Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Evaluation and comparison of CMIP5 and CMIP6 models in estimating precipitation in Iran

Nima Nemati Shishehgaran[1], Fariba Babaeian [2], Hojjat Mianabadi*[3]

1. Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: Nima.Nemati@modares.ac.ir
2. Former Ph.D. Student, Department of Water Recourses Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: Fariba_babaeian@modares.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: hmianabadi@modares.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 01 February 2025
Revised: 16 February 2025
Accepted: 24 February 2025
Published online: 13 June 2025

Keywords: Climate Models, Quantile Mapping, Relative Bias, Spatial and Temporal Precipitation Patterns, Taylor Diagram

ABSTRACT

Climate models are primary tools for projecting precipitation changes and assessing the impacts of climate change in various fields. This study aims to evaluate the simulation performance of the CMIP6 and CMIP5 models and to detail the efficacy of each climate model in estimating precipitation patterns in Iran. Accordingly, the precipitation simulation performance of 30 climate models from CMIP6 and CMIP5, as well as their multi-model ensemble for Iran, was evaluated against observational data. After bias correction of the simulated precipitation values using the quantile mapping method, the performance of each General Circulation Model (GCM) will be assessed using the Taylor skill score (TSS) and Taylor diagram, which includes correlation, standard deviation, root mean square deviation. In the following, the spatial and temporal patterns of simulated precipitation in Iran by the CMIP6 and CMIP5 models were compared using the relative bias criterion. The findings from the Taylor diagram and the TSS metric reveal that while most CMIP5 models display a standard deviation closer to observational data than CMIP6 models, overall, the majority of CMIP6 models exhibit superior performance in simulating precipitation in Iran. In terms of spatial and temporal variations, there exist relative bias between the observed and simulated precipitation values by the CMIP5 and CMIP6 models, with the CMIP6-MME exhibiting a lower relative bias compared to the CMIP5-MME. By evaluating simulated precipitation changes, it can be inferred that, alongside CMIP5-MME and CMIP6-MME, models such as BCC-CSM1-1-m, CMCC-CM, MPI-ESM-LR, and MPI-ESM-MR from CMIP5, as well as BCC-CSM2-MR, MPI-ESM1-2-HR, and MPI-ESM1-2-MR from CMIP6, exhibit superior capabilities in simulating precipitation in Iran compared to other models.

Citation: Nemati Shishehgaran, N., Babaeian, F., & Mianabadi, H. (2025). Evaluation and comparison of CMIP5 and CMIP6 models in estimating precipitation in Iran. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(1), 85-102.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)

***Corresponding author:** Hojjat Mianabadi

Address: Department of Water Resources Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Tel: +982148292473
Email: hmianabadi@modares.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Evaluation and comparison of CMIP5 and CMIP6 models in estimating precipitation in Iran

Nima Nemati Shishehgaran[1], Fariba Babaeian [2], Hojjat Mianabadi*[3]

1. Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: Nima.Nemati@modares.ac.ir
2. Former Ph.D. Student, Department of Water Recourses Engineering, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: Fariba_babaeian@modares.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: hmianabadi@modares.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Climate change has become a significant issue in recent decades, impacting the hydrological cycle and causing notable hydrological effects globally. This phenomenon has altered climate variables across different temporal and spatial scales. Climate models often face high levels of uncertainty due to the lack of a precise depiction of Earth's physical processes and their responses to climate change. Using multiple General Circulation Models (GCMs) helps reduce these uncertainties. CMIP models have evolved from CMIP1 to CMIP6, with the new generations (CMIP5 and CMIP6) addressing more scientific issues and accurately representing Earth's physical processes. CMIP6 models, featuring enhanced climate scenarios and updates, show improved performance over previous versions. Numerous studies have compared the capabilities of CMIP5 and CMIP6 models in simulating climate variables. While CMIP6 models have shown improvements, considerable performance disparities still exist in certain regions and periods. In some cases, CMIP6 outperforms CMIP5, while in others, the differences are negligible. Iran, located in the arid belt of the Earth, is highly vulnerable to climate change impacts. Many studies have examined these effects on Iran using GCM outputs, focusing on variables such as temperature, precipitation, runoff, groundwater levels, drought, flooding, and crop yield. In the absence of dedicated GCMs, Iranian researchers rely on models from other countries. Therefore, evaluating the efficiency of CMIP5 and CMIP6 models is essential to reduce uncertainties in climate variable estimation. This study aims to assess the efficiency of CMIP5 and CMIP6 models in estimating precipitation to provide accurate evaluation and valuable information for effective policymaking and water resource management in Iran.

Materials and Methods: In this research, to assess precipitation changes in Iran, we utilized outputs from 15 general circulation models (GCMs) presented in both the Sixth and Fifth Assessment Reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Monthly outputs for the baseline period (1976-2005) were extracted from the MetaGrid database under consistent conditions, and the simulated precipitation values were downscaled for each station. Given the systematic bias in GCM outputs (such as maximum temperature, minimum temperature, and precipitation), it was necessary to apply a bias correction method to obtain reliable estimates at regional and local scales for climate change impact assessments. Therefore, a method called quantile mapping was employed to achieve this goal. After correcting the simulated values by climate models, we evaluated both individual climate models and multi-model ensembles (CMIP6-MME and CMIP5-MME) made by weighted averaging method. The performance of each GCM was assessed through the Taylor diagram (including correlation, standard deviation, and root mean square error deviation) and Taylor skill score. The spatial and temporal patterns of simulated precipitation in Iran were compared between the CMIP6 and CMIP5 models using the relative bias criterion. Lastly, temporal changes in simulated precipitation were presented as monthly averages by CMIP6-MME for the projection periods 2026-2050 and 2075-2099 under two scenarios, SSP1.26 and SSP5.85.

Results and Discussion: The evaluation results and comparison of GCMs' rainfall simulation performance in the baseline period indicate that most CMIP6 models have better rainfall simulation performance compared to CMIP5 models in Iran, and a few CMIP5 models have more capability in simulating rainfall climate variables than their

***Corresponding author:** Hojjat Mianabadi

Address: Department of Water Resources Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
Tel: +982148292473
Email: hmianabadi@modares.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

CMIP6 counterparts. Spatial evaluations of the CMIP5 Multi-Model Ensemble (MME) and CMIP6-MME indicate that the latest generation of climate models performs better at simulating precipitation relative to observed values, and it shows less variability in the precipitation pattern. Temporal analysis of simulated rainfall shows that along with CMIP5-MME and CMIP6-MME, individual models such as BCC-CSM1-1-m, CMCC-CM, MPI-ESM-LR, and MPI-ESM-MR from CMIP5, and BCC-CSM2-MR, MPI-ESM1-2-HR, and MPI-ESM1-2-MR from CMIP6, possess a higher aptitude for accurately simulating precipitation in Iran. Furthermore, the ensemble evaluation results of CMIP5 and CMIP6 models suggest that CMIP6-MME provides more accurate estimates of precipitation during the baseline period in Iran. It is worth noting that the analyzed GCMs have larger precipitation biases when simulating the areas and seasons with less precipitation in the Iran, while the biases are smaller in the areas and seasons with more precipitation. Beyond the aforementioned points, the evaluation results of the selected models in this study reveal that all of the individual CMIP6 models do not conclusively surpass their CMIP5 counterparts in simulating precipitation, and each possesses unique advantages. In this study, most CMIP5 models exhibit a closer standard deviation to observational data compared to CMIP6 models, but they have a lower correlation than the CMIP6 models.

Conclusion: In studies assessing uncertainties in climate projections that affect the prediction of hydrological changes and future water resource conditions, a significant portion of these uncertainties arises from the selection and application of climate models. It is crucial to recognize that this issue persists even with the current generation of climate models. As mentioned above, GCMs exhibit larger biases when simulating precipitation in Iran's arid regions and dry seasons, whereas the biases are smaller in the regions and seasons with higher precipitation. Not all individual CMIP6 models conclusively outperform their CMIP5 counterparts in simulating precipitation, each model exhibits unique advantages. Furthermore, the simulations of Iran's precipitation for the future periods 2026-2050 and 2076-2090 under the SSP1.26 and SSP5.85 scenarios using CMIP6 models due to their better performance in comparison with CMIP5 models, which show a decrease in precipitation during December, January, February, and March, followed by a sudden increase in simulated rainfall in April and May compared to observed amounts, it can be argued that systematic biases in CMIP6 models' precipitation simulations for Iran persist. These biases can vary depending on the downscaling method or the correction applied to the evaluated climate variable. Overall, this study found that CMIP6 models generally perform better than CMIP5 models in simulating precipitation in Iran, and that multi-model ensembles of GCMs outperform individual models.

Ethical Considerations

Data availability statement: All information and results are presented in the text of the article.

Funding: This research was independently conducted and did not receive any financial support from any organization or agency.

Authors' contribution: Nima Nemati Shishehgaran: Conducting all modeling stages and writing the article; Fariba Babaeian and Hojjat Mianabadi: Consultation and guidance.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: The authors extend their sincere gratitude to the Iran Meteorological Organization (IRIMO) for granting access to the station data utilized in this study.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

ارزیابی و مقایسه مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در برآورد بارش ایران

نیما نعمتی شیشه‌گران[۱]، فریبا بابائیان[۲]، حجت میان‌آبادی[۳*]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. Nima.Nemati@modares.ac.ir
۲. دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، Fariba_babaeian@modares.ac.ir
۳. استادیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، hmianabadi@modares.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۳ بهمن ۱۴۰۳
بازنگری: ۲۸ بهمن ۱۴۰۳
پذیرش: ۰۶ اسفند ۱۴۰۳
انتشار برخط: ۲۳ خرداد ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
ار یب نســـبی، الگوی مـکانی و ز مانی بارش، دیاگرام تیلور، مدل های اقلیمی، نگاشت چندکی

چکیده

مدل‌های اقلیمی ابزارهای اولیه برای پیش‌نگری تغییرات بارش و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در زمینه‌های مختلف هستند. هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی قابلیت شبیه‌سازی مدل‌های CMIP6 و CMIP5 و ارائه توانمندی هر یک از مدل‌های اقلیمی مورد استفاده در برآورد بارش کشور ایران است. بر این اساس، عملکرد بارش شبیه‌سازی شده توسط ۳۰ مدل اقلیمی از CMIP6 و CMIP5 به همراه همادی چند مدل آن‌ها برای ایران با توجه به داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف از این پژوهش که مطالعه‌ای در راستای ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP5 و CMIP6 برای کل کشور ایران است، آنست که پس از اصلاح اریب مقادیر بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی به روش نگاشت چندکی، عملکرد هر یک از GCMها با استفاده از دیاگرام تیلور (شامل میزان همبستگی، انحراف معیار، انحراف جذر میانگین مربعات) و معیار TSS مورد ارزیابی قرار دهد. در ادامه، الگوی مکانی و زمانی بارش شبیه‌سازی شده در ایران توسط مدل‌های CMIP6 و CMIP5 با معیار اریب نسبی مقایسه شدند. نتایج حاصل از ارائه دیاگرام تیلور و معیار TSS نشان دادند که؛ هرچند عمده مدل‌های CMIP5 انحراف معیار نزدیک‌تری به داده مشاهداتی نسبت به مدل‌های CMIP6 دارند اما، به صورت کلی عمده مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 از عملکرد بهتری برای شبیه‌سازی بارش ایران برخوردارند. از نظر ویژگی‌های تغییرات مکانی و زمانی، بین مقادیر بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP5 و CMIP6 اریب نسبی وجود داشته و میزان اریب نسبی CMIP6-MME کم‌تر از CMIP6-MME است. با ارزیابی تغییرات بارش شبیه‌سازی شده می‌توان چنین استدلال کرد که؛ در کنار CMIP5-MME و CMIP6-MME مدل‌هایی همچون، BCC-CSM1-1-m، CMCC-CM، MPI-ESM-LR و MPI-ESM-MR از CMIP5 و مدل‌هایی از جمله BCC-CSM2-MR، MPI-ESM1-2-HR و MPI-ESM1-2-MR از CMIP6 نسبت به سایر مدل‌ها قابلیت بالایی برای شبیه‌سازی بارش ایران دارند.

استناد: نعمتی شیشه‌گران، نیما، بابائیان، فریبا و میان‌آبادی، حجت (۱۴۰۴). ارزیابی و مقایسه مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در برآورد بارش ایران. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۳(۱)، ۸۵-۱۰۲.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

مقدمه

در پی دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم به‌عنوان مسئله‌ای حائز اهمیت، فرآیند چرخه هیدرولوژیکی را به درجات مختلف تحت تاثیر قرار داده است. این امر باعث تغییرات زمانی و مکانی جهانی در متغیرهای اقلیمی شده است (Salehie et al., 2023). هم‌چنین بر فراوانی و شدت وقایع طبیعی از جمله خشکسالی (Khan et al., 2021; Salehie et al., 2022)، موج گرما (Khan et al., 2019) و سیل (Sammen et al., 2022) تأثیر می‌گذارد. نگاشت تغییرات محتمل در پارامترهای اقلیمی برای برنامه‌ریزی راهبردهای سازگاری و کاهش اثر گازهای گلخانه‌ای بسیار مهم است. مدل‌های گردش عمومی جو[1] به‌عنوان ابزاری جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی می‌توانند اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای بر سیستم اقلیمی را برآورد کرده و شرایط آتی را بر اساس اطلاعات دوره پایه به درستی پیش‌نگری کنند (Hartmann, 2016; Taylor et al., 2011). این مدل‌ها به طور گسترده برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی دوره تاریخی و طرح واکنش‌های آتی به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات کاربری زمین استفاده می‌شوند (Chen et al., 2014). مزیت اصلی GCMها توانایی آن‌ها در پیش‌نگری اقلیم آینده در واکنش به سناریوهای مختلف غلظت انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو است. این مدل‌ها به‌عنوان بخشی از پروژه مقایسه مدل جفت شده[2] به صورت عمومی در دسترس هستند.

