Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

The Outlook of Precipitation Changes in the Great Karoun Using by CMIP5 series models

Zeinab Mokhayeri [1] | Ebrahim Fatahi [2]✉ | Reza Borna [3]

1. Ph.D student of Climatology, Oloum Tahghighat Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
E-mail: zeinab.mokhayeri@gmail.com
2. Corresponding author, Associate Professor of Climatology, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences, Tehran, Iran.
E-mail: Ebfat2002@yahoo.com
3. Associate Professor, Department of Geography, Oloum Tahghighat Unit, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
E-mail: bornareza@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2020/03/18
Received in revised
2020/05/15
Accepted
2020/07/06
Pre-Published
2020/07/06
Published online
2025/03/21

Keywords:
Forecasting,
CM3,
CSIRO,
Precipitation,
Large Karoun Basin.

ABSTRACT

To conduct this research, data on monthly synoptic and hydrometric precipitation observations from the National Meteorological Organization and the Ministry of Energy were obtained for a 30-year period (1976-2005). To assess future changes in rainfall, historical data from the period (1976-2005) and simulated climate data from the period (2021-2050) using two models (CM3 and CSIRO-Mk3.6) from the CMIP5 series were used. These simulations were based on four scenarios (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5) with a spatial resolution of 0.5 x 0.5 using the BCSD method. A mean-based (MB) strategy was employed to correct any bias in the model outputs. The results of the AOGCM models indicated that the CSIRO-Mk3.6 model had a lower error coefficient than the GFDL-CM3 model when simulating precipitation in the Large Karoun case. The average future rainfall (2021-2050) across the entire basin, compared to the average observed rainfall during the statistical period of 1976-2005, exhibited a significant decrease in both the amount and extent of precipitation in both basins for all models and scenarios. In the Great Karoun Basin, heavy rains were consistently concentrated east of the basin across all scenarios and models, with the central foothills experiencing the highest rainfall and the southwest and southeast regions receiving the lowest amounts. The findings of this study estimate rainfall to range between 83-116 mm, with the highest rainfall expected in the Greater Karoun Basin under the rcp4.5 and rcp2.6 scenarios for both models.

Cite this article: Mokhayeri, Zeinab. Fatahi, Ebrahim., & Borna, Reza. (2025). The Outlook of Precipitation Changes in the Great Karoun Using by CMIP5 series models. Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 25 (76), 110-125. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.3

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University.
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.3

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Climate change is one of the most important challenges that can have harmful effects on human societies. The main causes of climate change are the increase in incoming energy from the sun and global warming caused by the intensification of the effects of greenhouse gases (2000, IPCC). One of the biggest problems facing mankind in the present era and in the future will be the lack of water resources and the improper distribution of water resources. The existence of a decreasing or increasing trend in rainfall will result in a change in the way of life in Iran. Without paying attention to the fact that the climate is changing, realistic planning cannot be done in the field of water resource utilization. In order to achieve this goal, accurate predictions of climate change in each region are needed so that appropriate and effective strategies can be developed in each region with the proper knowledge (Trendo et al., 2012: 6). Accurate predictions of climate change rely on general circulation models (GCM). So far, various versions of climate change models have been presented. The new emission scenarios, titled 4 RCP greenhouse gas concentration trajectories, represent the models of the fifth report. The RCP family scenarios have been named based on the level of radiative forcing caused by the emission of greenhouse gases until the end of the 21st century, including values of 8.5, 6, 4.5, and 2.6 W/m2.

Methods and Materoal

Firstly, observational monthly synoptic and hydrometric rainfall data were obtained from the National Meteorological Organization and the Ministry of Energy for a 30-year period (1976-2005). In order to analyze potential changes in rainfall in the future, historical data from the same period (1976-2005) and simulated climate data from the period (2021-2050) using two models, GFDL-CM3 and CSIRO-Mk3.6, from the CMIP5 model series (based on the four scenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5) were utilized. The data had a spatial resolution of 0.5*0.5, and the BCSD method was applied. The examination of stations within the jurisdiction of the Ministry of Energy and the Meteorological Organization in this basin reveals a lack of unit statistics. To compensate for the days without statistics, an additional set of ERA-Interim data was utilized to simulate future precipitation using 9 auxiliary stations from ERA-Interim reanalysis data. ERA-Interim data is available from 1979 to the present. However, as the retrospective forecasts of CMIP5 models were only conducted until 2005, the period of general circulation models from 1979 to 2005 was selected. ERA-Interim is a global atmospheric reanalysis data set that has been regularly updated on a monthly basis since 1979, with a two-month delay for quality control purposes.

Resultss and Discussion

The results showed the performance of AOGCM models in simulating the rainfall in the studied area during the base period. The CSIRO-Mk3.6 model had the lowest error in rainfall simulation, while the GFDL-CM3 model had the highest error. In terms of rainfall, the stations of Ahvaz, Abadan, Harmaleh, and help-point 9 had the least amount of error, while the stations of Kohrang and Goseh Pol had the most errors. The highest correlation (0.98) was observed in the simulation of monthly rainfall for the stations of Abadan, Harmaleh, and help-point 9. Both precipitation models showed a high correlation.The results of the seasonal comparison of the Karun and Dez basins show that in the autumn season, both basins are predicted to have a slight decrease in rainfall in the two scenarios of 2.6 and 4.5, with a range of 16-24 mm compared to the observation period. The CSIRO model scenario 6/rcp2 shows the largest decrease in precipitation in the Dez basin, amounting to 24 mm. In the winter season, both basins show a decrease in rainfall in all scenarios. According to the presented models, a decrease of 80-90 mm in the Dez basin and 95-112 mm in the Karun basin is predicted in

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

the two scenarios 6.2 and 6 compared to the observation period. In this season, the CM3 model predicts a decrease of 112 mm of precipitation in the Karun basin in the 2.6 scenario. In the spring, the results of the two models show slight differences. Based on the CM3 model, a slight increase in rainfall of 29-32 mm is predicted for both basins compared to the observation period. According to the 6rcp scenario, the Karun basin will receive a larger share of spring rains with 32 mm, according to this model. Based on the CSIRO model, a slight decrease in precipitation is predicted for all scenarios compared to the observation period. The 4.5 rcp scenario model predicts a further decrease in rainfall in the Dez basin, up to 38 mm, and in the Karun basin, up to 26 mm, compared to the observation period.

Conclusion

Climate change is considered one of the most significant global challenges of our time. Over the past few decades, it has had a profound impact on human lives, with observable changes in meteorological parameters such as temperature and precipitation. In order to mitigate the destructive consequences of these changes, it is crucial to employ new forecasting methods and models. The results of the study demonstrate the performance of AOGCM models in simulating rainfall patterns. Among the models examined, the CSIRO-Mk3.6 model exhibited the lowest error in rainfall simulation, while the GFDL-CM3 model had the highest error. In terms of rainfall, the stations in Ahvaz, Abadan, Harmaleh, and help-point 9 had the least amount of error, while the stations in Kohrang and Goseh Pol had the highest error. The simulation of monthly rainfall showed the highest correlation (0.98) in Abadan, Harmaleh, and help-point 9 stations. Both precipitation models demonstrated a strong correlation. The seasonal comparison of the Karoun and Dez basins revealed a slight decrease in autumn rainfall in both basins under the 2.6 and 4.5 scenarios, with a reduction of 16-24 mm compared to the observation period. The largest decrease in precipitation during this season was observed in the CSIRO model's scenario 6/rcp2, amounting to 24 mm in the Dez basin. In the winter season, all scenarios indicated a decrease in rainfall in both basins. The two presented scenarios, 6.2 and 6, predicted a decrease of 80-90 mm in the Dez basin and 95-112 mm in the Karoun basin compared to the observation period. According to the CM3 model, the 2.6 scenario predicted a decrease of 112 mm in precipitation in the Karoun basin. In the spring season, the results of the two models varied slightly. Based on the CM3 model, a slight increase in rainfall of 29-32 mm was predicted for both basins compared to the observation period. The 6rcp scenario indicated that the Karoun basin would receive a greater share of spring rains with 32 mm. On the other hand, the CSIRO model predicted a slight decrease in precipitation for all scenarios compared to the observation period. The 4.5 rcp scenario model predicted a further decrease in rainfall in the Dez basin by 38 mm and in the Karoun basin by 26 mm compared to the observation period. Overall, based on the average observed rainfall in the Dez basin (680 mm) and Karoun basin (601 mm), both models predicted a reduction in rainfall. The Dez basin is expected to experience a decrease of 77-124 mm, while the Karoun basin is projected to see a decrease of 113-86 mm compared to the observation period. The highest decrease in rainfall was observed in the 4.5 scenario (CSIRO model) and the 2.6 scenario (CM3 model) for both Dez and Karoun basins. Considering the average observed rainfall in the Great Karoun Basin (626 mm), the final results indicate a predicted reduction of 83-116 mm in rainfall compared to the observation period. Once again, the 4.5 scenario (CSIRO model) and the 2.6 scenario (CM3 model) demonstrated the largest decrease in Karoun Bozhar rainfall. Overall, it can be concluded that both models predict the highest amount of rainfall in the eastern and central mountainous areas of the basin, while the southeastern and southwestern areas are expected to receive the least amount of rainfall. If this trend continues, it will have detrimental effects on the environment.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۲۲۲۸-۷۷۳۶ شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸-۵۱۳۸
https://jgs.khu.ac.ir/

