، رئوف مصطفی زاده^۳

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲ استاد، گروه مهندسی آب و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۳ دانشیار، گروه منابع طبیعی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

پروژه‌های مربوط به مهندسی آب، نیازمند برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان در مناطق مختلف است. هدف از این پژوهش بررسی تغییرات مقدار آب مصرفی گیاهان الگوی کشت، برای برخی از مناطق شمال غرب کشور، به صورت تابعی از پارامترهای اقلیمی استخراج است. ابتدا پارامترهای هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های تبریز، کلیبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان، از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. در گام بعدی، با استفاده از نرم‌افزار کراپوات (معادله FAO56)، تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن، تشعشعات خورشیدی و بارش مؤثر در ایستگاه‌های مورد نظر استخراج شد. با استفاده از الگوی کشت مناطق مورد نظر، هیدرومدول برای هر ماه محاسبه شد. در مرحله پایانی، با استفاده از مرحله ویبول، مقادیر هیدرومدول با دوره‌های بازگشت مختلف برای مناطق مورد نظر استخراج شد. نتایج نشان داد که میانگین تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن ایستگاه‌های تبریز، کلیبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان به ترتیب ۴/۱۲، ۳/۰۳، ۲/۸۶، ۳/۳۲ و ۳/۸۶ میلی‌متر بر روز است. میانگین هیدرومدول آبیاری برای مناطق ذکر شده نیز، به ترتیب ۰/۷۳، ۰/۳۵، ۰/۶۰، ۰/۷۰ و ۰/۶۲ لیتر بر ثانیه بر هکتار به دست آمد. با استفاده از تابع تغییرات خطی، با تغییر دوره بازگشت از دو سال به ۲۰۰ سال و کاهش احتمال وقوع، مقادیر هیدرومدول آبیاری به ترتیب، ۰/۱۱، ۰/۱۷، ۰/۱۳، ۰/۱۸ و ۰/۰۷ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۱۰/۸۸، ۱۷/۳۶، ۱۳/۱۷، ۱۹/۳۸ و ۷/۷۸ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد. همچنین با استفاده از تابع تغییرات نمایی، مقادیر هیدرومدول آبیاری به ترتیب، ۰/۱۲، ۰/۳۰، ۰/۱۵، ۰/۲۷ و ۰/۱۰ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۱۲/۲۳، ۳۰/۵، ۱۵/۸۲، ۲۷/۰۹ و ۹/۰۴ درصد متوسط افزایش پیدا کرد.

واژه‌های کلیدی: گیاه مرجع، تقویم کشت، نیاز آبی، FAO56، CROPWAT 8.0

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m_raoof@uma.ac.ir

استناد: امیرزاده، آرش، رئوف، مجید، مصطفی زاده، رئوف (۱۴۰۴). ارزیابی الگوی مکانی تغییرات هیدرومدول آبیاری تحت الگوهای کشت متفاوت در شمال غرب ایران. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۱)، ۱۹۵-۲۱۲.
doi: 10.22098/mmws.2024.15135.1463

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۴/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۵، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۱

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۴، دوره ۵، شماره ۱، صفحه ۱۹۵ تا ۲۱۲

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی © نویسندگان



۱- مقدمه

به‌دلیل افزایش جمعیت، تولید بیش‌تر مواد غذایی بیش از پیش دارای اهمیت است. بنابراین یافتن راه‌کاری برای مقابله با محدودیت آبی و تولید بیش‌تر مواد غذایی در مناطق کم آب ضروری است (Heydari et al., 2013). در همین راستا استفاده از الگوی کشت بهینه (Osama et al, 2017; Aghajani et al., 2013; Singh and Panda, 2012; Karamouz et al., 2013) و هم‌چنین سناریوهایی که باعث گسترش سطح زیر کشت و استفاده بهینه از آب قابل دسترس و یک راه‌برد سودمند اقتصادی در وضعیت محدودیت آبیاری با هدف استفاده حداکثری از واحد حجم آب مصرفی می‌شود، مطرح است (Bouman and Tuong, 2001).

برای تعیین مقدار آب مصرفی و استفاده بهینه از آن، در وهله اول باید ارتباط بین الگوی کشت هر منطقه و آب مصرفی در آن منطقه مشخص شود. در اصل آب مصرفی هر منطقه و الگوی کشت آن، بر حسب حجم آب مورد نیاز در واحد زمان برای هر یک هکتار ارزیابی شده که به آن هیدرومدول گفته می‌شود و هزینه بسیاری از پروژه‌های آب به آن وابسته است. تعیین ظرفیت کانال یا لوله‌های انتقال آب وابسته به هیدرومدول مزرعه مورد نظر است. در صورتی که مقادیر هیدرومدول کم‌تر از مقدار واقعی برآورد شود، نیاز آبی گیاهان برطرف نخواهد شد و باعث خسارت می‌شود. از طرف دیگر، اگر هیدرومدول منطقه بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد شود کشاورز در مصرف آب صرفه‌جویی نخواهد کرد، لذا لازم است در برآورد هیدرومدول هر منطقه دقت لازم به‌کار گرفته شود (Raouf, 2023).

(Nazari Far et al., 2012) طی پژوهشی در خصوص مدیریت مصرف آب، به‌منظور تعیین هیدرومدول و تعیین عملکرد محصولاتی مانند باقلا، آفتابگردان، لوبیا، سیب زمینی و گندم تحت شرایط تنش آبی به‌منظور تعیین عملکرد محصول مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج ایشان نشان داد که حداکثر شاخص بازده خالص به ازای واحد حجم آب (BPD^۱) در شرایطی به‌وجود می‌آید که در محصولات لوبیا و باقلا ۱۰ درصد، آفتابگردان و سیب‌زمینی به میزان ۲۰ درصد و گندم ۳۰ درصد کم آبیاری صورت گیرد. در مجموع، هیدرومدول الگوی کشت در حالت کم آبیاری نسبت به هیدرومدول آبیاری کامل ۱۸ درصد کاهش نشان داد. (Hemmadi et al. (2014) با استفاده از اطلاعات بیش از ۴۰ ایستگاه هواشناسی، تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن، بارندگی مؤثر و نیاز آبی گیاهان مختلفی مانند گندم، نیشکر، ذرت، هندوانه و گوجه‌فرنگی در استان خوزستان بررسی نموده و با اعمال راندمان‌های مختلف، نیاز آبی ناخالص را محاسبه کردند.

نتایج نشان داد که بهبود مصرف در راندمان‌های پایین‌تر نسبت به راندمان‌های بالاتر، باعث کاهش بیش‌تر نیاز آبی می‌شود؛ لذا مدیریت مصرف در گام‌های اولیه بازدهی بیش‌تری دارد.

Asadzadeh Sharafeh and Raouf (2018) به بررسی آب مورد نیاز الگوی کشت شبکه‌های آبیاری قوریچای و بالادست کانال یامچی، واقع در دشت اردبیل پرداختند. ابتدا آب مورد نیاز شبکه‌ها را برای شرایط موجود استخراج و سپس نیاز آبی برای چهار سناریوی مختلف (سناریوهای پیشنهادی با توجه به پتانسیل منطقه) محاسبه شد. آن‌ها از شاخص‌های عرضه نسبی آبیاری سالانه (ARIS^۲)، عرضه نسبی آب سالانه (ARWS^۳) و عرضه بارش نسبی (RRS^۴)، بهره‌وری آب (WP^۵)، بهره‌وری آب آبیاری (IWP^۶)، بهره‌وری اقتصادی از جمله سود ناخالص به ازای واحد حجم آب (BPD^۷) و سود خالص به ازای واحد حجم آب (NBPD) در جهت ارزیابی مدیریت آبیاری و کارایی مصرف آب استفاده نمودند. نتایج نشان داد که جایگزینی گیاه کلزا به‌جای سیب‌زمینی در شبکه آبیاری بالادست کانال یامچی، از نظر بهره اقتصادی و مصرف آب برای کشاورزان، بازده بالاتری نسبت به شرایط موجود خواهد داشت. در شبکه آبیاری قوریچای جهت داشتن بهره‌وری آبی و اقتصادی بیش‌تر شبکه، الگوی کشت موجود شبکه توصیه شد. در هر دو شبکه، جایگزینی گیاه چغندر قند به جای سیب‌زمینی نیز از لحاظ بهره‌وری اقتصادی قابل توجه بود. طی پژوهشی (Mallah et al. (2021) به مطالعه الگوی کشت و هیدرومدول دشت هنام الشتر پرداختند. نوع و سطح زیر کشت محصولات زراعی این منطقه به‌صورت گندم و جو ۴۴۴ هکتار، یونجه و شبدر ۱۵۳ هکتار و چغندر قند ۴۰ هکتار بود. نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار نیاز آبیاری مربوط به گیاه یونجه حدود ۱۱۰۰۰ مترمکعب و کم‌ترین نیاز آبیاری مربوط به گیاه جو حدود ۳۹۰۰ مترمکعب است. هم‌چنین متوسط سالانه هیدرومدول برای این منطقه تقریباً برابر ۱/۲۶ لیتر بر ثانیه بر هکتار است. (Dong (2018) با استفاده از نرم‌افزار کراپ‌وات^۸ پارامترهای نیاز آبی، هیدرومدول، مقدار آب آبیاری خالص و ناخالص را برای گیاهان گندم زمستانه و ذرت در منطقه جینگیکو کشور چین مورد بررسی قرار داد. در پژوهش ایشان، ابتدا با استفاده از پارامترهای اقلیمی ثبت شده مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن، تبخیر-تعرق گیاهان زراعی گندم و ذرت و باران مؤثر استخراج و سپس اقدام به محاسبه هیدرومدول آبیاری و

² Annual relative irrigation supply

³ Annual relative water supply

⁴ Relative rainfall supply

⁵ Water productivity

⁶ Irrigation water productivity

⁷ Benefit per drop

⁸ Cropwat

¹ Net benefit per drop

کلیبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان، مقادیر هیدرومدول متوسط، حداقل و حداکثر تعیین شده و سپس تغییرات خطی و نمایی و تعیین هیدرومدول حداکثر با دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های مورد مطالعه تعیین می‌شود. پس از تعیین هیدرومدول با استفاده نرم‌افزار GIS به استخراج نقشه‌های هم هیدرومدول با روش کریجینگ پرداخته می‌شود.

