



The prediction of monthly rainfall in Kermanshah Synoptic Station under the social-economic scenarios of the sixth climate change report

Arina Almasi¹ , Seyed Ehsan Fatemi² , Afshin Eghbalzadeh³ 

¹ MSc. Student of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: almasi.arina1998@gmail.com

² Corresponding Author, Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. E-mail: se.fatemi@razi.ac.ir

³ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: afeghbal@razi.ac.ir

ABSTRACT

The current study evaluated the accuracy of general circulation models of the sixth climate change report in simulating the monthly rainfall at Kermanshah synoptic station in the studied region. In this study, the CanESM5/MRI-ESM2-0 and MIROC6 models were utilized to forecast the precipitation of the Kermanshah synoptic station at the microscale using the statistical delta change factor method. The models' accuracy has been assessed after error correction. The accuracy of the adjusted models compared to the observational data for the 1990-2014 period has been evaluated using validation indicators like root mean square error (RMSE) and Nash coefficient (NASH). The lowest average of monthly rainfall from 2026 to 2100 occurs in June, July, August, and September, while the highest precipitation is in April, March, and November across all three near-future historical periods (median and Far). In the second period (2051-2075), there are more similarities in the trend of changes in monthly rainfall. However, in the SSP126 scenario, the models MIROC6 and CanESM5 predict greater increases in precipitation for this historical period compared to the SSP245 and SSP585 scenarios, according to the MRI-ESM2-0 model.

Based on the validation criteria after bias correction, the study area's best and worst models for predicting monthly rainfall are MIROC6 and MRI-ESM2-0, with the lowest and highest errors, respectively. The Nash-Sutcliffe coefficient for the models MRI-ESM2-0, MIROC6, CanESM5 is calculated as 0.91, 0.93, 0.95, indicating the effectiveness of the delta change method in downscaling climatic parameters. The MRI-ESM2-0 model shows lower accuracy in predicting monthly rainfall in the study area, but it could yield varying results for other climate parameters and regions.

Keywords: CMIP6, Climate change, Monthly rainfall, Delta change factor method and bias correction

Article Type: Research Article

Article history: Received: 22 December 2023 Revised: 27 February 2024 Accepted: 16 March 2024 ePublished: 26 March 2024

1. Introduction

Climate change has been a crucial environmental issue in recent years, with global warming, water crisis, and ecosystem changes drawing significant attention. Scientists have been developing various scenarios of greenhouse gas emissions to model future climate changes.

Prior research has focused on forecasting rainfall using the fifth climate change report, with little attention to the future socioeconomic impacts. This study addresses monthly rainfall prediction for the Kermanshah synoptic station using data from the sixth climate change report, considering various social and economic scenarios (J. T. S. Pedersen et al., 2022).

2. Methodology

Climate change, caused by human activities, is a widely studied topic. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) is the leading authority on researching and predicting climate change, and they have developed numerous emission scenarios over the years. The challenge of addressing climate change is currently one of the most significant issues.

The Kermanshah province, located in the western part of the country, spans 24.64 square kilometers, in Iran. It stretches between the latitudes of 33° 36' to 35° 15' north and the longitudes of 45° 24' to 48° 30' east. The Kermanshah synoptic station is situated at the coordinates of 34° 21' longitudes and 47° 10' latitudes.

One challenge with using AOGCM model outputs in regional climate change studies is the mismatch in spatial scale between the model's computational cells and the study area. At the same time, regional studies need data at a resolution of 50 kilometers or less to assess the effects of climate change. The current study utilized the Delta Change Factor (DCF) method to reduce the scale of GCM model data. In CMIP6, models typically feature enhanced resolution and improved dynamic processes. The simulation of future climate changes has utilized the Shared Socioeconomic Pathways (SSP) scenarios. These scenarios, employed in CMIP6, forecast global socioeconomic changes until 2100. The study utilizes the SSP5_8.5, SSP2_4.5, and SSP1_2.6 scenarios. To assess model accuracy, RMSE (Root Mean Square Error) and NSH (Nash-Sutcliffe Efficiency) are used as indicators (Fatemi et al., 2022).

3. Results and discussion

In this study, three climate models - CanESM5, MRI-ESM2-0, and MIROC6 - were utilized to forecast monthly rainfall variability in Kermanshah synoptic station for the sixth climate change report across three future periods: 2026-2050, 2051-2075, and 2076-2100 under SSP126, SSP245, and SSP585 scenarios. The comparison of the trend of monthly rainfall changes in the corrected data indicates that the MIROC6 model predicts the median for the Kermanshah region with the least error compared to the other two models. First, the average monthly rainfall for models after correcting the error for three intervals (2050-2026), (2051-2075), and (2076-2100) was analyzed in Figure 1. As can be observed in all scenarios, there is a decreasing trend in monthly precipitation.

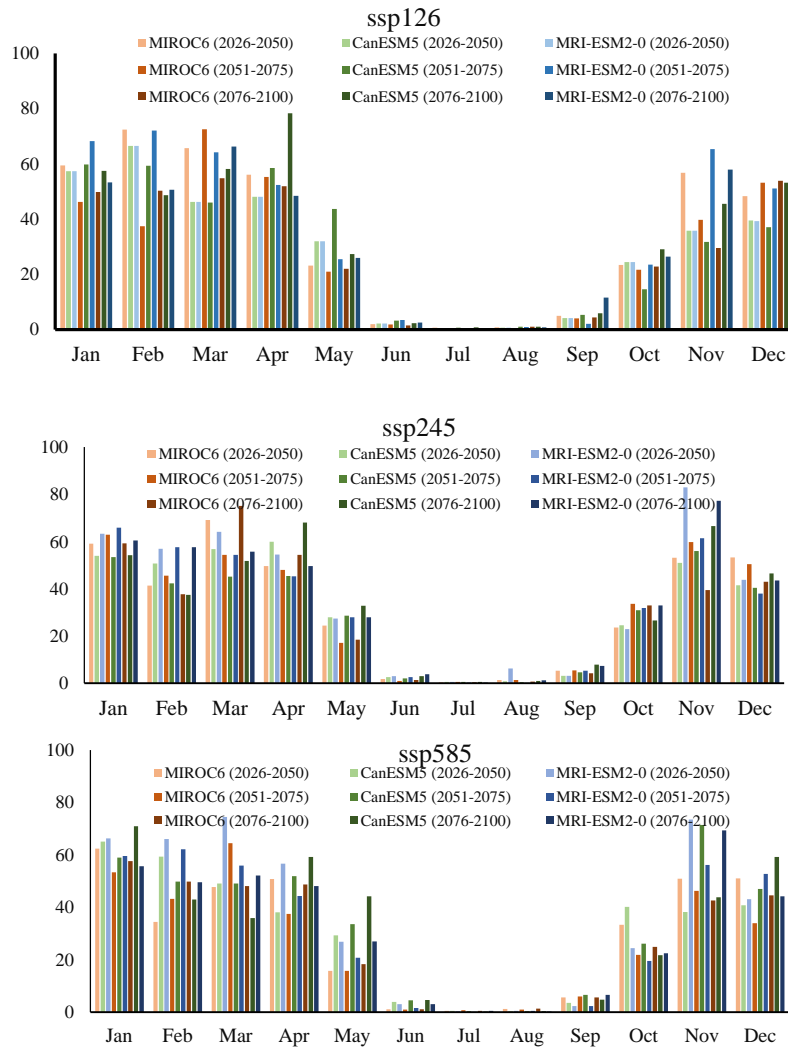


Figure 1. Monthly average rainfall for all three scenarios and mode

The lowest amount of precipitation is related to the months (June-July-August-September), while the highest amount of precipitation occurs in the months (April-March-November) across the near future, mid-term, and far future. The average rainfall in the SSP126 scenario is predicted to be higher for the MIROC6 model than for the other two models shortly (2026-2050). In the mid-term future (2051-2075), the MIROC6 model predicts less rainfall than the other two models, and in the far future (2076-2100), the CanESM5 model predicts the highest average rainfall for April. In the SSP245 scenario, shortly (2026-2050), the MRI-ESM2-0 model predicts the highest amount of rainfall for November, and the rest of the values are similar. In the mid-term future (2051-2075), the predictions of the models are almost similar, and in the far future (2076-2100), the MIROC6 model predicts the highest average rainfall for March, the CanESM5 model predicts the highest average rainfall for April, and the MRI-ESM2-0 model predicts the highest average rainfall for November. In the SSP585 scenario, shortly (2026-2050), the MRI-ESM2-0 model predicts more rainfall than the other two models. In the mid-term future (2051-2075), the CanESM5 model predicts the highest amount of rainfall for November, and in the distant future (2076-2100), the MRI-ESM2-0 model predicts the highest amount of rainfall for November, while the CanESM5 model predicts approximately the highest average predicted rainfall.

4. Conclusions

The most significant changes in monthly rainfall are expected to occur after bias correction in the first period (2026-2050) in the MRI-ESM2-0 model scenarios. The MIROC6 and CanESM5 models show similar predicted rainfall changes. In the second period (2051-2075), the trend of monthly rainfall changes for all three scenarios is more similar. However, the MIROC6 and CanESM5 models under the SSP126 scenario have predicted greater increases in rainfall compared to the SSP245 and SSP585 scenarios of the MRI-ESM2-0 model during this historical period. The MRI-ESM2-0, MIROC6, and CanESM5 models are suitable for use in the study area after bias correction, based on the validation index values for all three scenarios and models. Nonetheless, there are differences in the accuracy of the models for examining various climate change parameters and different climate regions. For instance, the MIROC6 model exhibits the highest accuracy for predicting monthly rainfall, while the MRI-ESM2-0 model has the lowest accuracy. The accuracy of the MRI-ESM2-0 model for predicting monthly rainfall in this study area is lower, but its accuracy for other climate change parameters and different regions may yield different results. The comparison of observational data and historical scenario model data in the study area for predicting future monthly rainfall shows that the best models for the study area are MIROC6 and CanESM5.

5. References

- Pedersen, J. T. S., Van Vuuren, D., Gupta, J., Santos, F. D., Edmonds, J., & Swart, R. (2022). IPCC emission scenarios: How did critiques affect their quality and relevance 1990–2022. *Global Environmental Change*, 75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102538>
- Fatemi, S. E., Darabi Cheghabaleki, S., & Hafezparast Mavadat, M. (2022). The effect of preprocessing and reducing the input dimensions of the flow prediction model on optimized support vector regression by genetic algorithm. *Advanced Technologies in Water Efficiency Journal*, 2022, 1(1), 24-47. <https://doi.org/10.22126/atwe.2021.6660.1002> [In Persian]

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

7. Acknowledgments

The authors would like to thank Razi University for providing the facilities to carry out the laboratory experiments of this paper

Cite this article: Almasi, A., Fatemi, S.E., & Eghbalzadeh, A. (2024). The prediction of monthly rainfall in Kermanshah Synoptic Station under the social-economic scenarios of the sixth climate change report, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(1),40-64. DOI: 10.22126/atwe.2024.10245.1097

Publisher: Razi University

© The Author(s).





