

Research Paper



Monitoring and Modeling the Precipitation of Ardabil Plain in the Coming Decades based on the Output of some GCMs



Bromand Salahi*¹ Mahdi Foroutan²

1. Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. salahi@uma.ac.ir
2. Ph.D. Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Mahdi.frootan23@gmail.com

Keywords

Modeling, GCMs, Precipitation, Ardabil Plain

Receive Date: 2024/01/21

Accept Date: 2024/06/09

Available: 2024/07/14

ABSTRACT

Monitoring the changes and fluctuations of precipitation in geographical areas can give a better view of the behavior of this phenomenon in the coming years. The purpose of this research is to investigate the precipitation situation in Ardabil Plain (Ardabil, Bileh-Daragh, and Kolour stations) and forecast it in the coming years based on the output of CMIP6 models by the CMhyd downscaling model. Then, using R2, MAE, MSE, RMSE, and Taylor diagram, the observational data of the base period were compared with the historical data of 5 GCM models from CMIP6, and the best model was selected for each studied station. The output of the top models was corrected for skewness by linear scaling method and based on SSP126, SSP245, and SSP585 scenarios, the precipitation of 2050-2023 for each station, forecast, and its trend were drawn with the Mann-Kendall statistic. The results showed that in the eastern and western areas of Ardabil Plain (leading to the heights of Talesh and Sablan mountains), the rainfall changes were increasing (2.80 mm). In the Ardabil station, the MIROC6 model with a correlation coefficient of 0.94%, and in Bileh-Daragh and Kolour stations, the MPI-ESM1-2-HR model with a correlation coefficient of 0.88% and 0.92%, respectively, have the highest accuracy in simulating the precipitation. Also, the results of the scenarios showed that the precipitation changes in Ardabil station in the future period compared to the base period under the SSP126, SSP245, and SSP585 scenarios will be 0.24, -6.36, and -2%, respectively.

*Corresponding Author: Bromand Salahi

E-mail: salahi@uma.ac.ir

How cite to this article: (2024). Monitoring and Modeling the Precipitation of Ardabil Plain in the Coming Decades based on the Output of some GCMs.

Hydrogeomorphology, 11(39): 81 – 99.

[DOI:10.22034/HYD.2024.60175.1724](https://doi.org/10.22034/HYD.2024.60175.1724)



Copyright: ©2024 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

Introduction

The study of precipitation variability is of great importance due to its impact on society, economic activities such as production, agriculture, and the use of land and water resources. To investigate the consequences of climate change on different systems, the most reliable tool is the use of climate variables simulated with coupled atmosphere-ocean general circulation models of the atmosphere (GCM). These models simulate the climate system, including the conditions of the atmosphere, sea ice, ocean, and the conditions of the earth's surface and atmosphere and also describe how these components are related to each of the models for the changes of the Earth's complex climate variables, therefore, these models are considered a very important tool for simulating climate change and estimating future climate. Reducing uncertainty in climate change predictions is a major challenge in impact assessment and climate adaptation planning. General circulation models (GCMs) and forecast scenarios are the main sources of uncertainty in climate change projections. Therefore, choosing the appropriate GCMs for a region can significantly reduce the uncertainty in climate predictions.

Methodology

In this research, at first, data from the CHIRPS satellite precipitation band were used to show the precipitation status of Ardabil Plain from 1985 to 2023. The data have a resolution of 5566 meters and since 1981, they have provided researchers with data related to precipitation. First, the CHIRPS satellite precipitation band data were called in the Google Earth Engine system and the trend of the average annual precipitation and its anomaly in the mentioned period was drawn. In the next step, the temporal changes of annual precipitation in Ardabil Plain were investigated and simulated for 2050-2023. For this purpose, the daily precipitation observed data of the Ardabil synoptic station and the daily precipitation of the Bileh-Daragh and Kolour rain gauge stations, which had complete data for the base period (1985-2014), were obtained from the Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). Also, historical precipitation data of GCM models related to the sixth IPCC report (CMIP6) including ACCESS-ESM1-5, MIROC6, GFDL-ESM4, MPI-ESM1-2-HR, and MRI-ESM2-0 were obtained from the ESGF website. By comparing the output of these models with the observation data of the base period by the statistical measures of coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), Mean Square Error (MSE), and Taylor diagram, the best model was selected for each station. The CMhyd downscaling model was used to simulate precipitation. In this software, the superior model was corrected by the linear scaling (multiplicative) bias correction method, and the precipitation was predicted for the studied stations under the SSP126, SSP245, and SSP585 scenarios for 2050-2023. After generating precipitation data in MATLAB software, its normal distribution was checked and the annual trend of this variable was drawn and analyzed for each of the scenarios with simple linear regression using the least square error method.

