Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 16, Issue 2, 2025 p: 79- 96

OPEN ACCESS

Research Paper

Assessment of the Impact of Climate Change and Optimization of Cropping Patterns on the Sustainability of Water Resources in the Ravansar-Sanjabi Plain, Kermanshah Province

Milad Soltani[1], Karim Solaimani[2], Khalil Jalili[3], Sayed Javad Sadatinejad[4], and Fateme Shokrian[5]

1- Ph.D., Watershed Management and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: Solaimani2001@yahoo.co.uk)
3- Assistant Professor, Department of Environmental Resources Management, ACECR, Kermanshah Province, Iran
4- Associate Professor, Faculty of New Sciences and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran
5- Associate Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received:06 February, 2025 Revised:06 April, 2025 Accepted: 15 May, 2025

Extended Abstract

Background: Groundwater resources play an important role in the development of agriculture, industry, and health. Due to the easy access to these resources, overexploitation lowers the water table and depletes groundwater reserves. On the other hand, water has a significant impact on agricultural stability and production. The impact of climate change on the optimal management of water and soil resources is a challenging issue in many arid regions of the world. Therefore, this study aims to evaluate the effects of climate change on the Ravansar-Sanjabi Plain aquifer and to optimally allocate land to crops in the cropping pattern to achieve the highest profit in line with the optimal management of water resources and soil conservation.

Method: The Ravansar-Sanjabi study area in western Iran is an open aquifer with a thickness of about 70 meters, and the water table varies between 1317 and 1352 m from the open water table from the southwestern to the eastern parts. The main surface flow of this plain is the Qarasu River. The optimization problem was modeled, analyzed, and solved using the simplex linear programming model and Lingo software (V.11) for three management scenarios and three climate scenarios. The WEAP software was used to simulate the resources and uses (drinking, agricultural, and environmental) in the statistical period 2006-2019. To study the hydrological effects of climate change on surface water resources, the IHACRES precipitation-runoff model (V2.1) was used to simulate the future runoff of the Qarasu River in the Ravansar-Sanjabi area. To study the effect of climate change on groundwater resources, the results of the LARS-WG exponential downscaling model were used under RCP 2.6, RCP 4.5, and RCP 8.5 scenarios for the future period of 2021-2040. The LARS-WG model was implemented using daily statistics from the years 1986-2005 of the station in question.

Results: The results of the linear programming section showed that, except for onion, rainfed chickpea, orchard, vegetables, and alfalfa, the rest of the crops were removed from the cropping pattern of the region in all management and climate scenarios. The most observed change was the substitution of rainfed chickpea for rainfed wheat and onion for irrigated wheat. Moreover, changing the cropping pattern in the Ravansar-Sanjabi Plain, while observing all the constraints in the region, increases the production profit ($\bar{x}$=3.54) in all the scenarios compared to the current situation. The results of the simulation of the study area by WEAP software showed that the drinking water demand was fully met during the statistical period 2006-2019, and the agricultural demand of the area faced a shortage of supply in most of the statistical period years, which was due to a decrease in the surface water resources of the Qara Su River. The results of the effect of climate change on the groundwater level showed that it decreased by about 20 to 60 cm in all months. The results of the monthly average minimum temperature in the base period (1986-2005) and the future period (2021-2040) showed an increase in the minimum temperature in the future period compared to the base period in the HadGEM2-ES, CanESM2, and CSIRO-MK3-6-0 climate prediction models under all three emission scenarios. The monthly average maximum temperature in all months also showed an increasing trend, which is expected to have

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

Copyright ©2025. Soltani et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

a greater increase than the minimum temperature in the future period (2021-2040) than in the base period. The results of the precipitation assessment showed that the RCP8.5 emission scenario had the highest precipitation reduction and the RCP2.6 emission scenario had the lowest precipitation reduction in all three selected climate models.

Conclusion: According to the results obtained from the climate scenarios defined in the study, it can be concluded that policymakers and managers should use the present study as a reference for the development, exploitation, and optimal management of water and soil resources in line with comprehensive watershed management. Finally, to improve the groundwater situation and maximize agricultural profits, the results showed that several scenarios were developed to reduce and stabilize aquifer extraction. The results of the groundwater simulation show that if the trend continues, it will cause serious crises. The results of the integrated model also show that if the current situation continues, 15 to 25% of agricultural needs will not be met in some months, which, taking into account the effect of climate change, will increase this shortage by about 1 to 3% in the long term. The results of the optimization model section indicate that, except for onion, rainfed chickpea, garden, vegetables, and alfalfa, the rest of the crops should be removed from the cropping pattern of the region in all management and climate scenarios. However, if the optimization model is implemented and aquifer extraction is reduced from 20% to 50%, farmers can make more profit than in the current situation. Therefore, to maintain the status of groundwater resources and the environment of the region, and to pay attention to the farmers' profit, regional managers should always take serious measures to limit the use of groundwater resources and modify the cropping pattern and cropping area based on the results of this research.

Keywords: Climate change, Linear programming, Optimization, Ravansar-Sanjabi plain, WEAP model

How to Cite This Article: Soltani, M., Solaimani, K., Jalili, Kh., Sadatinejad, S. J., & Shokrian, F. (2025). Assessment of the Impact of Climate Change and Optimization of Cropping Patterns on the Sustainability of Water Resources in the Ravansar -Sanjabi Plain, Kermanshah Province. *J Watershed Manage Res,* 16(2), 79-96. DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و بهینه‌سازی الگوی کشت بر پایداری منابع آب دشت روانسرسنجابی استان کرمانشاه

میلاد سلطانی[۱]، کریم سلیمانی [۲]، خلیل جلیلی[۳]، سید جواد ساداتی‌نژاد[۴] و فاطمه شکریان[۵]

۱- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استاد، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: Solaimani2001@yahoo.co.uk)
۳- استادیار، گروه مدیریت منابع محیطی پژوهشکده توسعه کالبدی، جهاد دانشگاهی کرمانشاه، کرمانشاه، ایران
۴- دانشیار، گروه انرژی‌های نو و تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۵- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۸ تاریخ ویرایش:۱۴۰۴/۰۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۵
صفحه: ۷۹ تا ۹۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: منابع آب زیرزمینی نقش عمده‌ای در توسعه کشاورزی، صنعتی و بهداشتی دارند. بهره‌برداری بیش از حد، به‌دلیل سهولت دست‌یابی به این منابع، باعث پایین آمدن سطح ایستابی در سفره آب و نابودی ذخایر زیرزمینی می‌گردد. از طرفی، آب اثرات معنی‌داری بر روی ثبات کشاورزی و تولید دارد. اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت بهینه منابع آب و خاک به‌عنوان موضوعی چالش‌برانگیز در بسیاری از مناطق خشک دنیا مطرح است. از این‌رو، هدف از این پژوهش، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر آبخوان دشت روانسر سنجابی و تخصیص بهینه اراضی به محصولات موجود در الگوی کشت برای دست‌یابی به بیشترین سود در راستای مدیریت بهینه منابع آب و حفاظت از خاک است.

مواد و روش‌ها: محدوده مطالعاتی روانسرسنجابی در غرب ایران یک آبخوان آزاد است که دارای ضخامت متوسط ۷۰ متر و همچنین، تراز سطح آب زیرزمینی در محدوده‌ای بین ۱۳۱۷ تا ۱۳۵۲ متر از سطح آب‌های آزاد قرار دارد که این تغییرات به‌ترتیب از نواحی جنوب‌غربی به سمت مناطق شرقی مشاهده می‌شوند. جریان سطحی اصلی این دشت رودخانه قره‌سو است. مسئله بهینه‌سازی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی سیمپلکس و به کمک نرم‌افزار Lingo (V.11)، برای سه سناریوی مدیریتی و سه سناریوی اقلیمی مدل‌سازی، تحلیل و آنالیز گردید. به کمک نرم‌افزار WEAP شبیه‌سازی منابع و مصارف (شرب، کشاورزی و محیط زیست) موجود در دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۱۹) مورد بررسی قرار گرفت. به جهت بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییراقلیم بر منابع آب سطحی، از مدل بارش‌رواناب IHACRES (V2.1) برای شبیه‌سازی رواناب دوره آتی رودخانه قره‌سو در محدوده روانسرسنجابی استفاده شد. در ادامه، به‌منظور بررسی اثر تغییر اقلیم روی منابع آب زیرزمینی، خروجی‌های مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG تحت سناریوهای RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 برای بازه زمانی آتی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ مورد استفاده قرارگرفتند. مدل LARS-WG با استفاده از آمار روزانه سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۰۵ ایستگاه موردنظر اجرا گردید.

یافته‌ها: نتایج بخش برنامه‌ریزی خطی نشان دادند که در کلیه سناریوهای مدیریتی و اقلیمی، به جز محصولات پیاز، نخود دیم، باغ، سبزیجات و یونجه، بقیه محصولات از الگوی کشت منطقه حذف گردیدند. بیشترین تغییر مشاهده‌شده در جایگزینی نخود دیم به‌جای گندم دیم و پیاز به‌جای گندم آبی است. هم‌چنین، تغییر الگوی کشت زراعی در دشت روانسرسنجابی با رعایت کلیه محدودیت‌های موجود در منطقه، در همه سناریوها، سبب افزایش سود تولید (۳/۵۴ = $\bar{x}$) نسبت به وضعیت موجود می‌شود. طبق نتایج شبیه‌سازی محدوده مورد مطالعه توسط نرم‌افزار WEAP، در طول دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۱۹) نیاز شرب به‌صورت کامل تأمین می‌گردد و نیاز کشاورزی محدوده در اغلب سال‌های دوره آماری با کمبود تأمین مواجه است که علت آن کاهش منابع آب سطحی رودخانه قره‌سو است. نتایج اثر تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی نشان دادند که در تمام ماه‌ها حدود ۲۰ الی ۶۰ سانتی‌متر کاهش داشت. بررسی نتایج میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) و دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نشان داد که مقدار دمای حداقل در دوره آتی نسبت به دوره پایه در مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی HadGEM2-ES، CanESM2 و CSIRO-MK3-6-0 تحت هر سه سناریو (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) انتشار افزایش داشته است و هم‌چنین میانگین ماهانه دمای حداکثر در تمامی ماه‌ها روند افزایشی داشته است که انتظار می‌رود دمای حداکثر افزایش بیشتری نسبت به دمای حداقل در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه داشته باشد. مطابق با نتایج ارزیابی بارش، در هر سه مدل اقلیمی منتخب، سناریو انتشار RCP8.5 بیشترین کاهش بارندگی و سناریو انتشار RCP2.6 کمترین کاهش بارندگی را دارند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج حاصل از سناریوهای اقلیمی تعریف‌شده در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که سیاست‌گذاران و مدیران منابع می‌توانند از این تحقیق به‌عنوان منبعی ارزشمند برای توسعه، بهره‌برداری و مدیریت پایدار منابع آب و خاک در چارچوب مدیریت جامع حوضه آبخیز بهره‌برداری نمایند. در نهایت، به‌منظور بهبود وضعیت آب زیرزمینی و افزایش حداکثری سود حاصل از کشاورزی، چندین سناریو با هدف کاهش برداشت از آبخوان و تثبیت منابع آب زیرزمینی تدوین شدند. نتایج شبیه‌سازی آب زیرزمینی توسط مدل MODFLOW برای دو سال از آبان ۸۹ تا آبان ۹۱ نشان می‌دهند که ادامه این روند موجب بحران‌های جدی خواهد شد. نتایج مدل یکپارچه نیز نشان می‌دهند که با ادامه وضع موجود ۱۵ تا ۲۵ درصد از نیازهای کشاورزی در ماه‌های خرداد تا شهریور تامین نخواهند شد که در صورت لحاظ نمودن اثر تغییر اقلیم، این کمبود حدود ۱ تا ۳ درصد در طول بلندمدت بیشتر خواهد شد. نتایج بخش مدل بهینه حاکی از آن بودند که در کلیه سناریوهای مدیریتی و اقلیمی، به‌جز محصولات پیاز، نخود دیم، باغ، سبزیجات و یونجه، بقیه محصولات از الگوی کشت منطقه حذف شوند. نتایج نشان می‌دهند که تغییر الگوی کشت زراعی در دشت روانسرسنجابی با رعایت کلیه محدودیت‌های موجود در منطقه، در همه سناریوها، سبب افزایش سود تولید نسبت به وضعیت موجود می‌شود. در صورت اجرای مدل بهینه‌سازی و کاهش برداشت از آبخوان از ۲۰ درصد تا ۵۰ درصد، کشاورزان می‌توانند به سود بیشتری نسبت به وضع موجود برسند. این نشان می‌دهد که برای دستیابی به کشاورزی پایدار، الگوی کشت منطقه نیازمند تغییرات است.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی، تغییر اقلیم، دشت روانسرسنجابی، مدل WEAP

