



<https://sppl.ui.ac.ir/?lang=en>

Spatial Planning

E-ISSN: 2476-3357

Document Type: Research Paper

Vol. 14, Issue 4, No.55, Winter 2024, pp. 53- 80

Received: 25/05/2024

Accepted: 22/09/2024

Impact of Climate Change on Groundwater in Cham Anjir Aquifer

Maryam Aryasadr¹, Dariush Rahimi² *, Hadi Amiri³, Mehran Zand⁴

1- Ph.D. student, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran
maryam.aryasadr@gmail.com

2- Professor of Hydroclimatology, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Department of Physical Geography, University of Isfahan, Isfahan, Iran
d.rahimi@geo.ui.ac.ir

3- Associate professor, Department of Economics, Faculty of Economics and Administrative Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran
h.amiri@ase.ui.ac.ir

4- Associate Professor, soil conservation and watershed management research institute, agricultural research, education and extension organization (AREEO), Tehran, Iran
zand.m@scwmri.ac.ir

Abstract

Groundwater and aquifers play a crucial role in sustaining human life and ecosystems, serving as vital sources for drinking water, agriculture, industry, and regulation of water and land systems. This study focused on Cham Anjir Basin representative of the Karkheh River to assess the impact of climate change on water resources. We utilized hydroclimatic data, including discharge, water levels, well discharge, number of wells, precipitation, temperature, and groundwater quality parameters, covering the statistical period from 1991 to 2020. To estimate the effects of climate change on water resources, we applied the output from the Lars-WG7 exponential microscale model for the two future periods of

*Corresponding Author

Aryasadr, M., Rahimi, D., Amiri, H., & Zand, M. (2024). Impact of Climate Change on Ground Water in ChamAnjir Aquifer. *Spatial Planning*, 14 (4), 53 - 80 .

2476-3357 © The Author(s).

Published by University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/sppl.2024.141550.1790

2021-2040 and 2041-2060 under optimistic, realistic, and pessimistic scenarios. Our findings indicated significant increases in well withdrawals, temperature, Total Hardness (TH), Sodium Adsorption Ratio (SAR), and sodium percentage in groundwater, alongside a significant decline in discharge. According to the HadCM3 model outputs, rainfall in the basin was projected to increase from 2021 to 2060 compared to the observed period (1991-2020). However, a decrease in rainfall was expected from 2041 to 2060 relative to the previous period (2021-2040). Discharge was anticipated to decline consistently from 2021 to 2060. The regression model relating discharge and precipitation suggested that groundwater levels would decrease during 2021-2060, while groundwater quality indicators (anions, cations, and electrical conductivity) were expected to rise. Given the reliance on groundwater due to limited surface water resources, the impacts of climate change on both the quality and quantity of groundwater were significant. Therefore, advancements in water management, technology, and education would be essential in mitigating the effects of climate change on groundwater resources.

Keywords: Aquifer, Climate Change, Discharge, Cham Anjir, Water Quality.

Introduction

Groundwater and aquifers are essential for the survival of humans and other living organisms, serving as vital sources for drinking water, agriculture, industry, and regulation of ecosystems. Given their importance, it is crucial to protect these resources. Over-extraction of aquifers, pollution from industrial and agricultural effluents, and impacts of climate change are significant factors threatening the quantity and quality of groundwater resources. Climate change poses a serious challenge to water resources as various climatic, human, and geological factors jeopardize groundwater availability. Poor management and over-exploitation of natural resources, particularly in water management, have led to declines in both the volume and quality of water in river headwaters. This issue is particularly evident in the Karkheh River Basin. This study aimed to assess the effects of climate change on groundwater quality in the upper reaches of the Karkheh River, specifically in Cham Anjir Sub-basin in Lorestan Province. Changes in precipitation and temperature, along with the over-extraction of groundwater, had resulted in a decrease in reservoir levels in Cham Anjir Basin. Variations in water levels, precipitation, and discharge also indicated frequent droughts and water shortages in the area. Concurrently, there was a significant upward trend in both minimum and maximum temperatures, while discharge levels were significantly declining. Additionally, recent statistical data revealed an increase in the number of wells in Cham Anjir Basin, highlighting the growing demand for groundwater resources.

Materials & Methods

To investigate the effects of climate change on the quantity and quality of groundwater resources in Cham Anjir Basin, we utilized hydroclimatic data, including discharge, water table levels, well discharge, water quality parameters, precipitation, and temperature. These data were sourced from hydrometric stations, observation wells, meteorological stations, and the statistical yearbook of Lorestan Province, covering the period from 1951 to 2021. For analyzing the future impacts of climate change on water quantity, we employed scenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 from the sixth climate change assessment report, focusing on two timeframes: 2020-2040 and 2040-2060. The LarsWG7 microscale model was also used in this analysis.

In this study, we applied the Z-score method to identify trends in climatic data and water quality parameters and detect data anomalies. Pettitt's Test was utilized for homogenization to determine the turning points in the data. We used correlation coefficients and regression models to identify the most

significant variables and make predictions. Specifically, we analyzed temperature variables (minimum, maximum, and average) and precipitation data from Cham Anjir Basin (Khorramabad Observation Station) using outputs from the IPCC's sixth report and the HadGEM3-GC31-LL atmospheric general circulation model. Multiple correlation analyses were conducted to evaluate the relationships between variables, while R, RMSE, and NRMSE were employed to assess the accuracy of the models.

Research Findings

Analysis of the data trends revealed a significant upward trajectory in temperature, flow rate, groundwater extraction, as well as Total Hardness (TH), sodium percentage (%Na), and Sodium Adsorption Ratio (SAR) in the aquifers of Cham Anjir Basin. The correlation matrix indicated a strong relationship between rainfall, discharge, and water level with a correlation coefficient of $r = 0.91$. The average rainfall during the observation period from 1991 to 2021 was 491.4 mm. According to the sixth climate change report, precipitation in the period from 2021 to 2040 was projected to increase under the long-term average scenarios of SSP1-2.6, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 with the expected rainfall amounts of 135.9, 202.5, and 235.5 mm, respectively. For the period of 2041-2060, the projected rainfall amounts were 173.5, 143.8, and 219.4 mm. Based on the regression model and outputs from the Lars model, as well as the correlation between precipitation and discharge, it was found that both basin levels and discharge were expected to increase in all three scenarios compared to the observation period (1991-2021). However, a decrease in these metrics was anticipated in the period of 2041-2060 compared to 2021-2040, likely due to rising temperatures and increased evaporation, which could lead to reduced discharge and stagnation. Notably, the variability in discharge and water levels in Cham Anjir Basin was closely linked to changes in precipitation and temperature. Human activities, over-extraction of water resources, and rising temperatures were expected to exacerbate these changes, underscoring the urgent need for effective management and planning strategies.

Discussion of Results & Conclusion

As water quantity fluctuates, water quality is also impacted. A decrease in precipitation leads to reduced flow and diminished groundwater discharge, resulting in varying changes in water quality parameters. Specifically, declining groundwater levels significantly influence the concentrations of cations and anions. This decrease in water levels contributes to increases in Total Dissolved Solids (TDS) and Electrical Conductivity (EC) as lower water resistance enhances the concentrations of these elements. The strong correlation between EC and TDS (0.998) in this study indicated that an increase in EC corresponded directly to an increase in TDS. Factors, such as rising temperatures, decreased discharge, and changes in aquifer dynamics, had collectively contributed to the elevation of these parameters. Consequently, the overall water quality in the basin was expected to be adversely affected by climate change. In summary, the interplay between temperature increases, reduced discharge, and shifts in aquifer behavior underscored the significant impact of climate change on water quality within the basin. Continuous monitoring and proactive management strategies will be essential to address these evolving challenges.

مقاله پژوهشی

تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز چم انجیر

مریم آریا صدر، دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

maryam.aryasadr@gmail.com

داریوش رحیمی* , استاد هیدرواقلیم، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

d.rahimi@geo.ui.ac.ir

هادی امیری، دانشیار اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و علوم اداری، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

h.amiri@ase.ui.ac.ir

مهران زند، دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

zand.m@scwmri.ac.ir

چکیده

اضافه برداشت از آبخوان‌ها، تغییر اقلیم، فعالیت‌های انسانی و زمین‌شناسی از جمله عوامل اثرگذار بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی است. در پژوهش حاضر برای ارزیابی تغییر اقلیم بر منابع آب از داده‌های روزانه دبی، ایستابی، تخلیه چاه، بارش، دما و کیفیت آب زیرزمینی (در سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۲۱ آبخوان چم انجیر) در حوضه خرم‌آباد استفاده شد. یافته‌ها نشان داد که در حوضه چم انجیر روند برداشت از چاه، دما و شاخص‌های شیمیایی نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم (% Na) افزایشی معنادار و سختی کل (TH) و روند دبی کاهشی معنادار داشته است. طبق خروجی مدل، تغییرات بارش در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ نسبت به دوره مشاهداتی کاهش و دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دوره مشاهداتی افزایش خواهد داشت؛ اما مقدار دبی در دوره ۲۰۲۱-۲۰۶۰ کاهش خواهد یافت. روند افزایشی دو عنصر SAR و %Na تحت تأثیر کل مواد جامد محلول (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) است. با افزایش TDS و EC میزان SAR و %Na افزایش می‌یابد. همبستگی TDS با %Na و SAR به ترتیب ۰/۷۱۵ و ۰/۶۳۶ و همبستگی بین EC با SAR و %Na به ترتیب ۰/۷۱۳ و ۰/۶۳۵ است. براساس مدل رگرسیون دبی و بارش، سطح ایستابی در دوره‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۶۰ روند کاهشی و عناصر کیفیت آب زیرزمینی (آنیون، کاتیون و هدایت الکتریکی) روند افزایشی خواهد داشت. نتیجه این تغییرات کاهش کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی و افزایش تنش‌های آبی است؛ بنابراین بازنگری در مدیریت و تخصیص منابع آب، سازگاری با تغییر اقلیم، مدیریت الگوی کشت، افزایش راندمان آبیاری و تعامل با جوامع محلی و ذی‌نفعان می‌تواند در بهبود شرایط مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، تغییر اقلیم، دبی، کیفیت آب، حوضه چم انجیر.

*نویسنده مسئول

آریا صدر، مریم، داریوش، امیری، هادی، زند، مهران. (۱۴۰۳). تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز چم انجیر. *برنامه ریزی فضایی*، ۱۴ (۴)، ۵۳-۸۰.



مقدمه

منابع آب زیرزمینی در مناطق خشک در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت نقش دارند. اضافه برداشت از آبخوان‌ها، آلودگی آبخوان‌ها با پساب‌های صنعتی و کشاورزی و تغییر اقلیمی از جمله عوامل اثرگذار بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی است. تغییر اقلیم یک تهدید بالقوه برای منابع آب زیرزمینی (Elçi, 2011) به‌ویژه در عرض‌های میانی و مناطق خشک و نیمه‌خشک است (Allen et al., 2019). با گرمایش جهانی 1.5°C رخداد خشکسالی کشاورزی در شمال آمریکای جنوبی، مدیترانه، غرب چین، اوراسیا و آمریکای شمالی افزایش یافته است؛ به‌طوری که تا پایان قرن ۲۱ جمعیت جهانی در معرض افزایش خشکسالی هیدرولوژی بین ۳٪ تا ۸٪ قرار خواهد گرفت (Parmesan et al., 2022). پیامد رخداد تغییر اقلیم در مناطق خشک ابتدا منجر به کاهش بارش، افزایش دما، افزایش تبخیر و تعرق، افزایش تقاضا آب، افت تراز آب زیرزمینی، فرونشست زمین و درنهایت، افزایش مواد شیمیایی آب و افت کیفیت آن و سپس تمامی این تغییرات باعث کاهش تولید محصولات کشاورزی، بحران غذا و بحران اقتصادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌شود (Pardo & Durán-Romero, 2022; Shukla et al., 2019; Kamal et al., 2021). منابع آب زیرزمینی به‌طور مستقیم (تعامل با آب‌های سطحی) و غیرمستقیم (تغییر در حجم تغذیه) با تغییر اقلیم مرتبط هستند. طبق گزارش IPCC در سال 2022 افزایش CO_2 باعث گرمایش اقلیم و افزایش تبخیر می‌شود. افزایش یخچال‌ها تحت‌تأثیر تغییر اقلیمی و گرمایش کره زمین از پایان قرن ۲۰ و آغاز قرن ۲۱ منجر به کاهش رواناب و تغذیه آب زیرزمینی شده است. در این میان، برداشت از آب‌های سطحی و زیرزمینی برای مصرف‌های شرب، کشاورزی و صنعت نیز منجر به تغییر چرخه آب شده است (Parmesan et al., 2022). ادامه روند فعلی افزایش دما منجر به ذوب تقریباً ۷۵٪ از یخچال‌های طبیعی هیمالیا تا سال 2035، کاهش ۱۰٪ بارش و ۱۷٪ رواناب در افریقا تا سال 2050 و کاهش آب‌های شیرین می‌شود (Misra, 2014). همچنین، افزایش تبخیر و نیاز آبی، کاهش میانگین بارندگی سالانه و افزایش خشکسالی‌ها منجر به کاهش ۸۰٪ تغذیه آبخوان، نفوذ آب شور به آبخوان‌ها و افزایش غلظت آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی نیز می‌شود (ساری صراف و جلالی، ۱۳۹۸؛ رستگار و پایمزد، ۱۳۹۹؛ Mahato et al., 2022; Kusangaya et al., 2014; Moseki, 2017; Watts et al., 2015; Kumar, 2012; Rouhani & Jafarzadeh, 2018).

ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های ایران (برخوار اصفهان، یزد-اردکان، ساری، کرمان، شریف‌آباد، سیلاخور، لنجان، قره‌سو، قروه و رامین) و ایندوس در پاکستان، مراکش، هند و چین نشان داد که کاهش بارش، خشکسالی‌های بلندمدت، افزایش تبخیر و افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی منجر به کاهش سطح ایستابی و افت شدید کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۵؛ کماسی و همکاران، ۱۳۹۵؛ کرمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ مفتاح حلقی و همکاران، ۱۳۹۷؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۸؛ فروتن و گلپایگانی، ۱۳۹۹؛ کامیابی و عبدی، ۱۳۹۹؛ باقری و همکاران، ۱۴۰۰؛ جعفری گدنه و همکاران، ۱۴۰۰؛ مازابی و حافظ پرست، ۱۴۰۰؛ امیری، ۱۴۰۱؛ سراج ابریمی و همکاران، ۱۴۰۱؛ عباس نوین پور و همکاران، ۱۴۰۱؛ همایون پور و همکاران، ۱۴۰۱؛

Choubin et al., 2016; AitBrahim et al., 2017; Ouhamdouch et al., 2019; Hssaisoune et al., 2020; Xu et al., 2020; Mondal et al., 2021; Ahmed et al., 2021; Singh & Singh, 2021; Prodhan et al., 2022; Rahimi

(Mokarram, 2012 &). علاوه بر آن، رخداد بارش‌های سنگین و ذوب ناگهانی برف منجر به افزایش سختی آب، آمونیاک و EC آب‌های زیرزمینی و سطحی (منبع تغذیه‌کننده) می‌شود (احمدی خلیجی و همکاران، ۱۳۹۲؛ پیامی و همکاران، ۱۴۰۰؛ Mahmoodi et al., 2021 Barbieri et al., 2023).

افت کیفیت آب زیرزمینی در پایاب رودخانه‌ها و دشت‌های ساحلی به دلیل به هم خوردن تعادل تغذیه و برداشت ناشی از تغییر اقلیم (با کاهش بارندگی و افزایش خشکسالی، افزایش دما) و فعالیت‌های انسانی (تغییر کاربری اراضی، پیشروی آب شور کویر مجاور، برداشت بیش از حد از آب زیرزمینی) منجر به بحرانی‌شدن کیفیت، افت تراز آبخوان و شوری آن خواهد شد. دشت‌های داراب در استان فارس (اسدی زارچ و همکاران، ۱۳۹۹)، آبخوان ساحل بندر گز (انصاری فر و همکاران، ۱۳۹۸)، دشت بسطام-شاهرود (رحیمی و موسوی، ۱۳۹۲) و بخش جنوبی حوضه آبی کرخه (AshrafVaghefi et al., 2014) نمونه‌هایی از تأثیر تغییر اقلیم و آنتروپوسن بر کیفیت و حجم منابع آب زیرزمینی هستند؛ بنابراین برای پایداری منابع آب باید برنامه منسجم و پویا در بخش‌های مختلف مصرف آب مبتنی بر معیارها و ویژگی‌های منطقه‌ای و محلی داشت. باتوجه به رخداد خشکسالی‌های متوالی و افزایش دما درحوزه کرخه و نیز براساس نقشی که منابع آب در تأمین امنیت غذایی و سلامت بشر دارد، محققان در پژوهش حاضر کوشیده‌اند تا اثر تغییر اقلیم را بر کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی زیرحوضه چم انجیر بررسی کنند.

مبانی نظری پژوهش

به‌طور کل به تمامی تغییرات به‌وجودآمده در متغیرهای اقلیمی که ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای باشد، تغییر اقلیم اطلاق می‌شود (Osvaldo, 2007). تغییر اقلیم منجر به تغییر آمار بلندمدت عناصر آب‌وهوایی (دما، فشار یا باد) طی چندین دهه یا بیشتر می‌شود (American Meteorological Society, 2024). ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد. تغییر اقلیم می‌تواند تأثیرات شگرفی بر منابع آب و اکولوژی آب‌های شیرین داشته باشد و این خود مسئله‌ای است که بیشتر مناطق جهان را در آینده‌ای نه‌چندان دور وارد ابعاد تازه‌ای از چالش می‌کند. افزایش غلظت‌های گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسید کربن باعث تغییراتی در رژیم بارش و دمای هوا شده است که این خود اثرهای زیانباری بر روی منابع آبی دارد (Osvaldo, 2007). تغییر اقلیم بر روی تقاضای آب (به‌خاطر افزایش دما) و عرضه آب (موازنه در افزایش CO₂ تبخیر تعرق و ریزش) اثرگذار است. براساس گزارش ششم IPCC (2022) درحال حاضر بحران آب و کمبود آن در نیمی از جهان ناشی از عوامل اقلیمی (دما، کاهش بارش، سیل، آتش‌سوزی، گردوغبار، آلودگی هوا) و عوامل غیر اقلیمی (رشد جمعیت، تغییر کاربری اراضی جنگل‌زدایی و از بین رفتن تنوع زیست‌محیطی) است که بر اکوسیستم، سلامت و زیرساخت‌ها اثر نامطلوب برجا گذاشته است. در این گزارش تعداد افراد آسیب‌پذیر به نوسان‌های اقلیمی ۳,۳ تا ۳,۶ میلیارد نفر تخمین زده شده است (Parmesan et al., 2022). زمانی که کیفیت آب برای استفاده در بخش‌های مختلف مصرف کاهش یابد و به‌دنبال آن سلامت و محیط زیست را تهدید کند، آن آب آلوده شناخته می‌شود (ولایتی، ۱۳۸۳، ص. ۱۴۵). در بررسی کیفیت آب شوری (EC)، اسیدیته (PH)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، پتاسیم (K)، منگنز (Mn)، بر (B)، سولفات (SO₄)، بی‌کربنات

(HCO₃)، کربنات (CO₃)، کلر (Cl)، سولفید (S) بررسی می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۷، ص. ۸۱۲). طی سال‌های اخیر حوضه کرخه نیز تحت تأثیر این تغییرات بوده و خشکسالی‌های سال‌های اخیر باعث کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش جریان رودخانه‌ها در حوضه کرخه شده است. باتوجه به نیاز به منابع آب و عدم تطابق زمان بارندگی در زمان مصرف عواملی چون فشار بر منابع آب زیرزمینی، افزایش حفر چاه و آسیب‌های بهداشتی، محیطی و اجتماعی-اقتصادی افزایش پیدا می‌کند.

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش با روش تجربی انجام شده است. بدین صورت که پس از جمع‌آوری منابع نظری و تهیه پایگاه داده روند رخداد تغییر اقلیم آشکارسازی و سپس ارتباط عناصر اقلیمی با ضریب همبستگی پیرسون و نیز با شاخص‌های کیفیت و کمیت منابع آب ارزیابی و درنهایت، عناصر هیدرو اقلیم در آینده با کمک خروجی مولد ریزمقیاس LarsWG7 و رگرسیون چندمتغیره پیش‌نگری شد. در این مطالعه برای آشکارسازی اثرهای تغییر اقلیم بر کمیت و عناصر کیفیت منابع آب زیرزمینی زیرحوضه چم انجیر از داده‌های هیدرو اقلیمی دبی، سطح ایستابی، تخلیه چاه، بارش در ایستگاه هیدرومتر، چاه‌های مشاهداتی، ایستگاه هواشناسی و سالنامه آماری استان لرستان در دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۲۱ استفاده شد (جدول ۱ و شکل ۱). همچنین، در پژوهش حاضر برای آشکارسازی تغییر اقلیم و تحلیل اثر اقلیمی آینده بر منابع آب از گزارش ششم تغییر اقلیم و خروجی مولد ریزمقیاس LarsWG7 (با سناریوهای موجود در این مولد اقلیمی) (SSP1-2/6, SSP2-4/5, SSP5-8/5) استفاده شد. سال‌های ۱۹۹۱-۲۰۲۱ دوره مشاهداتی و دو دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰ دوره آتی هستند. در این مطالعه عناصر کیفیت آب Kation, EC, % NA, PH, HCO₃, TDS, TH, SAR, Anion باتوجه به پارامترهای هیدرو اقلیمی دبی، سطح ایستابی، تخلیه چاه و بارش در دوره ۱۴۰۰-۱۳۸۱ بررسی شد.

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری درحوضه آبخیز چم انجیر

Table 1: Location of weather and hydrometric stations of Cham-Anjir subbasin

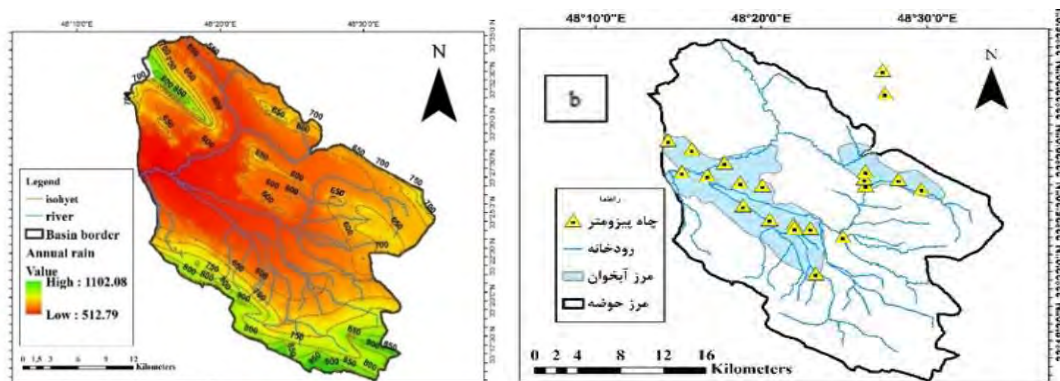
نام ایستگاه	دوره آماری	عرض	طول	ارتفاع	نوع ایستگاه
خرم‌آباد	۱۹۵۱-۲۰۲۱	۳۳/۴۴	۴۸/۲۸	۱۱۴۷/۸	هواشناسی
ایمان‌آباد	۲۰۰۶-۲۰۲۱	۳۳/۴۴	۴۸/۳۷	۱۵۰۰	هواشناسی
چم انجیر	۱۹۵۱-۲۰۲۱	۳۳/۴۴	۴۸/۲۵	۱۱۲۷	هیدرومتری

منبع: سازمان هواشناسی کشور و شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان لرستان، ۱۴۰۰

محدوده مطالعه شده

حوضه آبخیز خرم‌آباد از زیرحوضه‌های کرخه است (شکل ۱). در این مطالعه ایستگاه چم انجیر در پایاب حوضه خرم‌آباد برای تحلیل شرایط هیدرو اقلیمی بررسی شده است. زیرحوضه خرم‌آباد به دلیل تغییر اقلیم، تمرکز جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی با بحران کاهش حجم و کیفیت منابع آب روبه‌روست. تراز سطح آبخوان چم انجیر در ماه خشک بین ۱۱۳۵/۹۲ تا ۱۳۱۷/۲۳ m و در ماه تر بین ۱۱۳۶/۱۱ تا ۱۳۱۸/۱۷ m تغییر می‌کند. سطح ایستابی در هر دو