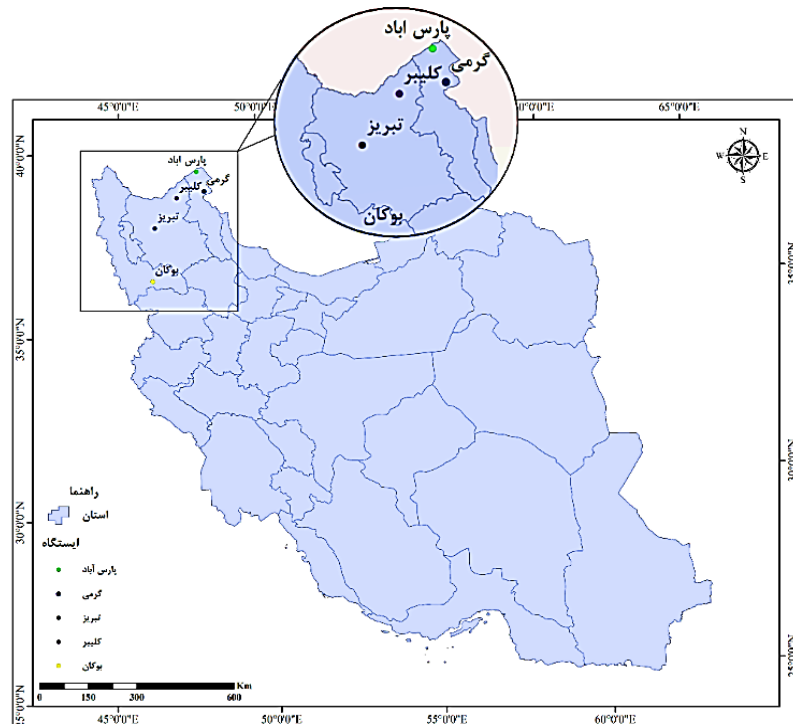
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ایستگاه‌های مورد بررسی

در این پژوهش تعداد پنج ایستگاه سینوپتیک در منطقه شمال غرب کشور انتخاب شد. ایستگاه‌های منتخب شامل، گرمی، پارس‌آباد، کلیبر، تبریز و بوکان هستند. در شکل ۱ موقعیت مکانی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در کل کشور نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز مشخصات جغرافیایی و نوع اقلیم ایستگاه‌های منتخب مورد بررسی ارائه شده است. طول دوره زمانی در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی طوری انتخاب شد که آغاز دوره زمانی، حتی‌الامکان از بدو تأسیس هر ایستگاه (در صورت نداشتن داده‌های ناقص یا گم‌شده) و انتهای دوره زمانی به سال ۲۰۲۱ منتهی شود. طول دوره زمانی در ایستگاه‌های مختلف، بسته به سال تأسیس متفاوت است و سعی شد که حداکثر طول دوره برای هر ایستگاه در نظر گرفته شود. جدول ۲ ابتدا و انتهای دوره زمانی، میانگین دما (T)، میانگین رطوبت نسبی (RH)، میانگین سرعت باد در ارتفاع دو متری (U2)، میانگین ساعات آفتابی (n) و میانگین بارش (P)، به‌صورت ماهانه را در کل دوره مورد بررسی هر ایستگاه نشان می‌دهد.

برنامه‌ریزی آبیاری در طول فصل زراعی شد. نتایج نشان داد که در طول دوره آماری مورد بررسی نیاز آبیاری گیاه گندم بیش‌تر از ذرت است. مقادیر هیدرومدول ماهانه برای گیاهان ذکر شده متفاوت بوده، اما کل نیاز آبیاری گندم در طول دوره رشد ۴۴۲/۹۰ و ذرت ۲۹۴/۲۰ میلی‌متر به‌دست آمد. (Gaber (2022) در این پژوهش برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) و نیاز خالص آبیاری برای محصولات عمده کشت شده در مصر (گندم، لوبیا خشک، سیب زمینی، چغندرقد، شیدر، ذرت، گوجه فرنگی، پنبه، نیشکر، و برنج) با استفاده از داده‌های آب و هوا از ۳۱ ایستگاه از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۸ و داده‌های خاک و محصول استفاده شد. میانگین مقادیر تخمین زده شده ET_o پنج منطقه آگرواکولوژیکی را نشان داد که منطقه اول دارای بالاترین ET_o برابر ۸ میلی‌متر در روز و منطقه پنجم دارای کم‌ترین ۳/۵۰ میلی‌متر در روز است. نیاز خالص آبیاری محاسبه شده برای سرزمین‌های مصر دلتا، اسکندریه، قاهره بزرگ، کانال سوئز، مصر علیا شمالی، مصر علیا مرکزی و مصر علیا برای محصولات عمده به‌ترتیب، مقادیر ۶۲۵۵، ۳۴۳۵، ۳۷۰، ۲۸۶۲، ۲۴۶۳، ۱۳۴۱، ۴۳۰۹ میلیون متر مکعب در سال، را نشان می‌دهد. هم‌چنین کل نیاز خالص آبیاری حدود ۲۱ کیلومتر مکعب در سال برای کل کشت ۷۵۲۳۰۰۷ ابر بود.

علیرغم این‌که پژوهش‌های متعددی در خصوص ارزیابی هیدرومدول آبیاری صورت گرفته است، اما برآورد تغییرات مکانی مقادیر هیدرومدول در شرایط مختلف اقلیمی و نیز دوره‌های بازگشت مختلف به‌صورت مکانی انجام نشده است. لذا، در پژوهش حاضر پس از محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از نرم‌افزار کراپ‌وات در ایستگاه‌های سینوپتیک تبریز،



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران
Figure 1- Location of the study area in Iran

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی در برآورد هیدرومدول

Table 1- Geographical characteristics of the investigated stations in the hydromodule estimation

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم (روش دومارتن)
گرمی	48.05	39.05	1100	نیمه‌خشک
پارس‌آباد	47.50	39.60	33	نیمه‌خشک
کلپیر	47.02	38.52	2750	نیمه‌خشک
تبریز	46.28	38.07	1351	نیمه‌خشک
بوکان	46.23	36.52	1365	نیمه‌خشک

جدول ۲- میانگین ماهانه پارامترهای اقلیمی مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در برآورد هیدرومدول

Table 2- Monthly average of the climatic parameters studied in the hydromodule estimation at the studied stations

پارامتر	ایستگاه				
	گرمی	پارس‌آباد	کلپیر	تبریز	بوکان
ابتدای دوره	2005	1987	2000	1982	2006
انتهای دوره	2021	2021	2021	2021	2021
میانگین دما (سانتی‌گراد)	14.28	15.39	12.56	13.30	13.56
میانگین رطوبت (درصد)	63.41	72.55	61.39	52.00	46.51
میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	2.47	1.62	3.10	2.30	2.00
میانگین ساعات آفتابی (ساعت بر روز)	6.52	6.08	6.60	7.70	8.13
میانگین بارش (میلی‌متر)	25.30	22.56	32.97	21.5	29.70

۲-۲- روش پژوهش

استخراج هیدرومدول‌های مناطق مختلف در دوره‌های بازگشت مختلف، به‌صورت زیر انجام شد:

مقادیر تشعشعات خورشیدی و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن برای ماه‌ها و سال‌های مختلف، با وارد کردن پارامترهای هواشناسی شامل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی، در نرم‌افزار کراپ‌وات، استخراج شد. این کار برای

هر پنج ایستگاه و سال‌های مندرج در جدول ۲ انجام شد. سپس مقادیر بارش مؤثر برای ماه‌های مختلف، با وارد کردن مقادیر بارندگی کل در نرم‌افزار کراپ‌وات، استخراج شد. برای استخراج باران مؤثر در مناطق مورد مطالعه از روش فائو استفاده شد. در مرحله بعد اطلاعات مورد نیاز برای خاک و گیاهان زراعی وارد نرم‌افزار کراپ‌وات شد. خاک تمام مناطق به‌صورت بافت متوسط

در نظر گرفته شد. الگوی کشت ۵ منطقه مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- الگوی کشت غالب (نوع گیاه و درصد مساحت تحت کشت) مورد استفاده برای مناطق مختلف مورد بررسی
Table 3- Dominant cropping pattern (type of plant and percentage of cultivated area) used for the different regions under investigation

ایستگاه					
نوع گیاه	گرمی	پارس آباد	کلپیر	تبریز	بوکان
گندم	22	17	27	52	35
جو	20	2	-	12	3
یونجه	19	17	25	15	13
سیر	-	3	-	-	-
سویا	-	5	-	-	-
لوبیا	-	-	6	-	-
پیاز	-	-	-	13	-
پنبه	-	20	-	-	-
بادام زمینی	-	13	-	-	-
کلزا	-	3	-	-	-
برنج	6	3	-	-	-
چغندر قند	-	4	-	-	-
گوجه فرنگی	-	2	-	-	25
انگور	-	-	۴	۴	24
ذرت	-	6	۳۸	-	-
گردو	33	-	-	-	-
شلیل	-	6	-	-	-
سیب زمینی	-	-	-	۴	-
سیب	-	-	-	-	-
جمع (%)	100	100	100	100	100
منبع	جهاد کشاورزی اردبیل	جهاد کشاورزی اردبیل	جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی	جهاد کشاورزی آذربایجان شرقی	جهاد کشاورزی آذربایجان غربی

راندمان آبیاری برای مناطق مورد مطالعه به طور متوسط ۶۰ درصد در نظر گرفته شد (Abbasi et al., 2015). زمان آبیاری براساس روش تخلیه رطوبتی مجاز فائو در نظر گرفته شد (FAO, 2009). هم چنین ضرایب تخلیه مجاز و عمق ریشه دوانی برای گیاهان مختلف الگوی کشت از جدول فائو استخراج و مورد استفاده قرار گرفت. با وارد کردن تمامی اطلاعات مورد نیاز برای هر منطقه، هیدرومدول هر سال در ماههای مختلف به طور جداگانه استخراج شد. در هر ایستگاه، برای هر سال یک ماه دارای هیدرومدول بالا بود. این عدد برای هر سال استخراج شده و به عنوان بیشترین هیدرومدول منطقه در آن سال (هر سال یک هیدرومدول) در نظر گرفته شد.