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

مقدمه

منابع آب زیرزمینی نقش عمده‌ای در توسعه کشاورزی، صنعتی و بهداشتی دارند (Homayunpur *et al*., 2022). در سال‌های اخیر، پیش‌بینی جریان در مدل‌های اقلیمی یکی از مسائل مهم در مدیریت منابع آب ایران است (Chubin *et al*., 2023; Mehraban *et al*., 2024). بهره‌برداری بیش از حد، به‌دلیل سهولت دست‌یابی به این منابع، باعث پایین آمدن سطح ایستابی در سفره آب و نابودی ذخایر زیرزمینی می‌گردد. از طرفی، آب اثرات معنی‌داری بر روی ثبات کشاورزی و تولید دارد. در کشورهای در حال توسعه، ثبات و استمرار رشد کشاورزی از عوامل عمده کمک‌کننده به ثبات اجتماعی و رشد اقتصادی به‌شمار می‌رود (Mohammadi *et al*., 2016). لذا، کیفیت و کمیت آب نقش مهمی در میزان عملکرد محصول و رسیدن به امنیت غذایی و توسعه‌ی پایدار دارد (Sharp, 1998). از راه‌های افزایش راندمان مصرف و مدیریت آب در پایداری کشاورزی و نیاز آبی محصولات زراعی، در نظر گرفتن متغیرهای تأثیرگذار بر مصرف آب شامل نیاز آبی و میزان تبخیر و تعرق است (Abbasi *et al*., 2016; Haddad *et al*., 2025). پایداری کشاورزی به‌دنبال دسترسی به سه هدف کلی اقتصاد کشاورزی سالم، حفظ جامعه روستایی و حفظ محیط زیست است (Jamshidzadeh & Mirbagheri, 2011) که با استفاده بهینه از نهاده‌هایی نظیر آب ممکن می‌شود.

بازدهی مؤثر، تولید بهینه، پایداری آب زیرزمینی و تجدیدپذیری ازجمله مفاهیمی هستند که در مدیریت سیستم‌های آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Gau & Liu, 2002; Sharp, 1998). پیشگویی الگوی رفتاری تغییرات در سیستم‌های منابع آب، تحت تأثیر اعمال سیاست‌های بهره‌برداری می‌تواند بهره‌برداران این منابع را به‌منظور استفاده بهینه و بر اساس اصل توسعه پایدار یاری نماید. بهینه‌سازی مصرف و تخصیص منابع آب موجود از جمله راهکارهای مدیریت پایدار منابع آب هستند زیرا ترکیبی از دو تکنیک قدرتمند تجزیه و تحلیل، شامل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی در تدوین معیارهای طراحی، فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت بهینه اقتصادی پروژه‌ها است (Haddad & Marino, 2011; Jamnani *et al*., 2024). در بین عوامل مختلف در سال‌های اخیر، اثر تغییر اقلیم در کمبود منابع آب به نسبت دیگر عوامل پررنگ‌تر بوده است. بر اساس گزارش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، روند تغییرات اقلیمی اثرات قابل‌توجهی بر سامانه‌های مختلف منابع آب، کشاورزی، شرب و صنعت دارد به‌طوری‌که افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، اثرات این موارد را تشدید و آب و هوا را گرم‌تر خواهد کرد (Haddad *et al*., 2025). مطالعات متعددی در زمینه تأثیرات بالقوه تغییر اقلیم بر منابع آب شامل تأثیر روی کمیت آب، هیدرولوژی و تقاضای آب انجام شده‌اند. افزایش دمای سطح زمین و تغییرات در الگوی بارندگی، پدیده‌های غالب در تغییر اقلیم هستند که این دو تقریباً تمام بخش‌های دیگر چرخه آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنا بر این، می‌توان گفت که علاوه بر برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، تغییرات وسیع اقلیمی نیز بر وضعیت منابع آب در دنیا تأثیر داشته‌اند و به‌طور معمول تکامل تدریجی پتانسیل آب زیرزمینی به‌طور کاملاً نزدیک به نوسانات بارش مرتبط است. همچنین، این موارد مدیریت این منابع را تحت تأثیر قرار می‌دهند که اثر منفی بر سطح آب زیرزمینی دارد (Meddi & Boucefiane, 2013) و هم‌چنین تغییرات اقلیمی در مناطق آسیایی تأثیرات بیشتری دارند (Trenberth, 2001).

تغییرات اقلیمی می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بر فعالیت‌های اجتماعی–اقتصادی و کیفیت زندگی تأثیر بگذارند. مدل‌های اقلیمی نقش کلیدی در ارزیابی تأثیر تغییرات آب و هوایی و توسعه راهبردهای سازگاری و کاهش دارند (Aghajanlou *et al*., 2024; Fathi & Sebet, 2019; Banihabib, & Najafi Marghmaleki, 2018). بنا بر این، به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح بلندمدت و پایدار، تحلیل تأثیرات تغییر اقلیم نیز در چند دهه آینده بسیار حائز اهمیت خواهد بود. بیشتر آبخوان‌های ایران اکنون در وضعیت ممنوعه قرار دارند که دشت روانسرسنجابی یکی از دشت‌های حساس، ممنوعه و حاصل‌خیز در محدوده استان کرمانشاه است. با توجه به موارد مذکور، مدیریت بهینه منابع آب ضمن پایداری منابع آب زیرزمینی در این دشت، مستلزم کاهش تدریجی فشار بر منابع زیرزمینی است. دهقانی و همکاران (Dehghani *et al*., 2022) با استفاده از مدل‌های اقلیمی، اثرات تغییر اقلیم بر تراز آب زیرزمینی خرم‌آباد ایران را برای دوره ۲۰۴۰–۲۰۲۱ ارزیابی کردند. براساس نتایج آن‌ها، تراز آب زیرزمینی آبخوان موردنظر در دوره آتی به‌میزان ۱ تا ۱/۵ متر افت خواهد داشت. کتابچی و همکاران (Ketabachi *et al*., 2019) تغییرات تراز آب زیرزمینی کشور عراق را تحت اثر تغییر اقلیم مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی باعث افت ۱۳/۶ تا ۲۱/۲ درصدی تراز آب زیرزمینی عراق می‌شود. شاران و همکاران (Sharan *et al.,* 2023) در تحقیقی اثر تغییر اقلیم را بر تغییرات آب زیرزمینی در کشورهای جزیره اقیانوس آرام بررسی کردند. تجزیه و تحلیل‌ها نشان دادند که تغییر اقلیم موجب کاهش ۱۹ درصدی بارش و به‌تبع آن باعث کاهش ۳۷ درصدی تغذیه خالص می‌شود. دیانکومبا و همکاران (Diancoumba *et al*., 2023) به پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی منطقه‌ای در کشور مالی تحت اثر تغییر اقلیم پرداختند. بر اساس نتایج آن‌ها، تراز آب زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف از ۰/۶۲ متر تا ۱/۹۳ متر کاهش می‌یابد. زینالی و همکاران (Zeynali *et al*., 2023) در تحقیق خود تغییرات تغذیه آب زیرزمینی شیرامین را بر اثر تغییر اقلیم بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان دادند که با افزایش دما و کاهش بارندگی، میزان تغذیه در محدوده مورد نظر کاهش خواهد یافت.

نجفی و همکاران (Najafi *et al*., 2022) با استفاده از سناریوهای گزارش پنجم اثر تغییر اقلیم را بر تغییرات آب زیرزمینی آبخوان ساحلی ساری نکا ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان دادند که با افزایش دما در بیشتر ماه‌های سال و تغییرات کم در دما، مقدار تراز آب زیرزمینی افزایش

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

خواهد یافت. همایون‌پور و همکاران (Homayunpur *et al*., 2022) در ارزیابی خود از نوسانات آب زیرزمینی دشت برخوار اصفهان در اثر تغییر اقلیم نشان دادند که نسبت به دوره پایه، سطح ایستابی آب منطقه با شیب سالانه نزدیک به نیم‌متر در سال، روند کاهشی داشته است و در دوره ۲۰۸۰–۲۰۹۹ تحت اثر تغییرات اقلیمی، سطح آب زیرزمینی منطقه، بین ۱۵ تا ۱۷ متر نسبت به دوره پایه افت خواهد داشت.

در این پژوهش، به مدیریت تطبیقی و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی در وضعیت کنونی و شرایط تغییر اقلیم پرداخته می‌شود. طبق اعلام کارشناسان شرکت آب منطقه‌ای استان کرمانشاه، دشت روانسرسنجابی یکی از دشت‌های حاصل‌خیز در محدوده استان کرمانشاه است که هم از لحاظ آب‌های سطحی (با توجه به منابع آب سطحی موجود) و هم از لحاظ آب زیرزمینی از غنای خوبی برخوردار است، ولی با توجه به ازدیاد جمعیت، بهره‌برداری غیر اصولی از منابع آب خاک و زیر کشت بودن این اراضی به‌صورت آبی و همچنین استفاده روزافزون از منابع آب زیرزمینی (به‌عنوان منبعی پایدار و قابل اطمینان)، گمان می‌رود که این آبخوان توانایی تأمین این تقاضاهای روزافزون را نداشته باشد (Soltani *et al*., 2023). با توجه به موارد مذکور، مدیریت بهینه منابع آب ضمن پایداری منابع آب زیرزمینی در این دشت، مستلزم کاهش تدریجی فشار بر منابع زیرزمینی است. لذا، این تحقیق در پی مدیریت بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی و اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب دشت روانسرسنجابی است که خود نیازمند بررسی وضعیت کنونی و آینده نیز است. در یک جمع‌بندی کلی، می‌توان گفت که در زمینه تأثیر تغییر اقلیم بر بیلان آب زیرزمینی و اجرای مدل یکپارچه حوزه آبخیز در مدیریت منابع آب دشت روانسرسنجابی تحت شرایط تغییر اقلیم پژوهش خاصی صورت نگرفته است. لذا، بهینه‌سازی استحصال با در نظر گرفتن محدودیت‌های مرتبط با بهره‌برداران و مقایسه شرایط بهینه در وضعیت فعلی و شرایط تغییر اقلیم، امری ضروری است و این پژوهش سعی دارد تا با نگاه دقیق مدیریتی به این مقوله، سناریوهای مختلف را مورد بررسی علمی قرار دهد. نوآوری این پژوهش که آن را از مطالعات پیشین متمایز می‌سازد، تمرکز آن بر شناسایی و تحلیل وضعیت آبخوان به‌منظور ارزیابی تأثیر اجرای سناریوهای مدیریتی تحت شرایط تغییر اقلیم است. این مطالعه با بهره‌گیری از مدل یکپارچه منابع آب (WEAP)، که ابزاری جامع و انعطاف‌پذیر برای تحلیل سیاست‌های منابع آب محسوب می‌شود، به برنامه‌ریزی پایدار منابع آب در آبخوان‌ها با رویکردی یکپارچه می‌پردازد. از مهم‌ترین نوآوری‌های این پژوهش می‌توان به مدل‌سازی بیلان آب در شرایط تغییر اقلیم، بهینه‌سازی بهره‌برداری با در نظر گرفتن محدودیت‌های بهره‌برداران، و مقایسه وضعیت موجود و آتی با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی اشاره کرد. همچنین، منطقه مورد مطالعه (دشت روانسرسنجابی) از جمله پهنه‌های ممنوعه برداشت آب و واقع در ناحیه مرزی استان کرمانشاه است که تاکنون مطالعات جامعی در این زمینه در آن انجام نشده‌اند.

