

Analyzing the Changes in Precipitation in Northwest Iran during the Coming Decades Based on the GCM Models

Roghayeh Maleki Meresht¹ | Bromand Salahi^{2✉} | Mahnaz Saber³

1. Postdoctoral Researcher of Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail roghayeh.maleki1395@gmail.com

2. Corresponding author, Professor of Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail: salahi@uma.ac.ir

3. Postdoctoral Researcher of Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

E-mail: mahnaz.saber@uma.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	The current research was carried out to analyze the changes in precipitation in northwest Iran during the coming decades based on GCM models. For this purpose, first, the precipitation of 1985-2014 was trended based on the Mann-Kendall test. Then, the daily precipitation data for each of the studied stations was simulated in SDSM6.1 software for 1985-2014. Then, under the scenarios (SSP2-4.5) and (SSP5-8.5) of CanEsm5 and MPI-ESMI-2HR models, the precipitation of 2015-2043 was predicted. To evaluate the performance of CMIP6 models and compare the basic and predicted values, MSE, RMSE, and MAE statistical measures were used. According to the results of the Man-Kendal test, the precipitation of the base period in the stations of Tabriz, Ardabil, Urmia, Takab, and Maragheh has a decreasing trend and in the stations of Meshginshahr, Sardasht, Mako, Khalkhal, Sarab, Jolfa, and Parsabad it has an increasing trend. Among the 12 investigated stations, only the Maragheh station had a significant decreasing trend. In other stations, precipitation trends were not significant. According to the predictions made based on the mentioned models, under the medium scenario (SSP 2-4.5), the precipitation will decrease in late winter and early spring. In other months, especially summer and autumn months, the percentage of precipitation will be higher. Based on the SSP5-8.5 scenario, the highest percentage of precipitation decrease in the MPI model was predicted by 33% in Jolfa, Sardasht, and Maragheh stations, and in the CanESM5 model, about 33-35% in Jolfa, Takab, and Urmia stations. According to the results, although both models predicted precipitation with a relatively high error, the MPI model had a lower error and more accuracy in predicting precipitation than the CanESM5 model.
Article history: Received: 11 December 2023 Revised : 28 January 2024 Accepted :3 February 2024 Published : 18 February 2025	
Keywords: GCM, Northwest Iran, Precipitation, SDSM6.1, SSP.	
Cite this article: Maleki Meresht, R., Salahi, B., & Saber3, M. (2025). Analyzing the Changes in Precipitation in Northwest Iran during the Coming Decades Based on the GCM Models. <i>Journal of Geography and Planning</i> , 28 (90), 309-327. http://doi.org/10.22034/gp.2024.59552.3212	
	
© The Author(s). DOI: http://doi.org/10.22034/gp.2024.59552.3212	Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Climate change is one of the most important concerns of the present and future centuries. The increasing growth of industries and factories on the one hand and deforestation and environmental destruction on the other hand have resulted in the increase of greenhouse gases on the surface of the earth. Climate change can have significant effects on climatic parameters and affect other components of a system such as water and soil resources. One of the main components of the hydrological cycle is precipitation, which has a significant impact on natural ecosystems, especially irrigation and drainage. Precipitation is one of the important climatic elements and its sudden changes can change the climate structure of any region. Changes in the intensity and frequency of precipitation, including extreme events, have the greatest impact on water resources management and flood risk management.

Data and method

The present research was conducted in two stages. In the first stage, the precipitation trend of 12 selected stations during the past period (1985-2014) was investigated and the Mann-Kendall graphic test was used to analyze the trend. In the next step, simulation and prediction of precipitation for the coming period were done. To carry out this stage of the research, two sets of data were needed. The first category was the daily precipitation data of the synoptic stations of Jolfa, Tabriz, Sarab, Maragheh, Parsabad, Meshkinshahr, Ardabil, Khalkhal, Mako, Urmia, Takab, and Sardasht, which were obtained from the IRIMO (Islamic Republic of Iran Meteorological Organization). The second category was the GCMs model data including CanEsm5, MPI-ESMI-2HR, from the CMIP6 model series, which was obtained from the website of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (<https://climate-scenarios.canada.ca/?page=pred-cmip6>). Then, the precipitation of the studied stations was predicted in SDSM6.1 software, for the base period, simulation, and under two new scenarios (SSP2-4.5) and (SSP5-8.5) for the future (2015-2043). To evaluate the accuracy of CanEsm5, MPI-ESMI-2HR models, measurement error indices (MSE), (RMSE), and (MAE) were used.

Discussion

Examining the Man-Kendall graph test showed that in the series of total annual precipitation in Tabriz, Urmia, Ardabil, Takab, and Maragheh stations, the U curve moved to the negative side. In other words, the precipitation in these stations has had a negative and decreasing trend in recent years. Also, in the stations of Meshkinshahr, Sardasht, Mako, Khalkhal, Sarab, Jolfa, and Parsabad, since the two curves of the Mann-Kendall diagram test have crossed each other in the positive range, the precipitation trend has been increasing. Among the 12 studied stations, only the Maragheh station's precipitation has had a significant decreasing trend. In other stations, because the U graph did not cross the two lines $Y=1.96$ and $Y=-1.96$, therefore the increasing and decreasing trends in the series were not significant. Although in the MPI and CanESM5 models, the error rate based on MAD, MSE, and RMES error metrics was relatively high, the error rate of observation data with data generated for all stations in the MPI model was lower than the CanESM5 model. Since the amount of error in both models was almost close to each other, therefore, the forecasting of precipitation amounts for the coming years was done based on both models. According to the findings of the research, based on MPI and CanESM5 models and based on the intermediate scenarios of SSP 2-4.5 and pessimistic SSP 5-8.5, in all studied stations, the simulated and predicted precipitation values for 2015-2043 in most of the months of the year will be lower than the values of the base period. The results also showed that in Meshkinshahr, Mako, Sardasht, Sarab, Parsabad, and Jolfa stations, there will be a slight increase in rainfall in the last months of winter and the beginning of spring, and in other months, especially in late summer and early autumn, there will be a decrease in precipitation. In other stations, although no increase in precipitation was predicted, the lowest percentage decrease was predicted in the months of late winter and early spring, and the highest decrease was predicted in summer and autumn. Also, the highest percentage of precipitation decrease in the MPI model was predicted by 33% for Jolfa, Sardasht, and Maragheh stations, and in the CanESM5 model about 33-35% for Jolfa, Takab, and Urmia stations.

Results

According to the results of precipitation trending, among the 12 selected stations, only Maragheh station had a significant decreasing trend at the 95% confidence level, but in other stations, the increasing and decreasing trends in the precipitation series were not significant. The validation results of the GCM models also showed that although the error rate was relatively high in both models, especially in the MSE index, the error rate of the observation data with the data generated for all stations in the MPI model was lower than the CanESM5 model. Therefore, this model simulated the precipitation of the study area with more accuracy and less error. The findings also showed that in all the selected stations, the rainfall changes will not be the same in all months of the year. In some stations, a slight increase in precipitation was predicted in the last months of winter and early

spring, and a decrease in precipitation in late summer and early autumn. In some stations, although an increase in precipitation was not predicted, the lowest percentage of precipitation decrease was predicted for late winter and early spring, and the highest decrease in precipitation was predicted for summer. In general, in all studied stations, the decrease in precipitation will be more than its increase.





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

واکاوی تغییرات بارش شمال غرب ایران طی دهه‌های آتی بر اساس مدل‌های GCM

رقیه ملکی مرشت^۱ | برومند صلاحی^۲ | مهناز صابر^۳

۱. پژوهشگر پسادکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: roghayeh.maleki1395@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: salahi@uma.ac.ir
۳. پژوهشگر پسادکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: mahnaz.saber@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰ کلیدواژه‌ها: بارش، شمال غرب ایران، SDSM6.1، GCM، SSP	پژوهش حاضر با هدف واکاوی تغییرات بارش شمال غرب ایران طی دهه‌های آتی بر اساس مدل‌های GCM صورت گرفته است. بدین منظور، ابتدا بارش سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۴ بر اساس آزمون من-کندال روندیابی گردید. سپس داده‌های روزانه بارش برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار SDSM6.1 برای ۱۹۸۵-۲۰۱۴ شبیه‌سازی شد. آنگاه تحت سناریوهای (SSP2-4.5) و (SSP5-8.5) مدل‌های CanEsm5 و MPI-ESM1-2HR، بارش سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۳ پیش‌بینی شد. جهت ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 و مقایسه مقادیر پایه و پیش‌بینی‌شده، از سنج‌های آماری MSE، RMSE و MAE استفاده شد. بر اساس نتایج آزمون من-کندال، بارش دوره پایه در ایستگاه‌های تبریز، اردبیل، ارومیه، تکاب و مراغه دارای روند کاهشی و در ایستگاه‌های مشگین‌شهر، سردشت، ماکو، خلخال، سراب، جلفا و پارس‌آباد دارای روند افزایشی بود. از بین ۱۲ ایستگاه مورد بررسی، فقط بارش ایستگاه مراغه روند کاهشی معنادار داشت. در سایر ایستگاه‌ها روندهای بارش معنی‌دار نبود. بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده بر اساس مدل‌های مذکور، تحت سناریوی متوسط (SSP 2-4.5)، در اواخر زمستان و اوایل بهار، بارش کاهش خواهد یافت. در سایر ماه‌ها به‌ویژه ماه‌های تابستان و پاییز، درصد کاهش بارش بیشتر خواهد بود. بر اساس سناریوی SSP5-8.5، بیشترین درصد کاهش بارش در مدل MPI به میزان ۳۳٪ در ایستگاه‌های جلفا، سردشت، مراغه و در مدل CanESM5 حدود ۳۳ الی ۳۵ درصد در ایستگاه‌های جلفا، تکاب و ارومیه پیش‌بینی گردید. طبق نتایج حاصل، اگرچه هر دو مدل، بارش را با خطای نسبتاً بالایی پیش‌بینی نمودند، لیکن مدل MPI نسبت به مدل CanESM5 خطای کمتر و دقت بیشتری در پیش‌بینی بارش داشت.

استناد: ملکی مرشت، رقیه؛ صلاحی، برومند؛ صابر، مهناز (۱۴۰۳). واکاوی تغییرات بارش شمال غرب ایران طی دهه‌های آتی بر اساس مدل‌های GCM.

جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۸ (۹۰)، ۳۰۹-۳۲۷

<http://doi.org/10.22034/gp.2024.59552.3212>



© نویسنده گان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

رشد فزاینده صنایع و کارخانه‌ها از یک سو و جنگل‌زدایی و تخریب محیط‌زیست از سویی دیگر، افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای را در سطح کره زمین به دنبال داشته است. در این زمینه، IPCC به عنوان مهم‌ترین مرجع پژوهش‌های پیش‌بینی مربوط به تغییر اقلیم تاکنون چندین نسل از سناریوهای انتشار را ارائه داده و بر اساس نتایج مدل‌سازی‌های مختلف تغییر اقلیم، شش گزارش ارزیابی از تغییر اقلیم را منتشر کرده است. در حال حاضر، مدل‌های مختلف گردش عمومی جو CGCMS دقیق‌ترین ابزار جهت کمی سازی اثر تغییر اقلیم روی پارامترهای هواشناسی هستند (ماسون^۱، ۲۰۰۴: ۱۵۵). در گزارش اخیر IPCC، جدیدترین مدل‌های تغییر اقلیم با عنوان مدل‌های سری CMIP6 می‌باشند که اقلیم آینده را تحت سناریوهای انتشار SSP شبیه‌سازی می‌کنند (هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۲۲). به عقیده‌ی پژوهشگران تغییر اقلیم یک پدیده مستند و موجب تغییرات در الگوهای آب و هوایی شناخته شده است که به احتمال زیاد ادامه خواهد داشت (دی اولیوریا^۲، ۲۰۱۹: ۲۰). تغییرات مذکور، می‌تواند تأثیرات قابل توجهی بر پارامترهای اقلیمی داشته و نهایتاً سایر اجزا یک سیستم مانند منابع آب و خاک را تحت تأثیر قرار دهد (هیپیت و همکاران^۳، ۲۰۱۹؛ به نقل از سرابی و همکاران، ۱۳۹۹: ۶۳). یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژیکی بارش است که تأثیر قابل توجهی بر اکوسیستم به‌ویژه آبیاری و زهکشی دارد. بارش یکی از عناصر مهم اقلیمی است و تغییرات ناگهانی کوتاه‌مدت و درازمدت آن می‌تواند ساختار آب و هوای هر منطقه‌ای را دگرگون سازد. این پارامتر مهم اقلیمی، به‌طور مستقیم تحت تأثیر افزایش دمای جهانی می‌باشد که سبب افزایش میزان تبخیر و ترق و در نتیجه سبب غلظت بخار آب موجود در جو می‌گردد. در میان متغیرهای آبی- اقلیمی، بارش به دلیل اهمیتی که در بحث مدیریت پایدار آب، کشاورزی و اکولوژی دارد، مهم‌ترین و مورد توجه‌ترین متغیر است (دایرس و همکاران^۴، ۲۰۲۱: ۵۱۷). تغییرات شدت و فراوانی بارش، از جمله رخدادهای فرین، بیشترین تأثیر را بر مدیریت منابع آب و مدیریت ریسک سیلاب دارد. طبق توضیحات ارائه شده، تغییرپذیری خصوصیات مختلف بارش از جمله: شدت، فراوانی، نوع و توزیع زمانی آن در مناطق مختلف دور از انتظار نیست (ناسیدی و همکاران^۵، ۲۰۲۱: ۱۷).

شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم، جزء مباحث مهم و در کانون توجه پژوهشگران کشور است. با توجه تحولات اقلیمی که در اثر تغییر اقلیم رخ داده و به لحاظ اهمیتی که تغییرات پارامتر اقلیمی طی دهه‌های اخیر پیدا کرده، این مسئله در سطح منطقه‌ای و جهانی، مورد مطالعه و بررسی بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است و مطالعات متعدد، در داخل و خارج از کشور، عملکرد مدل‌های GCM را در شبیه‌سازی ویژگی‌های بارش در مقیاس‌های مختلف ارزیابی کرده‌اند.

سانگ و همکاران^۶ (۲۰۱۲) تغییر اقلیم قرن ۲۱ را بر اساس مدل NIMS-KMA از سری مدل‌های CMIP6 پیش‌بینی کردند. طبق یافته‌های آنان دمای جهانی به میزان ۱/۹۲ تا ۵/۲ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت و میانگین بارش نیز افزایش و وسعت یخ‌های قطبی کاهش خواهد یافت. منون و همکاران^۷ (۲۰۱۳) بارش‌های موسمی تابستانه هند را بر اساس مدل CMIP5 بررسی کردند و طبق یافته‌های آنان میانگین بارش فصلی در طول بارش موسمی تابستان به‌طور مداوم افزایش خواهد یافت. نیالور و همکاران^۸ (۲۰۱۹)، جهت بررسی تأثیرات تغییر اقلیم برای چهار دوره آینده در حوضه رودخانه Purna در هندوستان از سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 استفاده کردند. نتایج آن‌ها یک روند افزایشی قابل توجه را برای بارش تحت هر دو سناریو نشان داده‌اند. لی و همکاران^۹ (۲۰۲۰) بارش آبی رودخانه یانگ تسه در چین را با استفاده از ۱۸

1. Mason

2. De Oliveira

3. Hipit et al

4. Diress

5. Nasidi

6. Sung

7. Menon

8. Nilawar

9. Li et al.

مدل CMIP6 بررسی کردند. طبق نتایج پژوهش آنان، میزان بارش در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۵ تحت سناریوی SSP 1-2.5 به میزان ۱۴/۷۶ میلی‌متر و تحت سناریوی SSP 5-8.5 به میزان ۲۲/۴۷ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. نوگوما و همکاران^۱ (۲۰۲۱) به شبیه‌سازی بارش اوگاندا با مدل‌های CMIP6 پرداختند. آنان برای این کار از ۱۶ مدل GCM استفاده کردند. طبق پیش‌بینی انجام شده با اکثر مدل‌ها، بارش طی ماه‌های سپتامبر تا نوامبر افزایش خواهد یافت. کوی و همکاران^۲ (۲۰۲۱) دما و بارش فلات تبت را با مدل‌های CMIP6 شبیه‌سازی نمودند. بر اساس یافته‌های آنان همانند دوره مشاهداتی، در دوره پیش‌بینی‌شده نیز هر دو متغیر بارش و دما در تمام فصول روند افزایشی نشان داده‌اند. مسگردی و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 و پیش‌بینی بارش بر اساس سناریوهای SSP در منطقه MENAP پرداختند و یافته‌های آنان نشان داده است که میزان بارش به‌جز مناطقی مانند دریای سیاه، مدیترانه، نواحی ساحلی دریای سرخ و مناطق کوهستانی و مرتفع، در سایر نقاط محدوده مورد مطالعه آنان عمدتاً کاهش خواهد یافت که بیشترین میزان کاهش بارش در کشورهای خاورمیانه رخ خواهد داد. کویسی نونی و همکاران^۳ (۲۰۲۳) به ارزیابی میانگین بارش گذشته آفریقا و شبه‌جزیره عربستان بر اساس مدل CMIP6 در مقایسه با مشاهدات پایه ماهواره‌ای پرداخته‌اند. نتایج نشان داده‌اند که مدل CMIP6 MME نسبت به اکثر مدل‌های منفرد عملکرد بهتری در شبیه‌سازی و پیش‌بینی بارش دارد. لی و همکاران^۴ (۲۰۲۳) به بررسی عملکرد مدل‌های CMIP6 و مدل‌های چندگانه در پیش‌بینی بارش سنگین در آسیای خشک مرکزی پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها عملکرد مناسب مدل‌های GCM را در پیش‌بینی بارش مناطق خشک آسیای مرکزی تأیید کرده است. روحی پناه و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی دما و بارش در اقلیم گرم و خشک ایستگاه‌های همدیدی یزد و طبس پرداختند. یافته‌های آنان توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی دما را تأیید کرده است. معصوم‌پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۶)، دقت داده‌های بارش مدل‌های CMIP5 را با استفاده از EF، BIAS و RMSE ارزیابی کرده و نشان دادند که مدل‌های بررسی شده از توانایی بالایی در برآورد بارش کشور برخوردار نیستند. زارعی و همکاران (۱۳۹۷) که در تحقیق خود از سه سناریوی RCP2.6, RCP8.5, RCP4.5 برای بررسی تغییرات اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری استفاده کردند، افزایش متوسط دما در مقیاس سالانه را تحت هر سه سناریو بین ۱/۶ تا ۱/۸ درجه سلسیوس و افزایش بارش در فصول بهار و تابستان و کاهش بارش در فصل زمستان را گزارش کرده‌اند. حیدری تاشه کبود و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تغییرات بارش در شمال غرب ایران با استفاده از مدل‌های گردش کلی جو تحت سناریوهای اقلیمی پرداختند.

میرزایی و همکاران (۱۳۹۹) روند بارندگی و شاخص تمرکز بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک حوزه دریاچه ارومیه را با استفاده از شاخص PCI و آزمون من-کندال و شیب-سن بررسی نمودند. یافته‌های آنان حاکی از روند کاهشی غیر معنادار در اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه طی فصل زمستان می‌باشد. کثیری و همکاران (۱۳۹۹)، برای بررسی چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر از مدل جهانی CanESM تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 استفاده کردند. نتایج مطالعه آنان حاکی از افزایش دمای حداقل و حداکثر و همچنین کاهش بارش برای تمامی ایستگاه‌ها به‌جز یک ایستگاه می‌باشد. زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۰) به پیش‌بینی بارش‌های شدید آینده در ایران بر اساس مجموعه مدل‌های CMIP6 پرداختند و به‌طور کلی، نتایج مطالعه آنان عدم قطعیت‌های مدل‌های CMIP6 را در پیش‌بینی بارش نشان داده است. عالی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی تغییرات دما و بارش حوضه سیمره با استفاده از مدل‌های اقلیمی سری CMIP5 پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان داده است که بارش دوره آبی به‌طور متوسط در سطح حوضه حدود ۴/۵٪ کاهش خواهد یافت. درحالی‌که دمای حداقل ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و دمای حداکثر ۲/۱۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. داروند (۱۴۰۰) به پیش‌بینی روند تغییرات دما و بارش در دوره آبی و تأثیر آن بر بیابان‌زایی با مدل LARS-WG پرداختند. یافته‌های آنان نشان

1. Nogoma et al

2. Cui et al

3. kwesi Nooni et al

4. Lei et al

داده است که در تمام فصول افزایش دما اتفاق افتاده است. ولی بارش در برخی ماه‌ها افزایش و در برخی دیگر کاهش یافته است. صی محمدی و همکاران (۱۴۰۰) با ریزگردان SDSM به پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در شهر کرمانشاه پرداختند. یافته‌های آنان حاکی از روند کاهشی بارش و روند افزایشی دما بوده است. عساکره و ورناسری (۱۴۰۰) به بررسی تغییر رژیم بارشی ناحیه خزری پرداختند. طبق نتایج پژوهش آنان، رژیم بارشی در منطقه مورد مطالعه دارای رفتار تناوبی (کاهش-افزایش-کاهش-افزایش) می‌باشد.

محمدی و همکاران (۱۴۰۰) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی مولد آب و هوایی LARS-WG در زاگرس جنوبی پرداختند. نتایج پژوهش آنان حاکی از روند افزایش دما و روند کاهشی بارش بوده است. انصاری و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی تغییرات دما و بارش در حوضه‌های آبریز ایران بر اساس خروجی مدل CMIP6 و تحت سناریوهای SSP پرداختند. طبق نتایج پیش‌بینی‌های آنان، نواحی غربی ایران بیشترین کاهش بارش را طی ۲۰ سال آتی تجربه خواهند کرد. زارعیان (۱۴۰۱) اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش استان یزد را بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6 بررسی نمودند. طبق یافته‌های ایشان، در تمامی سناریوهای انتشار، دمای سالانه افزایش و بارندگی سالانه کاهش پیدا خواهد کرد. دمای سالانه این منطقه در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۲ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش نیز بین ۲/۹ تا ۱۳/۷ درصد کاهش خواهد یافت. همچنین بیشترین میزان افزایش دما و کاهش بارندگی در این منطقه، به ترتیب در فصول بهار و فصل پاییز رخ خواهند داد. جوان و عزیززاده (۱۴۰۲) به ارزیابی روش‌های مختلف تصحیح اریبی بر پیش‌نگری بارش مدل GFDL-ESM4 در حوضه دریاچه ارومیه پرداختند. طبق پیش‌نگری‌های آنان، میانگین سالانه بارش در سناریوی SSP1-2.6 بین ۲ تا ۹ درصد، در SSP2-4.5 بین ۵ تا ۱۷ درصد و در SSP2-8.5 بین ۸ تا ۲۶ درصد کاهش را نسبت به داده‌های مشاهده‌ای نشان داده است. مهدویان و همکاران (۱۴۰۲) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه کیوی چای و تحلیل روند تغییرات بارش و دمای آن در دوره‌های آتی با مدل‌های CMIP5 پرداخته‌اند. طبق یافته‌های آنان، میزان بارش و دمای حداقل و حداکثر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت.

با توجه مطالعات انجام گرفته، الگوها و روندهای متنوعی برای بارش مناطق مختلف به دست آمده است که امر عدم قطعیت در رابطه با آثار تغییر اقلیم بر پارامتر بارش را تشدید و لزوم مطالعه حوزه‌ای و منطقه‌ای را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تقویت می‌کند. لذا مهم‌ترین هدف پژوهش حاضر، واکاوی تغییرات بارش شمال غرب ایران طی دهه‌های آتی بر اساس مدل‌های GCM می‌باشد. چراکه این منطقه جزء مناطق وابسته به اقتصاد کشاورزی و گردشگری می‌باشد و انجام مطالعات در زمینه تغییرات پارامترهای اقلیمی از جمله بارش، می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب، راهگشای مسئولین امر باشد.