محاسبه هیدرومدول با دوره‌های بازگشت مختلف (۲ تا ۲۰۰ سال) به صورت زیر انجام شد:

$$P = 1 - \left(\frac{m}{m_1} + 1\right) \quad (1)$$

$$RP = \frac{100}{P} \quad (2)$$

$$W = \log\left(-\log\left(\frac{p}{100}\right)\right) \quad (3)$$

با به دست آمدن W برای هر هیدرومدول، نمودار این دو پارامتر نسبت به هم ترسیم و معادله بهترین خط برازش داده شده بر اساس مقدار بالاتر ضریب تبیین، استخراج شد. برای تمامی ایستگاه‌ها دو معادله خطی و نمایی برازش داده شد. با داشتن معادله خط به روش عکس مرحله ۵ عمل نموده و هیدرومدول برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله استخراج شد.

با توجه به موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه از روش‌های درون‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای

محاسبه درصد احتمال (p) با استفاده از رابطه (۱)، دوره بازگشت هیدرومدول‌های به دست آمده از طریق نرم‌افزار کراپوات از کمترین تا بیشترین هیدرومدول مرتب شد سپس از کمترین هیدرومدول تا بیشترین به ترتیب شماره‌گذاری شد در ادامه محاسبه درصد احتمال (p) با استفاده از رابطه (۱)، دوره بازگشت

¹ Weibull

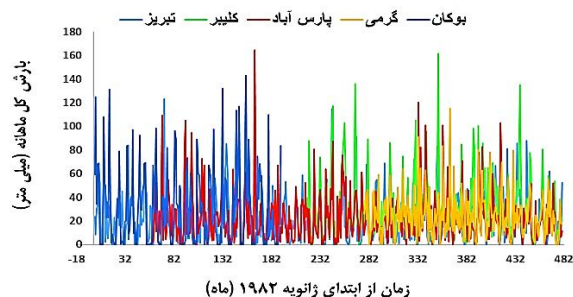
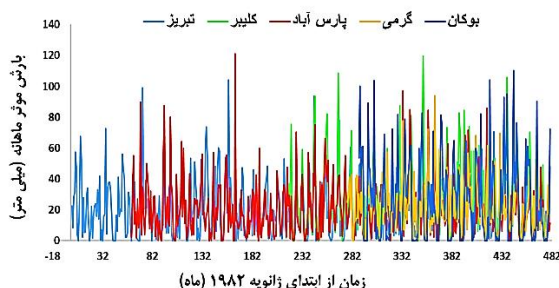
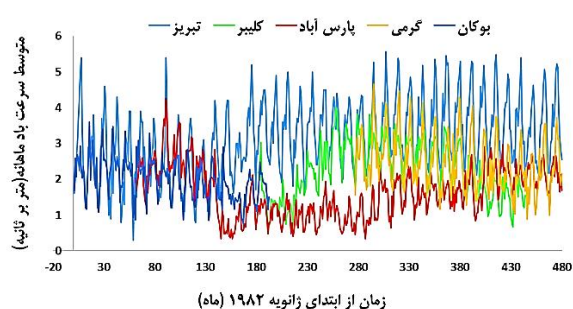
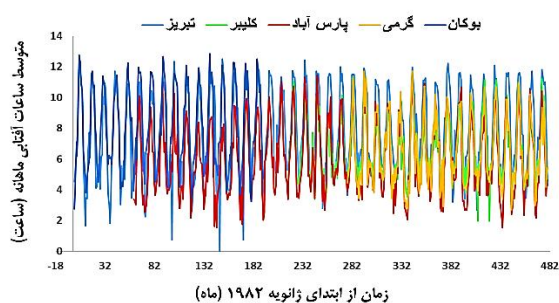
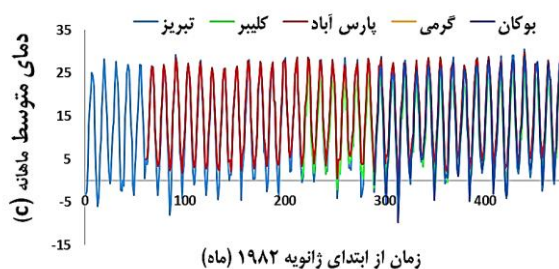
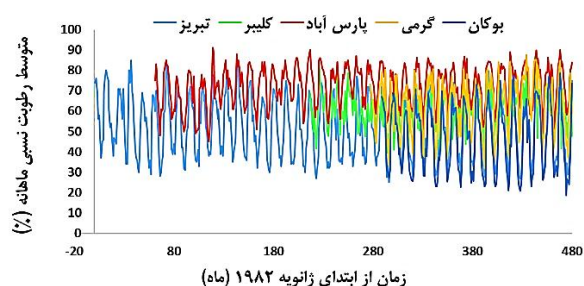
سرعت باد متوسط روزانه، متوسط ساعات آفتابی روزانه، بارندگی کل و بارش مؤثر ماهانه، که برای کل دوره مورد نظر ترسیم شده است در شکل ۲ ارائه شده است. نکته قابل توجه در مورد داده‌های اقلیمی، پایین بودن متوسط دمای ماهانه در ایستگاه‌های تبریز و بوکان و بالا بودن متوسط سرعت باد در ایستگاه تبریز و به تبع آن پایین بودن متوسط رطوبت نسبی ماهانه در ایستگاه‌های تبریز و بوکان است. بقیه پارامترهای مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد بررسی، تقریباً به صورت یکنواخت و عاری از هرگونه روند است. بررسی میانگین سالانه پارامترهای اقلیمی حاکی از آن است که سرعت باد متوسط در ایستگاه‌های پارس‌آباد و تبریز افزایش نسبی دارد. پارامترهای ساعات آفتابی، بارش کل و بارش مؤثر دارای روند خاصی نیست.

درون‌یابی مقادیر حداکثر مقادیر هیدرومودول از روش زمین‌آمار استفاده شد. در روش مذکور درون‌یابی داده‌ها بر اساس واریانس مکانی که تابعی از فاصله است، محاسبه می‌شود (Ahmad et al., 2021). برای ترسیم نقشه هم‌هیدرومودول، علاوه بر ۵ ایستگاه مورد پژوهش (شامل گرمی، پارس‌آباد، کلیبر، تبریز و بوکان)، از داده‌های شش ایستگاه دیگر (شامل اردبیل، خلخال، مراغه، میانه، ارومیه و ماکو) نتایج حاصل از پژوهش Raof et al. (2023) نیز استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی و تبخیر-تعرق گیاه مرجع

نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای هواشناسی، نمودار تغییرات متوسط سالانه پارامترهای دمای متوسط، رطوبت نسبی متوسط،

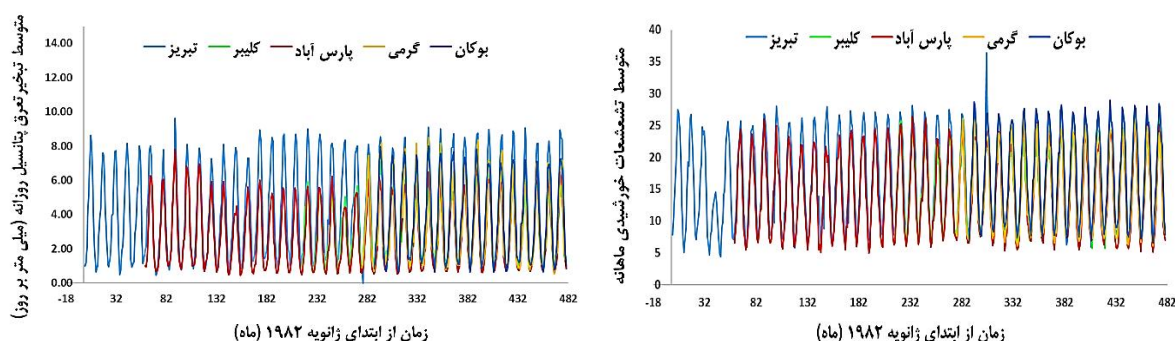


شکل ۲- تغییرات پارامترهای اقلیمی (دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی، بارش کل و بارش مؤثر) در ایستگاه‌های مورد بررسی