فقدان ارائه تصویری دقیق و جامع از فرآیندهای فیزیکی زمین در راستای مواجهه با سیستم اقلیمی و تغییرات آن، منجر به سطح بالایی از عدم قطعیت در GCMها می‌شود. استفاده از مدل‌های متعدد اقلیمی تا حد امکان معمولاً ایده خوبی برای توضیح بسیاری از تغییرات احتمالی آینده است (Song et al., 2021; Weigel et al., 2010). مدل‌های CMIP در طول سال‌ها برای رفع این عدم قطعیت‌ها، از CMIP1 تا جدیدترین نسخه (CMIP6) به‌طور گسترده اصلاح شده‌اند. طبق ادبیات پیشین قابلیت عملکردی CMIP5 نسبت به CMIP3 در بسیاری از نقاط دنیا بهتر بوده که دلالت بر جامع‌تر بودن این نسل از GCMها نسبت به نسخه قبلی خود دارد (Eyring et al., 2016; Sun et al., 2015). این نسل از مدل‌ها (CMIP5) طیف وسیع‌تری از مسائل علمی را با استفاده از چندین RCP[3] پوشش می‌دهند. به جای شروع با سال ۲۰۰۵ برای سناریوهای آتی CMIP5، در نسخه اخیر منتشر شده از CMIP (CMIP6) ابتدای سال ۲۰۱۵ شروع سناریوهای آتی بوده که در آن سناریوهای انتشار، غلظت گازهای گلخانه‌ای و کاربری زمین به روز شده و به‌عنوان SSP[4] شناخته می شوند (O'Neill et al., 2016). مدل‌های CMIP6 همانند مدل‌های ارائه شده در CMIP5 فیزیک زمین را با دقت بیش‌تری نشان می‌دهند. با در نظر گرفتن بهبود سناریوهای اقلیمی در نسل‌های به‌روزشده CMIP نسبت به نسخه‌های قبلی، انتظار می‌رود سناریوهای SSP در CMIP6 نسبت به سناریوهای RCP از توانمندی شبیه‌سازی اقلیم آتی بالایی برخوردار باشند که چنین استدلالی نیازمند ارزیابی آماری دقیق هر یک از سناریوهای مدنظر است. با توجه به این که پیش‌نگری تغییرات آتی متغیرهای اقلیمی در ایران تأثیر مستقیمی بر توسعه اجتماعی و اقتصادی داشته و می‌بایست این پیش‌نگری‌ها از اعتبار مقبولی برخوردار باشند و هم‌چنین، با درک اثرپذیری جدی کشور ایران از مسأله تغییر اقلیم و اثرات آن بر امنیت آب و اقلیم در ایران، نیاز به بررسی میزان کارآمدی هر یک از مدل‌های ارائه شده در CMIP5 و CMIP6 در سطح وسیع بوده تا کم‌ترین میزان عدم قطعیت در برآورد متغیرهای اقلیمی محقق شود. شایان ذکر است، کشور ایران از جمله کشورهایی به شمار می رود که دچار فقدان GCM اختصاصی برای کشور بوده و به‌منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مولفه‌های هیدرولوژیکی در میان محققان از مدل‌های توسعه یافته به‌وسیله سایر کشورها استفاده می‌شود. لذا، انتخاب مدل و برآورد دقیق تغییرات متغیرهای اقلیمی آتی در راستای تقلیل عدم قطعیت‌های اقلیمی طی این مطالعه می‌تواند در ادبیات اقلیمی و هم‌چنین سیاست‌گذاری‌های آبی کشور ایران و و نیل به امنیت آبی و اقلیمی در این کشور و منطقه موثر باشد.

مطالعات متعددی به بررسی توانمندی هر یک از مدل‌های نسخه‌های CMIP5 و CMIP6 پرداخته‌اند (Chen et al., 2021; 2022; Lei et al., 2023; Wang et al., 2021). ادبیات گسترده‌ای به‌منظور ارزیابی چگونگی تاثیر تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی توسط GCMهای عنوان شده در CMIP5 ارائه شده است که برخی از این مطالعات بر مناطق یا زمان‌های خاصی از سال متمرکز هستند تا تغییرات منطقه‌ای یا فصلی در الگوهای هیدرولوژیکی را درک کنند (Rao et al., 2019). به‌عنوان مثال، Rao et al. (2019) نیز میزان عملکرد ۳۲ مدل اقلیمی ارائه شده در CMIP5 را با مجموعه داده‌های مشاهداتی از شاخص‌های بارش حدی مقایسه کردند که نتایج این مطالعه دلالت بر عملکرد مطلوب مدل‌های استفاده شده در ارائه توزیع مکانی متغیر اقلیمی دارد و هم‌چنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان دادند که مدل‌های مورد استفاده دامنه بارش در شمال چین را بیش از حد برآورد می‌کنند. از طرفی پژوهش‌های گسترده‌ای مبتنی بر CMIP6، پیشرفت‌های قابل توجهی را در مدل‌سازی جنبه‌های مختلف سیستم‌های اقلیمی برجسته کرده است (Gusain et al., 2020; Rivera and Arnould, 2020; Yang et al., 2021). به‌عنوان مثال، Rivera and Arnould, (2020) به‌منظور بررسی الگوهای درهم‌تنیده مکانی و زمانی مشاهده شده در بخش جنوب غربی آمریکای جنوبی، قابلیت شبیه‌سازی متغیر اقلیمی بارش توسط

[1] Global Climate Model (GCM)
[2] Coupled Model Intercomparison Project (CMIP)
[3] Representative Concentration Pathways
[4] Shared Socioeconomic Pathways

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

مدل‌های ارائه شده در CMIP6 مورد ارزیابی قرار دادند. هم‌چنین، Yang et al. (2021) طی مطالعه‌ای عملکرد ۲۰ مدل اقلیمی از CMIP6 را در شبیه‌سازی بارش و دمای متوسط در کشور چین برای دوره ۲۰۱۴–۱۹۹۵ مورد ارزیابی قرار دادند که نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌های CMIP6 در بازتولید توزیع مکانی متغیرهای اقلیمی دما و بارش به خوبی عمل می‌کنند و برای دما عملکرد بهتری نسبت به بارش دارند. در کنار ارزیابی قابلیت مدل‌های اقلیمی CMIP6 و CMIP5 به‌صورت مجزا، مطالعات گسترده‌ای در رابطه با مقایسه GCMهای CMIP6 و CMIP5 در آمریکا (Ortega et al., 2021)، آسیا (Chen et al., 2021; Zamani et al., 2020)، آفریقا (Ayugi et al., 2021)، کانادا (Bourdeau-Goulet and Hassanzadeh, 2021; Sobie et al., 2021)، چین (Lun et al., 2021; Lei at al., 2023) و کره جنوبی (Song et al., 2021) انجام شده است که در بسیاری از مطالعات به برتری مدل‌های CMIP6 اشاره شده و در برخی از آن‌ها نیز عدم تایید برتری مدل‌های CMIP6 نسبت به مدل‌های CMIP5 اظهار شده است (Li and Su, 2020; Wang et al., 2022; Zhu and Yang, 2020).

ایران که در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، در برابر اثرات تغییر اقلیم که در دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای مشهود شده‌اند، بسیار آسیب‌پذیر است و پیامدهای زیست‌محیطی و اجتماعی را در پی داشته است (Zabihi and Azad, 2024). بسیاری از مطالعات بر روی پیامدهای تغییر اقلیم بر ایران با استفاده از خروجی‌های GCM، مانند اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش (Azad and Ahmadi, 2024; Zabihi and Ahmadi, 2024; Usta et al., 2022; Yaghoobzadeh, 2022)، رواناب (Razmara et al., 2013; Shadkam et al., 2016)، آب زیرزمینی (Hashemi et al., 2015)، خشکسالی (Sayari et al., 2013)، سیل (Khazaei et al., 2012) و عملکرد محصول (Abbaspour et al., 2009; Gohari et al., 2013) متمرکز شده‌اند. با توجه به بررسی مطالعات صورت گرفته در زمینهٔ ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی ارائه شده در CMIP5 و CMIP6، تنها طی مطالعه انجام شده توسط Zamani et al. (2020) به بررسی این دو نسل از مدل‌های اقلیمی در شمال شرقی ایران پرداخته شده است.

با در نظر گرفتن ضرورت بررسی جامع مدل‌های اقلیمی ارائه شده در CMIP5 و CMIP6 به‌منظور ارائه ادبیات مستند برای پژوهشگران تغییر اقلیم به‌منظور انتخاب و به‌کارگیری مدل‌های اقلیمی مناسب جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر مولفه‌های هیدرولوژیکی در ایران، طی پژوهش حاضر تلاش شد در کنار ارائه روش‌شناسی مناسب، عملکرد بارش شبیه‌سازی شده توسط ۳۰ مدل اقلیمی از CMIP6 و CMIP5 به همراه همادی چند مدلی[1] آن‌ها برای ایران با توجه به داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گیرد. از سوی دیگر، اگرچه انتخاب مدل‌های اقلیمی مناسب که بتواند جنبه‌های اساسی اقلیم‌شناسی ایران را به تصویر بکشد، از اهمیت قابل توجهی برخوردار است؛ اما مطالعات بسیار محدودی برای ارزیابی مدل‌های اقلیمی در مقیاس کلان کشور ایران انجام شده است. لذا در مطالعه فعلی تلاش می‌شود که قابلیت عملکردی مدل‌های اقلیمی استفاده شده از CMIP5 و CMIP6 ارائه شده و مدل‌هایی که در کنار همادی آن‌ها توانمندی مقبولی در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دارند، بررسی و تحلیل شوند. لازم به ذکر است که در عمده مطالعات اخیر انجام شده جهت ارزیابی تغییر اقلیم در کشور ایران از تعداد محدودی از GCM استفاده شده و این موضوع تاحدودی اجازه ورود عدم قطعیت اقلیمی در ارزیابی‌های آماری را صادر می‌کند. در مطالعه فعلی در کنار اهداف ارائه شده تلاش شد تا از تمامی مدل‌های اقلیمی که تحت شرایط یکسان برای هر دو CMIP5 و CMIP6 اجرا شده و دارای خروجی متغیرهای بارش برای سناریوهای یکسان برای هر نسل از GCM هستند، استفاده شود. به‌عبارتی، سعی شد از هر دو نسل CMIP مدل‌هایی که تحت شرایط اولیه مشابه اجرا شده و دارای سناریو پیش‌نگری یکسانی هستند، استخراج شوند.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

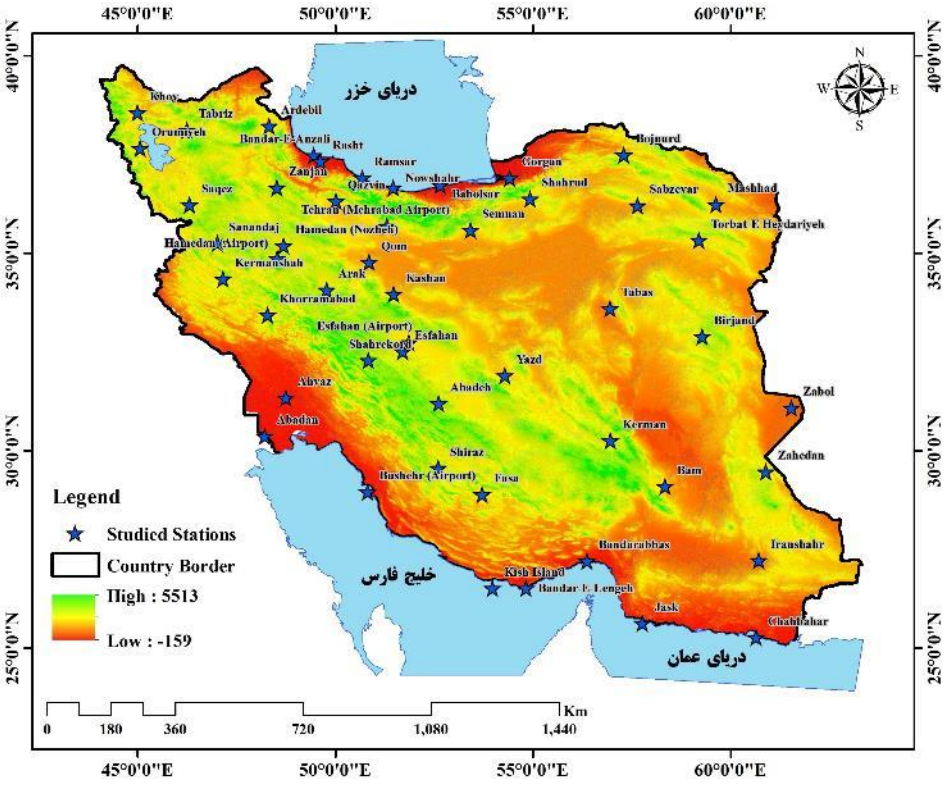
کشور ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک نیم‌کره شمالی زمین قرار دارد. این کشور به‌عنوان یک منطقه نیمه‌گرمسیری در غرب آسیا با مساحت ۱/۶۴۰/۱۹۵ کیلومترمربع دارای موقعیت جغرافیایی پیچیده و دامنه‌ی ارتفاعی متغیر از ۲۰ تا ۵۰۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است. ایران به‌دلیل اختلاف ارتفاعی گوناگون از سطح دریا دارای اقلیم‌های متنوع است: معتدل و مرطوب در سواحل دریای خزر، گرم و خشک در فلات مرکزی، بیابان‌های سواحل جنوبی و جنوب شرقی و آب و هوای سرد در اطراف کوه‌های مرتفع (Doulabian et al., 2021). متغیر اقلیمی بارش در کشور ایران از دو کوه مهم البرز که از غرب کشور به موازات دریای خزر و رشته کوه‌های زاگرس که از شمال غربی ایران به سمت جنوب شرقی امتداد یافته‌اند، متاثر است (Usta et al., 2022).

جهت نیل به هدف پژوهش فعلی، از اطلاعات بارش ۵۰ ایستگاه سینوپتیک اخذ شده از سازمان هواشناسی ایران استفاده شد. شایان ذکر است، تعداد ایستگاه سینوپتیک ایران حدود ۴۵۲ ایستگاه بوده که از این تعداد ایستگاه با توجه به طول دوره آماری مورد نیاز (۱۹۷۶–۲۰۰۵) ۵۰ ایستگاه تفکیک شده و از اطلاعات آن‌ها استفاده شده است. شکل ۱ نحوه پراکندگی ۵۰ ایستگاه مورد استفاده در ایران را نشان می‌دهد.

[1] Multi Model Ensemble (MME)

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و کشور ایران

Figure 1- Geographical Location of meteorological stations and Iran country

مدل‌های گردش عمومی جو

جهت ارزیابی تغییرات بارش در ایران و نیل به هدف مطالعه حاضر، از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو ارائه شده در گزارش ششم و پنجم ارزیابی هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شده است. تمامی مدل‌های منتخب از CMIP6 تحت شرایط r1i1p1f1 و مدل‌های CMIP5 نیز تحت شرایط r1i1p1 از پایگاه ESGF MetaGrid[1] اخذ شده و تلاش شد مدل‌هایی که دارای اطلاعات کامل در طول دوره تاریخی ۲۰۰۵-۱۹۷۶، دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۲۶) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۵) تحت هر دو سناریو خوش‌بینانه و خیلی بدبینانه هستند از سایر مدل‌ها تفکیک شوند. پس از ارزیابی اولیه از مدل‌های اقلیمی، ۱۵ مدل با توجه به ادبیات پیشین انتخاب شده (Doulabian et al., 2021; Usta et al., 2022; Zabihi and Ahmadi, 2024; Zamani et al., 2020; Yaghoobzadeh, 2022) و از خروجی آن‌ها جهت ارزیابی متغیر اقلیمی بارش در ایران استفاده شد. مقادیر بارش شبیه‌سازی شده توسط هر دو نسخه از مدل‌های GCM در طول دوره تاریخی از سال ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۵ با توجه به تطابق طول دوره آماری آن‌ها با مقادیر مشاهداتی به‌صورت ماهانه استخراج شده و با توجه به درجه تفکیک[2] متفاوت، تمامی مدل‌ها در مقیاس ایستگاهی ریزمقیاس شدند. در آخر، تغییرات الگوی بارشی ایران با استفاده از همادی مدل‌های CMIP6 تحت سناریوهای SSP1.26 و SSP5.85 برای دو دوره آتی شبیه‌سازی شده و در مقیاس زمانی متوسط ماهانه با مقادیر مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. اطلاعات تمامی مدل‌های استفاده شده ازجمله، گروه مدل‌سازی مربوطه، کشور و درجه تفکیک در جدول ۱ ارائه شده است.