مبانی نظری

تغییر اقلیم

تغییر اقلیم نشان‌دهنده تغییرات غیرعادی در اقلیم زمین و پیامدهای ناشی از آن در نواحی مختلف کره زمین است که این تغییر می‌تواند در متوسط دما، بارش، الگوهای آب و هوایی، باد، تابش و متغیرهایی از این قبیل باشد (کارآموز و عراقی‌نژاد، ۱۳۸۴: ۱۵). همچنین این اصطلاح به تغییر در وضعیت آب و هوایی اشاره دارد که می‌تواند از طریق میانگین و یا تغییرپذیری ویژگی‌های آن مشخص شده و برای دوره زمانی طولانی و به‌طور معمول یک دهه یا بیش‌تر تداوم یابد (IPCC, ۲۰۱۳).

ریزگردان SDSM

این ریزگردان یکی از پرکاربردترین ابزارهای آماری ریزمقیاس‌نمایی است که در هواشناسی، هیدرولوژی، جغرافیا و زیست‌شناسی کاربرد زیادی دارد (ویلی و هاریس، ۲۰۰۶؛ به نقل از هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۰۵). در ریزگردان مذکور، از الگوی گردش روزانه بزرگ‌مقیاس در مقیاس ایستگاهی استفاده می‌شود. این ریزگردان در مورد مولدهای هواشناسی تصادفی و

روش‌های توابع تغییر شکل یافته، نتایج قابل قبولی ارائه داده است (صمدی و مساح بوانی، ۱۳۸۷؛ به نقل از هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۰۵). در واقع SDSM ترکیبی از روش مولد هواشناسی، آماری و توابع تغییر شکل یافته است. به‌طور خلاصه این ریزگردان، کوچک‌مقیاس نمایی آماری متغیرهای اقلیمی روزانه را تحت مراحل زیر انجام می‌دهد: (۱) کنترل کیفیت داده‌ها و تغییر شکل داده‌ها (۲) انتخاب بهترین متغیرهای پیش‌بینی کننده (۳) کالیبره کردن مدل تولید مدل هواشناسی (۴) آنالیز آماری (۵) خروجی گرافیکی مدل (۶) تولید سناریوی اقلیمی. تمامی مراحل فوق توسط گزینه‌های تعبیه شده در محیط نرم‌افزار SDSM انجام می‌گیرد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۳؛ به نقل از چوبه و کاکه، ۱۳۹۴).

پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده CMIP6

پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده (CMIP) با هماهنگی بین مراکز مختلف برای استانداردسازی GCMها به‌عنوان یک داده مبنا در مطالعات مربوط به تغییر اقلیم در سطح جهان به انجام رسیده است. این مدل‌ها اجزاء زیادی از خصوصیات موجود در جو و سطح زمین مانند: دی اکسیدکربن، ذرات معلق و پوشش گیاهی را در نظر گرفته و براساس آن‌ها تخمینی از مقدار پارامترهای هواشناسی در آینده ارائه می‌دهد (گرین^۱، ۲۰۰۶).

داده و روش‌ها

پژوهش حاضر در دو بخش انجام می‌گیرد. بخش اول، تحلیل روند تغییرات بارش در ایستگاه‌های منتخب در شرایط کنونی است. به‌منظور ارزیابی و تحلیل روند، سری‌های زمانی طولانی مدت پارامترهای اقلیمی مورد نیاز است تا از این طریق بتوان تغییرات الگوهای آب و هوایی را به‌درستی شناسایی کرده و روند دقیق پارامترها را نشان داد (شجاع و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۵۱). روش‌های مختلفی جهت تحلیل روند پارامترهای آب و هوایی وجود دارد. در پژوهش حاضر از مهم‌ترین آن‌ها که آزمون ناپارامتری من-کندال است بهره گرفته شد و بدین منظور از میانگین سالانه داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه برای دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴) استفاده گردید تا روند سالانه پارامتر مذکور طی دوره پایه در ایستگاه‌های منتخب مشخص شود. دلایل و مزایای استفاده از این روش، عبارت‌اند از: کارایی آن در تحلیل روند سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کند، توانایی تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی، با وجود داده‌های گم‌شده، وابسته نبودن به توزیع آماری خاص و اثرپذیری ناچیز از مقادیر حدی، (تورگی و ارکن^۲، ۲۰۰۵: ۲۰۱۱). طبق مطالعات پژوهشگران، آزمون ناپارامتریک من-کندال جزء پرکاربردترین روش‌های تحلیل روند در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی است (امیر رضائیه و همکاران؛ اسود^۳ و همکاران، ۲۰۲۰؛ به نقل از شجاع و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۵۱).

روش گرافیکی آزمون من-کندال

در این روش تمامی تحلیل‌ها و تفسیرها با توجه به نمودارهای حاصل از مقادیر آماره $U(t_i)$ و $U'(t_i)$ انجام می‌گیرد. در نقطه شروع، دو نمودار $U(t_i)$ و $U'(t_i)$ یکدیگر را قطع خواهند کرد. زمانی که قدر مطلق U از ۱/۹۶ بزرگ‌تر باشد، سری زمانی معنی‌دار است. به عبارتی دیگر؛ اگر نمودار $U(t_i)$ از دو خط $Y = 1.96$ و $Y = -1.96$ عبور کند، می‌توان روند موجود در سری‌ها را معنادار دانست. در صورتی که $U > 0$ باشد یا نمودار $U(t_i)$ در مجموع سیر صعودی داشته باشد، روند افزایشی، معنادار در نظر گرفته می‌شود. اگر $U < 0$ روند معنادار و از نوع کاهشی است. در صورتی که نمودارهای $U(t_i)$ و $U'(t_i)$ در محدوده ۱.۹۶ و -۱.۹۶ با هم تلاقی کنند، نشان دهنده تغییر ناگهانی در میانگین است. در پژوهش حاضر از آزمون من-کندال دنباله‌ای بهره گرفته شد که در آن مقادیر آماره $U(t_i)$ و $U'(t_i)$ بدین شرح محاسبه می‌گردد: ابتدا داده‌ها بر اساس سال با رتبه (y_i) مرتب شد. سپس رتبه کوچک‌تری (t_i) محاسبه گردید، رتبه کوچک‌تری هر داده عبارت است از تعداد آن داده‌ها (n_i) قبل از داده مورد نظر (y_i) که از آن کوچک‌تر هستند.

$$\begin{aligned}
 t_i &= \text{رابطه (۱)} \\
 (۲) \quad & \text{رابطه} \quad \Sigma_k^i = 1^{n_k} \\
 (۳) \quad & \text{رابطه} \quad E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4} \\
 (۴) \quad & \text{رابطه} \quad \text{var}(t_i) = \frac{[i(i-1)(2i+5)]}{72} \\
 & u(t_i) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{\text{Var}(t_i)}}
 \end{aligned}$$

در روابط فوق $E(t_i)$ و $\text{var}(t_i)$ به ترتیب مقادیر متوسط و واریانس t_i می‌باشند. $U'(t_i)$ دقیقاً به روش $U(t_i)$ محاسبه می‌شود. بدین معنی که می‌توان فرض کرد انتهای سری، ابتدای آن باشد. داده‌های $U(t_i)$ و $U'(t_i)$ بر اساس سال وقوع مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند با این تفاوت که سال وقوع در $U(t_i)$ با سیر صعودی، اما در $U'(t_i)$ با سیر نزولی مرتب می‌شوند (ملکی نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۴۳).

مدل GCM و سناریوهای SSP

در بخش دوم پژوهش، جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی آتی بارش منطقه، مدل‌های گردش عمومی (GCM) فاز ششم پروژه مقایسه‌ای مدل جفت شده (CMIP6) انتخاب گردید. پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده گزارش ششم هیأت‌های بین دولتی تغییر اقلیم از سناریوهای جدید به نام مسیرهای اجتماعی و اقتصادی مشترک (SSP) استفاده می‌کند (ارینگ و همکاران^۱، ۲۰۱۶: ۱۹۳۷). سناریوهای جدید SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP4-6.0، SSP5-8.5 به‌روز شده سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 موجود در CMIP5 می‌باشند (کوپتا و همکاران^۲، ۲۰۲۰). مدل‌های آب و هوایی فعلی قوی‌تر از مجموعه‌های قبلی CMIP هستند و پیشرفت‌های مؤثری را در بازتولید الگوهای بزرگ‌مقیاس متغیرهای آب و هوایی نشان داده‌اند (چن و همکاران^۳، ۲۰۲۰: ۱). یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها عملکرد سریع و آسان آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد (کیم و سو^۴، ۲۰۰۷). برای انجام این بخش از پژوهش، نیاز به دو سری داده بود. دسته اول، داده‌های روزانه بارش ایستگاه‌های سینوپتیک (جلفا، تبریز، سراب، مراغه، پارس‌آباد، مشگین‌شهر، اردبیل، خلخال، ماکو، ارومیه، تکاب و سردشت) که از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. دسته دوم، داده‌های ۲ مدل GCMS (جدول ۱) شامل: CanEsm5، MPI-ESMI-2HR، از سری مدل‌های CMIP6 است. این داده‌ها شامل مقادیر روزانه برای دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۸۵) و آینده (۲۰۴۳-۲۰۱۵) بود که از وب‌سایت پروژه مقایسه مدل جفت شده گزارش ششم به آدرس <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/> دریافت گردید. به‌منظور پیش‌نگری بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار SDSM6.1، پارامتر مذکور برای دوره پایه شبیه‌سازی و تحت دو سناریوی جدید (SSP2-4.5) و (SSP5-8.5) برای آینده (۲۰۴۳-۲۰۱۵) پیش‌بینی شد (لازم به توضیح است که در ورژن جدید نرم‌افزار SDSM دوره حال و آینده هم‌زمان شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌گردد به همین دلیل تاریخ شروع دوره آتی توسط نرم‌افزار از سال ۲۰۱۵ تعریف شده است).

جدول (۱). مشخصات مدل‌های GCM مورد استفاده در پژوهش

ردیف	نام مدل	مؤسسه	کشور
۱	MPI_ESM1_2_HR	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	کانادا
۲	CanESM5	Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M)	آلمان

منبع: (مسگری و همکاران، ۲۰۲۲)

1. Eyring et al
2. Gupta et al
3. Chen et al
4. Kim & Seoh

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌ها

جهت ارزیابی عملکرد و دقت مدل‌های CanEsm5، MPI-ESMI-2HR، در تولید داده‌های بارش، داده‌های دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از سه سنج آماری شامل: میانگین مربعات خطا (MSE)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) مقایسه شد در نهایت، میانگین این آماره‌ها در ایستگاه‌های منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت. در روابط (۵ تا ۷) به آماره‌های مورد استفاده اشاره شده است.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_0 - X_S)^2 \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_0 - X_S)^2}{N}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N (X_0 - X_S)}{N}$$

رابطه (۷)

در معادلات فوق، X_0 داده‌های مشاهده شده، X_S داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها را نشان می‌دهند (مسگری همکاران، ۲۰۲۲: ۳۶۰۷).