بررسی چشم‌انداز تغییرات بارش در کارون بزرگ با استفاده از سری مدل‌های CMIP5

زینب مخیری[۱]، ابراهیم فتاحی[۲]✉، رضا برنا[۳]

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
رایانامه: zeinab.mokhayeri@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار اقلیم‌شناسی، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. رایانامه: Ebfat2002@yahoo.com

۳. دانشیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: bornareza@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۸/۱۲/۲۸

تاریخ بازنگری:
۱۳۹۹/۰۲/۲۶

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۹/۰۴/۱۶

تاریخ پیش انتشار:
۱۳۹۹/۰۴/۱۶

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۱/۰۱

کلیدواژه‌ها:
پیش‌بینی،
CM3،
CSIRO،
بارش،
حوضه کارون بزرگ.

چکیده

برای انجام این پژوهش ابتدا داده‌های مشاهده‌ای بارش ماهانه سینوپتیک و هیدرومتریک از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۵) اخذ شد. برای بررسی چشم‌انداز تغییرات بارش در آینده، داده‌های تاریخی دوره (۱۹۷۶-۲۰۰۵) و داده‌های شبیه‌سازی‌شده اقلیمی دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) با استفاده از دو مدل (CSIRO-Mk3.6،GFDL-CM3) ازسری مدل‌های (CMIP5) و طبق ۴ سناریوی (RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 که با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵*۰/۵ با روش BCSD در دسترس می‌باشند استفاده شده است. برای اصلاح اریبی موجود در برون داد مدل‌های مذکور، استراتژی Mean-based (MB)) بکار رفته است. نتایج عملکرد مدل‌های AOGCM نشان داد برای شبیه‌سازی بارش در حوضه کارون بزرگ ضریب خطای مدل CSIRO-Mk3.6 کمتر از مدل GFDL-CM3 بوده است. میانگین بارش آتی (۲۰۵۰-۲۰۲۱) در کل حوضه نسبت به میانگین بارش مشاهداتی در طول دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵ نشان می‌دهد، در هر دو مدل و سناریوها در دو حوضه از نظر مقدار و مساحت پهنه بارشی در حال کاهش محسوس است. بیشینه بارش‌ها در حوضه کارون بزرگ در تمامی سناریوها و مدل‌ها در شرق حوضه متمرکز بوده است. بیشترین بارش را مناطق کوهپایه‌ای مرکزی دریافت کرده است. کمترین دریافت بارش جنوب غرب و جنوب شرق است. نتایج نهایی پژوهش حاضر ۸۳-۱۱۶ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به میانگین مشاهداتی حوضه کارون بزرگ پیش‌بینی می‌شود. هردو مدل ارائه شده، بیشترین کاهش بارش حوضه کارون بزرگ دو سناریوی rcp4.5 و rcp2.6 پیش‌بینی می‌شود.

استناد: مخیری، زینب؛ فتاحی، ابراهیم؛ و برنا، رضا (۱۴۰۴). بررسی چشم‌انداز تغییرات بارش در کارون بزرگ با استفاده از سری مدل‌های CMIP5. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۶)، ۱۲۵-۱۱۰.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.76.3

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

مقدمه

مسئله تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که می‌تواند آثار زیان‌باری برای جوامع بشری داشته باشد. دلایل اصلی تغییرات اقلیمی، افزایش انرژی ورودی از خورشید و گرمایش جهانی ناشی از تشدید اثرات گازهای گلخانه‌ای می‌باشد (۲۰۰۷، IPCC). یکی از بزرگ‌ترین معضلات بشر در عصر حاضر و در آینده کمبود منابع آبی و عدم توزیع مناسب منابع آبی خواهد بود. پیش‌بینی و برآورد نزولات جوی در هر منطقه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی، به برنامه ریزان برای دستیابی به الگوهای مناسب برداشت از ذخایر آبی، همچنین احتمال بروز خسارات جبران‌ناپذیر ناشی از وقوع خشک‌سالی و سیلاب‌ها را تا حدودی کاهش می‌دهد (سلطانی گرد فرامرزی،۱۳۹۶: ۶). تفاوت‌های مکانی بارش در ایران بسیار زیاد است. این تفاوت‌ها از یک‌سو به طبیعت رفتار مکانی بارش بازمی‌گردد که اساساً متغیری سرکش است و تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر، تنوع منشأ بارش در نقاط مختلف ایران سبب شده است تا در هر منطقه مقدار بارش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد (مسعودیان و کاویانی،۱۳۸۷: ۳۲). پراکندگی جغرافیایی قلمرو رژیم‌های بارش نشان می‌دهد تفاوت رژیم‌های بارش ایران عمدتاً متأثر از عرض جغرافیایی است. این خصوصیت زمانی آشکارتر می‌شود که از تفاوت‌های جزئی این رژیم‌های بارش چشم‌پوشی کنیم و آن‌ها را در گروه‌های بزرگ‌تر دسته‌بندی کنیم (علیجانی،۱۳۸۸: ۶۳)؛ اما با بروز تغییرات اقلیمی این رژیم‌ها دستخوش تغییراتی در هسته‌های بارشی شده‌اند که به‌تبع منابع آب نیز دستخوش نوسان خواهد شده و ممکن است در آینده مشکلات فراوان انسانی و زیست‌محیطی به وجود آورد. ازآنجاکه بارش ایران اندک است و مبانی زندگی ما در ایران با همین بارش اندک هماهنگ شده است، وجود روند کاهشی یا افزایشی در بارش به معنای تغییر شکل زندگی در ایران خواهد بود. بدون توجه به این واقعیت که اقلیم در حال تغییر است، نمی‌توان برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌ای را در زمینه بهره‌برداری از منابع آب انجام داد. برای نیل به این هدف نیاز به پیش‌بینی‌های صحیح تغییرات اقلیمی در هر منطقه است تا با آگاهی مناسبی مبادرت به توسعه استراتژی‌های مناسب و مؤثر در هر منطقه گردد (ترندو و همکاران[1]،۲۰۱۲: ۶). پیش‌بینی‌های صحیح تغییرات اقلیمی متکی به مدل‌های گردش عمومی (GCM[2]) است. تاکنون نسخه‌های گوناگونی از مدل‌های تغییر اقلیم ارائه شده است، از آن جمله می‌توان به مدل‌های اولین گزارش ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم با نام FAR، مدل‌های دومین گزارش با نام SAR، مدل‌های سومین گزارش بانام TAR و مدل‌های چهارمین گزارش با نام AR4(CMIP3) و در نهایت مدل‌های پنجمین گزارش با نام AR5، تحت عنوان پروژه درون مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده CMIP5شناخته‌شده است. شاید بتوان دو دلیل عمده برای سناریوهای جدید تغییر اقلیم بیان کرد دلیل اول: برای اجرای GCM های موجود در CMIP5 احتیاج به ورودی‌های بیشتری هست (وان، وهمکاران[3]،۲۰۱۴: ۱۶)؛ و دلیل دوم نیاز به سناریوهای جدید که در آن‌ها اثر سیاست‌های اقلیمی که در سناریوهای IPCC، SRES دیده نشده بودند، دیده شود. سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده ۴ خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ایRCP ، مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند. نام‌گذاری سناریوهای خانواده RCP بر اساس میزان سطح واداشت‌های تابشی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای تا پایان قرن ۲۱ شامل مقادیر ۸/۵، ۶، ۴/۵ و ۲/۶ وات بر مترمربع انجام‌شده است. نتایج این سناریوها از سال ۱۸۵۰ تا پایان قرن ۲۱ را پوشش می‌دهد و تا سال ۲۱۰۰ نیز فرموله شده است(IPCC,2014) . باتوجه به اینکه در سال‌های اخیر موضوع تغییر اقلیم موردتوجه پژوهشگران آب و هوایی در حوضه‌های مختلف موردبررسی قرار گرفته لذا در جهان و ایران نیز مطالعاتی در این زمینه انجام شده است.