[1] https://esgf-node.llnl.gov/
[2] Resolution

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

جدول ۱- مدل‌های اقلیمی CMIP5 و CMIP6 مورد استفاده در مطالعه حاضر

Table 1- CMIP5 and CMIP6 climate models used in the present study

مؤسسه/کشور	CMIP6		CMIP5	
	درجه تفکیک	نام مدل	درجه تفکیک	نام مدل
مرکز عالی شورای تحقیقات استرالیا برای علوم سیستم اقلیمی، استرالیا	1.90° × 1.30°	ACCESS-ESM1-5	1.90° × 1.20°	ACCESS1-0
مرکز عالی شورای تحقیقات استرالیا برای علوم سیستم اقلیمی، استرالیا	1.90° × 1.20°	ACCESS-CM2	1.90° × 1.20°	ACCESS1-3
مرکز اقلیم Beijing، چین	1.12° × 1.12°	BCC-CSM2-MR	2.80° × 2.80°	BCC-CSM1-1-m
مرکز تحلیل و مدل‌سازی اقلیم کانادا، ویکتوریا، کانادا	2.81° × 2.81°	CanESM5	2.81° × 2.81°	CanESM2
مدل اقلیمی جفت‌شده مرکز تغییرات اقلیمی Euro-Mediterranean، ایتالیا	0.94° × 1.25°	CMCC-ESM2	0.7° × 0.7°	CMCC-CM
کنسرسیوم EC-Earth، اروپا	0.35° × 0.35°	EC-EARTH3	1.12° × 1.12°	EC-EARTH
آکادمی علوم مدل‌های منعطف سیستم جهانی اقیانوس – جو – زمین چین، چین	2.00° × 2.00°	FGOALS-g3	2.81° × 2.08°	FGOALS-g2
آزمایشگاه دینامیک سیالات ژئوفیزیک، نیوجرسی، ایالات متحده آمریکا	1.00° × 1.25°	GFDL-ESM4	2.5° × 2.00°	GFDL-ESM2G
موسسه ریاضیات عددی، روسیه	2.00° × 1.50°	INM-CM4-8	2.00° × 1.50°	INMCM4.0
موسسه Pierre Simon Laplace، پاریس، فرانسه	2.50° × 1.27°	IPSL-CM5A-LR	3.70° × 1.90°	IPSL-CM5A-LR
آژانس علوم و فناوری دریایی-زمینی ژاپن (JAMSTEC)	1.40° × 1.40°	MIROC6	1.40° × 1.40°	MIROC5
مؤسسه هواشناسی ماکس پلانک (MPI-M)، آلمان	0.94° × 0.94°	MPI-ESM1-2-HR	1.90° × 1.90°	MPI-ESM-MR
مؤسسه هواشناسی ماکس پلانک (MPI-M)، آلمان	1.87° × 1.86°	MPI-ESM1-2-LR	1.90° × 1.90°	MPI-ESM-LR
موسسه تحقیقات هواشناسی، ایباراکی، ژاپن	1.12° × 1.12°	MRI-ESM2-0	1.10° × 1.10°	MRI-CGCM3
مرکز اقلیم نروژ، نروژ	2.50° × 1.90°	NorESM2-LM	2.50° × 1.90°	NorESM1-M

روش‌شناسی

تصحیح اریبی و همادی‌سازی مدل‌های اقلیمی

نظر به این‌که خروجی متغیرهای اقلیمی (مانند دما بیشینه، دمای کمینه و بارش) شبیه‌سازی شده توسط GCMها دارای خطای سیستماتیکی هستند، این خروجی‌ها باید اصلاح شده تا برآوردی قابل اعتماد در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم به دست آید. لذا، جهت تحقق این موضوع از روش نگاشت چندکی[1] استفاده شد. این روش یک نوع تبدیل آماری به شمار می‌آید که تلاش می‌کند تابعی را بیابد تا خروجی مدل را طبق آن به یک توزیع جدید نگاشت کند، به‌طوری‌که توزیع حاصل با مشاهدات مطابقت داشته باشد (شیشه‌گران و همکاران، ۱۴۰۲ب). به‌عبارتی روش QM توزیع داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی را جهت تطبیق با توزیع داده‌های مشاهداتی، به کمک یک تابع تبدیل اصلاح می‌کند (Block et al., 2009). به‌طورکلی، این تبدیل آماری را می‌توان به شکل رابطه ۱ بیان کرد.

$$X_m^o = f(X_m) \quad (۱)$$

در رابطه فوق، X_m^o خروجی اصلاح شده مدل است. اگر توزیع آماری X_m (خروجی خام مدل) و X_o (مقدار مشاهده‌ای) مشخص باشد، تابع تبدیل را می توان به‌صورت رابطه ۲ بازنویسی کرد.

$$X_m^o = F_o^{-1}(F_m(X_m)) \quad (۲)$$

در رابطه فوق، F_m و F_o به‌ترتیب تابع توزیع تجمعی X_m و X_o هستند.

در رابطه با اصلاح مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی و برطرف نمودن عدم تطابق بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، با توجه به توانمندی بالای روش‌های نگاشت چندک تبدیل ناپارامتری[2] نسبت به روش‌های تبدیل پارامتری[3] (Gudmundsson et al., 2012)، پس از استخراج متغیر اقلیمی بارش برای هر ایستگاه مطالعاتی، مقادیر شبیه‌سازی شده با روش ناپارامتری RQUANT تصحیح شدند (شیشه‌گران و همکاران، ۱۴۰۲ب).

پس از اصلاح مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی، تلاش شد تا در کنار مدل‌های اقلیمی منفرد، همادی چند مدلی CMIP6 (CMIP6-MME) و CMIP5 (CMIP5-MME) نیز با کمک روش میانگین‌گیری وزنی ایجاد شده و مورد ارزیابی قرار گیرد. طی روش استفاده شده، به هر یک از مدل‌های منفرد به صورت جداگانه بر اساس روش وزن‌دهی متوسط بارش مشاهداتی وزن داده شده و در نهایت یک سری زمانی داده‌های بارش از خروجی مدل‌ها ایجاد می‌شود. لذا پس از تعیین وزن هر مدل، اقدام به میانگین‌گیری وزنی از داده‌های

[1] Quantile Mapping (QM)
[2] Non-Parametric Transformation
[3] Parametric Transformation

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

مدل مدنظر می‌شود. در این روش مدل‌های GCM بر اساس مقدار انحراف متوسط بارش شبیه‌سازی شده در دورهٔ پایه از متوسط داده‌های مشاهداتی وزن‌دهی می‌شوند (مساح بوانی و مرید، ۱۳۸۴). روش مذکور طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$W_i = \frac{(\frac{1}{\Delta P_i})}{\sum_{i=1}^{N}(\frac{1}{\Delta P_i})} \quad (۳)$$

در رابطه (۳)، W_i وزن هر مدل در ماه مورد نظر و ΔP_i انحراف متوسط بارش شبیه‌سازی شده بلند مدت توسط هر یک از مدل‌های GCM در دورهٔ پایه از متوسط بارش مشاهداتی است. وزن به‌دست آمده برای هر مدل نشانگر توانایی مدل برای شبیه‌سازی دورهٔ پایه است.

ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی

در این مطالعه، عملکرد خروجی GCMهای اصلاح شده پس از اعمال روش نگاشت چندکی توسط دیاگرام تیلور و معیار TSS[1] مورد ارزیابی قرار گرفت. لذا، در ابتدا دیاگرام تیلور[2] برای ارزیابی و مقایسه قابلیت‌های شبیه‌سازی بارش مدل‌های CMIP6 با مدل‌های CMIP5 در کشور ایران ترسیم شد. دیاگرام تیلور به‌طور جامع و شهودی یک خلاصه آماری از میزان تطابق بین خروجی GCMها و مقادیر مشاهداتی ارائه می دهد و به‌طور گسترده برای مقایسه خروجی‌های شبیه‌سازی مدل‌های اقلیمی با داده‌های مشاهداتی استفاده می شود (Zhu and Yang, 2020; Song et al., 2021). این دیاگرام مشابه یک نمودار مختصات قطبی است که از انحراف استاندارد، انحراف جذر میانگین مربعات و ضریب همبستگی بین خروجی‌های شبیه‌سازی GCM و مقادیر مشاهداتی تشکیل شده است (Taylor, 2001). دیاگرام تیلور با توجه به چهار کمیت آماری اندازه‌گیری شده طبق رابطه ۴ ساخته می‌شوند.

$$RMSE^2 = SD_{obs}^2 + SD_{GCM}^2 - 2SD_{obs}SD_{GCM}R \quad (۴)$$

$$SD_{obs} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(X_{obs} - \overline{X_{obs}})^2} \quad (۵)$$

$$SD_{GCM} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}(X_n - \overline{X})^2} \quad (۶)$$

$$SD_{obs} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}[(X_n - \overline{X}) - (X_{obs} - \overline{X_{obs}})]^2} \quad (۷)$$

$$R = \frac{(1/N)\sum_{n=1}^{N}(X_n - \overline{X}) - (X_{obs} - \overline{X_{obs}})}{SD_{obs}SD_{GCM}} \quad (۸)$$

در روابط فوق، SD_{obs}، SD_{GCM}، X_{obs}، $\overline{X_{obs}}$، X_n و $\overline{X}$ به‌ترتیب انحراف معیار داده‌های مشاهداتی، انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده، مقدار داده مشاهداتی، میانگین داده‌های مشاهداتی، مقدار داده شبیه‌سازی شده و میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده هستند. N تعداد کل داده‌ها و RMSE و R نیز به‌ترتیب نشانگر انحراف جذر میانگین مربعات و میزان همبستگی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده هستند. در ادامه، معیار TSS برای مقایسه کمی عملکرد شبیه‌سازی بارش مدل‌های CMIP6 با مدل‌های CMIP5 بر روی ایران محاسبه شد. این معیار می‌تواند انحراف معیار و ضریب همبستگی بین مقادیر GCMها و مشاهداتی را برای ارزیابی مزایا و معایب قابلیت شبیه‌سازی مدل‌های اقلیمی استفاده شده تعیین کند (Luo et al., 2021; Taylor, 2001). فرمول محاسبه معیار TSS در رابطه ۹ نشان داده شده است.

$$S = \frac{4(1+R)^4}{((SD_{GCM}/SD_{obs}) + (SD_{obs}/SD_{GCM}))^2(1+R_{max})^4} \quad (۹)$$

در رابطه فوق، S مقدار معیار TSS بوده و R_{max} نیز حداکثر مقدار ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی GCM و مشاهداتی است.

[1] Taylor Skill Score
[2] Taylor Diagram

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی بارش

در آخر، ویژگی‌های تغییرات مکانی و زمانی شبیه‌سازی GCMهای تحلیل‌شده برای ارزیابی عملکرد برآورد بارش توسط مدل‌های CMIP6 و CMIP5 در مقیاس‌های مکانی و زمانی در ایران مقایسه و ارزیابی شدند. در مقیاس مکانی، الگوهای مکانی خروجی‌های شبیه‌سازی متوسط بارش دراز مدت توسط CMIP6-MME و CMIP5-MME با توجه به متوسط بارش مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفتند. هم‌چنین، میزان تغییرات معیار اریب نسبی[1] بین خروجی‌های بارش همادی مدل‌ها از دو پروژه با مقادیر مشاهداتی در قالب باکس پلات ارائه شده است. در مقیاس زمانی نیز، تغییرات سالانه، ماهانه و فصلی مابین خروجی‌های شبیه‌سازی بارش توسط GCMهای ارزیابی شده با داده‌های مشاهداتی مورد بررسی قرار گرفته و میزان تغییرات اریب نسبی متوسط بارش در مقیاس‌های زمانی مزبور محاسبه شد. با توجه به تاریخ میلادی اطلاعات اخذ شده برای هر دو داده‌های مشاهداتی و GCM، فصل‌ها به بهار (مارس تا می)، تابستان (ژوئن تا آگوست)، پاییز (سپتامبر تا نوامبر) و زمستان (دسامبر تا فوریه) تقسیم شدند. فرمول محاسبه معیار اریب نسبی در رابطه (۱۰) نشان داده شده است.

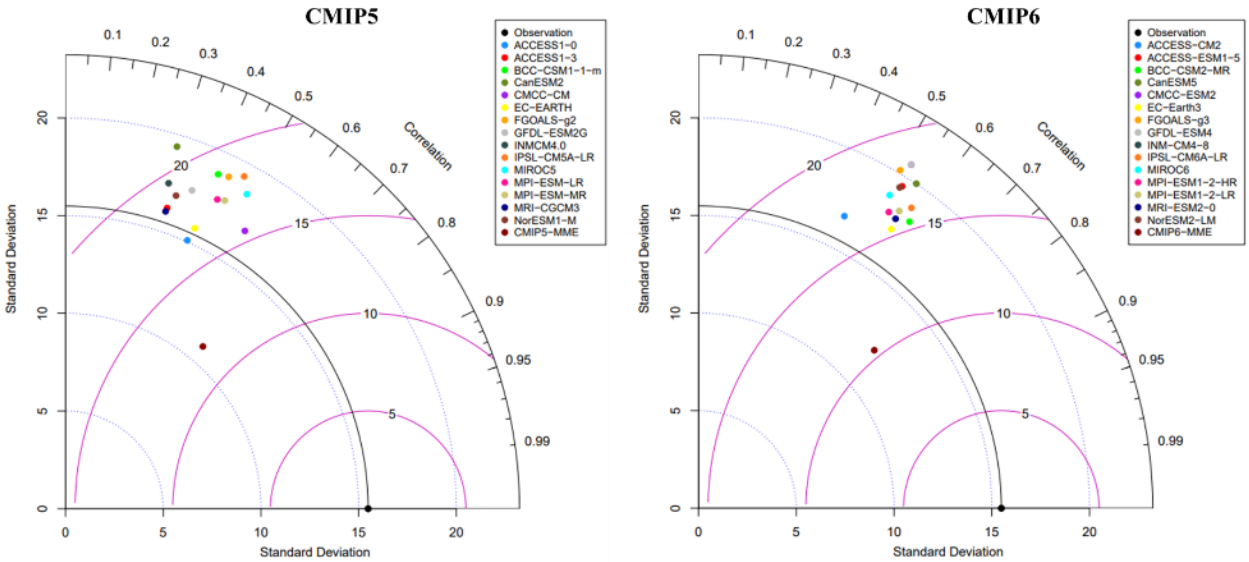
$$RB = \frac{P_{GCM} - P_{obs}}{P_{obs}} \times 100 \qquad (۱۰)$$

در رابطه فوق، RB همان مقدار معیار مد نظر بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بوده و P_{GCM} و P_{obs} نیز به‌ترتیب مقدار داده‌های شبیه‌سازی شده توسط GCM و مشاهداتی را نشان می‌دهند.