نتایج

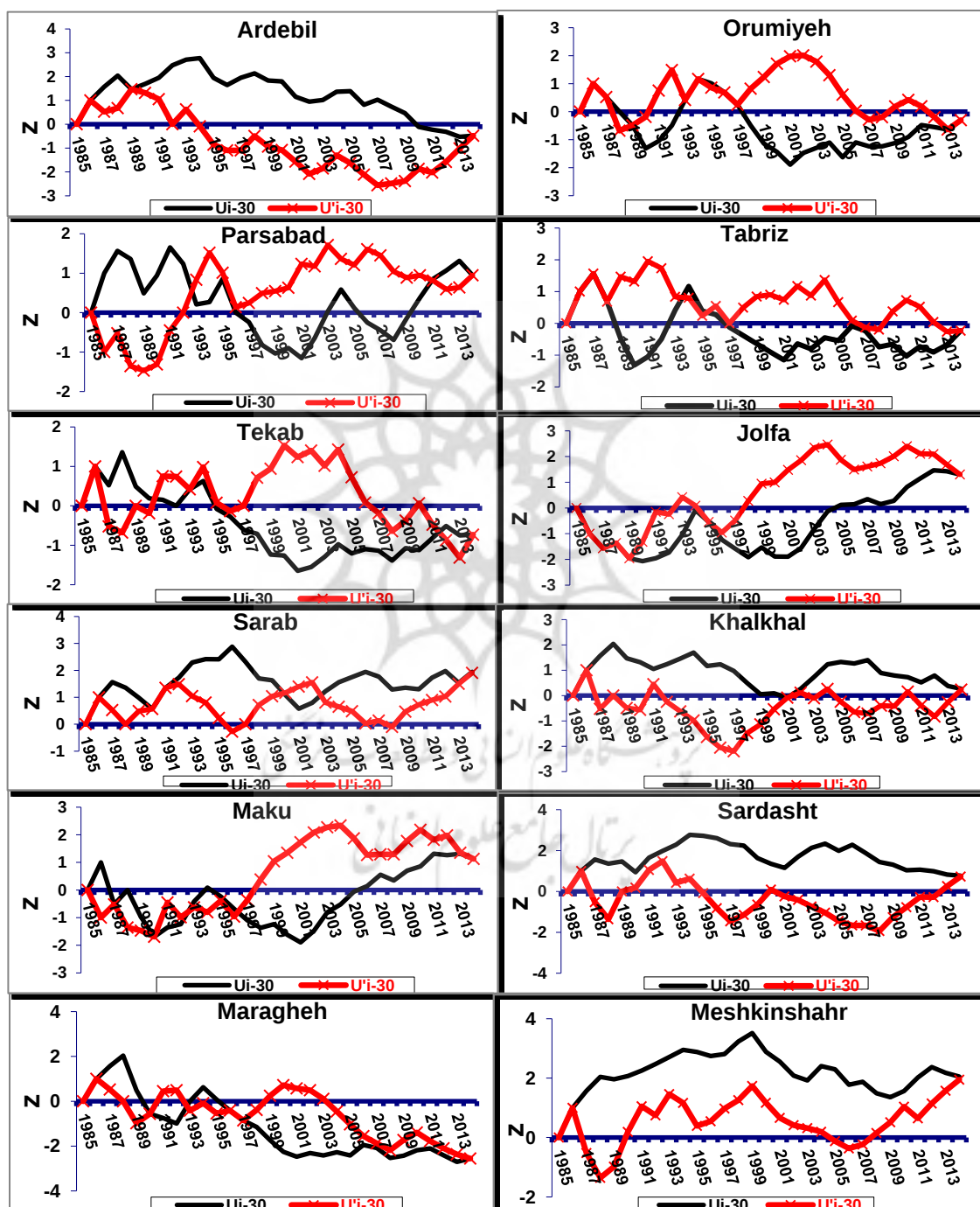
نتایج واکاوی تغییرات روند بارش طی دوره آماری مورد مطالعه بر اساس آزمون من-کندال

به منظور تحلیل روند بارش، طی دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۵-۲۰۱۴)، پس از بررسی و کنترل داده‌ها در محیط نرم افزار EXCEL، مقادیر آزمون‌های ناپارامتری من-کندال برای هر یک از ۱۲ ایستگاه منتخب در مقیاس سالانه محاسبه و نتایج حاصل در قالب نمودار و در شکل (۳) ارائه شده است. بررسی آزمون نموداری من-کندال نشان داد که در سری مجموع بارش سالانه، در ۵ ایستگاه تبریز، ارومیه و اردبیل، تکاب و مراغه منحنی U به طرف منفی حرکت کرده و به عبارتی بارش در این ایستگاه‌ها طی سال‌های اخیر روند منفی و کاهشی یافته است. در ۷ ایستگاه مشگین‌شهر، سردشت، ماکو، خلخال، سراب، جلفا و پارس‌آباد به دلیل این که دو منحنی در بازه مثبت یکدیگر را قطع کرده‌اند، این روند افزایشی است. در مجموع از بین ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه، تنها ایستگاه مراغه روند کاهشی معنادار داشته و سایر ایستگاه‌ها به دلیل اینکه نمودار U از دو خط $Y = 1/96$ و $Y = -1/96$ عبور نکرده، لذا روند افزایشی و کاهشی موجود در سری‌ها معنادار نیست. همچنین، مؤلفه‌های U و U' بارش سالانه در همه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب، به جز ایستگاه اردبیل، سردشت و مشگین‌شهر، طی دوره آمار مورد مطالعه، تغییرات و جهش‌های زیادی داشته است و به‌طور متوالی، دو منحنی با هم برخورد کرده‌اند که محل تلاقی شاخص‌های U و U' نشان دهنده تغییر ناگهانی در میانگین سری زمانی است. طبق نمودار من کندال، جهش‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه، اغلب طی ۱۰ سال اول دوره آماری مورد مطالعه رخ داده است.

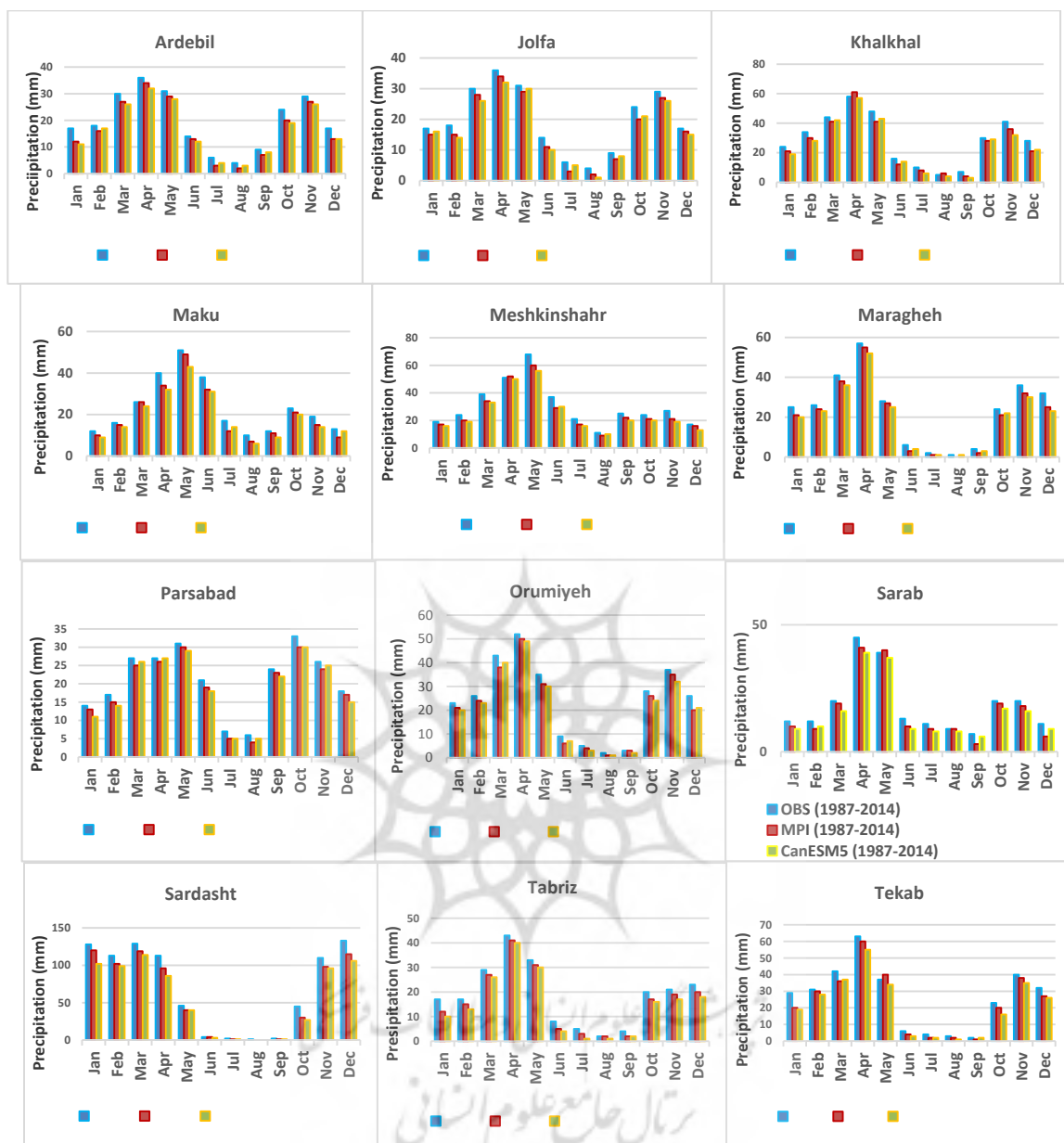
نتایج شبیه‌سازی و اعتبار سنجی مدل‌های GCM

پیش از کاربرد مدل‌های اقلیمی جهت پیش‌نگری تغییرات اقلیمی آینده، لازم است عملکرد مدل‌ها در شبیه‌سازی شرایط اقلیمی حال و گذشته بررسی گردد (زو و همکاران^۱، ۲۰۱۵: ۴۹۳)؛ بنابراین در پژوهش حاضر، ابتدا عملکرد مدل‌های اقلیمی CMIP6 در شبیه‌سازی داده‌ها طی دوره تاریخی (۱۹۸۵-۲۰۱۴) بررسی و نمودار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده ترسیم

گردید تا نتایج به صورت ملموس و عینی ارائه گردد. طبق نمودارهای مقایسه‌ای شکل (۲)، منحنی مقادیر شبیه‌سازی شده مجموع بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس مدل‌های مورد بررسی با منحنی‌های مقادیر مشاهداتی طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۸۵ در ماه‌های مربوط به فصل تابستان، انطباق بیشتری بر هم داشتند ولی در سایر فصول به‌ویژه در بهار و زمستان، انطباق کمتر بود و این امر نشان می‌دهد که مدل‌های اقلیمی CMIP6 پارامتر بارش را برای ماه‌های گرم در مقایسه با ماه‌های سرد با اختلاف اندکی نسبت به مقادیر واقعی پیش‌بینی می‌نمایند.



شکل (۱): بررسی روند و نقاط جهش از میانگین سری زمانی ۳۰ ساله به روش من-کندال



شکل (۲): نمودار مقایسه‌ای مقادیر شبیه‌سازی شده بر اساس مدل‌های GCM با مقادیر مشاهداتی بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این مرحله جهت اعتبار سنجی عملکرد مدل‌های MPI, CanESM5 از سه شاخص خطاسنجی (MAD)، (MSE)، (RMSE) استفاده شد. مقادیر حاصل از این معیارها که جدول (۲) ارائه شده نشان‌گر میزان خطاست و هرچه دقت مدل پیش‌بینی کننده بالاتر باشد، مقادیر حاصل از شاخص‌های خطاسنجی به صفر نزدیک‌تر می‌شود. بر اساس جدول مذکور، اگرچه در هر دو مدل به‌ویژه در شاخص MSE، میزان خطا نسبتاً بالا بود، اما میزان خطای داده‌های مشاهداتی با داده تولید شده برای همه ایستگاه‌ها در مدل MPI نسبت به مدل CanESM5 کمتر بود. با این حال با توجه به این که میزان خطا در هر دو مدل تقریباً نزدیک هم بود. لذا پیش‌بینی مقادیر بارش برای سال‌های آتی بر اساس هر دو مدل انجام گرفت.