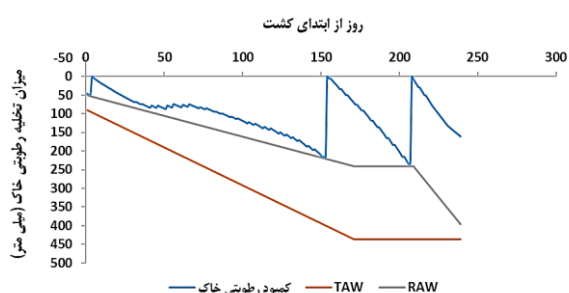
Figure 2- Changes in climatic parameters (temperature, relative humidity, wind speed, sunshine hours, total precipitation and effective precipitation) in the investigated stations

تعرق گیاه مرجع چمن برای ایستگاه‌های تبریز، کلیبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان، به ترتیب ۴/۱۱، ۳/۰۳، ۲/۸۶، ۳/۳۲ و ۳/۸۶ میلی‌متر بر روز است. چنانچه انتظار می‌رود، با توجه به نزدیک بودن مناطق به هم‌دیگر و همچنین عدم وجود اختلاف اقلیمی زیاد بین ایستگاه‌های مورد بررسی، میانگین سالانه تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن در ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف زیادی نیست. کم بودن متوسط سرعت باد و همچنین بالا بودن متوسط رطوبت نسبی در ایستگاه پارس‌آباد، در بازه زمانی مورد بررسی باعث شده است که حداقل تابش خورشیدی و تبخیر-تعرق پتانسیل در این ایستگاه ثبت شود.

شکل ۳ مقادیر تشعشعات خورشیدی و تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن را برای ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. این مقادیر از نرم‌افزار کراپ‌وات استخراج شده‌اند. مقادیر تابش خورشیدی در تمام ایستگاه‌های مورد بررسی از ۴/۴۰ مگاژول بر مترمربع در روز تا ۳۶/۴۰ مگاژول بر مترمربع در روز (هر دو برای ایستگاه تبریز) و مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن از ۰/۴۵ میلی‌متر بر روز (برای ایستگاه پارس‌آباد) تا ۹/۶۳ میلی‌متر بر روز (برای ایستگاه تبریز) متغیر است. میانگین تشعشعات خورشیدی برای ایستگاه‌های تبریز، کلیبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان به ترتیب ۱۶/۵۱، ۱۵/۱۱، ۱۴/۴۵، ۱۵/۰۵ و ۱۷/۵۵ مگاژول بر متر مربع در هر روز است. همچنین میانگین تبخیر-



شکل ۳- تغییرات پارامترهای تشعشعات خورشیدی و تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن در ایستگاه‌های مورد بررسی
Figure 3- Variations in the parameters of solar radiation and evapotranspiration potential of the grass reference plant in the investigated stations



شکل ۴- تغییرات رطوبت خاک در کشت گندم در دشت تبریز
Figure 4- Changes in soil moisture in wheat cultivation in Tabriz plain

۳-۲- الگوی مکانی هیدرومدول

از آن‌جا که طراحی و اجرای پروژه‌های آبی براساس حداکثر میزان مصرف گیاهان زراعی صورت می‌گیرد، برای تحلیل هیدرومدول نیز حداکثر مقادیر هیدرومدول استخراج شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۵ حداکثر مقادیر هیدرومدول استخراج شده، برای هر سال را در پنج منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. جدول ۴ مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط را برای حداکثر

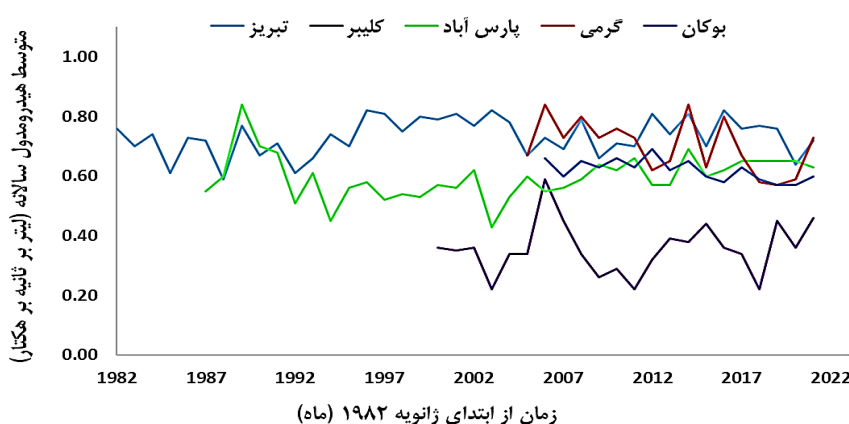
برای تمامی گیاهان الگوی کشت و در تمام پنج منطقه مورد نظر برنامه‌ریزی آبیاری صورت گرفت و تعداد آبیاری‌ها برای هر گیاه از نرم‌افزار کراپ‌وات استخراج شد. برای نمونه، نمودار نشان داده شده در شکل ۴ مربوط به آبیاری گیاه گندم در دشت تبریز است. آبیاری زمانی صورت گرفته که رطوبت خاک به حد آستانه تنش^۱ رسیده باشد و مقدار آبیاری تا پرکردن مقدار رطوبت تا ظرفیت زراعی انجام می‌شود. در این شکل همچنین کل رطوبت قابل دسترس^۲ نیز نشان داده شده است. چنانچه از شکل مشخص است در طول دوره رشد گیاه که ۲۴۰ روز بوده است، تعداد ۳ آبیاری نیاز بوده است.

¹ Readily available water

² Total available water

Raouf and Azizi (2019) نیز میزان حداکثر تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن را برای دشت اردبیل برابر $5/60$ میلی متر بر روز (معادل $0/65$ لیتر بر ثانیه بر هکتار) گزارش نمودند که با توجه به نزدیک بودن آب و هوای ایستگاه های مورد بررسی به ایستگاه اردبیل، هیدرومدول استخراج شده با نتایج ایستگاه اردبیل مطابقت نشان می دهد. Raouf (2022)، طی پژوهشی متوسط حداکثر هیدرومدول سالانه را برای ایستگاه های اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد به ترتیب، $0/66$ ، $0/99$ ، $0/75$ ، $1/10$ و $0/71$ لیتر بر ثانیه در هر هکتار استخراج نمود.

هیدرومدول سالانه در ایستگاه های مورد بررسی نشان می دهد. چنانچه انتظار می رود، هیدرومدول استخراج شده برای ایستگاه های مورد نظر، دارای اختلاف قابل ملاحظه ای نسبت به یکدیگر نیست. مقادیر ارائه شده در جدول ۴ نیز نشان می دهد که مقادیر میانگین حداکثر هیدرومدول سالانه برای ایستگاه تبریز بیشترین ($0/73$ لیتر بر ثانیه در هکتار) و برای کلیبر کمترین ($0/35$ لیتر بر ثانیه در هکتار) است. Gaber (2022)، طی پژوهشی برای محصولات عمده در مصر برای پنج منطقه بیشترین تبخیر-تعرق را 8 میلی متر بر روز و کمترین مقدار تبخیر-تعرق را $3/5$ میلی متر بر روز محاسبه کرد. در ادامه



شکل ۵- تغییرات زمانی مقادیر حداکثر هیدرومدول سالانه در ایستگاه های مورد بررسی

Figure 5- Temporal changes in the annual maximum hydromodule values in the studied stations

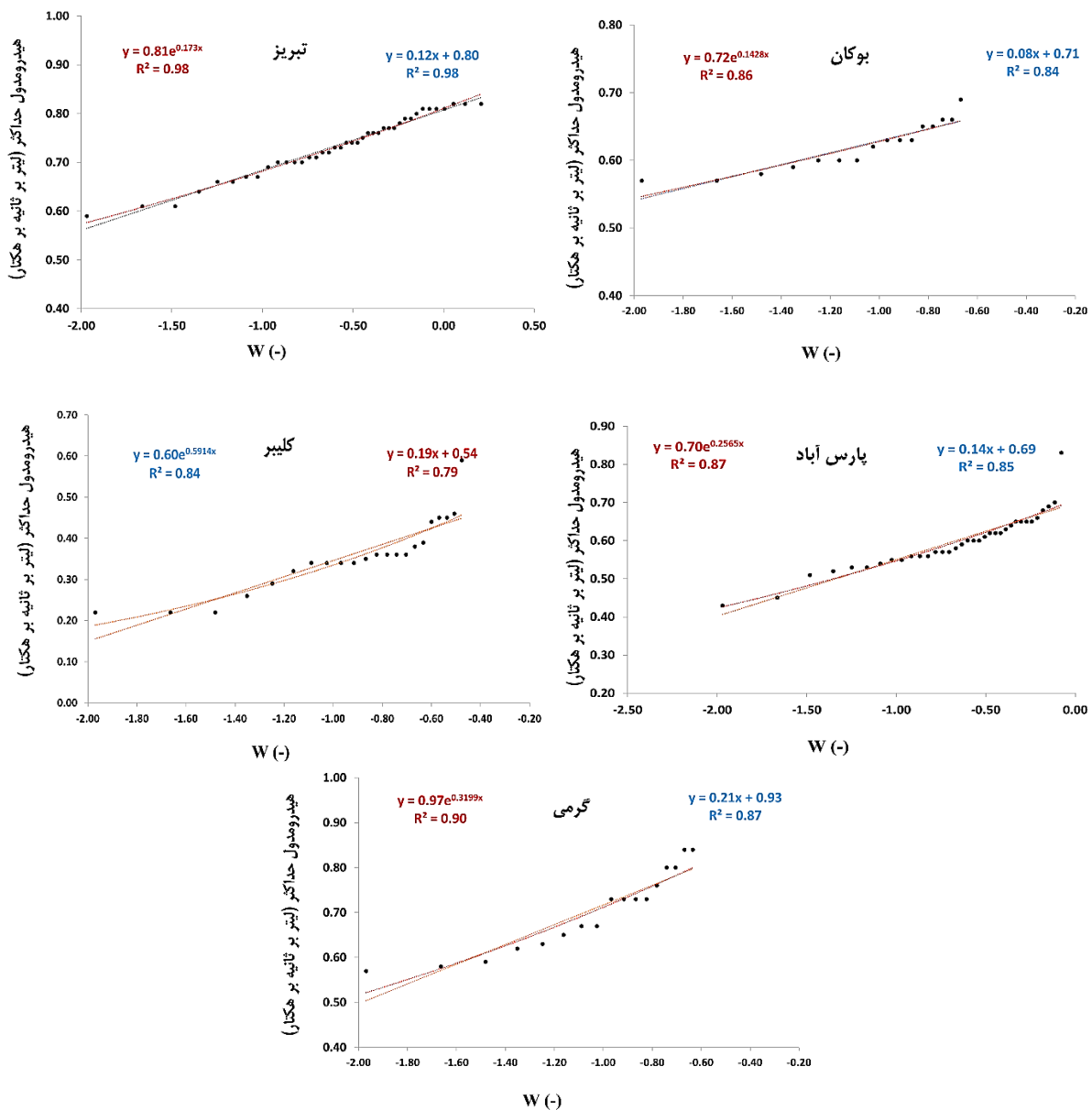
جدول ۴- مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط حداکثر هیدرومدول سالانه در ایستگاه های مورد بررسی

