Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Investigating the vulnerability of groundwater resources due to climate change (Case study: Taibad Plain)

Gohar Alizadeh Moghadam[1], Ali Golkarian[*2], Yaghoub Niazi[3]

1. M.Sc., Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: gohar19alz@gmail.com
2. Associate Professor, Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: Golkarian@um.ac.ir
3. Ph.D., Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran, Email: Niazi8127@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 02 October 2023
Revised: 13 October 2023
Accepted: 28 October 2023
Published online: 3 September 2024

Keywords:
Climate change, available water, De Martonne Aridity index, inference matrix, AET, NISTOR

ABSTRACT

The increase in the world's population has increased the amount of water consumption. Understanding the impact of climate change on various aspects of water resources can create methods to reduce or adapt to these effects. Therefore, the present study aims to investigate the impact of climate change on the vulnerability of the groundwater aquifers of Taibad Plain through Nistor's inference matrix method and using the GFDL-ESM2M fifth report model under the two release scenarios RCP4.5 and RCP8.5 in the period from 1991 to 2100 was done. For this purpose, De-Martonne's aridity index and available water were used. The results of the available water index showed that the lowest amount of available water is located in the eastern part of the region, and in the future, the trend of decreasing available water will spread to the west of the region. De-Martonne's aridity index results also showed that most of the dry areas under both scenarios are located in the eastern part of the basin. The results of Nestor's inference matrix showed that the areas with a very high effect on the recharge of groundwater aquifers are located in the north and southwest parts, and the regions with a very low effect are visible in the eastern part of the area. Also, the areas with a very low effect are without any special trend, which indicates the poor recharge of these parts, and climate change in the future has not impacted this issue. Parts with low impact also have an increasing trend. Also, sections with medium and high effects show a decreasing trend. These conditions exist in both RCP4.5 and RCP8.5 scenarios. In general, the change in climate parameters until the year 2100 will reduce the recharge potential of underground aquifers in about 55-60% of the studied area by at least one class.

Citation: Alizadeh moghadam, G., Golkarian, A., & Niazi, Y (2024). Investigating the vulnerability of groundwater resources due to climate change (Case study: Taibad Plain). *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 12(2), 119-136.
DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7
Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Ali Golkarian
Address: Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Tel: +989131576912
Email: golkarian@um.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Investigating the vulnerability of groundwater resources due to climate change (Case study: Taibad Plain)

Gohar Alizadeh moghadam[1], Ali Golkarian[*2] Yaghoub Niazi[3]

1. M.Sc., Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: gohar19alz@gmail.com
2. Associate Professor, Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: Golkarian@um.ac.ir
3. Ph.D., Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran, Email: Niazi8127@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Due to the increasing population around the world, the amount of water consumption has also increased. There are many water resources for extraction, among these water resources, groundwater is of great importance. Understanding the impact of climate change on various aspects of this water resource can lead to the creation of methods to reduce or adapt to these effects. Considering that the impact of climate change on underground water resources is indirect and more gradual than surface water resources, it is very important to monitor the condition of these resources and maintain their stability under the influence of these changes. The first step in investigating the effects of climate change is to evaluate the impact of this phenomenon on climatic parameters. To investigate the effects of climate change in future periods, the amount of climatic variables in future years should be simulated first. The General Circulation Model (GCM) are model for simulating climate in current conditions and predicting future climate changes. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is an intergovernmental scientific organization that provides comprehensive scientific, technical, and socio-economic information on the risks of climate change caused by human activities around the world. Investigating the potential effects of climate change and taking appropriate measures to adapt and reduce its negative effects is one of the duties of this international organization. Finally, the review of studies shows that the effect of climate change on underground water resources is different in each region according to its intensity, duration, and geographical extent and cannot be generalized to other regions. On the other hand, in the studied area, which is one of the most important plains in the northeast of Iran, the impact of climate change on underground water resources has been paid less attention. Therefore, this research aimed to use one of the fifth series models of IPCC climate reports to predict the values of precipitation and temperature parameters for future years and to determine the groundwater recharge potential of Taybad Plain via the qualitative method of Nistor's inference matrix.

Methodology: This study was conducted in Taibad Plain, which is located in the southeastern part of the Qara-Qom watershed. To predict the climate data of precipitation and temperature parameters, the GFDL-ESM2M fifth report model was used under two emission scenarios RCP8.5 and RCP4.5. Then, the Mann-Kendall test was used to check the trend of predicted temperature and precipitation data in the future. In the present study, the NISTOR-CEGW method was used to investigate the impact of climate change on groundwater recharge potential. To implement this method, it is necessary to form an inference matrix based on the two factors of De-Martonne's aridity index and accessible water. The temperature data of the climate model were used to estimate the De-Martonne's aridity index in the future. The available water index is obtained from the difference between precipitation and actual evaporation and transpiration. The Sebal model under the GEESEBAL system was used to obtain actual evaporation and transpiration. De-Martonne's aridity index and available water were formed in five classification classes and Nistor's inference matrix.

Results and Discussion: The results of Nestor's inference matrix showed that the areas with a very high effect on the recharge of groundwater aquifers are located in the north and southwest parts, and the regions with a very low effect are visible in the eastern part of the area. Also, the areas with a very low effect are without any special trend, which indicates the poor recharge of these parts. In other words, this part of the studied area is in

***Corresponding author:** Ali Golkarian
Address: Range and Watershed Management Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
Tel: +989131576912
Email: golkarian@um.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

the worst possible state regarding the potential of recharge groundwater aquifers, and climate change in the future has not impacted this issue. Parts with low impact also have an increasing trend. Also, parts with medium and high effects show a decreasing trend. These conditions exist in both RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

Conclusion: In general, it can be concluded that the change of climatic parameters until the year 2100 can reduce the feeding potential of groundwater aquifers in about 55-60% of the studied area by at least one class in both scenarios. About 45 percent of the studied area, which is located in the eastern part, has the minimum potential of feeding the table under current conditions, which indicates the critical conditions of the region in this regard. The results of Mann-Kendall's test showed that in all areas, the temperature has an upward and significant trend under both scenarios, while the precipitation parameter for the coming years has no significant trend under both scenarios.

Ethical Considerations

Data availability statement: All information and results are presented in the text of the article.

Funding: This research is derived from the master's thesis at Ferdowsi University of Mashhad.

Authors' contribution: This research was prepared by Gohar Alizadeh Moghadam in the form of a preliminary design and then modified and completed by Ali Golkarian and Yaghoub Niazi.

Conflicts of interest: The author of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: Khorasan Razavi Regional Water Company is thanked and appreciated for its sincere cooperation in providing statistics and information.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

بررسی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی در اثر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت تایباد)

گوهر علیزاده مقدم[۱]، علی گلکاریان[۲*]، یعقوب نیازی[۳]

۱. کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، Gohar19alz@gmail.com
۲. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران Golkarian@um.ac.ir
۳. دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. niazi8127@gmail.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۰ مهر ۱۴۰۲
بازنگری: ۲۱ مهر ۱۴۰۲
پذیرش: ۰۸ آبان ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۳ شهریور ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:
آب قابل دسترس، تغییر اقلیم، شاخص خشکی دومارتن، آب زیرزمینی، ماتریس استنتاجی، تبخیر و تعرق واقعی، نیستور.

چکیده

با توجه به افزایش روز افزون جمعیت در سراسر جهان، مقدار مصرف آب نیز افزایش پیدا کرده است. منابع آبی متعددی جهت استحصال وجود دارد که در بین آن‌ها، آب‌های زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردارند. شناخت تأثیر تغییرات اقلیمی بر جنبه‌های مختلف این منبع آبی، می‌تواند منجر به ایجاد روش‌هایی جهت کاهش و یا سازگاری با این تأثیرات شود. از این رو مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان آسیب‌پذیری سفره‌های آب زیرزمینی دشت تایباد از طریق روش ماتریس استنتاجی نیستور و استفاده از مدل گزارش پنجم GFDL-ESM2M تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در بازه‌زمانی ۱۹۹۱ تا ۲۱۰۰ انجام شد. برای این منظور از دو شاخص خشکی دومارتن و آب قابل دسترس استفاده شد. نتایج شاخص آب قابل دسترس نشان داد که کم‌ترین مقادیر آب قابل دسترس در بخش شرقی منطقه قرار دارد که در سال‌های آتی روند کاهش آب قابل دسترس به سمت غرب منطقه گسترش می‌یابد. نتایج شاخص خشکی دومارتن نیز نشان داد، بیش‌تر مناطق خشک تحت هر دو سناریو در قسمت شرقی حوضه قرار دارند. نتایج ماتریس استنتاجی نیستور بیان‌گر این موضوع است که مناطق با اثر خیلی زیاد در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی در قسمت‌های شمال و جنوب غربی قرار دارند و در بخش شرقی حوضه مناطق با اثر خیلی‌کم قابل مشاهده است. بخش‌های با اثر زیاد و متوسط روند کاهشی از خود نشان دادند و در بخش‌هایی با تأثیر کم روند افزایشی مشاهده شد. مناطق با اثر خیلی کم بدون روند خاصی است. این مناطق دارای حداقل پتانسیل تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی از گذشته تا حال بوده و تغییر اقلیم در آینده نیز تغییری در آن ایجاد نمی‌کند. به‌طور کلی تغییر در پارامترهای اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ موجب کاهش پتانسیل تغذیه سفره‌های زیرزمینی در حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد از منطقه مورد مطالعه حداقل به میزان یک طبقه خواهد شد.

استناد: علیزاده مقدم، گوهر، گلکاریان، علی، و نیازی، یعقوب. (۱۴۰۳). بررسی آسیب‌پذیری منابع آب زیرزمینی در اثر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت تایباد). *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۲(۲)، ۱۱۹-۱۳۶.

DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** علی گلکاریان
نشانی: گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
تلفن: ۰۹۱۳۱۵۷۶۹۱۲
پست الکترونیکی: golkarian@um.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

مقدمه

با گذر زمان جمعیت کره زمین رو به افزایش بوده و از سوی دیگر با تغییر سبک زندگی و توسعه تکنولوژی مصرف آب روند صعودی پیدا کرده است و این درحالی است که مقدار آب کرهٔ زمین ثابت است. منابع آبی مختلفی جهت استحصال وجود دارد که در بین این منابع آبی کره زمین، آب‌های زیرزمینی اهمیت بالایی دارند. همان‌طور که از نام این منبع آبی پیداست، آب زیرزمینی در حقیقت آب موجود در زیر سطح زمین، منافذ خاک و شکستگی‌های سازه سنگی است (رحیمی، ۱۳۹۱). آب‌های زیرزمینی یکی از منابع اصلی آب شرب در مناطق شهری و روستایی هستند. تقریبا ۱/۴ میلیارد کیلومترمکعب آب در زمین به شکل دریاها، آب‌های سطحی داخلی و آب‌های زیرزمینی ذخیره می‌شود، اما تنها سه درصد از کل منابع آبی موجود به‌صورت آب شیرین موجود در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی است (Al-Araji, 2019). آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از بهترین و مناسب‌ترین منابع در دسترس جهت تأمین آب مورد نیاز به حساب می‌آید که این موضوع در شرایط بحرانی و کمبود آب‌های سطحی بسیار حائز اهمیت است. طی سال‌های اخیر برداشت‌های بیش از اندازه از منابع آب زیرزمینی، سبب افت سطح سفره در دشت‌ها شده است به‌طوری‌که میزان تخلیه از آبخوان‌ها بیش‌تر از تغذیه آن‌هاست، همین موضوع سبب بیلان منفی می‌شود (علیزاده، ۲۰۰۹).

تغییر اقلیم به معنای تغییر حالت شرایط آب و هوایی است که در آن میانگین فاکتورهای اقلیمی برای چند دهه یا مدت زمان بیش‌تر دچار تغییر می‌شوند. این تغییرات ممکن است به‌دلیل نوسانات چرخه خورشیدی، فوران آتشفشان‌ها، افزایش گازهای گلخانه‌ای و تغییر کاربری اراضی باشد (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹). با عنایت به این‌که تأثیر تغییرات اقلیم بر منابع آب زیرزمینی نسبت به منابع آب سطحی غیرمستقیم و آرام‌تر است، پایش وضعیت این منابع و حفظ پایداری آن‌ها تحت تأثیر این تغییرات اهمیت زیادی دارد (شکیبا و چشمی، ۱۳۹۱). نخستین قدم در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، بررسی تأثیر این پدیده بر عناصر اقلیمی است. به‌همین دلیل جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم در دوره‌های آینده باید در ابتدا مقدار متغیرهای اقلیمی در سال‌های آتی شبیه‌سازی شوند (نوده فراهانی و همکاران، ۱۳۹۶). مدل‌های گردش عمومی[1] یا به اختصار (GCM) مدل‌هایی برای شبیه‌سازی اقلیم در شرایط فعلی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده‌اند (یوسف‌دوست و همکاران، ۱۳۹۶). شباهت این مدل‌ها با مدل‌های پیش‌بینی آب و هوایی در این است که هر دو معادلات پیوستگی دینامیک سیال جوی را در مقیاس‌های پراکنده‌ی زمانی و مکانی حل می‌کنند. مهم‌ترین تفاوت این مدل‌ها در این است که مدل‌های پیش‌بینی آب و هوا معمولاً در دوره‌های کوتاه زمانی (در حد روز)، با تعریف شرایط اولیه دقیق و در ابعاد کم‌تر از ۱۵۰ کیلومتر مربع اجرا می‌شود. این موضوع بر خلاف مدل‌های GCM است که شبکه بزرگی از طول و عرض جغرافیایی را شامل شده و ممکن است برای شبیه‌سازی تغییرات بلند مدت آب و هوایی (تغییر اقلیم) به کار روند (یوسف‌دوست و همکاران، ۱۳۹۶). هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) یک ارگان بین‌دولتی علمی است که اطلاعات علمی، فنی و اجتماعی_اقتصادی جامعی در مورد مخاطرات تغییرات اقلیمی بر اثر فعالیت‌های انسانی در سراسر جهان را ارائه می‌کند. بررسی و سنجش پیامدهای بالقوه این تغییرات و گزینه‌های احتمالی سازگار شدن با این پیامدها و کاستن از عواقب آن، از تلاش‌های این ارگان است (IPCC, 2006). معتبرترین ابزار جهت ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی متعددی است که برای پارامترهای اقلیمی وجود دارد و میتواند پارامترهای اقلیمی را در مقیاس محلی پیش‌بینی کند.

مطالعاتی در خصوص تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیر سطحی انجام شده است که عمده آن‌ها بر فرایند تغذیه سفره تمرکز دارند. انصاری و همکاران، ۱۳۹۴ در تحقیقی به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه آب زیرزمینی سفید دشت استان چهارمحال و بختیاری پرداختند. آن‌ها از مدل HADCM3 تحت سناریوهای انتشار A1 و B1 در دوره ۲۰۳۵–۲۰۱۵ و نرم‌افزار WG-LARS استفاده کردند. نتایج مدلسازی میزان رواناب تولیدی توسط مدل IHACRES تحت شرایط تغییر اقلیم نشان داد که افزایش بارندگی تحت هر دو سناریوی انتشار در آینده و هم‌چنین در انتهای دوره ۲۰۳۵ میزان تجمعی تغذیه آب زیرزمینی در سناریو A2 نسبت به B1 افزایش داشته که تأثیر بیش‌تر تغییرات اقلیمی را تحت سناریوی A2 تأیید می‌کند. Nistor et al. (2016) در طی تحقیقی در منطقه کارپاتیانز با بهره‌گیری از روش NISTOR-CEGW و در نظر گرفتن هم زمان بارش مؤثر و شاخص اقلیمی دومارتن، شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شدت اثر تغییرات اقلیمی بر منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه کم بود. Kelaas et al. (2020) در مطالعه‌ای به ارزیابی تأثیرات اقلیمی بر تراز آب زیرزمینی منطقه کارست با استفاده از مدل آب و هوایی HADCM3 پرداختند. نتایج نشان داد مقدار تغذیه و ذخیره منابع آب زیرزمینی رو به کاهش است. Haidu and Nistor (2020) با بهره‌گیری از روش نیستور، شدت تاثیر تغییر اقلیم در مقیاس مکانی در بخش شرقی فرانسه را با استفاده از پارامترهای میزان بارش مؤثر و شاخص اقلیمی دومارتن بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که شدت اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی متوسط و کم است. Pereira et al., 2022 در طی پژوهشی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تغذیه و جریان آب زیرزمینی سیستم آبخوان Urucuia در غرب ایالت باهیا، برزیل (UAS-BA) در دوره ۲۰۴۱–۲۰۶۰ پرداختند. ایشان از چهار

[1] General Circulation Model

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

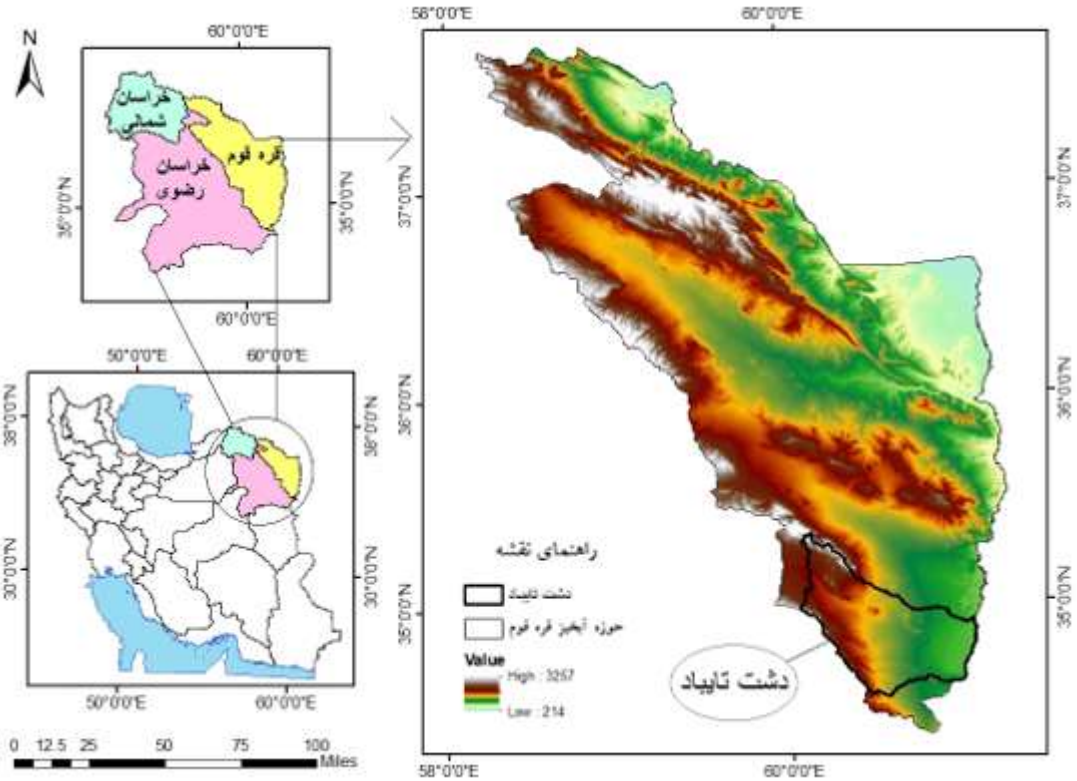
مدل اقلیمی فاز ششم ACCESS-ESM1-5، CanESM5، EC-Earth3 و MIROC6، تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5 استفاده کردند. نتایج نشان داد که یک روند نزولی در سطح آب زیرزمینی در بخش شمالی UAS-BA در حال وقوع است که به حداکثر افت تا ۱۲ اینچ با پیش‌نگری مدل CanESM5، تحت سناریوی SSP5-8.5 می‌رسد.