پیش بینی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه تحت سناریوهای اجتماعی - اقتصادی گزارش ششم تغییر اقلیم

آرینا الماسی^۱، سید احسان فاطمی^۲، افشین اقبال زاده^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: almasiarina1998@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: se.fatemi@razi.ac.ir

^۳ دانشیار گروه مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: afeghbal@razi.ac.ir

چکیده

تغییرات اقلیم در ایران اهمیت بسیار بالایی برخوردار بوده چراکه کاهش میزان بارندگی تأثیرات منفی زیادی بر مسائل زیستی و اجتماعی دارد. در این مطالعه پیش بینی بلندمدت بارندگی تحت سناریوهای مبتنی بر مسیرهای اجتماعی و اقتصادی گزارش ششم تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه انجام شد. برای این منظور از داده‌های مدل‌های جهانی به‌ویژه Canesm5 MRI-ESM2-0، MIROC6، استفاده شد. ریزمقیاس نمایی مدل‌ها با روش تغییر عامل دلتا انجام شد. دقت مدل‌های تصحیح شده نسبت به داده‌های مشاهداتی برای دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۴ با استفاده از شاخص‌های میانگین مربعات خطا و ضریب نش مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

نتایج نشان داد که کمینه میانگین بارندگی ماهانه در بازه (۲۰۲۶-۲۱۰۰) به ترتیب مربوط به ماه‌های APRIL-MARCH-NOVEMBER در هر سه آینده نزدیک، میانه، دور است. برای هر سه سناریو روند تغییرات بارندگی ماهانه در دوره آتی دوم (۲۰۵۱-۲۰۷۵) شباهت بیشتری به هم دارند ولی در سناریو SSP126 مدل‌های MIROC6، CanESM5 نسبت به سناریوهای SSP245، SSP585 مدل MRI-ESM2-0 افزایش بیشتری در این دوره تاریخی برای بارندگی را پیش‌بینی کرده‌اند. با توجه به سنج‌های صحت‌سنجی بعد از تصحیح آریبی، بهترین و بدترین مدل برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه به ترتیب مدل MIROC6 و MRI-ESM2-0 است. ضریب نش برای مدل‌های MRI-ESM2-0، MIROC6، CanESM5 به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۹۳، ۰/۹۵ محاسبه شد و حاکی از کارایی این روش در ریزمقیاس کردن بارندگی دارد. در مقایسه، مدل MRI-ESM2-0 برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه دقت کمتری دارد اما دقت این مدل برای سایر پارامترهای اقلیمی و مناطق دیگر مطالعاتی ممکن است نتایج دیگری را نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6، بارندگی ماهانه، ریزمقیاس نمایی، روش تغییر عامل دلتا و تصحیح آریبی

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۰۱ دی ۱۴۰۲ اصلاح: ۰۸ اسفند ۱۴۰۲ پذیرش: ۲۶ اسفند ۱۴۰۲ چاپ الکترونیکی: ۰۷ فروردین ۱۴۰۳

استناد: الماسی، آ.، فاطمی، س.ا.، و اقبال زاده، ا. (۱۴۰۳). پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه تحت سناریوهای اجتماعی - اقتصادی گزارش ششم

تغییر اقلیم، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۴(۱)، ۴۰-۶۴، شناسه دیجیتال: 10.22126/atwe.2024.10245.1097



مقدمه

اقلیم^۱ یک واژه عربی است که از واژه یونانی کلیما برگرفته شده و در زبان فارسی با اصطلاح آبوهوا استفاده می شود (علیزاده و همکاران ۱۳۷۴). اقلیم در مفهوم سطحی، اغلب به عنوان میانگین آبوهوا در یک دوره زمانی در بازه‌ی ماه‌ها تا هزاران یا میلیون‌ها سال تعریف می شود. معمولاً بازه زمانی پایه برای اقلیم ۳۰ سال در نظر گرفته می شود. تابش خورشیدی از عوامل تأثیرگذار بر سیستم اقلیمی زمین است. دمای زمین تا قرن‌ها پیش ثابت بوده، به گونه‌ای که بیلان انرژی در حالت تعادل قرار داشته است، یعنی میزان انرژی ورودی خورشید به جو با مقدار اشعه‌های خروجی از آن در تعادل نزدیک بوده است (کوباش و همکاران^۲، ۲۰۱۳).

امروزه از تغییر اقلیم و چگونگی رویارویی با آن به عنوان یکی از چالش‌های پیش روی بشر می توان نام برد. تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مسائل اقلیمی و محیط زیستی است که در سال‌های اخیر با توجه به مطرح شدن گرمایش جهانی و بحران در منابع آبی و تغییر اکوسیستم‌ها توجه بسیاری از محافل جهانی را به خود جذب کرده است. از این رو سازمان ملل برای بررسی تغییر اقلیم در سطح جهانی و تأثیر فعالیت‌های بشر بر آن نهادی را با عنوان هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم^۳ تأسیس نموده است. از مهم‌ترین عوامل تغییر اقلیم و افزایش گرمای جهانی می توان به افزایش نشر گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های بشر اشاره نمود، دانشمندان برای پیش‌بینی اقلیم کره زمین در آینده، اقدام به ساخت سناریوهای مختلف از نشر گازهای گلخانه‌ای نموده‌اند تا بر اساس این سناریوها تغییر اقلیم را شبیه‌سازی کنند (پدرسن و همکاران^۴، ۲۰۲۲). برای ارائه برآورد از تغییرات اقلیمی، IPCC هر چند سال یک‌بار گزارش‌هایی را منتشر می کند که در آن‌ها مدل‌های جهانی تغییر اقلیم^۵ تحت یک سری سناریوهای انتشار، برآوردی از متغیرهای اقلیمی هم در دوره پایه هم در دوره آتی منتشر می کند.

مدل‌های گردش عمومی به‌طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی آبوهوای گذشته، حال و آینده مورد استفاده قرار گرفته‌اند، آن‌ها بر اساس قوانین اساسی فیزیک، دینامیک سیالات و شیمی و غیره ساخته شده‌اند. تا امروز ۶ گزارش از IPCC منتشر شده (TRA.2001, AR4.2007, AR5.2014, AR6.2018, FRA.1990, SAR.1995) که گزارش AR6 CMIP6 آخرین گزارش است.

تغییرات بارش ناشی از گرمایش هوا یکسان نیست. با تغییر مقدار بارش، مقدار برف و یخ کاهش یافته و سطح دریاها بالاتر آمده است. از دهه ۱۹۸۰ مناطق پربارش در هر دو نیم‌کره به سمت قطب نزدیک شده است. با استفاده از شبیه‌سازی IPCC با افزایش دما بارش تا سال ۲۱۰۰ در عرض‌های جغرافیایی بالا، بخش‌هایی از مناطق استوایی و اقیانوس آرام افزایش و در برخی مناطق نیمه گرمسیری بارش کاهش می‌یابد (آی پی سی سی^۶، ۲۰۲۱).

عوامل برتری گزارش ششم نسبت به گزارش پنجم عبارت‌اند از:

- ا. رفع نقص‌های مدل‌های CMIP5 از جمله تخمین ضعف واداشت تابشی و خطای سیستماتیک
- ب. لحاظ کردن اندرکنش‌های اقلیمی، انسانی و زیست‌محیطی در مدل‌های CMIP6
- ج. ارائه ترکیبی از سناریوهای اقلیمی RCP و سناریوهای اجتماعی-اقتصادی
- د. گزارش پنجم و مدل‌های آن برحسب دریافت انرژی در سطح به‌دست آمده‌اند

¹ climate

² Cubasch et al

³ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁴ Pedersen et al

⁵ Global Circulation Model

⁶ IPCC

علاوه بر واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ یک سری سناریوهای اجتماعی-اقتصادی SSP هم در نظر گرفته می‌شود (آی پی سی سی^۱، ۲۰۲۱).

فلاح و همکاران (۱۴۰۰)، در تحقیقی نشان دادند که آسیب‌پذیری به‌دست‌آمده از سناریوهای SSP در شرایط اقتصادی - اجتماعی نسبت به سناریوهایی که این شرایط را در نظر نمی‌گیرند، تفاوت زیادی دارد. در تحقیقات دیگری نیز به اهمیت تأثیر عوامل اجتماعی - اقتصادی بر شرایط اقلیمی در آینده اشاره شده است. از پیامدهای تغییرات اقلیم می‌توان به تغییر در چرخه‌های آبی منطقه‌ای و متعاقباً اثر بر کمیت و کیفیت منابع آب منطقه‌ای اشاره نمود شبیه‌سازی‌های اقلیمی برای قرن حاضر نشان از افزایش بارندگی در عرض‌های جغرافیایی بالا و کاهش آن در عرض‌های پایین‌تر از پهنه‌های خشک (معتدله) است (گلیگ^۲، ۱۹۸۹). یکی از راهکارها برای جبران صدمات ناشی از تغییرات اقلیم پیش‌بینی الگو و روند آن‌ها در دهه‌های آینده است. با محاسبه تغییرات اقلیم در آینده می‌توان تأثیر آن را بر محیط‌زیست و جامع، واکاوی نموده و جهت جلوگیری از آثار زیان‌بار آن چاره‌ای اندیشید (روان و ناظم‌السادات، ۱۳۹۰). مدل‌های گردش عمومی جو به‌روزترین ابزار موجود جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در سطح جهان هستند (ساجیندرا و همکاران^۳، ۲۰۱۸)؛ اما قدرت تفکیک مکانی پایین، درصد خطای آن‌ها را افزایش می‌دهد (تیلر و همکاران^۴، ۲۰۱۲). برای بهبود وضوح GCM ها از تکنیک مقیاس کاهی استفاده می‌شود (ویلیبی و ویگل^۵، ۱۹۹۷). برای مقیاس کاهی مدل‌های GCM روش‌های دینامیکی و آماری مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقیاس کاهی آماری روشی نسبتاً سریع و کارآمد برای فرموله کردن رابطه آماری بین خروجی‌های GCM و داده‌های مشاهداتی هستند. مطالعات متعددی برای ارزیابی دقت مدل‌های GCM در سطح جهان و ایران با استفاده از روش‌های مختلف مقیاس کاهی و تصحیح اریبی انجام گرفته‌اند (احمد و همکاران^۶، ۲۰۱۳).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مسئله تغییر اقلیم و نحوه‌ی پراکندگی آن که از پیامدهای فعالیت‌های بشر بشمار می‌رود، یکی از اصلی‌ترین موضوعات پژوهش‌های اخیر در حوزه‌ی اقلیم‌شناسی است. IPCC به‌عنوان مهم‌ترین مرجع پژوهش‌ها و پیش‌بینی‌های مربوط به تغییر اقلیم تاکنون چند نسل از سناریوهای انتشار را ارائه داده است. در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر مسئله تغییر اقلیم و چگونگی رویارویی با این موضوع است (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰).