Table 4- Minimum, maximum, and average values for the maximum annual hydromodule in the studied stations

ایستگاه	پارامتر (لیتر در ثانیه بر هکتار)
بوکان	0.57
تبریز	0.59
کلیبر	0.22
پارس آباد	0.43
گرمی	0.57
حداقل حداکثر هیدرومدول سالانه	0.57
حداکثر حداکثر هیدرومدول سالانه	0.84
متوسط حداکثر هیدرومدول سالانه	0.70

خطی از نمایی بالاتر به دست آمده است، اما از یک طرف، اختلاف بسیار کمی بین ضرایب رگرسیون در دو تابع وجود دارد و از طرف دیگر در تقریباً تمام ایستگاه ها ضریب رگرسیون بیش تر از $0/85$ و در ایستگاه تبریز و گرمی ضریب رگرسیون بالاتر از $0/90$ به دست آمده است. این موضوع نشان می دهد که هر دو تابع خطی و نمایی دقت بالایی در تخمین هیدرومدول آبیاری دارند. در پژوهشی که توسط Raouf (2023) انجام شد، ضرایب رگرسیون خطی و نمایی برای ۵ ایستگاه اردبیل، اهواز، قزوین، کرمان و مشهد، همگی بالاتر از $0/75$ به دست آمدند و همچنین برازش تابع نمایی نسبت به خطی بهتر تشخیص داده شد.

از تبدیل ویبول، برای استخراج هیدرومدول های با دوره بازگشت مختلف (مطابق روش ارائه شده در بخش روش پژوهش)، استفاده شد. شکل ۶ تغییرات هیدرومدول آبیاری را به ازای تغییرات تبدیل ویبول (W)، مربوط به پنج ایستگاه تبریز، کلیبر، پارس آباد، گرمی و بوکان را نشان می دهد. در تمام ایستگاه ها برای ایجاد ارتباط بین پارامترهای تبدیل ویبول (W) و هیدرومدول آبیاری (Q_d) از برازش خطی و نمایی استفاده شده است. در هر پنج ایستگاه تبریز، کلیبر، پارس آباد، گرمی و بوکان، تابع نمایی دارای ضریب رگرسیون بالاتری نسبت به تابع خطی بوده است. در دو ایستگاه تبریز و گرمی نیز ضریب رگرسیون تابع



شکل ۶- تغییرات هیدرومدول آبیاری به ازای تغییرات تبدیل ویبول (W) برای ایستگاه‌های مورد بررسی

Figure 6- Changes in hydromodule of irrigation per changes in Weibull transformation (W) for the investigated stations

تابع ایستگاه بوکان کم‌ترین نما را دارد. با به‌دست آمدن معادله‌های خطی و نمایی تغییرات هیدرومدول، برای ایستگاه‌های مختلف، به ازای دوره‌های بازگشت مختلف مقادیر هیدرومدول به دو روش خطی و نمایی محاسبه شد. جدول ۵ مقادیر هیدرومدول را به ازای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال نشان می‌دهد.

محور افقی در شکل ۶ (ضریب تبدیل ویبول) بیانگر سال‌های آماری یا دوره بازگشت است. شیب تابع خطی تغییرات، در گرمی بیش‌ترین و در بوکان کم‌ترین مقدار را دارد این مقادیر بیان‌کننده این است که با افزایش دوره بازگشت یا کاهش احتمال وقوع، افزایش هیدرومدول آبیاری در گرمی دارای شیب بیش‌تری نسبت به بقیه ایستگاه‌ها است. در تابع نمایی نیز همین موضوع صادق بوده و ایستگاه گرمی دارای بیش‌ترین نما است. در این

جدول ۵- مقادیر هیدرومدول به ازای دوره‌های بازگشت مختلف (لیتر بر ثانیه بر هکتار)

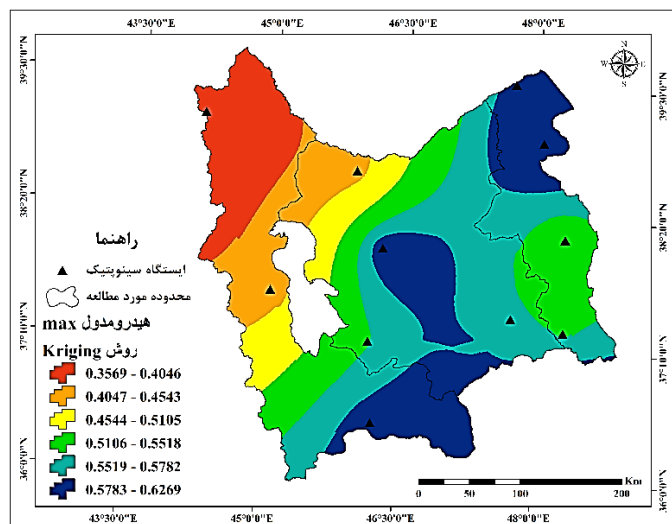
Table 5- Hydromodule values for different return periods ($L s^{-1} ha^{-1}L$)

میانگین	دوره بازگشت (سال)							ایستگاه	نوع تابع
	200	100	50	25	10	5	2		
0.81	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.78	0.74	تبریز	خطی
0.55	0.61	0.61	0.58	0.57	0.54	0.51	0.44	کلیبر	
0.71	0.75	0.74	0.73	0.72	0.77	0.67	0.62	پارس‌آباد	
0.94	1.01	1.01	0.98	0.96	0.93	0.90	0.82	گرمی	
0.72	0.74	0.74	0.73	0.73	0.71	0.71	0.67	بوکان	
0.89	0.86	0.85	0.84	0.83	0.81	0.78	0.74	تبریز	نمایی
0.63	0.75	0.72	0.69	0.66	0.65	0.55	0.44	کلیبر	
0.72	0.77	0.76	0.75	0.73	0.71	0.68	0.61	پارس‌آباد	
1.01	1.11	1.07	1.05	1.02	0.98	0.93	0.83	گرمی	
0.73	0.76	0.75	0.74	0.74	0.72	0.71	0.67	بوکان	

