



## Evaluation of Climate Change Effects on the Entering Runoff the Makhmalkoh Dam Using the IHACRES Model

Babak Shahi Nejad<sup>1</sup> | Hojjatoallh Yonesi<sup>2</sup> | Ali Kakavand<sup>3</sup> |  
Hossein Yousefi Sahzabi<sup>4</sup>

1. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: [shahinejad.b@lu.ac.ir](mailto:shahinejad.b@lu.ac.ir)
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: [yonesi.h@lu.ac.ir](mailto:yonesi.h@lu.ac.ir)
3. Water Structures Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: [kakavandali1989@gmail.com](mailto:kakavandali1989@gmail.com)
4. Renewable Energies and Environment, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: [hosseinyousefi@ut.ac.ir](mailto:hosseinyousefi@ut.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**  
Received 4 May 2023  
Received in revised form  
5 June 2023  
Accepted 1 August 2023  
Published online 12 October 2023

### Keywords:

*Climate change*  
*IHACRES model*  
*LARS-WG model*  
*sixth report of IPCC*  
*SSP scenario*

### ABSTRACT

In this study, the entering runoff to Makhmalkooh Dam; in Lorestan province; was studied under climate change scenarios. For this using, the data of precipitation, maximum and minimum temperature and sunshine for the study area in the basic time of 1980-2014 were downscaled with LARS-WG6 model and after choosing the IPSL-CM6A-LR-INCA model as the most compatible model with the study area among the 26 models in the sixth IPCC report, precipitation, minimum and maximum temperature and sunshine were estimated for Kakareza station in three times of 2026-2050, 2051-2075 and 2076-2100 under SSP scenarios. After that, the entering runoff to Makhmalkooh dam was estimated in the future periods under the SSP scenarios using the IHACRES model and the results obtained from the previous step. The results of this study showed that the entering runoff of the studied dam will decrease on monthly and seasonal scale in all future periods under SSP climate scenarios. The highest runoff in the monthly scale was predicted in October under the SSP5-8.5 scenario, and the lowest decrease was predicted in May under the SSP1-2.6 scenario. On seasonal scale, the highest amount of reduction in entering runoff to the dam was estimated in the autumn season under the SSP5-8.5 scenario, and the lowest amount of reduction was estimated in the spring season under the SSP1-2.6 scenario. The results of this study also showed that the climate change will have significant effect on entering runoff to Makhmalkooh dam and therefore, the impacts of this phenomenon should be considered in water resources development plans to reduce its damages for posterity.

**Cite this article:** Shahi Nejad, B., Yonesi, H., Kakavand, A., & Yousefi Sahzabi, H. (2023). Evaluation of Climate Change Effects on the Entering Runoff the Makhmalkoh Dam Using the IHACRES Model. *Journal of Water and Irrigation Management*, 13 (3), 735-754. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.358745.1073>





## ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به سد مخزنی مخمل کوه با استفاده از مدل IHACRES

بابک شاهی نژاد<sup>۱</sup> | حجت‌الله یونسی<sup>۲</sup> | علی کاکاوند<sup>۳</sup> | حسین یوسفی سهزایی<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [shahinejad.b@lu.ac.ir](mailto:shahinejad.b@lu.ac.ir)

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [yonesi.h@lu.ac.ir](mailto:yonesi.h@lu.ac.ir)

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: [kakavandali1989@gmail.com](mailto:kakavandali1989@gmail.com)

۴. گروه انرژی‌های نو و محیط زیست دانشکدگان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، تهران، ایران. رایانامه: [hosseinyousefi@ut.ac.ir](mailto:hosseinyousefi@ut.ac.ir)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

در پژوهش حاضر، رواناب ورودی به سد مخزنی مخمل کوه؛ واقع در استان لرستان؛ تحت سناریوهای تغییر اقلیم مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا با استفاده از نسخه ششم مدل LARS-WG، داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی برای منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی پایه ۱۴-۲۰۱۹ ریزمقیاس شده و پس از انتخاب مدل IPSL-CM6A-LR-INCA به‌عنوان سازگارترین مدل با منطقه مورد مطالعه در بین ۲۶ مدل موجود در گزارش ششم IPCC، متغیرهای بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی برای ایستگاه کاکارضا در سه بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۵۰، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ میلادی تحت سناریوهای SSP برآورد گردید. در مرحله بعد، با استفاده از مدل IHACRES و نتایج به‌دست‌آمده از مرحله قبل، رواناب ورودی به سد مخمل کوه در دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP تخمین زده شد. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، نشان داد که رواناب ورودی به سد مورد مطالعه در مقیاس ماهانه و فصلی و در همه دوره‌های آتی تحت سناریوهای اقلیمی، کاهش خواهد یافت. بیش‌ترین میزان رواناب در بازه ماهانه، در ماه اکتبر تحت سناریوی SSP5-8.5 و کم‌ترین میزان کاهش آن نیز در ماه می تحت سناریوی SSP1-2.6 پیش‌بینی شد. در مقیاس فصلی، بیش‌ترین میزان کاهش رواناب ورودی به سد، در فصل پاییز تحت سناریوی SSP5-8.5 و کم‌ترین میزان کاهش آن نیز در فصل بهار تحت سناریوی SSP1-2.6 تخمین زده شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که پدیده تغییر اقلیم، اثر چشم‌گیری بر میزان رواناب ورودی به سد مخمل کوه خواهد داشت و لذا، در طرح‌های توسعه منابع آب باید اثرات این پدیده در نظر گرفته شود تا خسارت‌های ناشی از آن برای آیندگان کاهش یابد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰

### کلیدواژه‌ها:

تغییر اقلیم

سناریوهای SSP

گزارش ششم IPCC

مدل LARS-WG

مدل IHACRES

**استناد:** شاهی‌نژاد، بابک؛ یونسی، حجت‌الله؛ کاکاوند، علی؛ و یوسفی سهزایی، حسین (۱۴۰۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به سد مخزنی مخمل کوه با استفاده از مدل IHACRES. *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۳ (۳)، ۷۳۵-۷۵۴.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.358745.1073>



## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، با افزایش هرچه بیش‌تر گرمایش زمین، تغییرات رویدادهای غیرعادی هم‌چنان بزرگ‌تر می‌شود. به‌عنوان مثال، امواج گرمایی شدید که پیش‌تر یک‌بار در هر دهه شکل می‌گرفتند، اکنون تقریباً سه مرتبه در ده سال اتفاق می‌افتند. در صورت تداوم گرمایش زمین، تناوب و شدت رویدادهای بارشی و خشکسالی به طرز مشابه افزایش خواهد یافت. احتمال وقوع خشکسالی‌های شدید که پیش‌تر تقریباً یک بار در هر دهه اتفاق می‌افتاد، تا ۷۰ درصد افزایش یافته است و در صورت گرم شدن جهان تا دو درجه سانتی‌گراد، این عدد می‌تواند تا دو برابر هم افزایش یابد (IPCC, 2021). تغییرات اقلیم همراه با افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر ناشی از فعالیت‌های انسانی، منجر به افزایش دمای کره زمین به میزان تقریبی ۱ درجه سانتی‌گراد شده است (Feng *et al.*, 2014; Bekele *et al.*, 2019). تغییرات اقلیم هم‌چنین می‌تواند شرایط آب‌وهوایی محلی را تغییر داده و در نتیجه فرایندهای هیدرولوژیکی را تسریع بخشد (Thomas *et al.*, 2019). لذا، ادغام تغییرات محتمل در هیدرولوژی جهت مدیریت منابع آب بسیار مهم است (Toosi *et al.*, 2019). Adgolign *et al.* (2016) به بررسی اثرات توسعه منابع آب و هم‌چنین شناسایی موقعیت‌های آسیب‌پذیر متأثر از کمبود آب سطحی در حوضه آبریز رودخانه دیدسا واقع در غرب کشور اتیوپی با استفاده از مدل WEAP پرداختند. آن‌ها سه سناریوی توسعه جاری (۲۰۱۴)، توسعه بلند مدت آینده (۲۰۱۵-۲۰۳۰) و توسعه بلند مدت آبی (۲۰۳۱-۲۰۵۰) را در نظر گرفته و نشان دادند که در سال آخر (۲۰۵۰)، ۱/۱۰۱ میلیارد مترمکعب؛ یعنی ۱۰/۳ درصد کاهش در کل جریان سالانه رودخانه دیدسا وجود خواهد داشت. Sanikhani *et al.* (2016) با انجام مطالعه‌ای، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدی حوضه آبخیز قره‌چای در استان قزوین پرداختند و نشان دادند که مقدار دبی بیشینه جریان برای سال‌های ۱۴۰۰، ۱۴۳۵ و ۱۴۷۰ به ترتیب ۱۴، ۲۷ و ۴۳ درصد در مقایسه با داده‌های تاریخی کاهش خواهد یافت. Emami and Koch (2019) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه زربینه‌رود در بالادست دریاچه ارومیه را با در نظر گرفتن سد بوکان، تحت تأثیر سناریوهای اقلیمی مختلف تا سال ۲۰۲۹ میلادی، با استفاده از مدل SWAT موردبررسی قرار داده و نشان دادند که تغییرات اقلیمی پیش‌بینی شده برای همه مناطق شهری منجر به کاهش جریان ورودی به سد بوکان، کاهش شدید بارش و افزایش دمای متوسط هوا در منطقه مورد مطالعه خواهد شد و پیشنهاد دادند که برنامه‌های فعلی منابع آب برای مقابله با این شرایط، تغییر یابند. Ghorbani *et al.* (2016) روند تغییرات دبی ناشی از تغییر اقلیم حوضه آبریز گالیکش در استان گلستان را در دوره آبی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میلادی با استفاده از مدل LARS-WG و مدل بارش-رواناب IHACRES مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که در حوضه مورد نظر، دمای متوسط در ماه‌های مختلف سال، افزایش و مجموع بارش سالانه کاهش خواهد یافت. Yue *et al.* (2022) تغییرات بارش و دمای هوای حوضه آبریز رودخانه یانگ تسه در کشور چین را با استفاده از مدل‌های GCM تحت سناریوهای SSP مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که بارش و دمای هوا تحت سناریوهای SSP، افزایش خواهند یافت. Try *et al.* (2022) به ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در شبیه‌سازی پارامترهای بارش و دبی در حوضه آبریز رودخانه مکونگ در مرز بین کشورهای چین، میانمار، تایلند، لائوس، کامبوج و ویتنام پرداخته و نشان دادند که مدل‌های CMIP6 در مقایسه با مدل‌های CMIP5، از دقت بالاتری برخوردار هستند. هم‌چنین نشان دادند که با توجه به نتایج مدل‌های CMIP6، بارش مؤثر و دبی پیک سالانه تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 افزایش می‌یابند. مدل IHACRES در مطالعات متنوعی تحت شرایط اقلیمی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Westin *et al.*, 2021; Kuriqi *et al.*, 2021; Dobriyal *et al.*, 2015; Adib *et al.*, 2018; House *et al.*, 2016; Hosseini *et al.*, 2017).