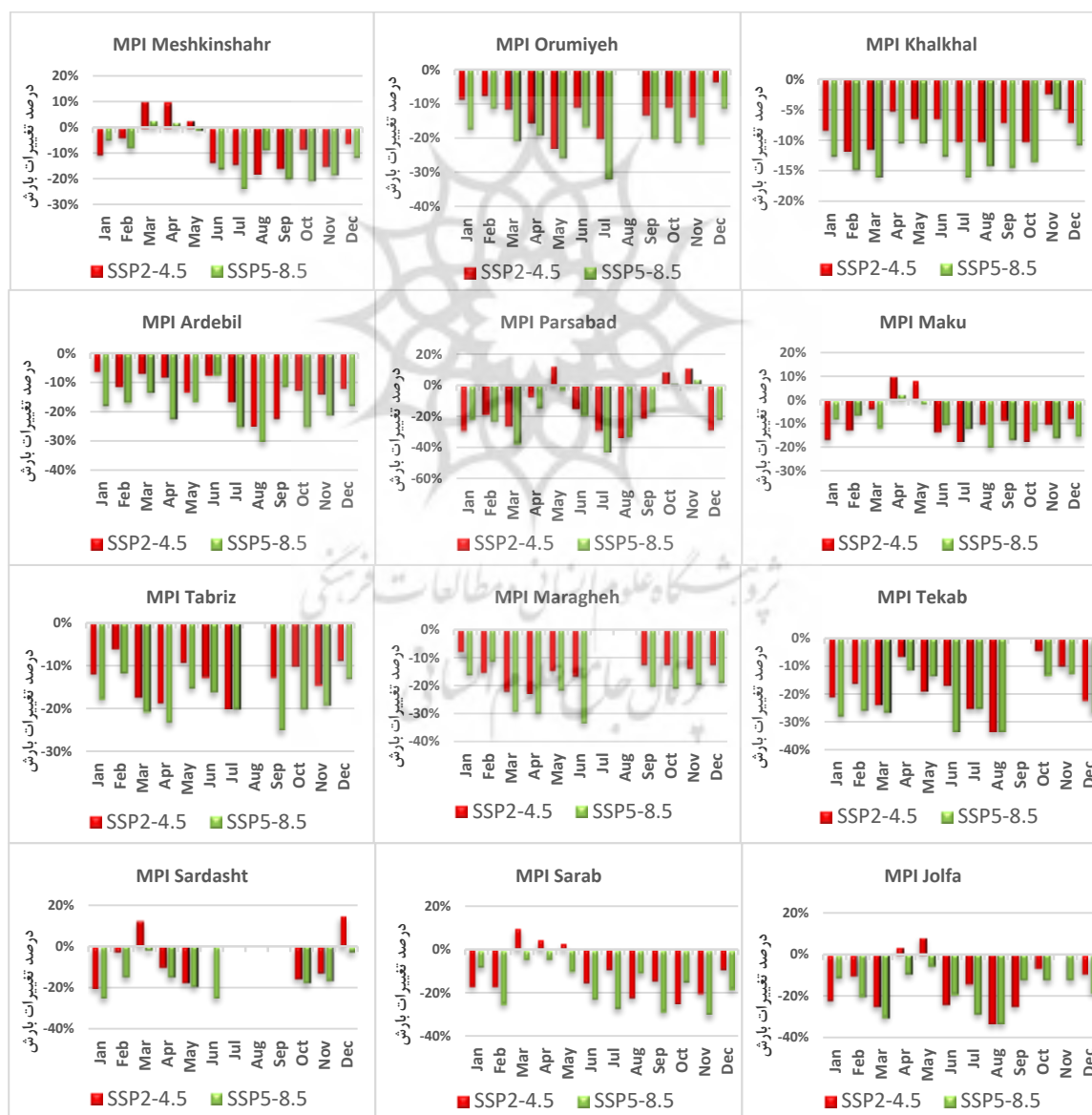
جدول (۲) خطاسنجی بارش (mm) شبیه‌سازی شده با مدل‌های MPI, CanESM5

شهر	مدل‌ها	MAD	MSE	RMSE
جلفا	MPI	۴.۷	۱۹.۴	۴.۲
	CanESM5	۶.۴	۴۲.۵	۶.۷
سراب	MPI	۴.۱	۲۰.۶	۴.۳
	CanESM5	۵.۱	۳۳.۱	۵.۷
تبریز	MPI	۳.۸	۱۹.۶	۴.۲
	CanESM5	۵.۸	۴۹	۷
مراغه	MPI	۵.۵	۵۲.۳	۶.۹
	CanESM5	۶.۸	۶۸.۱	۸.۳
ماکو	MPI	۶.۴	۵۴.۷	۷.۲
	CanESM5	۶.۷	۶۸.۲	۸.۹
ارومیه	MPI	۵.۷	۴۶.۴	۶.۳
	CanESM5	۷	۵۹.۱	۷.۸
سردشت	MPI	۷.۱	۹۶.۳	۹.۷
	CanESM5	۱۲.۹	۱۹۱	۱۳.۶
تکاب	MPI	۶.۳	۶۰.۳	۷.۵
	CanESM5	۹.۴	۱۳۹.۵	۱۱.۷
پارس‌آباد	MPI	۴.۴	۲۰.۴	۵.۹
	CanESM5	۷.۲	۵۳.۵	۶.۲
مشکین‌شهر	MPI	۶.۱	۵۵.۵	۹.۶
	CanESM5	۷.۹	۵۸.۳	۱۰.۶
اردبیل	MPI	۳.۱	۱۷.۵	۴.۳
	CanESM5	۶.۱	۵۱.۲	۷
خلخال	MPI	۶.۱	۴۷.۱	۶.۲
	CanESM5	۶.۷	۶۹.۳	۸.۳

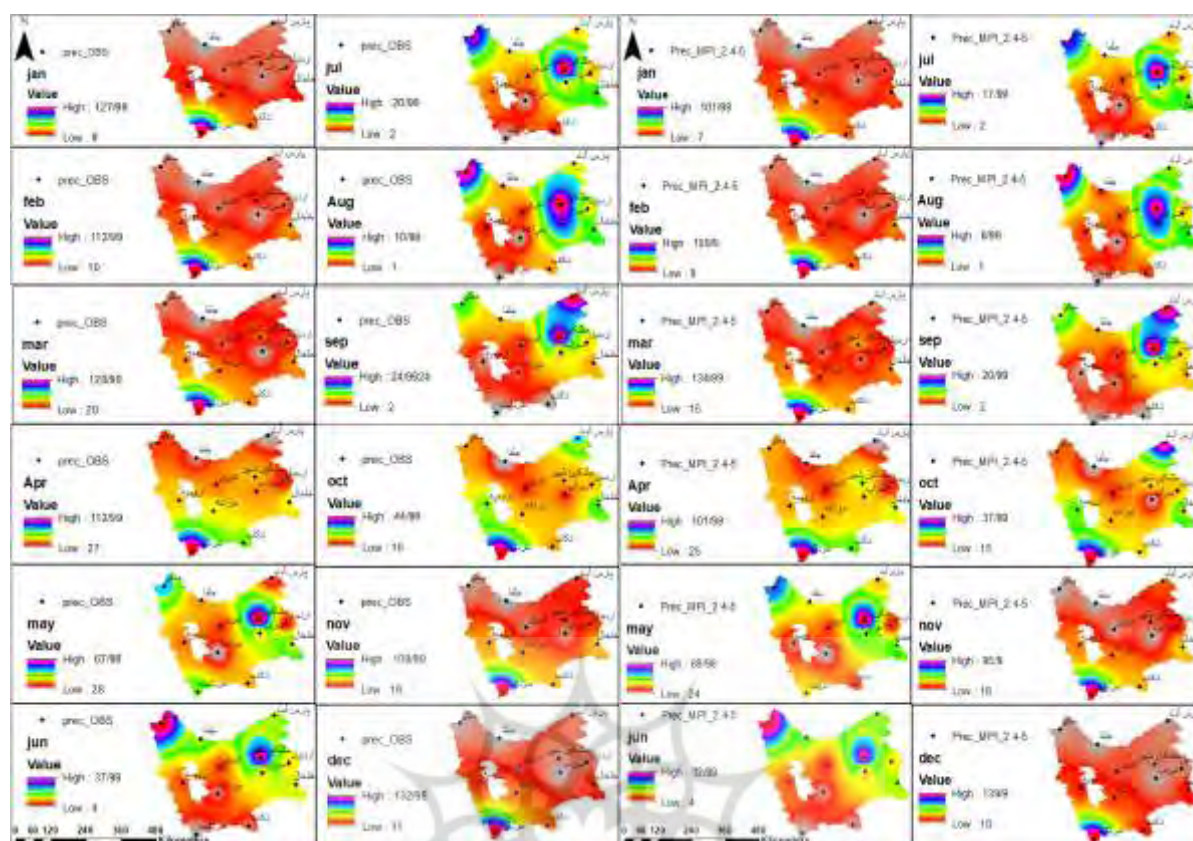
نتایج خروجی مدل MPI

در شکل (۳) نمودار درصد تغییرات بارش بر اساس سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 مدل MPI ارائه شده است. بررسی نتایج پیش‌بینی بارش ۱۲ ایستگاه بر اساس مدل MPI (ارائه شده در شکل ۳) نشان داد که در شهر اردبیل بیشترین درصد کاهش بارش در ماه آگوست و به میزان ۳۰٪ و کمترین آن ماه ژانویه خواهد بود. در شهر خلخال کمترین میزان کاهش بارش مربوط به ماه نوامبر است که ۲٪ و بیشترین درصد کاهش پارامتر مذکور به میزان ۱۶٪ و در ماه مارس و جولای پیش‌بینی شد. در شهر ماکو در ماه آوریل و می تا ۱۰٪ افزایش بارش و ۲۰٪ کاهش بارش در ماه آگوست رخ خواهد داد. در ایستگاه جلفا ۸٪ افزایش بارش در ماه می پیش‌بینی گردید. همچنین بیشترین درصد کاهش بارش در این ایستگاه ۲۳٪ و در ماه آگوست پیش‌بینی شد. در ایستگاه مشکین‌شهر تا ۱۰٪ افزایش بارش در ماه مارس، آوریل و می و ۲۵٪ کاهش در ماه جولای رخ خواهد داد. در مراغه ماه‌های جولای و آگوست بدون تغییر و ماه ژانویه با کاهش ۸ درصدی کمترین کاهش و ماه ژوئن با کاهش ۳۳ درصدی بیشترین میزان کاهش را تجربه خواهد کرد. در ایستگاه پارس‌آباد افزایش جزئی بارش تا ۱۳٪ در ماه‌های می، اکتبر و نوامبر پیش‌بینی شد. در ایستگاه سراب، افزایش بارش تا ۱۰٪ در ماه می و آوریل و کاهش ۳۰ درصدی آن در ماه نوامبر پیش‌بینی گردید. در ایستگاه تکاب بارش ماه سپتامبر تغییر خاصی خواهد داشت. در ماه آوریل ۶٪ کاهش کمترین درصد و در ماه آگوست با حدود ۲۵٪ بالاترین میزان کاهش بارش تجربه خواهد شد. در سردشت بیشترین درصد تغییرات بارش در ماه‌های گرم سال به‌ویژه در ماه آگوست و به میزان ۳۳٪ پیش‌بینی شد و در ماه‌های مارس و دسامبر ۱۰ الی ۱۵ درصد افزایش خواهد داشت. در ایستگاه تبریز بیشترین درصد کاهش در پارامتر بارش در ماه سپتامبر به میزان ۲۵٪ و ماه آگوست بدون تغییر و در ماه‌های