ماه خشک و تر در نواحی شمالی و شمال غربی آبخوان پایین می‌آید و سپس به سمت جنوب شرق افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده جهت جریان زیرزمینی در راستای جنوب شرق به سمت شمال غرب است. ماه خشک در نواحی شرقی آبخوان ۱۴ m- و نواحی غربی ۲ m- افت سطح ایستابی داشته است. میزان نفوذ مستقیم از بارندگی بر سطح آبخوان خرم آباد معادل ۷/۲۱ mcm و میزان نفوذ از جریان‌های سطحی ۱/۰۷ mcm برآورد شده است. میزان نفوذ آب برگشتی از آبیاری و آب شرب - صنعت به ترتیب ۳/۹۳ و ۳/۹۶ mcm است. میزان آب تخلیه شده با منابع آب زیرزمینی ۲۲/۲۴ mcm در سال است. حجم آب تبخیر شده از آبخوان باتوجه به عمق بیش از ۵ m سطح آب زیرزمینی صفر است. به طور کلی، میزان تخلیه از منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی حدود ۸۴/۴۲ mcm است که در حدود ۶۶/۴۴ mcm از منابع موجود در مخازن آبرفتی و ۱۷/۹۸ mcm آن از مخازن سازند سخت برداشت می‌شود. میزان مصرف از منابع آب زیرزمینی در حدود ۷۶/۰۴ mcm است که ۶۴/۴۵ mcm از چاه‌ها، ۰/۱۶ mcm از قنوات و ۸/۴۳ mcm از چشمه‌ها برداشت و در بخش‌های مختلف مصرف می‌شود. میزان برداشت در بخش کشاورزی معادل ۴۸/۱۳ mcm، در بخش شرب برابر با ۲۲/۱۷ mcm و در بخش صنعت معادل ۵/۷۴ mcm است (شرکت مهندسين مشاور سنگاب زاگرس، ۱۳۹۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز چم انجیر (منبع: نگارنده)

Fig 1: Geographical location of Cham Anjir watershed

برای آشکارسازی روند داده‌های اقلیمی و عناصر کیفیت آب، آنومالی داده‌ها از روش Z-score (رابطه ۱) و برای تعیین نقاط تغییر از آزمون همگن‌سازی (Pettitt's-Test) استفاده شده است (رابطه ۲).

$$z - value = (x_i - \bar{x}) / \delta i \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$K_T \max |U_{t,T}|, \quad U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad p \approx 2 \exp\left(\frac{-6 K_T^2}{T^3 + T^2}\right) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه ۱ x_i مقدار سالانه متغیر مدنظر، $\bar{X}$ متوسط بلندمدت سالان متغیر مدنظر، δ انحراف معیار است.

در رابطه ۲ $U_{t,T}$ نقطه تغییر و K_T سطح معناداری است (صابری و همکاران، ۱۴۰۲).

متغیرهای دما (کمینه، بیشینه و متوسط)، بارش و ساعات آفتابی حوضه چم انجیر (ایستگاه همدید خرم‌آباد) با استفاده از خروجی گزارش ششم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم با مولد ریزمقیاس Lars-WG7 و خروجی مدل

ACCESS-ESM1-5 پیش‌بینی شد. برای ارزیابی ارتباط‌سنجی بین متغیرها از همبستگی چندگانه و برای بررسی دقت مدل‌ها از رابطه‌های ۳ و ۴ و ۵ استفاده شده است.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x}) \cdot (yi - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (yi - \bar{y})^2}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi - yi)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$NRMS = \frac{RMSE}{\max(Xi) - \min(Yi)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در روابط ۳، ۴ و ۵ مقدارهای مشاهداتی و Yi مقدارهای برآورد شده است. براساس رابطه ۳ (رابطه ضریب همبستگی) هرچه عدد محاسبه شده نزدیک به یک باشد، نشان‌دهنده شبیه‌سازی بهتر مدل است. چنانچه مقدارها در شاخص‌های راست‌آزمایی رابطه ۴ کمتر از ۱۰٪ باشد، برآورد مدل عالی، بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ خوب، بین ۲۰٪ تا ۳۰٪ ضعیف و چنانچه بیش از ۳۰٪ باشد، داده‌های مدل نامطمئن است (حبیبی و کلاهی ۱۴۰۱؛ Hasheminasab et al., 2022).

برای ارزیابی تأثیر عناصر اقلیمی بر دبی رودخانه، چاه‌ها، سطح ایستابی و کیفیت آب از مدل رگرسیون چندمتغیره خطی استفاده و درنهایت، اثر تغییر اقلیم و تغییر کمیت آب بر کیفیت آب زیرزمینی در آینده با انتخاب دوره آماری مشترک بین داده‌های اقلیمی، دبی، ایستابی و کیفیت آب زیرزمینی و براساس مدل ساخته شده پیش‌بینی شد.

$$y = ax_1 \dots ax_n + b + e \quad \text{رابطه (۶)}$$

در رابطه ۶ y متغیر وابسته، $x_1 x_n$ متغیر مستقل و e مقدار خطاست (دلاور، ۱۴۰۲، ص. ۱۸۰).

آزمون Pettitt's-Test

آزمون پتیت یک آزمون ناپارامتریک است که به هیچ فرضی درباره توزیع داده‌ها نیاز ندارد. تست پتیت اکتباسی از تست من ویتنی مبتنی بر تانک است که امکان شناسایی زمانی را می‌دهد. Pettitte در مقاله خود در سال ۱۹۷۹ فرضیه صفر را اینگونه توصیف می‌کند که متغیرهای T از توزیع F یکسانی پیروی می‌کنند و فرضیه جایگزین این است که در زمان t تغییری در توزیع وجود دارد. با وجود این تست، Pettitte تغییری را در توزیع در صورت عدم تغییر مکان تشخیص نمی‌دهد (Pettitt, 1979).

مدل LARS-WG

LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا و نیز یکی از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) است. این مدل کاربرد بسیاری در پیش‌آگاهی تغییرات اقلیمی آینده دارد و برای شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد. درحقیقت، ابزار واسطی است که برای حرکت از پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس به پیش‌بینی‌شونده‌ها در مقیاس محلی به کار می‌رود. مبنای این مدل طول دوره خشک و تر،

بارش روزانه و سری‌های تابش و توزیع نیمه تجربی است (Semenov, 2008). این مدل برای کاهش مقیاس داده‌های اقلیمی در مقیاس کلان (AOGCM, GCM) پیش‌بینی مناسبی از داده‌ها را در مقیاس منطقه‌ای ارائه می‌دهد (Semenov & Stratonovitch, 2015). مدل LARS-WG7 از ۳ مدل GCM (ACCESS-ESM1-5, HadGEM3-) و ۳ سناریوی انتشار خوش‌بینانه (SSp1-2/6)، واقع‌بینانه (SSP2-4/5) و بدبینانه (SSP5-8/5) برای دوره‌های ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ بهره می‌گیرد.

یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

الف) روند تغییر کیفیت آب

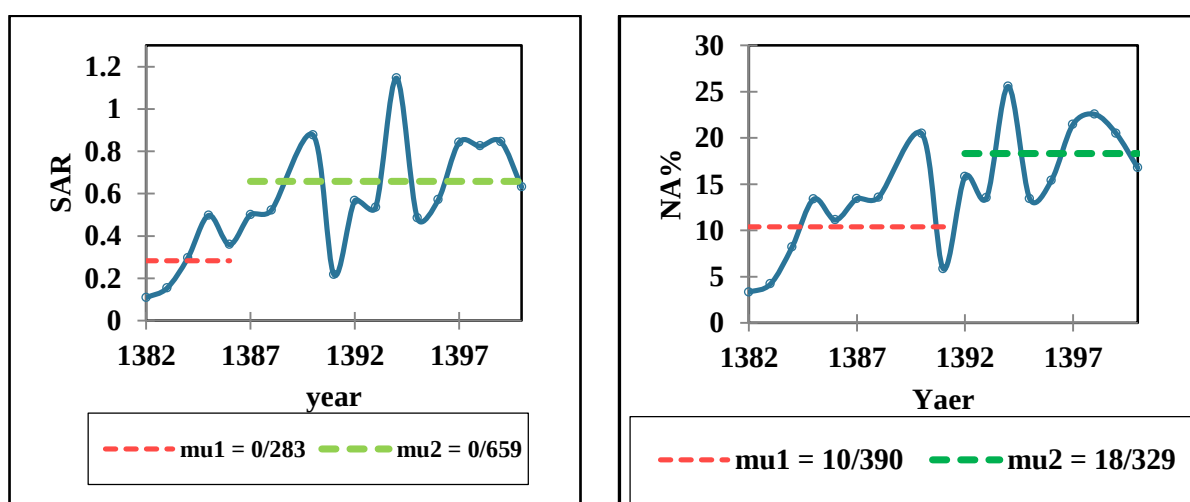
در ارزیابی روند تغییر غلظت عناصر فیزیکی - شیمیایی آب در منطقه از پارامترهای کاتیون، آنیون، غلظت املاح محلول، سختی آب، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم و هدایت الکتریکی و برای ارزیابی روند تغییرات از آزمون ناپارامتری Pettitt در سطح اطمینان ۹۵٪ و آلفای ۰/۰۵ استفاده شده است (جدول ۲). نتایج نشان داد که ۳ پارامتر غلظت سدیم، نسبت جذب سدیم و درجه سختی آب روند معنادار و نقاط تغییر را دارند. پارامترهای نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم (% Na) روند افزایشی و معنادار را نشان می‌دهند (شکل ۲).

جدول ۲: سطح معناداری آزمون P test کیفیت آب زیرزمینی در دوره ۱۴۰۰-۱۳۸۱

Table 2: Significance level of the P test of ground water quality in the period 2001-2020

GWQ	TH	NA%	SAR	TDS	Anion	Kation	EC
mean	۲۴۴/۴۵	۱۳/۷۵	۰/۵۳	۳۸۶/۲۹	۵/۷۷	۵/۷۹	۶۰۰/۰۶
P-value	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸	۰/۰۲۸	۰/۱۴۶	۰/۷۶۱	۰/۹۵۹	۰/۱۶۳

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

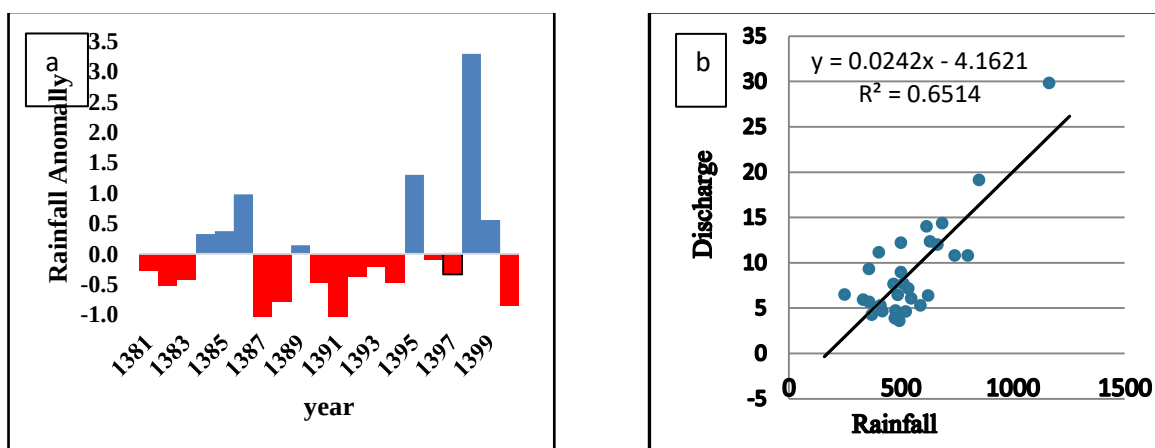


شکل ۲: روند پارامترهای کیفیت آب زیرزمینی حوضه آبخیز چم انجیر براساس آزمون Pettitt (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

Fig 2: Trend of groundwater quality parameters of Cham Anjir basin based on Pettitt test

ب) روند داده‌های بارش

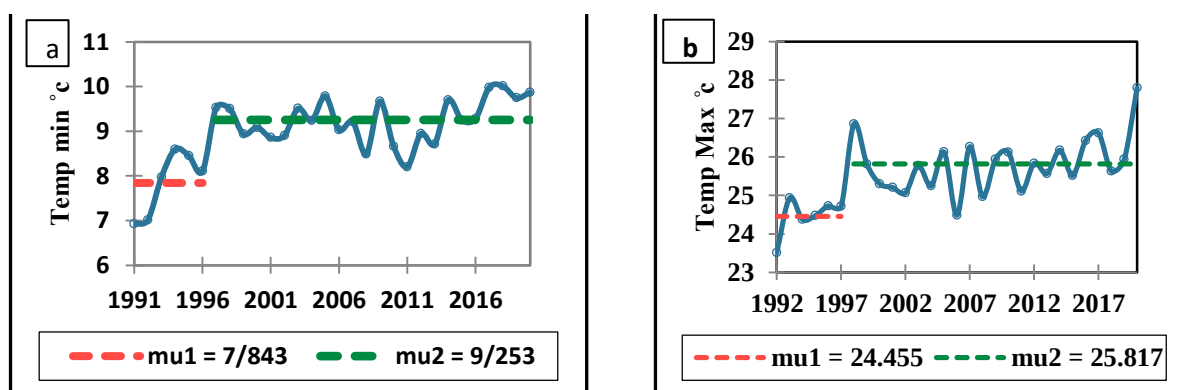
بارش سالانه حوضه $560/7 \text{ mm}$ و ضریب تغییرپذیری آن 33% است. نتایج روندیابی تغییرات بارش در سطح اطمینان 95% در نقاط تغییر (Pettitt's-test) نشان داد که بارش سالانه بدون روند است ($P\text{-value} = 0/7$). آنومالی بارش‌ها (۱۴۰۰-۱۳۸۱) نشان داد که احتمال رخداد خشکسالی 65% است. این کاهش بارش‌ها تأثیر مستقیمی بر دبی رودخانه داشته است ($R=0/81$, $R^2=0/65$). مدل رگرسیون دبی و بارش در **شکل ۳** نمایش داده شده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر نوع تغییر در میزان بارش تأثیر مستقیمی بر میزان آبدهی حوضه داشته است؛ به‌طوری که میزان دبی در خشکسالی‌های بلندمدت کاهش می‌یابد و منجر به کاهش کیفیت آب در حوضه می‌شود.