Results and Discussion

The anomalous trend of precipitation in the Ardabil Plain in the period 1985-2022 by CHIRPS satellite data of the precipitation band shows that since 1995, the precipitation in the Ardabil Plain has had a gentle upward slope, and in the eastern and western areas (leading to Talesh and Sabalan mountains), precipitation changes have been increasing (more than 2.80 mm per day). Comparison of observational data of the studied stations with historical data of GCM models related to the sixth IPCC report (ACCESS-ESM1-5, GFDL-ESM4, MIROC6, MPI-ESM1-2-HR, MRI-ESM2-0), for the base period (1985- 2014) showed that in Ardabil station, the MIROC6 model with a correlation coefficient of 0.94% and in Bileh-Daragh and Kolour stations, the

MPI-ESM1-2-HR model with a correlation coefficient of 0.88% and 0.92%, respectively, have the highest accuracy in rainfall simulation.

Conclusion

The results showed that in the Ardabil station, the MIROC6 model, and in the Bileh-Daragh and Kolour stations, the MPI-ESM1-2-HR model had the most accuracy in simulating precipitation in the Ardabil Plain. The results of the scenarios showed that the changes of precipitation in Ardabil station in the future period compared to the base period (under SSP126, SSP245, and SSP585 scenarios), will be 0.24, -6.36, and -2%, respectively. Based on SSP126, SSP245, and SSP585 scenarios, these changes will be -1.84, -6.21, and 4.92 percent at Bileh-Daragh station, and 3.65 percent, -1.97 percent, and 9.44 percent at the Kolour station, respectively. The annual trend of precipitation in the coming period showed that in all studied stations and under most scenarios, precipitation will have an insignificant downward trend.

مقاله پژوهشی



پایش و مدل‌سازی بارش دشت اردبیل در دهه‌های آینده بر اساس خروجی برخی GCMها



برومند صلاحی*^۱، مهدی فروتن^۲

۱- استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل. salahi@uma.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل. Mahdi.frotan23@gmail.com

چکیده

پایش تغییرات و نوسانات بارش مناطق جغرافیایی می‌تواند دید بهتری از رفتار این پدیده در سال‌های آینده داشته باشد. هدف این پژوهش، بررسی وضعیت بارش دشت اردبیل (ایستگاه‌های اردبیل، بیلهدرق و کلور) و پیش‌نگری آن در سال‌های آینده بر اساس پروتکل مدل‌های CMIP6 توسط مدل مقیاس‌کافی CMhyd می‌باشد. سپس با استفاده از سنج‌های آماری R^2 ، MAE، MSE، RMSE و دیاگرام تیلور، به مقایسه داده‌های مشاهداتی دوره پایه با داده‌های تاریخی ۵ مدل GCM از CMIP6 پرداخته شد و برای هر ایستگاه مورد مطالعه، مدل برتر انتخاب گردید. خروجی مدل‌های برتر با روش linier scaling تصحیح اریبی گردیدند و بر اساس سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585، بارش سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۵۰ برای هر ایستگاه، پیش‌نگری و روند آن با آماره من-کندال ترسیم شد. نتایج نشان داد در نواحی شرقی و غربی دشت اردبیل (منتهی به ارتفاعات کوه‌های تالش و سلان)، تغییرات بارش افزایشی بوده است (۲/۸۰ میلی‌متر). در ایستگاه اردبیل، مدل MIROC6 با ضریب همبستگی ۰/۹۴ درصد و در ایستگاه‌های بیلهدرق و کلور، مدل MPI-ESM1-2-HR با ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۹۲ درصد، بیش‌ترین دقت را در شبیه‌سازی بارش داشته‌اند. همچنین نتایج سناریوها نشان دادند که تغییرات بارش در ایستگاه اردبیل در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585، به ترتیب ۰/۲۴، ۶/۳۶- و ۲- درصد خواهد بود.

کلیدواژه‌ها

مدل‌سازی، GCM، بارش، دشت اردبیل

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

ارجاع به این مقاله: صلاحی، برومند؛ فروتن، مهدی (۱۴۰۳). پایش و مدل‌سازی بارش دشت اردبیل در دهه‌های آینده بر اساس خروجی برخی GCMها. هیدروژئومورفولوژی، ۱۱(۳۹): ۸۱-۹۹.

* نویسنده مسئول: برومند صلاحی
رایانامه: salahi@uma.ac.ir

DOI:10.22034/HYD.2024.60175.1724



Copyright: © 2024 by the authors.