در پژوهش حاضر، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبریز سد مخزنی مخمل کوه در استان لرستان پرداخته شده است. بدین منظور، از جدیدترین مدل‌های ارائه شده در گزارش ششم IPCC، نسخه ششم مدل مولد آب‌وهوایی LARS-WG و مدل بارش-رواناب IHARES استفاده گردید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

رودخانه هررود در شمال شهرستان خرم‌آباد جریان دارد. هدف از طرح انتقال آب کاکارضا، تأمین بخشی از نیاز شرب شهر خرم‌آباد به میزان ۵۵ میلیون مترمکعب در سال و همچنین تأمین آب موردنیاز بخش صنعت این شهر به میزان پنج میلیون مترمکعب در سال از طریق ذخیره‌سازی در سد مخزنی مخمل کوه می‌باشد. جریان آب رودخانه هررود در محل ایستگاه هیدرومتری کاکارضا، به سمت این سد منحرف شده و پس از عبور از تونل انتقال آب کاکارضا، وارد مخزن سد مذکور می‌گردد. لذا، در مطالعه حاضر، از آمار دبی ثبت شده ایستگاه هیدرومتری کاکارضا استفاده گردید.

مؤلفه‌های طرح انتقال آب کاکارضا به منطقه خرم‌آباد، ذخیره، تنظیم و مصرف آن شامل موارد زیر می‌باشد:

- سیستم انحراف شامل بند انحرافی و کانال‌های انتقال آب تا ورودی تونل

- تونل انتقال آب کاکارضا

- سامانه انتقال آب از خروجی تونل کاکارضا تا سد مخزنی مخمل کوه

- سد مخزنی مخمل کوه

- تأسیسات و خطوط انتقال آب شرب شهر خرم‌آباد

در طرح انتقال آب کاکارضا، متوسط مصرف سرانه آب معادل ۲۳۰ لیتر در روز به‌ازای هر نفر و ضریب حداکثر روزانه ۱/۳ برابر متوسط سرانه مصرف در نظر گرفته شده است. براساس مطالعات انجام شده، افق طرح پیشنهادی سال ۱۴۱۵ و جمعیت شهر در این سال معادل ۵۶۵۰۰۰ نفر برآورد گردیده است (Abdan Faraz adviser engineers, 2014). در شکل (۱)، موقعیت محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.

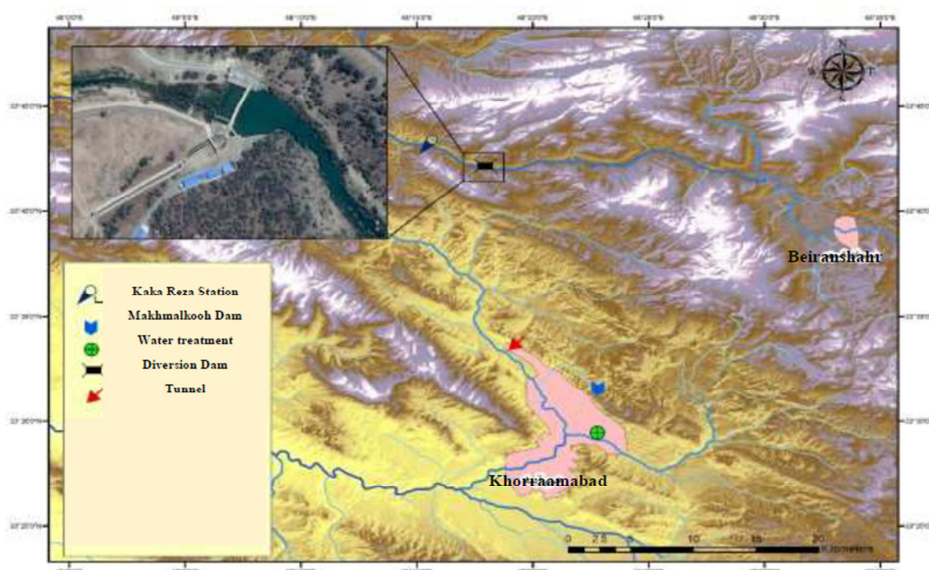


Figure 1. Study basin

## ۲-۲- مدل ریزمقیاس کننده LARS-WG

مدل LARS-WG<sup>۲</sup> از سه قسمت اصلی تشکیل شده است؛ واسنجی، اعتبارسنجی و شبیه‌سازی شرایط آب‌وهوایی برای دهه‌های زمانی آتی. مدل به فایلی نیاز دارد که رفتار اقلیمی منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی پایه را مشخص نماید. به منظور ایجاد این فایل، مقادیر بارش روزانه، دمای کمینه و بیشینه و ساعات آفتابی برای یک دوره زمانی خاص مورد نیاز است. بنابراین مدل می‌تواند با استفاده از این فایل، شرایط حاکم بر دوره‌های آتی را شبیه‌سازی نماید. اولین مرحله در آماده سازی داده‌ها جهت ورود به مدل LARS-WG، کالیبراسیون مدل است. در این مرحله، از حدود ۷۵ درصد از داده‌های دوره تاریخی شامل بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه استفاده می‌گردد. سپس، نتایج حاصل از این مرحله با ۲۵ درصد باقی‌مانده داده‌های دوره تاریخی، جهت تعیین شباهت‌ها مقایسه می‌شود. تحلیل فرایند واسنجی، داده‌های جمع‌آوری شده (مشاهداتی) را برای تعیین مشخصات آن‌ها و ایجاد توزیع احتمال تجمعی مبتنی بر مکان برای متغیرهای اقلیمی مختلف مشخص می‌نماید. مدل LARS-WG براساس داده‌های ورودی، فایل‌های مورد نیاز شامل پارامترهای اقلیمی و توزیع‌های فصلی دوره‌های تر و خشک را تولید می‌کند. در طول فرایند شبیه‌سازی، تعداد سال‌هایی که باید به صورت تصادفی تعیین شود، مؤلفه‌های تصادفی تولید آب‌وهوا را کنترل می‌نماید (Irwin et al., 2012; Jahangir et al., 2022). در مرحله بعد، اعتبارسنجی نتایج انجام می‌شود تا اطمینان کافی جهت تولید مقادیر روزانه متغیرهای هواشناسی که دارای خصوصیات مشابه داده‌های دوره تاریخی باشند، حاصل گردد. در مرحله اعتبارسنجی، از باقی‌مانده داده‌های دوره تاریخی (۲۵ درصد) استفاده می‌شود. مدل LARS-WG، ابزاری برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی یا آب‌وهوا نیست، بلکه برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و شرایط آب‌وهوایی در دهه‌های آتی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fatemi Nia et al., 2012).

## ۲-۳- سناریوهای SSP

یکی از محدودیت‌های سناریوی RCP<sup>۳</sup> مطرح شده، فقدان روایت اجتماعی- اقتصادی از گرایش‌ها جمعیتی مورد انتظار در طول قرن بیست و یکم است. لذا، در مطالعه حاضر، از سناریوهای خطوط سیر بخش‌های مشترک اقتصادی- اجتماعی (SSPs)<sup>۴</sup> استفاده گردید. این سناریوها، روایت‌های مربوط به تغییرات مورد انتظار در طول قرن ۲۱ را در ارتباط با ابعاد اجتماعی- اقتصادی، تغییر اقلیم، آسیب‌پذیری و اثربخشی سیاست‌های پایدار توصیف می‌کنند (Jones and Neill, 2016). بنابراین، می‌توان تغییرات جمعیتی مورد انتظار در طول قرن بیست و یکم را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. این سناریوها عبارتند از سناریوی SSP1 (پایداری)؛ سناریوی اول مبتنی بر یک مسیر پایدار در قرن ۲۱ با هدف کاهش نابرابری بین کشورها و مصرف با تراکم کم‌تر منابع می‌باشد. سناریوی SSP2 (وسط جاده)؛ این سناریو با الگوهای تاریخی موجود در رشد نابرابر میان کشورها متفاوت است. در این سناریو، اهداف بین‌المللی به‌کندی دنبال می‌شوند. سناریوی SSP3 (رقابت منطقه‌ای)؛ در این سناریو، ملی‌گرایی با سیاست‌های متمرکز بر حوضه‌های منطقه‌ای، ظاهر می‌شود. عدم آگاهی بین‌المللی از اهداف پایدار منجر به بروز مشکلات زیست‌محیطی در مناطق مختلف می‌گردد. سناریوی SSP4 (نابرابری)؛ نابرابری در مناطق مختلف جهان رو به افزایش است. در حوزه انرژی، منابع انرژی تجدیدپذیر و سوخت‌های فسیلی، توسعه یافته‌اند. سناریوی SSP5 (توسعه سوخت‌های فسیلی)؛ این سناریو بر پایه افزایش سریع اقتصاد جهانی با مصرف فزاینده سوخت‌های فسیلی استوار است (Samir and Wolfgang, 2017; Jiang and O'Neill, 2017; Riahi et al., 2017).

### ۲-۳-۱- ارزیابی داده‌های تولیدشده توسط مدل LARS-WG براساس داده‌های مشاهداتی

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل LARS-WG، از پارامترهای آماری ضریب تبیین ( $R^2$ )، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و ضریب نش-سانکیلیف (NSE) استفاده گردید که روابط آن‌ها به صورت زیر می‌باشد:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$NRMSE = \frac{100}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در روابط بالا،  $X_i$  داده مشاهداتی،  $\bar{X}$ ، متوسط داده‌های مشاهداتی و  $Y_i$ ، داده مدل‌سازی شده می‌باشند.

نتایج اعتبارسنجی مدل LARS-WG با استفاده از داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده در جدول (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، انطباق مناسبی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG وجود دارد که نمایانگر دقت بالای این مدل در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی است.

**Table 1.** Statistical parameters in validation of lars - wg model

Statistical parameter	NSE	NRMSE	R <sup>2</sup>
Precipitation	0.87	0.28	0.93
Max Temperature	0.99	0.08	0.99
Min Temperature	0.99	0.03	0.99

### ۲-۴- انتخاب سازگارترین مدل GCM با داده‌های مشاهداتی

در مطالعه حاضر، داده‌های ۲۶ مدل GCM<sup>۱</sup> جدید ارائه شده در گزارش ششم IPCC<sup>۲</sup> دانلود شد که اطلاعات آن‌ها در جدول (۲) ارائه شده است. سپس، با استفاده از پارامترهای آماری  $R^2$ ، NRMSE و NSE، داده‌های مدل‌های اخذشده با داده‌های مشاهداتی مقایسه و در نهایت، مدل IPSL-CM6A-LR.INCA به عنوان سازگارترین مدل با اقلیم منطقه انتخاب گردید (جدول ۳). در ادامه با استفاده از داده‌های مدل مذکور، پارامترهای بارش، دمای کمینه و بیشینه برای دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP تولید شدند.