نتایج و بحث

ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی و مقایسه آن‌ها

پس از اصلاح مقادیر بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های اقلیمی با استفاده از روش نگاشت چندکی ارائه شده در بخش روش‌شناسی، تلاش شد نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد استفاده با کمک نمودار تیلور و معیار TSS ارائه شود. شکل ۲ دیاگرام تیلور ترسیم شده برای بارش ماهانه شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در کنار بارش ماهانه مشاهداتی را نشان می‌دهد. در شکل ۲، اختلاف خطی بین بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط انحراف جذر میانگین مربعات به صورت خطوط بنفش نمایان شده است.



شکل ۲- دیاگرام تیلور بارش ماهانه شبیه‌سازی شده طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶ برای مدل‌های CMIP5 (سمت چپ) و CMIP6 (سمت راست)

Figure 2- Taylor diagram of simulated monthly precipitation over the period 1976-2005 for CMIP5 (left) and CMIP6 (right) model

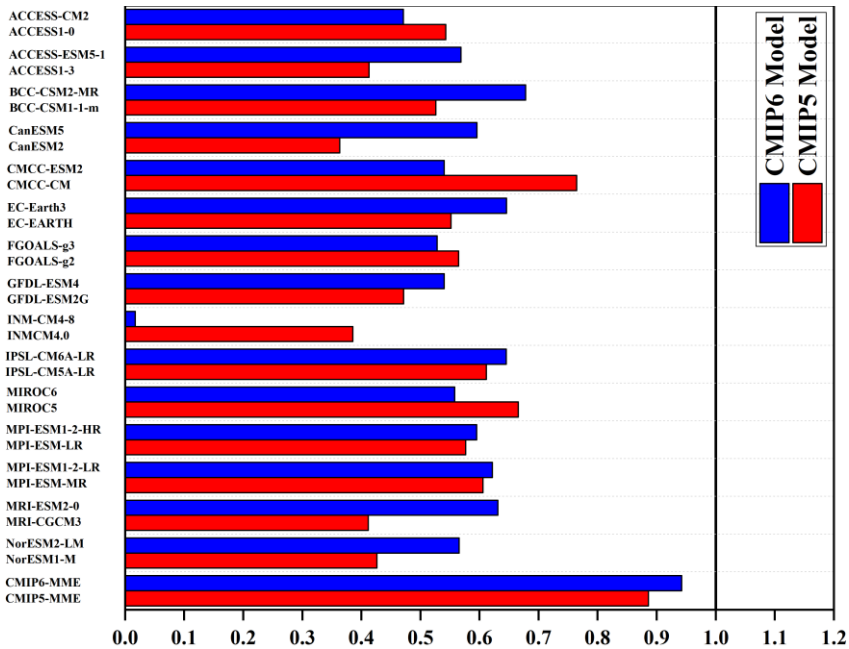
همان‌طورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، میزان همبستگی و انحراف جذر میانگین مربعات عمده مدل‌های CMIP6 نسبت به CMIP5 کم‌تر است. درحالی‌که، انحراف معیار اکثر مدل‌های استفاده شده از پروژه CMIP5 در مقایسه با مدل‌های CMIP6 به انحراف معیار داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر است که این موضوع بیانگر قابلیت بالای مدل‌های CMIP5 نسبت به CMIP6 طبق آماره انحراف معیار در شبیه‌سازی متغیر بارش بوده که این نکته در رابطه با معیارهای میزان همبستگی و انحراف جذر میانگین مربعات برای مدل‌های CMIP5 صادق نیست. دلیل پراکندگی مدل‌های CMIP5 نمایش داده شده نسبت به مدل‌های CMIP6، وجود اختلاف زیاد در جذر میانگین مربعات و میزان اریبی

[1] Relative Bias

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

این نسل از مدل‌ها در مقایسه با مقادیر مشاهداتی است. با توجه به شکل ارائه شده، مابین مدل‌های منفرد CMIP5 که مقدار انحراف جذر میانگین مربعات آن‌ها به جز مدل CanESM2 از ۱۵ الی ۲۰ تغییر می‌کند و میزان همبستگی آن‌ها نیز از ۰/۲۹ الی ۰/۶۱ متغیر است، مدل CMCC-CM دارای کم‌ترین انحراف جذر میانگین مربعات و بیش‌ترین میزان همبستگی است. از طرفی برای این نسخه از مدل‌های استفاده شده کم‌ترین و بیش‌ترین میزان اختلاف با انحراف معیار مقادیر مشاهداتی به غیر از CMIP5-MME به‌ترتیب متعلق به مدل‌های EC-EARTH و CanESM2 هستند. در رابطه با مدل‌های منفرد CMIP6 نیز همانند عمده مدل‌های CMIP5 مقدار انحراف جذر میانگین مربعات آن‌ها مابین ۱۵ الی ۲۰ متغیر بوده و دارای میزان همبستگی ۰/۴۲ الی ۰/۶۳ هستند که کم‌ترین میزان انحراف جذر میانگین مربعات و بیش‌ترین همبستگی در این نسخه از مدل‌ها متعلق به مدل BCC-CSM2-MR است. کم‌ترین و بیش‌ترین اختلاف با انحراف معیار مقادیر مشاهداتی به غیر از CMIP6-MME برای این نسل از مدل‌ها نیز به‌ترتیب مربوط به مدل‌های ACCESS-CM2 و GFDL-ESM4 هستند. همادی هر دو نسل از مدل‌ها نسبت به مدل‌های منفرد از میزان همبستگی بالا، انحراف معیار و انحراف جذر میانگین مربعات کم‌تری برخوردارند و دلالت بر قابلیت بالای این مدل‌ها در شبیه‌سازی متغیر بارش در ایران دارند. شایان ذکر است، معلول مقدار کم میزان همبستگی و زیاد بودن مقدار انحراف جذر میانگین مربعات مدل‌های استفاده شده برای هر دو CMIP به علت ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مقیاس زمانی ماهانه است.

همان‌طورکه در بخش روش‌شناسی پژوهش اشاره شد، در کنار دیاگرام تیلور، معیار TSS مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش ماهانه در ایران ارائه شد که نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد هر یک از مدل‌ها تحت معیار مذکور در شکل ۳ نمایش داده شده است. طبق این معیار هرچه مقدار به‌دست آمده برای مدل‌های مورد استفاده نزدیک به یک باشد نشانگر قابلیت بالای شبیه‌ساز GCM برای متغیر بارش است. همان‌طورکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، عمده مدل‌های CMIP6 به‌جز چهار مدل ACCESS-ESM1-5، CMCC-ESM2، INM-CM4-8 و MIROC6 نسبت به همتای خود در نسخه قبلی دارای TSS بیش‌تری هستند، به‌طوری‌که متوسط معیار TSS برای مدل‌های CMIP5 ۰/۵۴ و این مقدار برای مدل‌های CMIP6 برابر با ۰/۵۹ است. برای مدل‌های CMIP5 بازه تغییرات TSS از ۰/۳۶ الی ۰/۸۹ متغیر بوده که مدل CanESM2 دارای کم‌ترین مقدار TSS (۰/۴۷) و مدل CMIP5-MME دارای بیش‌ترین مقدار TSS (۰/۸۹) در شبیه‌سازی بارش برای ایران هستند. در رابطه با مدل‌های CMIP6 نیز تغییرات TSS از ۰/۰۲ الی ۰/۹۴ متغیر بوده که از بین این مدل‌ها، مدل CMIP6-MME دارای بیش‌ترین مقدار TSS (۰/۹۴) و مدل INM-CM4-8 (۰/۰۲) دارای کم‌ترین مقدار TSS هستند. به‌طورکلی، از بین تمامی مدل‌های استفاده شده از هر دو پروژه CMIP، همادی مدل‌های CMIP6 و مدل INM-CM4-8 از CMIP6 به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین قابلیت در شبیه‌سازی متغیر بارش برای ایران هستند. بدون در نظر گرفتن همادی هر نسل از مدل‌ها، مدل‌هایی هم‌چون CMCC-CM از CMIP5 و BCC-CSM2-MR از CMIP6 نسبت به سایر مدل‌ها از قابلیت شبیه‌سازی بهتری برخوردارند که این بخش از نتایج به ترتیب مطابق با مطالعات انجام شده توسط Abbasian et al. (2018) و Zabihi and Ahmadi (2024) است.



شکل ۳. معیار TSS بارش ماهانه شبیه‌سازی شده طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۶ در ایران تحت مدل‌های CMIP6 (آبی) و CMIP5 (قرمز)

Figure 3. Taylor skill scores of simulated monthly precipitation during the period 1976-2005 in Iran under CMIP6 (blue) and CMIP5 (red) models

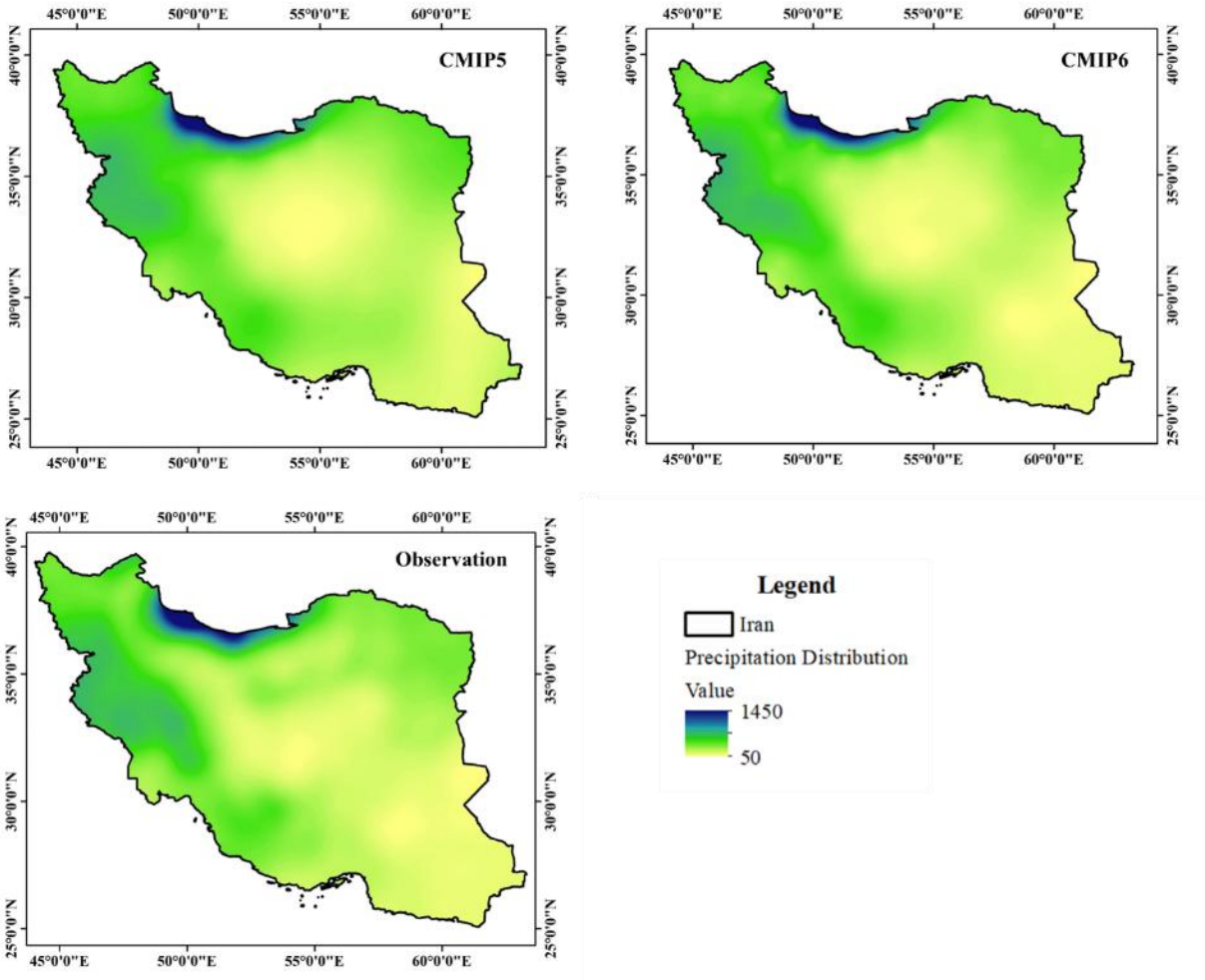
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

ارزیابی تغییرات مکانی بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP5 و CMIP6

به‌منظور ارائه نقشه مکانی توزیع بارش در کشور ایران توسط مقادیر مشاهداتی، مدل‌های CMIP5 و مدل‌های CMIP6 از متوسط بارش هر یک از ایستگاه‌های مشاهداتی و مقادیر تصحیح‌شده آن‌ها بهره گرفته شد (شکل ۴). با توجه به تعداد زیاد مدل‌های مورد ارزیابی (در مجموع ۳۰ مدل اقلیمی) تلاش شد، به جای ارائه تک به تک نقشه توزیع بارش هر یک از مدل‌های اقلیمی از تغییرات مکانی بارش شبیه‌سازی شده توسط CMIP5-MME و CMIP5-MME استفاده شود.

جهت به‌دست آوردن نقشه‌های مکانی بارش مشاهداتی و اصلاح شده GCMها طبق ۵۰ ایستگاه هواشناسی منتخب، از روش IDW[1] جهت میان‌یابی مقادیر ثبت شده استفاده شد. نقشه‌های ترسیم شده در شکل ۳، مقایسه الگوی مکانی بارش در ایران طبق مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط همادی مدل‌های CMIP5 و CMIP6 از بازه زمانی ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۵ را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، الگوی بارشی از جنوب شرقی به سمت شمال غربی ایران حالت افزایشی داشته و میزان کم بارش در قسمت شرق و جنوب شرقی ایران در نقشه مشاهداتی نسبت به دو نقشه ارائه شده برای مدل‌های همادی CMIP5 و CMIP6 نمایان‌تر است. بیش‌ترین بارش مشاهده در هر نقشه متعلق به شمال ایران یا همان نوار ساحلی دریای خزر است. در قسمت شمال غربی ایران همادی مدل‌های CMIP5 و CMIP6 نسبت به مقادیر مشاهداتی مقدار بارش کم‌تری را نشان می‌دهند که این موضوع برای CMIP6 نیز نسبت مقادیر مشاهداتی کم‌تر است.