در نهایت بررسی مطالعات نشان می‌دهد که نتایج حاصل از مطالعه اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی با توجه به شدت، مدت و گستره جغرافیایی آن درهر منطقه متفاوت بوده و قابل تعمیم به‌مناطق دیگر نیست. از طرفی در منطقه مورد مطالعه که یکی از دشت‌های مهم در شمال شرق کشور است تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی کم‌تر مورد عنایت قرارگرفته است. بنابراین در مطالعه حاضر هدف این است که با استفاده از یکی از مدل‌های سری پنجم گزارش‌های اقلیمی IPCC مقادیر پارامترهای بارندگی و دما برای سال‌های آتی پیش‌بینی شده و از طریق روش کیفی ماتریس استنتاجی نیستور پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی دشت تایباد مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه دشت تایباد واقع در استان خراسان رضوی است که در محدوده‌ی عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۷ دقیقه و طول جغرافیایی ۶۰ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۹ دقیقه واقع شده است. وسعت دشت تایباد ۵۲۴۲/۸ کیلومترمربع است و ارتفاع متوسط از سطح دریا ۱۰۳۱ متر است. میانگین دمای سالانه در ارتفاعات ۱۳/۳ درجه سانتی‌گراد و در دشت ۱۵/۷درجه سانتی‌گراد است. میزان بارندگی سالانه در ارتفاعات و دشت به‌ترتیب ۱۹۶/۲ و ۱۵۵/۸ میلی‌متر است. کهن‌ترین سازند بررسی‌شده در حوضه سنگ‌های پروتروزوئیک است. جوان‌ترین سازند نهشته‌های رسی است که در قسمت‌هایی از حوضه گسترش یافته است. این حوضه یکی از زیرحوضه‌های اصلی حوزه آبخیز قره‌قوم است که در قسمت جنوب شرقی این حوضه واقع است (اشتیاقی جو و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، استان خراسان رضوی و حوزه آبخیز قره‌قوم

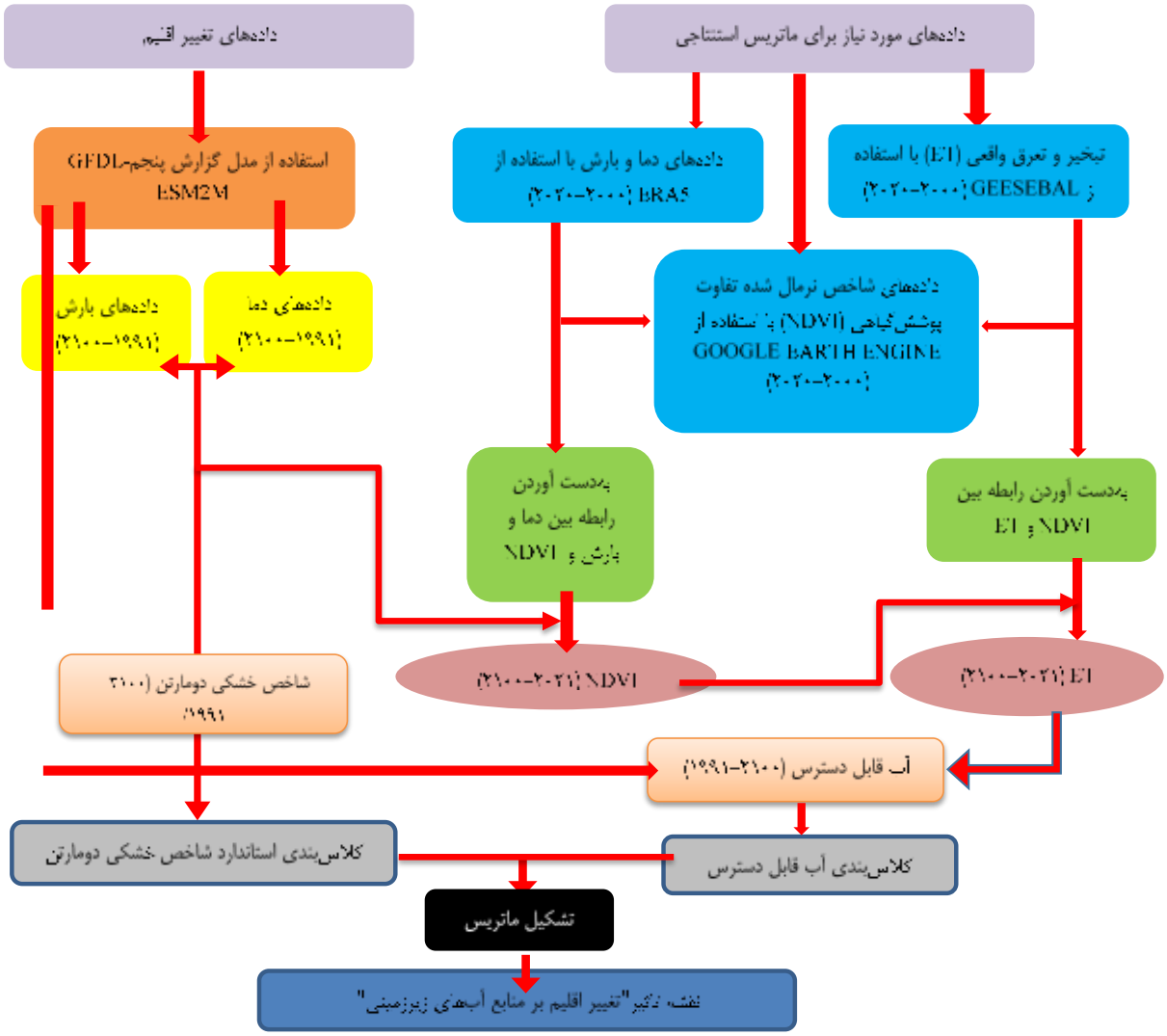
Figure 1- The studied area in the country is Razavi Khorasan province and the Qaraqom watershed are

روش تحقیق

روش NISTOR_CEGW برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفت. جهت تشکیل ماتریس مذکور به دو شاخص خشکی دومارتن و آب قابل دسترس نیاز است. شکل ۲ نمودار جریانی پژوهش را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]



شکل ۲- نمودار جریانی تحقیق

Figure 2. Research flowchart

جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های مورد نیاز در این مطالعه، دما، بارش، تبخیر و تعرق واقعی از سطح زمین (AET[1]) جهت به‌دست آوردن شاخص‌های دومارتن و آب قابل‌دسترس است. این داده‌ها باتوجه به تأثیر داده‌های موجود بر تراز آب زیرزمینی و هم‌چنین دارا بودن بیش‌ترین ضریب همبستگی با تراز آب زیرزمینی از میان متغیرهای دیگر انتخاب شده‌اند (Nistor & Mîndrescu, 2019).

استخراج داده‌های تغییر اقلیم و تحلیل روند تغییرات

در این تحقیق جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روند آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه در سال‌های آینده، از مدل گزارش پنجم GFDL-ESM2M که توسط یعقوب‌زاده و رحمانی (۱۳۹۸) دقت آن تأیید شده بود، به همراه سناریوهای انتشار بسیار بدبینانه و متوسط (RCP8.5 و RCP4.5) استفاده شد. ESGF که پایگاه رسمی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم است به‌عنوان مهم‌ترین پایگاه دریافت داده‌های CMIP5 است. بدین‌منظور متغیرهای ریز مقیاس شده دمای میانگین و بارش (که جزء اصلی‌ترین متغیرهای موثر بر تغییر اقلیم هستند) از طریق برونداد مستقیم مدل GFDL-ESM2M تحت پروژه کوردکس-منا با قدرت تفکیک ۴۴ کیلومتری تحت سناریوهای انتشار RCP8.5 و RCP4.5 طی دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۶ از طریق این سایت دریافت شد. هم‌چنین جهت شناسایی و تحلیل روند احتمالی موجود در داده‌های اقلیمی از آزمون من- کندال که یک آزمون ناپارامتریک است استفاده شد. این آزمون از طریق نرم‌افزار آماری Rstudio، نسخه ۴.۳.۱، انجام شد (حجام و همکاران، ۱۳۸۷).

[1] Actual Evapotranspiration

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

معرفی روش نیستور

در این تحقیق از روش NISTOR_CEGW برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی استفاده شد. مبنای این روش به‌کارگیری یک ماتریس استنتاجی ۵ در ۵ بوده که پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی را مبتنی بر بررسی‌های مکانی – زمانی و به‌صورت کیفی مورد ارزیابی قرار می‌دهد (نیستور و همکاران، ۲۰۱۶a). شاخص آب قابل دسترس و یکی از مهم‌ترین شاخص‌های اقلیمی، یعنی شاخص خشکی دومارتن در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد. آب قابل دسترس در دراز مدت به‌عنوان تفاوت بین میزان بارش و تبخیر و تعرق واقعی در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس تأثیر الگوی کاربری اراضی و پوشش گیاهی در تبخیر و تعرق و شارژ مجدد آب‌های زیرزمینی در مقیاس مکانی پر رنگ خواهد بود. جهت تعیین آب قابل دسترس از تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_0)، تبخیر و تعرق گیاه (ET_C) و تبخیر و تعرق واقعی گیاه (AET_C)، در سه دوره زمانی گذشته، حال و آینده استفاده شد. شاخص خشکی دومارتن در تعیین و طبقه‌بندی انواع اقلیم‌ها اهمیت زیادی دارد. با ترکیب آب قابل دسترس و شاخص خشکی دومارتن، امکان نمایش مناسب تأثیر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی وجود دارد. این متدلوژی برای یک دوره طولانی مدت و به‌خصوص در مقیاس منطقه‌ای قابل اطمینان‌تر است. میزان کم آب قابل دسترس نشانگر تأثیر منفی اقلیم بر روی آب‌های زیرزمینی خواهد بود زیرا شارژ مجدد سفره‌های آب زیرزمینی کم می‌شود. به‌طور کلی، شاخص خشکی دومارتن نشان می‌دهد که در مناطق نیمه خشک و خشک میزان بارش کم است. آب قابل دسترس کم، اغلب با شاخص خشکی کم همراه است اما در این تحقیق دو پارامتر مذکور به‌طور جداگانه اعمال خواهد شد. زیرا آب قابل دسترس شامل ظرفیت پوشش گیاهی برای تبخیر و تعرق نیز است. از آن‌جایی که در روش نیستور از ماتریس استنتاجی ۵ در ۵ استفاده می‌شود (شکل ۳). اولین قدم تعریف کلاس‌های تأثیر برای آب قابل دسترس و شاخص خشکی دومارتن هر کدام در پنج کلاس: خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد است. پس از برآورد میزان آب قابل دسترس و هم‌چنین تعیین شاخص خشکی دومارتن در سال‌های آتی و تقسیم‌بندی آن‌ها، این دو پارامتر در تمامی منطقه مورد مطالعه در ماتریس استنتاجی قرار گرفت (Nistor et al., 2016) و تغییرات مکانی – زمانی پتانسیل تغذیه سفره‌های زیر زمینی در دوره مورد مطالعه پیش‌بینی شد.