Publisher: University of Tabriz

مقدمه

مطالعه تغییرپذیری بارش، عمدتاً به دلیل تأثیر آن بر جامعه، فعالیت‌های اقتصادی مانند تولید، کشاورزی و استفاده از زمین و منابع آب، از اهمیت فراوانی برخوردار است (تریگو و پالوتیکوف^۱، ۲۰۰۱: ۴۴۲۲). تغییرات آب و هوایی به‌طور فزاینده‌ای منجر به سیل، امواج گرما، خشک‌سالی و غیره می‌شود و بسیاری از بخش‌ها از جمله منابع آب، بهداشت، محیط‌زیست، کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌عنوان مثال، خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ در سوریه به دلیل تغییر آب و هوایی، بحران آب را تشدید کرد و منجر به تلفات شدید بر بخش کشاورزی و دامداری برای حدود ۱/۳ میلیون نفر شد که از این تعداد ۸۰۰/۰۰۰ نفر به شدت تحت تأثیر تبعات تغییرات آب و هوایی قرار گرفتند و نیز منجر به مهاجرت مردم از روستاهای آسیب دیده به شهرها شد (هومسی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹: ۹۰). جامعه مدل‌سازی آب و هوا به‌طور گسترده توافق کرده‌اند که افزایش شدید دما در دوران پس از انقلاب صنعتی به‌طور قابل توجهی بر چرخه هیدرولوژیکی جهانی تأثیر می‌گذارد. تغییرات مکانی-زمانی در چرخه هیدرولوژیکی جهانی بر انسان و محیط‌زیست تأثیرگذار است بنابراین، بررسی تغییرات الگوهای مکانی-زمانی متغیرهای آب و هوایی مانند بارش و دما اهمیت زیادی دارد (احمد^۳ و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۸۰۳).

برای بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر سامانه‌های مختلف زمینی، معتبرترین ابزار، بهره بردن از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده با مدل‌های جفت‌شده اتمسفر-اقیانوس گردش عمومی جو GCM^۴ است. این مدل‌ها سیستم آب و هوایی تکامل زمین در هر زمان شامل شرایط اتمسفر، یخ دریا، اقیانوس و شرایط سطح زمین و جو را شبیه‌سازی می‌نمایند و چگونگی برقراری ارتباط این مؤلفه‌ها با هر یک از مدل‌ها برای ایجاد و تغییر متغیرهای اقلیمی پیچیده زمین را توصیف می‌کنند به همین دلیل این مدل‌ها ابزاری بسیار مهم برای شبیه‌سازی تغییر اقلیم و همچنین برآورد آینده محسوب می‌شوند (خواجهمیری خالدی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۳). آب و هوای شبیه‌سازی شده GCM به دلیل ساختار مدل، پارامترسازی، فرض، فرآیندهای کالیبراسیون و غیره با عدم قطعیت‌های زیادی همراه است بنابراین، تمام GCMها نمی‌توانند به‌طور مستقیم برای پیش‌بینی آب و هوای آینده در مناطق خاص مورد استفاده قرار گیرند. به‌طور کلی، گروه کوچکی از GCMها برای یک منطقه معین با حذف آن‌هایی که هیچ شباهتی به آب و هوا ندارند انتخاب می‌شوند تا عدم قطعیت مرتبط با GCMها را کاهش دهند (خان^۵ و همکاران، ۲۰۱۸). کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های تغییرات آب و هوایی یک چالش بزرگ در ارزیابی تأثیر و برنامه‌ریزی سازگاری با تغییر اقلیم است. مدل‌های گردش عمومی (GCM) همراه با سناریوهای پیش‌بینی، منابع اصلی عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های تغییرات آب و هوایی هستند؛ بنابراین، انتخاب GCMهای مناسب برای یک منطقه می‌تواند به‌طور قابل توجهی عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های اقلیمی را کاهش دهد (سلمان^۶ و همکاران، ۲۰۲۰: ۷۸۱).