در ادامه، به چند مورد از تحقیقات انجام شده در این زمینه پرداخته می‌شود. اسکیناریو (۲۰۱۶[4]: ۲۵۶) تغییرات ممکن در توزیع بارش‌های سنگین را تحت شرایط اقلیم گرم‌تر با استفاده از نتایج ۲۰ مدل اقلیمی بر پایه داده‌های CMIM5 بررسی کردند. تغییرات آینده در ۴ دهه آخر قرن ۲۰ و ۲۱ میلادی و براساس سناریو RCP8.5 مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی‌ها

[1] Terando et al
[2] General circulation model
[3] Wan H., Zhang X.,
[4] Scenarios

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

نشان دادند که مدل‌های CMIP5 رخداد بارش‌های سنگین دوره مشاهداتی ۲۰۰۵-۱۹۹۷ را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کنند. همچنین آن‌ها دریافتند که بارش‌های سنگین در اواخر قرن ۲۱ در مناطق مختلفی از جهان به‌ویژه هند، جنوب شرق آسیا، اندونزی و آفریقای مرکزی طی تابستان نیمکره شمالی و همچنین آمریکای جنوبی و آفریقای جنوبی در طی زمستان نیمکره شمالی افزایش می‌یابد. ونگ و همکارانش (۲۰۱۵) تغییرات پیش‌بینی CMIP5 در چرخه سالانه بارش مونسون هند را بررسی کردند. به دلیل نقش حیاتی چرخه سالانه بارش مونسون در بخش کشاورزی و صنعت، در این مطالعه اثر تغییر اقلیم بر چرخه سالانه مونسون طی سال‌های ۲۱۰۰-۱۸۷۱ میلادی با استفاده از شبیه‌سازی ۲۰ مدل CMIP5 مطالعه شده است. آن‌ها دریافتند که مدل‌های MPI-ESM-INM-CM4,LR و MRI-CGCM3 الگوهای فضای پیک بارش مونسون را در مونسون زمستانه و مدل‌های MIROC-ESM,MIROC و MIROC-ESM-CHEM مونسون تابستانه را بهتر شبیه‌سازی می‌کند. پیش‌نگری آینده با استفاده از مدل‌های CMIP5 تغییراتی را در پیک ماهانه بارش مونسون نشان نمی‌دهد، اما میانگین بارش کاهش خواهد یافت. (کترولیس و همکاران[5]، ۲۰۱۵: ۱۳) نشان دادند که میانگین بارش دسته‌جمعی مدل‌های CMIP5 مطابقت خوبی با مشاهدات زمینی داراست، درحالی‌که اریبی قابل‌توجهی در شبیه‌سازی روند بارش منطقه‌ای وجود دارد. ناصرزاده و طولابی نژاد (۱۳۹۷)، با هدف شناخت جابجایی مکانی هسته‌های بارش به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار در شرایط هیدرولوژیکی آینده ایران با استفاده از خروجی مدل CCSM4 تحت واداشته‌ای تابشی RCP2.6,RCP4.5,RCP6 به انجام رساندند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که هسته‌های بارشی در کل پهنه ایران در فصول چهارگانه تغییراتی با روند منفی در آینده خواهد داشت. معصوم پورسماکوش و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی با هدف ارزیابی دقت داده‌های بارش مجموع مدل‌های CMIP5 طی دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) و همچنین داده‌های پیش‌بینی‌شده برای آینده ایران (۲۰۵۰-۲۰۰۵) به انجام رساندند. در این راستا داده‌های بارش ۸ مدلBCC-CSM1.1 ، CCSM4، CESM1-BGC، CESM1-CAM5، CMCC-CM، EC-EARTH، MIROC5و (MIR- CGCM3) با استفاده از آماره‌های نظیر RMSE, BIAS, EFو... بررسی شدند. نتایج حاصل از ارزیابی دقت ۸ مدل موردمطالعه نشان داد که مدل‌های بررسی‌شده از توانایی بالایی در برآورد بارش کشور برخوردار نیستند و با توجه به نتایج آماره‌هایی نظیر ضریب همبستگی (r) و شیب‌خط (slope) از دقت متوسط تا ضعیفی برخوردارند.

در ایران اکثر مطالعات انجام شده در حوضه مدل‌سازی تغییر اقلیم بر اساس داده‌های سری گزارش سوم و چهارم انجام شده است؛ انجام مطالعات و به‌روزرسانی آن‌ها با داده‌های CMIP5 برای مدل‌سازی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی امری ضروری است. ضرورت دیگر پژوهش فوق، آگاهی از مقدار و شدت بارش در شرایط حال حاضر و آینده به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران که همواره از کمبود آب رنج می‌برد، بسیار ضروری است. حوضه آبریز کارون و دز با داشتن سدهای بزرگ احداث‌شده و در حال احداث و با پتانسیل تولید ۲۰ هزار مگاوات تولید نیرو از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. لذا با توجه به اهمیت حوضه آبریز کارون در تأمین آب و انرژی استان‌های زیرمجموعه این حوضه شامل استان‌های خوزستان، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهکیلویه و بویراحمد و قسمت‌هایی از اصفهان، فارس و مرکزی در این تحقیق آشکارسازی و بررسی آثار و پیامدهای تغییرات بارش این حوضه با توجه به جدیدترین مدل‌های آماری و اقلیمی IPCC از اهمیت بالایی برخوردار است؛ بنابراین این تحقیق با هدف پیش‌بینی بارش تحت تغییر اقلیم در محدوده حوضه کارون بزرگ به رشته تحریر درآمده است. نکته دیگر، نوآوری تحقیق حاضر این است که پژوهش‌های جدید که بر اساس سناریوهای جدید RCP انجام می‌شوند تغییر مهمی در قدرت تفکیک مکانی سری CMIP5 نسبت به گزارش‌های قبلی رخ‌داده است و از حدود ۲.۵ در ۲.۵ درجه به حدود ۰/۵ در ۰/۵ ارتقاء یافته‌اند که پیشرفت بسیار بزرگی است.

[5] Koutroulis,

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

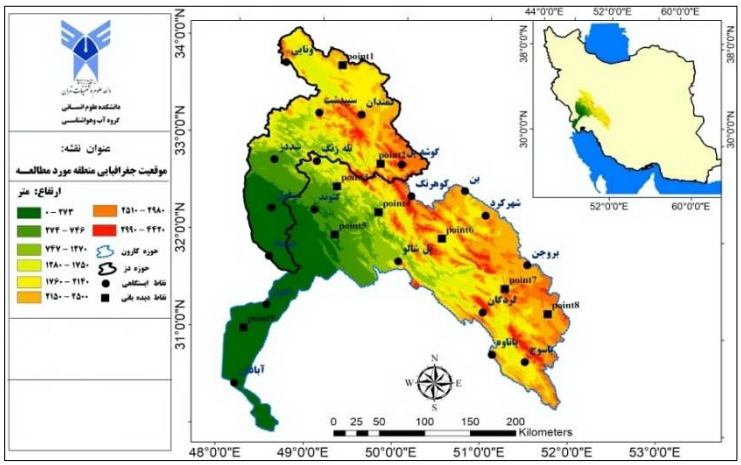
روش‌شناسی

موقعیت منطقه موردمطالعه

حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ متشکل از رودخانه‌های دز و کارون بوده که در داخل ارتفاعات زاگرس میانی واقع شده و محدود به مشخصات جغرافیایی ۴۸ درجه تا ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی الی ۳۰ درجه تا ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی است. مجموع مساحت این حوضه ۶۷۲۵۷ کیلومترمربع است که ۶۷٪ آن را مناطق کوهستانی و ۳۳٪ آن را دشت و کوهپایه تشکیل داده است. سرچشمه اولیه آن در کوه‌های زاگرس مرکزی و زردکوه بختیاری در محلی به نام کوهرنگ واقع گردیده است. حوضه کارون بزرگ به دلیل موقعیت خاص جغرافیای خود، دارای ویژگی‌های آب و هوایی مناطق معتدله میانی و نواحی جنب حاره می‌باشد. مناطق شمالی و شرقی، در ناحیه عرض‌های معتدله میانی واقع شده است و از بارندگی مناسب‌تری برخوردارند. به‌نحوی‌که میانگین بارندگی سالانه در بخش کوهستانی این حوضه بین ۸۰۰ الی ۱۴۰۰ میلی‌متر و در دشت خوزستان در ایستگاه‌های آبادان، اهواز و دزفول به ترتیب برابر ۱۶۸، ۲۴۵ و ۴۰۴ میلی‌متر می‌باشد. (مطالعات آمایش استان خوزستان، ۱۳۹۱).