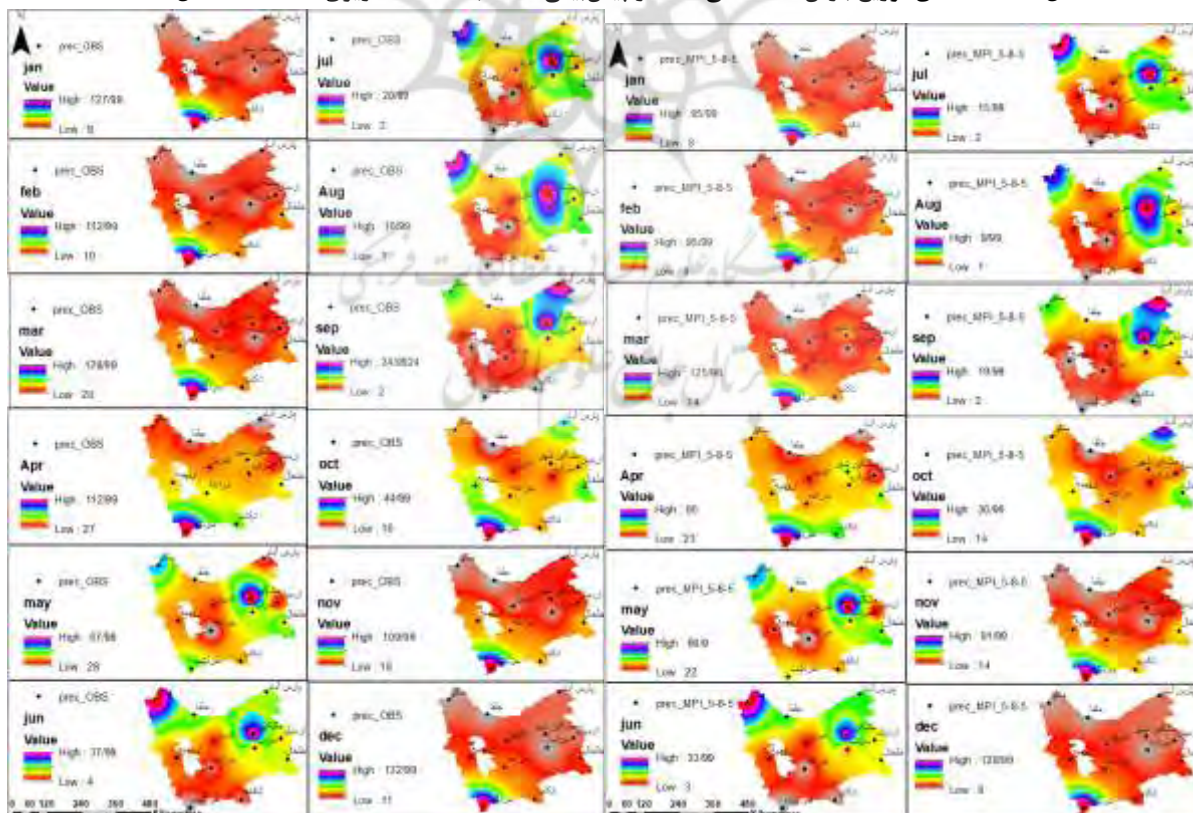
نوامبر کمترین کاهش به میزان ۲٪ تجربه خواهد شد. در شهر ارومیه ماه آگوست بدون تغییر و ماه دسامبر کاهش ۴ درصدی و ماه جولای با ۳۲٪ کاهش، به ترتیب کمترین و بیشترین میزان تغییر بارش را تجربه خواهد کرد. طبق نتایج حاصل، براساس پیش بینی انجام شده تحت سناریوهای مدل MPI، در هر ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه مقادیر بارش پیش‌بینی‌شده تحت هر دو سناریو به‌ویژه سناریوی بدبینانه SSP 5-8.5 اغلب ماه‌های سال کمتر از مقادیر مشاهداتی می‌باشد. نمودارهای بارش نشان می‌دهند که در ایستگاه‌های مورد مطالعه تغییرات بارش در تمامی ماه‌های سال به یک‌شکل نیست. در ایستگاه‌های مشگین‌شهر، ماکو، سردشت، سراب، پارس‌آباد و جلفا ماه‌های مربوط به اواخر زمستان و اوایل فصل بهار افزایش جزئی بارش و در سایر ماه‌ها به‌ویژه اواخر تابستان و اوایل پاییز کاهش بارش پیش‌بینی شد. در سایر ایستگاه‌ها نیز اگرچه افزایش بارش پیش‌بینی نشد، لیکن کمترین درصد کاهش اغلب در ماه‌های مربوط به اواخر زمستان و اوایل بهار و بیشترین کاهش اغلب در تابستان پیش‌بینی شد. در مجموع کاهش بارش در همه ایستگاه‌ها بیشتر از افزایش آن خواهد بود. جهت مقایسه بهتر مقادیر بارش گذشته و آینده، نقشه‌های توزیع بارش ماهانه دوره پایه و مقادیر پیش‌نگری شده تحت سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 مدل MPI در محیط نرم افزار Arc GIS ترسیم و در شکل (۴، الف و ب) و (۵، الف و ب) ارائه گردید.



شکل (۳): نمودار درصد تغییرات بارش بر اساس سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 مدل MPI



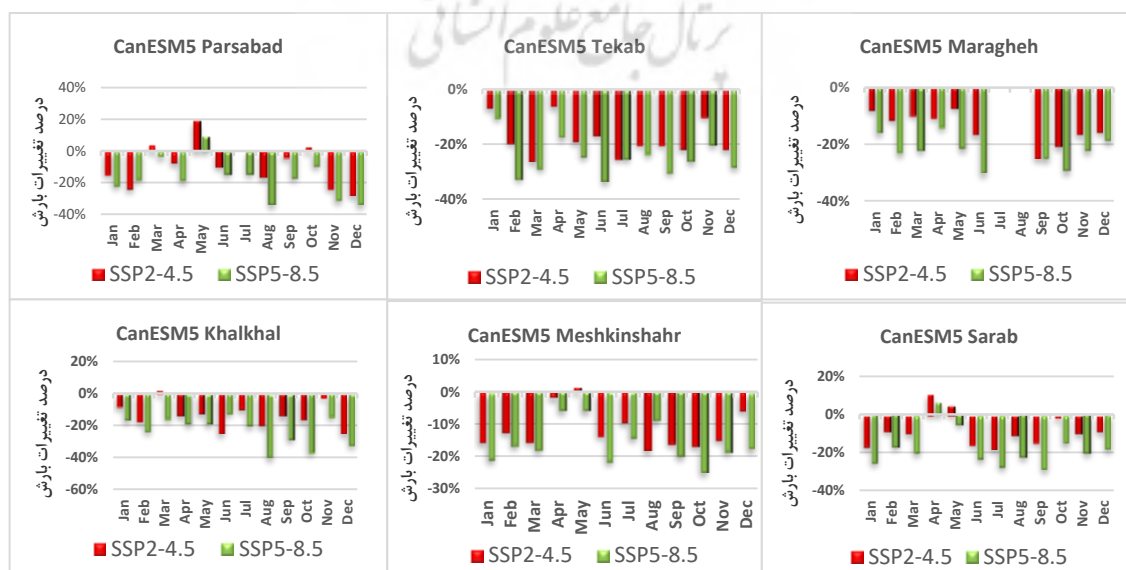
شکل (۴): نقشه‌های توزیع بارش مشاهداتی (الف) و پیش‌بینی شده (ب) تحت سناریوی SSP 2-4.5 مدل MPI

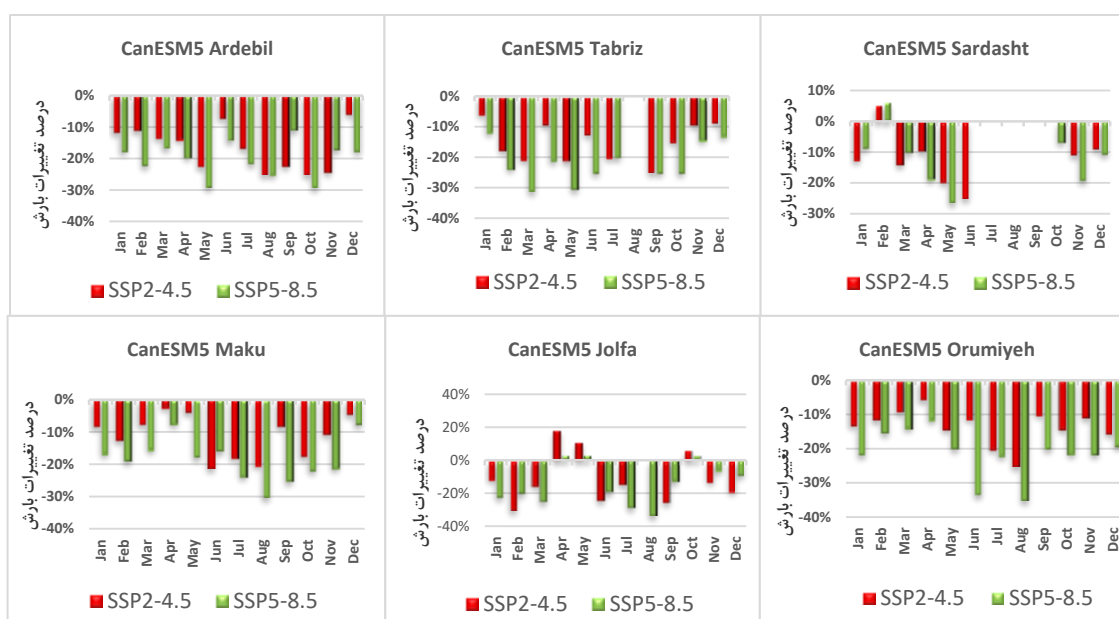


شکل (۵): نقشه‌های توزیع بارش مشاهداتی (الف) و پیش‌بینی شده (ب) تحت سناریوی SSP 5-8.5 مدل MPI