### ۲-۵- صحت‌سنجی مدل LARS-WG

معمولاً برای صحت‌سنجی مدل LARS-WG از دو روش استفاده می‌شود. در روش اول، داده‌های موجود را به دو دسته تقسیم می‌شوند. سپس، داده‌های اقلیمی بدون تعریف شدن هیچ سناریویی، تولیدشده و با داده‌های دسته دوم، فرایند صحت‌سنجی انجام می‌شود. در روش دوم، با استفاده از آزمون‌های آماری نظیر F-test، t-student و کولموگراف-اسمیرنوف، می‌توان عملکرد فایل \*.tst تولیدشده توسط مدل LARS-WG را مورد ارزیابی قرار داد. همچنین، مقادیر میانگین، انحراف معیار و توزیع آماری داده‌های موجود مورد بررسی قرار می‌گیرد. آزمون کولموگراف-اسمیرنوف<sup>۱</sup> (k-s)، به منظور ارزیابی سازگاری سری داده‌های مشاهداتی و تولیدشده در چهار مورد از جمله توزیع فصلی سری‌های تر و خشک، توزیع بارش روزانه، توزیع دمای کمینه و توزیع دمای بیشینه مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمون t-student به منظور

بررسی معناداری اختلاف بین سری‌های زمانی مشاهداتی و تولیدشده برای پارامترهای میانگین بارش ماهانه، میانگین ماهانه دمای بیشینه روزانه و میانگین دمای کمینه روزانه به کار می‌رود. در نهایت، آزمون F، برای بررسی واریانس ماهانه داده‌های بارش مشاهداتی و تولیدشده مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج آزمون‌های مذکور در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج آزمون‌های آماری انجام شده، حاکی از عملکرد مناسب مدل LARS-WG در تولید داده‌های بارش و دمای هوا می‌باشد.

**Table 2.** Information of GCM data reported in the sixth report of IPCC in the present study

Row	Model	Country or Union	Atmospheric resolution	Integration period
1	ACCESS-CM2	Australia	1.875° × 1.25°, L38	1980-2014
2	ACCESS-ESM1	Australia	1.875° × 1.25°, L38	1980-2014
3	BCC-CSM2	China	~2.8° × 2.8°, L26	1980-2014
4	BCC-ESM1	Canada	~2.8° × 2.8°, L35	1980-2014
5	CanESM5	Canada	~2.8° × 2.8°, L35	1980-2014
6	CanESM5-CanOE	USA	1.25° × ~0.9°, L26	1980-2014
7	CAS-ESM	USA	1.25° × ~0.9°, L26	1980-2014
8	CAS-ESM2	Italy	3.75° × ~3.7°, L39	1980-2014
9	CESM2	Italy	1.875° × ~1.9°, L95	1980-2014
10	CESM2-WACCM	France	~1.4° × 1.4°, L31	1980-2014
11	CMCC-ESM2	France	~1.4° × 1.4°, L31	1980-2014
12	CNRM-CM6-1	France	~1.4° × 1.4°, L31	1980-2014
13	CNRM-ESM2-1	USA	2.5° × 2°, L40	1980-2014
14	GISS-E2-1-G	USA	2.5° × 2°, L40	1980-2014
15	GISS-E2-1-H	UK	3.75° × 2.5°, L19	1980-2014
16	HadGEM3	UK	1.875° × 1.25°, L60	1980-2014
17	HadGEM3-GC31-LL	Russia	2° × 1.5°, L21	1980-2014
18	INM-INM-CM5	France	3.75° × ~1.9°, L39	1980-2014
19	IPSL-CM6A-LR	France	2.5° × ~1.3°, L39	1980-2014
20	IPSL-CM6A-LR-INCA	Japan	~1.4° × 1.4°, L81	1980-2014
21	MIROC6	Japan	2.8125° × ~2.8°, L40	1980-2014
22	MIROC-ES2L	Germany	1.875° × ~2°, L47	1980-2014
23	MPI-ESM-1-2-HAM	Germany	1.875° × ~2°, L47	1980-2014
24	MPI-ESM1-2-LR	Germany	1.125° × ~1.1°, L48	1980-2014
25	MRI-ESM2-0	UK	1.875° × 1.25°, L85	1980-2014
26	UKESM1-0-LL	UK	1.9° × 1.3°	1980-2014

**Table 3.** Statistical parameters values in correlation evaluation between historical and GCM data

Row	Model	Precipitation			Max Temperature			Min Temperature		
		R <sup>2</sup>	NRMSE	NSE	R <sup>2</sup>	NRMSE	NSE	R <sup>2</sup>	NRMSE	NSE
1	ACCESS-CM2	0.43	0.68	0.30	1.00	0.36	0.71	0.98	2.31	0.13
2	ACCESS-ESM1	0.51	0.67	0.31	0.99	0.37	0.69	0.98	2.14	0.25
3	BCC-CSM2	0.00	1.06	-0.72	0.69	0.42	0.60	0.69	1.49	0.64
4	BCC-ESM1	0.00	1.15	-1.01	0.69	0.42	0.60	0.81	1.02	0.83
5	CanESM5	0.11	1.20	-1.19	0.72	0.47	0.50	0.81	1.26	0.74
6	CanESM5-CanOE	0.20	1.01	-0.55	0.70	0.41	0.61	0.97	2.27	0.16
7	CAS-ESM	0.00	1.15	-1.01	0.69	0.42	0.60	0.69	1.49	0.64
8	CAS-ESM2	0.00	1.15	-1.01	0.69	0.42	0.60	0.69	1.49	0.64
9	CESM2	0.26	1.24	-1.36	0.27	1.00	-1.33	0.27	2.32	0.12
10	CESM2-WACCM	0.12	1.15	-1.01	0.27	1.01	-1.33	0.28	2.32	0.12
11	CMCC-ESM2	0.30	0.94	-0.36	0.72	0.32	0.76	0.97	2.21	0.20
12	CNRM-CM6-1	0.64	0.83	-0.04	1.00	0.36	0.71	0.99	2.22	0.19
13	CNRM-ESM2-1	0.67	0.69	0.28	0.99	0.08	0.98	0.99	2.23	0.18
14	GISS-E2-1-G	0.07	1.55	-2.67	0.69	0.33	0.76	0.97	2.30	0.14
15	GISS-E2-1-H	0.20	0.79	0.05	0.70	0.41	0.62	0.97	2.15	0.25
16	HadGEM3	0.04	0.93	-0.33	0.44	0.42	0.59	0.02	2.65	-0.15
17	HadGEM3-GC31-LL	0.04	0.93	-0.33	0.44	0.42	0.59	0.02	2.65	-0.15
18	INM-INM-CM5	0.53	0.75	0.14	0.62	0.39	0.65	0.97	2.33	0.11
19	IPSL-CM6A-LR	0.80	0.40	0.29	1.00	0.39	0.64	0.99	2.11	0.27
20	IPSL-CM6A-LR-INCA	0.83	0.92	0.75	1.00	0.29	0.69	0.99	2.14	0.52
21	MIROC6	0.56	0.91	-0.27	1.00	0.36	0.71	0.99	2.08	0.29
22	MIROC-ES2L	0.46	0.97	-0.43	1.00	0.39	0.65	0.99	2.13	0.26
23	MPI-ESM-1-2-HAM	0.61	1.05	-0.68	1.00	0.19	0.92	0.99	2.12	0.27
24	MPI-ESM1-2-LR	0.48	1.05	-0.68	1.00	0.24	0.87	0.99	2.11	0.27
25	MRI-ESM2-0	0.49	0.63	0.40	0.99	0.13	0.96	0.99	2.17	0.23
26	UKESM1-0-LL	0.01	1.04	-0.66	0.44	0.43	0.58	0.02	2.63	-0.13

Table 4. Result of Kolmogorov– Smirnov, F- test and t-student between observed and generated data by LARS-WG model

	Precipitation				Max Temperature				Min Temperature			
	K-S	t-student	F	P value	K-S	F	t-student	P value	K-S	F	t-student	P value
Jan	0.07	1.17	0.30	1.00	0.01	16.01	-0.35	1.00	0.05	1.45	4.17	1.00
Feb	0.13	1.19	-0.87	0.99	0.05	19.41	0.13	1.00	0.05	0.44	5.27	1.00
Mar	0.07	1.09	-0.29	1.00	0.05	19.05	-0.45	1.00	0.03	-1.95	4.26	1.00
Apr	0.07	1.41	0.27	1.00	0.05	42.64	0.21	1.00	0.05	-0.12	2.18	1.00
May	0.07	1.51	-1.76	1.00	0.03	26.56	-0.57	1.00	0.05	-0.66	7.16	1.00
Jun	0.09	1.74	1.23	1.00	0.05	10.92	0.40	1.00	0.05	-1.54	17.40	1.00
Jul	0.61	6.75	-1.78	0.88	0.11	12.56	0.77	1.00	0.05	-0.20	9.28	1.00
Aug	0.33	9.26	-1.78	0.80	0.05	20.32	0.04	1.00	0.05	1.02	9.28	1.00
Sep	0.61	5.42	-2.06	0.64	0.05	24.04	-0.39	1.00	0.03	-0.34	8.80	1.00
Oct	0.06	3.65	-2.06	1.00	0.03	30.24	-0.24	1.00	0.11	0.24	9.89	1.00
Nov	0.07	1.95	-1.76	1.00	0.05	17.94	-0.46	1.00	0.05	-0.01	6.63	1.00
Dec	0.06	1.04	-0.70	1.00	0.05	5.66	-0.63	1.00	0.03	-0.54	5.61	1.00

## ۲-۶- مدل بارش- رواناب IHACRES

به منظور ارزیابی اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بر رواناب سطحی، استفاده از مدل‌های بارش- رواناب، اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. در پژوهش حاضر، به منظور تعیین رواناب حوضه آبریز هررود و تخمین رواناب این حوضه در دوره‌های آتی تحت سناریوهای تغییر اقلیم، از مدل بارش- رواناب IHACRES<sup>۱۱</sup> استفاده گردید. مهم‌ترین دلیل استفاده از این مدل در مطالعه حاضر، سادگی استفاده، نیاز به پارامترهای کم‌تر در مقایسه با مدل‌های دیگر (نظیر مدل HEC-HMS) و سرعت بالا در مدل‌سازی است. این مدل به واسطه نیاز به داده‌های کم و توانایی بالا در مدل‌سازی داده‌های روزانه بارش و رواناب، مورد توجه پژوهش‌گران بوده است. این مدل بری شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌های آبریز نسبتاً بزرگ کاربرد داشته و در مطالعه حاضر، از جدیدترین نسخه آن استفاده گردید. بدین منظور، از داده‌های بارش و دمای متوسط (میانگین دمای کمینه و بیشینه) ریزمقیاس شده توسط LARS-WG و همچنین آبدی رودخانه هررود جهت شبیه‌سازی رواناب این حوضه در دوره زمانی پایه و دوره‌های آتی تحت تأثیر سناریوهای SSP استفاده گردید. مدل بارش- رواناب IHACRES توسط Jakeman and Hornberger (1993) ارائه شده است و در شرایطی که رواناب سطحی، بخشی از رژیم جریان حوضه مورد نظر باشد، رفتار حوضه آبریز را به خوبی توصیف می‌نماید. در شکل (۲)، فرایند مدل‌سازی در مدل بارش- رواناب IHACRES نشان داده شده است.