داده و روش‌ها

در این پژوهش ابتدا داده‌های مشاهده‌ای بارش ماهانه سینوپتیک و هیدرومتری از سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو طی دوره ۳۰ ساله (۱۹۷۶-۲۰۰۵) اخذ شد. برای بررسی چشم‌انداز تغییرات بارش در آینده، داده‌های تاریخی دوره (۱۹۷۶-۲۰۰۵) و داده‌های شبیه‌سازی‌شده اقلیمی دوره (۲۰۵۰-۲۰۲۱) با استفاده از دو مدل (CSIRO-Mk3.6،GFDL-CM3) از سری مدل‌های (CMIP5) و طبق چهار سناریوی (RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و |RCP8.5) که با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵*۰/۵ با روش BCSD در دسترس می‌باشند استفاده شده است[6] بررسی ایستگاه‌های تحت پوشش وزارت نیرو و سازمان هواشناسی در این حوضه نشان می‌دهد که منطقه موردمطالعه فاقد آمار واحد می‌باشد. برای پر کردن روزهای فاقد آماری، برای شبیه‌سازی بارش آینده از ۹ ایستگاه کمکی داده‌های بازتحلیل (شبه دیدبانی)ERA-Interim سری دیگری از داده‌های بکار گرفته شده است. داده‌های ERA- Interim از سال ۱۹۷۹ تاکنون در دسترس هستند ولی به دلیل اینکه پیش‌بینی‌های گذشته‌نگر مدل‌های CMIP5 تا سال ۲۰۰۵ اجرا شده‌اند، لذا دوره بررسی توانمندی مدل‌های گردش کلی ۲۰۰۵-۱۹۷۹ انتخاب شد. ERA-Interim داده‌های بازکاوی جوی جهانی هستند که از سال ۱۹۷۹ به‌طور پیوسته هر ماه و با تأخیر دو ماهه (جهت کنترل کیفی) به روز شده و قابل دریافت هستند[7]. موقعیت ایستگاه‌های موردمطالعه در شکل (۱) ارائه شده است.



شکل (۱). موقعیت منطقه موردمطالعه

[6] ftp://gdo-dcp.ucllnl.org/pub/dcp/archive/cmip5/global_mon/BCSD/
[7] http://www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

مشخصات مدل‌های مورداستفاده در این پژوهش و سناریوهای واداشت تابشی از سری گزارش‌های پنجم IPCC در جداول (۱ و ۲) ارائه شده است.

جدول (۱). مشخصات سناریوهای واداشت تابشی (RCPs)

تیم مدل‌سازی	سناریوی SRES هم‌گروه	میزان واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای W/m2	میزان غلظت دی‌اکسید کربن تا سال ۲۱۰۰ میلادی PPM	ویژگی	سناریو
موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش	A1FI	to 8.5 W/m2 in 2100	۱۳۷۰	جمعیت تا سال ۲۱۰۰ در حدود ۱۲ میلیارد نفر، افزایش گازهای گلخانه‌ای به دلیل نیاز به انواع انرژی	RCP8.5
موسسه ملی مطالعات محیطی AIM ژاپن	B2	to 6 W/m2 at 2100	۸۵۰	جمعیت تا سال ۲۱۰۰ در حدود ۹ میلیارد نفر، گازهای گلخانه‌ای ثابت	RCP6.0
MiniCAM	B1	to 4.5 W/m2 2100	۶۵۰	میزان رشد جمعیت کمتر از سناریوی RCP2.6 ولیکن در دیگر پارامترها مانند نرخ استفاده از انرژی‌های نو، رشد تکنولوژی و ...)، نسبت به سناریوی RCP2.6 ضعیف‌تر و سهم انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت این سناریو در واداشت‌های تابشی بیش از سناریوی RCP2.6 می‌باشد.	RCP4.5
موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند IMAGE	None	در اواسط این قرن به حدود ۳.۱ رسیده و سپس کاهش‌یافته و به ۲.۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰	۴۹۰	این سناریو دربرگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است.	RCP2.6

(موس و همکاران[8]، ۲۰۱۰؛ وان ورن و همکاران[9]، ۲۰۱۱ و روجلی و همکاران[10]، ۲۰۱۲)

جدول (۲). مشخصات مدل‌های مورداستفاده در این مطالعه

نام مدل	تفکیک افقی (lon*lat)	نام مرکز (گروه مدل‌سازی)	کشور	RCP2.6	RCP4.5	RCP6	RCP8.5
GFDL-CM3	2.5×2.0	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laborato	آمریکا	✓	✓	✓	✓
CSIRO-Mk3- 6-0	1.875×1.875	Commonwealth Scientific and Industrial Research	استرالیا	✓	✓	✓	✓

ریزمقیاس نمایی و تصحیح اریبی مدل‌های GCM

با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های گردش عمومی جو و حذف اغتشاش در شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی معمولاً به‌جای استفاده مستقیم از داده‌های سناریوهای اقلیمی در محاسبات تغییر اقلیم، جدول (۳) از میانگین دوره‌های دراز مدت این مدل‌ها استفاده می‌شود (جونس و همکاران[11]، ۲۰۰۰: ۸) در این روش برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر اختلاف نسبت برای بارندگی از رابطه (۱) بین متوسط دراز مدت هر ماه در دوره آتی و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل ۲۰۰۵-۱۹۷۶ محاسبه می‌گردد.

[8] Moss et al
[9] van Vuuren et al
[10] Rojeli et al
[11] jones et al

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

رابطه (۱)

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{GCM,fut,i}}{\bar{P}_{GCM,base,i}} \right)$$

در رابطه (۱) فوق ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به بارش برای میانگین دراز مدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i12 \leq 1$) $\bar{P}_{GCM,fut,i}$ میانگین ۳۰ سال بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو در دوره آتی برای هر ماه (در اینجا ۲۰۲۱-۲۰۵۰)، $\bar{P}_{GCM,base,i}$ میانگین ۳۰ سال بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو در دوره مشابه با دوره مشاهداتی ۲۰۰۵- ۱۹۷۶ برای هر ماه می‌باشد.

در میان روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری، گروهی از روش‌ها به‌عنوان روش‌های ریزمقیاس‌نمایی تجربی یا روش‌های مقیاس بندی تجربی شناخته می‌شوند که هدف آن‌ها کاهش انحراف (BIAS) در خروجی مدل اقلیمی است. در هنگام ریزمقیاس نمایی، اریبی یا بایاس تا حد امکان حذف می‌شود. اریبی وقتی رخ می‌دهد که یک مدل همیشه یک مقدار بیشتر یا کمتر از مشاهدات برآورد می‌کند .این ضعف با کم کردن یا اضافه کردن مقدار اریبی به داده‌ها قابل اصلاح است .یکی از اصول اولیه ریزمقیاس نمایی، حذف اریبی است و وقتی ریزمقیاس نمایی به‌خوبی انجام شود اریبی هم حذف می‌شود. در این مطالعه با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن برون داد مدل‌های GCM، پارامتر بارش ماهانه برای هردو مدل (CM3 و CSIR) در سناریوهای مختلف از استراتژی (Mean-based (MB ریزمقیاس شده است. این مدل‌ها توسط گروه کاری (WCRP's[12]) با روش (BCSD[13]) به سلول‌های نیم درجه تفکیک شده‌اند.