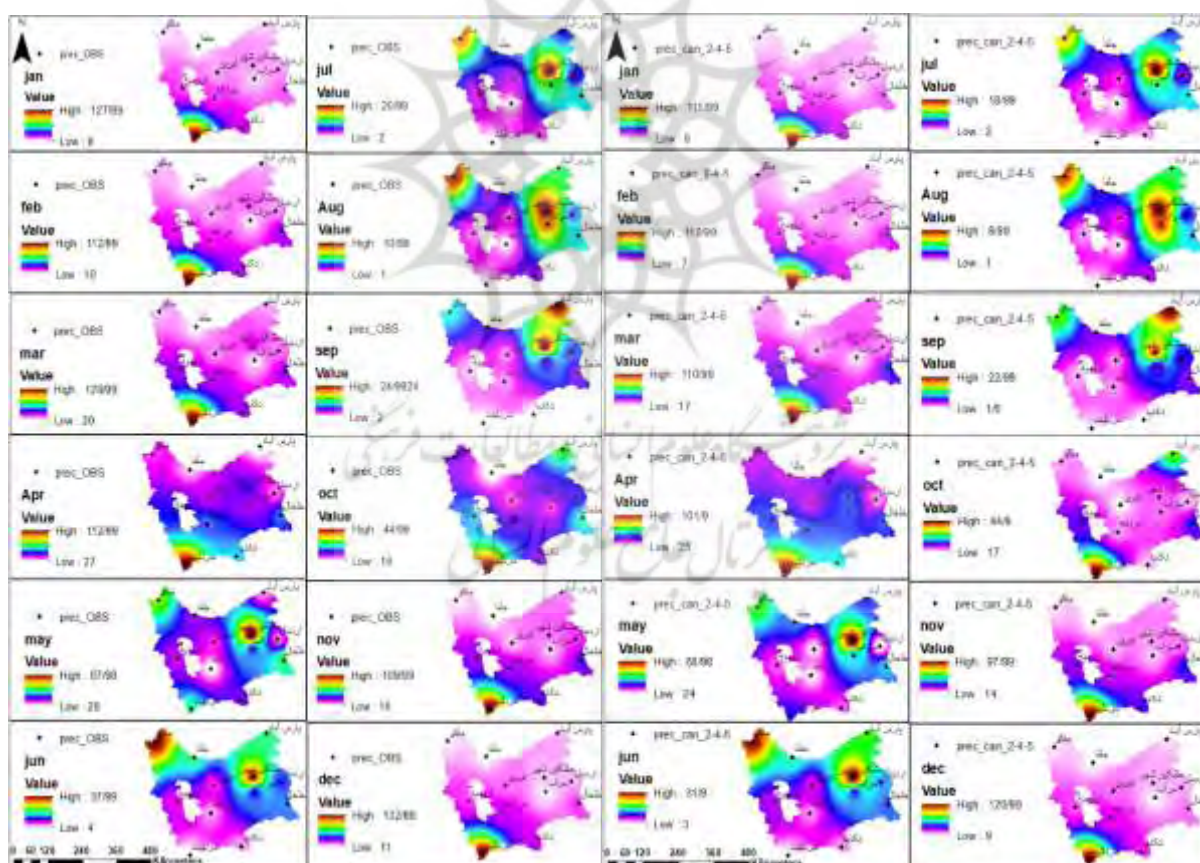
نتایج خروجی مدل CanESM5

بررسی نتایج پیش‌بینی بارش ایستگاه‌های منتخب بر اساس مدل CanESM5 (شکل ۶) نشان داد که در ایستگاه اردبیل ۶٪ کاهش بارش در ماه اکتبر و می بیشترین درصد کاهش بارش به میزان ۲۹٪ خواهد بود. در ایستگاه خلخال ۲٪ کاهش بارش در ماه‌های مارس و نوامبر و ۲۵٪ کاهش در ماه ژوئن تجربه خواهد. در شهر ماکو ۳٪ کاهش بارش در ماه آوریل و ۲۱ درصد کاهش جولای پیش‌بینی شده است. در شهر جلفا حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد افزایش بارش در ماه‌های آوریل و می پیش‌بینی شده است. همچنین بیشترین درصد کاهش بارش ۳۳٪ و در ماه آگوست پیش‌بینی شده است. در ایستگاه مشگین‌شهر کمتر از ۳٪ افزایش جزئی بارش تحت سناریوی بینابین (ssp 2-4.5) در ماه می تجربه خواهد شد. در سایر ماه‌ها کاهش بارش رخ خواهد داد که ماه اکتبر با ۲۵٪ کاهش بالاترین میزان کاهش پارامتر بارش را تجربه خواهد کرد. ایستگاه مراغه در ماه‌های جولای و آگوست نسبت به دوره پایه تغییری در میزان بارش دریافتی نخواهند داشت. در این ایستگاه بیشترین درصد کاهش به میزان ۲۵٪ در ماه سپتامبر و کمترین آن به میزان ۸٪ در ماه ژانویه تجربه خواهند شد. در ایستگاه پارس‌آباد در ماه می افزایش ۲۰ درصدی و در ماه دسامبر کاهش ۳۰ درصدی بارش پیش‌بینی گردید. در ایستگاه سراب، افزایش بارش به میزان ۱۱ درصد در ماه می و آوریل و کاهش ۲۹ درصدی آن در ماه سپتامبر پیش‌بینی شد. در ایستگاه تکاب ماه آوریل به میزان ۶٪ کمترین کاهش و ماه جولای به میزان ۳۳ درصد بیشترین کاهش بارش را خواهد داشت. در ایستگاه سردشت ماه‌های جولای، آگوست، سپتامبر بارش بدون تغییر، برای ماه‌های فوریه افزایش ۸ درصدی و برای ماه می و ژوئن کاهش حدود ۲۵ درصدی بارش پیش‌بینی گردید. در ایستگاه تبریز ماه آگوست بدون تغییر، بیشترین درصد کاهش بارش ماه مارس به میزان ۳۱٪ و کمترین آن به میزان ۶٪ در ماه ژانویه رخ خواهد داد. در ایستگاه ارومیه ماه آگوست با حدود ۳۵٪ کاهش و ماه آوریل با ۶٪ کاهش به ترتیب بیشترین و کمترین تغییر بارش را تجربه خواهند کرد. در مدل CanESM5 در اغلب ماه‌های سال و در همه ایستگاه‌ها درصد کاهش بیشتر از افزایش بارش است. طبق نمودارهای شکل (۶)، در ایستگاه‌های مشگین‌شهر، سراب، پارس‌آباد، سردشت و جلفا اغلب افزایش جزئی بارش در ماه‌های مربوط به فصل بهار تجربه خواهد شد. در سایر ایستگاه‌ها کمترین کاهش بارش در ماه‌های آخر فصل زمستان و بهار و بیشترین درصد کاهش در تابستان و اوایل پاییز خواهد بود. همچنین در این ایستگاه‌ها افزایش بارش پیش‌بینی نشد. طبق توضیحات ارائه شده، براساس مدل CanESM5، میزان بارش طی دهه‌های آتی در هر ۱۲ ایستگاه منتخب تحت سناریوی بدبینانه (SSP 5-8.5) کاهش بیشتر و محسوس‌تری نسبت به سناریوی SSP 2-4.5 خواهد داشت. نقشه‌های توزیع بارش ماهانه دوره مشاهداتی و پیش‌بینی شده تحت سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 مدل CanESM5 جهت مقایسه در محیط نرم افزار Arc GIS ترسیم در شکل (۷ الف و ب) و (۸ الف و ب) ارائه شده است.

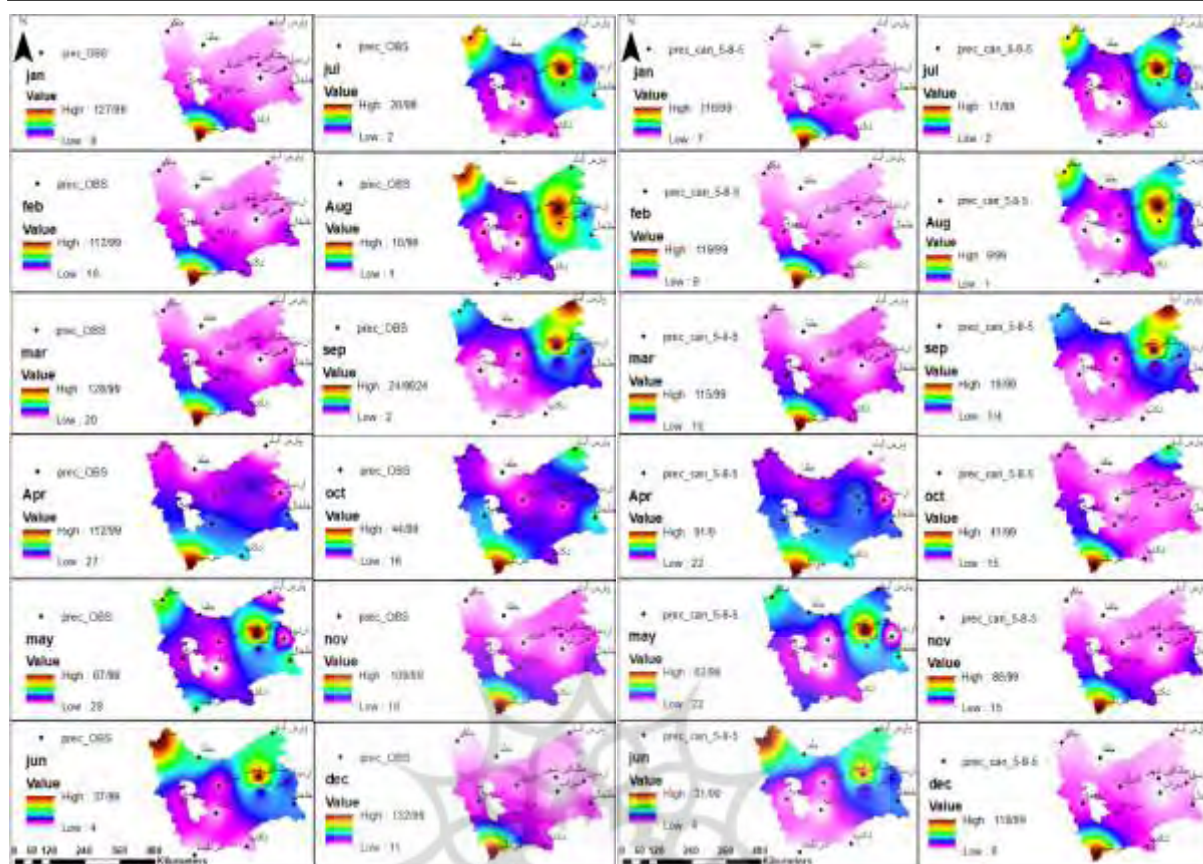




شکل (۶): نمودار درصد تغییرات بارش بر اساس سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 مدل CanESM5



شکل (۷): نقشه‌های توزیع بارش مشاهداتی (الف) و پیش‌بینی شده (ب) تحت سناریوی SSP 2-4.5 مدل CanESM5



شکل (۸): نقشه‌های توزیع بارش مشاهداتی (الف) و پیش‌بینی شده (ب) تحت سناریوی مدل CanESM5

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی تغییرات بارش به‌منظور برآورد میزان تغییرات آبی و انجام اقدامات مقتضی در راستای کاهش آثار نامطلوب تغییرات اقلیمی بر منابع آب و کشاورزی امری ضروری است. اهمیت پیش‌بینی این عنصر مهم اقلیمی در زمان مواجهه با فرین‌هایی همچون سیل و خشک‌سالی در مناطق مختلف جغرافیایی آشکار می‌گردد. هدف از پژوهش حاضر، واکاوی تغییرات بارش شمال غرب ایران طی دهه‌های آبی بر اساس مدل‌های GCM بود. بدین منظور ابتدا بارش سالانه منطقه مطالعه با بهره‌گیری از آزمون ناپارامتری من-کندال، برای دوره پایه ایستگاه‌های منتخب روندیابی شد. طبق نتایج حاصل، روند مجموع بارش سالانه در ایستگاه‌های تبریز، ارومیه و اردبیل، تکاب و مراغه طی سال‌های اخیر منفی و کاهشی بوده است. در ایستگاه مشگین‌شهر، سردشت، ماکو، خلخال، سراب، جلفا و پارس‌آباد روند افزایشی در بارش سالانه رخ داده است. در مجموع، از بین ۱۲ ایستگاه منتخب، تنها ایستگاه مراغه روند کاهشی معنادار در سطح اطمینان ۹۵٪ داشته ولی در سایر ایستگاه‌ها روند افزایشی و کاهشی موجود در سری‌ها معنادار نبود. جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی وضعیت بارش شهرهای شمال غرب در آینده از جدیدترین سناریوهای انتشار که در گزارش ششم IPCC تدوین گردیده و تطابق مناسب‌تری با شرایط اقلیمی کره زمین دارد بهره گرفته شد و برای ریزمقیاس‌سازی، از ریزگردان SDSM استفاده شد. در راستای هدف پژوهش، ابتدا دقت و کارایی ۲ مدل انتخابی GCM شامل: CanEsm5، MPI، در تولید داده‌های بارش، با استفاده از ۳ سنجح آماری شامل: (MSE)، (RMSE) و (MAE) ارزیابی شد. طبق نتایج، اگرچه میزان خطا در هر دو مدل نسبتاً بالا بود اما خطای مدل MPI نسبت به مدل CanEsm5 کمتر بود؛ اما با توجه به نزدیکی مقادیر خطا در هر دو مدل، داده‌های پارامتر بارش برای آینده نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۳) بر اساس هر ۲ مدل تحت سناریوهای بینابین (SSP2-4.5) و بدینانه (SSP5-8.5) برای ایستگاه‌های منتخب تولید شد و میزان تغییرات نسبت به دوره پایه ارزیابی گردید. طبق نتایج حاصل از پیش‌بینی بارش بر اساس هر دو مدل برای آینده نزدیک (۲۰۱۵-۲۰۴۳)، میزان

بارش تحت هر دو سناریوی بینابین (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5)، به‌ویژه سناریوی SSP5-8.5 در اغلب ایستگاه‌ها کمتر از مقادیر مشاهداتی پایه پیش‌بینی شد. طبق پیش‌بینی انجام شده بر اساس هر دو مدل تحت سناریوی بینابین (SSP2-4.5) ایستگاه‌های مشکین‌شهر، سراب، پارس‌آباد، سردشت و جلفا اغلب در اواخر زمستان و اوایل بهار افزایش بارش و در تابستان و پاییز بالاترین درصد کاهش بارش را خواهند داشت در سایر ایستگاه‌ها نیز اگرچه افزایش بارش پیش‌بینی نشد، لیکن کمترین درصد کاهش بارش ماهیانه در ماه‌های آخر زمستان و اوایل بهار و بیشترین درصد کاهش در ماه‌های مربوط به فصول تابستان و پاییز خواهد بود. بر اساس سناریوی SSP5-8.5 بیشترین درصد کاهش بارش در مدل MPI به میزان ۳۳٪ برای ایستگاه‌های جلفا، سردشت، مراغه و در مدل CanESM5 حدود ۳۳ الی ۳۵ درصد برای ایستگاه‌های جلفا، تکاب و ارومیه پیش‌بینی گردید. نتایج پژوهش حاضر با یافته‌های اکثر مطالعات ارائه شده در بخش پیشینه هم سو بود. از جمله این که بارش در برخی ماه‌های سال افزایش و در برخی دیگر کاهش خواهد یافت (مسگری و همکاران (۲۰۲۲)، زارعی و همکاران (۱۳۹۷)، حیدری تاشه کبود و همکاران (۱۳۹۸)، کثیری و همکاران (۱۳۹۹)، داروند (۱۴۰۰)). در برخی ایستگاه‌های منطقه روند کاهشی بارش تأیید گردید (زارعیان (۱۴۰۱)، انصاری و همکاران (۱۴۰۱)، محمدی و همکاران (۱۴۰۰)، صی محمدی (۱۴۰۰)، جهانبخش (۱۴۰۰)) برخی از پژوهش‌گران افزایش بارش را در منطقه مورد مطالعه خود پیش‌بینی کرده‌اند (منون و همکاران (۲۰۱۳)، نیالور و همکاران (۲۰۱۹)، لی و همکاران (۲۰۲۰)، سانگ و همکاران (۲۰۱۶)، نوگوما و همکاران (۲۰۲۱)، کوی و همکاران (۲۰۲۱)). پژوهش حاضر نیز در بعضی ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه افزایش در برخی ماه‌های سال پیش‌بینی نمود. در مجموع طبق نتایج پژوهش حاضر طی دهه‌های آتی میزان کاهش محسوس‌تر از افزایش بارش خواهد بود. همچنین برخی پژوهشگران از جمله زرین و داداشی رودباری (۲۰۲۱) و معصوم پور سماکوش و همکاران، عدم قطعیت مدل‌های GCM در پیش‌بینی بارش را عنوان کرده‌اند. در پژوهش حاضر نیز چنین نتیجه‌گیری شد که هر دو مدل مورد مطالعه بارش منطقه را با خطای نسبتاً بالایی پیش‌بینی می‌کنند.