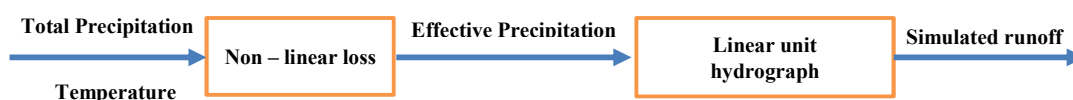


Figure 2. Generic structure of the IHACRES model with two main modules – non-linear module to convert total rainfall to effective rainfall and linear module to convert effective rainfall to streamflow

## ۲-۷- نتایج صحت‌سنجی<sup>۱۲</sup> و واسنجی<sup>۱۳</sup> مدل بارش- رواناب IHACRES

در این پژوهش، دوره زمانی ۱۹۸۶/۰۱/۰۱ تا ۲۰۰۰/۱۲/۳۱ میلادی جهت صحت‌سنجی و دوره زمانی ۲۰۰۱/۰۱/۰۱ تا ۲۰۱۴/۱۲/۳۱ میلادی جهت واسنجی مدل IHACRES در نظر گرفته شد. جهت ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از این مدل نیز از ضریب تبیین ( $R^2$ )، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE) و ضریب نش- ساتکیلیف (NSE) استفاده گردید که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i^2}}$$



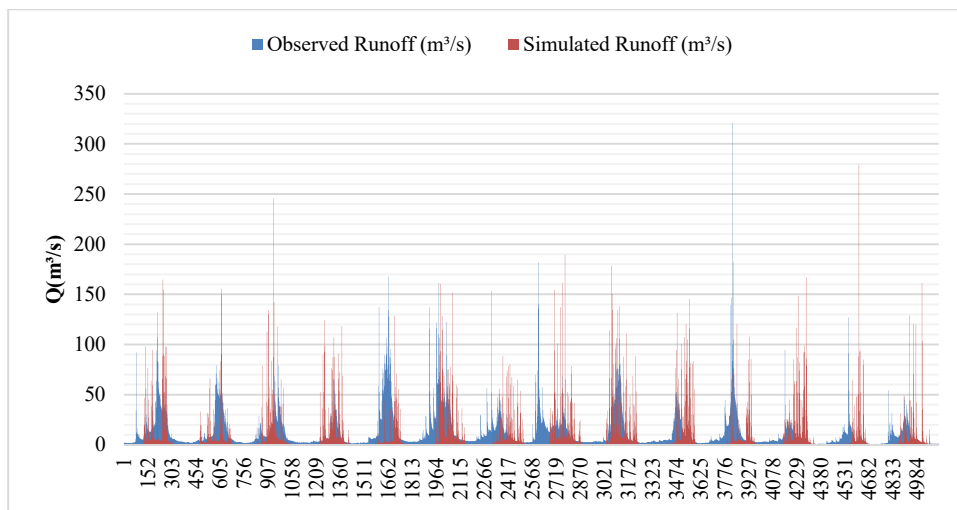
$$NRMSE = \frac{100}{\bar{X}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

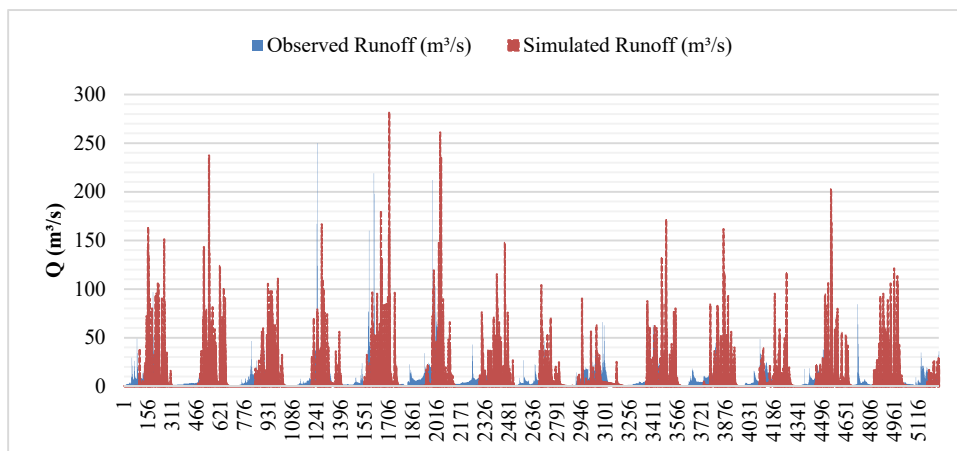
در روابط بالا،  $X_i$  پارامتر مشاهداتی،  $Y_i$  پارامتر شبیه‌سازی شده،  $\bar{X}$  متوسط پارامتر مشاهداتی و  $n$  تعداد کل داده‌ها می‌باشند. همچنین در شکل‌های (۳) و (۴)، دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به ترتیب در دوره‌های زمانی واسنجی و صحت‌سنجی نشان داده شده است. با توجه به شاخص‌های آماری محاسبه شده و شکل‌های (۳) و (۴)، ملاحظه می‌شود که مدل IHACRES، توانایی مناسبی در مدل‌سازی رواناب حوضه‌های آبریز دارد.

**Table 5.** Result of evaluation of IHACRES model in Calibration and Validation time period

Time Period	NSE	NRMSE	BIAS	R <sup>2</sup>
Calibration	5.45	0.87	3.44	0.69
Validation	1.28	0.76	-1.28	0.56



**Figure 3.** Time series of observed and simulated runoff in calibration period by IHACRES model



**Figure 4.** Time series of observed and simulated runoff in validation period by IHACRES model

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- نتایج ماهانه پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در سناریوهای آینده

پس از صحت‌سنجی مدل LARS-WG، داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در ایستگاه کاکارضا، در سه بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰)، آینده میانی (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و آینده دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) میلادی به‌ازای سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 با استفاده از داده‌های مدل IPSL-CM6A-LR-INCA پیش‌بینی گردید. نتایج ماهانه پیش‌بینی پارامترهای مذکور در شکل‌های (۵) تا (۷) ارائه شده است.

با توجه به شکل‌های (۵) و (۶)، مشاهده می‌شود که دماهای کمینه و بیشینه، در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه، به‌ازای سناریوهای SSP افزایش خواهند یافت. بیش‌ترین میزان افزایش، در ماه‌های جولای و آگوست و کم‌ترین میزان افزایش در ماه‌های نوامبر و دسامبر ثبت شده است. بیش‌ترین میزان افزایش در سناریوی SSP5-8.5 (سناریوی بدبینانه) و کم‌ترین میزان افزایش نیز در سناریوی SSP1-2.6 (سناریوی خوش‌بینانه) پیش‌بینی شد. در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۵۰ میلادی، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5، متوسط ماهانه دمای کمینه به‌ترتیب ۲/۲۳، ۲/۴۰ و ۲/۷۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط ماهانه دمای بیشینه به‌ترتیب ۶/۲۴، ۶/۲۷ و ۶/۶۱ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابند. همچنین مجموع بارش ماهانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه، تحت سناریوهای مذکور، کاهش خواهد یافت. در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۵۰ میلادی، مجموع بارش ماهانه به‌ترتیب ۲۷/۶۹، ۲۹/۷۲ و ۳۰/۸۷ نسبت به دوره پایه، کاهش خواهد یافت. در بازه زمانی ۲۰۵۱-۲۰۷۵ میلادی نیز تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5، متوسط ماهانه دمای کمینه به‌ترتیب ۲/۷۱، ۳/۷۲ و ۴/۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط ماهانه دمای بیشینه به‌ترتیب ۶/۷۱، ۷/۶۲ و ۸/۱۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و مجموع بارش ماهانه نیز به‌ترتیب ۲۷/۳۱، ۲۷/۶۰ و ۲۸/۷۸ درصد کاهش خواهد یافت. در بازه زمانی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ میلادی نیز تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5، متوسط ماهانه دمای کمینه به‌ترتیب ۲/۶۸، ۴/۸۹ و ۶/۰۲ درصد و متوسط ماهانه دمای بیشینه به‌ترتیب ۶/۲۴، ۸/۹۲ و ۱۰/۰۱ درصد افزایش و مجموع بارش ماهانه نیز ۲۹/۶۶، ۳۱/۰۶ و ۳۴/۲۵ درصد کاهش خواهند یافت. در جدول‌های (۶) تا (۸)، به‌ترتیب میزان تغییرات دمای کمینه، بیشینه و بارش در دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP نسبت به دوره پایه ارائه شده است. بیش‌ترین میزان افزایش دمای کمینه در سناریوی SSP5-8.5 (سناریوی بدبینانه) در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست بیش‌ترین میزان افزایش دمای بیشینه نیز در سناریوی SSP5-8.5 در ماه‌های می، ژوئن و جولای و بیش‌ترین میزان کاهش بارش ماهانه نیز در سناریوی SSP5-8.5 در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر برآورد گردید.

Table 6. Comparison of monthly minimum temperature fluctuations of Kakareza station in the future periods compared to the base period (°C)

	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)
Jan	-0.36	0.19	0.42	0.11	2.24	3.20	-0.06	2.65	4.77
Feb	1.77	2.69	2.90	1.74	4.00	5.83	2.69	4.29	7.97
Mar	7.00	7.94	7.93	6.70	8.99	10.55	8.01	9.59	11.95
Apr	10.80	11.64	11.61	11.18	13.13	14.54	11.96	13.38	16.15
May	14.39	15.17	14.82	14.68	16.39	18.10	14.83	17.15	19.88
Jun	18.88	19.37	19.29	19.17	20.98	23.06	19.34	22.00	24.50
Jul	23.97	24.33	24.30	24.40	26.24	28.49	24.79	27.14	30.09
Aug	22.69	23.51	23.22	23.11	24.82	26.97	23.28	25.73	28.77
Sep	12.38	12.39	12.39	12.38	12.42	12.46	12.39	12.44	12.49
Oct	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10
Nov	3.99	3.98	3.97	3.98	3.94	3.94	3.98	3.94	3.94
Dec	0.68	0.73	0.75	0.73	0.91	1.01	0.70	0.97	1.18