روش(Mean-based (MB

این روش ساده‌ترین روش تبدیل آماری است که برای مطابقت میانگین داده‌های شبیه‌سازی مدل‌های GCM با داده‌های مشاهداتی و متعاقباً حذف میانگین اریبی در شبیه‌سازی مدل‌های GCM به کار می‌رود. مقادیر کاهنده و افزاینده اصلاحی به ترتیب، به سری زمانی شبیه‌سازی‌های مدل‌های GCM اعمال می‌شود (اسچمدلی و همکاران[14]، ۲۰۰۶ و لندرینیک و همکاران[15]، ۲۰۰۷). رابطه (۲) برای بارش استفاده شده است.

رابطه (۲)

$$X'_O = X'_M \times \mu_O/\mu_M$$

'O' represents observation,

'M' represents modelled variable

معیارهای ارزیابی مدل‌های اقلیمی

پس از مطابقت میانگین داده‌های شبیه‌سازی مدل‌های GCM با داده‌های مشاهداتی و متعاقباً حذف میانگین اریبی موجود در شبیه‌سازی مدل‌های GCM با استفاده از استراتژی (Mean-based (MB، اریبی شبیه‌سازی مدل‌های انتخابی نسبت به مقادیر مشاهداتی تصحیح شده‌اند. لازم به ذکر است مقادیر کاهنده و افزاینده اصلاحی به ترتیب، به سری زمانی شبیه‌سازی‌های مدل‌های GCM در دوره آتی نیز اعمال خواهد شد. پس از تصحیح داده‌های شبیه‌سازی مدل‌های GCM از معیارهای عملکرد ضریب هم‌بستگی[16] (R2)، جذر میانگین مربعات خطا[17] (RMSE) و متوسط خطای مطلق[18] (MAE) برای بررسی عملکرد هریک از مدل‌های GCM استفاده شد. جدول (۴) عملکرد مدل‌های گردش عمومی جو را در شبیه‌سازی

[12] World Climate Research Program's
[13] Bias Correction/Spatial Downscaling
[14] Schmidli et al
[15] Lenderink et al
[16] Correlation Coefficient, ρ
[17] Root Mean Square Error, RMSE
[18] Mean Absolute Error, MAE

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

مقادیر بارش ماهانه برای منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد. کمترین خطا در شبیه‌سازی بارش متعلق به مدل CSIRO-Mk3.6 و بیشترین خطا برای مدلGFDL-CM3 می‌باشد. برای بارش از نظر ایستگاهی، ایستگاه‌های اهواز، آبادان، حرمله و help-point9 کمترین میزان خطا را داشتند؛ و بیشترین خطا هم متعلق به دو ایستگاه کوهرنگ و گوشه پل می‌باشد. بیشترین همبستگی (۰.۹۸) مربوط به ایستگاه‌های آبادان، حرمله و help-point9 در شبیه‌سازی بارش ماهانه می‌باشد. هر دو مدل مورداستفاده برای بارش از همبستگی بالایی برخوردار می‌باشند. بنابراین، با توجه به اصل عدم قطعیت و در نظر گرفتن مقادیر همبستگی بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های مذکور و داده‌های مشاهداتی در مجموع می‌توان از مدل‌های فوق‌الذکر در پیش‌بینی مقادیر بارش منطقه مطالعاتی در دوره‌های آتی استفاده کرد.

جدول (۳). تغییرات اریبی بارش شبیه‌سازی مدل‌های AOGCM(۲۰۵۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵)

مدل	GFDL-CM3			CSIRO			مدل	GFDL-CM3			CSIRO		
پارامتر	RMSE	MAE	R	RMSE	MAE	R	**پارامتر**	RMSE	MAE	R	RMSE	MAE	R
اهواز	۶.۴	۴.۲	۰.۹۶	۶.۱	۴.۶	۰.۹۶	کمندان	۳۸.۰	۳۰.۶	۰.۹۲	۳۵.۱	۲۷.۵	۰.۹۳
آبادان	۴.۴	۲.۸	۰.۹۸	۴.۱	۲.۳	۰.۹۷	کوهرنگ	۱۳۱.۵	۹۴.۰	۰.۹۰	۱۳۰	۹۲.۲	۰.۹۰
شهرکرد	۱۴.۸	۱۳.۱	۰.۸۴	۱۴.۴	۱۲.۱	۰.۸۳	گوشه پل	۱۳۵.۶	۹۵.۲	۰.۹۲	۱۳۳.۷	۹۳.۳	۰.۹۲
دزفول	۱۶.۸	۱۰.۷	۰.۹۷	۱۳.۵	۸.۶	۰.۹۷	بن	۱۶.۵	۱۳.۰	۰.۹۰	۱۸.۷	۱۵.۶	۰.۷۹
حرمله	۴.۱	۲.۷	۰.۹۸	۵.۹	۴.۲	۰.۹۸	point1	۱۱.۹	۹.۷	۰.۹۲	۱۰.۸	۸.۳	۰.۹۳
یاسوج	۷۵.۳	۵۲.۶	۰.۹۶	۷۴	۵۰.۸	۰.۹۴	point2	۸۲.۱	۵۷.۴	۰.۹۱	۸۰.۶	۵۶.۹	۰.۹۲
پاتاوه	۲۹.۷	۲۲.۱	۰.۹۷	۲۸.۱	۲۰.۳	۰.۹۶	point3	۹۱.۷	۶۲.۷	۰.۹۵	۹۰	۶۱.۸	۰.۹۵
سپیددشت	۴۳.۵	۳۱.۳	۰.۹۴	۳۹.۹	۲۹.۲	۰.۹۵	point4	۹۲.۹	۶۳.۵	۰.۹۳	۹۱.۶	۶۲.۸	۰.۹۳
بروجن	۷.۶	۶.۰	۰.۹۵	۸.۷	۶.۴	۰.۹۱	point5	۴۶.۸	۳۱.۶	۰.۹۷	۴۵.۲	۳۰.۹	۰.۹۶
لردگان	۴۲.۰	۳۱.۱	۰.۹۲	۴۰.۶	۳۰.۱	۰.۸۹	point6	۶۴.۰	۴۶.۰	۰.۸۷	۶۳	۴۴.۵	۰.۸۳
پل شالو	۶۶.۱	۴۵.۹	۰.۹۴	۶۴.۲	۴۴.۸	۰.۹۳	point7	۲۵.۵	۱۹.۶	۰.۹۳	۲۴.۴	۱۷.۷	۰.۹۳
ونایی	۳۳.۷	۲۴.۶	۰.۹۵	۳۰	۲۲.۲	۰.۹۶	point8	۱۲.۲	۱۰.۶	۰.۹۲	۱۰.۵	۸.۸	۰.۹۴
گتوند	۱۵.۵	۱۱.۳	۰.۹۷	۱۲.۷	۹.۳	۰.۹۷	point9	۵.۴	۳.۶	۰.۹۷	۴.۷	۳	۰.۹۸
تله زنگ	۷۲.۱	۴۷.۸	۰.۹۶	۶۸.۷	۴۶	۰.۹۵	Mean	۴۳.۳	۳۰.۸	۰.۹۰	۴۱.۹	۲۹.۷	۰.۹۰
سد دز	۲۶.۰	۱۸.۸	۰.۸۷	۲۳.۴	۱۶.۸	۰.۸۸							

محاسبه فصلی سناریوهای تغییر اقلیم بارش مدل‌های AOGCM در دوره آتی و مقایسه آن‌ها با دوره مشاهداتی

در محاسبات انجام شده، به دلیل عدم بارش و یا بارش اندک در منطقه در فصل تابستان، این فصل حذف گردید. در این تحقیق ابتدا دو حوضه کارون و دز به‌صورت فصلی بررسی و مقایسه خواهد شد. در ادامه کل حوضه موردبررسی قرار می‌گیرد. شکل (۵ و ۶) میانگین و مقادیر تغییرات بارش آتی در طول دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به میانگین و مقادیر تغییرات بارش مشاهداتی سه فصل پاییز، زمستان و بهار در طول دوره آماری ۱۹۷۶- ۲۰۰۵ بر اساس دو مدلGFDL-CM3 و CSIRO تحت واداشته‌ای تابشی در حوضه دز را نشان می‌دهد.