پیش‌تر، پژوهش‌های وسیع و جامعی بر روی تغییرات میانگین عوامل مؤثر بر تغییر اقلیم مانند بارندگی و دما از دیدگاه دستیابی به نتایج آماری تغییر اقلیم در سراسر کشور صورت گرفته است. گزیده‌ی این پژوهش‌ها و سایر تحقیقات قابل خارجی بیان می‌گردد. کلاکی و همکاران (۱۴۰۰) شبیه‌سازی تأثیرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های اقلیم CMIP5، CMIP6 بر رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در حوضه آبریز طشک- بختگان مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش با اعمال شرایط تغییر اقلیم برای مدل‌های GFDL-ESM2M، IPSL-CMA5-LR تحت سناریوهای RCP2.6، RCP8.5 و مدل‌های GFDL-ESM4، IPSL-CMA6-LR تحت سناریوهای RCP1-2.6، RCP 5-8.5 در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان می‌دهد که وضعیت متغیرهای اقلیمی بارش و دمای حداقل و حداکثر در شرایط تغییر اقلیم، افزایش دما (۱/۵۱-۲/۹۱ درجه سلسیوس) برای تمام مدل‌ها و سناریوها، کاهش

¹ IPCC

² Gleick

³ Sachindra et al

⁴ Taylor et al

⁵ Wilby and Wigle

⁶ Ahmed et al

بارش (۰/۵-۱۱/۱۵ درصد) را در اغلب مدل‌ها و سناریوها نشان می‌دهد. شبیه‌سازی مدل هیدرولوژیک SWAT در شرایط تغییر اقلیم در هر ۴ ایستگاه تحت سناریوهای SSP کاهش رواناب و در ۳ ایستگاه تحت سناریوهای RCP افزایش رواناب را نشان می‌دهد.

جهانگیر و روزبهانی (۱۴۰۱) تخمین بلندمدت تغییرات عوامل اقلیمی ایستگاهی تحت مدل C در ایستگاه سینوپتیک بروجرد را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده از پژوهش آن‌ها نشان داد که بیشترین درصد کاهش بارندگی، مربوط به ماه ژانویه در دوره زمانی ۲۱۰۱-۲۱۲۱ و سناریوی RCP۸.۵، به میزان ۲۲/۰۹ درصد است. پارامتر دما در تمامی سناریوها و دوره‌های مورد مطالعه در این پژوهش نسبت به دور پایه روند افزایشی داشت. بیشترین مقدار افزایش به ترتیب در داده‌های دمای حداقل مربوط به سناریوی RCP 4.5 در ماه اکتبر دوره زمانی ۲۱۰۱-۲۱۰۱ و برابر با ۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد و در داده‌های دمای حداکثر مربوط به سناریوی RCP 4.5 ماه اکتبر دوره زمانی ۲۱۰۱-۲۱۰۱ و برابر با ۱۲/۷ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد. بارش دارای روند کاهشی بوده و پارامتر دما در تمامی سناریوها و دوره‌های مورد مطالعه نسبت به دوره پایه روند افزایشی داشت.

عبدالعلی‌زاده و همکاران (۱۴۰۱) دقت مدل‌های CMIP6 برای شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه را ارزیابی نمودند. بر اساس نتایج به دست آمده، برای کل حوضه بین داده‌های تصحیح شده مدل‌ها و مشاهدات ایستگاهی برای دما رابطه خطی قوی و برای بارش رابطه خطی ضعیف برقرار است؛ بنابراین دقت مدل‌های مورد مطالعه در شبیه‌سازی دما مناسب و در شبیه‌سازی بارش به ویژه در مدل CMCC-ESM2 ضعیف ارزیابی شده است.

اعتدالی و همکاران (۱۴۰۱) چشم‌انداز اثرات تغییر اقلیم بر خشک‌سالی بر اساس گزارش پنجم (IPCC مطالعه موردی شهر ایلام) با ۲۱ مدل CMIP۵ جهت پیش‌بینی پارامترهای بارندگی و دمای متوسط در دوره آتی از مدل ریزمقیاس ساز SDSM داده‌های هواشناسی تحت سه سناریوی RCP 4.5، RCP 2.6، و RCP 8.5 مدل جفت شده‌ی جوی- اقیانوسی CanESM2 مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد شرایط اقلیمی آینده برای دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۱۰۰ افزایش ۳/۷۹۸ درجه سانتی‌گراد دما و کاهش ۶/۸ درصد بارندگی و در این منطقه مطالعاتی در آینده خشک‌سالی‌های شدیدتر و طولانی‌تری را نسبت به دوره تاریخی تحت هر سه سناریوهای RCP 4.5، RCP 2.6، و RCP 8.5 تجربه می‌کند.

میان‌آبادی و همکاران (۱۴۰۲) پیش‌نمایی تغییرات توزیع بارش و دما با استفاده از شبیه‌سازی اصلاح آریبی شده مدل‌های اقلیمی گزارش ششم (مطالعه موردی: ایستگاه همدیدی کرمان) برای دوره پایه (۱۹۶۵ تا ۲۰۱۴) برای بارش و دما را مورد مطالعه قرار دادند. بهترین مدل‌ها برای پیش‌بینی این دو متغیر در سال‌های آینده (۲۰۵۱ تا ۲۱۰۰) بر مبنای سناریوهای مختلف اقلیمی (RCP 4.5، RCP 2.6، و RCP 8.5) تجربه می‌کند.

انتخاب شدند. نتایج بررسی روند تغییرات بارش و توزیع آن نشان‌دهنده مقادیر P-value بیشتر از ۰/۱ و میانگین و واریانس بارش مقادیر P-value کمتر از ۰/۰۵ بود و لذا احتمال افزایش وقوع بارش‌های حدی از نظر آماری انتظار نمی‌رود؛ اما تغییرات روند، میانگین و واریانس دما از نظر آماری معنی‌دار بوده و احتمال وقوع تنش‌های گرمایی در آینده افزایش خواهد یافت.

زارعیان و دهبان گوهری (۱۴۰۱) دقت مدل‌های CMIP6 در برآورد دما و بارش ایران بر اساس تحلیل شبکه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل‌های مختلف در ماه‌های متفاوت سال، دقت یکسانی در برآورد دما و بارش کشور را دارا نیستند.

روشنی و حمیدی (۱۴۰۰) اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش را به کمک مدل‌های CMIP6 در ایستگاه ساری پیش‌بینی نمودند. نتایج به‌طور کلی نشان می‌دهد که میانگین تغییرات دما از ۱/۱۶ تا ۴/۰۹ درجه سانتی‌گراد بالاتر خواهد رفت و میانگین بارش در سال نیز در حدود ۲۴ درصد تا ۳۶ درصد بیشتر خواهد شد. نتایج آزمون شیب‌سن برای دمای حداکثر و حداقل نشان‌دهنده صعودی بودن روند این پارامتر

دارد و برای بارش روند مذکور نزولی است. تغییرات بلندمدت آب و هوایی یکی از عناصر تأثیرگذار بر منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی است که ضروری است برای حفظ زیست‌بوم و سازگاری انسان با تغییر اقلیم، توسعه استراتژی‌های مدیریتی مناسب برای آینده در نظر گرفته شود. زرین و رودباری (۱۴۰۰) تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین ایران را با به‌کارگیری مدل همدادی CMIP6 شبیه‌سازی نموده‌اند. بر اساس پیش‌بینی صورت گرفته، افزایش وقوع بارش سنگین در آینده ممکن است منجر به افزایش خطر سیل شده و دسترسی به منابع آب را نیز در ایران با مشکلاتی مواجه نماید.

اسکندری دامنه و همکاران مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش را در منطقه خشک دشت میناب شبیه‌سازی و پیش‌بینی نمودند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مقادیر درجه حرارت در ابتدای قرن ۲۱ در دشت میناب افزایش پیدا خواهد کرد، ولی مؤلفه بارندگی تنها در سناریو RCP2.6 افزایش می‌یابد درحالی‌که در دوره ۲۰۴۵-۲۰۷۴ در ایستگاه سینوپتیک میناب و بندرعباس تنها در سناریو RCP2.6، شاهد کاهش دما در مقیاس سالانه است.

لطفی و همکاران (۱۴۰۰) بر اساس پیش‌بینی دماهای بیشینه با استفاده از مدل‌های تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP (گزارش پنجم) و ریزمقیاس‌سازی مدل‌های LARS-WG, SDSM در غرب کشور به این نتیجه رسیدند که طبق هر دو مدل مورد مطالعه، میزان بیشینه دما در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد که این مقدار به‌طور متوسط بین ۰/۸ تا ۱/۹ درجه سلسیوس در سطح منطقه مورد مطالعه خواهد بود.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۲)^۱ در تحقیقی میزان کارایی ۴۲ مدل آب و هوایی در فاز ۶ پروژه قیاسی مدل کوپله در بازتولید میزان دما و نزولات جوی در ژینجیانگ را طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ ارزیابی کرده‌اند. نتایج این بررسی نشان داد که این مدل‌ها می‌توانند توزیع جغرافیایی قابل‌قبولی از این دو متغیر به دست آورند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در ژینجیانگ، شبیه‌سازی دمایی، مقایسه این ۴۲ مدل، میانگین حسابی و عددی مشابهی با ۲۹ مدل برتر انتخابی داشتند و از مدل‌های انفرادی بهتر عمل نمودند.

نیازکار و همکاران^۲ (۲۰۲۳) از دو مدل یادگیری ماشین (ML) به نام‌های برنامه‌ریزی ژنتیکی چندژنی (MGPP) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای کاهش مقیاس خروجی‌های سه مدل گردش عمومی با استفاده از CMIP6 استفاده کردند. برآوردهای ایشان نشان داد که افزایش قابل‌توجه حداقل دمای روزانه ممکن است تابستان‌های خنک‌تری را به همراه داشته باشد، درحالی‌که کاهش اندک حداکثر دمای روزانه ممکن است منجر به زمستان‌های گرم‌تر در آینده در منطقه مورد بررسی شود.

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اغلب بررسی‌های صورت گرفته در خصوص پیش‌بینی بارندگی بر اساس گزارش پنجم تغییر اقلیم انجام پذیرفته و اثرات اجتماعی-اقتصادی در سناریوهای آتی متغیرهای اقلیمی دیده نشده است. گزارش ششم CMIP6 نسبت به CMIP5 کامل‌تر شده و گزارش پنجم شامل ۴ سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای است که در گزارش ششم ۸ سناریو انتشار گاز گلخانه‌ای وجود دارد که این سناریوها نسبت به گزارش پنجم شامل بخش‌های اجتماعی-اقتصادی نیز هستند و مدل‌های انتخابی در این پژوهش با توجه به تحقیقات پیشین از بین ۱۰ مدل که هم‌دوره تاریخی هم‌دوره آتی حداقل ۳ سناریو SSP و سناریو historical را دارا هستند انتخاب شده است ولی همچنان به دلیل بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی آن‌ها باید از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای استفاده از داده‌های گزارش ششم نیز استفاده کرد.