آب قابل دسترس (میلی‌متر)				
خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

شاخص دومارتن					
خیلی کم	خیلی کم	کم	کم	متوسط	
کم	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	
متوسط	کم	متوسط	زیاد	زیاد	
زیاد	کم	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	
خیلی زیاد	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	

شکل ۳- روش تحلیل نتایج در ماتریس استنتاجی ۵*۵

Figure 3- The method of analyzing the results in the 5*5 inference matrix

شاخص خشکی دومارتن

شاخص خشکی دومارتن بر اساس میانگین دمای هوا و میانگین بارش به‌دست می‌آید و در مطالعات اقلیمی و کشاورزی کاربرد زیادی دارد (Zambakas, 1992). این شاخص برای تعیین رطوبت خاک در مقیاس محلی بسیار مناسب است (Deniz, 2011). هم‌چنین در مطالعات محیط زیستی، از شاخص خشکی دومارتن اغلب برای تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی استفاده می‌شود (Baltas, 2007؛ Nistor et al 2016). جهت محاسبه این شاخص از رابطه (۱) استفاده شد (De-Martonne, 2002).

$$I_{DM}=\frac{PP}{T+10} \quad (۱)$$

PP: میانگین بارش سالانه (mm)

T: متوسط سالانه دمای هوا (C)

با توجه به بازه عددی به‌دست آمده در منطقه مورد مطالعه شاخص دومارتن به پنج کلاس تقسیم شد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

شاخص آب قابل دسترس

عمده منابع آب قابل استفاده برای تغذیه سفره‌های زیرزمینی، آب باران و جریان‌های ناشی از آن است. جهت به‌دست آوردن آب قابل دسترس بایستی تبخیر و تعرق واقعی از سطح زمین که ترکیبی از تبخیر و تعرق از سطح گیاه و سطوح غیر گیاهی (خاک، آسفالت، عرصه‌های مسکونی و ...) است از کل بارش کسر شود، سایر موارد شامل آب ذخیره شده در خاک و هم‌چنین آب‌های جاری می‌توانند جهت تغذیه سفره‌های زیر زمینی استفاده شوند (Nistor, 2020). برای برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی از الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی استفاده شد.

الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی (SEBAL[1])

تبخیر و تعرق پدیده‌ای است که در مقیاس زمانی – مکانی و مطابق با شرایط محیطی تغییر می‌کند. روش‌های زیادی برای برآورد تبخیر و تعرق وجود دارد که این روش‌ها معمولا از اندازه‌گیری‌های نقطه ای جهت تخمین استفاده می‌کنند، در نتیجه تنها در مقیاس محلی مناسب‌اند و به‌دلیل تغییرات منطقه‌ای، به حوضه‌های بزرگ تعمیم داده نمی‌شوند. با پیشرفت علم سنجش از دور، برآورد تبخیرو تعرق واقعی و مقدار پتانسیل آن در سطوح گسترده فراهم شده است. بنابراین برآورد تبخیر و تعرق واقعی با کمک داده‌های سنجش از دور یک روش امیدوار کننده جهت غلبه بر تغییرات مکانی تبخیر و تعرق واقعی محسوب می‌شود. جهت برآورد این پارامتر، الگوریتم‌های مختلفی به مرور ارائه شد که تبخیر و تعرق واقعی را در مقیاس مکانی و زمانی پهنه‌بندی می‌کنند. یکی از روش‌های برآورد میزان تبخیر و تعرق واقعی، الگوریتم توازن انرژی سطح خشکی (SEBAL) است. این الگوریتم تعادل انرژی سطحی لحظه‌ای را برای هر پیکسل از یک تصویر ماهواره‌ای انجام می‌دهد. الگوریتم سبال می‌تواند به آنالیز تصاویر ماهواره‌ای بر مبنای اصول فیزیکی بپردازد و از شبیه‌سازی‌های ماهواره‌ای استفاده کند. علاوه‌بر این به حداقل اطلاعات هواشناسی از اندازه‌گیری‌های زمینی یا مدل‌های هوایی نیاز دارد و در حقیقت این موضوع دلیل ارجحیت الگوریتم سبال، نسبت به دیگر الگوریتم‌های ستجش از دور است (Bastiaanssen et al., 2002). این الگوریتم یکی از مدل‌هایی است که در نقاط مختلف به کار برده شده و به نتایج رضایت بخشی منجر شده است تا حدی که بعضی از محققان به دلایل نبود داده‌های اندازه‌گیری در مزارع برای واسنجی کردن مدل از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم SEBAL استفاده نمودند. در این تحقیق الگوریتم SEBAL با استفاده از JavaScript و Python API در geeSEBAL (GEE نسخه ۰,۱,۲۱۷) پیاده‌سازی شد (Laipelt et al., 2021). GEE کل مجموعه Landsat و داده‌های ساعتی ERA5-Land را فراهم می‌کند و به پردازشگر geeSEBAL اجازه می‌دهد در مناطق مختلف جهان به محاسبات با عملکرد بالا، حتی در مناطقی که داده‌های هواشناسی زمینی کاملا محدود هستند، اعمال شود.

تحلیل تغییرات پتانسیل تغذیه سفره‌های زیر زمینی تا سال ۲۱۰۰

پس از کلاس‌بندی شاخص خشکی دومارتن و آب قابل دسترس و ادغام نقشه‌های مربوط به این دو شاخص، پتانسیل بخش‌های مختف منطقه مورد مطالعه از نظر تغذیه سفره‌های زیرزمینی تا سال ۲۱۰۰ در بازه‌های ده ساله مشخص و تغییرات مکانی و زمانی آن با استفاده از مساحت هر یک از کلاس‌ها مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

بررسی روند تغییرات بارندگی و دما در دوره آماری (۲۱۰۰-۱۹۹۱) با استفاده از آزمون من-کندال

داده‌های اقلیمی پیش‌نگری شده با توجه به قدرت تفکیک مکانی (۴۴ کیلومتر) در قالب پنج پیسکل کل منطقه مورد مطالعه را پوشش می‌دهند. بر همین اساس بررسی روند تغییرات بارندگی و دما با استفاده از آزمون من-کندال برای تمامی این مناطق به‌صورت جداگانه در قالب دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 بررسی و نتایج آن در جدول‌های ۲و ۳ ارائه شده است.

[1] Surface Energy Balance Algorithm for Land

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

جدول ۲- نتایج آزمون من-کندال بارش طی سال‌های ۲۱۰۰-۱۹۹۱ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

Table 2- Results of Mann-Kendall precipitation test during 1991-2100 under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

سناریو	بخش‌ها	Kendall's tau	2 – sided p-value	Kendall test Positive Significance
RCP4.5	شمال غربی	197.0-	0.002	0.05
	جنوب غربی	0.019	0.766	0.05
	مرکزی	0.061	0.340	0.05
	شرقی	0.076	0.240	0.05
	شمالی	0.0008	0.991	0.05
RCP8.5	شمال غربی	0.0076	0.907	0.05
	جنوب غربی	0.058	0.367	0.05
	مرکزی	0.045	0.323	0.05
	شرقی	0.005	0.368	0.05
	شمالی	0.14	0.536	0.05

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که تنها در بخش شمال غربی سناریو RCP4.5 تغییرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد روند کاهشی داشته و سایر بخش‌ها در این سناریو و تمامی منطقه در سناریو RCP8.5 دارای روند معنی‌داری از نظر بارش نیستند. علی‌رغم معنی‌دار نشدن روند تغییرات در بیش‌تر منطقه مورد مطالعه در هر دو سناریو بخش‌های شمال غربی در سناریو RCP8.5 و جنوب غربی، مرکزی و شرقی در هر دو سناریو اندکی افزایش بارش تا سال ۲۱۰۰ را نشان می‌دهد. در بخش شمالی در هر دو سناریو تقریبا روند بارندگی تا سال ۲۱۰۰ بدون تغییر است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که در تمامی بخش‌های منطقه مورد مطالعه و در هر دو سناریو دما دارای روند تغییرات افزایشی در سطح اطمینان ۹۹ درصد است و دما دارای روندی صعودی است. روند دما و تغییرات بارندگی در تحقیق حاضر با مطالعه قاسمی و همکاران (۱۳۹۸) که در جنوب غرب کشور انجام شد تطابق دارد.

جدول ۳- نتایج آزمون من-کندال دما طی سال‌های ۲۱۰۰-۱۹۹۱ تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

Table 3- Results of Mann-Kendall temperature test during 1991-2100 under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios

سناریو	بخش ها	Kendall's tau	2 – sided p-value	Kendall test Positive Significance
RCP4.5	شمال غربی	0.568	<0.001	0.05
	جنوب غربی	58.0	<0.001	0.05
	مرکزی	58.0	<0.001	0.05
	شرقی	57.0	<0.001	0.05
	شمالی	574.0	<0.001	0.05
RCP8.5	شمال غربی	0.756	<0.001	0.05
	جنوب غربی	777.0	<0.001	0.05
	مرکزی	776.0	<0.001	0.05
	شرقی	766.0	<0.001	0.05
	شمالی	759.0	<0.001	0.05

شاخص خشکی دومارتن

با توجه به محدوده اعداد برآورد شده برای شاخص خشکی دومارتن و هم‌چنین با عنایت به طبقه‌بندی اصلی این شاخص، محدوده مورد مطالعه به پنج کلاس از نظر شاخص‌خشکی‌دومارتن طبقه‌بندی شد (جدول ۴). پهنه‌بندی شاخص خشکی دومارتن و سهم هر یک از کلاس‌ها در منطقه مورد مطالعه برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در شکل‌های ۴ و ۵ و نمودار تغییرات مساحت هر کدام از کلاس‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه و برای هر دو سناریو در شکل ۶ نشان داده شده است.