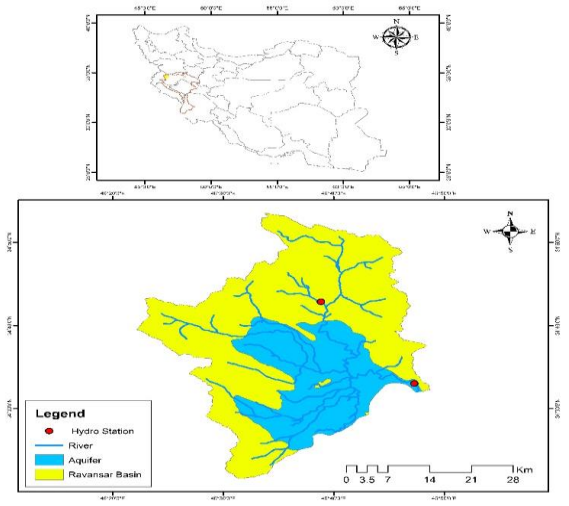
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

محدوده مطالعاتی روانسرسنجابی در غرب ایران و بین طول‌های جغرافیایی "۱۸ ´۲۶ °۴۶ تا "۰۰ ´۵۰ °۴۶ شرقی و عرض جغرافیایی "۰۰ ´۲۵ °۳۴ تا "۵۰ ´۴۸ °۳۴ قرار دارد (شکل ۱). مساحت آبخوان ۳۳۸ کیلومترمربع است که با ۲۳ حلقه چاه مشاهده‌ای که به‌طور مستمر و ماهیانه اندازه‌گیری می‌شود. این محدوده با ارتفاع متوسط ۱۳۲۰ متر از سطح دریا واقع شده است که دارای آب و هوای نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب است. متوسط بارندگی و درجه حرارت سالانه منطقه به‌ترتیب ۵۰۷ میلی‌متر و ۱۴/۹ درجه سانتی‌گراد هستند. آبخوان روانسرسنجابی یک آبخوان آزاد است که دارای ضخامت حدود ۷۰ متر و همچنین تراز سطح آب زیرزمینی بین ۱۳۱۷ تا ۱۳۵۲ متر از سطح آب‌های آزاد به‌ترتیب از بخش‌های جنوب‌غربی به بخش‌های شرقی در تغییر است. جریان سطحی اصلی این دشت رودخانه قره‌سو است (Kermanshah regional water report, 2021).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]



موقعیت منطقه مطالعه

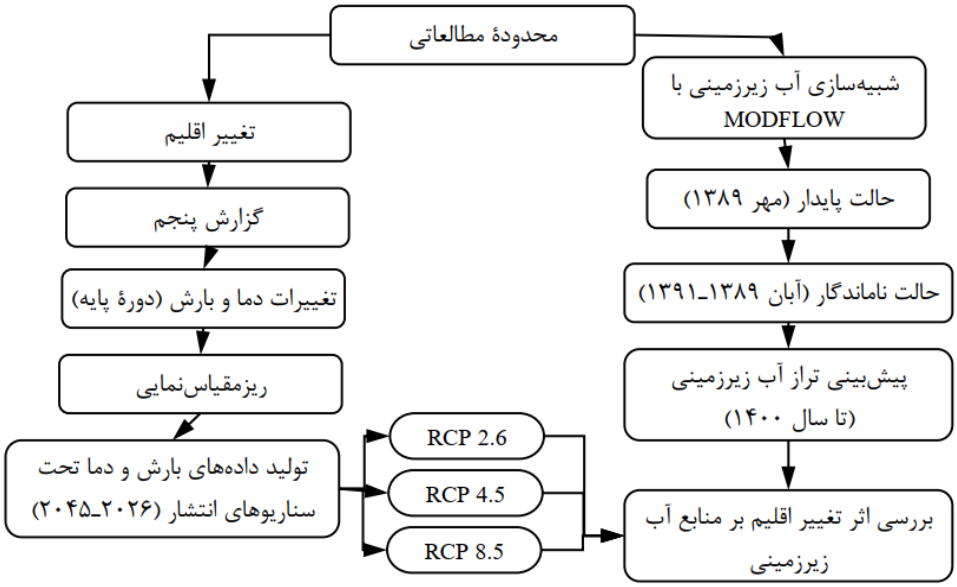
Figure 1. Location of the study area

فلوچارت تحقیق

مطابق شکل (۲)، این تحقیق در چهاربخش مختلف انجام شده است. در بخش یک شبیه‌سازی آب زیرزمینی توسط MODFLOW انجام گردید. در این بخش، وضعیت کمی آب زیرزمینی در دو حالت ماندگار (مهر ۱۳۸۹) و ناماندگار (در این تحقیق برای واسنجی مدل ۲۴ گام زمانی ماهانه و از آبان سال ۸۹ در نظر گرفته شده است) ساخته شد. از اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری، چاه مشاهداتی، بارندگی و میزان تغذیه از منابع سطحی به آب زیرزمینی، توپوگرافی آبخوان و رقوم سنگ کف برای مدل‌سازی استفاده شده است. شبیه‌سازی یکپارچه محدوده توسط WEAP انجام شد که در آن تمام اطلاعات منابع آب و نیازهای آبی محدوده در نظر گرفته شد. در ادامه و در بخش سوم، تغییرات بارش و دما در آینده و مطابق گزارش پنجم برای دوره ۲۰۲۱–۲۰۴۰ توسط مدل منتخب انجام شدند. در این حالت، برای تولید داده‌های آینده از سه سناریوی گزارش پنجم RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده شد. ریزمقیاس‌سازی توسط Lars-GW انجام گردید. در نهایت، در بخش چهارم مدل بهینه‌سازی خطی برای به‌دست‌آوردن سطح زیرکشت بهینه تدوین گردید. به‌منظور برآورد میزان خطای واسنجی (۲۰۰۷–۲۰۱۵) و صحت‌سنجی (۲۰۱۶–۲۰۱۹) در مدل شبیه‌سازی WEAP از معیارهای عملکردی نش ساتکلیف (NS) و میانگین قدر مطلق خطای نسبی (MARE) استفاده شد.جهت شبیه‌سازی رواناب ماهانه منطقه مورد مطالعه در دوره آتی، مدل IHACRES توسط ضریب تعیین (R^2)، ضریب‌نش NS و Bias برای دوره ۲۰۰۷–۲۰۱۵ واسنجی شد و برای دوره ۲۰۱۶–۲۰۱۹ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. همچنین، با مقایسه داده‌های تاریخی مدل‌های اقلیمی با داده‌های مشاهده‌ای در دوره (۱۹۸۶–۲۰۰۵) و به‌کمک شاخص‌های عملکردی ضریب تبیین، ضریب نش، Bias و وزن‌دهی، مدل‌های اقلیمی مناسب برای این محدوده انتخاب شدند. R^2 بیانگر ارتباط داده‌های مشاهداتی و برآورد شده است. دامنه این پارامتر بین ۰ تا ۱ است، و هر چه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده ارتباط قوی بین دو گروه است. شاخص NS هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، مدل از دقت بیشتری برخودار خواهد بود و دامنه آن از منفی بی‌نهایت تا ۱ است. BIAS هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل در برآورد متغیر مورد نظر است. در صورتی که مقدار این پارامتر به سمت مثبت میل کند، نشان‌دهنده این است که متغیر مورد بررسی بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. اگر این پارامتر به سمت منفی میل کند، نشان می‌دهد که پارامتر مورد بررسی مقدار متغیر را بسیار بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. قابل ذکر است که برای این پارامتر آستانه خاصی در نظر گرفته نشده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]



شکل ۲- فلوچارت تحقیق
Figure 2. The research flowchart

مدل‌سازی آب زیرزمینی

معادله اساسی جریان در محیط متخلخل، با در نظر گرفتن یک جزء حجم معرف سفره با ابعاد (ΔX) و (ΔY) (در جهت افق) و (ΔZ) (در جهت عمودی) در شرایط ماندگار، بار هیدرولیکی نسبت به زمان تغییر نمی‌نماید؛ به‌عبارت دیگر، هیچ‌گونه تغییری در ذخیره آبخوان روی نمی‌دهد. از معادله لاپلاس (Laplace Equation) جهت شبیه‌سازی استفاده می‌شود:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}=0 \qquad (۱)$$

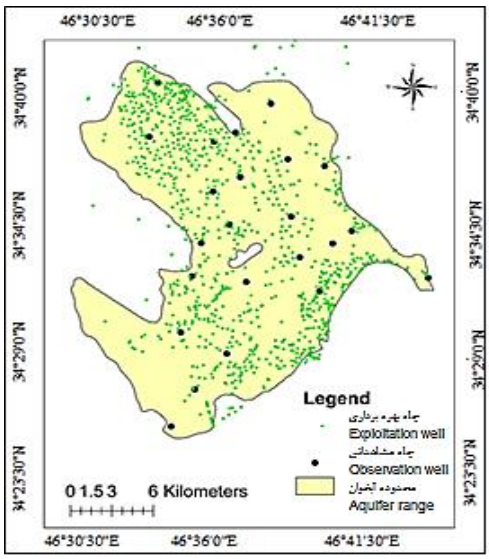
معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی در حالت غیرماندگار، معادله (۲) است که یک معادله دیفرانسیل جزئی خطی است که حل آن، توزیع مکانی و زمانی بار پیزومتریک در آبخوان محبوس، غیرهمگن و ناهمسانگرد را نشان می‌دهد.