در این زمینه مطالعاتی انجام گرفته است. داننده مهر و کهیا^۷، (۲۰۱۷)، عملکرد مبتنی بر شبکه ترکیبات GCM-RCM برای بازتولید بارندگی، عباسیان و همکاران (۲۰۱۹)، عملکرد مدل‌های گردش عمومی در شبیه‌سازی دما و بارش در ایران، شا^۸ و همکاران (۲۰۱۹)، برآورد تغییرات اقلیمی آینده در مناطق سردسیر با مدل LARS-WG تحت سناریوهای CMIP5^۹، استاد علی‌عسکری و همکاران (۲۰۲۰)، تأثیر تغییر اقلیم بر الگوهای بارش در دشت اصفهان-برخوار با استفاده از مدل‌های GCM، نور^{۱۰} و همکاران، (۲۰۲۰)، عملکرد خروجی مدل غیرمحلی برای کاهش مقیاس GCMهای CMIP5 برای پیش‌بینی بارندگی در شبه‌جزیره مالزی، کاوونجه^{۱۱} (۲۰۲۱)، دما و بارش در مقیاس محلی در حوضه رودخانه شایر (SRB) در مالایا با استفاده از ۱۰ مدل گردش جهانی (GCM)، محمدرافی‌شیخ^{۱۲} (۲۰۲۲)، تنوعات آب و هوایی با استفاده از GCMs و RCMs تحت یک مسیر غلظت نماینده (RCP4.5) در حوضه رودخانه هاتماتی، حیدر و همکاران (۲۰۲۳)، اثرات بالقوه تغییر اقلیم و کاربری اراضی پیش‌بینی شده بر رواناب حوضه رودخانه کنهار پاکستان را ارزیابی، شبیه‌سازی،