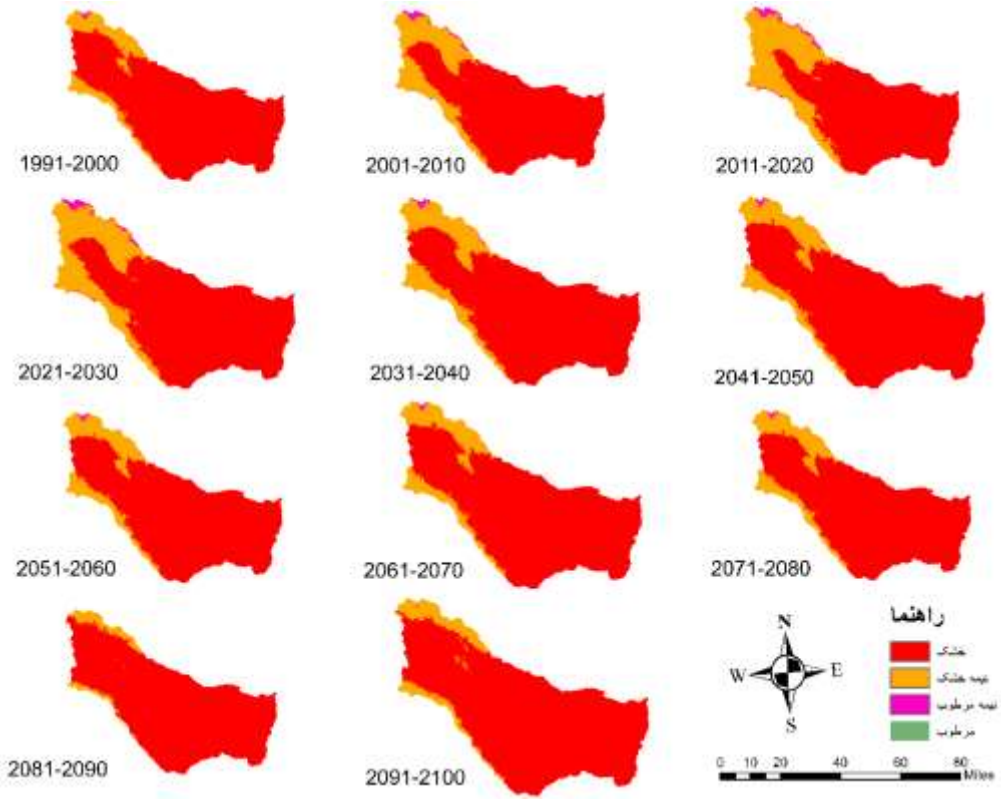
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

جدول ٤- کلاس‌بندی شاخص خشکی دومارتن در منطقه مورد مطالعه

Table 4- Classification of De-Martonne's aridity index in the study area

شاخص خشکی دومارتن	انواع اقلیم
>35	خیلی مرطوب
$28 \leq IDM < 35$	مرطوب
$20 \leq IDM < 28$	نیمه مرطوب
$10 \leq IDM < 20$	نیمه خشک
10<	خشک

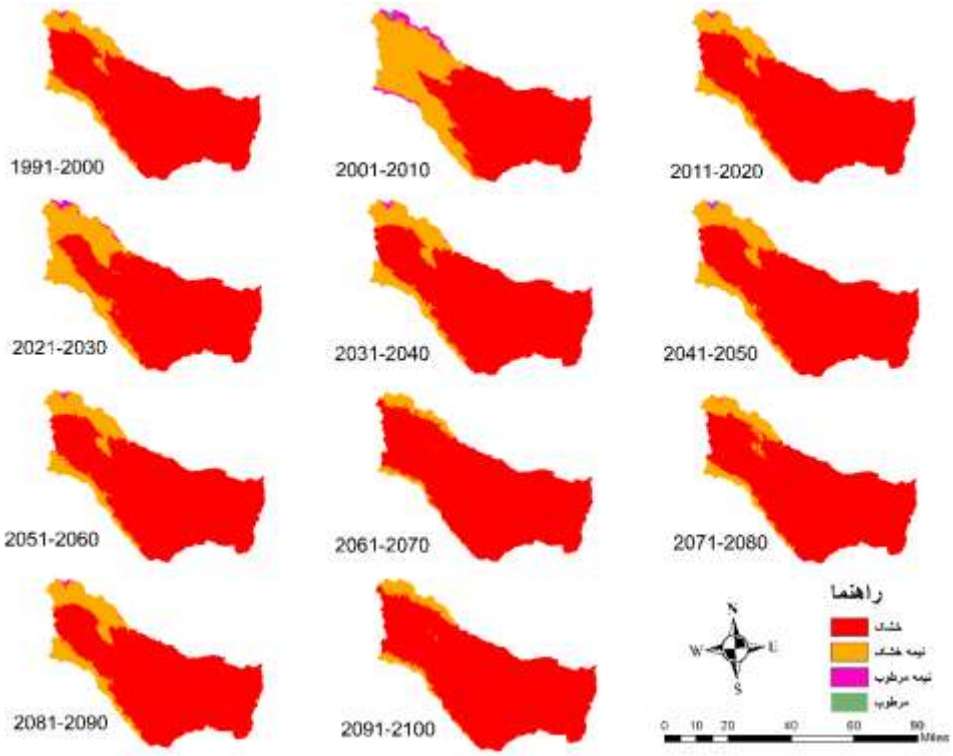


شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکی دومارتن از سال ۱۹۹۱ تا ۲۱۰۰ (RCP4.5)

Figure 4- Zoning map of De-Martonne's aridity index from 1991 to 2100 (RCP4.5)

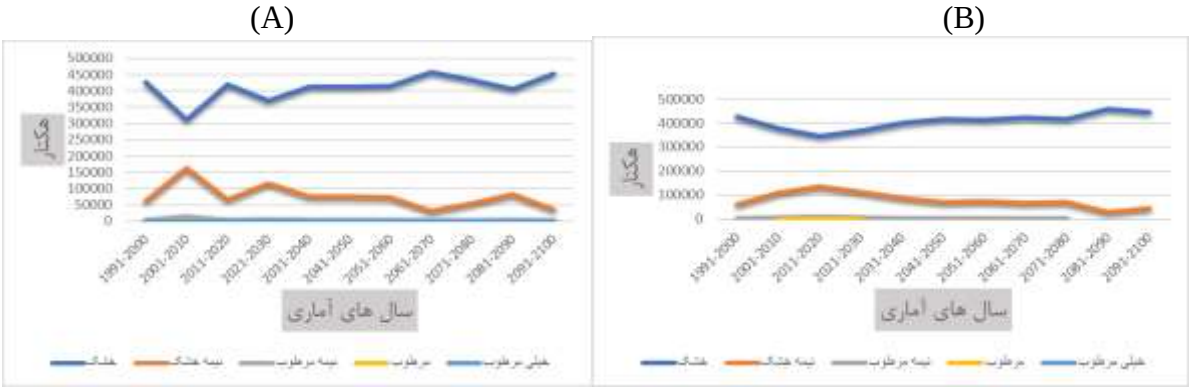
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی شاخص خشکی دومارتن از سال ۱۹۹۱ تا ۲۱۰۰ (RCP8.5)

Figure 5- Zoning map of De-Martonne's aridity index from 1991 to 2100 (RCP8.5)



شکل ٦- مقایسه نمودار مساحت‌های هر کدام از کلاس‌های شاخص خشکی دومارتن A (RCP4.5) و B (RCP8.5)

Figure 6- Comparison of the graph of the areas of each of the classes of De-Martonne's aridity index (RCP4.5) and (RCP8.5)

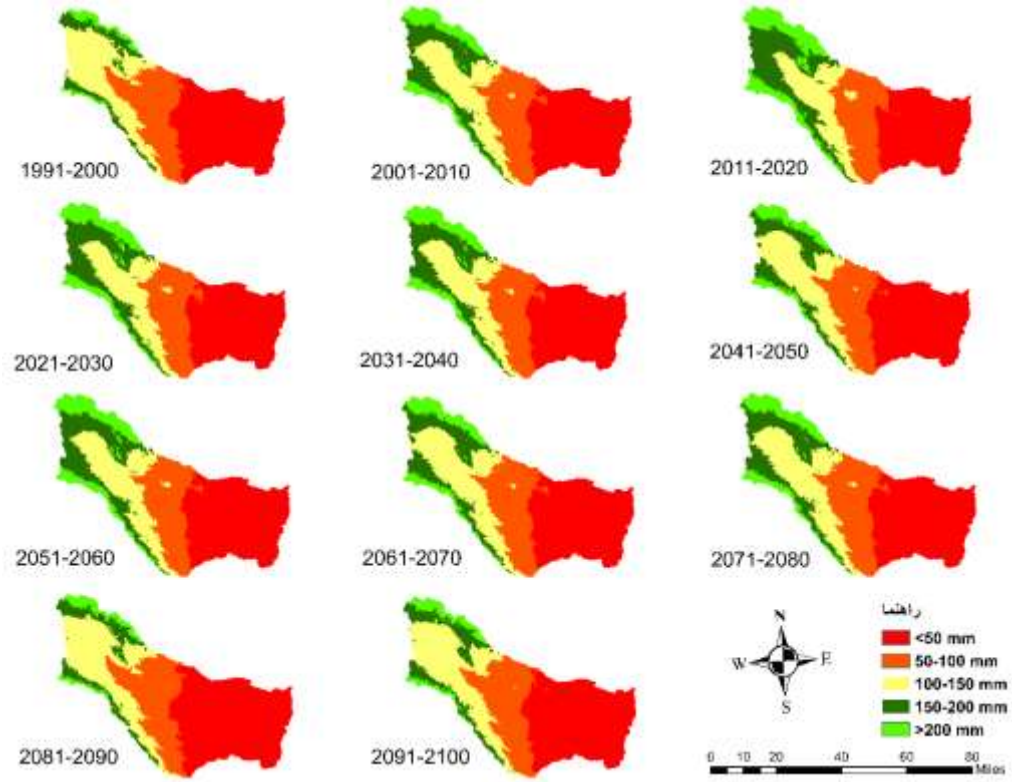
به‌طور کلی شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که بیش‌تر مناطق خشک تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در قسمت شرقی حوضه مورد مطالعه قرار دارند و در سال‌های بعد درجه‌ی خشکی بخش‌هایی از قسمت غربی نیز افزایش پیدا می‌کند. کلاس نیمه خشک و نیمه مرطوب نیز در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 روند رو به کاهشی دارد.