¹ Zhang et al

² Niazkar et al

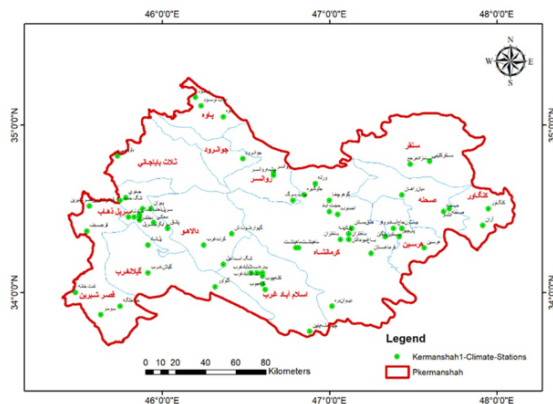
لذا در مطالعه حاضر با استفاده از داده‌های گزارش ششم تغییر اقلیم به پیش‌بینی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در سناریوهای مختلف اثرات اجتماعی و اقتصادی پرداخته شده است.

روش پژوهش

منطقه مطالعاتی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در محدوده استان کرمانشاه در غرب کشور با مساحت ۲۴/۶۴ کیلومترمربع، هفدهمین استان ایران از نظر وسعت به شمار می‌رود. این استان بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳°۳۶' تا ۳۵°۱۵' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۵°۲۴' تا ۴۸°۳۰' شرقی گسترده شده و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود می‌گردد. ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در طول و عرض جغرافیایی ۳۴°۲۱' و ۴۷°۱۰' واقع شده و موقعیت آن در شکل ۱ نشان داده شده است. رژیم آب‌وهوایی شهرستان کرمانشاه را سیستم‌های کم‌فشار مدیترانه‌ای تشکیل می‌دهند. با استفاده از تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه اقلیم‌های خشک سرد، نیمه‌خشک معتدل، نیمه‌خشک سرد و نیمه مرطوب سرد را در سطح شهرستان می‌توان مشاهده کرد. به‌طور کلی شهر کرمانشاه در اقلیم نیمه‌خشک استپی خنک قرار دارد (محمدی، ۱۳۸۱). در جدول (۱) میزان میانگین بارندگی ماهانه برای ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه برای دوره مشاهداتی ۱۹۹۰-۲۰۱۴ آمده است.

جدول ۱. مقادیر میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه مورد مطالعه

month	P_mm
Jan.	59.33
Feb	50.12
Mar	66.13
Apr	55.82
May	24.25
Jun	0.72
Jul	1.08
Aug	0.36
Sep	3.06
Oct	33.81
Nov	59.9
Dec	46.42
Ann.	401



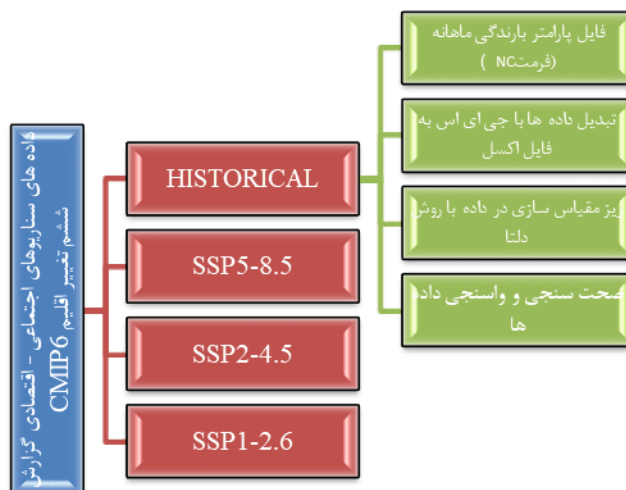
شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این پژوهش دقت و کارایی مدل‌های گردش عمومی جو سری CMIP6 برای شبیه‌سازی بارندگی ماهانه منطقه مورد مطالعه ارزیابی و صحت‌سنجی می‌شود. مدل‌های GCM مورداستفاده بر اساس مطالعات صورت گرفته شامل سه مدل است که مشخصات آن توسط سایت IPCC منتشر شده در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو (IPCC (2022)

Model ID	Institute (institution_id), country or union	Horizontal resolution (lon. × lat.)
MRI-ESM2-0	Meteorological Research Institute (MRI), Japan	1.1° ~ × 1.125°
MIROC6	MIROC, Japan	1.4° ~ × 1.40625°
CANESM5	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma), Canada	2.8° ~ × 2.8125°

همان‌طور که در شکل (۲) روند انجام کار آمده است روش کار بدین ترتیب است که داده‌های مدل‌های GCM برای منطقه مورد مطالعه استخراج شده و پس از ریزمقیاس‌سازی با داده‌های مشاهداتی بارندگی ماهانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه از سال ۱۹۹۰-۲۰۱۴ مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. دوره تاریخی انتخاب شده برای داده‌های مشاهداتی با توجه به اشتراک داده‌های ایستگاه هواشناسی و داده‌های تاریخی و سناریوهای منتخب سایت IPCC تعیین گردیده است. لازم به ذکر است آخرین دوره تاریخی مدل‌های اقلیمی در حال حاضر مختوم به سال ۲۰۱۴ می‌باشند.



شکل ۲. روند انجام مراحل تحقیق

یکی از مشکلات بزرگ برای استفاده از خروجی مدل های AOGCM در مطالعات بررسی اثر تغییر اقلیم در سطح منطقه‌ای، بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی آن‌ها، نسبت به منطقه مورد مطالعه است. به طوری که داده‌های تولیدی با این مدل‌ها مربوط به کل کره زمین هستند و دقت مکانی آن‌ها صدها کیلومتر است اما مطالعات منطقه‌ای جهت ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، به داده‌هایی با قدرت تفکیک کمتر از ۵۰ کیلومتر نیاز دارند. ریزمقیاس‌نمایی در واقع روشی برای به دست آمده داده‌هایی با تفکیک مکانی بالا از داده‌های مدل گردش عمومی جو هست که توانایی تولید داده‌های شبیه‌سازی شده را در مقیاس محلی ایستگاهی دارد. روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به این روش‌ها ریزمقیاس‌سازی گفته می‌شود (سالاری و همکاران، ۱۳۹۹).

در ریزمقیاس‌سازی آماری بر اساس انتخاب متغیرهای پایه (داده‌های مشاهداتی یا داده‌های تاریخی مدل GCM)، روش‌ها به دودسته تقسیم می‌شوند. روش‌های اصلاح اریبی BC و روش‌های عامل تغییر CF در هردوی این روش‌ها، اریبی اطلاعات اصلاح می‌شود. در

روش‌های مبتنی بر اصلاح اریبی فرض می‌شود که تفاوت میان مدل تغییر اقلیم و داده‌های مشاهداتی در طول زمان ثابت می‌ماند و در روش‌های مبتنی بر عامل تغییر فرض می‌شود که میزان تغییر داده‌ها در پارامترهای اقلیمی مشاهداتی برابر میزان تغییر آن‌ها در مدل تغییر اقلیم است و احتمال وقوع بارش (استفنسن و همکاران^۱، ۲۰۱۲) و (وانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۵).

¹ Stephenson et al

² Wang et al

در تحقیق حاضر مقیاس گاهی داده‌های مدل‌های GCM با روش تغییر عامل دلتا DCF انجام گرفت. یکی از ساده‌ترین روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری برون‌داد مدل‌های گردش کلی GCM به‌کارگیری روش دلتا DELTA یا عامل تغییر CHANGE FACTOR است. این روش برای متغیر بارش بر اساس نسبت داده مدل‌های عمومی تغییر اقلیم در دوره پایه و دوره پیش‌بینی محاسبه و در رابطه (۱) اشاره شده است. پس از محاسبه عامل تغییر، برای بارش عامل تغییر در مقدار بارش دوره پایه ضرب می‌شود تا مقادیر تصحیح‌شده بارش برای دوره پیش‌بینی حاصل شود. عامل تغییر دلتا و مقیاس گاهی تصحیح‌اریبی بارش با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$P_o^f = P_o * \frac{\mu_m^f}{\mu_m^c} \quad (1)$$

در رابطه فوق P بارش برحسب میلی‌متر، f دوره آینده (دوره صحت سنجی)، c دوره پایه (دوره کالیبراسیون)، m داده‌های مدل، o داده‌های مشاهداتی و $\frac{\mu_m^f}{\mu_m^c}$ عامل تغییر برای بارش هستند. جهت بررسی تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی اثرات آن در آینده به تولید سناریوهای اقلیمی نیاز است. برای بررسی ارتباط بین افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای که منجر به افزایش دمای سطح زمین می‌شود، وضعیت‌های احتمالی در آینده تعیین گردیده که اصطلاحاً به آن‌ها سناریوهای اقلیمی گفته می‌شود (پدرسن و همکاران، ۲۰۲۲)^۱. سناریوهای گزارش ششم که شامل ۵ زیرگروه اصلی هستند به شاخص‌های کمی (جمعیت، شهرنشینی، توسعه اقتصادی منطقه‌ای و فرا منطقه‌ای و...)، سناریوهای تعمیم‌یافته (اثرات، سازگاری و کاهش آسیب‌پذیری)، برنامه انرژی و تغییرات کاربری اراضی و ... تأکید دارد. با توجه به اینکه گزارش ششم تغییر اقلیم شامل سناریوهای جدید سازمان‌دهی شده از مدل‌سازی اقلیمی جهان است که برای شناخت مکانیسم‌های مختلف در آب‌وهوا طراحی شده، مدل‌های موجود در CMIP6 به‌طور کلی وضوح بیشتر همراه با بهبود فرایندهای پویا دارند و سناریوهای انتشار مشترک اقتصادی اجتماعی SSP برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی آینده اعمال شده است. سناریوهای مختلف SSP به‌کاررفته در CMIP6 تغییرات اقتصادی اجتماعی جهان را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌کند. سناریوهای به‌کاررفته در این پژوهش SSP1_2.6 - SSP2_4.5 - SSP5_8.5 هستند. در نام‌گذاری سناریوهای جدید از الگوی SSPxy استفاده شده است. در این الگو x نشان‌دهنده گروه SSP و y نشان‌دهنده واداشت تابشی ($\frac{W}{M^2}$) در سال ۲۱۰۰ است. مطابق پژوهش‌های محققین سناریوهای فوق پرتکرارترین سناریوهای پیش‌نگری تحت شرایط تغییر اقلیم بوده‌اند (کریگلر و همکاران، ۲۰۱۸)^۲. به‌طور خلاصه، سناریوهای SSPs تغییراتی که اقلیم آینده قرار است مطابق تغییرات آب‌وهوا به خود بگیرد را پیش‌بینی می‌کند. پروژه 6 CMIP دارای پنج سناریو یا SSP اصلی است. 1 SSPs و 5 SSPs در رابطه با توسعه انسانی توأم با سرمایه‌گذاری‌های عمدۀ در بخش آموزش و بهداشت، رشد سریع اقتصادی و مؤسسات دارای عملکرد مناسب، روند نسبتاً خوش‌بینانه‌ای را نشان می‌دهند.