فصل پاییز: میانگین بارش مشاهداتی فصل پاییز در حوضه دز ۱۰۲ میلی‌متر است. در این فصل کاهش اندک بارش هر دو مدل به ترتیب در سناریوهای ۴/۵ و ۲/۶ را نشان می‌شود. براساس شکل (۵) مقادیر کاهش بارش در این دو سناریو تا ۲۴ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی می‌شود. سناریو ۶ تغییرات محسوسی نسبت به دوره مشاهداتی دیده نمی‌شود. سناریوی ۸/۵ افزایش اندک بارش تا ۲۰-۳ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهداتی در هر دو مدل پیش‌بینی می‌شود. بیشترین کاهش بارش مدل CSIRO در سناریوی ۲/۶ به میزان ۲۴ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهده‌ای می‌باشد.

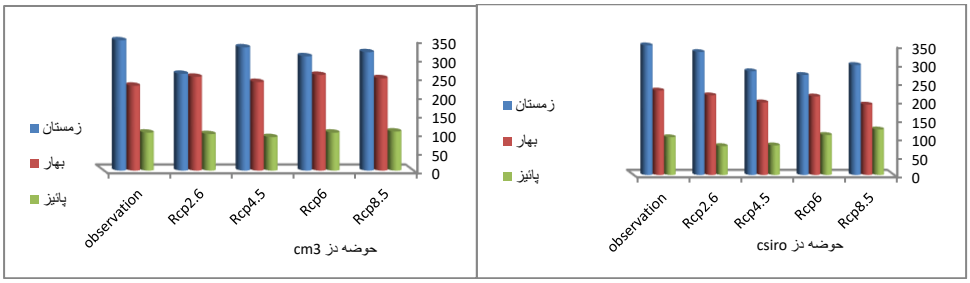
فصل زمستان: میانگین مشاهداتی فصل زمستان ۳۵۰ میلی‌متر است. در هردو مدل موردمطالعه و همه سناریوها کاهش بارندگی به میزان ۸۰-۹۰ میلی‌متر را نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد. بیشترین کاهش بارش به ترتیب در دو سناریوی ۲/۶ و ۶ در هر دو مدل ارائه شده می‌باشد. بیشترین کاهش بارش مدلCM3 در سناریوی ۲/۶ به میزان ۹۰ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهده‌ای می‌باشد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

فصل بهار: میانگین بارش مشاهداتی حوضه دز در فصل بهار ۲۲۸ میلی‌متر است. در این فصل مقادیر پیش‌بینی بارش نسبت به دوره مشاهداتی در دو مدل ارائه شده با یکدیگر متفاوت است. مدل CSIRO میزان مقادیر بارش در تمام سناریوها تا ۴۰ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهداتی کاهش بارش پیش‌بینی می‌شود. کمترین کاهش بارش به میزان ۷ میلی‌متر، در سناریو ۶ می‌باشد. بر اساس مدل CM3 میزان مقادیر بارش در تمام سناریوها تا ۳۰ میلی‌متر بیشتر از دوره مشاهداتی است. بیشترین دریافت بارش به میزان ۲۹ میلی‌متر در سناریوی ۶ نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی می‌شود.

جدول (۴). مقادیر تغییرات بارش آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به مقادیر بارش مشاهداتی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) در حوضه دز (برحسب میلی‌متر)

پائیز-دز	CM3	CSIRO	زمستان-دز	CM3	CSIRO	بهار-دز	CM3	CSIRO
observation	۱۰۲	۱۰۲	observation	۳۵۰	۳۵۰	observation	۲۲۸	۲۲۸
Rcp2.6	۹۸	۷۸	Rcp2.6	۲۶۰	۳۳۲	Rcp2.6	۲۵۲	۲۱
Rcp4.5	۹۰	۸۰	Rcp4.5	۳۳۱	۲۸۰	Rcp4.5	۲۳۸	۱۹۶
Rcp6	۱۰۲	۱۰۸	Rcp6	۳۰۷	۲۷۰	Rcp6	۲۵۷	۲۱۲
Rcp8.5	۱۰۵	۱۲۳	Rcp8.5	۳۱۸	۲۹۷	Rcp8.5	۲۴۸	۱۹۰



شکل (۲). میانگین بارش آتی فصلی (پاییز، زمستان و بهار) حوضه دز در طول دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به میانگین بارش مشاهداتی در طول دوره آماری (۱۹۷۶-۲۰۰۵)

اشکال (۸ و ۷) میانگین و مقادیر تغییرات بارش آتی در طول دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به میانگین و مقادیر تغییرات بارش مشاهداتی سه فصل پاییز، زمستان و بهار در طول دوره آماری ۱۹۷۶- ۲۰۰۵ بر اساس دو مدل CM3 و CSIRO تحت واداشته‌ای تابشی در حوضه کارون را نشان می‌دهد. میانگین بارش مشاهداتی حوضه کارون در هر سه ماه پاییز، زمستان و بهار کمتر از حوضه دز می‌باشد.

فصل پاییز: در این فصل میانگین بارش مشاهداتی ۷۸ میلی‌متر است. هر دو مدل حوضه کارون دو سناریوی rcp2.6 و rcp4.5کاهش اندک بارش تا ۱۶ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهداتی پیش‌بینی می‌شود. دو سناریوی rcp8.5 و rcp6 تا ۲۲ میلی‌متر افزایش اندکی بارش را نشان می‌دهد.

فصل زمستان: میانگین بارش مشاهداتی کارون ۳۴۲ میلی‌متر است. در این حوضه براساس پیش‌بینی هردو مدل در همه سناریوها کاهش بارش نسبت به دوره مشاهده‌ای نشان می‌دهد. بیشترین کاهش به ترتیب در دو سناریوی rcp2.6 و rcp6 تا ۱۱۲ میلی‌متر پیش‌بینی می‌شود.

فصل بهار: میانگین بارش مشاهداتی حوضه کارون ۱۸۱ میلی‌متر است. در فصل بهار همانند حوضه دز، نتایج دو مدل ارائه شده متفاوت می‌باشد. مدل CM3 در همه سناریوها افزایش اندک بارش تا ۳۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد. در مدل CSIRO برخلاف مدل CM3 در همه سناریوها کاهش اندک بارش تا ۲۶ میلی‌متر پیش‌بینی می‌شود. بیشترین کاهش در مدل ذکرشده مربوط به دو سناریوی rcp4.5 وrcp8.5 به میزان ۲۶ میلی‌متر در مدل CSIRO است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

جدول (۵). مقادیر تغییرات بارش آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به مقادیر بارش مشاهداتی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) در حوضه کارون (برحسب میلی‌متر)

پائیز-کارون	CM3	CSIRO	زمستان-کارون	CM3	CSIRO	بهار-کارون	CM3	CSIRO
Observation	۷۸	۷۸	observation	۳۴۲	۳۴۲	observation	۱۸۱	**۱۸۱**
Rcp2.6	۷۴	۶۲	Rcp2.6	۲۳۰	۳۰۵	Rcp2.6	۲۰۷	**۱۷۶**
Rcp4.5	۶۴	۷۲	Rcp4.5	۲۷۸	۲۶۱	Rcp4.5	۱۹۲	**۱۵۵**
Rcp6	۸۴	۹۲	Rcp6	۲۸۴	۲۴۷	Rcp6	۲۱۳	**۱۷۴**
Rcp8.5	۷۹	۱۰۶	Rcp8.5	۲۸۴	۲۷۶	Rcp8.5	۲۰۷	**۱۵۵**



شکل (۳). میانگین بارش آتی فصلی (پاییز، زمستان و بهار) حوضه کارون در طول دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به میانگین بارش مشاهداتی در طول دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵

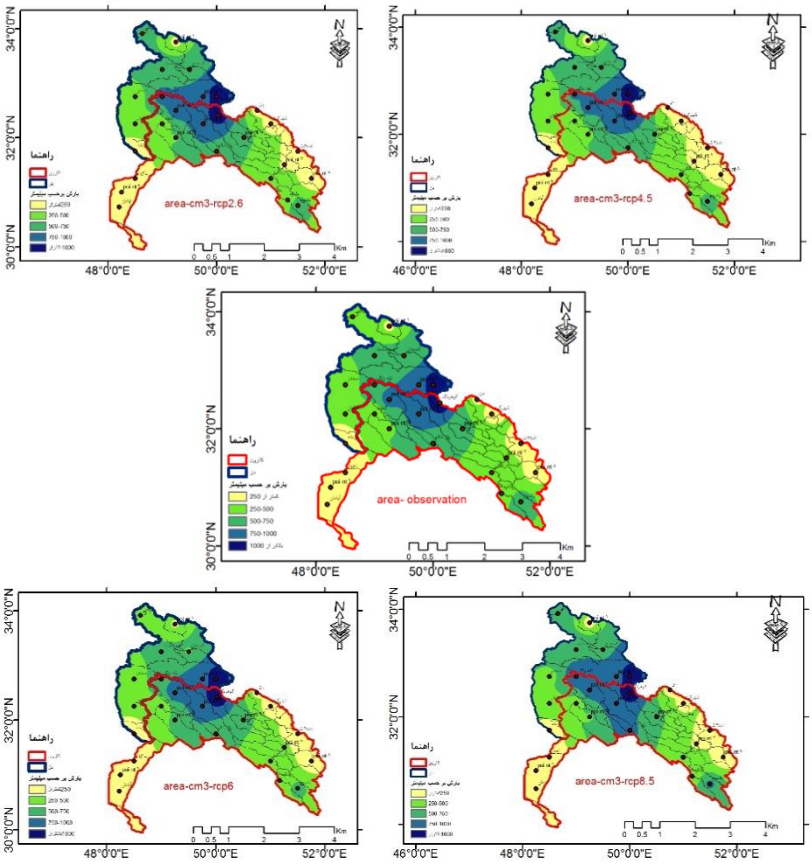
محاسبه سناریوهای تغییر اقلیم بارش مدل‌های AOGCM در دوره آتی برای کل حوضه موردمطالعه

اشکال (۱۱ و ۱۰) میانگین بارش آتی در طول دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به میانگین بارش مشاهداتی در طول دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵ در حوضه کارون بزرگ را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه مشاهداتی بیشینه بارش (بالاتر از ۱۰۰۰ میلی‌متر) در نیمه شرقی حوضه دز (ایستگاه گوشه پل) و نواحی مرکزی حوضه کارون (ایستگاه کوهرنگ) قرار دارد، این بیشینه، مساحتی بسیار کوچکی از منطقه را به خود اختصاص داده است. هردو مدل ارائه شده در پژوهش حاضر مانند دوره مشاهداتی بیشینه بارش در شرق، نواحی مرکزی و کوهپایه‌ای می‌باشد. اشکال (۱۰ و ۱۱) کاهش بارش را در همه سناریوهای موردنظر در دو حوضه دز و کارون نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد. براساس شکل (۹) مقایسه دو حوضه نشان می‌دهد، میانگین بارش مشاهده‌ای حوضه دز و کارون به ترتیب ۶۸۰ و ۶۰۱ میلی‌متر است. بیشترین کاهش بارش در هر دو حوضه به ترتیب دو سناریوی ۴/۵ و ۲/۶ است. مقادیر کاهش بارندگی ۷۷-۱۲۴ میلی‌متر کاهش بارش در حوضه دز و حوضه کارون ۸۶-۱۱۳ میلی‌متر پیش‌بینی می‌شود. بارش حوضه کارون بزرگ ۶۲۶ میلی‌متر است. طبق پیش‌بینی بر اساس هر دو مدل ارائه شده کل حوضه کارون بزرگ ۸۳ تا ۱۱۶ میلی‌متر کاهش بارش رانشان می‌دهد. بیشترین کاهش مقدار بارندگی دو سناریوی rcp4.5 و rcp2.6 پیش‌بینی می‌شود.

جدول (۶). مقادیر تغییرات بارش آتی (۲۰۲۱-۲۰۵۰) نسبت به مقادیر بارش مشاهداتی (۱۹۷۶-۲۰۰۵) در حوضه کارون بزرگ (برحسب میلی‌متر)

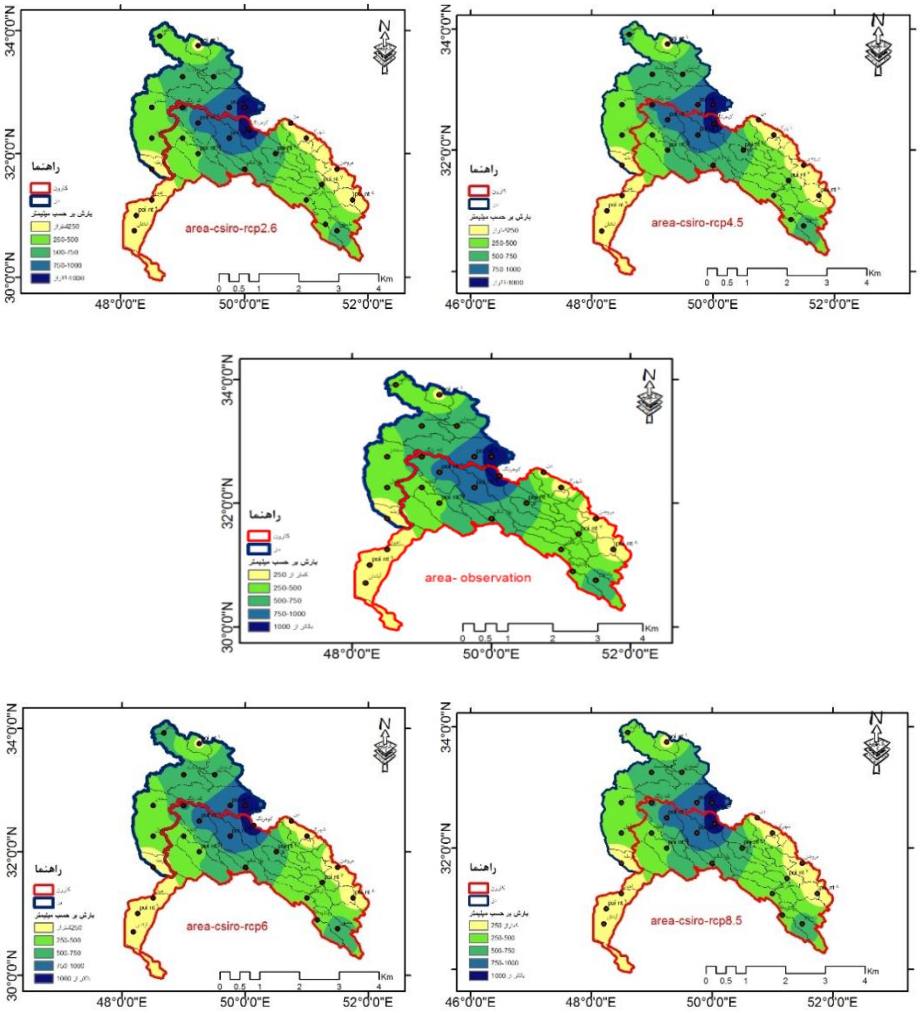
حوضه کارون	CSIRO	CM3	حوضه دز	CSIRO	CM3	کل حوضه کارون بزرگ	CSIRO	CM3
Observation	۶۰۱	۶۰۱	observation	۶۸۰	۶۸۰	observation	۶۲۶	۶۲۶
Rcp2.6	۵۴۴	۵۱۵	Rcp2.6	۶۲۵	۶۰۳	Rcp2.6	۵۷۰	۵۴۳
Rcp4.5	۴۸۸	۵۴۱	Rcp4.5	۵۵۶	۶۴۵	Rcp4.5	۵۱۰	۵۷۴
Rcp6	۵۱۳	۵۸۱	Rcp6	۵۹۰	۶۶۶	Rcp6	۵۳۸	۶۰۸
Rcp8.5	۵۳۶	۵۷۰	Rcp8.5	۶۱۰	۶۷۱	Rcp8.5	۵۶۰	۶۰۳

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]



شکل (۴). مدل CM3 میانگین بارش آتی حوضه دز و کارون در طول دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به میانگین بارش مشاهداتی در طول دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]



شکل (۵). مدل CSIRO میانگین بارش آتی حوضه دز و کارون در طول دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به میانگین دما مشاهداتی در طول دوره آماری ۱۹۷۶-۲۰۰۵)

نتیجه‌گیری

تغییرات اقلیمی از مهم‌ترین وقایع پیش روی بشر می‌باشد که طی چند دهه اخیر بر زندگی انسان‌ها سایه افکنده و از هم‌اکنون نشانه‌های آن در قالب تغییر در پارامترهای هواشناختی نظیر دما و بارش مشهود می‌باشد؛ بنابراین برای کاهش اثرات مخرب این تغییرات می‌توان از روش‌ها و مدل‌های نوین پیش‌بینی استفاده نمود.