شکل ۴- توزیع مکانی بارش مشاهداتی و همادی مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در ایران از سال ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۵

Figure 4- Spatial distribution of observed and CMIP5 and CMIP6 multi models ensemble simulated precipitation over Iran from 1976 to 2005

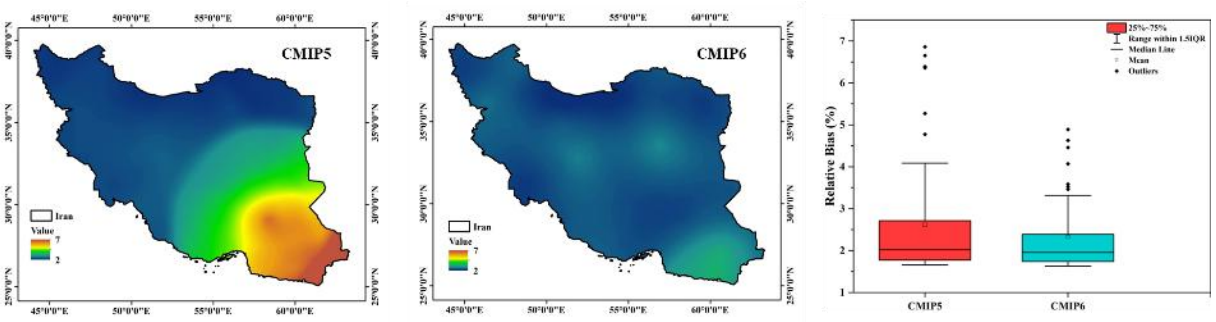
شکل ۵ الگوی مکانی میزان اریب نسبی و تغییرات آن با توجه به نمودار باکس پلات را برای بارندگی بین مقادیر مشاهداتی و CMIP5-MME و CMIP6-MME در کشور ایران نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ارائه شده مشخص شده، میزان اریب نسبی اندازه‌گیری شده

[1] Inverse distance weighted

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

در جنوب شرقی ایران با توجه CMIP5-MME، نسبت به سایر نقاط کشور بیش‌تر بوده و مقدار آن به سمت مرکز و شمال غربی کشور در حال کاهش است. درحالی‌که این نوع تغییرات برای CMIP6-MME در قسمت جنوب شرقی ایران نسبت به CMIP5 کم‌تر بوده و هم‌چنین به طور عام، برای ایران میزان اریب نسبی به دست آمده توسط CMIP6-MME به مراتب کم‌تر از CMIP5-MME بوده و تغییرات آن برای همادی مدل‌های CMIP6 در سراسر کشور به طور تقریبی یکنواخت است. لازم به ذکر است، در قسمت شمالی غربی و غرب ایران تغییرات اریب نسبی برای هر دو نسخه از مدل‌ها تا حدودی یکسان بوده و در برخی از بخش‌های این نواحی CMIP5-MME دارای تغییرات اریب نسبی بیش‌تری نسبت به CMIP6 هستند. به طور کلی، همان‌طور که در باکس پلات ارائه شده در شکل ۸ نیز نمایان شده است، میزان اریب برآورد شده برای CMIP5-MME نسبت به CMIP6-MME در شبیه‌سازی بارش ایران بیش‌تر بوده و هر دو نسل از مدل‌های استفاده شده مقدار بارش شبیه‌سازی شده را نسبت به مقادیر مشاهداتی بیش‌تر برآورد می‌کنند.



شکل ۵- توزیع مکانی اریب نسبی بارش شبیه‌سازی شده توسط CMIP5-MME و CMIP6-MME در مقایسه با مقادیر مشاهداتی در کنار باکس پلات اریبی نسبی بارش برای هر دو نسخه از مدل‌های استفاده شده

Figure 5- Spatial distribution of simulated precipitation relative bias by CMIP5-MME and CMIP6-MME compared to observed values alongside box plot of precipitation relative bias for both versions of the models used

ارزیابی تغییرات زمانی بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP5 و CMIP6

طی مطالعه حاضر، به منظور مقایسه و ارزیابی تغییرات متوسط بارش سالانه تولید شده از مدل‌های CMIP6 و CMIP5 با بارش مشاهده‌ای، تلاش شد سری زمانی بارش اصلاح شده در کنار میزان اریب نسبی خروجی GCMها در مقایسه با مقادیر مشاهداتی ارائه شود (شکل ۶). دامنه تغییرات بارش مشاهده شده بین ۱۰۷/۶۳و ۲۶۹/۰۵ میلی‌متر طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۶ است. همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، عمده مدل‌های مورد استفاده از هر دو CMIP در طی طول دوره ارزیابی در برآورد متوسط بارش ماهانه نسبت به داده‌های مشاهداتی دچار بیش یا کم برآورد هستند. به طور قطعی نمی‌توان از بیش برآورد یا کم برآورد مدل خاص در طی کل طول دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ برای متوسط بارش سالانه از بین مدل‌های دو CMIP اظهار کرد، به طوری که این موضوع طبق نمودار اریب نسبی ارائه شده برای هر مدل به وضوح قابل مشاهده است. اما شایان ذکر است، مدل‌های ACCESS1-3، BCC-CSM1-1، CMCC-CM، INMCM4.0 و MPI-ESM-MR از CMIP5 و مدل‌های ACCESS-ESM1-5، BCC-CSM2-MR، MPI-ESM1-2-HR و MPR-ESM1-2-LR از CMIP6 در کنار همادی CMIPها تغییرات کم‌تری نسبت به سایر مدل‌های مورد ارزیابی دارند. از میان تمامی مدل‌های استفاده شده در مطالعه فعلی، CMIP5-MME و CMIP6-MME کم‌ترین تغییرات را نسبت به مدل‌های منفرد دارند که این موضوع می‌تواند به دلیل کاهش خطای سیستماتیکی و عدم قطعیت مدل‌های منفرد توسط همادی مدل‌ها باشد و در مطالعات گسترده‌ای به صحت این نکته اشاره شده است (Ragno et al., 2018; Su et al., 2020; Wang et al., 2022). عدم تغییرپذیری افزون مدل‌هایی همچون ACCESS-ESM1-5 و BCC-CSM2-MR از CMIP6 نسبت به سایر مدل‌های مورد ارزیابی طبق نتایج حاصل از مطالعه فعلی، مطابق با یافته‌های پژوهش انجام شده توسط Zabihi and Ahmadi, (2024) است. میزان اریب نسبی عمده مدل‌های مورد ارزیابی در سال‌های پایانی طول دوره ارزیابی دارای تغییرات بیش‌تری بوده و این موضوع در رابطه با سال‌های ابتدایی ارزیابی کم‌تر است. بیش‌ترین تغییرات در معیار اریب نسبی برای مدل‌های استفاده شده متعلق به مدل INM-CM4-8 از CMIP6 و کم‌ترین تغییر برای این معیار همان‌طور که ذکر شد، متعلق به همادی مدل‌های CMIP5 و CMIP6 است.

در ادامه، تغییرات بارش ماهانه شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP6 و CMIP5 با بارش مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. شکل ۷ متوسط بارش ماهانه شبیه‌سازی شده از هر GCM و مقادیر مشاهداتی به همراه اریب نسبی بین هر GCM و داده مشاهداتی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، دامنه متوسط بارش مشاهداتی ماهانه بین ۱/۸۸ میلی‌متر (در ماه جولای) و ۳۶/۲۱ میلی‌متر (در ماه مارس) متغیر است. به صورت عام، بارش شبیه‌سازی شده توسط عمده مدل‌های CMIP6 و CMIP5 مورد استفاده در این مطالعه از ماه دسامبر تا مارس دارای مقادیر کم‌تری نسبت به مقادیر مشاهداتی بوده و میزان اریب نسبی منفی برای این مدل‌ها محاسبه شده که در شکل ارائه شده

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

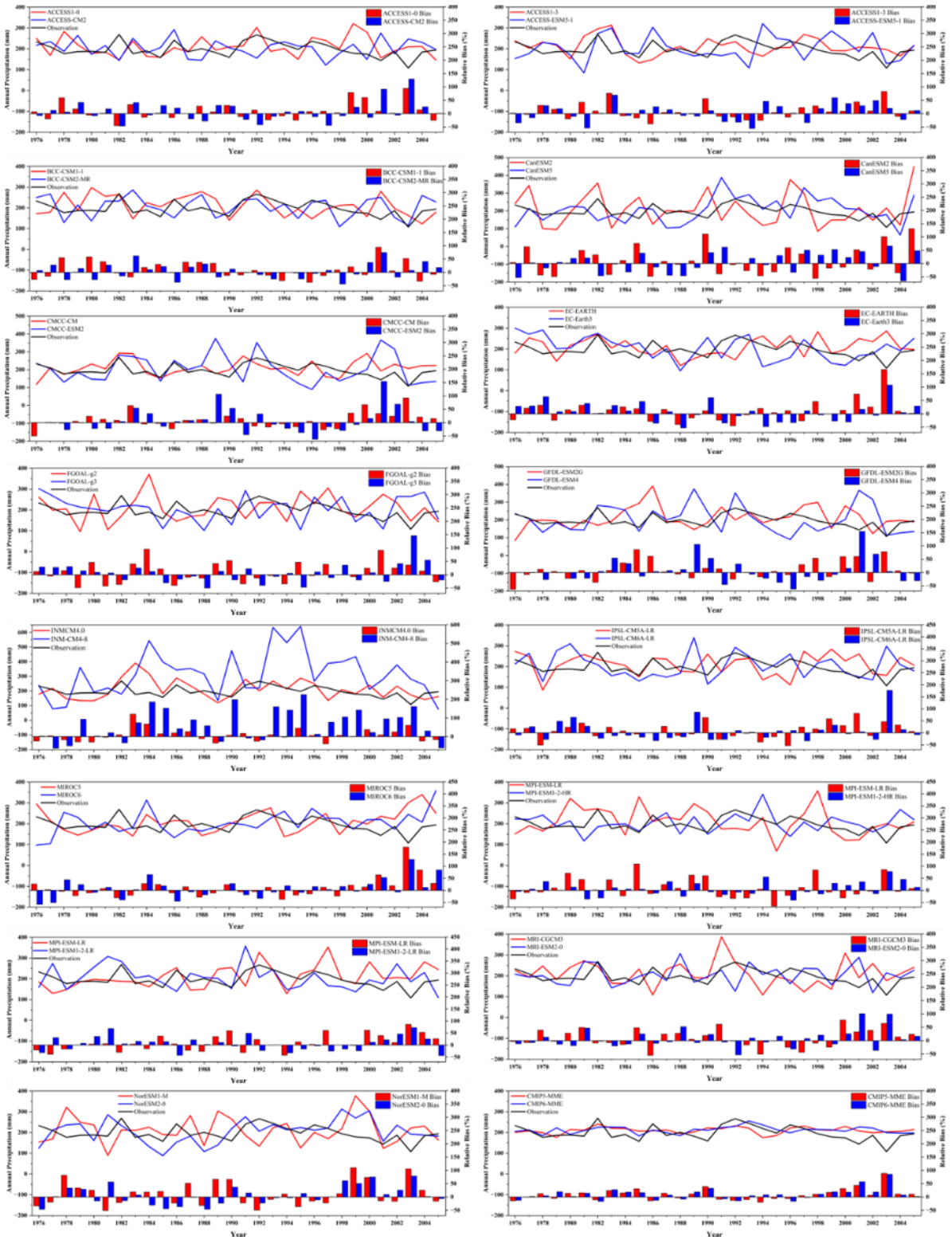
نیز قابل رویت است. هم‌چنین در طی ماه‌های آوریل تا ژوئن تمامی مدل‌ها به جز مدل‌های BCC-CSM1-1-m و IPSL-CM5A-LR از مقادیر بیش‌تری نسبت به داده‌های مشاهداتی برخوردار بوده و میزان اریب نسبی مثبت برای این ماه‌ها را نشان می‌دهند. تغییرات متوسط بارش برای ماه‌های جولای تا نوامبر برای مدل‌های مورد ارزیابی در مقایسه با مقادیر مشاهداتی متغیر بوده و میزان اریب نسبی محاسبه شده در این ماه‌ها برای مدل‌های مختلف حاکی از برآورد کم یا برآورد زیاد بارش نسبت به بارش مشاهداتی دارد. لازم به ذکر است، اریب موجود در مدل‌های CMIP6 و CMIP5 ممکن است به دلیل ساختار افقی و عمودی ضعیف (درجه تفکیک)، نمایش ناکافی فرآیندهای فیزیکی، شرایط مرزی نامناسب و عدم تطابق داده‌های اولیه مدل باشد (Gusain et al., 2020; Lie et al., 2020). با توجه به ارزیابی شبیه‌سازی متوسط بارش ماهانه تحت مدل‌های دو CMIP در ایران، مدل‌های BCC-CSM1-1-m، CMCC-CM، IPSL-CM5A-LR و MPI-ESM-LR از CMIP5 و مدل‌های BCC-CSM2-MR، IPSL-CM6A-LR، MPI-ESM1-2-HR و MPR-ESM1-2-LR از CMIP6 نسبت به سایر مدل‌ها دارای تغییرات و اریب نسبی کم‌تری در این مقیاس زمانی هستند. به صورت کلی، عمده مدل‌های CMIP6 میزان اریب نسبی کوچک‌تری نسبت به مدل‌های CMIP5 در شبیه‌سازی بارش ماهانه در کشور ایران نشان می‌دهند که این نکته در رابطه با همادی مدل‌های هر یک از CMIPها نیز صدق می‌کند. در مقایسه با همادی مدل‌های CMIPها، در عمده ماه‌های سال CMIP6-MME نسبت به نسخه قبلی خود میزان اریب نسبی کم‌تری داشته و در ماه‌هایی (آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر) که CMIP5-MME از اریب نسبی کم‌تری نسبت به CMIP6-MME برخوردارند، تفاوت اریب نسبی محاسبه شده برای CMIP5-MME در مقایسه با CMIP6-MME بسیار چشمگیر و قابل توجه نیست. برتری نسخه به‌روز GCMها نسبت به نسل قبلی خود در شبیه‌سازی الگوی بارشی می‌تواند به دلیل بهبود برخورداری فرآیندهای همرفتی و میکروفیزیکی همرفت در مدل‌ها باشد (Gusain et al., 2020; Voldoire et al., 2019).