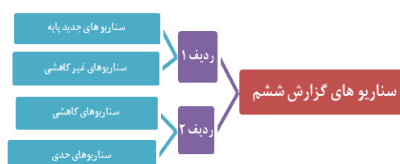
¹ Pedersen et al

² Kriegler et al

با این حال 5 SSPs بر اساس یک اقتصاد بر پایه سوخت فسیلی شکل گرفته در حالی که در 1 SSPs یک حرکت افزایشی به سمت شیوه‌های پایدار مشاهده می‌شود 3 SSPs و 4 SSPs یک روند بدبینانه را به همراه سرمایه‌گذاری اندک در زمینه آموزش و بهداشت، رشد سریع جمعیت و نابرابری‌های فزاینده‌ای را نشان می‌دهند. در 3 SSPs کشورها امنیت مناطق را اولویت‌بندی می‌نمایند، در صورتی که در سناریو 4 SSPs نابرابری‌های بزرگی در داخل و سراسر کشور حاکم است. در هر دو مورد این شرایط باعث ایجاد جوامعی می‌شوند که در برابر تغییرات اقلیمی بسیار آسیب‌پذیر هستند. در واقع رشد تولید ناخالص داخلی در هر دو سناریو کم و در کشورهایی با درآمد بالا متمرکز است، در حالی که افزایش جمعیت در کشورهای کم‌درآمد و متوسط متمرکز است (گیدن و همکاران، ۲۰۱۹)^۱. سناریو 2 SSPs یک مسیر مرکزی و میانگین را ارائه می‌دهد که در آن جوامع روند الگوهای تاریخی خود را بدون انحراف قابل توجهی ادامه می‌دهند (اونیل و همکاران، ۲۰۱۶)^۲. در این سناریو پیش‌بینی می‌گردد، مصرف مواد غذایی، به‌ویژه فراورده‌های دامی، افزایش یابد و تولید انرژی همچنان به سوخت‌های فسیلی با همان نرخ امروزی، متکی است که در جدول (۳) و شکل (۳) به معرفی این سناریوها پرداخته شده است.

جدول ۳. اطلاعات مربوط به سناریوهای CMPI6

نام سناریو	دسته واداشت	واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ (2w/m)	SSP
SSP5-8.5	زیاد	۸.۵	۵
SSP3-7	زیاد	۷	۳
SSP2-4.5	متوسط	۴.۵	۲
SSP1-2.6	کم	۲.۶	۱
SSP4-6	متوسط	۶	۴
SSP4-3.6	کم	۳.۴	۴
SSP5-3.4-os	Over shoot	۳.۴	۵
SSPX-Y(1-2.0)	کم	۲	۱
SSP3-7	۹ عضو ترکیبی	۷	۳
SSP5-8.5-ext	گسترش طولانی مدت	۸.۵	۵
SSP5-3.4-os-ext	گسترش طولانی مدت	۳.۴	۵
SSP1-2.6-ext	گسترش طولانی مدت	۲.۶	۱



شکل ۳. معرفی سناریوها

¹ Gidden et al

² Oneill et al

جهت ارزیابی دقت مدل‌ها از شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا RMSE و ضریب نش NSH استفاده شده است. مجذور میانگین مربعات خطا RMSE به‌عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود. خطای مدل نسبت به مقدار مشاهداتی را مشخص می‌کند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_m)^2}{N}} \quad (2)$$

- ضریب نش - ساتکلیف NSH

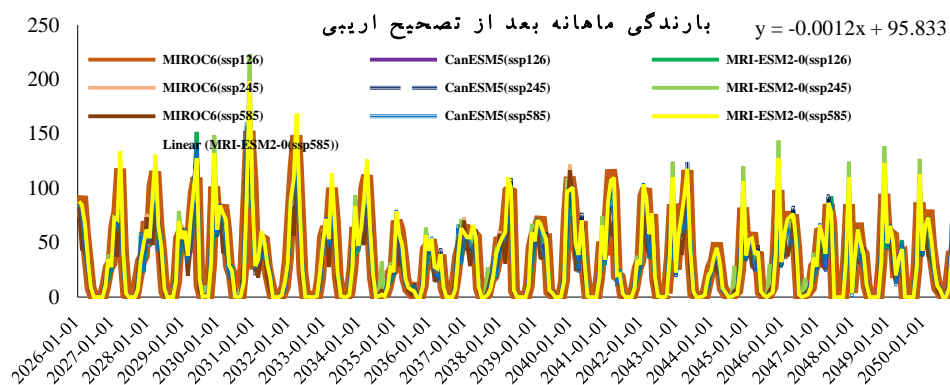
$$NSH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_o - X_m)^2}{\sum_{i=1}^N (X_o - \bar{X}_o)^2} \quad (3)$$

در روابط فوق X_o و X_m مقادیر مدل و مشاهداتی و N تعداد کل داده‌ها هستند.

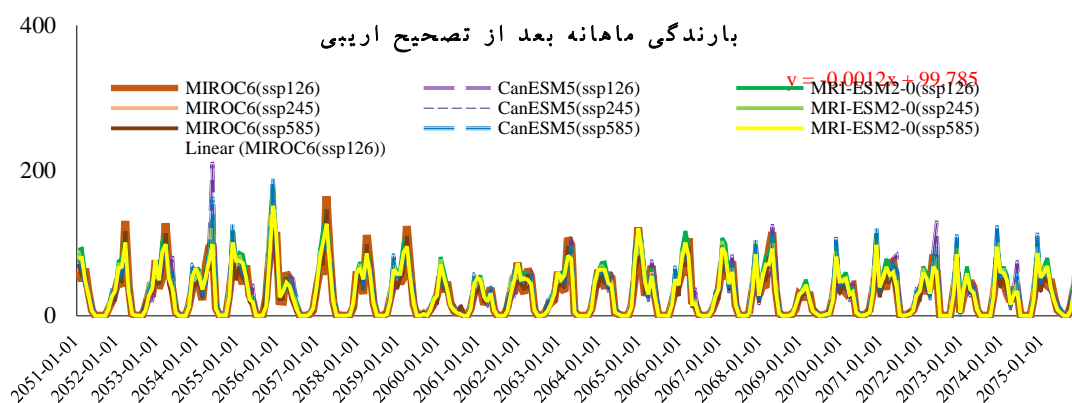
یافته‌ها

در این پژوهش برای پیش‌بینی ماهانه متغیر بارندگی از داده‌های سه مدل اقلیمی CanESM5, MRI-ESM2-0, MIROC6 سناریوهای SSP126, SSP245, SSP585 گزارش ششم تغییر اقلیم برای سه دوره آینده پیش‌بینی (۲۰۲۶-۲۰۵۰) و (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و (۲۰۷۶-۲۱۰۰) در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه استفاده شده است. لازم به ذکر است جهت مقیاس‌کاهی داده‌های بزرگ‌مقیاس اقلیمی از داده‌های دوره تاریخی (۱۹۹۰-۲۰۱۴) هر سه مدل CanESM5, MRI-ESM2-0, MIROC6 و داده‌های مشاهداتی ایستگاه مورد مطالعه با استفاده از روش تغییر عامل دل‌تا در نظر گرفته شده است. نمودار بارندگی ماهانه مدل‌ها (بعد از تصحیح اریبی) حوضه مورد مطالعه برای سه دوره آینده نزدیک، دور و میانه در شکل (۴) الف تا ج رسم گردیده است. مقایسه روند تغییرات بارندگی ماهانه داده‌های تصحیح‌شده در شکل (۴) نشان می‌دهد مدل MIROC6 برای منطقه کرمانشاه پیش‌بینی میانه و با خطای کمتر نسبت به دو مدل دیگر پیش‌بینی می‌کند.

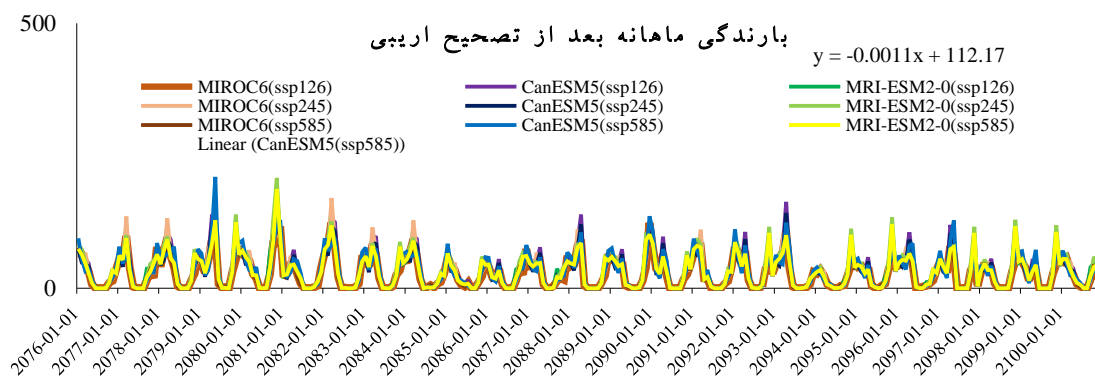
(الف)



(ب)