1- Trigo & Palutikof

2- Homsi

3- Ahmed

4- General Circulation Model

5- Khan

6- Salman

7- Danandeh Mehr & Kahya

8- Sha

9- Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

10- Noor

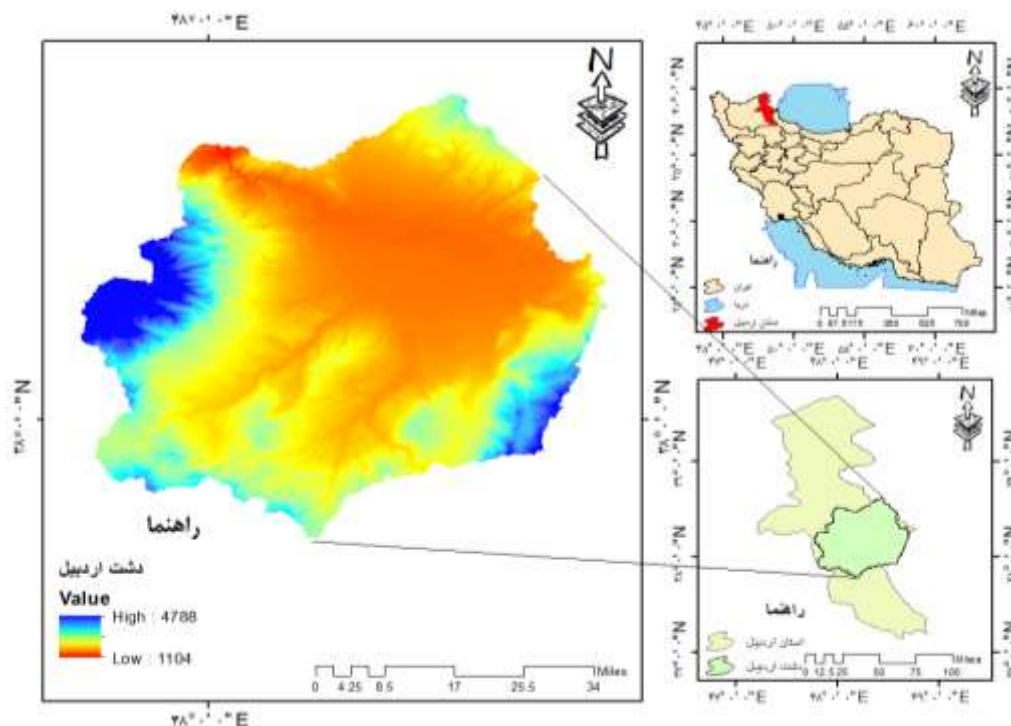
11- Kavwenje

12- Mohmedraffi Shaikh

پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل نمودند. همچنین کامیار و همکاران (۱۳۹۶)، چشم‌انداز دمای کمینه و بیشینه استان اصفهان در افق ۲۰۵۰-۲۰۱۷، جهانبخش‌اصل و همکاران (۱۳۹۸)، ریزمقیاس‌نمایی روابط بارش-رواناب حوضه‌ی آبریز رود زرد در بستر تغییر اقلیم با مدل CanESM2، کمری و همکاران (۱۳۹۹)، ارزیابی مدل LARS-WG در پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی مناطق اقلیمی زیر کشت پنبه در ایران، زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۰)، پیش‌نگری بلندمدت روزهای خشک (CDD^۱) و مرطوب (CWD^۲) متوالی ایران، عبدالعلی‌زاده و همکاران (۱۴۰۱)، ارزیابی دقت مدل‌های CMIP6 برای شبیه‌سازی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه، انصاری مهابادی و همکاران (۱۴۰۱)، بررسی روند تغییرات دما و بارش حوضه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ سال آینده بر اساس برون‌داد مدل‌های CMIP6، رشیدی قانع و همکاران (۱۴۰۲)، ارزیابی توانمندی سه مدل از مجموعه داده‌های CMIP6 در جهت ریزمقیاس‌نمایی دما و بارش در حوضه آبریز کشف‌رود، عبدالعلی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲)، پیش‌نگری و ارزیابی روند دما، بارش و خشک‌سالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را انجام دادند. با توجه به اهمیت دشت اردبیل از نظر کشاورزی، منابع آبی و زیست‌محیطی، هدف این تحقیق مدل‌سازی بارش دشت اردبیل در دهه‌های آینده بر اساس خروجی برخی GCM‌ها است. این مدل‌سازی می‌تواند به درک بهتر تغییرات بارش در این منطقه کمک کند و برای برنامه‌ریزی‌های آینده در بخش‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

موقعیت منطقه مورد مطالعه

دشت اردبیل در کانون جغرافیایی استان اردبیل با مساحت ۱۰۰/۰۰۰ هکتار و بین مدارهای ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی و بین نصف‌النهارهای ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (سبحانی و نصیری، ۱۴۰۱: ۶۴). ارتفاع متوسط آن ۱۳۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد می‌باشد و از نظر اقلیمی جزو مناطق سردسیر کوهستانی است. میانگین مجموع بارش سالانه آن به ۲۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر می‌رسد (ضیایی و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۲۹). شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی دشت اردبیل را در سطح استان اردبیل و ایران نشان می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی دشت اردبیل

Figure (1): Geographical location of the Ardabil Plain

1- Consecutive Dry Days

2- Consecutive Wet Days

روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا برای نمایش وضعیت بارش های دشت اردبیل از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۳ از داده های باند Percipitation ماهواره CHIRPS استفاده شد. این داده ها دارای رزولیشن ۵۵۶۶ متری بوده و از سال ۱۹۸۱ تاکنون داده های مربوط به بارش را در اختیار محققین قرار می دهد. ابتدا داده های باند Percipitation ماهواره CHIRPS در سامانه گوگل ارث انجین فراخوانی شدند و روند آنومالی بارش سالانه به همراه نقشه آن در بازه زمانی مذکور ترسیم شد. در گام بعد، به منظور پیش نگرایی بارش در دهه های آینده (۲۰۲۳-۲۰۵۰) از سازمان هواشناسی کل، به دریافت داده های بارش روزانه برای ایستگاه سینوپتیک اردبیل و ایستگاه های باران سنجی بیلهدرق و کلور که داده های کاملی برای دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) داشتند پرداخته شد.

پروژه مدل های جفت شده مرحله ششم (CMIP6)

پروژه مدل های جفت شده مرحله ششم (CMIP6) مرحله تازه ای از مدل های اقلیمی و به عبارتی GCM هایی هستند که از سال ۲۰۱۵ با استفاده از سناریوهای جدید SSP^۱ و مجموعه ای جدید از مشخصات غلظت، انتشار و سناریوهای پوشش سطح زمین به پیش نگرایی اقلیم آینده زمین پرداخته اند. مدل های CMIP6 نسبت به نسخه پیشین (CMIP5)، علاوه بر بهبود سازوکار فرایندهای فیزیکی و همرفت، ماژول های جدیدی را در بخش اقیانوس، بیوژئوشیمی اقیانوس و یخ دریا اضافه نموده اند (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰: ۷۶). در این پژوهش از مدل های GCM مربوط به گزارش ششم IPCC، شامل ACCESS-ESM1-5، MIROC6، GFDL-ESM4، MPI-ESM1-2، HR و MRI-ESM2-0 استفاده شد. داده های تاریخی بارش مدل های مذکور از سایت ESGF^۲ دریافت شدند. جدول (۱)، مشخصات مدل های GCM مورد مطالعه مربوط به گزارش ششم IPCC را نشان می دهد.