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x})+\frac{\partial}{\partial y}(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y})+\frac{\partial}{\partial z}(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z})=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (۲)$$

مدل مفهومی و شبیه‌سازی آبخوان روانسرسنجابی

در آبخوان روانسر- سنجابی، تعداد کل چاه‌های محدوده مطالعاتی در آخرین آماربرداری سراسری سال ۱۳۸۹، ۸۸۱ حلقه‌چاه با تخلیه ۲۷ میلیون متر مکعب در سال است (شکل ۳). عمده تغذیه آبخوان‌ها از بارندگی و مقدار آب برگشتی از چاه‌های بهره‌برداری صورت می‌گیرد. حدود ۱۷ درصد از بارندگی در محدوده به‌عنوان تغذیه به آبخوان در نظر گرفته شده است (گزارش وزارت نیرو، ۲۰۱۰). در این تحقیق، از مهر سال ۱۳۸۹ به‌عنوان ماه و سال پایه و شروع مدل‌سازی استفاده شده است. همچنین، در این حالت مقادیر هدایت هیدرولیکی واسنجی می‌شوند. مدل ساخته‌شده و واسنجی‌شده در حالت ماندگار برای حالت ناماندگار استفاده می‌شود. در حالت ناماندگار حدود ۲۴ گام زمانی ماهانه و از آبان ۱۳۸۹ تا آبان ۱۳۹۱ در نظر گرفته شدند. در حالت ناماندگار، شرایط واقعی آبخوان تا حدودی در نظر گرفته می‌شود. در این حالت، گام‌های زمانی مختلفی در مقیاس ماهانه یا سالانه تدوین می‌گردند. برای هر گام زمانی نیز، مقادیر چاه‌های مشاهداتی، چاه بهره‌برداری، تغذیه آبخوان و سایر اطلاعات دیگر که نسبت به زمان متغیر هستند، تعیین می‌گردند. در این حالت، در هر گام زمانی نیاز است که مقادیر بین چاه مشاهداتی و شبیه‌سازی کنترل شوند. همچنین در حالت ناماندگار، مقادیر اولیه آب‌دهی ویژه به واسنجی نهایی می‌رسند. اگر مدل در حالت ناماندگار به کالیبره نهایی برسد، قابل استفاده برای اجرای سناریوهای مختلف مدیریتی است.

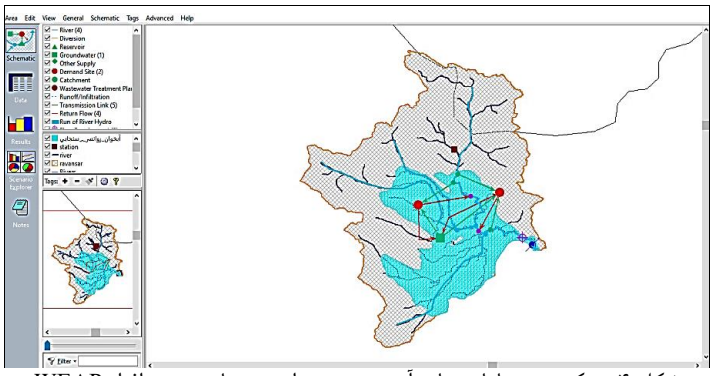
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]



شکل ۳- جبهه‌های ورودی و خروجی آبخوان روانسرسنجابی
Figure 3. Inlet and outlet fronts of the Ravansar-Sinjabi aquifer

مدل‌سازی یکپارچه آب سطحی و زیرزمینی

اطلاعات به‌دست‌آمده از شبکه‌ی آبراهه‌های محدوده روانسر- سنجابی در محیط نرم‌افزار WEAP ترسیم گردید. طول دوره شبیه‌سازی با توجه به اطلاعات موجود ۱۴ سال (۲۰۱۹-۲۰۰۶) در نظر گرفته شد و وضعیت منابع و مصارف (کشاورزی، شرب و محیط زیست) موجود در طول این دوره مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه، تمامی مصارف شرب، کشاورزی و محیط زیست به تفکیک و به‌ترتیب با اولویت نیاز شرب، محیط زیست و کشاورزی به مدل اضافه گردیدند. میزان برداشت از آب سطحی و زیرزمینی و مقدار آب برگشتی به منابع آب سطحی نیز براساس اطلاعات موجود در مدل شبیه‌سازی در نظر گرفته شدند (شکل ۴).



شکل ۴- پیکربندی سامانه منابع آب محدوده روانسرسنجابی در نرم‌افزار WEAP
Figure 4. Configuring the water resources system of the Ravansar-Sanjabi area in WEAP software

شبیه‌سازی رواناب

IHACRES یک مدل پیوسته، یکپارچه و مفهومی به‌شمار می‌آید و برای شبیه‌سازی رواناب به داده‌های دما و بارش نیاز دارد. اساس این مدل از دو ماژول غیر خطی کاهش (Non-Linear Module) و ماژول خطی هیدروگراف واحد تشکیل می‌شود. مبنای این روش مدول غیرخطی تلفات و مدول خطی هیدروگراف واحد است. نحوه عملکرد مدل ارائه‌شده دارای دو بخش است: ابتدا دما (Tt) و بارندگی (Rt) در هر گام زمانی t توسط ماژول غیر خطی، به بارندگی مؤثر ut تبدیل شده، سپس به‌وسیله ماژول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود. مدل IHACRES همواره به‌دلیل احتیاج به داده‌های کم و قدرت بالا در تخمین روزانه مورد توجه بوده است (Mojarloo *et al.*, 2019). در این پژوهش، از نسخه IHACRES V2.1 استفاده شده است. رابطه‌های به‌کار رفته برای محاسبه بارندگی مؤثر به‌صورت زیر هستند:

رابطه (۳)

$$u_t = [c(\varphi_t - l)]^p \times R_t \quad t = 1,2,2,..$$

رابطه (۴)

$$\varphi_t = R_t + (1 - 1/\tau_t)\ \varphi_{t-1} \quad t = 1,2,3,...$$

رابطه (۵)

$$\tau_t = \tau_w \exp[0.062 f(T_r - T_t)] \quad t = 1,2,3,...$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

که در آن، u_t بارندگی مؤثر در دوره t، c پارامتر موازنه جرم، l پارامتر آستانه شاخص رطوبت خاک، p پارامتر واکنش غیرخطی، φ_t شاخص رطوبت خاک در دوره t، τ_w نرخ خشکی مرجع، f عامل تعدیل دما، T_r دمای مرجع و T_t دما در دوره t هستند. بعد از محاسبه u_t در مدول غیرخطی، مقدار جریان در مدول خطی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۶)

$$Q_t = a^q Q_{t-1} + b^q(u_{t-1}) + a^s Q_{t-1} + b^s(u_{t-1}) \quad t = 1,2,3,\dots$$

که در آن، Q_{t-1} و Q_t رواناب سطحی تولیدشده توسط مدل به‌ترتیب در دوره $t-1$ و t، u_{t-1} بارندگی مؤثر در طول دوره $t-1$، a^q و a^s نسبت مقدار جریان تولیدی در دوره بعدی به مقدار آن در همان دوره به‌ترتیب برای بخش‌های سریع و آهسته و b^q و b^s بارندگی مؤثر واحد به‌ترتیب برای بخش‌های سریع و آهسته، هستند.

تغییر اقلیم

LARS-WG مولد مصنوعی داده‌های آب و هوایی است که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی در یک مکان واحد تحت شرایط اقلیم حال و آینده به‌کار رود. خواص آماری داده‌های تولیدشده مشابه دوره آماری هستند. داده‌ها در سری‌های زمانی روزانه برای یک سری متغیرهای اقلیمی مناسب مثل بارش، دمای کمینه، بیشینه و تابش (مگاژول بر مترمربع) ایجاد می‌شوند. در این روش، با شبیه‌سازی داده‌های آب و هوایی در مقیاس محلی می‌توان مطالعات تغییر اقلیم را در یک ایستگاه انجام داد. یک مولد مصنوعی داده‌های آب و هوا می‌تواند به‌عنوان یک ابزار محاسبه‌ای ارزان در تولید سناریوهای تغییر اقلیم چندساله در مقیاس زمانی روزانه به‌کار رود.

تعیین الگوی بهینه با توجه به وضعیت منابع آبی و الگوی کشت

با توجه به کشت‌های مختلف موجود در منطقه، وضعیت منابع آبی، بهره‌برداری منابع آب و مسائل اقتصادی و اجتماعی حاکم، بررسی الگوی کشت موجود و تحلیل‌های اقتصادی سود و هزینه صورت می‌پذیرد. نتایج این بخش به‌عنوان ضرایب تابع هدف و نیز محدودیت‌های حاکم به‌عنوان توابع محدودیت فرمول‌بندی می‌گردند. پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله و تعیین محدودیت‌های موجود درمنطقه، مسئله بهینه‌سازی در محدوده روانسر سنجابی به‌صورت رابطه زیر فرمول‌بندی گردید.

رابطه (۷) $Max(Z) = \sum_1^n C_{Bi} X_i$

رابطه (۸) $CWUi <= B1$

رابطه (۹) $X1 + X2 + \dots + X14 <= B2$

رابطه (۱۰) $X_{13} \geq B3$

رابطه (۱۱) $X_8 \geq B4$

رابطه (۱۲) $X_{14} \geq B5$

رابطه (۱۳) $X_1, X_2, \dots, X_{18} \geq 0$

که درآن Z درآمد خالص سالانه، Xi، CBi و CWUi به‌ترتیب مساحت زیرکشت، درآمد خالص و نیاز آبی هر محصول، B1 حجم آب قابل بهره‌برداری مطابق هر سناریو، B2 سطح کل اراضی، X13، X8 و X14 سطح اراضی باغی، سبزی‌کاری و یونجه‌کاری، و B3، B4 و B5 نیز به‌ترتیب حداقل سطح اراضی باغی، سبزی‌کاری و یونجه‌کاری هستند. مساحت کل اراضی قابل کشت دشت روانسر–سنجابی، ۸۹/۵۵۰ هکتار است. پس از محاسبه تولید، درآمد ناخالص و هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت، سود خالص سالانه هر محصول به‌عنوان ضریب در تابع هدف مورد استفاده قرار گرفت. برای محدودیت دسترسی به آب، نیاز آبی محصولات مختلف به‌عنوان ضریب برای متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. سایر محدودیت‌ها از نیز طریق پیمایش میدانی و مصاحبه چهره‌به‌چهره با کارشناسان در منطقه استخراج و توابع محدودیت نهایی شدند. شکل عمومی مسئله در دشت روانسر سنجابی به‌صورت رابطه (۱۴) است.

رابطه (۱۴)

$$\begin{aligned}\text{Max } (Z) = {} & 0.36*X_1 + 0.34*X_2 + 0.41*X_3 \\ & + 2.25*X_4 + 3.60*X_5 + 1.23*X_6 + 0.18*X_7 \\ & + 0.9*X_8 + 0.62*X_9 + 0.84*X_{10} \\ & + 0.59*X_{11} + 0.29*X_{12} + 2.49*X_{13} + 0.53*X_{14} \\ & + 0.08*X_{15} + 0.05*X_{16} + 0.18*X_{17} \\ & + 0.17*X_{18}\end{aligned}$$

با استفاده از اطلاعات ارائه‌شده در مطالعات کشاورزی دشت روانسرسنجابی، الگوی کشت منطقه به شرح جدول (۲) است. مساحت کل اراضی موجود در این منطقه ۸۹۵۵۰ هکتار است که اغلب آن به کشت گندم و نخود به روش دیم اختصاص داده شده است (AREEO, 2022). نیاز آبی محصولات الگوی کشت دشت روانسرسنجابی از اطلاعات ارائه‌شده در گزارشات جهاد کشاورزی منطقه استخراج گردید.