شکل ۳ (a): آنومالی بارش سالانه (b) مدل رگرسیون دبی و بارش حوضه آبخیز چم انجیر ۱۴۰۰-۱۳۸۱ (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)
Fig 3 (a): Annual rainfall anomaly. (b): rainfall-discharge regression model of Cham Anjir Basin (2001-2020)

روند تغییرات دمای کمینه و بیشینه

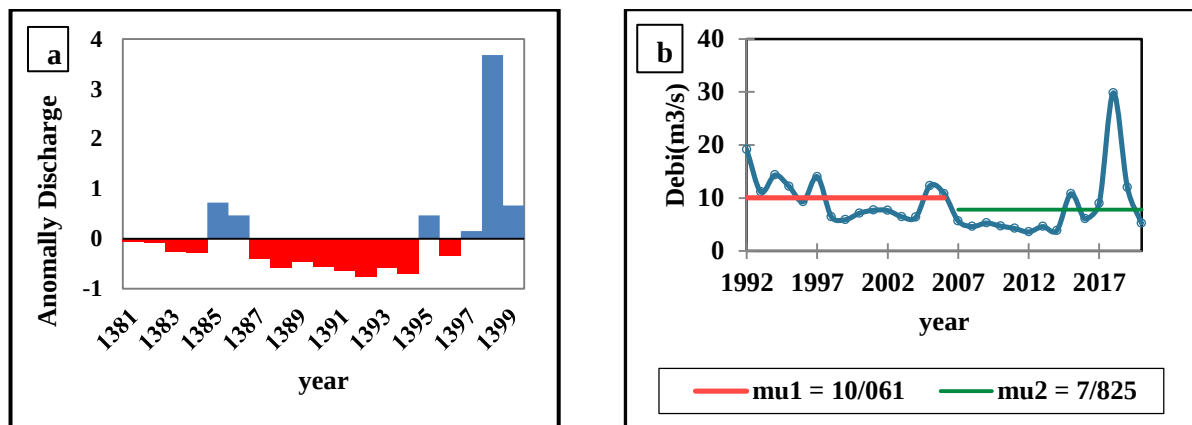
نتایج آزمون نقاط تغییر (Pettitt's=Test) در سطح خطای $0/05$ نشان می‌دهد که دمای کمینه و بیشینه حوضه تغییرات معناداری دارد. همچنین، نتایج آزمون نشان می‌دهد که دمای کمینه حدود $1/4$ درجه سلسیوس و دمای بیشینه $1/5$ درجه سلسیوس افزایش یافته است (**شکل ۴**). براساس آزمون Pettitt's تغییرات اقلیمی درحوضه چم انجیر رخ داده است.



شکل ۴ (a): روند کمینه دما (b) روند بیشینه دما در آزمون پتیت حوضه آبخیز چم انجیر (1991-2020) (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)
Fig 4 (a): Minimum temperature trend. (b): Maximum temperature trend in Pettitt's test of Cham Anjir sub-Basin (1991-2020)

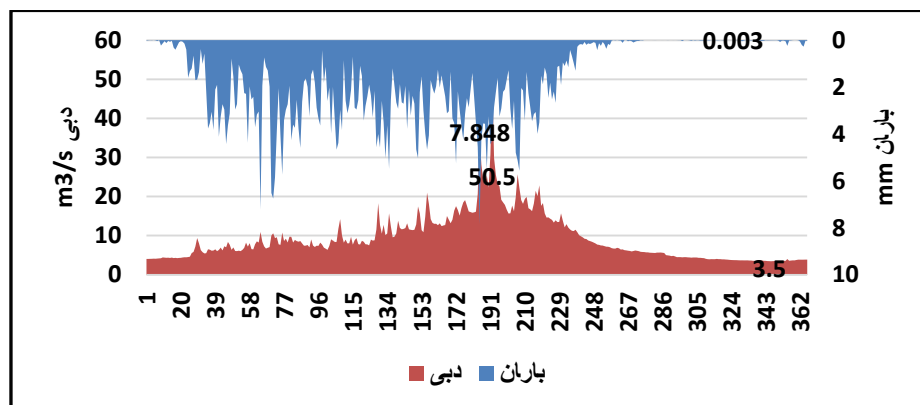
ت) روند تغییرات آب‌های سطحی

آبدهی سالانه در زیرحوضه چم انجیر $9/2$ متر مکعب در ثانیه با ضریب تغییرپذیری $60/5\%$ گویای تغییرات شدید آب‌های سطحی رودخانه است. آنومالی دبی سالانه حوضه آبخیز چم انجیر طی دوره $1381-1400$ در خشکسالی‌های هیدرولوژیک (SDI) نیز نشان داد که 70% خشکسالی‌های اقلیمی همزمان با خشکسالی هیدرولوژی است (شکل ۵-الف). بررسی روند داده‌ها نشان داد که دبی رودخانه روند معنادار کاهشی داشته است (شکل ۵-ب). نمودار هایتروگراف روزانه دبی و بارش حوضه چم انجیر در روزهای پربارش جریان بیشتر است و در روزهای کم‌بارش که زمان مصرف آب نیز زیاد است، دبی کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، رژیم جریان آب‌های سطحی در حوضه چم انجیر متناسب با روزهای بارش حوضه است (شکل ۶). باتوجه به افزایش دما، کاهش بارش، رخداد خشکسالی‌های متوالی و کاهش دبی رودخانه درحوزه مطالعه‌شده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در حوضه چم انجیر اتفاق افتاده است.



شکل ۵ (a): آنومالی دبی سالانه حوضه آبخیز چم انجیر (۱۳۸۱-۱۴۰۰). (b): روند دبی حوضه چم انجیر (۱۹۹۱-۲۰۲۰) (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

Fig 5 (a): Annual discharge anomaly (2000-2020). (b): discharge trend of Cham Anjir basin during the period (2000-2020)

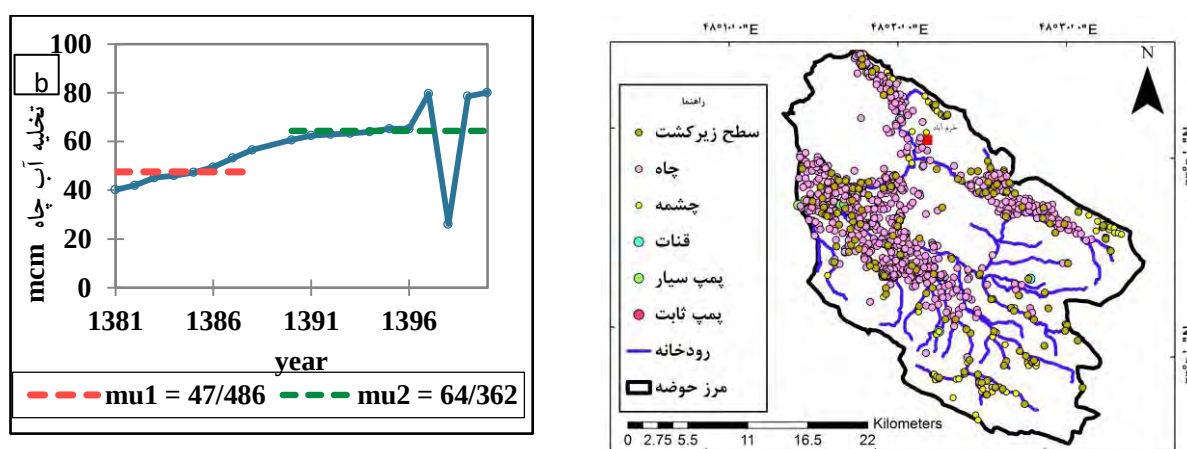


شکل ۶: هایتروگراف بلندمدت روزانه چم انجیر طی سال آبی ۹۹-۱۳۷۰ (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

Fig 6: Daily long-term hydrograph of Cham Anjir basin during 1991- 2021

پ) روند تخلیه چاه و سطح ایستابی

بیش از ۵۲٪ منابع آب حوضه از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. برداشت از آب‌های زیرزمینی در این حوضه با ۱۴۳۰ حلقه چاه (۶۹۲ چاه عمیق و ۷۳۸ حلقه چاه نیمه‌عمیق)، ۲۵ رشته قنات و ۷۶۲ دهنه چشمه انجام می‌گیرد. یافته‌ها نشان داد که تعداد چاه‌ها در دوره آماری ۱۴۰۰-۱۳۷۰ از ۵۹۹ (۱۹۹۱) به ۱۴۳۰ حلقه چاه در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته است (شکل ۷-الف). بیشترین افزایش در دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ بوده است که از ۷۴۳ حلقه به ۱۴۳۰ افزایش یافته است. این دوره زمانی منطبق با خشکسالی بلندمدت (۱۳۹۴-۱۳۸۷) است. تراز آب ۱۳ سال پایین‌تر از نرمال بوده است. حفر بیشتر چاه‌ها و فشار بیشتر بر آب‌های زیرزمینی منجر به کاهش سطح ایستابی شده است. نتایج آزمون نقاط تغییر نشان داد که روند تخلیه در حوضه چم انجیر افزایشی و معنادار است ($P\text{-value} = 0/01$) (شکل ۷-ب).



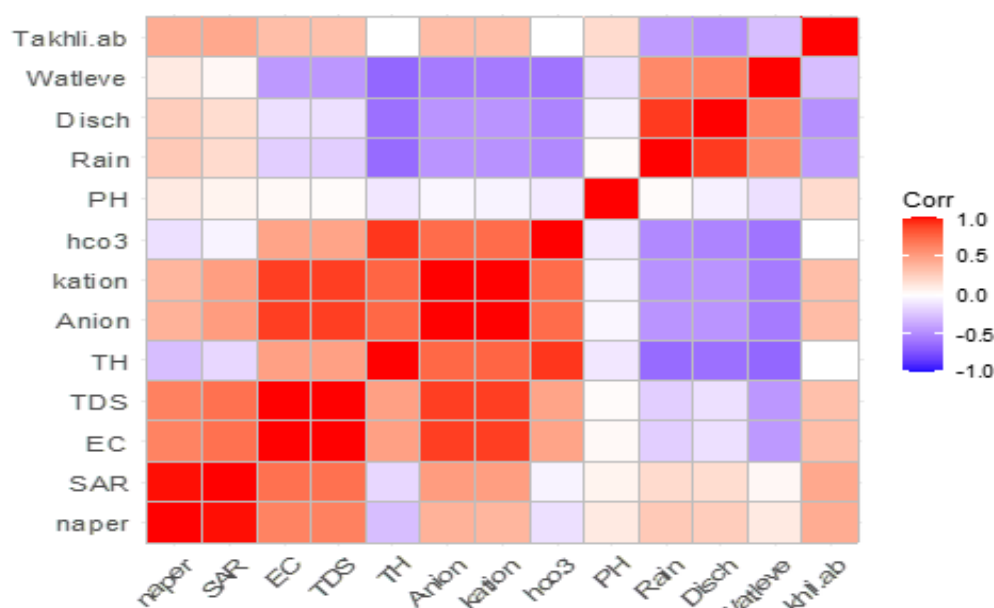
شکل ۷ (a): بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی حوضه آبخیز چم انجیر در سال (۱۴۰۰). (b) روند تخلیه آب حوضه چم انجیر (۱۴۰۰-۱۳۸۱)

براساس PETTITT test (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

Fig 7 (a): Exploitation of underground water sources of Cham Anjir basin (2020). (b): Water discharge process of the Cham Anjir (2000-2020) based on PETTITT test

ارزیابی و برآورد عناصر فیزیکی - شیمیایی آب زیرزمینی با عناصر هیدرو اقلیم

برای ارزیابی اثر عناصر هیدرو اقلیم بر کیفیت منابع آب زیرزمینی از آزمون همبستگی و رگرسیون پیرسون چندمتغیره استفاده شد (شکل ۸). میزان همبستگی بین متغیرهای بارش، دبی، ایستابی با مجموع عناصر کاتیون به ترتیب $0/470$ ، $0/457$ و $0/568$ و با مجموع عناصر آنیون $0/466$ ، $0/458$ و $0/569$ است. همبستگی بین متغیرهای بارش، دبی، ایستابی با عنصر TH $0/466$ ، $0/620$ و $0/663$ نشان‌دهنده افزایش سختی آب با کاهش بارش، دبی و ایستابی است. با افزایش Na % میزان SAR افزایش می‌یابد. میزان همبستگی بین این عناصر $0/988$ است. همچنین، با افزایش TDS و EC میزان SAR و Na % افزایش می‌یابد. همبستگی TDS با Na % و SAR به ترتیب $0/715$ و $0/636$ و همبستگی بین EC با SAR و Na % به ترتیب $0/713$ و $0/635$ است.