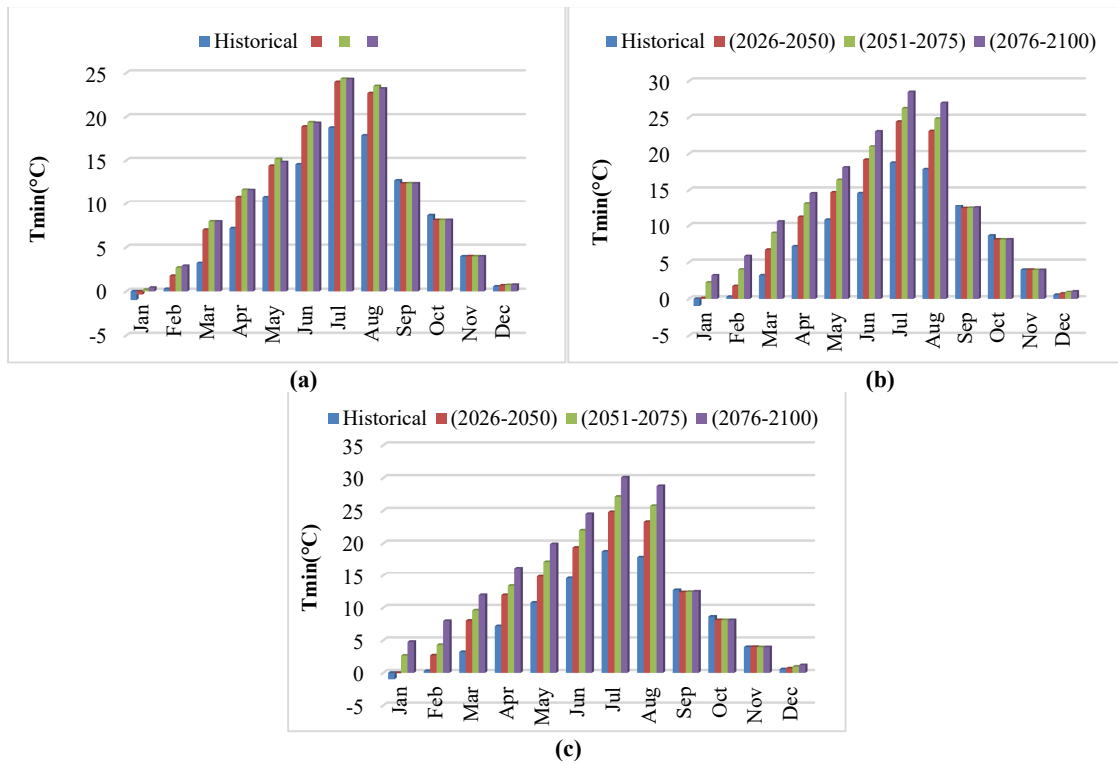


Figure 5. Comparison of monthly trend of minimum temperature in Kakareza station for future and base time period; a: SSP1-2.6 scenario, b: SSP3-7.0 scenario, c: SSP5-8.5

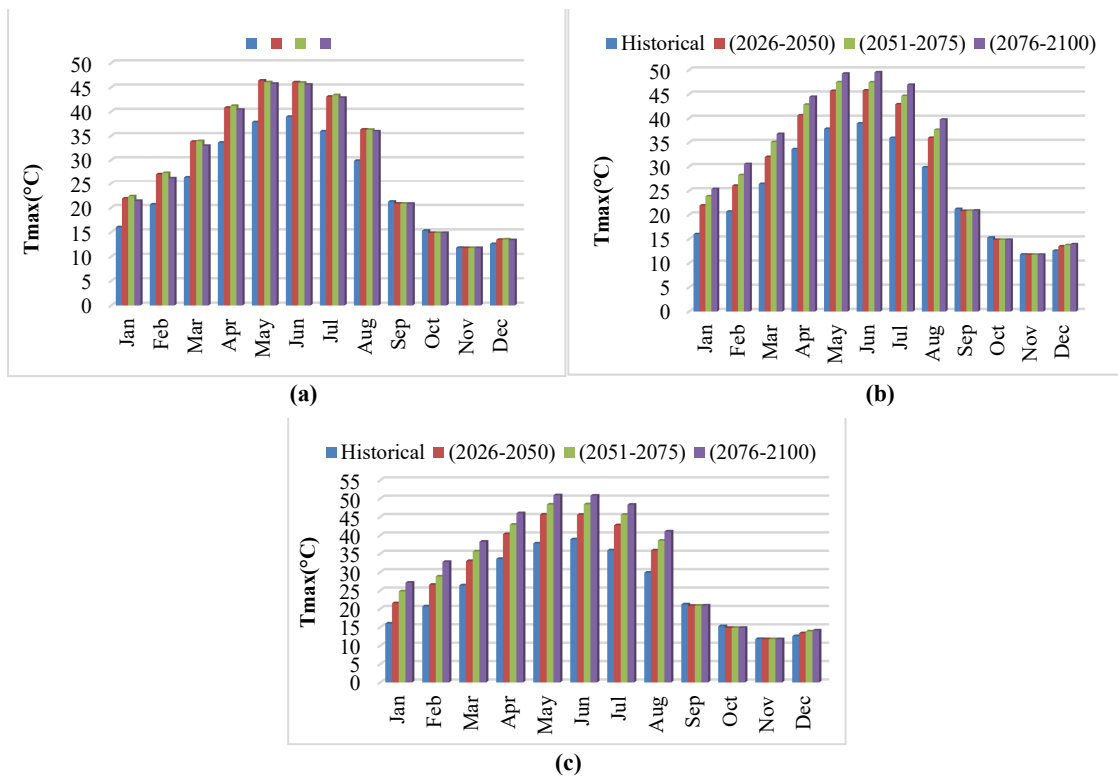


Figure 6. Comparison of monthly trend of maximum temperature in Kakareza station for future and base time period; a: SSP1-2.6 scenario, b: SSP3-7.0 scenario, c: SSP5-8.5

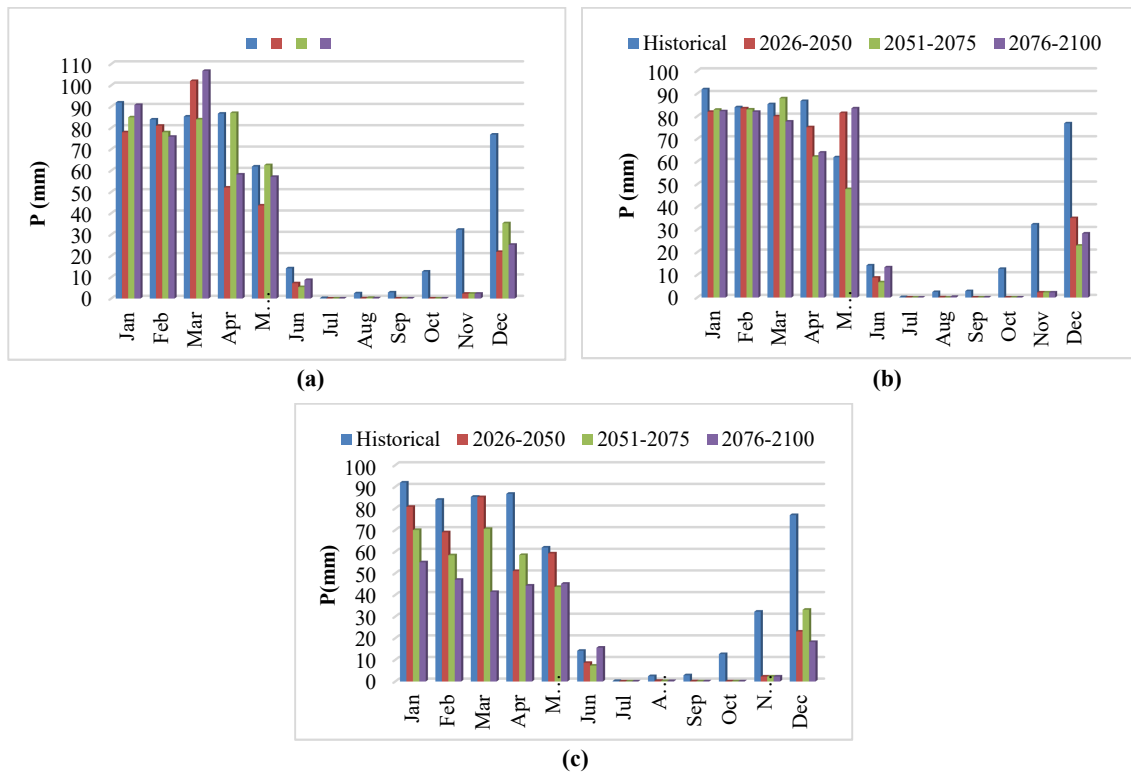


Figure 7. Comparison of monthly trend of precipitation in Kakareza station for future and base time period; a: SSP1-2.6 scenario, b: SSP3-7.0 scenario, c: SSP5-8.5

Table 7. Comparison of monthly maximum temperature fluctuations of Kakareza station in the future periods compared to the base period (°C)

	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)
Jan	21.88	22.34	21.39	21.94	23.86	25.34	21.54	24.76	27.12
Feb	27.06	27.33	26.23	26.04	28.22	30.52	26.57	28.82	32.78
Mar	33.79	33.91	32.93	31.99	35.06	36.76	33.00	35.63	38.28
Apr	40.79	41.18	40.36	40.60	42.81	44.42	40.34	42.90	46.03
May	46.39	46.06	45.74	45.67	47.45	49.24	45.65	48.38	50.91
Jun	46.03	45.96	45.57	45.76	47.45	49.52	45.60	48.45	50.80
Jul	43.07	43.38	42.84	42.90	44.60	46.93	42.73	45.58	48.33
Aug	36.29	36.25	35.92	35.94	37.59	39.72	35.90	38.56	41.07
Sep	20.83	20.83	20.83	20.83	20.86	20.90	20.82	20.88	20.92
Oct	14.85	14.85	14.85	14.85	14.85	14.85	14.85	14.85	14.85
Nov	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76	11.76
Dec	13.43	13.51	13.37	13.49	13.75	13.92	13.38	13.87	14.14

Table 8. Comparison of monthly precipitation fluctuations of Kakareza station in the future periods compared to the base period (mm)

	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)	(2026-2050)	(2051-2075)	(2076-2100)
Jan	-0.18	0.19	-0.01	0.18	-0.11	-0.12	-0.14	0.11	-0.67
Feb	0.19	0.15	0.13	0.21	0.17	-0.53	0.04	-0.13	-0.40
Mar	0.16	-0.02	0.20	0.36	0.03	-0.10	0.00	-0.21	-1.06
Apr	-0.67	0.00	-0.49	-0.15	-0.40	-0.36	-0.70	-0.48	-0.96
May	-0.42	0.01	-0.09	0.24	-0.29	0.26	-0.05	-0.42	-0.37
Jun	-0.98	-1.65	-0.63	-0.61	-1.10	-0.06	-0.65	-0.94	0.09
Jul	-12.02	-8.75	-3.82	-2.83	-46.87	-17.08	-11.15	-13.93	-35.99
Aug	-22.54	-7.48	-20.02	-23.51	-131.40	-6.22	-7.77	-11.01	-11.87
Sep	-65.00	-42.51	-62.65	-62.84	-83.45	-38.72	-43.05	-50.56	-51.83
Oct	-253.18	-253.18	-253.18	-253.18	-253.18	-253.18	-253.18	-253.18	-253.18
Nov	-13.26	-13.26	-13.26	-13.26	-13.26	-13.26	-13.26	-13.26	-13.26
Dec	-2.51	-1.18	-2.05	-1.19	-2.36	-1.72	-2.33	-1.32	-3.21

### ۳-۲- نتایج فصلی پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی در سناریوهای آینده

نتایج فصلی پیش‌بینی پارامترهای دمای کمینه، بیشینه و بارش ایستگاه کاکارضا در دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP در شکل‌های (۸) تا (۱۰) ارائه شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بیش‌ترین میزان افزایش فصلی دمای کمینه و بیشینه، در فصل تابستان تحت سناریوی SSP5-8.5 و کم‌ترین میزان آن نیز در فصل زمستان تحت سناریوی SSP1-2.6 به‌دست‌آمده است. بیش‌ترین میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه، به‌ترتیب به میزان ۱۰/۷۳ و ۱۲/۴۷ درجه سانتی‌گراد در دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ میلادی تحت سناریوی SSP5-8.5 و کم‌ترین میزان آن؛ به‌طور مشابه، معادل ۰/۲۹- سانتی‌گراد تحت سناریوی SSP1-2.6 می‌باشند. با توجه به شکل (۱۰) نیز مشاهده می‌شود که بیش‌ترین میزان بارش در فصل بهار تحت سناریوی SSP1-2.6 و کم‌ترین میزان آن در فصل تابستان تحت سناریوی SSP5-8.5 برآورد شده است. همچنین، کم‌ترین میزان نوسانات فصلی دمای کمینه، بیشینه و بارش در فصل پاییز و بیش‌ترین میزان آن نیز در فصل تابستان برآورد گردید. میزان تغییرات فصلی دمای کمینه، بیشینه و بارش در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای SSP در جدول‌های (۹) تا (۱۱) ارائه شده است.