محدودیت‌های مدل بهینه‌سازی

محدودیت دسترسی به منابع آب: با وجود سناریوهای مختلف، در هر سناریو میزان آب در دسترس و قابل برنامه‌ریزی پایدار متفاوت است. لذا، در سمت راست معادله برای هر سناریو میزان آب در دسترس متفاوت است و براساس آن مدل بهینه‌سازی اجرا گردید. لذا محدودیت تعریف شده به شرح ذیل است:

رابطه (۱۵)

$$\begin{aligned}& 31*X_1 + 2.6*X_2 + 3.86*X_3 + 7.42*X_4 \\ & + 6.990*X_5 + 8.69*X_6 + 7.56*X_7 + 7.87*X_8 + 6.92*X_9 \\ & + 9.64*X_{10} + 6.92*X_{11} + 2.6*X_{12} + 8.08*X_{13} \\ & + 9.66*X_{14} \leq 152000\end{aligned}$$

محدودیت سطح اراضی کل: مساحت کل اراضی قابل کشت در دشت روانسرسنجابی برابر۸۹/۵۵۰ هکتار است (رابطه ۱۶).

رابطه (۱۶)

$$\begin{aligned}& X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + \\ & X_8 + X_9 + X_{10} + X_{11} + X_{12} + X_{13} + \\ & X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} \leq 89550\end{aligned}$$

سطح اراضی باغی: این سطح در منطقه ۶۰۴ هکتار است و این اراضی از این میزان نمی‌توانند کمتر باشند زیرا

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

به‌علت بهره‌دهی مناسب، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند (رابطه ۱۷). سطح اراضی سبزی‌کاری: این کشت در منطقه ۱۸۱ هکتار است و این اراضی از این میزان نمی‌توانند کمتر باشند، زیرا در حال‌حاضر به‌علت بهره‌دهی مناسب و چندساله بودن برخی از گونه‌های کشت‌شده، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند (رابطه ۱۸). سطح اراضی یونجه‌کاری: سطح اراضی زیر کشت یونجه در منطقه ۹۵ هکتار است و این اراضی از این میزان نمی‌توانند کمتر باشند زیرا در حال حاضر به‌علت چندساله بودن و بهره‌دهی مناسب، مردم منطقه تمایلی به تغییر این کاربری ندارند (رابطه ۱۹).

رابطه (۱۷) $X_{13} \geq 604$

رابطه (۱۸) $X_8 \geq 181$

رابطه (۱۹) $X_{14} \geq 95$

محدودیت غیر منفی بودن متغیرها: در شرایط مدل برنامه‌ریزی خطی، سطح اختصاص‌یافته به هر کاربری نباید منفی باشد (رابطه ۲۰). معادله برآورد انواع خطاهای قابل محاسبه در تحقیق نیز به‌ترتیب در روابط (۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴ و ۲۵) ارائه شده‌است.

رابطه (۲۰)

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, \ldots \geq 0$$

رابطه (۲۱) $$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_o - x_p)^2}{n}}$$

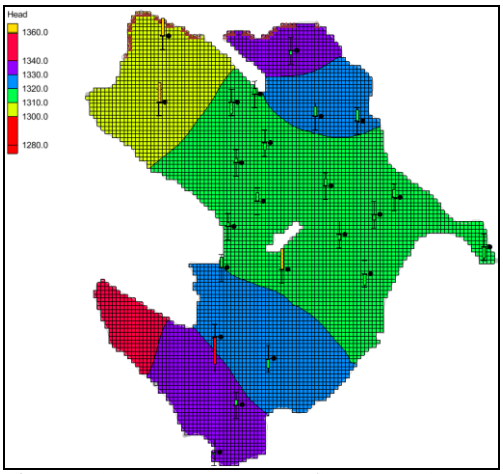
رابطه (۲۲) $$\mathrm{MAPE} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{x_o - x_p}{x_o}\right|$$

رابطه (۲۳) $$\mathrm{R}^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_p - x_o)^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_o - \bar{x_o})^2}$$

رابطه (۲۴) $$\mathrm{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|x_o - x_p|}{n}$$

رابطه (۲۵) $$CC = \frac{\sum_{j=1}^{N_s}((x_o)-(\overline{x_p}))((x_p)-(\overline{x_0}))}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N_s}((x_o)-(\overline{x_0}))^2 \sum_{j=1}^{N_s}((x_p)-(\overline{x_p}))^2}}$$

بعد از ساخت مدل مفهومی، در ادامه مدل آب زیرزمینی ابتدا در حالت پایدار اجرا گردید. شکل (۵) وضعیت چاه‌های مشاهداتی را بعد از واسنجی در حالت ماندگار و تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد که تمام چاه‌های مشاهداتی موجود در آبخوان دارای رنگ سبز هستند و تطابق خوبی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده وجود دارد. بیشترین تراز آب زیرزمینی در شمال غرب آبخوان قرار دارد. جنوب آبخوان محل خروجی آب زیرزمینی نیز داری کمترین تراز آب زیرزمینی است. مقدار ضریب تبیین آن نیز حدود ۰/۹۸۹ است که حاکی از دقت مناسب مدل از نظر معیار ارزیابی ضریب تبیین است. مدل ساخته‌شده علاوه‌بر دقت‌چشمی و رگرسیونی توسط معیارهای ارزیابی خطا نیز کنترل می‌گردد که مقادیر ۰/۸۷ و ۰/۷۴ به‌ترتیب برای RMSE و MAE بیان‌گر شبیه‌سازی مناسب مدل‌سازی هستند.



شکل ۵- تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی‌شده در حالت ماندگار و وضعیت چاه‌های مشاهداتی بعد از کالیبره کردن مدل

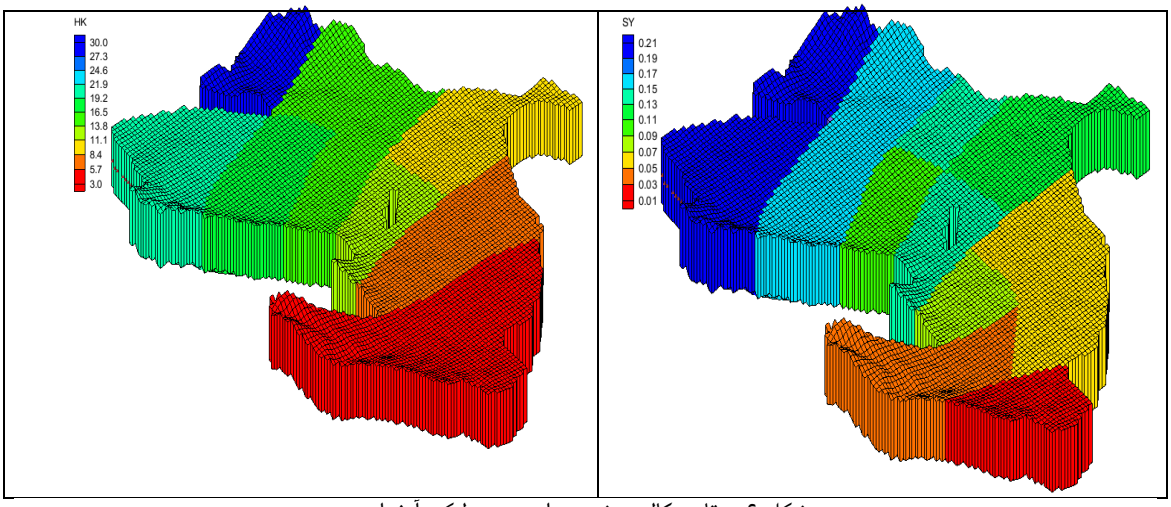
Figure 5. The Simulated Groundwater Level in the Persistent State and the Observed Condition of Wells after Model Calibration

با ارجاع به شکل (۶)، مشخص است که در شمال آبخوان، هدایت هیدرولیکی مقادیری بین ۵۲ تا ۳۰ متر در روز را دارا است. بیشترین مقدار آن نیز در قسمت جنوب شرقی آبخوان است که مقادیر آن از ۱۶/۵ تا ۲۹ متر در روز متغیر هستند. ناحیه مرکزی آبخوان نیز دارای مقادیر متوسط هدایت هیدرولیکی است که از ۸ تا ۱۲ متر در روز متغیر است. لذا بیشترین هدایت هیدرولیکی در این ناحیه مشاهده می‌شود. کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی نیز مربوط به انتهای آبخوان است که ریزدانه‌ها تشکیل‌دهنده ساختمان آبخوان هستند. شکل (۶)، مقادیر آبدهی ویژه واسنجی‌شده محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. مقادیر آبدهی ویژه کالیبره شده بین ۱/۹ درصد تا ۲۲ درصد متغیر هستند که بیشترین مقادیر آن به ناحیه جنوب‌غربی آبخوان تعلق دارند. جنوب‌شرقی آبخوان نیز دارای کمترین مقادیر آبدهی ویژه است. مقادیر آبدهی ویژه در مرکز آبخوان از ۸/۵ درصد تا ۱۳ درصد متغیر هستند. با این

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

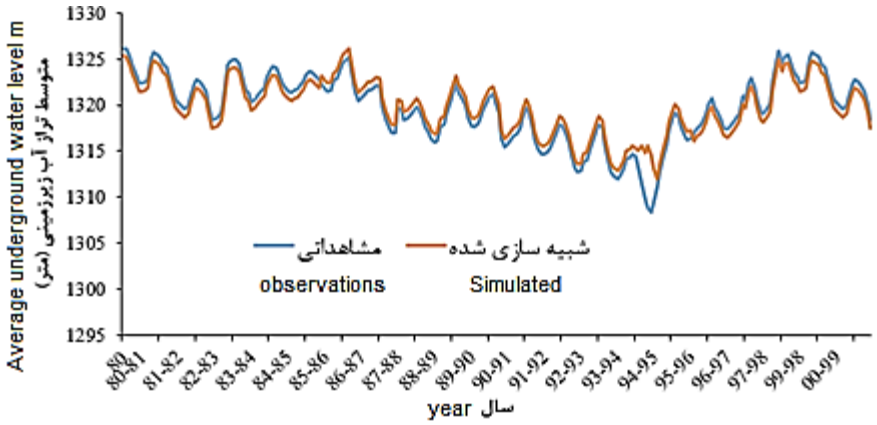
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

وجود، مقادیر آبدهی ویژه همواره با گزارش‌های زمین‌شناسی منطقه هم‌خوانی دارند.



شکل ۶- مقادیر کالیبره شده هدایت هیدرولیکی آبخوان
Figure 6. Calibrated values of the hydraulic conductivity of the aquifer

در نهایت، شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی برای یک دوره ۲۰ سال (از ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰) برای مدل ساخته‌شده توسعه داده شد (شکل ۷) تا بتوان اثر تغییر اقلیم را بر تغییرات تراز آب زیرزمینی را ارزیابی نمود. مطابق شکل مذکور، مشخص است که تراز آب زیرزمینی توسط کد MODFLOW به‌خوبی شبیه‌سازی شده است و نوسانات آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف به‌خوبی تخمین زده شده‌اند. همچنین، در طول دوره موردبررسی تراز آب زیرزمینی دارای نوسانات نسبتاً زیادی بود که در برخی از سال‌ها مانند سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۴ افت آب زیرزمینی اتفاق افتاد اما از سال ۱۳۹۵-۱۳۹۹ تراز آب زیرزمینی افزایش یافته.