شکل ۸: ماتریس همبستگی عناصر کیفیت و کمیت آب زیرزمینی، باران و دبی روخانه درحوزه چم انجیر (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

Fig 8: Correlation matrix of elements of quality and quantity of groundwater, rain and runoff in Cham Anjir basin

مدل برآورد کیفیت آب (رگرسیون چندمتغیره)

نتایج ماتریس همبستگی نشان می‌دهد که عوامل هیدرو اقلیمی مؤثر در تغییر کیفیت آب زیرزمینی حوضه چم انجیر وابسته به دبی رودخانه، بارش و سطح ایستابی است. عناصر آنیون، کاتیون، مواد جامد محلول (TDS)، هدایت الکتریکی (EC)، درصد سدیم (%Na)، نسبت جذب سدیم (SAR) و سختی کل (TH) از مهم‌ترین عناصر فیزیکی - شیمیایی منابع آب زیرزمینی بوده است که تغییرات هریک از عوامل هیدرو اقلیم و شاخص‌های آب بر کیفیت آب تأثیر مستقیم دارد؛ بنابراین باتوجه به میزان ضریب تعیین محاسباتی، مدل‌های مختلف برآورد شده و متغیرهای کیفیت آب برای انتخاب مدل بهینه مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج آزمون همبستگی و ضریب تعیین متغیرها در [جدول ۳](#) ارائه شده و سپس متغیرهای کیفیت آب برای انتخاب مدل بهینه و بهترین برازش داده‌ها مورد آزمون قرار گرفته است^۱ ([جدول ۳](#)).

^۱ - سایر شاخص‌ها با عنوان آنیون و کاتیون ارزیابی شده است.

جدول ۳: مدل رگرسیون چندمتغیره برآورد کیفیت آب زیرزمینی درحوزه چم انجیر

Table 3: Regression model of discharge, water level and parameters of groundwater quality

	parametric	P-value	R	R ²	Regression model
Ds	Dis-sur	۰/۰۰	۰/۹۱	۰/۸۳	$Ds = -7/952 + 0/0288 (Rain)$
WL	Water- Level	۰/۰۵	۰/۶۳	۰/۳۹	$WL = -3/45 + 0.0015(Rain) + 0/1109(Ds) + 0/0028(DG)$
E	EC	۰/۰۰	۰/۹۸	۰/۹۷	$EC = 140/6 - 0/848(T) - 0/14(Rain) + 0/7.9 (Ds) - 9/2 (WL)$
T	TH	۰/۰۰	۰/۹۴	۰/۸۷	$T = 181/7 + 25/3 (Ca) - 0/99(DG)$
An	Anion	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۸	$An = -1/22 + 0/008 (E) + 0/009 (T) + 0/001 (Rain) - 0/065 (Ds) + 0/07(WL)$
Ca	Cation	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۸	$Ca = -1/06 + 0/008 (E) + 0/009 (T) + 0/001 (Rain) - 0/053(Ds) + 0/075(WL)$

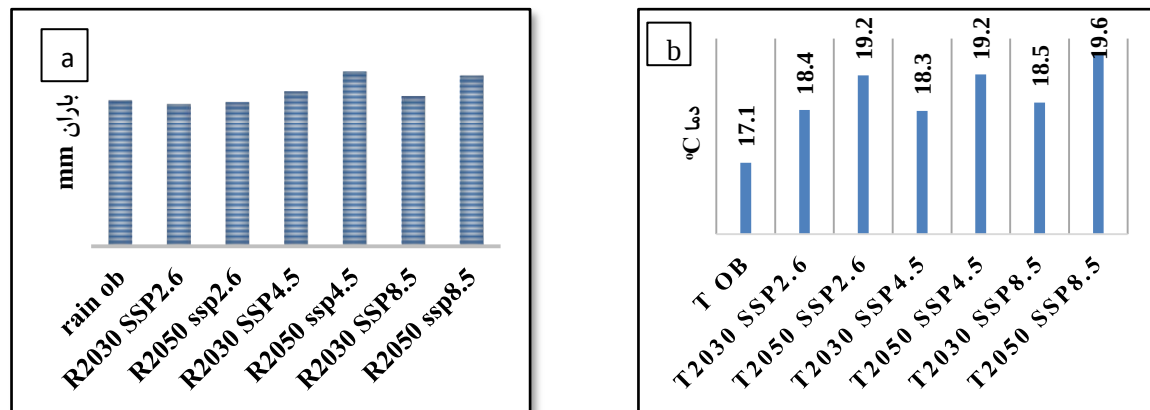
منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

پیش‌بینی بارش و دما

کاهش بارش، افزایش دما، تبخیر و تعرق باعث کاهش جریان سطحی رودخانه می‌شود. با این تغییرات تقاضای مصرف آب، فشار بر منابع آب زیرزمینی و برداشت از چاه ازسوی بهره‌وران افزایش می‌یابد. اقتصادمحور بودن فعالیت‌های کشاورزی باعث شده است که ذی‌نفعان درحوزه چم انجیر با افت تراز و دبی رودخانه روبه‌رو شوند که این خود ازطرفی، منجر به کاهش تولید کشاورزی، متضررشدن اقتصاد، افزایش مواد فیزیکی - شیمیایی آب و از طرف دیگر، دسترسی به آب سالم دچار بحران می‌شود.

بارش ایستگاه خرم‌آباد در دوره مشاهداتی (1991-2020) $491/4 \text{ mm}$ برآورد شده است. مجموع بارش بلندمدت سالانه ایستگاه خرم‌آباد در سناریو SSP1-2/6 در دوره 2021-2040 و 2041-2060 به ترتیب $478/1 \text{ mm}$ و $484/1 \text{ mm}$ به صورت روند کاهش بارش پیش‌بینی شده است. همچنین، این روند طبق سناریو SSP2-4/5 در دوره 2021-2040 و 2041-2060 به ترتیب $522/03 \text{ mm}$ و $588/7 \text{ mm}$ به صورت روند کاهشی بوده است. در دوره 2041-2060 نسبت به دوره 2021-2040 روند افزایشی بارش پیش‌بینی شده است. همچنین، این روند طبق سناریو SSP5-8/5 در دوره 2021-2040 و 2041-2060 به ترتیب $506/9$ و $574/6$ و دوره 2041-2060 نسبت به دوره 2021-2040 به صورت افزایشی بوده است. میزان بارش در سناریو خوش‌بینانه نسبت به دوره پایه به صورت کاهشی و در سناریوهای واقع‌بینانه و بدبینانه به صورت افزایشی پیش‌بینی شده است (شکل ۹-الف).

متوسط دما در دوره مشاهداتی (1991-2020) ایستگاه خرم‌آباد 17°C است. متوسط بلندمدت سالانه دما در دو دوره 2021-2040 و 2041-2060 به صورت روند افزایشی پیش‌بینی شده است. طبق سناریو SSP1-2/6، SSP2-4/5 و SSP5-8/5 در دوره 2021-2040 دما به ترتیب $18/4$ ، $18/3$ و $18/5$ درجه سلسیوس و در دوره 2041-2060 به ترتیب $19/2$ ، $19/2$ و $19/6$ درجه سلسیوس تخمین زده شده است (شکل ۹-ب).



شکل ۹ (a): مجموع بلندمدت بارش سالانه (b) متوسط بلندمدت سالانه دما در حوضه چم انجیر در دوره پایه و دوره 2021-2040 و دوره 2041-2060 در سه سناریو SSP2/6, SSP4/5, SSP8/5 (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

Fig 9 (a): Long-term total annual rainfall. (b) Long-term mean temperature of Cham-Anjir basin in 2030 horizon and 2050 horizon in three scenarios: SSP2.6, SSP4.5, SSP8.5

صحت‌سنجی داده‌های CMPI6 براساس خروجی مدل LARSWG7

میزان دقت مدل‌ها یکی از مهم‌ترین مراحل پیش‌بینی داده‌های تصادفی و عدم قطعیت مدل‌هاست. برای تعیین میزان عدم قطعیت و دقت (Accuracy) مدل‌ها از شاخص‌های R, RMSE, NRMSE در دوره مشاهداتی (1991-2021) استفاده شد. نتایج آزمون‌های دقت‌سنجی مدل‌ها در برآورد بارش نشان داد که مقدارهای $R=0/95$ و $R=0/96$ بوده است و در هر دو دوره و برای سه سناریو همبستگی قوی بین مقدارهای مشاهداتی و پیش‌بینی شده وجود دارد. مقدارهای RMSE برای دوره اول در سناریوهای SSP1-2/5 عالی و صحت‌سنجی مدل نیز برای سناریوهای SSP2-4/6 و SSP5-8/5 خوب است. اعتبارسنجی مدل در دوره دوم در سناریو SSP1-2/5 عالی و در سناریوهای SSP2-4/6 و SSP5-8/5 خوب ارزیابی شده است (جدول ۴). اعتبارسنجی مدل لارس برای داده‌های میانگین دمای خرم‌آباد با ضریب همبستگی ۰/۹۹ و RMSE زیر ۱۰٪ در هر دو دوره (2021-2040) و (2041-2060) و برای هر سه سناریو بیانگر همبستگی قوی و دقت بسیار عالی مدل در پیش‌بینی است (جدول ۵). نتایج دقت‌سنجی تأییدی بر اعتماد به داده‌های برآوردی مدل بارش و دما برای آینده است.

جدول ۴: صحت‌سنجی مدل GCM، متوسط بلندمدت ماهانه باران در خرم‌آباد در دوره مشاهداتی (1991-2021)، دوره 2021-2040 و دوره 2041-2060 در سناریوهای SSP1, SSP2, SSP5

Table 4: Validation of GCM model, long-term average monthly rainfall in Khorramabad in observation period (1991-2021), 2021-2040 and 2041-2060 in SSP1, SSP2, SSP5 scenarios

Scenario/Validation	2021-2040			2041-2060		
	R	RMSE	NRMSE	R	RMSE	NRMSE
SSP1 – 2/6	۰/۹۶	۹/۷	٪ ۱۱/۷	۰/۹۶	۱۰/۰۹	٪ ۱۲
SSP2 – 4/5	۰/۹۵	۱۲/۵	٪ ۱۵	۰/۹۵	۱۷/۵	٪ ۲۱
SSP5 – 8/5	۰/۹۵	۱۱/۴	٪ ۱۴	۰/۹۵	۱۵/۳	٪ ۱۸

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

جدول ۵: صحت‌سنجی مدل GCM، متوسط بلندمدت ماهانه دما در خرم‌آباد در دوره مشاهداتی (1991-2021)، دوره 2021-2040 و

دوره 2041-2060 در سناریوهای SSP1, SSP2, SSP5

Table 5: Validation of GCM model, long-term average monthly temperature in Khorramabad in observation period (1991-2021), 2021-2040 and 2041-2060 in SSP1, SSP2, SSP5 scenarios

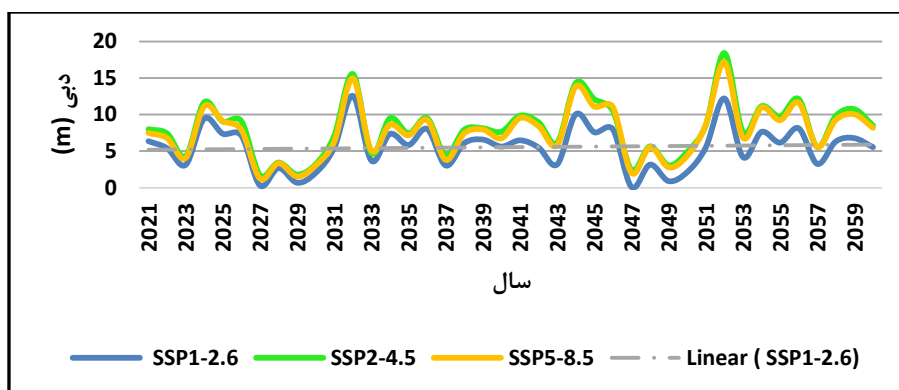
Scenario/Validation	۲۰۲۱-۲۰۴۰			۲۰۴۱-۲۰۶۰		
	R	RMSE	NRMSE	R	RMSE	NRMSE
SSP1 – 2/6	۰/۹۹۹۶	۱/۲	% ۴/۹۰	۰/۹۹۹	۱/۹۹	% ۸/۰۹
SSP2 – 4/5	۰/۹۹۹	۱/۲	% ۴/۹۳	۰/۹۹۹	۲/۰۲	% ۸/۲۲
SSP5 – 8/5	۰/۹۹۹	۱/۳۶	% ۵/۵	۰/۹۹۸	۲/۴۹	% ۱۰/۱

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

پیش‌بینی منابع آب با تغییر اقلیم

در این بند متغیرهای دبی، سطح ایستابی و کیفیت آب حوضه با مدل‌های رگرسیون و برپایه داده‌های پیش‌بینی‌شده سناریوهای تغییر اقلیم برآورد شدند.