در آخر، تغییرات فصلی بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP6 و CMIP5 در کنار بارش مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. شکل ۸ متوسط بارش برای فصل‌های برای بهار، تابستان، پاییز و زمستان تحت هر یک از GCMهای مورد استفاده و داده‌های مشاهداتی در کشور ایران را نشان می‌دهد. متوسط بارش داده‌های مشاهداتی در بهار، تابستان، پاییز و زمستان در طول دوره آماری ۲۰۰۵–۱۹۷۶ به‌ترتیب ۲۳/۰۹، ۲/۲۲، ۱۱/۰۲ و ۳۲/۰۲ میلی‌متر است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، الگوی تغییرات فصلی بارش در ایران بیش‌ترین بارش را در زمستان و کم‌ترین بارش را در تابستان نشان می‌دهد. عمده مدل‌های مورد ارزیابی دچار بیش برآورد در فصل بهار نسبت به مقدار مشاهده‌ای و کم برآورد در فصل زمستان نسبت به مقدار مشاهده‌ای هستند. جهت درک بهتر میزان تغییرپذیری هر یک از مدل‌ها، مقدار اریب نسبی آن‌ها با توجه به بارش مشاهداتی در کنار متوسط بارش شبیه‌سازی شده ارائه شده است. در فصل بهار کم‌ترین اریب نسبی محاسبه شده برای مدل‌های CMIP5 و CMIP6 به ترتیب متعلق به مدل‌های CMCC-CM و CanESM5 به اندازه‌های ۶/۸۵ و ۱ درصد بوده و بیش‌ترین اریب نسبی محاسبه شده نیز مربوط به مدل‌های MIROC5 و MIROC6 به مقادیر ۶۵/۰۳ و ۶۲/۵۸ درصد است. در این فصل عمده مدل‌های CMIP6 استفاده شده به غیر از پنج مدل CMCC-ESM2، FGOAL-g3، GFDL-ESM4، INM-CM4-8 و MIROC6 نسبت به همتای خود در پروژه پنجم CMIP دارای اریب نسبی کم‌تری هستند و برای مدل‌هایی از جمله CanESM5، ACCESS-CM2، BCC-CSM2-MR، EC-Earth3 و IPSL-CM6A-LR مقدار این معیار کم‌تر از ۱۰ درصد است. هم‌چنین در این فصل، CMIP6-MME نسبت به CMIP5-MME دارای میزان اریب نسبی کم‌تری در مقایسه با بارش مشاهداتی بوده و نشانگر عملکرد مطلوب این نسل از مدل‌ها در شبیه‌سازی متوسط بارش در فصل بهار برای دوره ۱۹۷۶ الی ۲۰۰۵ در کشور ایران طبق معیار مدنظر است.

در فصل تابستان، همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، عمده GCMها مقداری بیش از مقدار بارش مشاهداتی برآورد کرده‌اند و دارای میزان اریب مثبت هستند. در هر دو CMIP مدل‌هایی که مقدار بارش آن‌ها برای فصل تابستان نسبت به مقدار مشاهداتی کم‌تر برآورد شده است، عبارتند از: BCC-CSM1-1-m، MIROC5 و MIROC6. در این فصل کم‌ترین میزان اریب نسبی محاسبه شده برای مدل‌های CMIP5 و CMIP6 به ترتیب مربوط به مدل‌های MPI-ESM-MR و CMCC-ESM2 به مقادیر ۴/۲۳– و ۰/۴ درصد است و بیش‌ترین میزان برای این معیار توسط مدل‌های INMCM4.0 و INM-CM4-8 به اندازه ۳۱۹/۹۳ و ۲۰۱/۴۷ درصد اندازه‌گیری شده است. نکته حائز اهمیت در رابطه با فصل تابستان نسبت به سایر فصول همان‌طور که در شکل مربوطه نیز مشاهده می‌شود، این است که میزان اریب نسبی محاسبه شده برای مدل‌ها در مقایسه با داده مشاهداتی بیش‌تر بوده و این نوع اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی می‌تواند به دلیل کاهش شدید بارش در این فصل در کشور ایران و عدم توانمندی مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی مناسب متغیر اقلیمی مدنظر در این فصل باشد. همانند فصل بهار، در فصل تابستان نیز CMIP6-MME نسبت به CMIP5-MME میزان اریب نسبی کم‌تری داشته و دلالت بر برتری این نسل از مدل‌ها نسبت به نسخه قبلی خود در شبیه‌سازی متغیر بارش در این فصل دارد. در رابطه با فصل پاییز همانند دو فصل بهار و تابستان، عمده مدل‌های مورد ارزیابی متوسط بارش برای این فصل را نسبت به مقدار واقعی بیش‌تر برآورد کرده‌اند. در این فصل مدل MPI-ESM-LR از CMIP5 و مدل MIROC6 از CMIP6 دارای کم‌ترین میزان اریب نسبی به اندازه‌های ۰/۵۳ و ۰/۳۳– درصد بوده و از طرفی مدل‌های BCC-CSM1-1-m و FGOAL-g3 از بیش‌ترین میزان اریب نسبی به مقادیر ۸۶/۵۱ و ۱۰۴/۵۶ درصد برخوردارند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

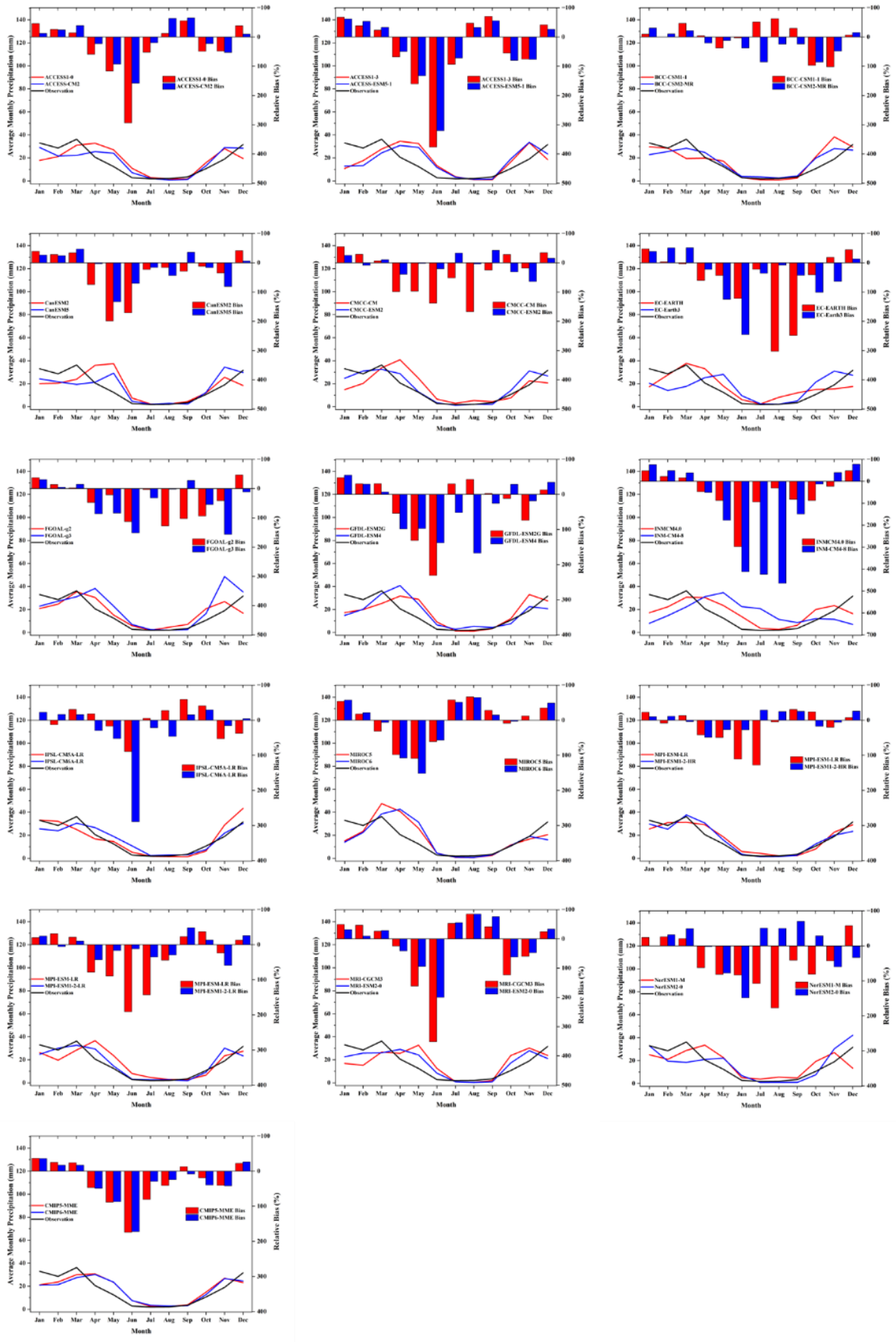


شکل ۶- سری زمانی متوسط بارش سالانه مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP5 و CMIP6 به همراه میزان اریب نسبی آن‌ها

Figure 6- Time series of annual average precipitation of observational and simulated values by CMIP5 and CMIP6 models along with their relative bias

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

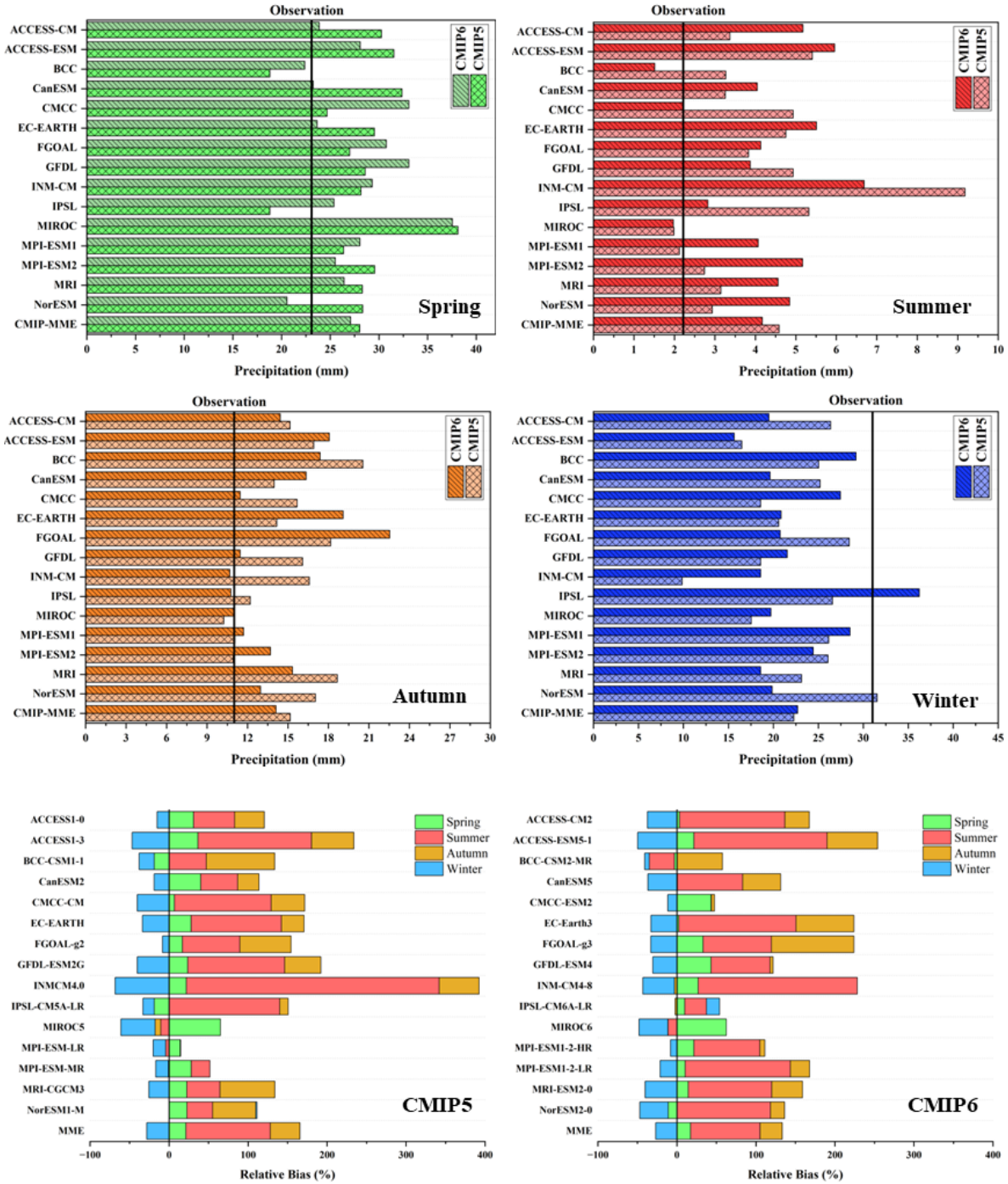


شکل ۷- متوسط بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به همراه اریب نسبی آن‌ها

Figure 7- Observed and simulated monthly average precipitation by climate models along with their relative bias

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]



شکل ۸- متوسط بارش شبیه‌سازی شده در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان توسط مدل‌های اقلیمی و میزان اریب نسبی هر یک از مدل‌ها در شبیه‌سازی بارش برای فصول مورد ارزیابی

Figure 8- Simulated average precipitation in spring, summer, autumn and winter by climate models and the relative bias of each model in simulating precipitation for the evaluated seasons

به‌طورکلی، عمده مدل‌های CMIP6 در مقایسه با مدل‌های CMIP5 دارای مقدار اریب نسبی کم‌تری با توجه به داده مشاهداتی هستند که این موضوع در رابطه با همادی هر دو نسل از مدل‌ها نیز صدق می‌کند. در فصل زمستان بر خلاف سایر فصول، مقدار بارش شبیه‌سازی شده توسط عمده مدل‌های اقلیمی مورد استفاده نسبت به بارش مشاهداتی برای این فصل کم‌تر بوده و به عبارتی مدل‌ها در این فصل دچار برآورد کم‌تر نسبت به مقدار مشاهده‌ای هستند. کم‌ترین میزان اریب نسبی محاسبه شده در این فصل برای مدل‌های CMIP5 و CMIP6 به ترتیب مربوط به مدل‌های NorESM1-M و BCC-CSM2-MR به مقادیر ۱/۶۱ و ۵/۹۱ درصد است و بیش‌ترین میزان برای این معیار توسط مدل‌های INMCM4.0 و BCC-CSM2-MR به اندازه ۶۸/۲۵- و ۴۹/۶۱- درصد اندازه‌گیری شده است. در این فصل نیز عمده

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

مدل‌های CMIP6 به همراه همادی آن‌ها از اریب نسبی کم‌تری نسبت به همتای خود برخوردارند که حاکی از عملکرد مطلوب این نسخه از مدل‌ها نسبت به نسخه قبلی خود در شبیه‌سازی بارش در فصل زمستان برای ایران است.