شکل ۷- تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی‌شده (۱۳۸۰-۱۴۰۰)
Figure 7. The Simulated Groundwater Level (2001-2021)

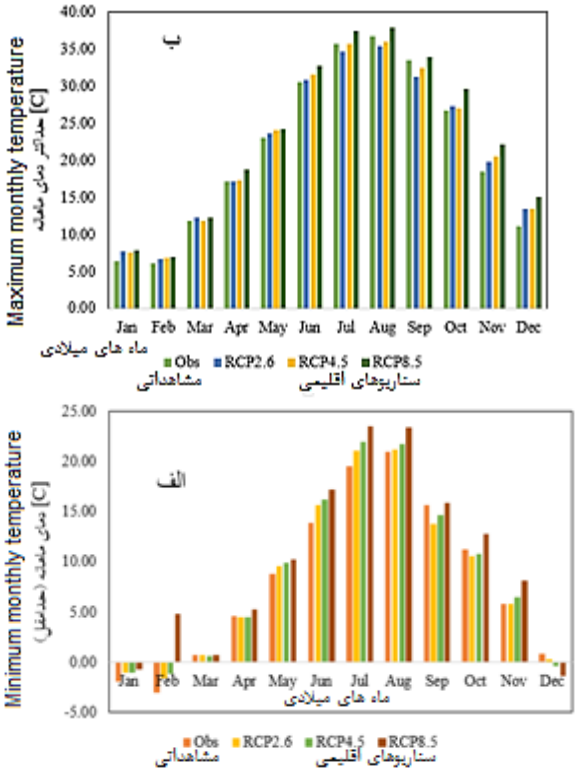
نتایج حاصل از تغییر اقلیم

نتایج حاصل از مدل‌های اقلیمی از گزارش پنجم توسط مدل LARS-WG ریزمقیاس شده قابل‌مشاهده هستند. برای انتخاب مدل‌ها، باید مقایسه‌ای بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولیدشده توسط مدل‌های بزرگ‌مقیاس انجام شود. در این پژوهش، ابتدا براساس مطالعات انجام‌شده، ۲۰ مدل که هر ۳ سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را دارا بودند استفاده شدند. بر اساس معیارهای ارزیابی خطا، ۲۰ مدل اقلیمی، با داده‌های مشاهداتی مطابق جدول زیر به‌دست آمدند. در نهایت، مدل‌های مناسب برای ارزیابی چگونگی تغییرات دما و بارش در دوره آینده در منطقه موردمطالعه انتخاب شدند. مدل‌های اقلیمی HadGEM2-ES، CanESM2 و CSIRO-MK3-6-0 در بین ۲۰ مدل موجود، به‌ترتیب با رتبه‌های ۱۷/۲۵ و ۱۵/۵ بالاترین مقدار رتبه‌بندی را دارند و به‌عنوان بهترین مدل‌ها در این پژوهش انتخاب شدند.

برای تولید داده‌های اقلیمی برای دوره‌های آتی، ابتدا داده‌های روزانه بارش، دمای حداکثر و حداقل ایستگاه سینوپتیک روانسر جهت تجزیه و تحلیل به نرم‌افزار LARS-WG وارد شدند. سپس، با توجه به خصوصیات آماری داده‌های مشاهداتی متغیرهای بارش، دمای حداکثر و حداقل روزانه برای دوره آتی با توجه به سناریوی اقلیمی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

ساخته‌شده برای مدل منتخب (HadGEM2-ES) تحت هر سه سناریوی انتشار RCP (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) تولید شدند. بررسی نتایج میانگین ماهانه دمای حداقل در دوره پایه (۱۹۸۶–۲۰۰۵) و دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰) نشان می‌دهد که مقدار دمای حداقل ماهانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه در مدل پیش‌بینی اقلیمی HadGEM2-ES، تحت هر سه سناریو انتشار افزایش نسبی داشته است که مقدار آن در حد ۰/۱ تا ۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد بوده است که این افزایش معنی‌دار نبوده است. همچنین، سایر نتایج نشان می‌دهند که در مدل اقلیمی HadGEM2-ES، میانگین سالانه دمای حداقل تحت سناریو انتشار RCP8.5، حداکثر ۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد و در سناریو RCP2.6، ۰/۲۹ درجه سانتی‌گراد در دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰) افزایش خواهد یافت. همچنین در اغلب ماه‌ها، افزایش دمای حداقل مشاهده می‌شود. به‌طورکلی، این نتایج نشان از گرم‌تر شدن محدوده مورد مطالعه در دوره آتی دارند. از مقایسه نمودارهای دمای حداقل و حداکثر انتظار می‌رود که دمای حداکثر افزایش بیشتری نسبت به دمای حداقل در دوره آتی (۲۰۲۱–۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه داشته باشد. نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش پیشین (Shahoei *et al*., 2020) که به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم جهانی بر داده‌های اقلیمی در حوضه روانسر سنجابی استان کرمانشاه پرداخته است همسو هستند که نشان از صحت نتایج این تحقیق دارد. شکل (۸) تغییرات دمایی بر اساس سناریوهای اقلیمی را نشان می‌دهد.



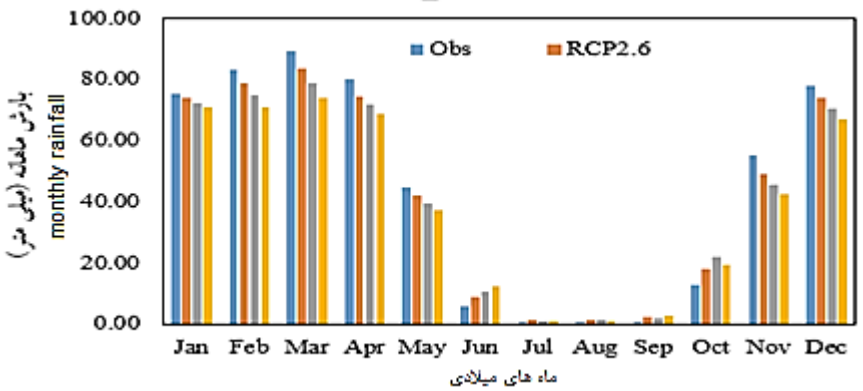
شکل ۸– تغییرات دمای حداقل و حداکثر در دوره آتی تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی، الف) دمای حداقل، ب) دمای حداکثر

Figure 8. Minimum and maximum temperature changes in the future period under the influence of different climatic scenarios: a) Minimum Temperature b) Maximum Temperature

نتایج نشان می‌دهند که سناریو انتشار RCP8.5، بیشترین کاهش بارندگی و سناریو انتشار RCP2.6، کمترین کاهش بارندگی را نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که مدل‌های GCMs و نرم‌افزار LARS-WG به‌عنوان یک مولد آب و هوایی عملکرد خوبی را در پیش‌بینی دمای ماهانه و سالانه در ایران از خود نشان دادند (شکل ۹).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

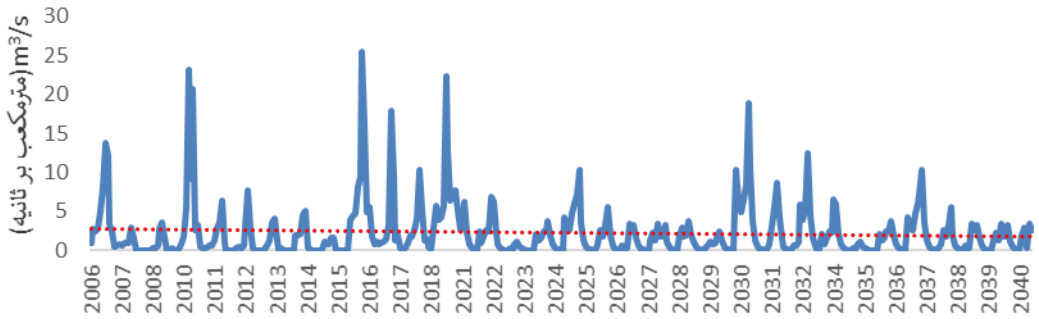
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]



شکل ۹- تغییرات بارش ماهانه در دوره آتی تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی
Figure 9. Changes in monthly precipitation in the future period affected by different climatic scenarios

پیش‌بینی رواناب دوره آتی تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم

جهت شبیه‌سازی رواناب ماهانه منطقه مورد مطالعه در دوره آتی، در ابتدا مدل IHACRES برای دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۵ واسنجی شد و برای دوره ۲۰۱۶-۲۰۱۹ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. نتایج نشان دادند که دوره واسنجی با ضریب تعیین (R^2) برابر ۰/۷۵ و ضریب نش NS برابر ۰/۶۷ و Bias برابر ۰/۱۷ متر مکعب بر ثانیه عملکرد قابل‌قبولی داشت. همچنین، نتایج دوره صحت‌سنجی نشان‌دهنده عملکرد قابل‌قبول این مدل در شبیه‌سازی رواناب رودخانه قره‌سو هستند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان گفت که مدل واسنجی‌شده برای حوزه، به‌طور کلی جریان‌های کم را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند، اما در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر، در بعضی از سال‌ها ناتوان بوده است و مقادیر کمتری را پیش‌بینی کرده است. پس از واسنجی مدل IHACRES، سری زمانی ماهانه دما و بارندگی دوره آتی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ (با توجه به هدف مطالعه حاضر) به مدل معرفی شد و سری زمانی ماهانه رواناب رودخانه قره‌سو در دوره آتی شبیه‌سازی گردید. میزان رواناب رودخانه قره‌سو طی دوره آتی در اغلب ماه‌ها روند کاهشی دارد که با در نظر گرفتن کاهش بارندگی در دوره آتی نتیجه قابل‌قبولی است. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که مدل IHACRES قادر به تشخیص دبی‌های پیک یا سیلابی نیست و به‌همین دلیل در ماه‌های آوریل و می که رودخانه قره‌سو گاهاً سیلابی است، اختلاف رواناب دوره آتی با دوره مدل‌سازی قابل‌توجه است. در مجموع، نتایج نشانگر از روند کاهشی میانگین آورد سالانه رودخانه قره‌سو نسبت به دوره پایه هستند. نتایج به‌دست آمده برای مدل مذکور با نتایج پژوهش‌های صورت گرفته بر روی رودخانه قره‌سو و شبیه‌سازی رواناب با مدل IHACRES مطابقت دارند (Bayatikhatibi *et al*., 2024; Zarei *et al*., 2021). در گام بعد، نتایج شبیه‌سازی رواناب در دوره آتی به‌عنوان ورودی مدل WEAP در نظر گرفته می‌شوند تا مدیریت و تخصیص مصارف در محدوده روانسر برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد (شکل ۱۰).