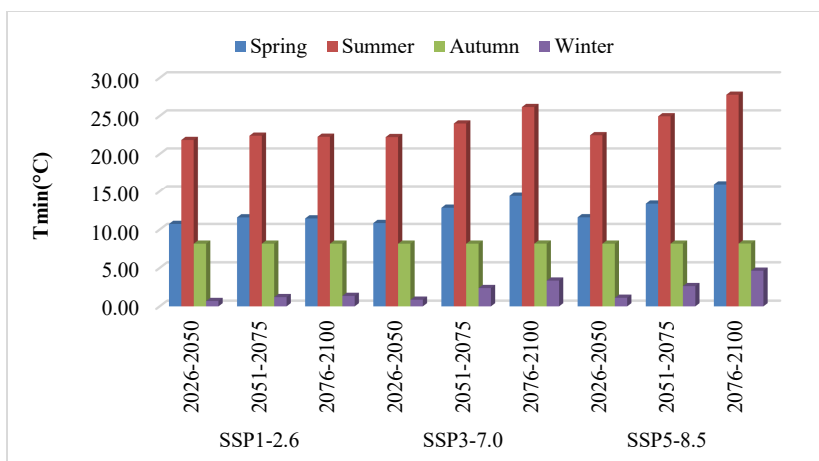


Figure 8. Seasonal changes of minimum temperature in Kakareza station in future periods under SSPs scenarios (°C)

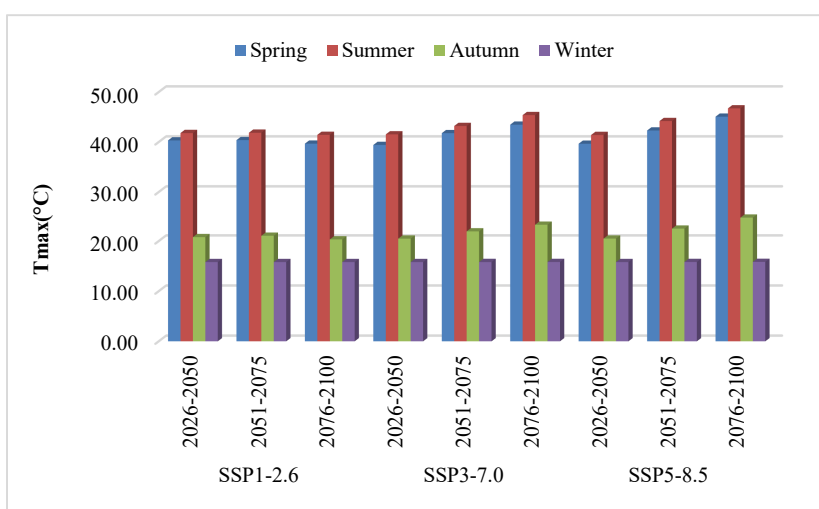


Figure 9. Seasonal changes of maximum temperature in Kakareza station in future periods under SSPs scenarios (°C)

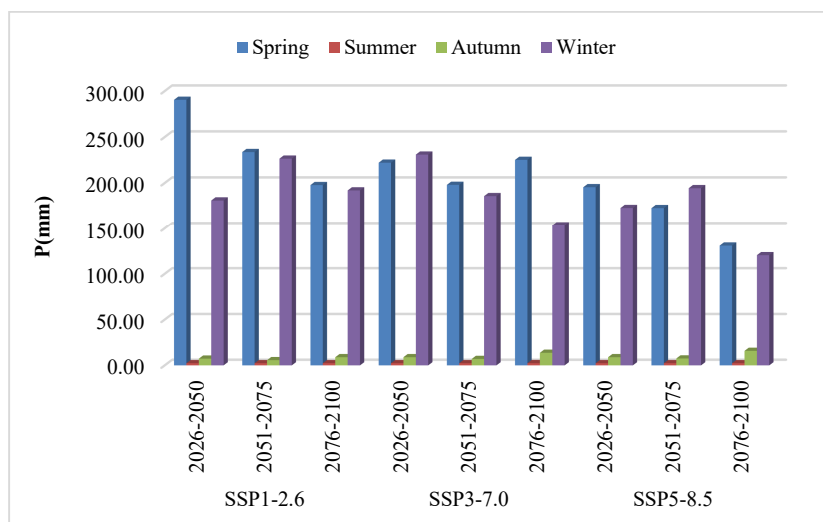


Figure 10. Seasonal changes of precipitation in Kakareza station in future periods under SSPs scenarios (mm)

Table 9. Comparison of seasonal minimum temperature fluctuations of Kakareza station in the future periods compared to the base period under SSPs scenarios (°C)

	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
	2026-2050	2051-2075	2076-2100	2026-2050	2051-2075	2076-2100	2026-2050	2051-2075	2076-2100
Spring	3.67	4.53	4.39	3.80	5.78	7.34	4.54	6.32	8.94
Summer	4.79	5.35	5.21	5.17	6.95	9.11	5.41	7.90	10.73
Autumn	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.27	0.29	0.28	0.26
Winter	0.74	1.25	1.40	0.90	2.43	3.39	1.16	2.68	4.69

Table 10. Comparison of seasonal maximum temperature fluctuations of Kakareza station in the future periods compared to the base period under SSPs scenarios (°C)

	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
	2026-2050	2051-2075	2076-2100	2026-2050	2051-2075	2076-2100	2026-2050	2051-2075	2076-2100
Spring	7.72	7.79	7.08	6.82	9.17	10.87	7.07	9.70	11.84
Summer	6.90	6.97	6.55	6.64	8.32	10.49	6.51	9.30	12.47
Autumn	0.29	0.29	0.29	0.29	0.28	0.27	0.29	0.27	0.26
Winter	4.37	4.64	3.91	4.07	5.52	6.84	4.07	6.06	8.26

Table 11. Comparison of seasonal precipitation fluctuations of Kakareza station in the future periods compared to the base period under SSPs scenarios (mm)

	SSP1-2.6			SSP3-7.0			SSP5-8.5		
	2026-2050	2051-2075	2076-2100	2026-2050	2051-2075	2076-2100	2026-2050	2051-2075	2076-2100
Spring	15.51	0.16	5.12	24.10	15.42	3.80	16.51	26.22	44.08
Summer	56.69	66.37	47.26	46.87	59.78	18.63	47.26	55.29	6.17
Autumn	95.07	95.02	95.07	95.07	95.09	95.01	95.03	95.05	95.05
Winter	22.94	3.54	18.27	1.67	20.93	34.59	26.43	17.23	48.74

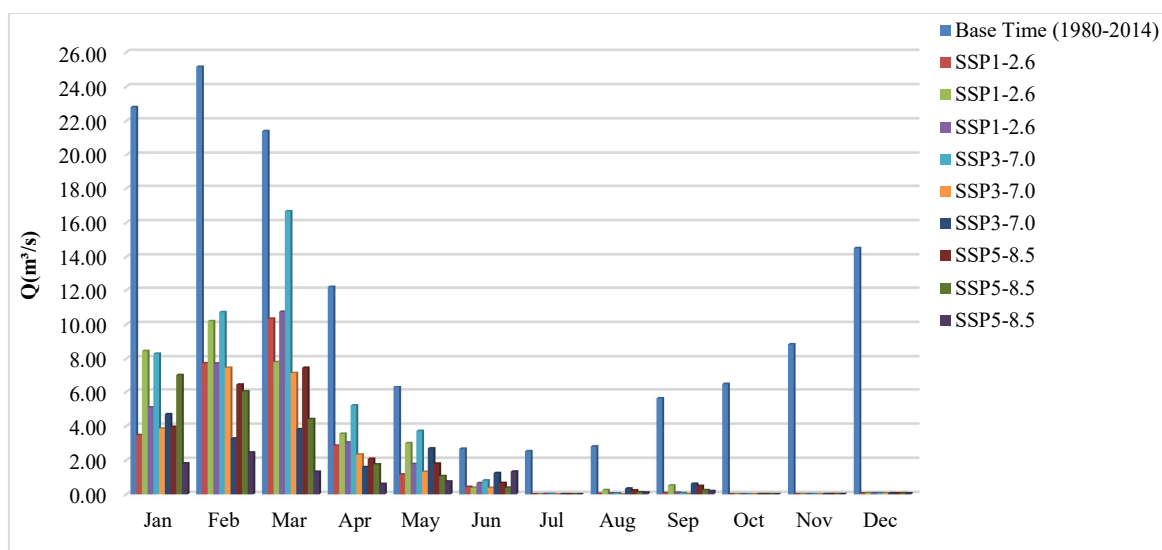
### ۳-۳- نتایج ماهانه شبیه‌سازی رواناب ورودی به سد مخزنی مخمل کوه

نتایج ماهانه شبیه‌سازی رواناب ورودی به سد مخزنی مخمل کوه در دوره پایه و دوره‌های آبی تحت سناریوهای SSP، در جدول (۱۰) و شکل (۱۱) نشان داده شده است. با توجه به این جدول (۱۲)، مشاهده می‌شود که در همه دوره‌های آبی تحت سناریوهای اقلیمی، میزان رواناب ورودی به سد مخمل کوه در مقایسه با دوره پایه، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای یافته است که با نتایج مطالعه Yue et al. (2022) و Kuriqi et al. (2021) مطابقت دارد. بیش‌ترین میزان کاهش میزان رواناب ماهانه، در سناریوی SSP5-8.5 و کم‌ترین میزان کاهش آن نیز در سناریوی SSP1-2.6 پیش‌بینی شده است که

این موضوع، به علت ماهیت هر یک از این سناریوها می باشد. کمترین میزان رواناب در دوره های آبی در ماه های ژوئن، جولای و آگوست برآورد شده است که کمترین میزان بارش نیز در همین ماه ها پیش بینی شده است.