جدول (۱): ویژگی های مدل های GCM مربوط به گزارش ششم IPCC

Table (1): Characteristics of GCM models related to the sixth IPCC report

مدل ها	شرکت سازنده	مدل پایه	پراکندگی مکانی
ACCESS-ESM1-5	مرکز ملی تحقیقات جوی (NCAR) آمریکا	ECHAM6	شبکه ای با شعاع ۲/۵ درجه
MIROC6	مرکز تحقیقات آب و هوا ژاپن (MRI)	MIROC5	شبکه ای با شعاع ۱/۲۵ درجه
GFDL-ESM4	مؤسسه ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA)	GFDL-CM3	شبکه ای با شعاع ۱/۹ درجه
MPI-ESM1-2-HR	مؤسسه ماکس پلانک (MPI-ESM) آلمان	MPI-ESM1-2	شبکه ای با شعاع ۰/۹ درجه
MRI-ESM2-0	مرکز تحقیقات آب و هوا ژاپن (MRI)	MRI-ESM2	شبکه ای با شعاع ۱/۲۵ درجه

مقیاس کاهی توسط CMhyd

با استفاده از نرم افزار CMhyd^۴ برونداد مدل های گردش کلی مقیاس کاهی گردیدند. این نرم افزار برای مدل سازی هیدرولوژی توسط رادجنز و همکاران (۲۰۱۶) در دانشگاه پردو آمریکا در محیط پایتون بسط و گسترش یافت و بیش تر برای تصحیح اریبی داده های مقیاس کاهی شده دینامیکی از قبیل داده های cordex استفاده می شود. در فرایند تصحیح اریبی لزوماً کاهش مقیاس صورت نمی گیرد و تفکیک مکانی داده های تصحیح شده مشابه با داده های خام است. این نرم افزار از هشت روش تصحیح اریبی طی فرایندی مجزا برای بارش و دما (دمای بیشینه و کمینه) استفاده می کند که پنج روش آن مختص بارش و چهار روش مختص دما می باشد. نرم افزار مذکور دارای دو بخش اصلی است؛ بخش پردازش و بخش ترسیم. در بخش پردازش، کلیه مراحل مربوط به ورودی داده ها تا مقیاس کاهی انجام می شود، در حالی که در بخش ترسیم، خروجی ها ترسیم می شوند. بخش پردازش، به چهار زیربخش اصلی تقسیم می شود: ۱- ورودی داده های دیدبانی؛ در این بخش، داده های مشاهده شده مربوط به شرایط اقلیمی به صورت فایل های متنی قرار می گیرند که با فرمت ASCII می باشند. این فایل ها شامل یک فایل metadata به نام "Location file" هستند که اطلاعات مربوط به هر ایستگاه را شامل

1- Shared Sosioeconomic Pathways

2- <https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/>

3- Intergovernmental Panel on Climate Change

4- Climate Model data for Hydrologic

می‌شود، از جمله شماره مشخصه ایستگاه، نام، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع آن‌ها. همچنین، برای هر ایستگاه، یک یا تعدادی فایل متنی داده وجود دارد که حاوی داده‌های روزانه متغیر مورد نظر برای آن ایستگاه می‌باشد. در فایل‌های ASCII داده‌های بارش به صورت تک‌ستونی و داده‌های دما به صورت دو ستونی قرار داده می‌شوند. به عبارت دیگر، در فایل بارش، مقادیر بارش در یک ستون ذخیره می‌شوند و در فایل دما، دمای بیشینه در ستون اول و دمای کمینه در ستون دوم قرار می‌گیرد. همچنین، روز شروع داده‌ها در اولین سطر هر فایل متنی قید می‌شود. در صورت وجود خلأهای آماری یا مقادیر مفقودی در داده‌ها، این مقادیر با کد ۹۹/۹- نشان داده می‌شوند ۲- ورودی مدل اقلیم: در این بخش بایستی برای هر دوره سناریوی مورد مطالعه دایرکتوری جداگانه حاوی فایل سناریو و تاریخی ایجاد شود. فرمت داده‌های این بخش می‌تواند به صورت متنی یا netcdf باشد. ۳- انتخاب دایرکتوری خروجی‌های مقیاس‌کاهی شده: در این زیربخش، محل ذخیره‌سازی خروجی‌هایی که پس از مقیاس‌کاهی به دست می‌آیند، انتخاب می‌شود. ۴- فرایند اجرای مدل: که در این مرحله ابتدا طول دوره داده‌های دیدبانی و تاریخی و میزان همپوشانی آن‌ها مشخص و چک می‌شوند و سپس فرایند مقیاس‌کاهی اجرا می‌شود (بابائیان و همکاران، ۱۴۰۲: ۴۳۶).