دبی: براساس آزمون P test دبی روند کاهشی دارد (شکل ۵-ب). نتایج آزمون همبستگی بارش - دبی (شکل ۸) و تغییرات بارش در آینده (شکل ۹-الف) مناسب بودن برآورد دبی را برپایه بارش سالانه تأیید کرد. براساس تغییرات بارش در گزارش ششم تغییر اقلیم دبی از سال 2021 تا 2060 روند کاهشی خواهد داشت. همچنین، براساس این گزارش تغییر اقلیم جریان رودخانه چم انجیر از سال 2021 تا 2060 در سناریوی SSP1-2/6 ۳/۷ متر، در سناریو SSP2-4/5 ۱/۲ متر و در سناریو SSP5-8/5 ۶ متر کاهش خواهد یافت (شکل ۱۰).



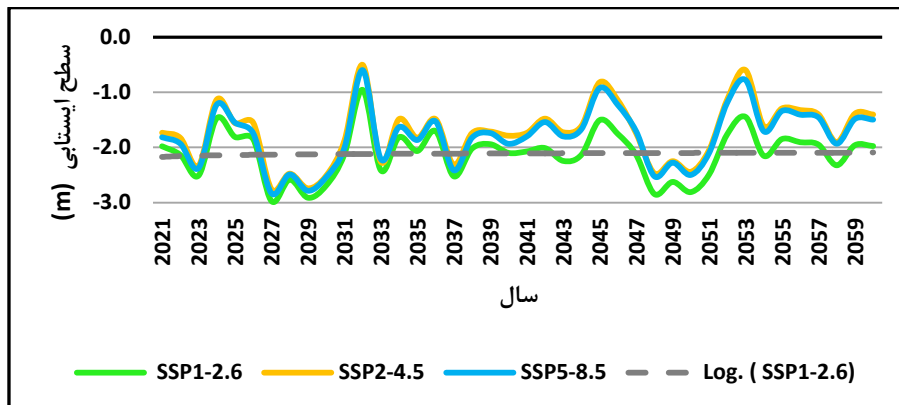
شکل ۱۰: پیش‌بینی تغییرات دبی حوضه چم انجیر با استفاده از مدل رگرسیون خطی در سناریوهای SSP5- SSP1-2/6, SSP2-4/5, SSP5-8/5

8/5 (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

Fig 10: prediction of discharge changes in Cham Anjir basin using linear regression model and based on precipitation scenarios; SSP1-2/6, SSP2-4/5, SSP5-8/5

ایستابی: پیش‌بینی‌ها نیز براساس دبی و بارش در دوره‌های 2021 تا 2060 کاهش سطح ایستابی را تخمین می‌زنند. سطح ایستابی حوضه از سال‌های پایه (1995-2021) تا سال 2060 براساس سناریوی SSP1-2/6 به میزان ۲/۱ متر، در

سناریوی SSP2-4/5 به میزان ۱/۷ متر و در سناریوی SSP5-8/5 به میزان ۱/۸ متر افت خواهد داشت. براساس سناریوهای SSP1-2/6، SSP2-4/5 و SSP5-8/5 (به ترتیب در دوره 2021-2040) ایستابی در سال‌های 2027 و 2029 نهایت افت را خواهد داشت. در دوره دوم (2041-2060) در سال‌های 2048 تا 2051 کاهش سطح آب زیرزمینی بسیار زیاد خواهد بود (شکل ۱۱).

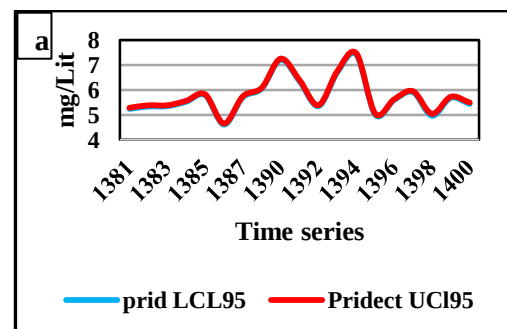
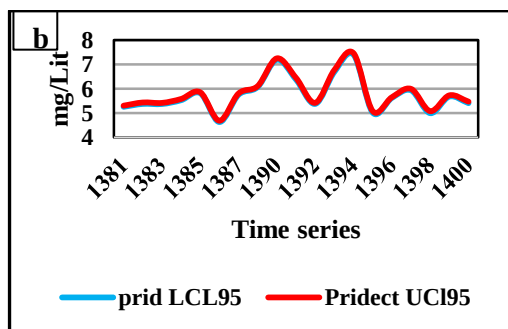


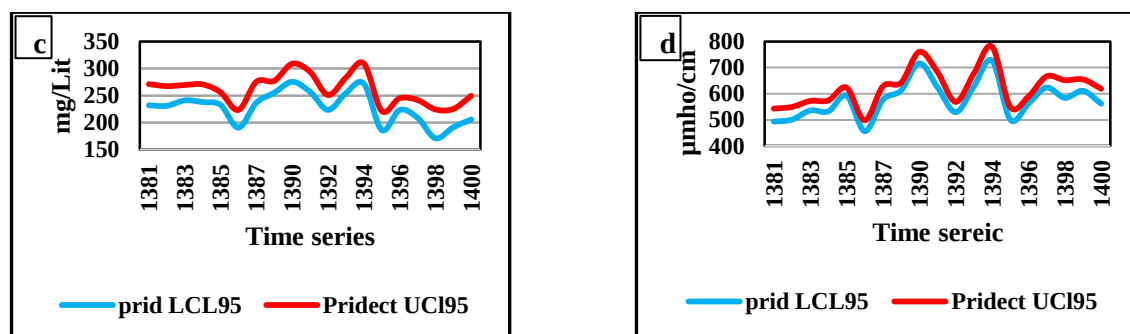
شکل ۱۱: پیش‌بینی تغییرات ایستابی زیرحوضه چم انجیر با استفاده از مدل رگرسیون خطی در سناریوهای SSP1-2/6، SSP2-4/5، SSP5-8/5 (منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳)

Fig11: Forecasting the changes in the Cham Anjir subbasin using the linear regression model in the scenarios SSP1-2/6, SSP2-4/5, SSP5-8/5

ب) کیفیت آب

برای برآوردهای تغییرات کیفیت آب از مدل رگرسیون چندمتغیره (جدول ۳) استفاده شده است. شکل ۱۲ خروجی مدل رگرسیون افزایش کاتیون و آنیون را در آینده نشان می‌دهد. به طور متوسط، مقدار کاتیون بین ۵/۷۵ mg/l تا ۵/۷۹ و متوسط تغییرات آنیون بین ۵/۷۶ در سطح پایین تا ۵/۸۲ mg/l در سطح بالا تغییر خواهد کرد. مقدار متوسط TH در سطح اطمینان پایین و بالا به ترتیب ۲۲۷/۴۵ و ۲۶۱/۲۵ mg/l پیش‌بینی شده است. متوسط تغییرات بین ۵۷۷/۳۸ و ۶۲۲/۷۵ معنادار خواهد بود. به طور کلی، خروجی‌های مدل نشان می‌دهد که غلظت عناصر فیزیکی شیمیایی آب در حوضه افزایش و کیفیت آب کاهش خواهد یافت (شکل ۱۲).





شکل ۱۲: پیش‌بینی کیفیت آب زیرزمینی زیرحوضه آبخیز چم انجیر (منبع: یافته‌های پژوهش)

Fig 12: Prediction of Ground water quality Cham Anjir subbasin

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم یک چالش جدی برای منابع آب است. کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی تحت تأثیر عوامل مختلف اقلیمی، انسانی و زمین‌شناسی در معرض خطر قرار گرفته است. سطح ایستابی در حوضه در اثر کاهش بارش (خشکسالی‌های متوالی)، افزایش دما، کاهش دبی رودخانه و اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی کاهش یافته است. آنومالی‌های ایستابی، بارش و دبی نیز بیانگر وقوع خشکسالی‌های اقلیمی و هیدرولوژیکی در حوضه چم انجیر هستند. یافته‌های ماتریس همبستگی نشان داد که همبستگی قوی بین بارش، دبی و ایستابی وجود دارد ($r=0/91$). نتایج نشان داد که میزان بارش در هر دو دوره (2021-2040) و (2041-2060) نسبت به دوره پایه (طبق گزارش ششم تغییر اقلیم) در سناریوی SSP1-2/6 کاهشی و در سناریوهای SSP2-4/5 و SSP5-8/5 افزایشی خواهد بود. میزان بارش در دوره 2021-2040 در سناریوهای مذکور به ترتیب $۱۳/۳$ ، $۳۰/۶$ و $۱۵/۵$ میلی‌متر و در دوره 2041-2060 به ترتیب $۶/۳$ ، $۹۷/۳$ و $۸۳/۲$ میلی‌متر خواهد بود؛ بنابراین میزان دما در ایستگاه خرم‌آباد در هر سه سناریو و در هر دو دوره افزایش خواهد یافت. نتایج مدل رگرسیون نشان داد که سطح ایستابی و دبی در هر سه سناریو و در دوره 2021-2060 نسبت به دوره مشاهداتی به صورت کاهشی پیش‌بینی شده داشته است؛ بنابراین افت در سناریوی خوش‌بینانه بیشتر است. یافته‌های پژوهش نشان داد که با کاهش بارش و دبی، افزایش تخلیه از آب زیرزمینی منجر به افت چشمگیر سطح ایستابی و کیفیت آن شده است. همچنین، به دلیل نبود تصفیه و رقیق‌شدن آلودگی‌های موجود در آب در این مواقع آبی که از منابع زیرزمینی استخراج می‌شود، آلوده است. در نهایت، این تغییرات منجر به افزایش غلظت کاتیون و آنیون، سختی آب، هدایت الکتریکی و بحرانی‌شدن دسترسی به منابع آب می‌شود. یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های پژوهش‌های مشابه مطابقت دارد. راهکارهای مدیریتی نظارت و کنترل برداشت آب زیرزمینی لازم است تا خسارت‌ها به منابع آب زیرزمینی کم شود؛ از جمله تصفیه فاضلاب شهری و روستایی برای جلوگیری از ورود آلاینده‌ها و پساب‌های شهری و کشاورزی و صنعتی به منابع آب، توسعه سیستم‌های جمع‌آوری آب باران برای تأمین آب لازم در بخش‌های مختلف مصرف منابع آب، اولویت‌بندی کشت گیاهان در مجاورت رواناب‌ها به جای استحصال آب زیرزمینی، نوین‌سازی سیستم‌های آبیاری در انتقال آب مزرعه با توجه به خشکسالی‌های متوالی در منطقه و کاهش

تبخیر از این سیستم‌ها در محیط طبیعی، شناخت ظرفیت‌های منابع آب و تناسب‌سازی الگوی مصرف آب باتوجه به این ظرفیت‌ها، بهبود الگوی مصرف آب در بخش‌های مختلف، افزایش آگاهی مردم نسبت به خطر تغییر اقلیم و بحران آب، افزایش مشارکت ذی‌نفعان برای تشویق آنها به حفظ منابع آب. این راهکارها در صورت حل اختلاف‌نظر بین ذی‌نفعان و نهادهای دولتی می‌تواند به کاهش تأثیرات منفی تغییرات اقلیمی بر این منابع کمک کند.

ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر منابع آب نشان می‌دهد که کاهش حجم و کیفیت منابع آب از چالش‌های اصلی سرزمین‌های با اقلیم خشک و نیمه‌خشک مانند ایران است. افزایش تاب‌آوری در برابر آسیب‌های اقلیم و اتخاذ راهبردهای سازگاری با آن می‌تواند اثر زیادی بر تعدیل اثرهای تغییر اقلیم بر منابع آب داشته باشد. مدیریت برداشت منابع آب زیرزمینی، بهبود بهره‌وری منابع آب، تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها و بازبینی راهبردهای توسعه اقتصادی و اجتماعی در منطقه می‌تواند راهکارهای مؤثر در این زمینه باشد. ازجمله راهبردهای پیشنهادی مدیریتی برای افزایش امنیت به شرح زیر است: بومی‌سازی بذر سازگار با شرایط آب‌وهوایی منطقه با بیشترین راندمان، تغییر الگوی کشت متناسب با فصل بارش و بهره‌مندی از آب باران برای آبیاری محصول، افزایش قیمت آب و نوسازی شیوه‌های کشاورزی، تشکیل مؤسسات مدیریت کشاورزی، نظارت جدی بر مصرف آب، تغییر شیوه مدیریتی آب از حالت واکنشی به حالت مدیریت پیشگیرانه، به حداقل رساندن تعداد ذی‌نفعان، اجرای مقررات زیست‌محیطی با وزارت جهاد کشاورزی و وزارت نیرو، آگاه‌سازی مردم درباره بحران آب با شبکه‌های اجتماعی، رسانه‌ها و سازمان‌های غیردولتی، مقابله و سازگاری با تغییر اقلیم، حل تعارض بین ذی‌نفعان و نهادهای دولتی برای به سرانجام رساندن طرح‌های اجرایی و توجه به معیشت کشاورزان.

منابع

احمدی خلجی، احمد، طهماسبی، زهرا، و دولت‌شاه، طاهره (۱۳۹۲). مطالعه کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی شهرستان خرم‌آباد (استان لرستان). یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، ۷(۱۳)، ۱-۱۵.

https://journals.basu.ac.ir/article_691.html

اسدی زارچ، محمدامین، جم‌نژاد، فاطمه، اختصاصی، محمدرضا، و حسینی، سید زین‌العابدین (۱۳۹۹). تأثیر خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی بر کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت داراب).

مهندسی اکوسیستم بیابان، ۹(۲۸)، ۸۹-۱۰۲. <http://dx.doi.org/10.22052/deej.2020.9.28.59>

امرای، بهزاد (۱۴۰۱). آشکارسازی تأثیر تغییرات اقلیمی بر افت سطح ایستابی آبخوان دشت بیرجند. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی)، ۲۲(۶۴)، ۲۹۱-۳۰۵.

<http://dx.doi.org/10.52547/jgs.22.64.291>

امیدوار، کمال، زارع، مجید، و ابراهیمی، رضا (۱۳۹۵). تأثیر خشکسالی‌های اخیر بر منابع آب‌های زیرزمینی دشت یزد-اردکان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۰(۵)، ۶۲۲-۶۳۵.

https://idj.iaid.ir/article_55428.html

انصاری فر، محمد مهدی، سالاری جزی، میثم، قربانی، خلیل، و کابلی، عبدالرضا (۱۳۹۸). تأثیر تغییر اقلیم بر مقدار و توزیع مکانی مجموع مواد جامد محلول در آبخوان ساحلی بندر گز. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۹(۲)، ۸۳-۹۵.

<https://doi.org/10.22126/ges.1970.1159>

باقری، افروز، ملک محمدی، بهرام، زهرایی، بنفشه، حسنی، امیرحسام، و بابایی، فرزاد (۱۴۰۰). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر منابع آب با رویکرد محاسبه ضریب تعدیل (مطالعه موردی: دشت لنجان).

اطلاعات جغرافیایی، ۳۰(۱۱۷)، ۱۵۱-۱۶۴. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.244456>

پیامنی، کیانفر، پرهت، جهانگیر، زند، مهران، ویسکرمی، ایرج، چمن پیرا، رضا، کریمی سنگچین، ابراهیم، و کاظمی، رحیم (۱۴۰۰). ارزیابی و تعیین مؤلفه‌های مدیریت ریسک خشکسالی در استان لرستان (تدوین پیش‌نویس برنامه سازگاری با خشکسالی در استان لرستان). وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

جعفری گدنه، میثم، سلاجقه، علی، و ملکیان، آرش (۱۴۰۰). بررسی تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم بر نوسانات آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: دشت کرمان). *مهندسی آبیاری و آب*، ۱۱(۴)،

۲۷۵-۲۵۲. <https://doi.org/10.22125/iwe.2021.133762>

حبیبی، آرش، و کلاهی، بهاره (۱۴۰۱). *مدل‌یابی معادلات ساختاری و تحلیل عاملی*. جهاد دانشگاهی.

دلاور، علی (۱۴۰۲). *احتمالات و آمار کاربردی در روانشناسی و علوم تربیتی* دلاور. انتشارات رشد.

رحیمی، داریوش، و موسوی، سید حجت (۱۳۹۲). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS (مطالعه موردی حوزه آبخیز شاهرود-بسطام). *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۱۷(۴۴)، ۱۳۹-۱۵۹.

https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_21_en.html

رستگار، اسما، و پایمزد، شهلا (۱۳۹۹). شبیه‌سازی اثر تغییر اقلیم بر افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت کرمان با استفاده از مدل GIS. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۹(۲۶)، ۴۳-۶۰.

https://deej.kashanu.ac.ir/article_112680.html

سازمان آب منطقه استان لرستان (۱۴۰۰). *سالنامه آماری و گزارش منابع آب استان لرستان*.

ساری صراف، بهروز، و جلالی عنصرودی، طاهره (۱۳۹۸). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر موازنه آبی ناشی از بارش در آبخوان تسوج برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۷. *هیدروژئومورفولوژی*، ۶(۱۹)، ۱۶۳-۱۸۵.

https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_9325.html

سراج ابراهیمی، رضا، اسلامیان، سعید، و زارعیان، محمدجواد (۱۴۰۱). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی (مطالعه موردی: دشت تالش). *مدیریت آب و آبیاری*، ۱۲(۳)،

۵۷۹-۵۶۱. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.340171.975>

شرکت مهندسين مشاور سنگاب زاگرس (۱۳۹۱). *مطالعه بیلان و گزارش توجیهی تخصیص منابع آب (محدوده مطالعاتی خرم‌آباد)*. وزارت نیرو شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان.

صابری، بیژن، رحیمی، داریوش، و خوشحال دستجردی، جواد (۱۴۰۲). آسیب‌پذیری اقلیمی و راهبردهای پایداری منابع آب در حوضه کارون شمالی. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲۱(۲)، ۲۲۹-۲۵۵.

<https://doi.org/10.22067/jgrd.2023.81647.1261>

عباس نوین‌پور، اسفندیار، کریمی، فاطمه، و رضایی، حسین (۱۴۰۱). پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت قروه با استفاده از مدل MODFLOW در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم. *LARS-WG. دانش آب و خاک*، ۴(۳۲)، ۷۳-۶۱.

<https://doi.org/10.22034/ws.2021.30465.2197>

علیزاده، امین (۱۳۸۷). *اصول هیدرولوژی کاربردی*. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

فروتن، الهام، و گلپایگانی، فاطمه (۱۳۹۹). بررسی رابطه تغییرات آب زیرزمینی و شاخص خشکسالی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شریف‌آباد در استان قم). *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۵(۲۲)، ۲۶۵-۲۵۵.

<https://doi.org/10.22034/jest.2018.29165.3774>

کامیابی، سعید، و عبدی، کمیل (۱۳۹۹). آشکارسازی و تحلیل روند تغییرات اقلیم (بارش و دما) در محدوده ساری. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۷)، ۱۷۹-۱۶۵.

<https://doi.org/10.22034/jest.2019.43898.4642>

کرمی، لیلا، محمدی، محمودعلی، و یادگاریان، لیندا (۱۳۹۷). بررسی تأثیر اقلیم بر کیفیت شیمیایی آبخوان دشت ورامین با استفاده از نرم‌افزار GIS. *سلامت و محیط زیست*، ۱۱(۲)، ۲۴۹-۲۶۰.

<https://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5984-fa.html>

کماسی، مهدی، شرقی، سروش، و نورانی، وحید (۱۳۹۵). شناسایی عوامل مؤثر بر کاهش تراز آب زیرزمینی با بهره‌گیری از معیار موجک-آنتروپی (مطالعه موردی: آبخوان دشت سیلاخور). *هیدروژئومورفولوژی*، ۳(۹)، ۶۳-۸۶.

https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6184.html

مارابی، سیران، و حافظ پرست، مریم (۱۴۰۰). پیش‌بینی کمی-کیفی دبی رودخانه خرم رود در اثر تغییر اقلیم با مدل نروسولوشن و رگرسیون بردار پشتیبان. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۲(۲)، ۲۹۱-۳۱۳.

<https://doi.org/10.22125/iwe.2021.142416>

مفتاح هلقی، مهدی، ابارشی، فرزانه، دهقانی، امیراحمد، و قربانی، خلیل (۱۳۹۷). ارزیابی عملکرد آبخوان تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه آبریز قره‌سو). *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۱۲(۵)، ۱۱۵۳-۱۱۴۰.

https://idj.iaid.ir/article_81783.html

ولایتی، سعداله (۱۳۸۳). *جغرافیای آب‌ها*. انتشارات جهاد دانشگاهی.

همایون‌پور، بابک، گودرزی، مسعود، زهتابیان، غلامرضا، معتمدوزیری، بهارک، و احمدی، حسن (۱۴۰۱). ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات آب زیرزمینی دشت برخوار اصفهان. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۴(۴)، ۴۶۵-۴۸۰.

<https://doi.org/10.22092/ijwmse.2022.353543.1880>

یوسفی، عبدالحسین، نصیری، بهروز، کرم‌پور، مصطفی، و ملکیان، آرش (۱۳۹۸). ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت صحرای باغ لار. *پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۳۲(۲)، ۴۲-۳۱.

<https://doi.org/10.22092/wmej.2018.122884.1136>

References

- Abbasnouvinpour, E., Karimi, F., & Rezaie, H. (2022). The prediction of groundwater level in Ghorve plain using MODFLOW model in different scenarios of LARS-WG climate change. *Water And Soil Science*, 4(32), 61-73. <https://doi.org/10.22034/ws.2021.30465.2197> [In Persian].
- Ahmadi Khalaji, A., Tahmasbi, Z., & Dolatsha, T. (2013). The study of chemical quality of groundwater in khorramabad area Lorestan province. *Journal Of New Findings In Applied Geology*, 7(13), 1-15. https://journals.basu.ac.ir/article_691.html [In Persian].
- Ahmed, M., Aqnouy, M., & El Messari, J. S. (2021). Sustainability of morocco's groundwater resources in response to natural and anthropogenic forces. *Journal Of Hydrology*, 603, 126866. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126866>
- AitBrahim, Y., Seif-Ennasr, M., Malki, M., N'da, B., Choukrallah, R., El Morjani, Z. E. A., & Bouchaou, L. (2017). Assessment of climate and land use changes: Impacts on groundwater resources in the Souss-Massa river basin. *The Souss-Massa River Basin, Morocco*, 53, 121-142. http://dx.doi.org/10.1007/698_2016_71
- Alizadeh, A. (2008). *Principles of applied hydrology*. Imam Reza university press. [In Persian].
- Allen, M., Antwi-Agyei, P., Aragon-Durand, F., Babiker, M., Bertoldi, P., Bind, M., ... & Zickfeld, K. (2019). Technical Summary: Global warming of 1.5 C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. <https://pure.iiasa.ac.at/15716>
- American Meteorological Society. (2024). Climate change. In *glossarytest.ametsoc.net dictionary*. Retrieved 10:22, 26 March 2024 from https://glossarytest.ametsoc.net/wiki/Climate_change
- Amraei, B. (2022). Detection of the effect of climate change on the drainage of aquifer of Birjand plain. *Journal Of Applied Researches In Geographical Sciences*, 22(64), 291-305. <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.22.64.291> [In Persian].
- Ansarifar, M. M., Salarijazi, M., Ghorbani, K., & Kaboli, A. (2019). The impact of climate change on the content and spatial distribution of the total dissolved solids in Bandar-e-Gaz coastal aquifer. *Geography And Environmental Sustainability*, 9(2), 83-95. <https://doi.org/10.22126/ges.1970.1159> [In Persian].
- Asadi Zarch, M. A., Jamnezhad, F., Ekhtesasi, M. R., & Hoseini, S.Z. (2020). Investigating the effects of drought and land-use changes on quantity and quality of groundwater resources: A case study of Darab plain. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(28), 89-102. <http://dx.doi.org/10.22052/deej.2020.9.28.59> [In Persian]
- AshrafVaghefi, S., Mousavi, S. J., Abbaspour, K. C., Srinivasan, R., & Yang, H. (2014). Analyses of the impact of climate change on water resources components drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh river basin in Iran. *Hydrological Processes*, 28(4), 2018-2032. <https://doi.org/10.1002/hyp.9747>
- Bagheri, A., Malekmohammdi, B., Zahraei, B., Hassani, A., & Babaei, F. (2022). Evaluation of climate and land-use variables on groundwater recharge of lenjanat region using Weap-Anfis. *Watershed Engineering And Management*, 30(117), 151-164. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2021.353244.1873>. [In Persian].
- Barbieri, M., Barberio, M. D., Banzato, F., Billi, A., Boschetti, T., Franchini, S., & Petitta, M. (2023). Climate change and its effect on groundwater quality. *Environmental Geochemistry And Health*, 45(4), 1133-1144. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01140-5>