**Table 12.** Monthly result of simulated runoff entering to Makhmalkooh dam in base and future periods under SSPs scenarios ( $m^3/s$ )

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average
<b>Base Time (1980-2014)</b>	<b>22.80</b>	<b>25.15</b>	<b>21.40</b>	<b>12.19</b>	<b>6.31</b>	<b>2.67</b>	<b>2.52</b>	<b>2.81</b>	<b>5.62</b>	<b>6.53</b>	<b>8.84</b>	<b>14.51</b>	<b>10.95</b>
SSP1-2.6 2026-2050	3.47	7.73	10.33	2.85	1.16	0.43	0.00	0.03	0.08	0.01	0.01	0.06	2.18
SSP1-2.6 2051-2075	8.44	10.19	7.80	3.55	2.99	0.38	0.00	0.25	0.52	0.01	0.01	0.07	2.85
SSP1-2.6 2076-2100	5.09	7.71	10.74	3.03	1.77	0.66	0.02	0.06	0.09	0.01	0.01	0.07	2.44
SSP3-7.0 2026-2050	8.28	10.71	9.12	5.21	3.71	0.81	0.03	0.06	0.07	0.01	0.01	0.07	3.80
SSP3-7.0 2051-2075	3.85	7.47	7.16	2.33	1.32	0.38	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.06	1.88
SSP3-7.0 2076-2100	4.69	3.27	3.81	1.59	2.69	1.25	0.01	0.34	0.62	0.01	0.01	0.07	1.53
SSP5-8.5 2026-2050	3.95	6.49	7.46	2.08	1.79	0.67	0.00	0.23	0.49	0.01	0.01	0.06	1.94
SSP5-8.5 2051-2075	7.04	6.03	4.41	1.75	1.07	0.39	0.00	0.12	0.24	0.01	0.01	0.07	1.76
SSP5-8.5 2076-2100	1.81	2.45	1.32	0.61	0.75	1.33	0.01	0.11	0.19	0.01	0.01	0.06	0.72



**Figure 11.** Comparison of Monthly result of simulated runoff entering to Makhmalkooh dam in base and future periods under SSPs scenarios ( $m^3/s$ )

### ۳-۴- نتایج فصلی شبیه سازی رواناب ورودی به سد مخزنی مخملکوه

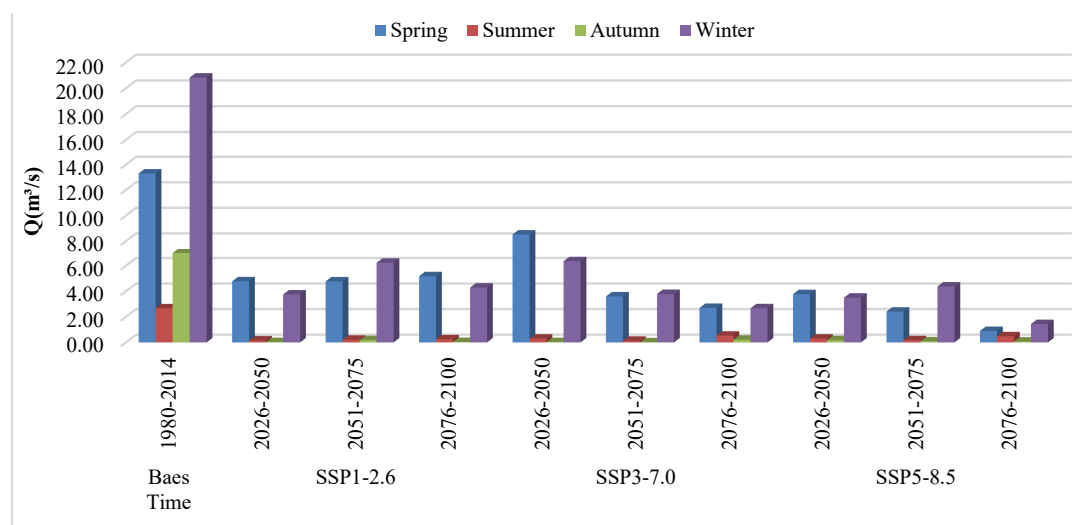
نتایج فصلی شبیه سازی رواناب ورودی به سد مخزنی مخملکوه در دوره پایه و دوره های آبی تحت سناریوهای SSP، در جدول (۱۳) و شکل (۱۲) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۱۱)، مشاهده می شود که رواناب فصلی در دوره های آبی تحت همه سناریوهای SSP، کاهش یافته است. بیشترین میزان کاهش رواناب در سناریوی SSP5-8.5 و کمترین میزان کاهش آن نیز در سناریوی SSP1-2.6 برآورد شده است که با نتایج مطالعه Yue et al. (2022) و Kuriqi et al. (2021) مطابقت دارد. در سناریوی SSP5-8.5، میزان رواناب ورودی به سد مخملکوه، بین ۲/۱۹ تا ۱۹/۳۸ مترمکعب بر ثانیه و در سناریوی SSP1-2.6، میزان رواناب ورودی به این سد، بین ۲/۴۳ تا ۱۷/۰۷ کاهش خواهد یافت. در بازه زمانی ۲۰۲۶-۲۰۵۰ میلادی، میزان رواناب ورودی به سد در سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 نسبت به دوره پایه، به ترتیب ۸/۷۷٪، ۷/۱۴٪ و ۹/۰۱٪ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافته است. در بازه زمانی ۲۰۲۵-۲۰۷۵ میلادی نیز کاهش میزان رواناب ورودی به سد، هم چنان افزایش خواهد داشت، به گونه ای که در سناریوهای مورد مطالعه

نسبت به دوره پایه، میزان رواناب ورودی به سد، به ترتیب ۸/۰۹، ۹/۰۶ و ۹/۱۸ مترمکعب بر ثانیه کاهش خواهد یافت. در نهایت، در بازه زمانی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ میلادی نیز میزان رواناب ورودی به سد تحت سناریوهای SSP، به ترتیب ۸/۵۱، ۹/۴۲ و ۱۰/۲۲ مترمکعب بر ثانیه کاهش می‌یابد.

میزان نوسانات رواناب ورودی به سد مخمل‌کوه در دوره‌های آتی نسبت به سناریوهای SSP در جدول (۱۴) نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که کم‌ترین و بیش‌ترین میزان نوسانات فصلی رواناب ورودی به سد مخمل‌کوه در مقایسه با دوره پایه، به ترتیب ۸۰/۸۹ درصد در بازه زمانی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ میلادی تحت سناریوی SSP1-2.6 و ۹۱/۸۳ درصد در بازه زمانی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ میلادی تحت سناریوی SSP5-8.5 برآورد شده است.

**Table 13.** Seasonal result of simulated runoff entering to Makhmalkooch dam in base and future periods under SSPs scenarios ( $m^3/s$ )

Season	1980-2014	Spring	Summer	Autumn	Winter
<b>Base Time</b>		<b>13.30</b>	<b>2.67</b>	<b>7.00</b>	<b>20.82</b>
SSP1-2.6	2026-2050	4.78	0.16	0.03	3.75
	2051-2075	4.78	0.21	0.18	6.23
	2076-2100	5.18	0.24	0.04	4.29
SSP3-7.0	2026-2051	6.01	0.30	0.03	6.36
	2051-2075	3.60	0.13	0.01	3.79
	2076-2100	2.70	0.53	0.21	2.68
SSP5-8.5	2026-2050	3.78	0.30	0.17	3.50
	2051-2075	2.41	0.17	0.09	4.38
	2076-2100	0.89	0.48	0.07	1.44



**Figure 12.** Comparison of Monthly result of simulated runoff entering to Makhmalkooch dam in base and future periods under SSPs scenarios ( $m^3/s$ )

**Table 14.** Comparison of Seasonal result of simulated runoff entering to Makhmalkooch dam in base and future periods under SSPs scenarios (%)

Season	Spring	Summer	Autumn	Winter	Average	
SSP1-2.6	2026-2050	64.05	94.12	99.55	81.98	84.93
	2051-2075	64.06	92.02	97.43	70.06	80.89
	2076-2100	61.04	90.86	99.47	79.40	82.69
SSP3-7.0	2026-2050	54.79	88.83	99.59	69.47	78.17
	2051-2075	72.92	95.24	99.89	81.78	87.46
	2076-2100	79.71	80.11	96.94	87.15	85.98
SSP5-8.5	2026-2050	71.57	88.73	97.55	83.19	85.26
	2051-2075	81.89	93.57	98.74	78.97	88.29
	2076-2100	93.28	81.93	99.00	93.10	91.83



#### ۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، رواناب ورودی به سد مخزنی مخمل کوه تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، ابتدا با استفاده از نسخه ششم مدل LARS-WG، داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش آفتابی ایستگاه کاکارضا ریزمقیاس شد. در ادامه، داده‌های مربوط به ۲۶ مدل گردش عمومی جو ارائه شده در گزارش ششم IPCC از سایت CMIP6 دانلود شده و مدل IPSL-CM6A-LR-INCA به عنوان سازگارترین مدل با شرایط آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید و رواناب ورودی به سد مخمل کوه در دوره پایه ۱۹۸۰-۲۰۱۴ میلادی تهیه شده و با استفاده از نتایج ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG و داده‌های مشاهداتی با استفاده از پارامترهای مختلف آماری مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به مقادیر پارامترهای آماری محاسبه شده، انطباق مناسب و قابل قبولی بین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل و مقادیر مشاهداتی در دوره پایه وجود دارد. لذا می‌توان از مدل مذکور جهت ریزمقیاس نمایی متغیرهای هواشناسی و تولید سناریوهای تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی آتی، استفاده نمود. پس از صحت‌سنجی نتایج حاصل از مدل LARS-WG، پارامترهای دمای کمینه، بیشینه و بارش تحت سناریوهای SSP (SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5) در سه دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۲۶ (آینده نزدیک)، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ (آینده میانی) و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ میلادی (آینده دور) با استفاده از داده‌های مدل IPSL-CM6A-LR-INCA برآورد گردید. در مرحله بعد، با استفاده از نتایج مرحله ریزمقیاس نمایی، رواناب ورودی به سد مخمل کوه تحت سناریوهای SSP به کمک مدل IHACRES مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این امر، ابتدا با استفاده از داده‌های بارش، دمای متوسط (میانگین دماهای کمینه و بیشینه موجود) و رواناب حوضه مورد مطالعه در دوره پایه، مدل IHACRES واسنجی و صحت‌سنجی شده و سپس رواناب ورودی به سد در دوره‌های آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۶، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ میلادی تحت سناریوهای SSP شبیه‌سازی گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که:

- در مقیاس ماهانه، مقایسه نتایج حاصل از دمای کمینه و بیشینه پیش‌بینی شده در دوره‌های آتی با مقادیر مشاهداتی در دوره پایه، نشان‌دهنده افزایش میزان متوسط دماهای کمینه و بیشینه در دوره‌های آتی می‌باشد. بیشترین میزان افزایش دمای کمینه و بیشینه متعلق به سناریوی SSP5-8.5 و کمترین میزان آن نیز متعلق به سناریوی SSP1-2.6 می‌باشد که با نتایج Basile et al. (2022) مطابقت دارد. بیشترین میزان افزایش دما در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست و کمترین میزان آن نیز در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر مشاهده گردید.