نتایج بررسی عملکرد مدل‌های AOGCM در شبیه‌سازی بارش منطقه موردبررسی در دوره پایه نشان داد. کمترین خطا در شبیه‌سازی بارش متعلق به مدل CSIRO-Mk3.6 و بیشترین خطا برای مدل GFDL-CM3 می‌باشد. برای بارش از نظر ایستگاهی، ایستگاه‌های اهواز، آبادان، حرمله و help-point9 کمترین میزان خطا را داشتند؛ و بیشترین خطا هم متعلق به دو ایستگاه کوهرنگ و گوشه پل می‌باشد. بیشترین همبستگی (۰.۹۸) مربوط به ایستگاه‌های آبادان، حرمله و help-point9 در شبیه‌سازی بـارش ماهانـه می‌باشد. هر دو مدل مورداستفاده برای بارش از همبستگی بالایی برخوردار می‌باشند.

نتایج مقایسه فصلی دو حوضه کارون و دز نشان می‌دهد. فصل پاییز هر دو حوضه کاهش اندک بارندگی در دو سناریوی ۲/۶ و ۴/۵ به مقدار ۱۶-۲۴ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهده‌ای پیش‌بینی می‌شود. بیشترین کاهش بارش در این فصل مدل CSIRO سناریوی rcp2/6، به مقدار ۲۴ میلی‌متر در حوضه دز می‌باشد. فصل زمستان هر دو حوضه کاهش بارندگی در همه سناریوها را نشان می‌دهد. طبق دو سناریوی ۲/۶ و ۶ هر دو مدل ارائه شده، به مقدار ۸۰-۹۰ میلی‌متر در حوضه دز و ۹۵-

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

۱۱۲ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره مشاهداتی در حوضه کارون پیش‌بینی می‌شود. در این فصل طبق مدل CM3 در سناریوی ۲/۶ به مقدار ۱۱۲ میلی‌متر کاهش بارش در حوضه کارون پیش‌بینی می‌شود. فصل بهار نتایج دو مدل ارائه شده با یکدیگر اندکی متفاوت می‌باشد. براساس مدلCM3 هر دو حوضه ۲۹-۳۲ میلی‌متر افزایش اندک بارش نسبت به دوره مشاهده‌ای پیش‌بینی می‌شود. براساس این مدل طبق سناریوی rcp۶ حوضه کارون با ۳۲ میلی‌متر سهم بیشتری از بارش‌های بهاری را دریافت خواهد کرد. براساس مدلCSIRO کاهش اندک بارش همه سناریوها نسبت به دوره مشاهده‌ای پیش‌بینی می‌شود. این مدل سناریوی rcp۴/۵ در حوضه دز تا ۳۸ میلی‌متر و در حوضه کارون تا ۲۶ میلی‌متر کاهش بیشتر بارش نسبت به دوره مشاهده‌ای پیش‌بینی می‌شود.

به‌طورکلی باتوجه به میانگین مشاهده‌ای حوضه دز (۶۸۰ میلی‌متر) و حوضه کارون (۶۰۱ میلی‌متر) براساس هر دو مدل موردبررسی می‌توان گفت در حوضه دز ۷۷-۱۲۴ میلی‌متر کاهش بارش پیش‌بینی می‌شود. حوضه کارون ۸۶-۱۱۳ میلی‌متر کاهش بارش نسبت به دوره مشاهده‌ای پیش‌بینی می‌شود. دو سناریوی ۴/۵ (مدلCSIRO) و سناریوی ۲/۶ (مدلCM3) بیشترین کاهش بارندگی را در دو حوضه دز و کارون به خود اختصاص داده است.

با توجه به میانگین بارش مشاهده‌ای حوضه کارون بزرگ (۶۲۶ میلی‌متر) نتایج نهایی کل حوضه کارون بزرگ، حاکی از آن است. کاهش بارش در هر دو مدل به مقدار ۸۳-۱۱۶ میلی‌متر نسبت به دوره مشاهده‌ای این حوضه پیش‌بینی می‌شود. دو سناریوی ۴/۵ (مدلCSIRO) و سناریوی ۲/۶ (مدل CM3) بیشترین کاهش بارندگی کارون بزرگ را به خود اختصاص داده است. در کل می‌توان گفت در هر دو مدل، مانند دوره مشاهداتی بیشینه بارش در شرق حوضه و نواحی مرکزی و کوهپایه‌ای می‌باشد. کمترین دریافت بارش در نواحی جنوب شرق و جنوب غرب حوضه کارون بزرگ پیش‌بینی می‌شود. اگر این روند ادامه داشته باشد، آثار مخرب زیست‌محیطی بر جای خواهد گذاشت.

منابع

سلطانی گردفرامرزی، سعید، عارف صابری، مرتضی قیصوری (۱۳۹۶)، تعیین بهترین مدل سری زمانی در پیش‌بینی بارندگی سالانه ایستگاه‌های منتخب استان آذربایجان غربی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال هفدهم: شماره ۴۴، بهار۹۶. https://doi.org/20.1001.1.22287736.1396.17.44.5.1

علیجانی، بهلول.(۱۳۸۸)، آب‌وهوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ نهم، بهمن ۱۳۸۸.

مسعودیان، ابوالفضل؛ کاویانی، محمدرضا.(۱۳۸۷)، اقلیم‌شناسی ایران، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ اول، بهار ۱۳۸۷.

معصوم پورسماکوش، جعفر، میری، مرتضی، پورکمر، فاطمه. (۱۳۹۶). ارزیابی داده‌های مدل‌های اقلیمیCMIP5 در مقابل داده‌های مشاهده‌ای ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*، د.ره ۱۱(۴), ۴۰-۵۳. doi.net/dor/20.1001.1.20080336.1396.11.4.3.1

مطالعات آمایش استان خوزستان، (گزارش منابع طبیعی)، منابع آب استان، جلد ۷، زمستان ۱۳۹۱.

ناصرزاده، محمدحسین؛ صیادی، فریبا و طولابی نژاد، میثم، (۱۳۹۷). مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مکانی هسته‌های بارشی در ایران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. دوره ۱۹، شماره ۵۵ - (۱۰-۱۳۹۸). DOI:20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3

IPCC. (2014). Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2014. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.: http://www.ipcc.ch.

IPCC., (2007), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by M, Parry., Cambridge University Press, UK. http://www.ipcc.ch.

Jones, R., N., (2000), b: Analysing the risk of climate change using an irrigation demand model, Climate Res, 14: 89–100. DOI:10.3354/cr014089

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]

Koutroulis, A., G., Grillakis, M., G., Tsanis, I., K., and Papadimitriou, L., (2015), Evaluation of precipitation and temperature simulation performance of the CMIP3 and CMIP5 historical experiments: Climate Dynamic, 47: (5–6), 1881–1898. DOI:10.1007/s00382-015-2938-x

Lenderink, G., Buishand, A., van, Deursen., W., (2007), Estimates. Of future discharges of the river Rhine using two scenario methodologies: direct versus. delta approach. Hydrol. Earth syst. Sci. 11: (3): 1145- 1159. https://doi.org/10.5194/hess-11-1145-2007

Scenarios Houghton, J.T., L.G.(2016), Meira Filho, J. Bruce, H. Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris, and K. Maskell (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, pp. 247- 304.

Schmidli, J., Frei, C., Vidale, P.L., (2006), Downscaling from GCM precipitation: a benchmark for dynamical and statistical downscaling methods. International Journal of Climatology 26, 679–689. https://doi.org/10.1002/joc.1287

Terando, A., Keller, K., and Easterling, W., E., (2012), Probabilistic projections of agro-climate indices in North America. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 117(D8): D08115. https://doi.org/10.1029/2012JD017436

Wan H., Zhang X., Zwiers F. and Min S.K. 2014. Attributing northern high-latitude precipitation change over the period 1966–2005 to human influence. Journal of Climate Dynamics, 45:1713-1726. https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-014-2423

Wang L., Ranasinghe R., Maskey S., van Gelder P. H. A. J. M, Vrijlinga J. K., (2015), Comparison of empirical statistical methods for downscaling daily climate projections from CMIP5 GCMs: a case study of the Huai River Basin, China, Int. J. Climatol. https://doi.org/10.1002/joc.433

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.131.4]
[DOI: 10.61186/jgs.25.76.3]