روش تصحیح اریبی (linier scaling (LS))

یکی از روش‌های پرکاربرد تصحیح اریبی روش نسبت‌گیری خطی (LS)، می‌باشد که محققینی هم‌چون (کروچمور و همکاران، ۲۰۱۶) و (لو و همکاران، ۲۰۱۸)، برای پیش‌بینی بارش از آن استفاده نموده‌اند. روش نسبت‌گیری خطی شبیه‌سازی مدل را با یک نسبت خطی (نسبت میانگین مشاهداتی به میانگین شبیه‌سازی شده) در دوره آموزش تصحیح می‌نماید. معادله روش مذکور به صورت رابطه ۱، می‌باشد.

$$P_{\text{cor.m.d}} = P_{\text{raw.m.d}} * \frac{\mu(P_{\text{obs}})}{\mu(P_{\text{raw.m}})} \quad (1)$$

در معادله فوق، $P_{\text{cor.m.d}}$ پیش‌بینی تصحیح‌شده بارش برای عضو m ام در روز d ام هر ماه، $P_{\text{raw.m.d}}$ پیش‌بینی تصحیح‌نشده بارش یا خام برای عضو m ام در روز d ام هر ماه، $\mu(P_{\text{obs}})$ میانگین بارش مشاهداتی در دوره آموزش، $\mu(P_{\text{raw.m}})$ میانگین بارش پیش‌بینی خام در دوره آموزش برای عضو m می‌باشد (شعبان‌پور و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۰۲۱).

معیارهای ارزیابی مدل

برای مقایسه خروجی مدل‌های مورد مطالعه با داده‌های مشاهداتی دوره پایه ایستگاه‌های مورد بررسی از سنجه‌های آماری ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا ($^1\text{RMSE}$)، میانگین مطلق خطا (^2MAE)، میانگین مربعات خطا (^3MSE) و دیاگرام تیلور، استفاده شد و مدل برتر برای هر ایستگاه انتخاب گردید. روابط هر کدام از سنجه‌های آماری مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_o^2 X_s^2}} \quad (2)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_o - X_s)^2}{N}} \quad (3)$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |X_o - X_s|}{N} \quad (4)$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_o - X_s)^2 \quad (5)$$

در معادلات فوق، X_0 داده‌های مشاهده شده، X_S داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد داده‌ها را نشان می‌دهد (مسگری و همکاران، ۲۰۲۳: ۱۴۲۴).

سناریوهای مسیره‌های مشترک اجتماعی-اقتصادی (SSPs)

این سناریوهای SSP علاوه بر در نظر گرفتن انتشار گازهای گلخانه‌ای، از ترکیب خط سیره‌های اجتماعی-اقتصادی مشترک در کنار خط سیره‌های نماینده غلظت گازهای گلخانه‌ای برای تحلیل پس‌خورهای تغییر اقلیم و فاکتورهای اجتماعی-اقتصادی نظیر رشد جهانی جمعیت، توسعه اقتصادی و پیشرفت‌های فناوری بهره گرفته است (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰: ۷۷). در پژوهش حاضر پس از ارزیابی داده‌های تاریخ مدل‌های GCM با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های مورد مطالعه، مدل برتر انتخاب گردید و بر اساس برونداد آن برای هر کدام از ایستگاه‌ها تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 بارش برای سال‌های (۲۰۲۳-۲۰۵۰) پیش‌نگری شد.

آزمون من-کندال

به منظور بررسی روند بارش‌های پیش‌نگری شده در آینده از آماره من-کندال استفاده شد. در این آزمون اگر تعداد سری زمانی در دوره مورد بررسی n باشد ابتدا آماره S به صورت رابطه ۱، به دست می‌آید.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن n طول سری زمانی، X_j مقدار داده‌های متوالی و $\sin(\Theta)$ تابع علامت بوده و به صورت رابطه ۷، محاسبه می‌شود.

$$\text{sgn} = (X) \begin{cases} +1 & \text{if } X > 0 \\ 0 & \text{if } X = 0 \\ -1 & \text{if } X < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۷})$$

در صورتی که طول سری زمانی بزرگ‌تر یا مساوی ۸ باشد آماره S به طور نرمال توزیع شده و میانگین و انحراف معیار آن به صورت رابطه ۸، به دست می‌آید.

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i-5)}{18} \quad (\text{رابطه ۸})$$

در رابطه فوق n ، تعداد داده‌های مشاهده‌ای، T_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشند. آماره استاندارد شده Z از رابطه ۹، به دست می‌آید.