آب قابل دسترس

پس از کسر تبخیر و تعرق واقعی از میزان بارش پیش‌بینی شده مقدار آب قابل دسترس برآورد شد. سپس میانگین آب قابل دسترس برای دوره‌های ده ساله در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ محاسبه و در پنج کلاس کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر، بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر، بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلی‌متر، بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر و بیش‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر طبقه‌بندی شد. شکل‌های ۷ و ۸ پهنه‌بندی آب قابل دسترس برای سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و شکل ۹ روند تغییرات آب قابل دسترس در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ را نشان می‌دهند.

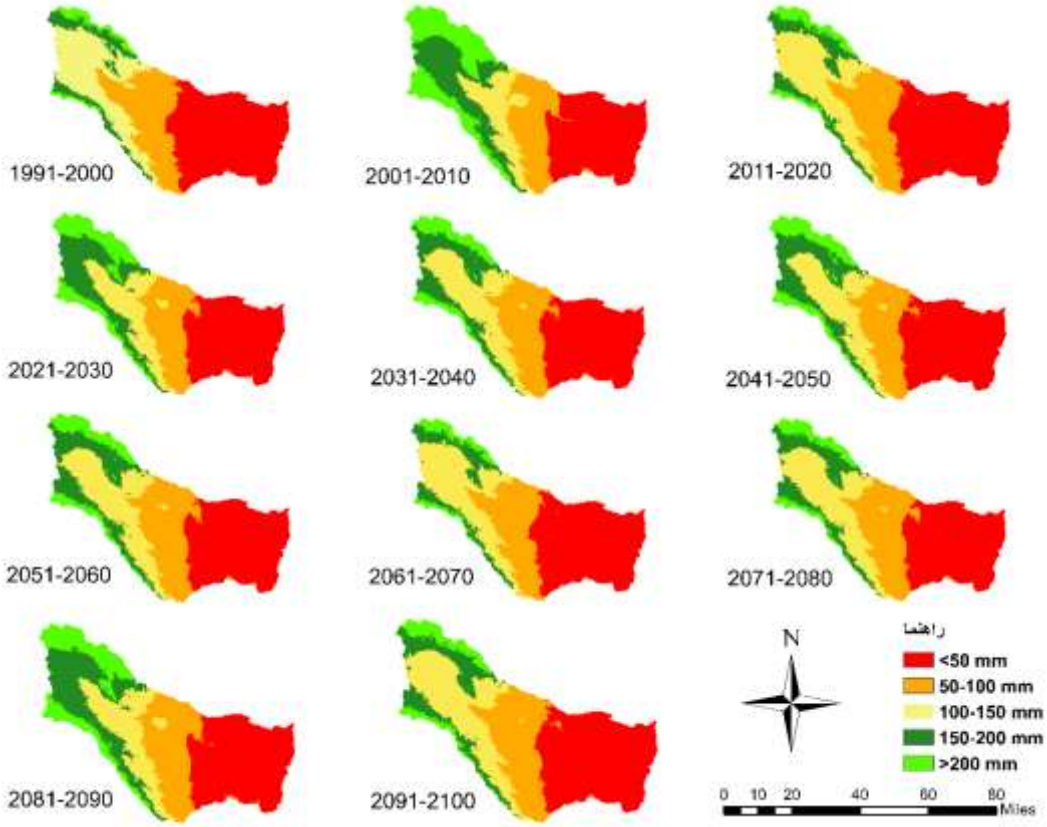
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]



شکل ۷- نقشه پهنه‌بندی شاخص آب قابل دسترس از سال ۱۹۹۱ تا ۲۱۰۰ (RCP4.5)

Figure 7- Zoning map of available water index from 1991 to 2100 (RCP4.5)

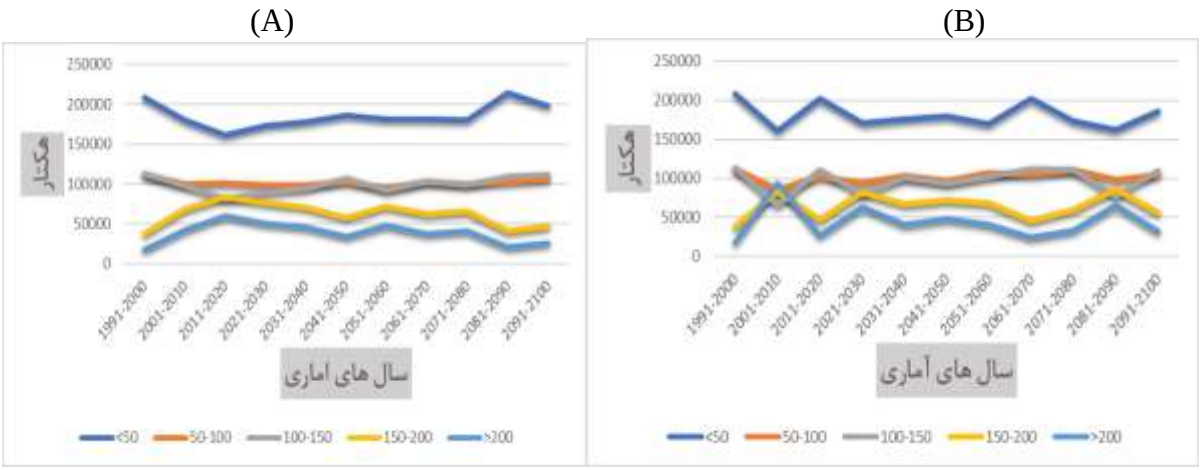


شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی شاخص آب قابل دسترس از سال ۱۹۹۱ تا ۲۱۰۰ (RCP8.5)

Figure 8- Zoning map of available water index from 1991 to 2100 (RCP8.5)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]



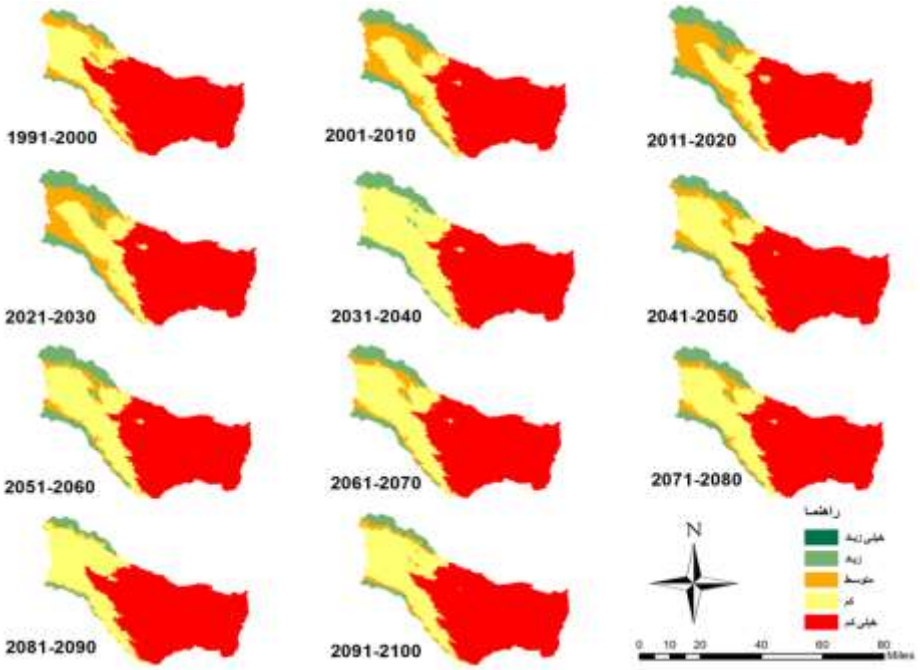
شکل ۹- مقایسه نمودار مساحت‌های هر کدام از کلاس‌های شاخص آب قابل دسترس، A (RCP4.5) و B (RCP8.5)

Figure 9- Comparison of the graph of the areas of each available water index of the classes of (RCP4.5) and (RCP8.5)

نقشه پهنه‌بندی شاخص آب قابل دسترس در شکل ۷ و ۸ نشان می‌دهد مناطق با آب قابل دسترس بیش‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در قسمت غربی منطقه قرار دارند و در بخش شرقی محدوده‌هایی با آب قابل دسترس کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر به چشم می‌خورد. به‌طور کلی آب قابل دسترس در هیچ کدام از سناریو ها روند خاصی را طی نمی‌کند و در تمام بازه مورد بررسی تقریبا حالت یکسانی دارد. البته در سناریو RCP4.5 مساحت آب قابل دسترس از سال ۲۰۲۰ به بعد برای مناطقی با مقدار بیش از ۱۵۰ میلی‌متر اندکی کاهشی و برای مقادیر کم‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر اندکی افزایشی خواهد بود.

نتایج ماتریس استنتاجی نیستور

با تلفیق نقشه‌های شاخص خشکی دومارتن و آب قابل دسترس، بر اساس ماتریس استنتاجی نیستور پتانسیل تغذیه سفره‌های زیرزمینی در پنج کلاس برای منطقه مورد مطالعه حاصل شد. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ پهنه‌بندی پتانسیل تغذیه را برای منطقه مورد مطالعه در دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد. هم‌چنین شکل ۱۲ نمودار تغییرات پتانسیل تغذیه را در بازه ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ ارائه می‌دهد.