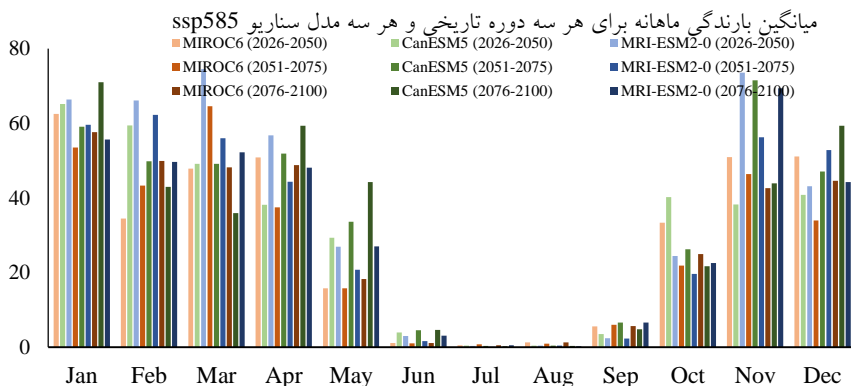
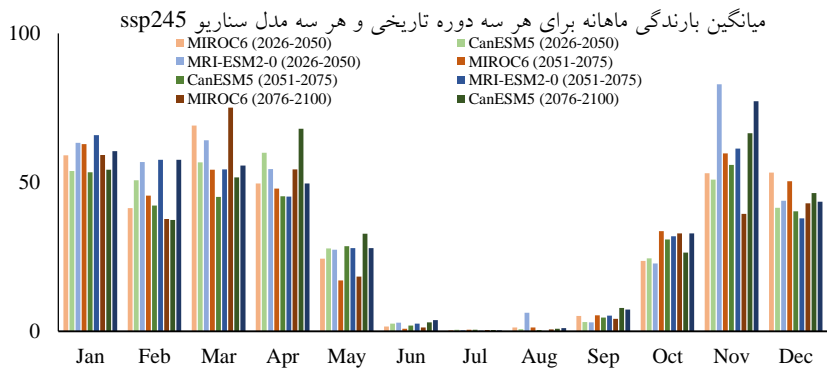
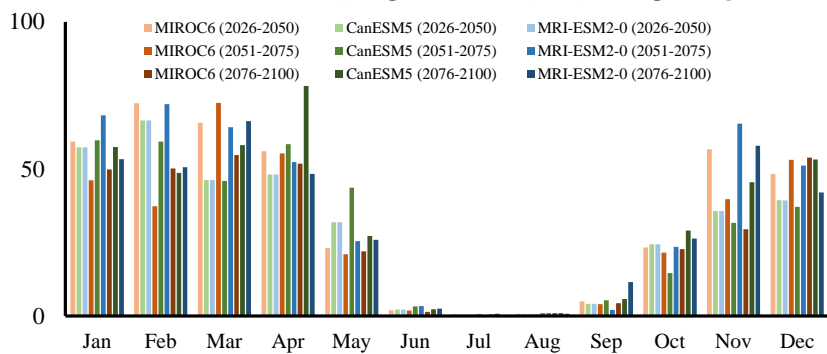


(ج)



شکل ۴. مقایسه داده‌های ماهانه بارندگی تصحیح شده به روش دلتا

ابتدا میانگین بارندگی ماهانه برای مدل‌ها بعد از تصحیح اریبی برای سه بازه (۲۰۲۶-۲۰۵۰) و (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و (۲۱۰۰-۲۰۷۶) در شکل (۵) مورد بررسی قرار گرفت. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در تمامی سناریوها و دوره‌های مورد بررسی مقادیر بارش دارای روند کاهشی است. کمینه بارش بعد از تصحیح اریبی در تمامی دوره‌ها و سناریوها مربوط به ماه‌های (June- July- August- September) و بی‌بارش در ماه‌های (April-March-November) در هر سه بازه تاریخی آینده نزدیک، میانه و دور است. با توجه به نمودارهای رسم شده میانگین بارندگی در سناریو SSP126 در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) پیش‌نگری مدل MIROC6 از دو مدل دیگر مقادیر عددی بیشتر، در آینده میانه (۲۰۷۵-۲۰۵۱) پیش‌نگری مدل MIROC6 از دو مدل دیگر کمتر و در آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) برای ماه آوریل مدل CanESM5 بیشینه مقدار میانگین بارندگی پیش‌بینی شده است. میانگین بارندگی ماهانه در سناریو SSP245 در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) ماه نوامبر مدل MRI-ESM2-0 بیشینه مقدار بارندگی را دارد و بقیه مقدارها شبیه به هم هستند، در آینده میانه (۲۰۷۵-۲۰۵۱) پیش‌نگری مدل‌ها تقریباً همگی شبیه هستند و در آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) پیش‌نگری برای ماه مارس مدل MIROC6 و برای ماه آوریل مدل CanESM5 و برای ماه نوامبر مدل MRI-ESM2-0 بیشینه میانگین بارندگی پیش‌بینی شده است. میانگین بارندگی ماهانه در سناریو SSP585 در آینده نزدیک (۲۰۲۶-۲۰۵۰) پیش‌نگری مدل MRI-ESM2-0 بیش‌تر از دو مدل دیگر، بیشترین مقدار میانگین بارندگی ماهانه در آینده میانه (۲۰۵۱-۲۰۷۵) برای ماه نوامبر مدل CanESM5 و در آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۶) برای ماه نوامبر مدل MRI-ESM2-0 و به‌طور تقریبی پیش‌بینی مدل CanESM5 پیش‌بینی شده است.



شکل ۵. میانگین بارندگی های ماهانه هر سه سناریو و مدل

در هر سه سناریو مقادیر بیشینه و کمینه مدل‌های CanESM5, MRI-ESM2-0 MIROC6 در جدول (۴) ارائه شده‌اند. میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه مورد مطالعه در بازه ۲۰۲۶-۲۱۰۰ مدل MIROC6 در هر سه سناریو SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5 بعد از تصحیح اریبی در بازه ۰.۳۹-۷۵.۱ قرار دارد و میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه مورد مطالعه در بازه ۲۰۲۶-۲۱۰۰ مدل CanESM5 در هر سه سناریو SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5 بعد از تصحیح اریبی در بازه ۷۸/۲۴ - ۰/۲۵ قرار دارد. همچنین میانگین بارندگی ماهانه ایستگاه مورد مطالعه در بازه ۲۰۲۶-۲۱۰۰ مدل MRI-ESM2-0 در هر سه سناریو SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5 بعد از تصحیح اریبی در بازه ۸۲/۹۲ - ۰/۰۹ قرار دارد. مقادیر بیشینه و کمینه میانگین بارندگی ماهانه در مدل MIROC6 در هر سه سناریو بعد از تصحیح اریبی بیشترین شباهت را در مدل‌های بررسی دارند.

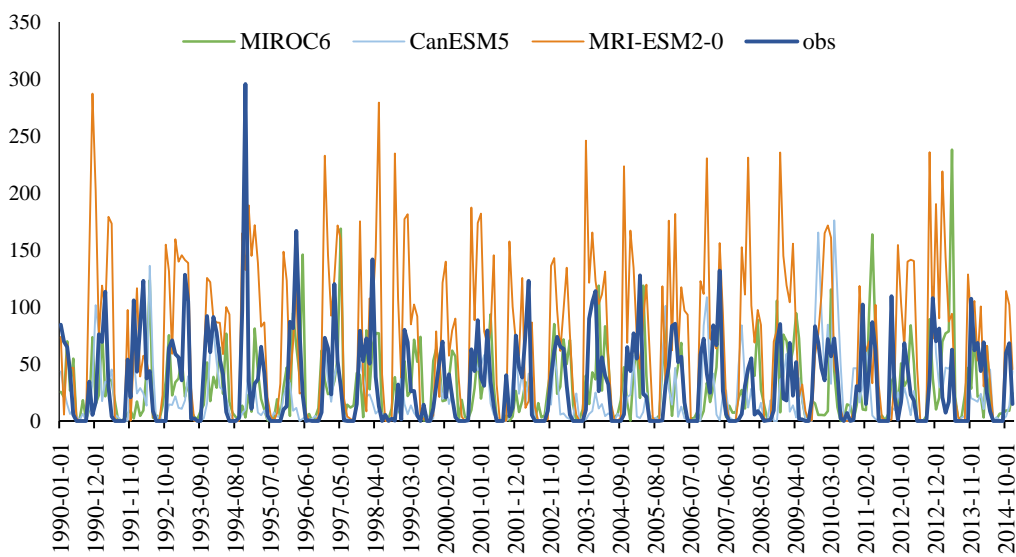
جدول ۴. مقادیر میانگین بارش ماهانه ایستگاه مورد مطالعه

SCENARIO	ssp1-2.6			SSP2-4.5			SSP5-8.5		
	MIROC6	CanESM5	MRI-ESM2-0	MIROC6	CanESM5	MRI-ESM2-0	MIROC6	CanESM5	MRI-ESM2-0
MAX	72.52	78.24	72.06	75.1	68.03	82.92	75.1	71.05	74.47
MIN	0.44	0.6	0.15	0.39	0.4	0.11	0.39	0.25	0.09

شکل (۶) نمودار بررسی داده‌های مشاهداتی و داده‌های دوره تاریخی نمایانگر دقت بالای مدل‌های CanESM5, MIROC6 برای پیش‌نگری بارندگی ماهانه هستند. مدل MRI-ESM2-0 با داده‌های مشاهداتی (OBS) بیشترین اختلاف را برای منطقه مورد مطالعه دارد پس این مدل دارای کمترین دقت برای پیش‌نگری بارندگی ماهانه هست. همچنین داده‌های تصحیح‌شده برای آینده برای هر سه سناریو و هر سه مدل در نمودار مربوط به پیش‌نگری بارندگی ماهانه برای این منطقه در شکل (۶) رسم شده است.

برای استفاده از بهترین مدل برای پیش‌نگری بارندگی ماهانه ابتدا رتبه‌بندی مدل‌های مقادیر شاخص‌های صحت سنجی بعد از تصحیح اریبی برای ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش در جدول (۵) محاسبه گردیده است. هر یک از شاخص‌های RMSE و NASH برای هر سه مدل MIROC6, CanESM5, MRI-ESM2-0 و سناریوهای SSP126, SSP245, SSP585 اندازه‌گیری شده است. مقادیر به دست آمده مربوط به شاخص‌های درستی سنجی به صورت نمودار در شکل (۷) مقایسه گردیده‌اند که نتایج ارزیابی مدل‌ها عملکرد قابل قبولی را برای ایستگاه مورد مطالعه دارا است. کمترین مقدار شاخص RMSE مربوط به دوره (۲۰۲۶-۲۰۵۰) داده‌های بارندگی ماهانه برای مدل MIROC6 و بیشترین مقدار شاخص مربوط به مدل CanESM5 است. کمترین مقدار شاخص RMSE مربوط به دوره (۲۰۵۱-۲۰۷۵) داده‌های بارندگی