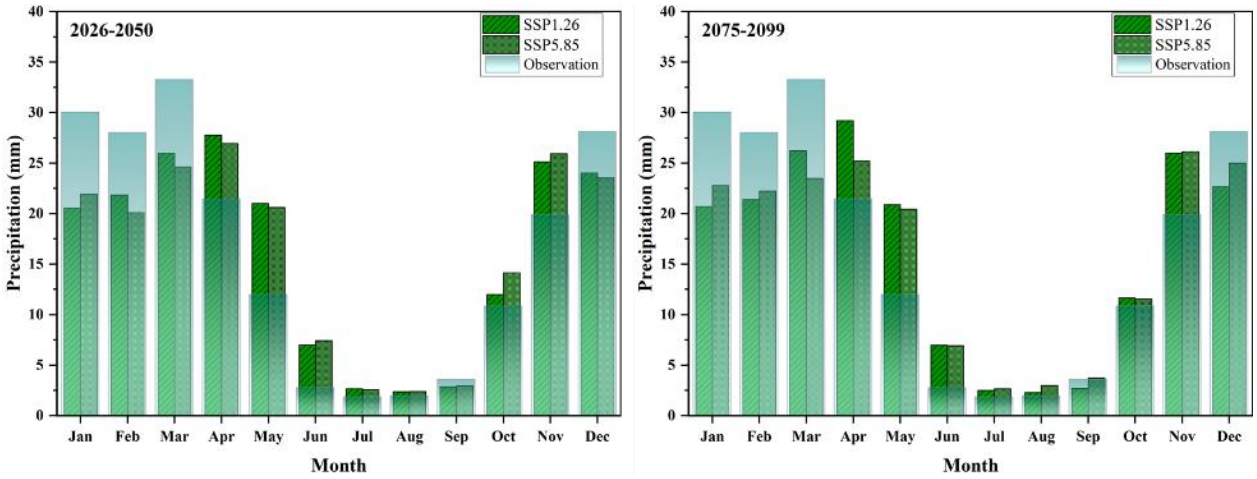
با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی تغییرات بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در مقیاس‌های زمانی سالانه، ماهانه و فصلی می‌توان اظهار کرد که عمده مدل‌های CMIP6 در هر سه مقیاس زمانی مورد ارزیابی میزان اریب نسبی کم‌تری نسبت به مدل‌های CMIP5 در شبیه‌سازی بارش کشور ایران نشان می‌دهند که این نکته در رابطه با همادی مدل‌های هر یک از CMIPها نیز صدق می‌کند. لازم به ذکر است، تمامی مدل‌های مورد ارزیابی از پروژه CMIP6 نسبت به همتای خود در CMIP5 در هر سه حالت ارزیابی به‌طور مطلق برتری نداشته و برخی از مدل‌های CMIP5 نسبت به مدل مدنظر از CMIP6 عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند. به‌طور کلی، در کنار CMIP5-MME و CMIP6-MME مدل‌هایی هم‌چون، BCC-CSM1-1-m، CMCC-CM، MPI-ESM-LR و MPI-ESM-MR از CMIP5 و مدل‌هایی از جمله BCC-CSM2-MR، MPI-ESM1-2-HR و MPI-ESM1-2-MR از CMIP6 در شبیه‌سازی متوسط بارش سالانه، ماهانه و فصلی در طول دوره آماری ۲۰۰۵–۱۹۷۶ برای ایران نسبت به سایر مدل‌های مورد ارزیابی عملکرد مطلوب‌تری نشان دادند. مطالعاتی زیادی در راستای ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP5 و CMIP6 انجام شده است که در بسیاری از آن‌ها نشان داده شده است که مدل‌های CMIP6 با توجه به دربرگیری درهم‌تنیدگی‌های افزون در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی نسبت به مدل‌های CMIP5 قابلیت عملکردی بهتر دارند (Fan et al., 2020; Wang et al., 2021; Zamani et al., 2020). اما، در برخی پژوهش‌های محدود نیز برتری مدل‌های CMIP6 نسبت به CMIP5 تایید نشده و نتایج حاصل نشانگر این است که بسته به موقعیت جغرافیایی امکان توانمندی بیش‌تر مدل‌های CMIP5 نسبت به CMIP6 موجود است (Li and Su, 2020; Wang et al., 2022; Zhu and Yang, 2020).

پیش‌نگری بارش در دوره آتی

شکل ۹ نشانگر ارزیابی تغییرات زمانی بارش شبیه‌سازی شده به صورت متوسط ماهانه در دوره‌های پیش‌نگری ۲۰۵۰–۲۰۲۶ و ۲۰۹۹–۲۰۷۵ تحت دو سناریو SSP1.26 و SSP5.85 است. مقادیر شبیه‌سازی شده بارش توسط همادی مدل‌های مورد استفاده CMIP6 با توجه به قابلیت عملکردی بالای آن‌ها نسبت به مدل‌های CMIP5، در کنار مقادیر مشاهداتی برای دوره پایه در شکل مزبور نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، نتایج بارش شبیه‌سازی شده توسط CMIP6-MME پس از اعمال روش تصحیح اریبی نگاشت چندکی حاکی از کاهش بارش در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس در هر دو دوره ارزیابی تحت سناریوهای SSP1.26 و SSP5.85 است. هم‌چنین، برای ماه سپتامبر شبیه‌سازی انجام شده توسط مدل مذکور در دوره ۲۰۵۰–۲۰۲۶ تحت هر دو سناریو، مقدار بارش کشور ایران نسبت به مقدار مشاهداتی کم‌تر برآورده شده و در دوره ۲۰۷۵–۲۰۹۹ نیز کاهش بارش در این ماه تنها تحت سناریو SSP1.26 رخ داده و برای سناریو SSP5.85 افزایش بارش نسبت به مقدار مشاهده‌ای برآورد شده است. در ماه‌های آوریل، می، ژوئن، جولای، آگوست، اکتبر و نوامبر بر خلاف سایر ماه‌های سال بارش شبیه‌سازی شده در هر دو دوره مدنظر تحت دو سناریو SSP1.26 و SSP5.85 نسبت به بارش مشاهده‌ای حالت افزایشی داشته، به‌طوری‌که افزایش بارش در ماه‌های آوریل، می، ژوئن و نوامبر نسبت به مقدار مشاهداتی چشم‌گیر بوده اما، برای ماه‌های جولای، آگوست و اکتبر افزایش بارش شبیه‌سازی شده نسبت به بارش مشاهداتی به صورت کم و جزئی رقم خورده است. به‌طورکلی، طبق CMIP6-MME استفاده شده در پژوهش حاضر، مقدار بارش شبیه‌سازی شده تحت دو سناریوهای SSP1.26 و SSP5.85 برای دو دوره ۲۰۵۰–۲۰۲۶ و ۲۰۹۹–۲۰۷۵ در اکثر ماه‌های سال بیش از مقدار بارش مشاهده‌ای برآورد شده یا به عبارتی در ماه‌هایی که در کشور ایران بارش نسبت به ماه‌های اول و آخر سال حالت کاهشی پیدا کرده، مدل مذکور مقدار بارش را نسبت به مقدار مشاهداتی بیش‌تر برآورد کرده است که این موضوع همان‌طور که در بخش قبل نیز اشاره شد، می‌تواند به علت افت شدید بارش کشور ایران در ماه‌های میانی سال و عدم توانمندی بالای مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی متغیر اقلیمی بارش برای این ماه‌ها باشد. به‌صورت عام، ، با نظر به شبیه‌سازی بارش ایران در دوره‌های آتی ۲۰۵۰–۲۰۲۶ و ۲۰۷۶–۲۰۹۰ تحت سناریوهای SSP1.26 و SSP5.85 از CMIP6 که نشانگر کاهش بارش در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس و افزایش ناگهانی مقدار شبیه‌سازی شده بارش پس از ماه مارس در ماه‌های آوریل و می نسبت به مقدار مشاهده‌ای است، می‌توان چنین استدلال کرد که؛ خطای سیستماتیکی مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی بارش ایران هم‌چنان وجود دارد و بسته به روش ریزمقیاس‌نمایی یا اصلاح متغیر اقلیمی مورد ارزیابی مقدار آن می‌تواند متفاوت باشد. این بخش از نتایج به دست آمده با اظهارات پژوهشگرانی هم‌چون، Li and Su (2020) و Wang et al. (2022) مطابقت دارد. شایان ذکر است، بیش‌ترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده متعلق به سناریو SSP5.85 در دوره ۲۰۹۹–۲۰۷۵ برای ماه مارس به اندازه ۹/۸۱ میلی‌متر کاهش نسبت به بارش مشاهداتی و کم‌ترین اختلاف نیز مربوط به سناریو SSP1.26 در دوره ۲۰۵۰–۲۰۲۶ برای ماه مارس به مقدار ۰/۰۳ میلی‌متر کاهش نسبت به بارش مشاهداتی برآورد شده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]



شکل ۹- متوسط بارش ماهانه شبیه‌سازی شده در دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۶ (سمت چپ) و ۲۰۹۹-۲۰۷۵ (سمت راست) تحت سناریوهای SSP1.26 و SSP5.85 در مقایسه با بارش مشاهداتی در دوره پایه

Figure 9- Monthly average simulated precipitation for the periods 2026-2050 (left) and 2075-2099 (right), under the SSP1.26 and SSP5.85 scenarios, compared to baseline observed precipitation

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر تلاشی در جهت ارزیابی عملکرد ۱۵ مدل اقلیمی از CMIP5 و همان تعداد مدل از CMIP6 در شبیه‌سازی متغیر اقلیمی بارش در کشور ایران انجام شد. در راستای انجام این پژوهش، تمامی مدل‌های منتخب تحت شرایط یکسان برای دوره پایه (۱۹۷۶-۲۰۰۵) به صورت ماهانه از پایگاه داده MetaGrid استخراج شد. پس از ریزمقیاس‌نمایی نقطه‌ای اطلاعات اخذ شده برای هر ایستگاه، مقادیر بارش شبیه‌سازی شده با استفاده از روش نگاشت چندکی اصلاح و همادی هر نسل از مدل‌ها با توجه به روش میانگین وزنی ساخته شده و در ادامه با داده‌های مشاهداتی طبق دیاگرام تیلور و معیار TSS مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. در نهایت تغییرات زمانی بارش شبیه‌سازی شده به صورت متوسط ماهانه توسط CMIP6-MME در دوره‌های پیش‌نگری ۲۰۵۰-۲۰۲۶ و ۲۰۹۹-۲۰۷۵ تحت دو سناریو SSP1.26 و SSP5.85 نشان داده شد.

همان‌طور که نتایج ارزیابی و مقایسه عملکرد شبیه‌سازی بارش GCMها در دوره پایه نشان می‌دهد، عمده مدل‌های CMIP6 عملکرد شبیه‌سازی بارش بهتری نسبت به مدل‌های CMIP5 در ایران داشته و تعداد معدودی از مدل‌های CMIP5 نسبت به همتای خود در CMIP6 از توانمندی بیش‌تری در شبیه‌سازی متغیر اقلیمی بارش برخوردار بودند. با توجه به ارزیابی‌های مکانی از CMIP5-MME و CMIP6-MME، نسل به‌روز مدل‌های اقلیمی مورد استفاده قابلیت شبیه‌سازی بهتر متغیر اقلیمی بارش در مقایسه با مقادیر مشاهداتی داشته و از تغییرپذیری کم‌تر الگوی بارشی نسبت به بارش مشاهداتی برخوردارند. با ارزیابی تغییرات زمانی بارش شبیه‌سازی شده می‌توان چنین استدلال کرد که؛ در کنار CMIP5-MME و CMIP6-MME مدل‌هایی همچون، BCC-CSM1-1-m، CMCC-CM، MPI-ESM-LR و MPI-ESM-MR از CMIP5 و مدل‌هایی از جمله BCC-CSM2-MR، MPI-ESM1-2-HR و MPI-ESM1-2-MR از CMIP6 نسبت به سایر مدل‌ها قابلیت بالایی برای شبیه‌سازی بارش ایران دارند. نتایج حاصل از ارزیابی همادی مدل‌های CMIP5 و CMIP6 نیز حاکی از برآورد بهتر متغیر اقلیمی بارش توسط CMIP6-MME در دوره پایه برای ایران است. شایان ذکر است، با توجه به ارزیابی مکانی و زمانی متغیر اقلیمی بارش شبیه‌سازی شده، مدل‌های اقلیمی مورد استفاده میزان اریب بیش‌تری در شبیه‌سازی بارش مناطق خشک و فصل‌های کم بارش در ایران نشان می‌دهند، درحالی‌که میزان اریب محاسبه شده در مناطق و فصل‌هایی که بارش زیادی دارند، کم‌تر است.

افزون بر موارد مذکور، نتایج حاصل از ارزیابی مدل‌های منتخب در مطالعه حاضر نشان می‌دهند، تمامی مدل‌های منفرد CMIP6 نسبت به همتای خود از CMIP5 به‌طور قطعی در شبیه‌سازی متغیر اقلیمی بارش برای ایران برتری نداشته و هر یک از مزیت‌های خاصی برخوردارند. به طوری که در پژوهش فعلی، عمده مدل‌های CMIP5 انحراف معیار نزدیک‌تری به داده مشاهداتی نسبت به مدل‌های CMIP6 نشان می دهند، اما دارای میزان همبستگی کم‌تری نسبت به مدل‌های CMIP6 هستند. از طرفی به‌عنوان مثال، مدل‌های BCC-CSM2-MR، IPSL-CM6A-LR، MPI-ESM1-2-HR و MPR-ESM1-2-LR دارای مقادیر TSS بالاتر، ضرایب همبستگی بیش‌تر و اختلاف جذر میانگین مربعات کم‌تری نسبت به مدل‌های قبلی CMIP5 هستند، درحالی‌که مدل‌های CMCC-CM و INMCM4.0 از CMIP5 نتایج بهتری نسبت به همتای خود از CMIP6 در شبیه‌سازی بارش ایران نشان می‌دهند. هم‌چنین، نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارش ایران در دوره‌های آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۶ و ۲۰۷۶-۲۰۹۰ تحت سناریوهای SSP1.26 و SSP5.85 از CMIP6 نشان می‌دهند که بارش شبیه‌سازی شده برای دوره‌های مزبور در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس کاهش یافته و پس از ماه مارس در ماه‌های آوریل و می نسبت به مقدار

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

مشاهده‌ای به‌صورت ناگهانی افزایش می‌یابد. لذا، می‌توان چنین استدلال کرد که؛ خطای سیستماتیکی مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی بارش ایران هم‌چنان وجود دارد و بسته به روش ریزمقیاس‌نمایی یا اصلاح متغیر اقلیمی مورد ارزیابی مقدار آن می‌تواند متفاوت باشد.

به‌طورکلی، در مطالعات مربوط به ارزیابی عدم قطعیت برآوردهای اقلیمی موثر پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژیکی و وضعیت منابع آبی در آینده، سهم عمده‌ای از عدم قطعیت‌های اقلیمی مربوط به انتخاب و به‌کارگیری مدل‌های اقلیمی است و نباید فراموش کرد که نسل فعلی مدل‌های اقلیمی نیز از این واقعیت فارغ نیستند (شیشه‌گران و همکاران، ۱۴۰۲الف)، به‌طوری‌که به نقص قابل توجه این مدل‌ها در پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی طی مطالعات متعدد اشاره شده است.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

حمایت مالی: این پژوهش در قالب پژوهش آزاد انجام شده و از سازمانی حمایت مالی دریافت ننموده است.