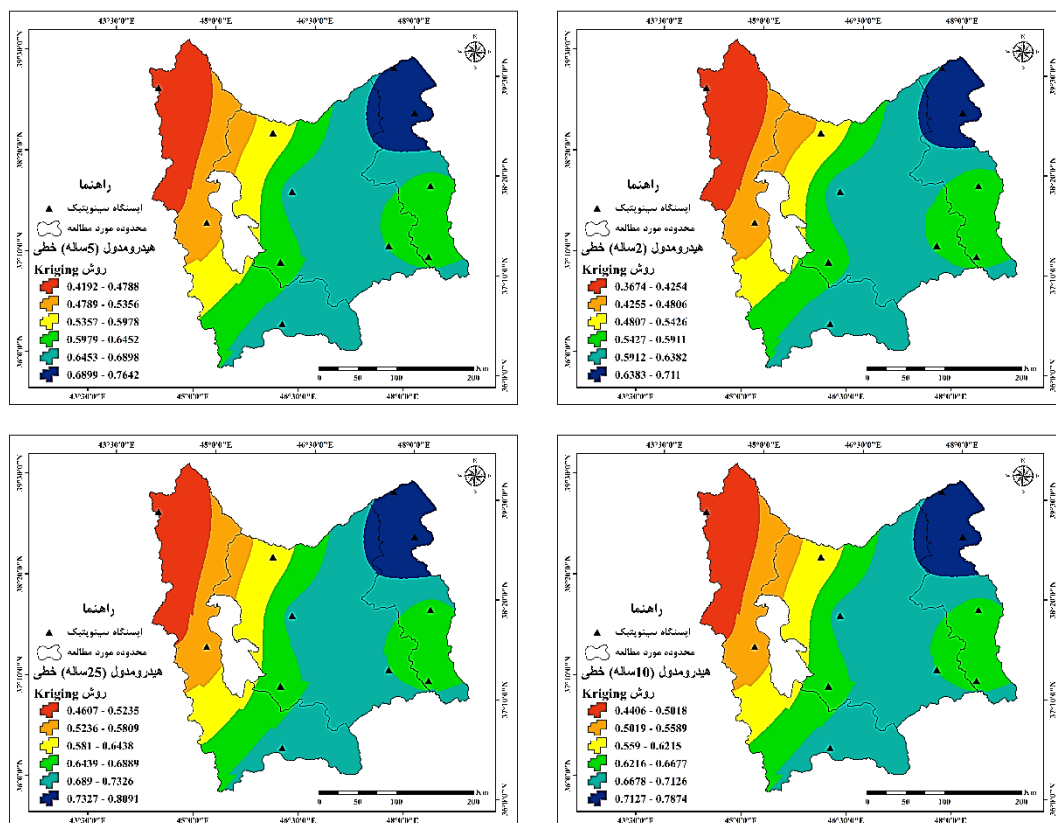
بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۷، مشخص است، مقدار حداکثر هیدرومدول آبیاری منطقه از حدود $0/33$ لیتر بر ثانیه بر هکتار تا $0/64$ لیتر بر ثانیه بر هکتار متغیر است. در حالت کلی از غرب به شرق مقدار هیدرومدول آبیاری یک روند افزایشی نشان می‌دهد. علت بالا بودن حداکثر هیدرومدول آبیاری در شمال استان اردبیل، پایین بودن ارتفاع این مناطق نسبت به سطح دریاها و آزاد و دمای بالای این منطقه در مقایسه با سایر مناطق تحت بررسی است و این روند در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال تابع خطی و نمایی دیده می‌شود. در پژوهش Mahmoudizadeh and Esmaili (2021) که به مدل‌سازی زمین‌آمارای تغییرات مکانی کیفیت آب‌های زیرزمینی با استفاده از GIS در بخش‌های مرکزی و کنارک پرداخته شد، روش درون‌یابی کریجینگ مناسب‌ترین روش درون‌یابی تعیین شد. در شکل‌های ۸ و ۹ تغییرات مکانی مقادیر هیدرومدول بر اساس توابع خطی و نمایی در دوره‌های بازگشت مختلف نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل‌های ۷ تا ۹ مشخص است تقریباً شمال غرب منطقه مورد مطالعه به دلیل آب و هوای سرد دارای کم‌ترین هیدرومدول شمال شرق منطقه دارای بیش‌ترین هیدرومدول مرکز منطقه مورد مطالعه نیز تقریباً متوسط است. این اشکال چگونگی پراکنش هیدرومدول بیش‌ترین، هیدرومدول با دوره بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال با استفاده از تابع خطی و نمایی را نشان می‌دهد.

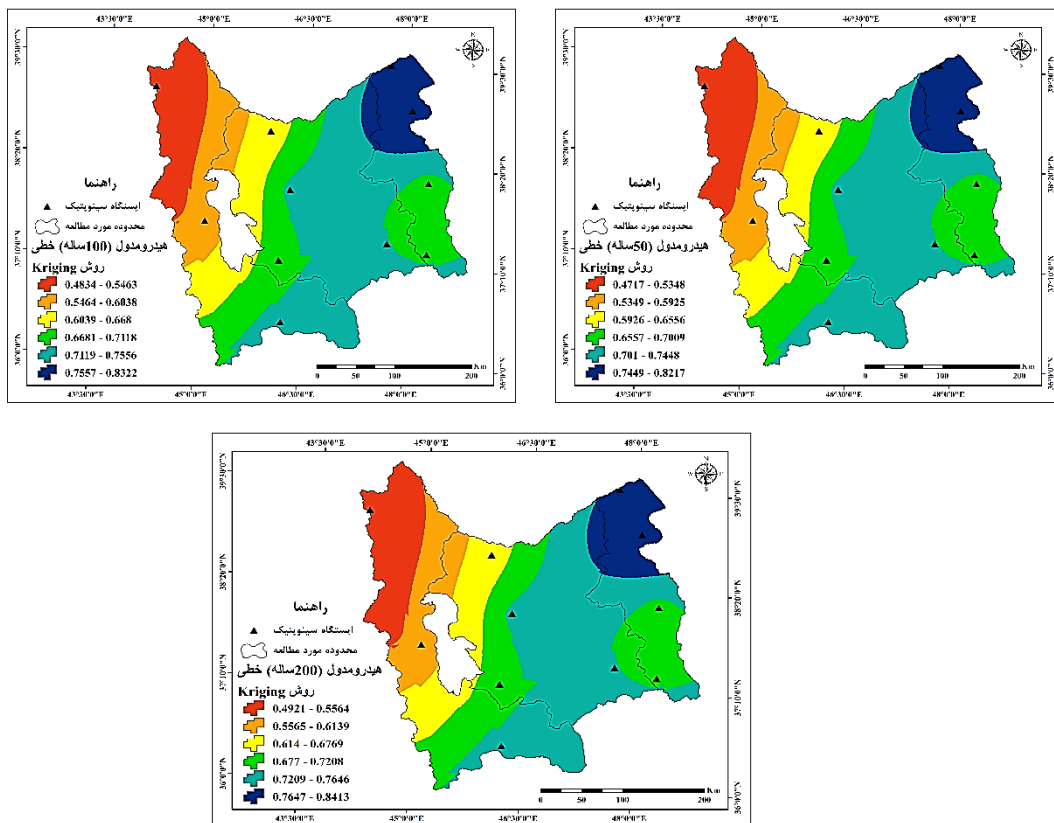
بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول ۵ مشخص است فقط در دوره بازگشت ۲ سال، در ایستگاه‌های تبریز و پارس‌آباد، بر اساس تابع خطی، مقدار هیدرومدول آبیاری بیش‌تر از تابع نمایی تخمین زده شده است. در دوره بازگشت ۵ سال تابع خطی و نمایی، در ایستگاه تبریز و بوکان مقدار هیدرومدول را تقریباً برابر با هم تخمین زده است. در دوره‌های بازگشت بالاتر (شامل ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال) تابع نمایی مقدار هیدرومدول را بیش‌تر از تابع خطی تخمین زده است. در دوره‌های بازگشت ۵ و ۱۰ سال، نتایج حاصل از تابع خطی و نمایی بسیار نزدیک به هم به‌دست آمده است. کم‌ترین مقدار هیدرومدول در ایستگاه کلیبر و برای دوره بازگشت ۲ سال (برابر $0/44$ لیتر بر ثانیه بر هکتار) و بیش‌ترین مقدار برای ایستگاه گرمی و برای دوره بازگشت ۲۰۰ سال (برابر $1/01$ لیتر بر ثانیه بر هکتار) به‌دست آمده است. میانگین هیدرومدول محاسبه شده به دو روش خطی و نمایی، در هیچ کدام از ایستگاه‌های مورد بررسی اختلاف قابل توجهی ندارند. میانگین هیدرومدول محاسبه شده برای پنج ایستگاه مورد بررسی با تابع خطی برابر $0/74$ و با تابع نمایی برابر $0/78$ لیتر بر ثانیه بر هکتار استخراج شد که اختلاف معناداری با همدیگر نشان نمی‌دهد. از مهم‌ترین عوامل پایین بودن هیدرومدول در ایستگاه کلیبر بارش باران و سرد بودن این منطقه است. نقشه هم هیدرومدول ارائه شده در شکل ۷ تغییرات حداکثر هیدرومدول آبیاری را برای ایستگاه‌های منتخب طرح نشان می‌دهد.



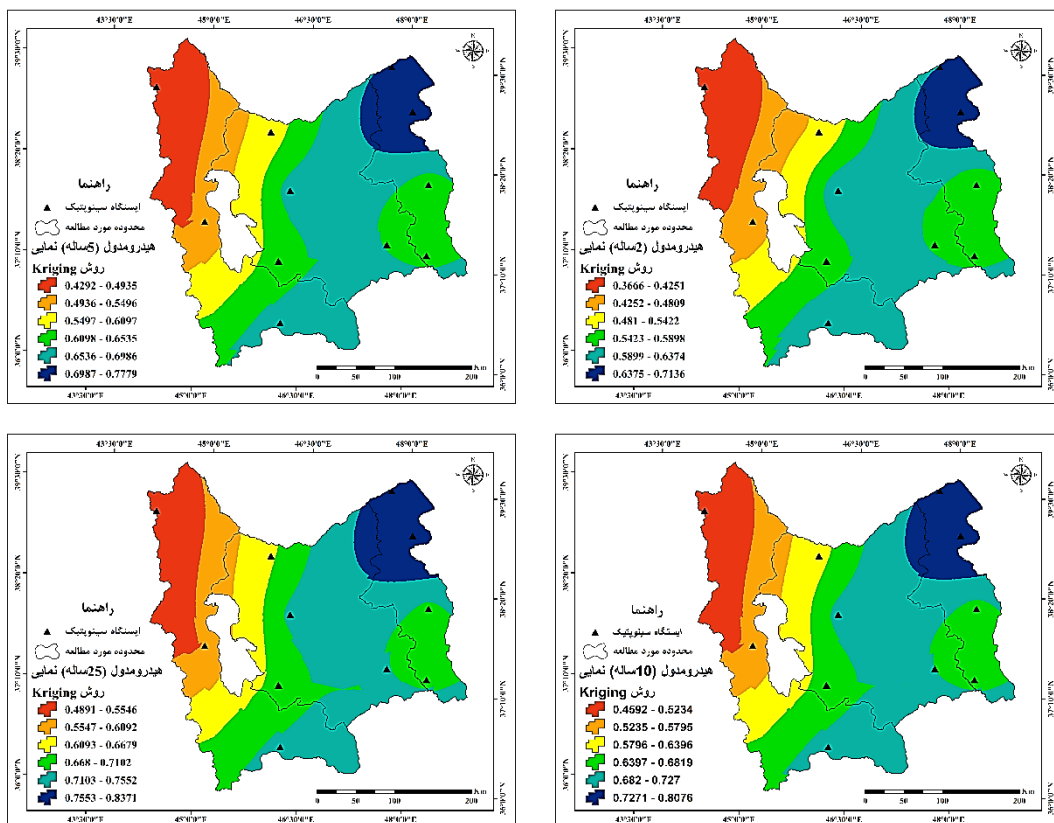
شکل ۷- نقشه مکانی تغییرات حداکثر هیدرومدول در ایستگاه‌های مورد بررسی
Figure 7- Map of maximum hydromodule changes in the studied stations