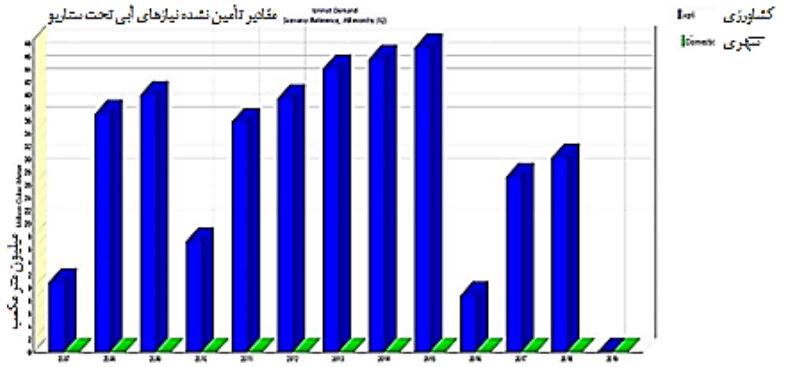
شکل ۱۰- رواناب شبیه‌سازی‌شده رودخانه قره‌سو توسط مدل IHACRES
Figure 10. Simulated runoff of the Qarasu River by the IHACRES model

شبیه‌سازی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل WEAP در شرایط موجود

برای مدل‌سازی محدوده مطالعاتی در شرایط موجود، دوره آماری ۲۰۰۶-۲۰۱۹ به‌مدت ۱۴ سال به‌عنوان دوره شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. با توجه به اطلاعات و داده‌های جمع‌آوری شده، تمامی منابع و مصارف اعم از دبی سرشاخه رودخانه قره‌سو و سایر رودخانه‌ها، نیازهای کشاورزی، شرب، منابع آب زیرزمینی، لینک‌های برداشت و آب برگشتی به تفکیک وارد مدل WEAP گردیدند. مدل شبیه‌سازی شده برای بالابردن دقت و کاهش خطای شبیه‌سازی، مورد

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. به‌منظور برآورد میزان خطای واسنجی و صحت‌سنجی، مقادیر رواناب محاسباتی توسط مدل با مقادیر مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری دوآب مرگ به‌کمک شاخص‌های (NS) و (MARE) (Mean Absolute Relative Error) مورد مقایسه قرار گرفتند. با توجه به نتایج ارائه‌شده در مطالعات گذشته در ارتباط با شاخص MARE و NS و مقایسه آن با پژوهش حاضر، می‌توان گفت که نتایج ارائه شده از واسنجی و صحت‌سنجی مدل WEAP قابل‌قبول هستند (Haddad *et al*., 2021; Banihabib *et al*., 2019). نتایج شبیه‌سازی محدوده مورد مطالعه توسط نرم‌افزار WEAP نشان می‌دهند (شکل ۱۱) که در طول دوره آماری ۲۰۱۹-۲۰۰۶ نیاز شرب در طول دوره آماری به‌صورت کامل تأمین می‌گردد و نیاز کشاورزی محدوده در اغلب سال‌های دوره آماری به مقدار قابل‌توجهی تأمین نمی‌گردد و حداکثر آن در سال‌های (۲۰۱۱-۲۰۱۵) است که علت آن کاهش منابع آب سطحی رودخانه قره‌سو است. وابستگی کشاورزی محدوده روانسرسنجابی به منابع آب سطحی رودخانه قره‌سو باعث گردیده است تا در سال‌هایی که کاهش رواناب مشاهده می‌شود، تأمین نیاز کشاورزی با مشکل روبه‌رو گردد. نتایج نشان می‌دهند که به‌دلیل کمبود منابع آبی رودخانه قره‌سو در فصل تابستان پوشش نیاز کشاورزی با کمبود تأمین مواجه است. کاهش منابع آب سطحی رودخانه قره‌سو بر تأمین حقابه زیست‌محیطی رودخانه نیز اثرگذار است و همچنین نتایج جدول (۱۱) نشان می‌دهند که در اواخر فصل بهار و در فصل تابستان نیاز زیست‌محیطی رودخانه قره‌سو به‌صورت کامل تأمین نمی‌گردد.

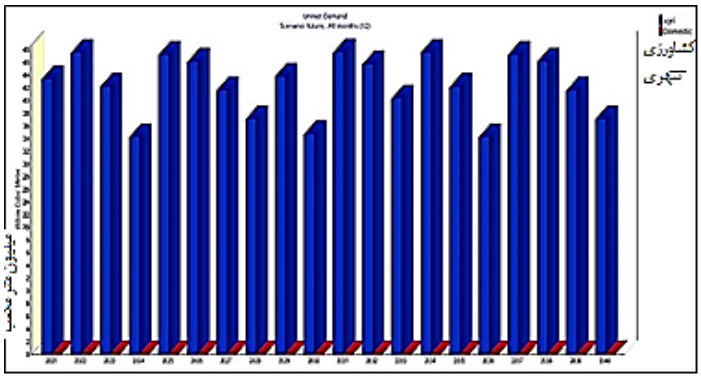


شکل ۱۱- مقادیر تأمین‌نشده نیازهای محدوده مطالعاتی در شرایط موجود (mcm)
Figure 11. Unmet values of the study area need in current conditions (mcm)

با این حالت، درصد پوشش نیازهای محدوده مطالعاتی در بخش کشاورزی بین ۸۷ تا ۱۰۰ درصد تأمین شده است. در بخش شرب، ۱۰۰ درصد نیازها در همه ماه‌ها تامین شده است اما درصد زیادی از نیاز زیست‌محیطی تأمین نشده است که از ۷۶ درصد تا ۸۵ درصد در ماه‌های مختلف متغیر است. بیشترین عدم تأمین نیاز آبی زیست‌محیطی در ماه اگوست بود که در آن حدود ۲۵ درصد از نیاز آبی تأمین نشده بود. این مقدار در کشاورزی حدود ۱۵ درصد و در ماه اکتبر است.

بررسی شرایط منابع و مصارف محدوده مطالعاتی در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) تحت مدل بهینه

نتایج شکل (۱۲) نشان می‌دهند که در دوره آتی کمبود منابع آبی برای تأمین نیاز کشاورزی محدوده مطالعاتی به نسبت شرایط موجود در وضعیت بدتری قرار دارد. عدم تأمین نیاز کشاورزی محدوده در طول دوره آتی کاملا مشهود است. همچنین، درصد پوشش نیازهای محدوده طی ماه‌های مختلف (جدول ۱) نشان می‌دهد که در دوره آتی به نسبت شرایط موجود کاهش چشمگیری رخ خواهد داد که این موضوع در فصل بهار و تابستان کاملا مشخص است.



شکل ۱۲- مقادیر تأمین‌نشده نیازهای محدوده مطالعاتی در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰)
Figure 12. Unmet values of study range requirements in the future period (2021-2040)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

نتایج نشان می‌دهند که با اجرای الگوی کشت بهینه در منطقه، مقادیر نیاز تأمین‌نشده در سال کاهش قابل‌توجهی داشته‌اند. در مجموع، کاهش رواناب رودخانه قره‌سو علاوه بر بخش کشاورزی، تأمین نیاز زیست‌محیطی رودخانه را نیز با مشکل مواجه می‌کند که این امر می‌تواند اکوسیستم رودخانه را با چالش مواجه کند. با ارائه نتایج شبیه‌سازی دوره آتی در این بخش، مشخص گردید که تغییرات اقلیمی می‌توانند اثرات مخربی بر بخش کشاورزی و محیط زیست منطقه داشته باشند. از این رو، ارائه راهکارهایی برای مقابله با این پدیده می‌تواند تا حدودی باعث کاهش اثرات آن گردد.

به‌منظور دستیابی به مناسب‌ترین وضعیت سطح کشت اراضی در راستای رسیدن به اهداف تحقیق با استفاده از روش سیمپلکس و به کمک نرم‌افزار Lingo نسخه ۱۱، مسئله برنامه‌ریزی خطی موجود مدل‌سازی و اجرا گردید. مسئله برنامه‌ریزی خطی موجود برای سه سناریوی مدیریتی و سه سناریوی اقلیمی مدل‌سازی و اجرا گردید. با مشاهده نتایج ارائه‌شده در جدول (۱)، مشخص گردید که در کلیه سناریوهای مدیریتی و اقلیمی، به‌جز محصولات پیاز، نخود دیم، باغ، سبزیجات و یونجه، بقیه محصولات از الگوی کشت منطقه حذف گردیدند. بیشترین تغییر مشاهده‌شده در جایگزینی نخود دیم به‌جای گندم دیم و پیاز به‌جای گندم آبی است. محصولات باغی، سبزیجات و یونجه نیز به‌دلیل محدودیت‌های موجود در حداقل خود باقی مانده‌اند. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که در سناریوهای مختلف میزان سود حاصل از بهینه‌سازی مثبت بوده است.

جدول ۱- توزیع سطح کشت محصولات در وضعیت موجود و شرایط بهینه سناریوهای مدیریتی (هکتار)

Table 1. Distribution of the crop cultivation area in the current situation and optimal conditions of management scenarios (ha)

ردیف Row	محصولات Products	وضعیت موجود Existing situation	الگوی کشت بهینه Optimal cultivation pattern						
			شرایط موجود Existing conditions	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	کاهش ۵۰ درصدی شدت افت ٪50 reduction in drop intensity	کاهش ۲۰ درصدی شدت افت ٪20 reduction in drop intensity	ثبات سطح ایستابی Stable level stability
1	گندم آبی Water wheat	10720	–	–	–	–	–	–	–
2	جو آبی Water grain	1270	–	–	–	–	–	–	–
3	نخود آبی Water peas	303	–	–	–	–	–	–	–
4	سیب زمینی Potato	460	–	–	–	–	–	–	–
5	پیاز Onion	150	20712	18535.6	17664.6	16792.2	14159.8	16305.8	12729.2
6	گوجه Tomato	923	–	–	–	–	–	–	–
7	شبدر Clover	350	–	–	–	–	–	–	–
8	سبزیجات Vegetables	181	181	181	181	181	181	181	181
9	ذرت دانه‌ای Grain corn	3607	–	–	–	–	–	–	–
10	چغندرقند Sugar beet	1190	–	–	–	–	–	–	–
11	ذرت علوفه‌ای Fodder corn	687	–	–	–	–	–	–	–
12	کلزا Canola	169	–	–	–	–	–	–	–
13	باغ Garden	604	604	604	604	604	604	604	604
14	یونجه Hay	95	95	95	95	95	95	95	95
15	گندم دیم Dry wheat	36180	–	–	–	–	–	–	–
16	جو دیم Dry Grain	8010	–	–	–	–	–	–	–
17	نخود دیم Dry peas	24526	67958	70132.4	71005.1	71877.8	74510.1	72364.2	75940.7
18	عدس دیم Lentils	125	–	–	–	–	–	–	–
	میزان سود کل Amount of total profit	20413.697							

بررسی و دقت در جدول (۲) نشان می‌دهد که تغییر الگوی کشت زراعی در دشت روانسر- سنجابی با رعایت کلیه محدودیت‌های موجود در منطقه، در همه سناریوها، سبب افزایش سود تولید نسبت به وضعیت موجود می‌شود. از همه مهم‌تر این که حتی در سناریوی دستیابی به سطح ایستابی اولیه آب زیرزمینی که شاید سال‌ها طول بکشد، باز هم میزان

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

سود، از سود تولید در وضعیت موجود و با این حجم اضافه برداشت، بیشتر است و این نشان می‌دهد که برای دستیابی به کشاورزی پایدار، الگوی کشت منطقه نیازمند تحقیق و پژوهش بیشتر است. جلیلی و همکاران نیز مدیریت تخصیص منابع آب، کنترل سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالا و بهینه‌سازی تولید پایدار مبتنی بر وضعیت منابع آب را راهکارهای برون‌رفت از این وضعیت و دستیابی به پایداری نسبی در کشاورزی ذکر کردند (Jalili & Moradi, 2016)

جدول ۲- نسبت سود حاصل از اجرای الگوی کشت بهینه در سناریوهای مختلف به وضعیت موجود
Table 2. The profit ratio from the implementation of optimal cropping patterns in different scenarios to the current situation

سناریو Scenario	وضعیت موجود Existing situation	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	کاهش ۵۰ درصدی شدت افت ٪50 reduction in drop intensity	کاهش ۲۰ درصدی شدت افت ٪20 reduction in drop intensity	ثبات سطح ایستابی Stable level stability
سود کل (میلیارد ریال) Total profit	20413.69	81069.20	78091.76	75107.13	66104.56	73443.6	61211.8
نسبت به وضعیت موجود Relative to the existing situation	1	3.97	3.83	3.67	3.23	3.59	2.99

نتیجه‌گیری کلی

کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب زیرزمینی، نقش محوری در بهره‌برداری از این منابع ایفا می‌کند. تأمین به‌موقع نیاز آبی این بخش می‌تواند سودآوری قابل‌توجهی برای بهره‌برداران به همراه داشته‌باشد، در حالی‌که عدم تأمین آب، به‌ویژه در ماه‌های گرم سال، ممکن است منجربه رشد ناقص محصولات و در نهایت خسارات اقتصادی برای کشاورزان شود. بر همین اساس، هدف اصلی این پژوهش، دستیابی به حداکثر سود کشاورزی در چارچوب محدودیت‌های موجود در منابع آب سطحی و زیرزمینی و اراضی کشاورزی است. برای تحقق این هدف، شبیه‌سازی حوضه آبخیز برای دوره ۲۰۲۱—۲۰۴۰ با استفاده از مدل WEAP و شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی برای دوره بلندمدت ۲۰۰۱—۲۰۲۱ با مدل MODFLOW انجام گرفت. همچنین، تولید رواناب آتی با بهره‌گیری از مدل هیدرولوژیکی IHACRES صورت پذیرفت. بخش تحلیل تغییر اقلیم نیز با استناد به گزارش پنجمIPCC و بهره‌گیری از سناریوهای انتشار RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 برای دوره آتی (۲۰۲۱—۲۰۴۰) انجام شد.