مشارکت نویسندگان: نیما نعمتی شیشه‌گران: انجام کلیه مراحل مدل‌سازی و نگارش مقاله؛ فریبا بابائیان و حجت میان‌آبادی: مشاوره و راهنمایی.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از سازمان هواشناسی ایران به منظور دسترسی به اطلاعات ایستگاهی این مطالعه تشکر نمایند.

منابع

۱. مساح بوانی، علیرضا، و مرید، سعید (۱۳۸۴). اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان. *تحقیقات منابع آب ایران*، ۱(۱)، ۴۷-۴۰. **https://www.iwrr.ir/article_32831.html**

۲. نعمتی شیشه‌گران، نیما، بابائیان، فریبا، و میان آبادی، حجت (۱۴۰۲الف). ارزیابی عدم قطعیت بارش ماهانه با به‌کارگیری GCMها و روش‌های تصحیح اریبی نگاشت چندکی. *مدیریت آب و آبیاری*، ۱۴(۲)، ۴۸۶-۴۶۳. **https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369044.1121**

۳. نعمتی شیشه‌گران، نیما، بابائیان، فریبا، و میان آبادی، حجت (۱۴۰۲ب). مقایسه مدل‌های اقلیمی CMIP6 و روش‌های تصحیح اریبی نگاشت چندکی در شبیه‌سازی بارش. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴(۱۲)، ۱۸۶۲-۱۸۴۳. **https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.366061.669585**

References

1. Abbasian, M., Moghim, S., & Abrishamchi, A. (2019). Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. Theoretical and Applied Climatology, 135, 1465-1483. doi: 10.1007/s00704-018-2456-y
2. Abbaspour, K. C., Faramarzi, M., Ghasemi, S. S., & Yang, H. (2009). Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. Water resources research, 45(10). doi: 10.1029/2008WR007615
3. Ayugi, B., Zhihong, J., Zhu, H., Ngoma, H., Babaousmail, H., Rizwan, K., & Dike, V. (2021). Comparison of CMIP6 and CMIP5 models in simulating mean and extreme precipitation over East Africa. International Journal of Climatology, 41(15), 6474-6496. doi: 10.1002/joc.7207
4. Azad, N., & Ahmadi, A. (2024). Assessment of CMIP6 models and multi-model averaging for temperature and precipitation over Iran. Scientific Reports, 14(1), 24165. doi: 10.1038/s41598-024-74789-4
5. Block, P. J., Souza Filho, F. A., Sun, L., & Kwon, H. H. (2009). A streamflow forecasting framework using multiple climate and hydrological models 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 45(4), 828-843. doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00327.x
6. Bourdeau-Goulet, S. C., & Hassanzadeh, E. (2021). Comparisons between CMIP5 and CMIP6 models: Simulations of climate indices influencing food security, infrastructure resilience, and human health in Canada. Earth's Future, 9(5), e2021EF001995. doi: 10.1029/2021EF001995
7. Chen, C. A., Hsu, H. H., & Liang, H. C. (2021). Evaluation and comparison of CMIP6 and CMIP5 model performance in simulating the seasonal extreme precipitation in the Western North Pacific and East Asia. Weather and Climate Extremes, 31, 100303. doi: 10.1016/j.wace.2021.100303
8. Chen, H., Sun, J., & Chen, X. (2014). Projection and uncertainty analysis of global precipitation-related extremes using CMIP5 models. International journal of climatology, 34(8). doi: 10.1002/joc.3871
9. Doulabian, S., Golian, S., Toosi, A. S., & Murphy, C. (2021). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. Journal of Water and Climate Change, 12(1), 166-184. doi: 10.2166/wcc.2020.114
10. Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., & Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development, 9(5), 1937-1958. doi: 10.5194/gmd-9-1937-2016

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

11. Fan, X., Miao, C., Duan, Q., Shen, C., & Wu, Y. (2020). The performance of CMIP6 versus CMIP5 in simulating temperature extremes over the global land surface. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125(18), e2020JD033031. doi: 10.1029/2020JD033031
12. Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Bavani, A. M., Wang, D., & Madani, K. (2013). Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. Science of the total environment, 442, 405-419. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.10.029
13. Gudmundsson, L., Bremnes, J. B., Haugen, J. E., & Engen-Skaugen, T. (2012). Downscaling RCM precipitation to the station scale using statistical transformations–a comparison of methods. Hydrology and Earth System Sciences, 16(9), 3383-3390. doi: 10.5194/hess-16-3383-2012
14. Gusain, A., Ghosh, S., & Karmakar, S. (2020). Added value of CMIP6 over CMIP5 models in simulating Indian summer monsoon rainfall. Atmospheric Research, 232, 104680. doi: 10.1016/j.atmosres.2019.104680
15. Hartmann, D. L. (2016). Chapter 11—Global climate models. Global Physical Climatology, 2nd, ed.; Elsevier: Boston, MA, USA, 325-360.
16. Hashemi, H., Uvo, C. B., & Berndtsson, R. (2015). Coupled modeling approach to assess climate change impacts on groundwater recharge and adaptation in arid areas. Hydrology and Earth System Sciences, 19(10), 4165-4181. doi: 10.5194/hess-19-4165-2015
17. Khan, N., Shahid, S., Ismail, T., Ahmed, K., & Nawaz, N. (2019). Trends in heat wave related indices in Pakistan. Stochastic environmental research and risk assessment, 33, 287-302. doi: 10.1007/s00477-018-1605-2
18. Khan, N., Shahid, S., Sharafati, A., Yaseen, Z. M., Ismail, T., Ahmed, K., & Nawaz, N. (2021). Determination of cotton and wheat yield using the standard precipitation evaporation index in Pakistan. Arabian Journal of Geosciences, 14, 1-16. doi: 10.1007/s12517-021-08432-1
19. Khazaei, M. R., Zahabiyoun, B., & Saghafian, B. (2012). Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. International Journal of Climatology, 32(13), 1997. doi: 10.1002/joc.2416
20. Lei, Y., Chen, J., & Xiong, L. (2023). A comparison of CMIP5 and CMIP6 climate model projections for hydrological impacts in China. Hydrology Research, 54(3), 330-347. doi: 10.2166/nh.2023.108
21. Li, J., & Su, J. (2020). Comparison of Indian Ocean warming simulated by CMIP5 and CMIP6 models. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 13(6), 604-611. doi: 10.1080/16742834.2020.1824546
22. Lun, Y., Liu, L., Cheng, L., Li, X., Li, H., & Xu, Z. (2021). Assessment of GCMs simulation performance for precipitation and temperature from CMIP5 to CMIP6 over the Tibetan Plateau. International Journal of Climatology, 41(7), 3994-4018. doi: 10.1002/joc.7055
23. Luo, N., Guo, Y., Chou, J., & Gao, Z. (2022). Added value of CMIP6 models over CMIP5 models in simulating the climatological precipitation extremes in China. Int. J. Climatol, 42(2), 1148-1164. doi: 10.1002/joc.7294
24. Massah Bavani, A. R., & Morid, S. (2005). Impacts of climate change on water resources and food production: A case study of Zayandeh-Rud Basin, Esfahan, Iran. *Iran-Water Resources Research*, 1(1), 40-47. https://www.iwrr.ir/article_32831.html [In Persian]
25. O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... & Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. Geoscientific Model Development, 9(9), 3461-3482. doi: 10.5194/gmd-9-3461-2016
26. Ortega, G., Arias, P. A., Villegas, J. C., Marquet, P. A., & Nobre, P. (2021). Present-day and future climate over central and South America according to CMIP5/CMIP6 models. International Journal of Climatology, 41(15), 6713-6735. doi: https://doi.org/10.1002/joc.7221
27. Ragno, E., AghaKouchak, A., Love, C. A., Cheng, L., Vahedifard, F., & Lima, C. H. (2018). Quantifying changes in future intensity-duration-frequency curves using multimodel ensemble simulations. Water Resources Research, 54(3), 1751-1764. doi: 10.1002/2017WR021975
28. Rao, X., Lu, X., & Dong, W. (2019). Evaluation and projection of extreme precipitation over northern China in CMIP5 models. Atmosphere, 10(11), 691. doi: 10.3390/atmos10110691
29. Razmara, P., Massah Bavani, A. R., Motiee, H., Torabi, S., & Lotfi, S. (2013). Investigating uncertainty of climate change effect on entering runoff to Urmia Lake Iran. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 10(2), 2183-2214. doi: 10.5194/hessd-10-2183-2013
30. Rivera, J. A., & Arnould, G. (2020). Evaluation of the ability of CMIP6 models to simulate precipitation over Southwestern South America: Climatic features and long-term trends (1901–2014). Atmospheric Research, 241, 104953. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.104953
31. Salehie, O., Hamed, M. M., Ismail, T. B., & Shahid, S. (2022). Projection of droughts in Amu river basin for shared socioeconomic pathways CMIP6. Theoretical and Applied Climatology, 149(3), 1009-1027. doi: 10.21203/rs.3.rs-1088081/v1
32. Salehie, O., Hamed, M. M., Ismail, T. B., Tam, T. H., & Shahid, S. (2023). Selection of CMIP6 GCM with projection of climate over the Amu Darya River Basin. Theoretical and Applied Climatology, 151(3), 1185-1203. doi: 10.1007/s00704-022-04332-w

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]

33. Sammen, S. S., Mohammed, T. A., Ghazali, A. H., Sidek, L. M., Shahid, S., Abba, S. I., & Al-Ansari, N. (2022). Assessment of climate change impact on probable maximum floods in a tropical catchment. Theoretical and Applied Climatology, 148(1), 15-31. doi: 10.21203/rs.3.rs-398782/v1
34. Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., & Farid, A. (2013). Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrood basin). Meteorological Applications, 20(1), 115-127. doi: 10.1002/met.1347
35. Shadkam, S., Ludwig, F., van Vliet, M. T., Pastor, A., & Kabat, P. (2016). Preserving the world second largest hypersaline lake under future irrigation and climate change. Science of the Total Environment, 559, 317-325. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.190
36. Shishehgaran, N. N., Babaeian, F., & Mianabadi, H. (2024a). Uncertainty assessment of monthly precipitation using multiple GCMs and quantile mapping bias correction methods. *Management*, 14(2), 463-486. https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369044.1121[In Persian]
37. Shishehgaran, N. N., Babaeian, F., & Mianabadi, H. (2024b). Comparison of CMIP6 climate models and quantile mapping bias correction methods in the simulation of precipitation. *Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN*, 2423, 7833. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.366061.669585[In Persian]
38. Sobie, S. R., Zwiers, F. W., & Curry, C. L. (2021). Climate model projections for Canada: a comparison of CMIP5 and CMIP6. Atmosphere-Ocean, 59(4-5), 269-284. doi: 10.1080/07055900.2021.2011103
39. Song, Y. H., Chung, E. S., & Shahid, S. (2021). Spatiotemporal differences and uncertainties in projections of precipitation and temperature in South Korea from CMIP6 and CMIP5 general circulation models. International Journal of Climatology, 41(13), 5899-5919. doi: 10.1002/joc.7159
40. Song, Y. H., Nashwan, M. S., Chung, E. S., & Shahid, S. (2021). Advances in CMIP6 INM-CM5 over CMIP5 INM-CM4 for precipitation simulation in South Korea. Atmospheric Research, 247, 105261. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105261
41. Su, X., Shao, W., Liu, J., & Jiang, Y. (2020). Multi-site statistical downscaling method using GCM-based monthly data for daily precipitation generation. Water, 12(3), 904. doi: 10.3390/w12030904
42. Sun, Q., Miao, C., & Duan, Q. (2015). Comparative analysis of CMIP3 and CMIP5 global climate models for simulating the daily mean, maximum, and minimum temperatures and daily precipitation over China. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 120(10), 4806-4824. doi: 10.1002/2014JD022994
43. Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. Journal of geophysical research: atmospheres, 106(D7), 7183-7192. doi: 10.1029/2000JD900719
44. Taylor, K. E., Balaji, V., Hankin, S., Juckes, M., Lawrence, B., & Pascoe, S. (2011). CMIP5 data reference syntax (DRS) and controlled vocabularies. San Francisco Bay Area: San Francisco, CA, USA.
45. Usta, D. F. B., Teymouri, M., & Chatterjee, U. (2022). Assessment of temperature changes over Iran during the twenty-first century using CMIP6 models under SSP1-26, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 scenarios. Arabian Journal of Geosciences, 15(5), 416. doi: 10.1007/s12517-022-09709-9
46. Voldoire, A., Saint-Martin, D., Sénési, S., Decharme, B., Alias, A., Chevallier, M., ... & Waldman, R. (2019). Evaluation of CMIP6 deck experiments with CNRM-CM6-1. Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 11(7), 2177-2213. doi: 10.1029/2019MS001683
47. Wang, D., Liu, J., Shao, W., Mei, C., Su, X., & Wang, H. (2021). Comparison of CMIP5 and CMIP6 multi-model ensemble for precipitation downscaling results and observational data: the case of Hanjiang River Basin. Atmosphere, 12(7), 867. doi: 10.3390/atmos12070867
48. Wang, D., Liu, J., Wang, H., Shao, W., Mei, C., & Ding, X. (2022). Performance evaluations of CMIP6 and CMIP5 models for precipitation simulation over the Hanjiang River Basin, China. Journal of Water and Climate Change, 13(5), 2089-2106. doi: 10.2166/wcc.2022.402
49. Weigel, A. P., Knutti, R., Liniger, M. A., & Appenzeller, C. (2010). Risks of model weighting in multimodel climate projections. Journal of Climate, 23(15), 4175-4191. doi: 10.1175/2010JCLI3594.1
50. Yaghoobzadeh, M. (2022). Selecting the best general circulation model and historical period to determine the effects of climate change on precipitation. IDŐJÁRÁS/Quarterly journal of the Hungarian meteorological service, 126(2), 247-265.
51. Yang, X., Zhou, B., Xu, Y., & Han, Z. (2021). CMIP6 evaluation and projection of temperature and precipitation over China. Advances in Atmospheric Sciences, 38, 817-830. doi: 10.1007/s00376-021-0351-4
52. Zabihi, O., & Ahmadi, A. (2024). Multi-criteria evaluation of CMIP6 precipitation and temperature simulations over Iran. Journal of Hydrology: Regional Studies, 52, 101707. doi: 10.1016/j.ejrh.2024.101707
53. Zamani, Y., Hashemi Monfared, S. A., Azhdari Moghaddam, M., & Hamidianpour, M. (2020). A comparison of CMIP6 and CMIP5 projections for precipitation to observational data: the case of Northeastern Iran. Theoretical and Applied Climatology, 142, 1613-1623. doi: 10.1007/s00704-020-03406-x
54. Zhu, Y. Y., & Yang, S. (2020). Evaluation of CMIP6 for historical temperature and precipitation over the Tibetan Plateau and its comparison with CMIP5. Advances in Climate Change Research, 11(3), 239-251. doi: 10.1016/j.accre.2020.08.001

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.1.6.6]