- در بیش‌تر ماه‌های سال، مشاهده گردید که مجموع بارش ماهانه در ایستگاه مطالعاتی، در سناریوهای مختلف SSP، در دوره زمانی آینده نسبت به دوره پایه، کاهش یافته است. سناریوی SSP5-8.5 نسبت به دو سناریوی دیگر، بیشترین روند کاهش را در آینده پیش‌بینی نمود که با نتایج مطالعه You et al. (2021)، Majdai et al. (2022) و Basile et al. (2022) همخوانی دارد.

- در مقیاس فصلی، همچون مقیاس ماهانه دماهای کمینه و بیشینه در دوره‌های آتی تحت سناریوهای SSP نسبت به دوره پایه افزایش و مقدار بارش کاهش یافت. بیشترین میزان افزایش دماهای کمینه و بیشینه در فصل تابستان تحت سناریوی SSP5-8.5 و کمترین میزان آن در فصل زمستان تحت سناریوی SSP1-2.6 پیش‌بینی شد. همچنین، بیشترین میزان بارش در فصل بهار تحت سناریوی SSP1-2.6 و کمترین میزان آن در فصل تابستان تحت سناریوی SSP5-8.5 برآورد گردید که با نتایج مطالعه Mwabumba et al. (2022) و Majdai et al. (2022) همخوانی دارد.

- میزان رواناب ورودی به سد مخمل کوه در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه تحت همه سناریوهای SSP، کاهش خواهد یافت.

- بیشترین میزان کاهش رواناب ورودی به سد مخمل کوه، به میزان ۹۹ درصد در سناریوی SSP5-8.5 و کمترین میزان کاهش آن نیز به میزان ۲۲/۱۵ درصد در سناریوی SSP3-7.0 برآورد گردید. بیشترین میزان کاهش رواناب ورودی به سد در ماههای جولای تا دسامبر و کمترین میزان آن نیز در ماههای ژانویه تا ژوئن شبیه‌سازی شد.

## ۵- پی‌نوشت‌ها

1. Didessa River
2. Lang Ashton Research Station Weather Generator
3. Representative Concentration Pathway
4. Shared Socioeconomic Pathways scenarios
5. Coefficient of Correlation
6. Normalized Root Mean Square Error
7. Nash Sutcliffe model efficiency coefficient
8. General Circulation Models
9. International Panel of Climate Change
10. Kolmogorov-Smirnov test
11. Identification of unit hydrographs and components flows from rainfall, evaporation, streamflow data
12. Calibration
13. Validation

## ۶- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۷- منابع

- Adgolign, T. B., Rao, G. S., & Abbulu, Y. (2016). WEAP modeling of surface water resources allocation in Didessa Sub-Basin, West Ethiopia. *Sustainable Water Resources Management*, 2, 55-70. DOI 10.1007/s40899-015-0041-4.
- Adib, A., Mirsalari, S. B., & Ashrafi, S. M. (2018). Prediction of meteorological and hydrological phenomena by different climatic scenarios in the Karkheh watershed (south west of Iran). *Scientia Iranica*.
- Basile, S.M.L., Tognetti, J.A., Gandini, M. L., & Rogers, W. L. (2022). Climate change in the temperature and precipitation at two contrasting sites of the Argentinean wheat region. *Theoretical and Applied Climatology*, 148, 237-254. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-03936-6>
- Bekele, D., Alamirew, T., Kebede, A., Zeleke, G., & Melesse, A. M. (2019). Modeling climate change impact on the hydrology of Keleta watershed in the Awash River Basin, Ethiopia. *Environmental Modeling & Assessment*. 24 (1), 95-107.
- Dobriyal, P., Badola, R., Tuboi, C., & Hussain, S.A. (2017). A review of methods for monitoring streamflow for sustainable water resource management. *Application Water Science*, 7, 2617-2628. doi:10.1007/s13201-016-0488-y.
- Emami, F., & Koch, M. (2019), Modeling the Impact of Climate Change on Water Availability in the Zarrine River Basin and Inflow to the Boukan Dam, Iran. *Climate*, 7, 51. doi:10.3390/cli7040051.

- Salahi, B., Fatemi Nia, F.S., & Hosseini, S.M. (2015). Assessment of future climate change in Isfahan province using BCM2 & HADCM3 models by lars-wg downscaling model. *Journal of Arid Region Geography Studies*, 5(16), 55-71.
- Feng, S., Hu, Q., Huang, W., Ho, C. H., Li, R., & Tang, Z. (2014). Projected climate regime shift under future global warming from multi-model, multi-scenario CMIP5 simulations. *Global and Planetary Change*, 112, 41-52.
- Ghorbani, Kh., Sohrabian, E., Salarijazi, M., & Abdolhoseini, M. (2016). Prediction of climate change impact on monthly river discharge trend using IHACRES hydrological model (case study: Galikesh watershed). *Journal of water and soil resources conservation*, 5(4), 18-34. (In Persian).
- Hosseini, S.H., Ghorbani, M.A., & Massahbavani A.R. (2015). Rainfall-Runoff Modelling under the Climate Change Condition in Order to Project Future Streamflow of Sufichay Watershed. *Journal of Watershed Management Resources*, 6 (11), 1-14 (In Persian).
- House, A.R., Thompson, J.R., & Acreman, M.C. (2016). Projecting impacts of climate change on hydrological conditions and biotic responses in a chalk valley riparian wetland. *Journal of Hydrology*, 534, 178-192. doi:10.1016/j.journalofhydrology.2016.01.004.
- Information of Kakareza transfer project. (2014). Abdan Faraz adviser engineers.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021. Human Influence on global warming is unequivocal. The physical science basis. *Intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press*, <https://www.livescience.com/ipcc-climate-report-2021.html>.
- Irwin, S.E. et al. (2012). Assessment of Climatic Vulnerability in the Upper Thames River Basin: Downscaling with LARS-WG. *Water Resources Research Report*. The University of Western Ontario, Department of Civil and Environmental Engineering.
- Jahangir, M.H., Haghighi, P., & Danehkar, Sh. (2022). Downscaling climate parameters in Fars province, using models of the fifth report and RCP scenarios. *Ecological Informatics*, 68, (101558), 1-12. Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ecolinf](http://www.elsevier.com/locate/ecolinf).
- Jakeman, A.J. and Hornberger, G.M. (1993). How Much Complexity Is Warranted in a Rainfall-Runoff Model? *Water Resources Research* 29 (8), 2637-2649.
- Jiang, L., & O'Neill, B.C. (2017). Global urbanization projections for the shared socioeconomic pathways, *Global Environ. Change*, 42, 193-199, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.03.008>.
- Jones, B., & O'Neill, B.C. (2016) Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways, *Environ. Res. Lett*, 11, 1-10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/084003>.
- Kuriqi, A., Pinheiro, A.N., Sordo-Ward, A., Bejarano, M.D., & Garrote, L. (2021). Ecological impacts of run-of-river hydropower plants-Current status and future prospects on the brink of energy transition. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021. doi:10.1016/j.rser.2021.110833.
- Majdai, F., Hosseini, S. A., Karbalaee, A., Kaseri, M., & Marjanian, M. (2022). Future projection of precipitation and temperature changes in the Middle East and North Africa (MENA) region based on CMIP6. *Theoretical and Applied Climatology*, 147, 1249-1262.
- Mwabumba, M., Yadav, B.K., Mwemezi, J.R., Larbi, I., Dotse, S.Q., Limantol, A.M., Sarpong, S., & Kewawuvi, D. (2022). Rainfall and temperature changes under different climate scenarios at the watersheds surrounding the Ngorongoro Conservation Area in Tanzania. *Environmental Challenges*, 7, 100446.
- Riahi, K., D.P., van Vuuren, E., Kriegler, J., Edmonds, B.C., O'Neill, S., Fujimori, N., Bauer, K., Calvin, R., Dellink, O., Fricko, W., Lutz, A., Popp, J.C., Cuaresma, S. Kc. M., Leimbach, L., Jiang, T., Kram, S., Rao, J., Emmerling, K., Ebi, T., Hasegawa, P., Havlik, F., Humpenöder, L.A., da Silva, S., Smith, E., Stehfest, V., Bosetti, J., Eom, D., Gernaat, T., Masui, J., Rogelj, J., Strefler, L., Drouet, V., Krey, G., Luderer, M., Harmsen, K., Takahashi, L., Baumstark, J.C., Doelman, M., Kainuma, Z., Klimont, G., Marangoni, H., Lotze-Campen, M., Obersteiner, A., Tabeau, M., Tavoni, (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: an overview, *Global Environ. Change*, 42, 153-168, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>.

- Sanikhani, H., Gohardoust, MR., & Sadeghi, M. (2016). The Impacts of Climate Change on Runoff of Ghareh-Chay Basin in Markazi Province, Iran. *Journal of Watershed Management Research*, 13(7), 12-22. (In Persian).
- Samir, K., & Wolfgang, L. (2017). The human core of the shared socioeconomic pathways: population scenarios by age, sex and level of education for all countries to 2100, *Global Environ. Change*, 42, 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.004>.
- Thomas, T., Goyal, S., Goyal, V. C., & Kale, R. V. (2019). Water availability under changing climate scenario in Ur river basin. In: *Climate Change Impacts. Springer, Singapore*, 213-229.
- Toosi, A. S., Calbimonte, G. H., Nouri, H., & Alaghmand, S. (2019). River basin-scale flood hazard assessment using a modified multi-criteria decision analysis approach: a case study. *Journal of Hydrology*, 574, 660-671.
- Try, S., Tanaka, S., Tanaka, K., Sayama, T., Khujanazarov, T., & Oeumg, C. (2022). Comparison of CMIP5 and CMIP6 GCM performance for flood projections in the Mekong River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 40, 101035.
- Westin, L.G.F., Conceição, L.R., Bortoni, E.C., Marcato, A.L.M., Ribeiro, C.B.D.M., & Honório, L.D.M. (2021). Evaluating the Impact of Streamflow Rating Curve Precision on Firm Energy of Hydropower Plants. *Water Journal*, 13, 1016. <https://doi.org/10.3390/w13081016>.
- Yue, Y., Yan, D., Yue, Q., Ji, G., & Wang, Zh. (2021). Future changes in precipitation and temperature over the Yangtze River Basin in China based on CMIP6 GCMs, *Atmospheric Research*, 264.
- You, Q., Cai, Z., Wu, F., Jiang, Z., Pepin, N., & Shen, S.P. (2021). Temperature dataset of CMIP6 models over China evaluation, trend and uncertainty. *Climatology Dynamics*, 57, 17-35.