نتایج نشان می‌دهند که ادامه روند فعلی بهره‌برداری از آبخوان می‌تواند موجب بروز بحران‌های جدی در منابع آب زیرزمینی شود. از این‌رو، سناریوهای مختلفی با هدف کاهش برداشت و تثبیت سطح آبخوان تدوین شدند. مدل‌سازی یکپارچه منابع آب حاکی از آن است که در صورت تداوم وضعیت موجود، در برخی ماه‌ها بین ۱۵ تا ۲۵ درصد از نیاز آبی بخش کشاورزی تأمین نخواهد شد و در صورت درنظر گرفتن اثرات تغییر اقلیم، این کمبود بین ۱ تا ۳ درصد در بلندمدت افزایش خواهد یافت.

نتایج مدل بهینه‌سازی بیانگر آن هستند که، به‌جز محصولاتی مانند پیاز، نخود دیم، باغات، سبزیجات و یونجه، سایر محصولات باید از الگوی کشت منطقه حذف شوند. با این حال، اجرای سناریوهای مدیریتی و کاهش برداشت از آبخوان در محدوده ۲۰ تا ۵۰ درصد، می‌تواند منجر به افزایش سودآوری کشاورزان نسبت به شرایط موجود گردد. تحلیل میانگین دمای ماهانه در دوره پایه (۱۹۸۶—۲۰۰۵) و دوره آتی (۲۰۲۱—۲۰۴۰) نیز نشان داد که حداقل دما در تمامی مدل‌های اقلیمی HadGEM2-ES، CanESM2 و CSIRO-MK3-6-0 تحت هر سه سناریوی انتشار با افزایش همراه بود. همچنین، مدل‌ها نشان می‌دهند که سناریوهای RCP 8.5 بیشترین کاهش بارش و RCP 2.6 کمترین میزان کاهش را پیش‌بینی می‌کنند.

در نتیجه، به‌منظور حفظ پایداری منابع آب زیرزمینی و محیط زیست منطقه و نیز حمایت از منافع اقتصادی کشاورزان، اتخاذ تصمیمات مدیریتی مبتنی بر کاهش برداشت از منابع آب زیرزمینی و اصلاح الگوی کشت و سطح زیرکشت، بر پایه نتایج این تحقیق، امری ضروری تلقی می‌شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

References

Abbasi, F., Abbasi, N., & Tavakoli, A. (2016). Water efficiency in the agricultural sector; Challenges and prospects. *Water and Sustainable Development Journal*, *4*(1), 141-144. doi: 10.22067/jwsd.v4i1.67121

Aghajanloo, K., & Fathi Almalou, H. (2024). Local Analysis of Drought and Climate Change Projection in Future Periods under the CMIP6 Model (Case Study: Mazandaran Province). *Journal of Watershed Management Research*, *15*(2), 32-48. [In Persian]

AREEO. (2022). Kermanshah Agricultural Jahad Research Group. p. 19.

Bani Habib, M. E., & Najafi Morghmaleki, S. (2018). Assessment of game and bankruptcy theories to supply environmental water of Hawizeh Wetland. *Iran-Water Resources Research*, *14*(2), 16-34.

Banihabib, M. E., Najafi Morghmaleki, S., & Shabestari, M. H. (2019). An Integrated Water Resources Planning Model for Assessment and Prediction of Environmental Water Supplying Hawizeh Wetland from In Turkey, Iraq and Iran. *Iranian Water Researches Journal*, 13(1), 115-126.

Bayatikhatibi, M., Kakapour, V., & Sadegi, M. (2024). Daily Discharge Prediction Using IHACRES Semi-conceptual Model (Case Study: Gharasoo Basin of Kermanshah province). *Quantitative Geomorphological Research*, 13(3), 104-119.

Choubin, M., & Bashirgonbad, M. (2023). Evaluation of IHACRES, Conceptual Rainfall Runoff Model and Artificial Neural Network Models in Simulation and Stream flow Prediction in Bakhtiary River Basin. *Journal of Watershed Management Research*. *14*(27), 115-122. [In Persian]

Dehghani, R., Chamanpira, R., & Veyskarami, I. (2024). Investigating the Effects of Climate Change on Underground Water Sources (Case Study: Khorram Abad plain). *Iranian Water Researches Journal*, *18*(2). doi: 10.22034/iwrj.2024.14796.2607

Diancoumba, O., Toure, A., Keita, S., Konare, S., Mounir, Z. M., & Bokar, H. (2023). Predicting Groundwater Level Using Climate Change Scenarios in the Southern Part of Mali. *American Journal of Climate Change*, 12(1), 21-38

Fathi, F., & Sebet, M. (2019). Optimum management of crop cultivation in Firouzabad plain in line with the sustainability of water and soil resources using fuzzy planning model. *Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 30(3), 331-345.

Gau, H. S., & Liu, C. W. (2002). Estimation of the optimum yield in Yun-Lin area of Taiwan using loss function analysis. *Journal of Hydrology*, *263*(1-4), 177-187.

Haddad, O. B., & Marino, M. A. (2011). Optimum operation of wells in coastal aquifers. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management*, 164(3), 135-146. Thomas Telford Ltd.

Haddad, R., Banihabib, M. E., Hashemy Shahdany, S. M., Javadi, S., & Najafi, S. (2021). Supplying Environmental Water of Gavkhoni Wetland by Improving Agricultural Water Demand Management. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(2), 345-355.

Haddad, R., Najafi Marghmaleki, S., Kardan Moghaddam, H., Mofidi, M., Mirzavand, M., & Javadi, S. (2025). Improving the management of agricultural water resources to provide Gavkhuni wetland ecological water right in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, *27*(2), 3549-3572.

Homayunpur, B., Goodarzi, M., Zehtabian, Q., Motamedvaziri, B., & Ahmadi, H. (2022). Assessing climate change impacts on groundwater fluctuation in Borkhar Plain, *Isfahan. Watershed Engineering and Management,* 14(4), 465-480. [In Persian]

Jalili, K., & Moradi, H. (2016). Analysis of groundwater balance based on sustainability of agriculture approach in Islamabad plain. *Irrigation and Water Engineering*, 7(1), 110-127.

Jamnani, M. R., Kayhomayoon, Z., Azar, N. A., Milan, S. G., Marghmaleki, S. N., & Berndtsson, R. (2024). Large discrepancy between future demand and supply of agricultural water in northwestern Iran; evidence from WEAP-MODFLOW-machine learning under the CMIP6 scenario. *Computers and Electronics in Agriculture*, 216, 108505.

Jamshidzadeh, Z., & Mirbagheri, S. A. (2011). Evaluation of groundwater quantity and quality in the Kashan Basin, Central Iran. *Desalination*, *270*(1-3), 23-30.

Kermanshah regional water report, 2021). www.kshrw.ir.

Ketabachi, Hamed, Mahmoudzadeh, Daoud, & Elahi, Hamidreza. (2019). Investigating the interaction of urban underground water flow and the construction of subsurface concrete watertight walls with a numerical modeling approach (case study: Karbala city, Iraq). *Iran Water Resources Research*, 16(2), 243-258.

Mojarloo, F., Fazal Ovli, R, & Emadi, A. (2019). Application of IHACRES model to assess the effects of climate change on discharge of Tajan watershed. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage,* 13(1), 129-141.

Meddi, M., & Boucefiane, A. (2013). Climate change impact on groundwater in Cheliff-Zahrez Basin (Algeria). *APCBEE Procedia*, *5*, 446-450.

Mehraban, M., Marghmaleki, S. N., Sarang, A., & Azar, N. A. (2024). Developing climate change adaptation pathways in the agricultural sector based on robust decision-making approach (case study: Sefidroud Irrigation Network, Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(4), 378.

Mohammadi Khayareh, M., & Mazhari, R. (2016). Investigating the mutual impact of economic growth and the development of the agricultural sector in Iran. *Scientific Quarterly Journal of Agricultural Economics Research*, 9(36), 259-282.

Molina, R., Auge, J. M., Farrus, B., Zanon, G., Pahisa, J., Munoz, M., & Velasco, M. (2010). Prospective evaluation of carcinoembryonic antigen (CEA) and carbohydrate antigen 15.3 (CA 15.3) in patients with primary locoregional breast cancer. *Clinical Chemistry*, 56(7), 1148-1157.

Najafi, S., Sharafati, A., & Kardan moghaddam, H. (2022). Evaluating the effect of climate change on groundwater level changes in the Sari-Neka coastal aquifer. *Irrigation and Water Engineering*, *13*(2), 312-332. [In Persian]

Shahoei, S. V., Fahiminezhad, E., & Fatehi, Z. (2020). Impact of global climate change on climate data in Ravansar Sanjabi Basin, Kermanshah Province. *Environment and Water Engineering*, 6(1), 45–57.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]

Sharan, A., Lal, A., & Datta, B. (2023). Evaluating the impacts of climate change and water over-abstraction on groundwater resources in the Pacific island country of Tonga. *Groundwater for Sustainable Development*, 20, 100890

Sharp, M. (1998). Competitiveness and cohesion—are the two compatible. *Research Policy*, *27*(6), 569-588.

Soltani, M., Solaimani, K., Jallili, K., Sadatinejad, S. J., & Shokrian, F. (2023). Investigating Alterations in the underground water level of Ravansar- Sanjabi Plain under CIMP5 climate scenarios. *Desert Ecosystem Engineering*, *11*(37), 71-84. [In Persian]

Trenberth, K.E. (2001). Stronger evidence of human influences on climate: The 2001 IPCC Assessment. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, *43*(4), 8-19.

Zarei, A., Sayari, N., Bakhtiari, B., & Ahmadi, M. M. (2021). Modeling of Precipitation–runoff for Predicting Upcoming Flow Streams in Halilroud Basin. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(1), 143-160.

Zeynali, B., Jalali, T., & Mostafavi, H. (2023). Assessment of the effect of climate change on recharge resulted from precipitation in the Shiramin basin. *Journal of Environmental Science Studies,* 8(2), 6589-6602. [In Persian]

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.61882/jwmr.2025.1297]