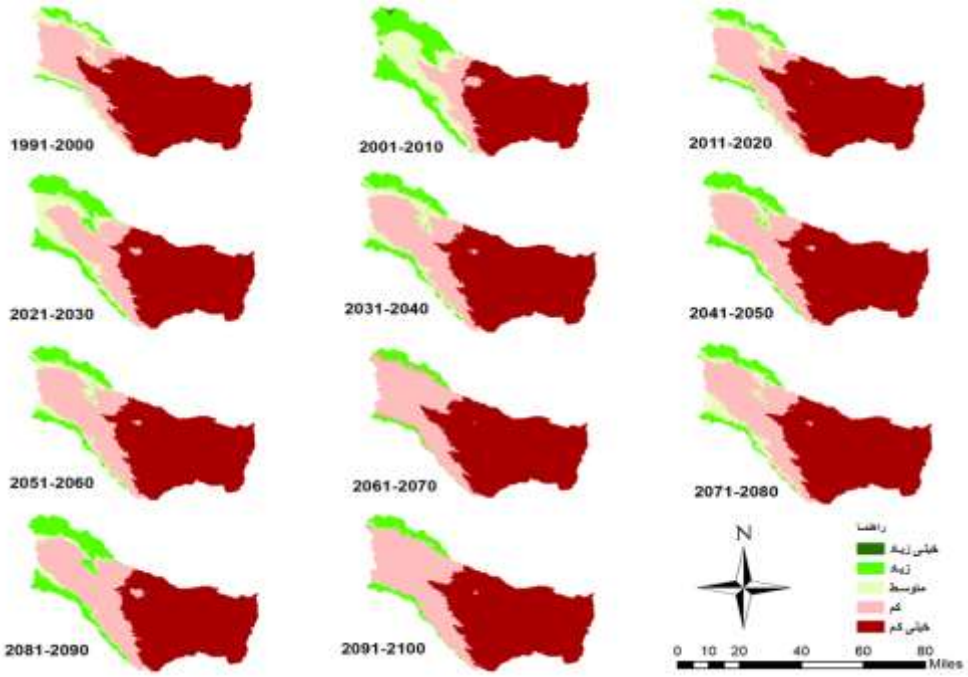


شکل ۱۰- نقشه پهنه‌بندی شاخص نیستور از سال ۱۹۹۱ تا ۲۱۰۰ (RCP4.5)

Figure 10- Zoning map of Nistor index from 1991 to 2100 (RCP4.5)

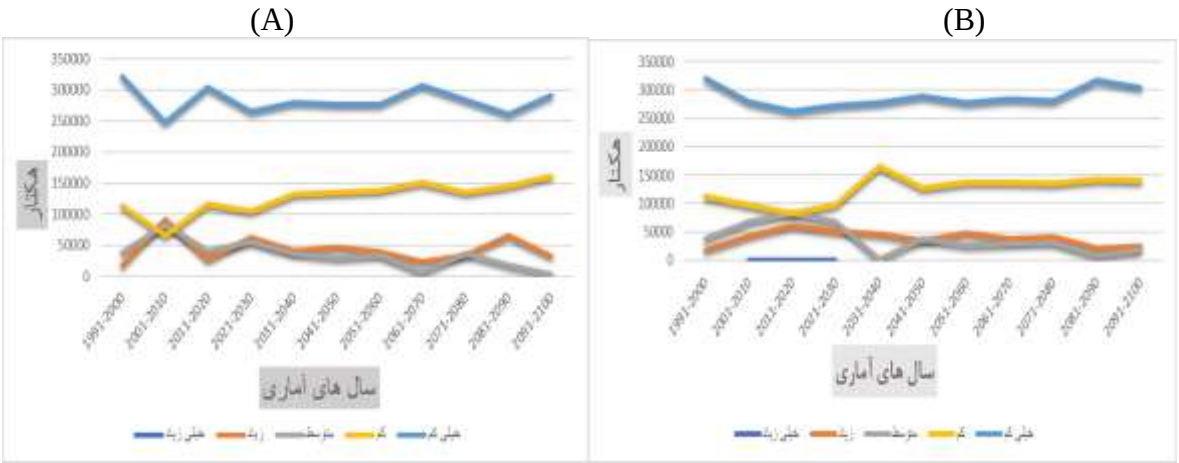
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی شاخص نیستور از سال ۱۹۹۱ تا ۲۱۰۰ (RCP8.5)

Figure 11- Zoning map of Nistor index from 1991 to 2100 (RCP8.5)



شکل ۱۲- مقایسه نمودار مساحت‌های هر کدام از کلاس‌های شاخص نیستور A (RCP4.5) و B (RCP8.5)

Figure 12- Comparison of the graph of the areas of each of the Nistor index classes (RCP4.5) and (RCP8.5)

با توجه به شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مناطق با اثر زیاد در قسمت‌های شمال و جنوب غربی قرار دارند و در بخش شرقی حوضه مناطق با اثر خیلی کم به وضوح قابل مشاهده است. شکل ۱۲ مناطق با اثر خیلی کم را بدون روند خاصی نشان می‌دهد که این موضوع بیان‌گر تغذیه ضعیف این بخش‌ها است به‌عبارت دیگر این بخش از منطقه مورد مطالعه در بدترین حالت ممکن از نظر پتانسیل تغذیه سفره‌های زیرزمینی قرار دارد و تغییر اقلیم در آینده نیز تأثیری در این موضوع نداشته است. این حالت در هر دو سناریو مشاهده می‌شود. شکل ۱۲ نشانگر روند افزایشی برای بخش‌هایی با تأثیر کم است. هم‌چنین بخش‌هایی با اثر متوسط و زیاد نیز روند کاهشی از خود نشان می‌دهند. این شرایط در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 وجود دارد. عزیزی و همکاران (۱۳۹۹)، هم‌چون تحقیق حاضر در مطالعه‌ای از روش نیستور و مدل‌های گروه CMIP5 تحت سناریوهای انتشار RCP جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که در هر سه سناریو مورد بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین در سه دهه آینده قابل توجه بوده و روند کاهشی دارد که این نتیجه با نتایج حاصل از تحقیق حاضر در مناطق دشتی تطابق دارد. Nistor & Minderesko (2019) در طی تحقیقی به‌منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی منطقه امیلیا رومانیا، از ابزار ماتریس استنتاجی برای ترکیب شاخص خشکی دومارتن و

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

پارامتر بارش موثر در مقیاس مکانی استفاده کردند. نتایج بیان‌گر کاهش پتانسیل تغذیه در برخی از بخش‌های منطقه مورد مطالعه بود که از این نظر با تحقیق حاضر تطابق دارد.

بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی از طریق ماتریس استنتاجی نیستور طی مطالعات متعددی در بخش‌های وسیعی از اروپا و بخش‌هایی از هندوستان انجام شده‌است (Nistor et al., 2020; Nistor et al., 2016 ;Nistor, 2019a ;Haidu and Nistor, 2020; Nistor, 2019b). نتایج حاصل از این مطالعات بیان‌گر افزایش محدوده‌های خشک تر، روند افزایشی دما و در بیش‌تر مناطق کاهش بارندگی است که در مجموع منجر به کاهش آب قابل دسترس می‌شود. این نتایج در بخش شاخص خشکی، دما و آب قابل دسترس با تحقیق حاضر تطابق داشته و در بخش بارندگی هم‌خوانی ندارد. علاوه‌بر این نتایج این تحقیقات بیان‌گر تاثیر حداکثری تغییر اقلیم بر مناطق دشتی و تاثیر حداقلی در نواحی کوهستانی است که این موضوع نیز با تحقیق حاضر هم‌خوانی کامل دارد. زیرا در منطقه مورد مطالعه مناطق کوهستانی غرب حوضه تاثیر اندکی از تغییر اقلیم دریافت نمودند و بیش‌تر تغییرات در پتانسیل تغذیه مربوط به دشت‌سرهای منتهی به ارتفاعات غربی منطقه مورد مطالعه بودند. با توجه به نتایج تحقیق حاضر و موارد مشابه ارائه شده پیشنهاد می‌شود مطالعات بعدی بیش‌تر بر نواحی دشت‌های پایه کوهی (دشت‌سرهای لخت و اپانداژ) متمرکز شده و از آن‌جایی که خشکه‌رودهای موجود در این نواحی عرصه‌های بسیار مناسبی جهت تغذیه سفره‌های زیرزمینی هستند. علاوه‌بر آب قابل دسترس تغییرات جریان در این خشکه رودها نیز به‌عنوان یک عامل تاثیر گذار مورد بررسی قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های اقلیمی یکی از مدل‌های CPMI5-AR5 دو شاخص خشکی دومارتن و آب قابل دسترس در بازه‌های زمانی ۱۰ ساله برآورد و با کمک روش نیستور (NISTOR) اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در مقیاس مکانی–زمانی بررسی شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که به‌طور کلی در همه‌ی بخش‌های حوضه داده‌های دما، دارای روند افزایشی و معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد تحت هردو سناریو بوده‌اند. هم‌چنین داده‌های بارش روند نامنظم و سینوسی دارند که این روند تحت هر دو سناریو معنی‌دار نبود. نتایج حاصل از برآورد شاخص آب قابل دسترس نشان داد که مقادیر بیش‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر این شاخص، در هر دو سناریو در قسمت غربی منطقه قرار دارند و در بخش شرقی حوضه مقادیر آب قابل دسترس کم‌تر از ۵۰ میلی‌متر مشاهده می‌شود. نتایج ارزیابی شاخص خشکی دومارتن نیز نشان داد، بیش‌تر مناطق خشک تحت هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در قسمت شرقی حوضه مورد مطالعه قرار دارند و در ادامه نیز، کلاس نیمه خشک و نیمه مرطوب در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 روند رو به کاهشی دارند. نتایج بررسی نهایی ماتریس استنتاجی نیستور نشان داد که مناطق با اثر زیاد در قسمت‌های شمال و جنوب غربی قرار دارند و در بخش شرقی حوضه مناطق با اثر خیلی کم قابل رویت است. مناطق با اثر خیلی کم بدون روند خاصی هستند و علت آن حداقل پتانسیل تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی در این مناطق است و تغییر اقلیم در آینده نیز تأثیری در این موضوع نداشته است. این حالت در هر دو سناریو مشاهده می‌شود. برای بخش‌هایی با تأثیر کم نیز روندی افزایشی مشاهده شد که تغییر مکانی آن به سوی غرب است. قسمت‌هایی با اثر متوسط و زیاد روند کاهشی از خود نشان دادند. این شرایط در هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 وجود دارد اما با تفاوت ناچیزی می‌توان گفت که شدت این تأثیرات منفی در RCP8.5 بیش‌تر است. به‌طور کلی تغییر در پارامترهای اقلیمی تا سال ۲۱۰۰ موجب کاهش پتانسیل تغذیه سفره‌های زیرزمینی در حدود ۵۵ تا ۶۰ درصد از منطقه مورد مطالعه حداقل به میزان یک طبقه خواهد شد. در حدود ۴۵ درصد از منطقه مورد مطالعه که در بخش شرقی قرار دارند در شرایط حاضر دارای حداقل پتانسیل تغذیه سفره هستند که این موضوع بیان‌گر شرایط بحرانی منطقه در این خصوص است.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: همه‌ی اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

حمایت مالی: این پژوهش مستخرج از رساله کارشناسی‌ارشد در دانشگاه فردوسی مشهد به انجام رسیده است.