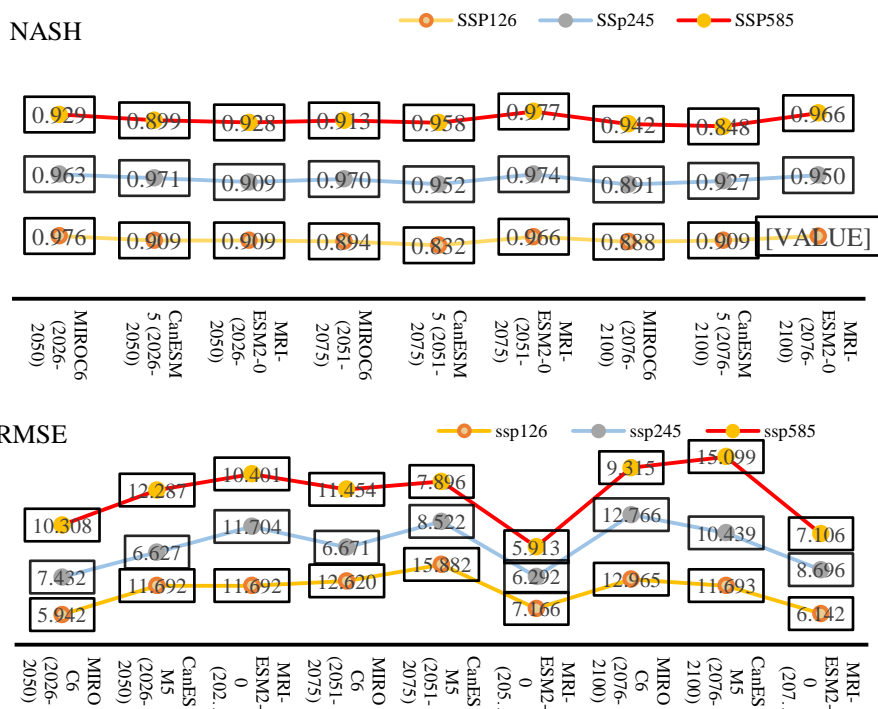
ماهانه برای مدل MRI-ESM2-0 و بیشترین مقدار شاخص مربوط به مدل CanESM5 است. کمترین مقدار شاخص RMSE مربوط به دوره (۲۰۷۶-۲۱۰۰) داده‌های بارندگی ماهانه برای مدل MRI-ESM2-0 و بیشترین مقدار شاخص مربوط به مدل CanESM5 است. کمترین مقدار ضریب نش (NSH) مربوط به دوره (۲۰۲۶-۲۰۵۰) داده‌های بارندگی ماهانه برای مدل CanESM5 و بیشترین مقدار شاخص مربوط به مدل MIROC6 است. کمترین مقدار ضریب نش (NSH) مربوط به دوره (۲۰۵۱-۲۰۷۵) داده‌های بارندگی ماهانه برای مدل CanESM5 و بیشترین مقدار شاخص مربوط به مدل MRI-ESM2-0 است. کمترین مقدار ضریب نش (NSH) مربوط به دوره (۲۰۷۶-۲۱۰۰) داده‌های بارندگی ماهانه برای مدل CanESM5 و بیشترین مقدار شاخص مربوط به مدل MRI-ESM2-0 است.



شکل ۶. نمودار بررسی داده‌های مشاهداتی و داده‌های دوره تاریخی

جدول ۵. مقادیر سنج‌های درست سنجی

RMSE	MIROC6 (2026- 2050)	CanESM5 (2026- 2050)	MRI- ESM2-0 (2026- 2050)	MIROC6 (2051- 2075)	CanESM5 (2051- 2075)	MRI- ESM2- 0 (2051- 2075)	MIROC6 (2076- 2100)	CanESM5 (2076- 2100)	MRI- ESM2- 0 (2076- 2100)
ssp126	5.94	11.69	11.69	12.61	15.88	7.16	12.96	11.69	6.14
ssp245	7.43	6.62	11.70	6.67	8.52	6.29	12.76	10.43	8.69
ssp585	10.30	12.28	10.40	11.45	7.89	5.91	9.31	15.09	7.10
NASH	MIROC6 (2026- 2050)	CanESM5 (2026- 2050)	MRI- ESM2-0 (2026- 2050)	MIROC6 (2051- 2075)	CanESM5 (2051- 2075)	MRI- ESM2- 0 (2051- 2075)	MIROC6 (2076- 2100)	CanESM5 (2076- 2100)	MRI- ESM2- 0 (2076- 2100)
ssp126	0.97	0.90	0.90	0.89	0.83	0.96	0.88	0.90	0.97
ssp245	0.96	0.97	0.90	0.97	0.95	0.97	0.89	0.92	0.94
ssp585	0.92	0.89	0.92	0.91	0.95	0.97	0.94	0.84	0.96



شکل ۷. مقایسه شاخص‌های درست سنجی برای هر سه مدل

بحث

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مسائل اقلیمی و زیست‌محیطی است که در سال‌های اخیر با توجه مطرح‌شدن گرمایش جهانی و بحران در منابع آبی و تغییر اکوسیستم‌ها و همچنین مشکلات اجتماعی و اقتصادی ناشی از این تغییرات، توجه بسیاری از محافل جهانی را به خود جلب کرده است. در این پژوهش از جدیدترین سناریوهای انتشار که در گزارش ششم IPCC تدوین شده و مطابقت بیشتری با شرایط اقلیمی زمین دارد و شامل سناریوهای اجتماعی-اقتصادی است، استفاده گردیده است. خروجی‌های مدل‌های گزارش ششم تغییر اقلیم از نظر زمانی و مکانی بسیار بزرگ مقیاس هستند و در مقایسه با فرآیندهای اقلیمی و هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی مدل‌های MRI-ESM2-0, MIROC6, CanESM5 تحت سه سناریو SSP126, SSP245, SSP585 دارای عدم قطعیت می‌باشند. از روش تغییر عامل دلتا، دوره مورد مطالعه سه دوره آینده (۲۰۲۶-۲۰۵۰) و (۲۰۷۵-۲۰۵۱) و (۲۱۰۰-۲۰۷۶) در مقایسه با داده‌های تاریخی دوره (۱۹۹۰-۲۰۱۴) با داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه پرداخته شده است. برای ریزمقیاس‌سازی مدل‌ها از روش تصحیح اریبی و روش تغییر عامل دلتا استفاده شد.

نتیجه‌گیری

نتایج بارندگی ماهانه بعد از تصحیح اریبی حاکی از آن است که کمترین میزان میانگین بارندگی ماهانه در بازه (۲۰۲۶-۲۱۰۰) به ترتیب مربوط به ماه‌های (JUNE, JULY, AUGUST, SEPTEMBER) است و بیشترین میزان بارش به ترتیب در ماه‌های (APRIL-MARCH-NOVEMBER) در هر سه بازه تاریخی آینده نزدیک، میانه، دور است. نتایج واسنجی مدل‌های تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه برای پارامتر اقلیمی بارش نشان داد مقدار متوسط ضریب نش برای مدل‌های MRI-ESM2-0, MIROC6, CanESM5 به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۹۳، ۰/۹۵ است که حاکی از کارایی روش تغییر عامل دلتا در ریزمقیاس‌کردن پارامترهای اقلیمی است. بیشترین تغییرات میزان بارندگی ماهانه بعد از تصحیح اریبی در دوره آتی اول (۲۰۲۶-۲۰۵۰) را در سناریوهای مدل MRI-ESM2-0 دارد و دو مدل MIROC6, CanESM5 در روند تغییرات میزان پیش‌بینی شده بارندگی شبیه به یکدیگر هستند. در دوره آتی دوم (۲۰۵۱-۲۰۷۵) روند تغییرات بارندگی ماهانه برای هر سه سناریو شباهتی بیشتری به هم دارد ولی در مدل‌های MIROC6, CanESM5 سناریو SSP126 نسبت به سناریوهای SSP245, SSP585 مدل MRI-ESM2-0 افزایش‌های بیشتری در این دوره تاریخی برای بارندگی را پیش‌بینی کرده‌اند. با توجه به نتایج ارزیابی‌ها مشخص می‌گردد که مدل‌های MRI-ESM2-0, MIROC6, CanESM5 پس از تصحیح اریبی با توجه به مقادیر شاخص‌های صحت‌سنجی برای هر سه سناریو و مدل، در منطقه مورد مطالعه قابل استفاده هستند؛ اما اختلافاتی در دقت مدل‌ها برای بررسی پارامترهای مختلف تغییر اقلیم و مناطق مختلف اقلیمی وجود دارد مثلاً بیشترین دقت برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه مربوط به داده‌های مدل MIROC6 و کمترین دقت MRI-ESM2-0 است. دقت مدل MRI-ESM2-0 برای پیش‌بینی بارندگی ماهانه در این منطقه مورد مطالعه دارای دقت کمتری هست اما دقت این مدل برای پارامترهای دیگر تغییر اقلیم و مناطق دیگر مطالعاتی ممکن است نتایج دیگری را نشان دهد. نتایج مقایسه داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل‌های سناریو تاریخی مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه برای پیش‌نگری آینده بارندگی ماهانه نشان می‌دهد بهترین مدل برای منطقه مورد مطالعه MIROC6, CanESM5 است.

در اکثر مطالعات قبلی نظیر مطالعات کلاکی و همکاران (۱۴۰۰) نیز نتایج نشان داد که سناریوهای گزارش ششم نسبت به گزارش پنجم دقت بیشتر و برای پیش‌بینی آینده اقلیم قابل استنادتر است و برای رفع عدم قطعیت‌های مدل‌های گزارش ششم روش تصحیح اریبی خطای

پیش‌بینی مدل‌ها را کاهش داده و اندازه‌گیری این خطا برای تعیین دقت مدل‌ها با شاخص‌های صحت‌سنجی انجام گرفته است. تحقیق حاضر تحقیقات پیشین مبنی بر پایین بودن دقت خروجی‌های مدل‌های GCM و لزوم مقیاس کاهی و تصحیح اریبی مدل‌ها را مورد تأیید قرار می‌دهد. همچنین نتایج مطالعات کلاکی و همکاران (۱۴۰۰) در برآورد بارندگی حوضه آبریز طشک- بختگان نشان دادند که وضعیت متغیر اقلیمی بارش در شرایط تغییر اقلیم، کاهش بارش (۰/۰۵-۱۱/۱۵ درصد) را در اغلب مدل‌ها و سناریوها را به همراه دارد که مؤید نتایج مطالعات حاضر است.