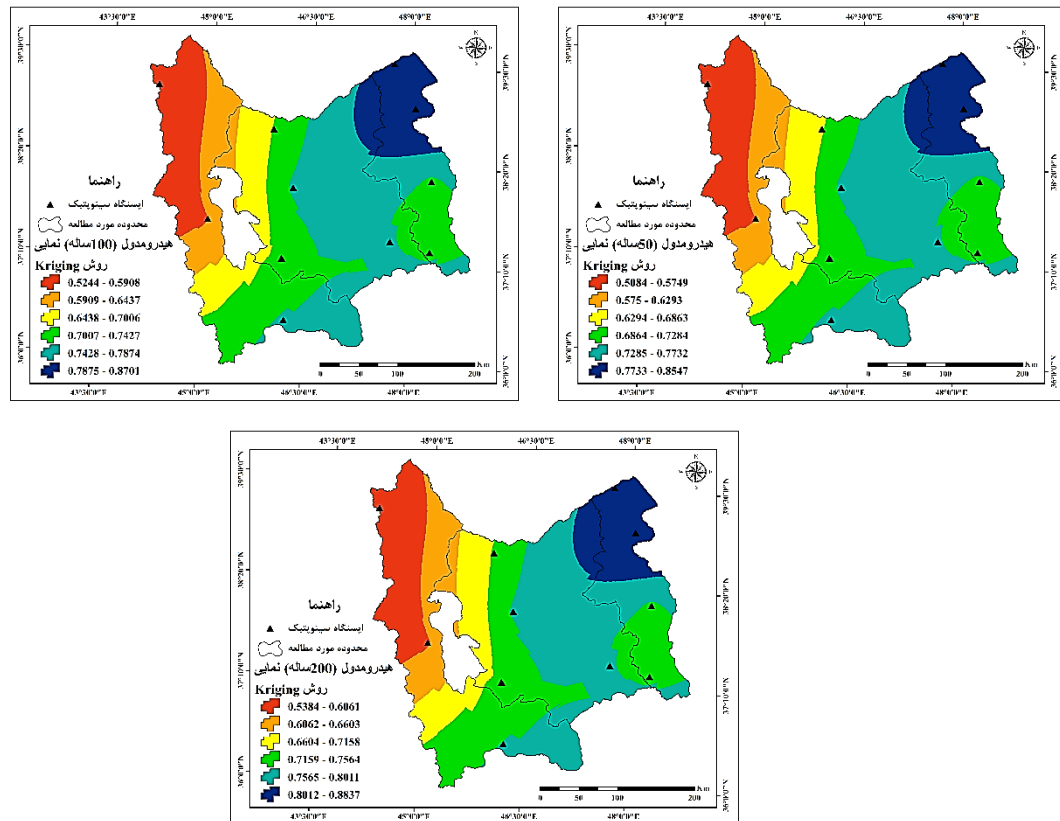
شکل ۸- نقشه تغییرات مکانی هیدرومدول با دوره بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال (تابع خطی) در ایستگاه‌های مورد بررسی
Figure 8- Map of hydromodule changes with a return period of 2 to 200 years (linear function) in the studied stations



ادامه شکل ۸- نقشه تغییرات مکانی هیدرومدول با دوره بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال (تابع خطی) در ایستگاه‌های مورد بررسی
Continued Figure 8- Map of hydromodule changes with a return period of 2 to 200 years (linear function) in the studied stations



شکل ۹- نقشه تغییرات مکانی هیدرومدول با دوره بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال (تابع نمایی) در ایستگاه‌های مورد بررسی
Figure 9- Map of hydromodule changes with a return period of 2 to 200 years (exponential function) in the studied stations



ادامه شکل ۹- نقشه تغییرات مکانی هیدرومدول با دوره بازگشت ۲ تا ۲۰۰ سال (تابع نمایی) در ایستگاه‌های مورد بررسی
Continued Figure 9- Map of hydromodule changes with a return period of 2 to 200 years (exponential function) in the studied stations

۴- نتیجه گیری

مقدار آب مصرفی گیاهان و در نتیجه هیدرومدول آبیاری در بسیاری از پژوهش‌های مربوط به انتقال و توزیع آب، تاثیر زیادی بر حجم پروژه و در نتیجه هزینه آن دارد. در این پژوهش به بررسی میزان تغییرات هیدرومدول آبیاری در ۵ ایستگاه کشور شامل، تبریز، کلبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان پرداخته شد. میانگین هیدرومدول آبیاری برای پنج ایستگاه ذکر شده به ترتیب سال‌های آماری موجود استخراج شد. چنانچه سازه‌های ذخیره، توزیع و انتقال آب، برای دوره‌های بازگشت حداقل ۵۰ سال طراحی و مورد بهره‌برداری قرار گیرند در آن صورت مقدار هیدرومدول طرح بایستی برای دشت‌های تبریز، کلبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان، به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۵۸، ۰/۷۳، ۰/۹۸ و ۰/۷۳ لیتر بر ثانیه بر هکتار در نظر گرفته شود. وجود برخی گیاهان پرمصرف از یک طرف و پایین بودن مقدار بارش کل و به تبع آن بارش مؤثر در اکثر ایستگاه‌ها، باعث شده است که مقدار هیدرومدول آبیاری بالا، اما به دلیل سرد بودن بعضی از مناطق باعث کاهش میزان آب مصرفی گیاهان شده و این دو عامل باعث شده‌اند که هیدرومدول‌های به‌دست آمده متعادل شوند.

ایستگاه کلبر به دلیل داشتن آب و هوای سرد و بالا بودن ارتفاع خود، دارای کم‌ترین و ایستگاه گرمی به دلیل پایین بودن بارش کل، دارای بیش‌ترین مقدار هیدرومدول بوده است. با احتساب تابع تغییرات خطی، با تغییر دوره بازگشت از ۲ سال به ۲۰۰ سال و کاهش احتمال وقوع، مقدار هیدرومدول آبیاری، در ایستگاه تبریز ۰/۸۵ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۱۰/۸۸ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد. این مقدار در ایستگاه‌های کلبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۷۲ و ۰/۶۲ لیتر بر ثانیه بر هکتار برای سال‌های آماری موجود استخراج شد. چنانچه سازه‌های ذخیره، توزیع و انتقال آب، برای دوره‌های بازگشت حداقل ۵۰ سال طراحی و مورد بهره‌برداری قرار گیرند در آن صورت مقدار هیدرومدول طرح بایستی برای دشت‌های تبریز، کلبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان، به ترتیب ۰/۸۳، ۰/۵۸، ۰/۷۳، ۰/۹۸ و ۰/۷۳ لیتر بر ثانیه بر هکتار در نظر گرفته شود. وجود برخی گیاهان پرمصرف از یک طرف و پایین بودن مقدار بارش کل و به تبع آن بارش مؤثر در اکثر ایستگاه‌ها، باعث شده است که مقدار هیدرومدول آبیاری بالا، اما به دلیل سرد بودن بعضی از مناطق باعث کاهش میزان آب مصرفی گیاهان شده و این دو عامل باعث شده‌اند که هیدرومدول‌های به‌دست آمده متعادل شوند.

ایستگاه کلبر به دلیل داشتن آب و هوای سرد و بالا بودن ارتفاع خود، دارای کم‌ترین و ایستگاه گرمی به دلیل پایین بودن بارش کل، دارای بیش‌ترین مقدار هیدرومدول بوده است. با احتساب تابع تغییرات خطی، با تغییر دوره بازگشت از ۲ سال به ۲۰۰ سال و کاهش احتمال وقوع، مقدار هیدرومدول آبیاری، در ایستگاه تبریز ۰/۸۶ لیتر بر ثانیه بر هکتار، معادل ۱۲/۲۳ درصد متوسط، افزایش پیدا کرد. این مقدار در ایستگاه‌های کلبر، پارس‌آباد، گرمی و بوکان به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۷۷ و ۰/۷۶ لیتر بر ثانیه بر هکتار به‌دست آمد که معادل افزایش ۳۰/۵۱، ۱۵/۸۲، ۲۷/۰۹ و ۹/۰۴ درصد نسبت به میانگین است با توجه به بحران کمبود آب در مناطق مختلف کشور، توصیه می‌شود برای تخمین هیدرومدول آبیاری در دوره‌های بازگشت مختلف، از مقادیر حداقلی توابع خطی یا نمایی استفاده شود. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که با

دشت اردبیل). مدیریت آب و آبیاری، ۸(۱)، ۵۵-۶۸
doi:10.22059/jwim.2018.239976.556
حمادی، کاظم، ذاکری حسینی، فاطمه، حسین زاده ساداتی، محسن، و
اله دین، سروش (۱۳۹۳). برآورد نیاز آبی محصولات کشاورزی
در استان خوزستان. علوم و مهندسی آب. ۹: ۱۶-۷.
https://sanad.iau.ir/en/Article/921902
رئوف، مجید (۱۴۰۲). بررسی تغییرات هیدرومدول آبیاری در شرایط
آب و هوایی و الگوهای کشت متفاوت. دانش آب و خاک. ۳۳
(۴): ۸۵-۹۹. doi:10.22034/ws.2021.46181.2417