منابع

- 0 انصاری مهابادی، ثمین؛ دهبان، حسین؛ زارعیان، محمدجواد؛ فرخ نیا، اشکان. (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات دما و بارش حوزه‌های آبریز در افق ۲۰ سال آینده بر اساس برون‌داد مدل‌های CMIP6. مجله پژوهش‌های آب ایران، جلد ۱۶، شماره ۱، صص ۲۴-۱۱.
- 0 جوان، خدیجه؛ عزیززاده محمدرضا. (۱۴۰۲). ارزیابی روش‌های مختلف تصحیح اریبی بر پیش‌نگری بارش مدل GFDL-ESM4 در حوضه دریاچه ارومیه. جغرافیا و برنامه‌ریزی doi: 10.22034/gp.2023.56731.3140 .
- 0 چوبه، سپیده، کاکه ممی، آزاد. (۱۳۹۴). بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) در پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالیقلوچای اردبیل)، دومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست، اردبیل.
- 0 حیدری تاشه کبود، شادیه؛ مفیدی، عباس؛ حیدری تاشه کبود، اکبر. (۱۳۹۸). چشم‌انداز تغییرات بارش در شمال غرب ایران با استفاده از مدل‌های گردش کلی جو تحت سناریوهای اقلیمی. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۸، ۲۹، صص ۱۳۳-۱۵۱.
- 0 داروند، سرو؛ اسکندری دامنه، هادی؛ اسکندری دامنه، حامد؛ خسروی، حسن. (۱۴۰۰). پیش‌بینی روند تغییرات دما و بارش در دوره‌ی آتی و تأثیر آن بر بیابان‌زایی، نشریه مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، دوره ۱، شماره ۱، صص ۶۶-۵۳.
- 0 روحی پناه، فاطمه؛ میر رکنی، سید مجید؛ مساح یوانی، علی‌رضا. (۱۳۹۴). بررسی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی دما و بارش در اقلیم گرم و خشک ایستگاه‌های همدیدی یزد و طبس. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۹، شماره ۴، صص ۱۰۴-۱۲۵.
- 0 زارعی، آذین؛ اسدی، اسماعیل؛ ابراهیمی، عطالله، جعفری، محمد؛ ملکیان، آرش. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری. مرتع، ۱۲(۴)، صص ۴۲۶-۴۳۶.
- 0 زارعیان، محمدجواد. (۱۴۰۱). اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش استان یزد بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6. علوم آب و خاک، ۲۶(۲)، صص ۹۱-۱۰۵.
- 0 زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). پیش‌نگری دوره‌های خشک و مرطوب متوالی در ایران مبتنی بر برون‌داد همادی مدل‌های تصحیح شده اریبی CMIP6. فیزیک زمین و فضا، ۴۷(۳)، صص ۵۷۸-۵۶۱.
- 0 سازمان هواشناسی کشور <http://www.irimo.ir>.
- 0 سرابی، مجتبی؛ دستورانی، محمدتقی؛ زرین، آذر. (۱۳۹۹). بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی آینده بر وضعیت دما و بارش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد طرق مشهد)، نشریه هواشناسی و علوم جو، جلد ۳، شماره ۱، صص ۸۳-۶۳.
- 0 شجاع، فائزه؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۴۰۲). پیش‌نمایی تغییرات بارش‌های آبی حوضه‌های آبخیز تأمین کننده آب شهر تهران، مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۳۶، صص ۱۸۰-۱۵۱.
- 0 صی محمدی، سمیره؛ توکلی، محسن؛ زرافشانی، کیومرث؛ مهدی زاده، حسین؛ امیری، فرزاد. (۱۴۰۰). پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیمی بر دما و بارش با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، راهکاری برای کشاورزی پایدار، (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)، علوم تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۲۵، شماره ۶، صص ۳۱-۱۸.
- 0 عالی نژاد، محمدحسین؛ جهانبخش اصل، سعید؛ محمدخورشیددوست، علی. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات دما و بارش حوضه‌ی سیمره با استفاده از مدل‌های اقلیمی سری CMIP5. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ۳، صص ۳۲-۱۷.
- 0 عساکره، حسین؛ ورناصری قندعلی، نسرین. (۱۴۰۰). بررسی تغییر رژیم بارش ناحیه خزری، نشریه جغرافیا و توسعه ۱۹، دوره، شماره ۶۴، صص ۱۱۵-۱۴۲.
- 0 کارآموز، محمد؛ عراقی نژاد، شهاب. (۱۳۸۴). هیدرولوژی پیشرفته، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.
- 0 کثیری، مریم؛ گودرزی، مسعود، جانباز قبادی، غلامرضا؛ متولی، صدرالدین. (۱۳۹۹). چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه جغرافیای طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۷، صص ۳۵-۵۱.
- 0 محمدی، حسن؛ خلیلی، رضا؛ محمدی، سجاد. (۱۴۰۰). پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی مولد آب و هوایی LARS-WG در زاگرس جنوبی، نیوار، دوره ۴۵، شماره ۱۱۵-۱۱۴، صص ۱۵۳-۱۳۸.
- 0 معصوم پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی؛ پورکمر، فاطمه. (۱۳۹۶). ارزیابی داده‌های مدل‌های اقلیمی CMIP5 در مقابل داده‌های مشاهده‌ای ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، دوره ۱۱، شماره ۴، صص ۵۳-۴۰.

- 0 ملکی نژاد، حسین؛ سلیمانی مطلق، مهدی؛ جایدی، اعظم؛ شاطر آبشوری، سمیه. (۱۳۹۲). تحلیل روند تغییرات بارندگی و خشک‌سالی با استفاده از آزمون‌های من-کندال و سن در استان تهران، مجله علمی و فنی نیوار، ۸۰، صص ۴۳-۵۵.
- 0 مهدویان، شیرین؛ زینالی، بتول؛ صلاحی، برومند. (۱۴۰۲). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه کیوی چای و تحلیل روند تغییرات بارش و دمای آن در دوره‌های آتی با مدل‌های CMIP5. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۷(۸۵)، doi: 10.22034/gp.2022.50623.2977.
- 0 میر موسوی، سید حسین؛ صبور، لیلا. (۱۳۹۳). بررسی روند بارش برف در شمال غرب ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، پیاپی ۲۵، شماره ۳، صص ۱۱۹-۱۳۶.
- 0 میرزایی حسنیو، ایوب؛ عبقری، هیراد، عرفانیان، مهدی. (۱۳۹۹). تحلیل روند بارندگی و شاخص تمرکز بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه دریاچه ارومیه. نشریه جغرافیا و توسعه، دوره ۸۰، شماره ۱۸، صص ۲۱-۴۰.
- 0 هوشیار، محمود؛ سبحانی، بهروز؛ حسینی، سید اسعد. (۱۳۹۷). چشم‌انداز تغییرات دماهای حداکثر ارومیه با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل CanESM2، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۲(۶۳): ۳۲۵-۳۰۵.

- Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J. (2008). **Climate Change and Water. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**, 200 pages.
- 0 Chen, Z., Zhou, T., Zhang, L., Chen, X., Zhang, W., Jiang, J. (2020). **Global land monsoon precipitation changes in CMIP6 projections**. Geophysical Research Letters, 47(14), pp 1-9.
- 0 Cui, T., Li, Ch., Tian, F. (2021). **Evaluation of Temperature and Precipitation Simulations in CMIP6 Models over the Tibetan Plateau**, Earth and space science, Volume8, Issue7.
- 0 De Oliveira, V. A., de Mello, C. R., Beskow, S., Viola, M. R. and Srinivasan, R., (2019). **Modeling the effects of climate change on hydrology and sediment load in a headwater basin in the Brazilian Cerrado biome**, Ecological Engineering, 133, 20–31.
- 0 Diress, S. A., Bedada, T. B. (2021). **Precipitation and Temperature trend analysis by Mann Kendall test: The case of Addis Ababa methodological station, Addis Ababa, Ethiopia**. African Journal on Land Policy and Geospatial Sciences, 4(4), pp 517-526.
- 0 Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C., Stevens, B., Stouffer, R. J., Taylor, K. E. (2015). **Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization**. Geoscientific Model Development Discussions, 8(12), pp 1937-1958.
- 0 Greene, A.M., Goddard, L. and Lall, L. (2006). **Probabilistic multi-model regional temperature change projections**. J. Clim. 19: 4326-4346.
- 0 Gupta, V., Singh, V., Jain, M. K. (2020). **Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs**. Journal of Hydrology, 590, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125422.
- 0 IPCC, (2021). **Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds) Cambridge University Press.
- 0 IPCC. (2013). **Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp 1535.
- 0 Kim, B.S., Kim, H.S., Seoh, B.H. Kim, N.W. (2007). **Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea**. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 21: 355–373.
- 0 Kwesi Nooni, I., Katchele Ogou, F., Saidou Chaibou, A. A., Nakoty. F. M., Gnitou, G.T., Lu, J. (2023). **Torical Mean Precipitation over Africa and the Arabian Peninsula against Satellite-Based Observation**, Journals Atmosphere, Volume 14 (3), 607.
- 0 Lei, Xiaoni ., Xu, Changchun ., Liu, Fang., Song, Lingling ., Cao, Linlin ., Suo, Nanji . (2023). **Precipitation over Arid Central Asia**, Remote Sens., 15(9), 2376.
- 0 Li, Y., Yan, D., Peng, H., & Xiao, S. (2021). **Evaluation of precipitation in CMIP6 over the Yangtze River Basin**. Atmospheric Research, 253, 105406.
- 0 Mason, S.J. (2004). **Simulating climate over western North America using stochastic weather generators**. Clim. Change. 62:155-187.

- 0 Mc Carthy, J.J., Canziani, O, F., Leary, N.A., Dokken, D.J., White K.S. (2001). **Impacts adaptation and vulnerability. Intergovernmental Panel on climate change.** Working Group II. Cambridge University Press, P.45
- 0 Menon, A., Levermann, A., Schewe, J., Lehmann, J., Frieler, K. (2013). **Consistent increase in Indian monsoon rainfall and its variability across CMIP-5 models.** Earth System Dynamics, 4(2), pp 287-300.
- 0 Mesgari, E., Hosseini, S A., Hemmesy, M S., Houshyar, M., Golzari Partoo, L. (2022) **Assessment of CMIP6 models' performances and projection of precipitation based on SSP scenarios over the M ENAP region,** Journal of Water and Climate Change (2022) 13 (10): 3607–3619.
- 0 Nasidi, N. M., Wayayok, A., Abdullah, A. F., Mohd Kassim, M. S. (2021). **Dynamics of potential precipitation under climate change scenarios at Cameron Highlands, Malaysia.** SN Applied Sciences, 3(3), pp 1-17.
- 0 Ngoma, H., , Wen, W., Ayugi, B., Babaousmail, H., Karim, R, Ongoma, V. (2021). **Evaluation of precipitation simulations in CMIP6 models over Uganda,** Royal Meteorological Society, 41 (9), pp 4743-4768.
- 0 Nilawar, A. P. and Waikar, M. L. (2019). **Impacts of climate change on stream flow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India,** Science of Total Environment, 650, 2685–2696.
- 0 Sung, H.M., Kim, J., Shim, S. (2021). **Climate Change Projection in the Twenty-First Century Simulated by NIMS-KMA CMIP6 Model Based on New GHGs Concentration Pathways.** Asia-Pacific J Atmos Sci, 57, 851–862.
- 0 Turgay, P. & Ercan K (2005). **Trend Analysis in Turkish Precipitation data.** Hydrological processes published online in Wiley Interscience. 20(9):2011 – 2026.
- 0 Zhou B, Lauwaet D, Hooyberghs H, De Ridder, Kropp K, D- Rybski J. (2016). **Assessing Seasonality in the Surface Urban Heat Island of London,** Journal of Applied Meteorology and Climatology. 55, pp 493-505. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-15-0041.1>