- Choubin, B., Sajedi-Hosseini, F., Azareh, A., & Soleimani-Sardoo, F. (2016). Assessment of climate change at 2055 horizon on groundwater resources in Kerman-Baghin plain. *Desert Management*, 4(7), 1-11. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2016.22239>
- Delaware, Ali. (2023). Applied probability and statistics in psychology and educational sciences Delaware. Rushd publications. [In Persian].
- Elçi, A. (2011). Assessing the impact of climate change on groundwater resources using groundwater flow models. In *Climate Change and Its Effects on Water Resources: Issues of National and Global Security*, 3, 63-75. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1143-3_8
- Forootan, E., & Golpaygani, F. (2020). The investigation of the relationship between groundwater level variation and drought index (Case study: Sharifabad watershed in Qom province). *Environmental Science And Technology*, 5(22), 265-255. <https://doi.org/10.22034/jest.2018.29165.3774> [In Persian].
- Habibi, A., & Kolahi, B. (2022). *Structural equation modeling and factor analysis*. University Jihad. [In Persian].
- Hasheminasab, S., Rahimi, D., Zakerinejad, R., & Kropáček, J. (2022). Assessment of climate change impact on surface water: A case study—Karoun river Basin Iran. *Arabian Journal Of Geosciences*, 15(9), 904. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09969-5>
- 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. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2022.353543.1880> [In Persian].
- Hssaisoune, M., Bouchaou, L., Sifeddine, A., Bouimetarhan, I., & Chehbouni, A. (2020). Moroccan groundwater resources and evolution with global climate changes. *Geosciences*, 10(2), 81. <https://doi.org/10.3390/geosciences10020081>
- Jafary Godeneh, M., Salajegheh, A. L. I., & Malekian, A. (2021). Investigating the impact of different climate change scenarios on groundwater fluctuations in arid and semi-arid regions (Case study: Kerman plain). *Irrigation And Water Engineering*, 11(4), 252-275. <https://doi.org/10.22125/iwe.2021.133762> [In Persian].
- Kamal, M. M., Amiri, H., Moghadam, V., & Rahimi, D. (2021). Institutional analysis of top-down regulatory: Evidence from Iran local governance. *Water Policy*, 23(4), 930-945. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.075>
- Kamyabi, S., & Abdi, K. (2020). Detection and analysis of the trend of climate change (precipitation and temperature) within the boundaries of Sari. *Journal Of Environmental Science And Technology*, 22(7), 165-179. <https://doi.org/10.22034/jest.2019.43898.4642> [In Persian].
- Karami, L., Alimohammadi, M., & Yadegarian, L. (2018). Investigating the climate impact on chemical quality of Varamin Plain aquifer using the GIS software. *Iranian Journal Of Health And Environment*, 11(2), 249-260. <https://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5984-fa.html> [In Persian].
- Komasi, M., Sharghi, S., & Nourani, V. (2017). Identifying effective factors on decline in groundwater level using wavelet-entropy index (Case study: Silakhor plain aquifer). *Hydrogeomorphology*, 3(9), 63-86. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6184.html [In Persian].
- Kumar, C. P. (2012). Climate change and its impact on groundwater resources. *International Journal Of Engineering And Science*, 1(5), 43-60. <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-4666-8814-8.ch010>
- Kusangaya, S., Warburton, M. L., Van Garderen, E. A., & Jewitt, G. P. (2014). Impacts of climate change on water resources in southern Africa: A review. physics and chemistry of the earth. *Physics and Chemistry of the Earth*, 67, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.09.014>

- Mahato, A., Upadhyay, S., & Sharma, D. (2022). Global water scarcity due to climate change and its conservation strategies with special reference to India: A review. *Plant Archives*, 22(1), 64-69. <http://dx.doi.org/10.51470/PLANTARCHIVES.2022.v22.no1.009>
- Mahmoodi, N., Osati, K., Salajegheh, A., & Saravi, M. M. (2021). Trend in river water quality: Tracking the overall impacts of climate change and human activities on water quality in the Dez River basin. *Journal of Water And Health*, 19(1), 159-173. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.123>
- Marabi, S., & Hafezparast, M. (2021). Quantitative qualitative prediction of Khorramrud river discharge due to climate change with Neurosolution model and support vector regression. *Irrigation And Water Engineering*, 12(2), 291-313. <https://doi.org/10.22125/iwe.2021.142416>. [In Persian].
- Meftah Halaghi, M., Farzaneh, F., Dehghani, A., & Ghorbani, K. (2018). Evaluation of aquifer performance affected by different climate scenarios (Case study: Qaraosso basin). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 12(5), 1140-1153. https://idj.iaid.ir/article_81783.html [In Persian].
- Misra, A. K. (2014). Climate change and challenges of water and food security. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 153-165. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.04.006>
- Mondal, S. K., Tao, H., Huang, J., Wang, Y., Su, B., Zhai, J., & Jiang, T. (2021). Projected changes in temperature precipitation and potential evapotranspiration across Indus river Basin at 1.5–3.0 C warming levels using CMIP6-GCMs. *Science of The Total Environment*, 789, 147867. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147867>
- Moseki, M. C. (2017). Climate change impacts on groundwater: literature review. *Environmental Risk Assessment and Remediation*, 2(1), 16-20. <http://dx.doi.org/10.4066/2529-8046.100033>
- Omidvar, K., Zareh, M., & Ebrahimi, R. (2016). The effect of recent droughts on groundwater resources in Yazd-Ardakan plain. *Iranian Journal Of Irrigation & Drainage*, 10(5), 622-635. https://idj.iaid.ir/article_55428.html [In Persian].
- Oswaldo, M. P. O. M. P. (2007). *Climate change 2007: Impacts adaptation and vulnerability martin parry-osvaldo canziani-palutikof cambridge university press*. Cambridge university press.
- Ouhamdouch, S., Bahir, M., Ouazar, D., Carreira, P. M., & Zouari, K. (2019). Evaluation of climate change impact on groundwater from semi-arid environment (Essaouira basin Morocco) using integrated approaches. *Environmental Earth Sciences*, 78(15), 449. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12665-019-8470-2>
- Pardo, M. B., & Durán-Romero, G. (2022). Food security: Agricultural innovation to increase resilience and adaptation to climate change in developing countries. *Studies of Applied Economics*, 40(1). <https://doi.org/10.25115/eea.v40i1.7228>
- Parmesan, C., Morecroft, M. D., & Trisurat, Y. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability* [Doctoral dissertation, GIEC]. <https://hal.science/hal-03774939/document>
- Payameni, K., Porhemmat, J., Zand, M., Weiss Karmi, I., Chaman Pira, R., Karimi Sengchin, E., & Kazemi, R. (2020). *Evaluation and determination of drought risk management components in Lorestan province (drafting the drought adaptation program in Lorestan province)*. Ministry of agricultural jihad, agricultural research, education and extension organization, research institute of soil protection and watershed management. [In Persian].
- Pettitt A.N. (1979). A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl Statist*, 28(2), 126-135. <http://www.jstor.org/stable/2346729>
- Prodhan, F. A., Zhang, J., Sharma, T. P. P., Nanzad, L., Zhang, D., Seka, A. M., & Mohana, H. P. (2022). Projection of future drought and its impact on simulated crop yield over south Asia using ensemble machine learning approach. *Science of The Total Environment*, 807, 151029. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151029>

- Rahimi, D., & Mokarram, M. (2012). Assessing the groundwater quality by applying fuzzy logic in GIS environment-a case study in southwest Iran. *International Journal of Environmental Sciences*, 2(3), 1798-1806. [10.6088/ijes.00202030063](https://doi.org/10.6088/ijes.00202030063)
- Rahimi, D., & Mosavy, S. H. (2013). Potential detection of groundwater resources using AHP model and GIS technique (Case study: Shahroud-Bastam basin). *Journal Of Geography And Planning*, 17(44), 139-159. https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_21_en.html [In Persian].
- Rastegar, A., & Paimozd, SH. (2020). Investigating climate change effects on groundwater-Level decline in Kerman plain via GMS model. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(26), 43-60. https://deej.kashanu.ac.ir/article_112680.html [In Persian].
- Rouhani, H., & Jafarzadeh, M. S. (2018). Assessing the climate change impact on hydrological response in the gorganrood river basin, Iran. *Journal of Water and Climate Change*, 9(3), 421-433. <https://doi.org/10.2166/wcc.2017.207>
- Saberi, B., Rahimi, D., & Khoshhal Dastjerdi, J. (2023). The climatic vulnerability and sustainability strategies for water resources in north karoun basin. *Journal of Geography and Regional Development*, 21(2), 229-255. <https://doi.org/10.22067/jgrd.2023.81647.1261> [In Persian].
- Sangab consulting engineers Zagros (2013). *Balance sheet study and justification report for the allocation of water resources in the Khorram Abad study area*. Ministry of energy regional water company of Lorestan province. [In Persian].
- Sari Sarraf, B., & Jalali Ansaroodi, T. (2019). The investigation of the impact of climate change on water balance caused by precipitation in tasuj aquifer for the period of 2017-2030. *Hydrogeomorphology*, 6(19), 163-185. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_9325.html [In Persian].
- Semenov, M. A. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*, 35(3), 203-212. <https://doi.org/10.3354/cr00731>
- Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. (2015). Adapting wheat ideotypes for climate change: Accounting for uncertainties in CMIP5 climate projections. *Climate Research*, 65, 123-139. <https://doi.org/10.3354/cr01297>
- Seraj Ebrahimi, R., Eslamian, S., & Zareian, M. J. (2022). Predicting the effects of climate change on groundwater resources using artificial intelligence methods (Case study: Talesh plain). *Water and Irrigation Management*, 12(3), 561-579. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.340171.975> [In Persian]
- Shukla, P. R., Skeg, J., Buendia, E. C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Roberts, D. C., ... & Malley, J. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. <https://philpapers.org/rec/SHUCCA-2>
- Singh, A. A., & Singh, A. K. (2021). Climatic controls on water resources and its management: challenges and prospects of sustainable development in Indian perspective. *Water Conservation In The Era Of Global Climate Change*, 121-145. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820200-5.00015-4>
- Velayati, S. (2004). *Geography of waters*. Academic jihad publications. [In Persian].
- Water organization of Lorestan province (2021). *Statistical yearbook and water resources report of Lorestan province*. [In Persian].
- Watts, G., Battarbee, R. W., Bloomfield, J. P., Crossman, J., Daccache, A., Durance, I., & Wilby, R. L. (2015). Climate change and water in the UK—past changes and future prospects. *Progress In Physical Geography*, 39(1), 6-28. <https://doi.org/10.1177/0309133314542957>

- Xu, Z., Cheng, L., Luo, P., Liu, P., Zhang, L., Li, F., & Wang, J. (2020). A climatic perspective on the impacts of global warming on water cycle of cold mountainous catchments in the Tibetan plateau: A case study in Yarlung Zangbo river basin. *Water*, 12(9), 2338. <https://doi.org/10.3390/w12092338>
- Yousefi, A., Nasiri, B., Karampuor, & M., Malekian, A. (2019). Evaluation of climate change effect on groundwater resources in the sahraye bagh plain, lar. *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)*, 23(2), 31-42. <https://doi.org/10.22092/wmej.2018.122884.1136> [In Persian].