رئوف، مجید، امیرزاده، آرش، و مصطفی زاده، رئوف (۱۴۰۲). اثر پارامترهای اقلیمی
و الگوی کشت روی تبخیر-تعرق و هیدرومدول آبیاری در برخی مناطق
شمال‌غرب ایران. آبیاری و زهکشی ایران، ۱۷(۵)، ۸۵۷-۸۶۸.
https://idj.iaid.ir/data/idj/coversheet/head_fa.jpg
عباسی، فریبرز، سهراب، فرحناز، و عباسی، نادر (۱۳۹۴). راندمان‌های
آبیاری، تغییرات زمانی و مکانی آن در ایران. گزارش کامل.
ویرایش سوم. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۵۲
ص. http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18790471

محمودی‌زاده، سعید، و اسماعیلی، علی (۱۴۰۰). مدل‌سازی
زمین‌آمار تغییرات مکانی کیفیت آب های زیرزمینی با
استفاده از GIS و مدل ویلکوکس (مطالعه موردی بخش‌های
مرکزی و کنارک، چابهار). محیط زیست و مهندسی آب، ۷(۱)،
doi:10.22034/jewe.2020.255847.1460

ملاح، سینا، غالبی، سعید، امداد، محمدرضا، و پناهی، مهدی (۱۴۰۰).
ارزیابی شاخص هیدرومدول آبیاری به‌منظور کاهش تأثیر تنش
خشکی و مصرف بهینه آب در گیاهان عمده الگوی کشت
اراضی دشت هنام. تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک،
۱۳(۱)، ۲۴-۱۵. doi: 10.22034/csra.2021.280267.1092
نظری فر، محمد هادی، بهبهانی، محمود رضا، و مومنی، رضوانه (۱۳۹۱).
ارزیابی سناریوهای متفاوت کم آبیاری و تعیین هیدرومدول و سطح
بهینه الگوی کشت در شرایط کم آبیاری. علوم و مهندسی آبیاری،
۳۵(۲)، ۹۱-۱۰۵.

https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1391.35.2.10.6

References

Abd El Baki, H.M., Raof, M. & Fujimaki, H. (2020). Determining irrigation depths for soybean using a simulation model of water flow and plant growth and weather forecasts. *Agronomy*, 369: 1-13. doi:10.3390/agronomy10030369

افزایش دوره بازگشت (حتی تا ۲۰۰ سال)، هیدرومدول آبیاری
تغییرات چشم‌گیری نخواهد داشت و این تغییرات حدود ۲۰
درصد است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که ساخت سازه‌های
ذخیره‌سازی، انتقال و توزیع آب در دشت‌های مورد مطالعه بر
اساس دوره‌های بازگشت بالا (با احتمال وقوع کم) طراحی و
اجرا شود. این رویکرد موجب می‌شود تا هزینه‌ها به میزان قابل
توجهی افزایش نیابد و در عین حال، خطرات مرتبط با انتقال و
توزیع آب کاهش یابد.

سپاسگزاری

این پژوهش مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد در رشته مهندسی
آب است و نویسندگان لازم می‌دانند که از حمایت‌های مادی و
معنوی دانشگاه محقق اردبیلی در تامین هزینه‌های پایان‌نامه
کارشناسی ارشد تقدیر و تشکر نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی
در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

آرش امیرزاده: داده‌ها، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري،
نگارش نسخه اولیه مقاله؛ **مجید رئوف:** مفهوم‌سازی، راهنمایی،
داده‌ها، کنترل نتایج، بازبینی مقاله؛ **رئوف مصطفی‌زاده:**
مفهوم‌سازی، تحلیل، تهیه نقشه‌های مکانی، بازبینی متن مقاله.

منابع

اسدزاده شرفه، حبیبه، و رئوف، مجید (۱۳۹۷). مقایسه کارایی مصرف
آب در سیستم های آبیاری بارانی و هیدروفلوم (مطالعه موردی):

Mahmodizadeh, S. & Esmaeily, A. (2021). Geostatistical Modelling of Spatial Changes in Groundwater Quality Using GIS and Wilcox Model (Case Study: Central and Kenark Districts, Chabahar). *Environment and Water Engineering*, 7(1), 103-118. doi: 10.22034/jewe.2020.255847.1460 [In Persian].

- Abbasi, F., Sohrab, F. & Abbasi, N. (2015). Irrigation efficiencies, their temporal and spatial variations in Iran. Full report. Third edition. *Agricultural Engineering and Technical Research Institute*. 52 pp. <http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18790471> [In Persian].
- Nazarifar, M., Behbahani, S. & Momeni, R. (2012). Evaluation of different deficit irrigation scenarios and determine of optimal hydromodoul and area of eropping pattern in the deficit irrigation conditions. *Irrigation Sciences and Engineering*, 35(2), 91-106. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.25885952.1391.35.2.10.6> [In Persian].
- Mallah, S., Ghalebi, S., Emdad, M.R. & Panahi, M. (2021). Evaluation of irrigation hydro-module of major plants of cropping pattern to reduce water stress and optimize agricultural water consumption in Honam sub-catchment. *Journal of Crop Science Research in Arid Regions*, 3(1), 15-24.
doi: 10.22034/csrr.2021.280267.1092
- Raooof, M., Amirzadeh, A. & Mostafazadeh, R. (2024). Effect of climatic parameters and cultivation pattern on Evapotranspiratin and Irrigation Hydromodul in some areas of northwest Iran. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(5), 857-868. https://idj.iaid.ir/data/idj/cover-sheet/head_fa.jpg [In Persian].
- Raooof, M. (2023). Investigating the Irrigation Hydromodul Changes in Different Climatic Conditions and Cultivation Patterns. *Water and Soil Science*, 33(4), 85-99. doi: 10.22034/ws.2021.46181.2417 [In Persian].
- Hemmadi, K., Zakeri Hosseini, F., Hosseinzadeh Sadati, M., & Elhadin, S. (2014). Estimating the water requirement of agricultural products in Khuzestan Province. *Water Science and Engineering*. 9: 7-16. <https://sanad.iau.ir/en/Article/921902> [In Persian].
- Asadzadeh Sharafeh, H., & Raooof, M. (2018). Comparison of Water Use Efficiency in Sprinkler and Hydroflume Irrigation Systems (Case Study: Ardabil Plain). *Water and Irrigation Management*, 8(1), 55-68. doi: 10.22059/jwim.2018.239976.556 [In Persian].
- Aghajani, A., Bidabadi, F.S., Joolaei, R., & Keramatzadeh, A. (2013). Managing cropping patterns agricultural crops of Three Counties of Mazandarn province of Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(6), 596. [In Persian]. <https://www.agronomy.org/>
- Ahmad, A.Y., Saleh, I. A., Balakrishnan, P., & Al-Ghouti, M. A. (2021). Comparison GIS-Based interpolation methods for mapping groundwater quality in the state of Qatar. *Groundwater for Sustainable Development*, 13, 100573.
doi: 10.1016/j.gsd.2021.100573
- Anonymous, (2006). Basics and criteria for designing, equipping and renovating arid lands. *Ministry of Agriculture 2* (346): 181 p. [In Persian].
- Bouman, B. A. M., & Tuong, T. P. (2001). Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management*, 49(1), 11-30. doi:10.1016/S0378-3774(00)00128-1
- Bouman, B. A. M., Van Keulen, H., Van Laar, H. H., & Rabbinge, R. (1996). The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agricultural systems*, 52(2-3), 171-198.
doi:10.1016/0308-521X(96)00011-X
- Dong, Q. (2018). Study on the Crop Irrigation Water Requirement Based on Cropwat in Jinghuiqu Irrigation Area. *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, 394. doi:10.1088/1757-899X/394/2/022037
- FAO, (2009). Food and Agriculture Organization of the United Nations. How to feed the World in 2050. https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf
- Gabr, M. E. S. (2022). Management of irrigation requirements using FAO-CROPWAT 8.0 model: A case study of Egypt. *Modeling Earth Systems and Environment*, 8(3), 3127-3142. doi:10.1007/s40808-021-01199-0
- Heydari, M.M., Noushabadi, R.N., Vahedi, M., Abbasi, A., & Heydari, M. (2013). Comparison of Evapotranspiration models for estimating reference Evapotranspiration in arid environment. *Middle-East J. Science, Research*, 15: 1331-1337. [In Persian]. doi:10.1016/j.agwat.2016.02.019
- Karamouz, M., Ahmadi, B., & Zahmatkesh, Z. (2013). Developing an agricultural planning model in a watershed considering climate change impacts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139(4), 349-363. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000263
- Osama, S., Elkholy, M., & Kansoh, R. M. (2017). Optimization of the cropping pattern in

- Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 56(4), 557-566. doi:10.1016/j.aej.2017.04.015
- Raouf, M., & Azizi Mobaser, J. (2019). Reference Evapotranspiration Estimation Using Locally Adjusted Coefficient of Angstrom's Radiation Model in an Arid-Cold Region. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21(2), 487-499.
<https://doi.net/dor/20.1001.1.16807073.2019.21.2.5.6>
- Singh, A., & Panda, S. N. (2012). Development and application of an optimization model for the maximization of net agricultural return. *Agricultural Water Management*, 115, 267-275. doi:10.1016/j.agwat.2012.09.014