منابع

- اسکندری دامنه، حامد، زهتابیان، غلامرضا، خسروی، حسن، آذرینوند، حسین، و براتی، علی اکبر. (۱۳۹۹). شبیه‌سازی و پیش‌بینی مولفه‌های اقلیمی دما و بارش در مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت میناب). فصلنامه جغرافیا، ۱۸(۶۶)، ۱۱۰-۱۲۷.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.27172996.1399.18.3.7.6>
- اعتدالی، هادی، خدابخشی، فریبا، و کنعانی، الهه. (۱۴۰۱). چشم‌انداز اثرات تغییر اقلیم بر خشک‌سالی بر اساس گزارش پنجم IPCC مطالعه موردی شهر ایلام). نشریه حفاظت منابع آب‌و خاک، ۴(۱۲)، ۱۰۷-۱۸۷.
[https://sanad.iau.ir/Journal/wsrcj/Article/829301.87-107.12\(4\)](https://sanad.iau.ir/Journal/wsrcj/Article/829301.87-107.12(4))
- جهانگیر، محمدحسین، و روزبهانی، فاطمه. (۱۴۰۱). تخمین بلندمدت تغییرات عوامل اقلیمی ایستگاهی تحت مدل CanESM2 (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک بروجرد). مجله مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۲(۴)، ۳۷-۵۲.
<https://doi.org/10.22098/mmws.2022.10479.1085>
- ذرین، آذر، و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های سنگین ایران با به‌کارگیری مدل همادی CMIP6. نشریه آب و توسعه پایدار، ۸(۴)، ۱۱۹-۱۲۴.
[https://dorl.net/dor/20.1001.1.24235474.1400.8.4.14.9.119-124.8\(4\)](https://dorl.net/dor/20.1001.1.24235474.1400.8.4.14.9.119-124.8(4))
- روان، وحیده، و ناظم السادات، سیدمحمدجعفر. (۱۳۹۰). پیش‌بینی نوسان‌های دما و بارش در پهنه مرکزی استان فارس برای دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با کاربرد شبیه ECHAM5. مهندسی منابع آب، ۴(۱۰)، ۶۲-۵۱.
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20086377.1390.4.10.5.5>
- روشنی، ادیب، و حمیدی، مهدی. (۱۴۰۰). پیش‌بینی اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه ساری). مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۴)، ۷۹۵-۷۸۱.
[https://doi.org/10.22059/jwim.2022.330603.920.781-795.4\(4\)](https://doi.org/10.22059/jwim.2022.330603.920.781-795.4(4))
- زارعیان، محمدجواد، دهبان، حسین، و گوهری، سید علیرضا. (۱۴۰۱). ارزیابی دقت مدل‌های CMIP6 در برآورد دما و بارش ایران بر اساس تحلیل شبکه‌ای. مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۴)، ۷۹۸-۷۸۳.
[https://doi.org/10.22059/jwim.2022.345975.1006.783-798.4\(4\)](https://doi.org/10.22059/jwim.2022.345975.1006.783-798.4(4))
- سالاری، صدیقه، مقدسی، مه‌نوش، و محمدی، قلعه نی مهدی. (۱۳۹۹). پیش‌بینی نوسانات تراز سطح آب زیرزمینی در اثر تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان و درخت تصمیم (مطالعه موردی: دشت گلپایگان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اراک، ایران.
- عبدالعلی زاده، فیروز، محمد خورشیددوست، علی، و جهانبخش اصل، سعید. (۱۴۰۱). ارزیابی دقت مدل‌های CMIP6 برای شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۳(۱۱)، ۱۷-۳۰.
<https://doi.org/10.30488/ccr.2022.361233.1093>

کلاکی، محمد فلاح، شگری کوچک، وحید، و رضانی اعتدالی، هادی. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های اقلیمی CMIP5 و CMIP6 بر رواناب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT مطالعه موردی. حوضه آبریز طشک-بختگان. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۷(۳)، ۳۴۵-۳۵۹. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1400.17.3.20.5>

لطفی، محمد، کمالی، غلامعلی، مشکوتی، امیرحسین، و ورشویان، وحید. (۱۴۰۰). پیشنگری دماهای بیشینه با استفاده از مدل‌های جهانی اقلیم تحت سناریوهای RCP و ریزمقیاس گردانی مدل‌های LARS-WG و SDSM در غرب کشور. فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۴(۵۱)، ۱۳۰-۱۱۵. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1400.14.51.7.4.115-130>

محمدی نریمان. (۱۳۸۱). مطالعات جامع توسعه اقتصادی-اجتماعی و فرهنگی استان کرمانشاه. نشر سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه. <https://www.lib.ir/book/64901305>

میان‌آبادی، آمنه، باطنی، محمدمهدی، و محمدی، صدیقه. (۱۴۰۲). پیش‌نمایی تغییرات توزیع بارش و دما با استفاده از شبیه‌سازی اصلاح اریبی شده مدل‌های اقلیمی گزارش ششم (مطالعه موردی: ایستگاه همدیدی کرمان). نشریه پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی، ۱۴، ۸۴-۶۵. <https://doi.org/10.30488/ccr.2023.399780.1139>

References

- Abdolalizadeh, F., Mohammad Khorshiddoust, A., & Jahanbakhsh, S. (2022). Assessment of the performance of CMIP6 model for analysis of temperature and precipitation in Urmia Lake basin. *Climate Change Research*, 3(11), 17-30. <https://doi.org/10.30488/ccr.2022.361233.1093> [In Persian]
- Ahmed, K.F., Wang, G., Silander, J., Wilson, A.M. (2013). Statistical downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the U.S. northeast. *Glob Planet Change*, 100, 320-332. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.11.003>
- Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M. C., Frame, D., Mahowald, N., & Winther, J. G. (2013). Introduction, In: *Climate Change; The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_Chapter01_FINAL.pdf
- Eskandari Damane, H., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivand, H., & Barati, A. A. (2020). Simulation and forecasting of climatic components of temperature and precipitation in arid regions (Case study: Minab plain). *Geography*, 18(66), 110-128. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.27172996.1399.18.3.7.6> [In Persian]
- Fallah Kalaki, M., Shokri Kuchak, V., & Ramezani Etedali, H. (2021). Simulating the Effects of Climate Change on Runoff Using the CMIP5 and CMIP6 Climate Models by SWAT Hydrological Model (Case Study: Tashk-Bakhtegan Basin). *Iran-Water Resources Research*, 17(3), 345-359. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.17352347.1400.17.3.20.5> [In Persian]
- Gidden, M., Riahi, K., Smith, S., Fujimori, S., Luderer, G., Kriegler, E., & Calvin, K. (2019). Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geoscientific Model Development Discussions*, 12, 1443-1475. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1443-2019>
- Gleick, P. H. (1989). Climate change, hydrology, and water resources. *Reviews of Geophysics*, 27(3), 329. <https://doi.org/10.1029/RG027i003p00329>.

- Ho, C. K., Stephenson, D. B., Collins, M., Ferro, C. A., & Brown, S. J. (2012). Calibration strategies: a source of additional uncertainty in climate change projections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(1), 21. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3110.1>
- IPCC. (2022). Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- IPCC. (2021). Climate change 2021 the physical science basis, AR6, Summary for policymakers. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jahangir, M. H., & Rouzbahani, F. (2022). Long-term estimation of changes in station climate parameters under the CanESM2 model (Case study: Boroujerd synoptic station). *Water and Soil Management and Modelling*, 2(4), 37-52. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.10479.1085> [In Persian]
- Kriegler, E., Luderer, G., Bauer, N., Baumstark, L., Fujimori, S., Popp, A., Rogelj, J., Strefler, J., Vuuren, D.P. (2018). Pathways limiting warming to 1.5°C: a tale of turning around in no time. *Phil. Trans. R. Soc, A* 376, 20160457. <https://dx.doi.org/10.1098/rsta.2016.0457>
- Lotfi, M., Kamali, Gh.A., Meshkoti, A.H., & Varshavian, V. (2021). Forecasting maximum temperatures using global climate models under RCP scenarios and micro-scale rotation of LARS-WG and SDSM models in the west of the country. *Natural Geography Quarterly*, 14(51), 115-130. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085656.1400.14.51.7.4> [In Persian]
- Meadarani, H., Khodabakhshi, F., & Kanani, E. (2022). The perspective of the effects of climate change on drought based on the fifth IPCC report (case study: Ilam city). *Journal of water and soil resources protection*, (4) 12, 87-107. <https://sanad.iau.ir/Journal/wsrcj/Article/829301> [In Persian]
- Mianabadi, A., Bateni, M. M., & Mohammadi, S. (2023). Projection of Change in the Distribution of Precipitation and Temperature Using Bias-Corrected Simulations of CMIP6 Climate Models (Case Study: Kerman Synoptic Station). *Climate Change Research*, 4(14), 65-84. <https://doi.org/10.30488/ccr.2023.399780.1139> [In Persian]
- Mohammadi, N. (2002). Comprehensive studies of economic, social and cultural development of Kermanshah province. Management and planning organization of Kermanshah province Publisher. <https://www.lib.ir/book/64901305> [In Persian]
- Niazkar, M., Goodarzi, M. R., Fatehifar, A., & Abedi, M. J. (2023). Machine learning-based downscaling: application of multi-gene genetic programming for downscaling daily temperature at Dogonbadan, Iran, under CMIP6 scenarios. *Theor Appl Climatol*, 151(1-2), 153-168. <https://doi.org/10.1007/S00704-022-04274-3/METRICS>
- O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Vuuren, D. P. V., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., & Meehl, G. A., (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9 (9), 3461-3482. <https://doi.org/10.5194/GMD-9-3461-2016>
- Pedersen, J. T. S., van Vuuren, D., Gupta, J., Santos, F. D., Edmonds, J., & Swart, R. (2022). IPCC emission scenarios: How did critiques affect their quality and relevance 1990-2022, *Global Environmental Change*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102538>

- Roshani, A., & Hamidi, M. (2022). Forecasting the effects of climate change scenarios on temperature & precipitation based on CMIP6 models (Case study: Sari station). *Water and Irrigation Management*, 11(4), 781-795. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.330603.920> [In Persian]
- Sachindra, D. A., Ahmed, K., Rashid, Md. M., Shahid, S., & Perera, B. J. C. (2018). Statistical downscaling of precipitation using machine learning techniques. *Atmos Res*, 212, 240-258. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.022>
- Salari, S., Moghdisi, M., & Mohammadi Qale Ni, M. (2019). Prediction of fluctuations in underground water level due to climate change using support vector regression and decision tree models (case study: Golpayegan Plain). Master thesis, Arak University, Iran. [In Persian]
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Wang, L., Ranasinghe, R., Maskey, S., Van Gelder, P., & Vrijling, J. (2015). Comparison of empirical statistical methods for downscaling daily climate projections from CMIP5 GCMs: a case study of the Huai River Basin, China. *International journal of climatology*, 36(1), 145-164. <https://doi.org/10.1002/joc.4334>
- Wilby, R. L., & Wigle, T. M. L. (1997). Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 21(4), 530-548. <https://doi.org/10.1177/030913339702100403>
- Zareian, M. J., Dehban, H., & Gohari, A. (2023). Evaluation of the Accuracy of CMIP6 Models in Estimating the Temperature and Precipitation of Iran Based on a Network Analysis. *Water and Irrigation Management*, 12(4), 783-797. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.345975.1006> [In Persian]
- Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Technical Note: Assessing the Effect of Climate Change on Heavy Precipitation in Iran Based on a CMIP6 Ensemble Model. *Journal of Water and Sustainable Development*, 8(4), 119-124. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.24235474.1400.8.4.14.9> [In Persian]
- Zhang, X., Hua, L., & Jiang, D. (2022). Assessment of CMIP6 model performance for temperature and precipitation in Xinjiang, China. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 15(2), 100128. <https://doi.org/10.1016/J.AOSL.2021.100128>