مشارکت نویسندگان: این پژوهش توسط گوهر علیزاده مقدم به‌صورت طرح اولیه تهیه و سپس توسط علی گلکاریان و یعقوب نیازی اصلاح و تکمیل شد.

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

سپاس‌گزاری: از شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی به‌دلیل همکاری صمیمانه در ارائه آمار و اطلاعات تشکر و قدردانی می‌شود.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

منابع

۱. اشتیاقی جو، احمد، ملکی‌نژاد، حسین، اختصاصی، محمدرضا و چزگی، جواد (۱۳۹۷). امکان‌سنجی تغذیه مصنوعی در دشت تایباد با استفاده از رویکرد تلفیقی منطق بولین و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. *خشک‌بوم*، ۸(۲)، ۱-۱۳. **doi: 10.29252/aridbiom.2019.1400**

۲. انصاری مهابادی، ثمین، دهبان، حسین، زارعیان، محمد جواد و فرخ‌نیا، اشکان (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات دما و بارش حوزه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده براساس برون‌داد مدل‌های CMIP6. *پژوهش آب ایران*، ۱۶(۱)، ۱۱-۲۴. **doi: 10.22034/iwrj.2022.11204**

۳. حجام، سهراب، خوشخو، یونس و شمس الدین وندی، رضا (۱۳۸۶). تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوضه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. ۰(۶۳). **https://jphgr.ut.ac.ir/article_26912.html**

۴. رحیمی، ناهید. (۱۳۹۱). آب‌های زیرزمینی. *رشد آموزش علوم زمین*، ۱۸(۶۸)، ۲۴-۳۲. **https://www.noormags.ir /view/fa/magazine/number/63630**

۵. عزیزی، حمید رضا، ابراهیمی، حسین، محمد ولی سامانی، حسین و خاکی، ویدا. (۱۳۹۹). اثر خشکسالی هواشناسی بر منابع آب زیرزمینی دشت ورامین با استفاده از شاخص‌های بارش استاندارد، نیستور و منبع آب زیرزمینی. *آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۴(۶)، ۲۱۳۵-۲۱۲۵. **dor: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.7.8**

۶. علیزاده، امین. (۱۳۸۸)، اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا.

۷. قاسمی، محبوبه، ناصری، عبدعلی، سلطانی، امیر و معاضد، هادی. (۱۳۹۸). بررسی روند تغییرات اقلیمی آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی با استفاده از آزمون ناپارامتری من‌کندال (مطالعه موردی: جنوب اهواز). *نیوار*، ۴۳(۱۰۷)، ۸۸-۷۹. **doi: 10.30467/nivar.2019.196158.1135**

۸. نوده فراهانی، راسخی، آنا، پرماس، بهنام، کشوری، و عبدالرحمن. (۲۰۱۸). بررسی اثرات تغییراقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های دوره آتی حوضه شادگان. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱۴(۳)، ۱۲۵-۱۳۹. **https://www.iwrr.ir/article_59829.html?lang=fa**

References

1. Al-Araji, K. H. Y. (2019). Evaluation of physical chemical and biological characteristics of underground wells in Badra City, Iraq. *Baghdad Science Journal*, 16(3), pp.0560-0560. doi.org/10.21123/bsj.2019.16.3.0560
2. Alizadeh, A. (2009), Principles of applied hydrology, Mashhad: Imam Reza University Press. [In Persian].
3. Ansari, S,. Dehban, H,. Zareian, M, & Farokhnia, A. (2022). Investigation of temperature and precipitation changes in the Iran's basins in the next 20 years based on the output of CMIP6 model. *Iranian Water Research Journal*, (1)16 11-24. doi: 10.22034/iwrj.2022.11204 [In Persian]
4. Azizi, H.R., Ebrahimi, H., Mohamad vali Samani, H., & Khaki, V. (2021). Effect of meteorological drought on Groundwater resources of Varamin Plain using SPI, NISTOR and GRI index. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(6) 2125-2135. dor: 20.1001.1.20087942.2021.14.6.7.8 [In Persian]
5. Baltas, E., (2007). Spatial distribution of climatic indices in northern Greece. *Meteorological Application*, 14:69-78. doi:10.1002/met.7
6. Bastiaanssen, W. G. M., Menenti, M., Feddes, R. A., & Holtslang, A. A. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, 212-213: 198-212. doi.org/10.1016/S0022-1694(98)00253-4
7. Deniz, A., Toros, H., & Incecik, S. (2011). Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of Climatology*, 31(3), 394-403. doi.org/10.1002/joc.2081
8. Eshtiaghijoo, A., Malekinezhad, H., Ekhtesasi, M. R., & Chezgi, J. (2019). Feasibility of artificial recharge in Taibad plain using Analytic Network Process (ANP). *Journal of Arid Biome*, 8(2), 12-1. doi: 10.29252/aridbiom.2019.1400 [In Persian]
9. Ghasemi, M,. Naseri, A,. Soltani, A., & Moazed, H. (2019). Investigating the Trend of future climate change under the representative concentration pathway scenarios using non-parametric Man-Kendall test (Case study: South of Ahvaz). *Nivar*, 43(107), 79-88. doi: 10.30467/nivar.2019.196158.1135 [In Persian]
10. Haidu, I., & Nistor, M.M. (2020). Long-term effect of climate change on groundwater recharge in the Grand Est region of France. *Meteorological Applications*, 27(1), e1796. doi.org/10.1002/met.1796
11. Hashmi, M. Z, Shamseldin, A. Y., & Melville, B.W. (2011). Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25, 475-484. doi.org/10.1007/s00477-010-0416-x
12. Hejam, S., Khoshkho, Y., & Shamsuddin Vandi, R. (2008). Annual and seasonal precipitation trend analysis of some selective meteorological stations in Central Region of Iran using non-parametric methods. *Physical Geography Research*, 63. https://jphgr.ut.ac.ir/article_26912.html [In Persian]
13. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006-04-28.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]

14. Jyrkama, M. I., & Sykes, J. F (2007). The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the grand river watershed (Ontario). *Journal of Hydrology*, 338, 237-250. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.02.036
15. Klaas, D. K. S. Y., Imteaz, M. A., Sudiayem, I., Klaas, E. M. E., & Klaas, E. C. M. (2020). Assessing climate changes impacts on tropical karst catchment: Implications on groundwater resource sustainability and management strategies. *Journal of Hydrology* 582:124426. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124426
16. Laipelt, L., Kayser, R. H., Fleischmann, A. S., Ruhoff, A., Bastiaanssen, W., Erickson,T. A., & Melton, F. (2021). Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 1(178) 81-96. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.05.018
17. Nistor, M. M., & Mîndrescu, M. (2019). Climate change effect on groundwater resources in Emilia-Romagna region: An improved assessment through NISTOR-CEGW method. *Quaternary International*. 2019 Feb 10;504:214-28. doi.org/10.1016/j.quaint.2017.11.018
18. Nistor, M. M., Dezsi, Ş., Cheval, S., & Baciu, M. (2016). Climate change effects on groundwater resources: a new assessment method through climate indices and effective precipitation in Beliş district, Western Carpathians. Meteorological applications, 23(3), 554-561. doi.org/10.1002/met.1578
19. Nistor, M. M. (2020). Groundwater vulnerability in the piedmont region under climate change. *Atmosphere*, 11(8), 779. doi:10.3390/atmos11080779
20. Nistor, M. M., Rai, P. K., Dugesar, V., Mishra, V. N., Singh, P., Arora, A., & Carebia, I. A. (2020). Climate change effect on water resources in Varanasi district, India. *Meteorological Applications*, *27*(1), e1863. doi:10.1002/(ISSN)1469-8080
21. Nistor, M. M., Dezsi, Ş., Cheval, S., & Baciu, M. (2016). Climate change effects on groundwater resources: a new assessment method through climate indices and effective precipitation in Beliş district, Western Carpathians. *Meteorological Applications*, *23*(3), 554-561. doi.org/10.1002/met.1578
22. Nistor, M. M. (2019a). Climate change effect on groundwater resources in South East Europe during 21st century. *Quaternary International* 504 171-180. doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.019
23. Nistor, M. M. (2019b). Vulnerability of groundwater resources under climate change in the Pannonian basin. *Geo-spatial Information Science*. 22(4) 345-358. doi.org/10.1080/10095020.2019.1613776
24. Node Farahani, M. A., Rasekhi, A., Parmas, B., & Keshvari, A. (2018). The effects of climate change on temperature, precipitation and drought in the the future Shadegan basin. *Iran-Water Resources Research*, 14(3), 125-139. [In Persian]
25. O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J. F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6, *Geoscientific Model Development*, 9, 3461-3482. doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016
26. Pereira, B. H. F., Dereczynski, C., da Silva Junior, G. C., & Marques, E. A. G. (2022). Projected climate change impacts on groundwater recharge in the Urucuia aquifer system, Brazil. *International Journal of Climatology*, 42(16), 8822-8838. doi.org/10.1002/joc.7773
27. Rahimi, N. (2011). Underground water. *Development of Earth Science Education*. 18(68). 24-32. https://www.noormags.ir/view/fa/magazine/number/63630 [In Persian]
28. Shakiba, A. R., & Cheshmi, A. (2013). Evaluation of the effect of climate change on groundwater resources of Ramhormoz plain using NARX neural network. *Journal of Researches in Earth Sciences*, *2*(5), 46-57. Dor:20.1001.1.20088299.1390.2.4.4.6
29. Stouffer, R. J., Eyring, V., Meehl, G. A., Bony, S., Senior, C., Stevens, B., & Taylor, K. E. (2017). CMIP5 scientific gaps and recommendations for CMIP6. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 95-105. doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00013.1
30. Zambakas, J. (1992). General Climatology. Department of Geology. National and Kapodistrian University of Athens, Athens.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-22]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1403.12.2.2.7]