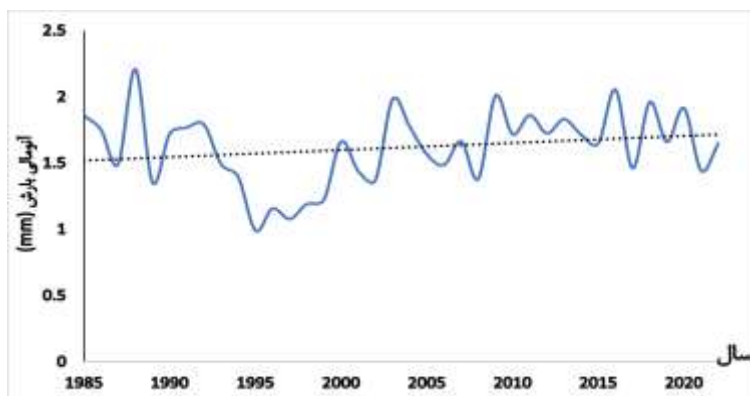
$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ s & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (\text{رابطه ۹})$$

آماره آزمون من-کندال استاندارد شده Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ تبعیت می‌کند و فرض صفر آن در صورت برقراری $-Z_{1-\frac{\alpha}{2}} \leq Z \leq Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ پذیرفته می‌شود (زادهمهر و فرخیان فیروزی، ۱۴۰۰، ۴۳۳).

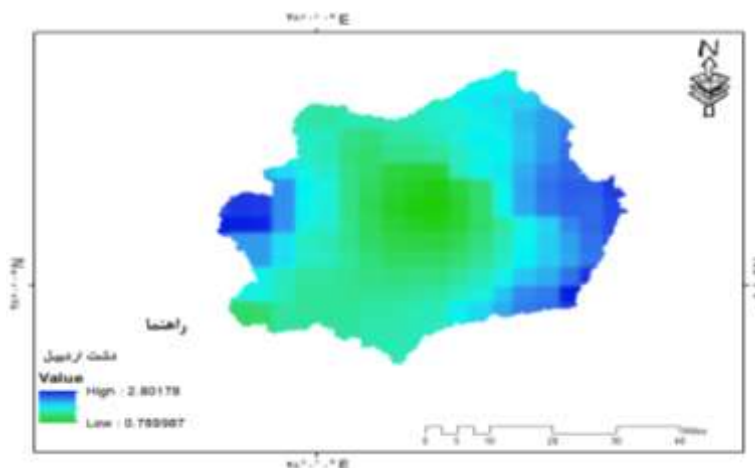
یافته‌ها و بحث

شکل ۲، روند آنومالی بارش دشت اردبیل را در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۲ توسط داده‌های ماهواره CHIRPS باند precipitation نشان می‌دهد. همان‌طور که از نوسانات این پدیده مشخص است بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۰ تغییرات بارش سالانه دشت اردبیل روندی

کاهش یافته و یک میلی‌متر از میانگین بارش کاسته شده است اما از سال ۱۹۹۵ به بعد تغییر روند اتفاق افتاده و آنومالی بارش شیب ملایم صعودی به خود گرفته است. نقشه آنومالی بارش دشت اردبیل در شکل ۳ نشان می‌دهد قسمت‌های شرقی و نواحی غربی دشت اردبیل (منتهدی به ارتفاعات کوه سبلان) از تراکم و بیشینه بارشی برخوردار بوده و متوسط تغییرات آن به بیش از ۲/۸۰ میلی‌متر در روز رسیده است اما در نواحی مرکزی دشت اردبیل تغییرات بارش متعادل بوده و به مقدار ۰/۷۸ میلی‌متر در روز رسیده است.



شکل (۲): روند میانگین بارش دشت اردبیل توسط داده‌های ماهواره CHIRPS در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۲
 Figure (2): Average precipitation trend of Ardabil Plain by CHIRPS satellite data in the period 1985-2022



شکل (۳): آنومالی بارش دشت اردبیل حاصل از توسط داده‌های ماهواره CHIRPS در بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۲
 Figure (3): Ardabil Plain precipitation anomaly obtained by CHIRPS satellite data in the period 1985-2022

جدول ۲، نتایج مقایسه داده‌های بارش مشاهده‌شده با داده‌های تاریخی هر یک از مدل‌های GCM را قبل از تصحیح اریبی نشان می‌دهد. بر حسب مقادیر سنجه‌های آماری R^2 ، MSE، MAE و RMSE در ایستگاه اردبیل، مدل MIROC6 و برای ایستگاه‌های بیله‌درق و کلور، مدل MPI-ESM1-2-HR داده‌های تاریخی بارش را نزدیک به واقعیت شبیه‌سازی نموده‌اند. مدل‌های مذکور در پژوهش‌های محققینی همچون (استادعلی‌عسکری و همکاران، ۲۰۲۰)، کامیار و همکاران (۱۳۹۶)، کمری و همکاران (۱۳۹۹) نیز به‌عنوان مدل برتر در پیش‌نگری‌های بارش شناخته شده‌اند؛ لذا در ادامه بر اساس برون‌داد مدل‌های برتر برای هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه به سناریوسازی داده‌های بارش در سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۵۰ اقدام گردید.

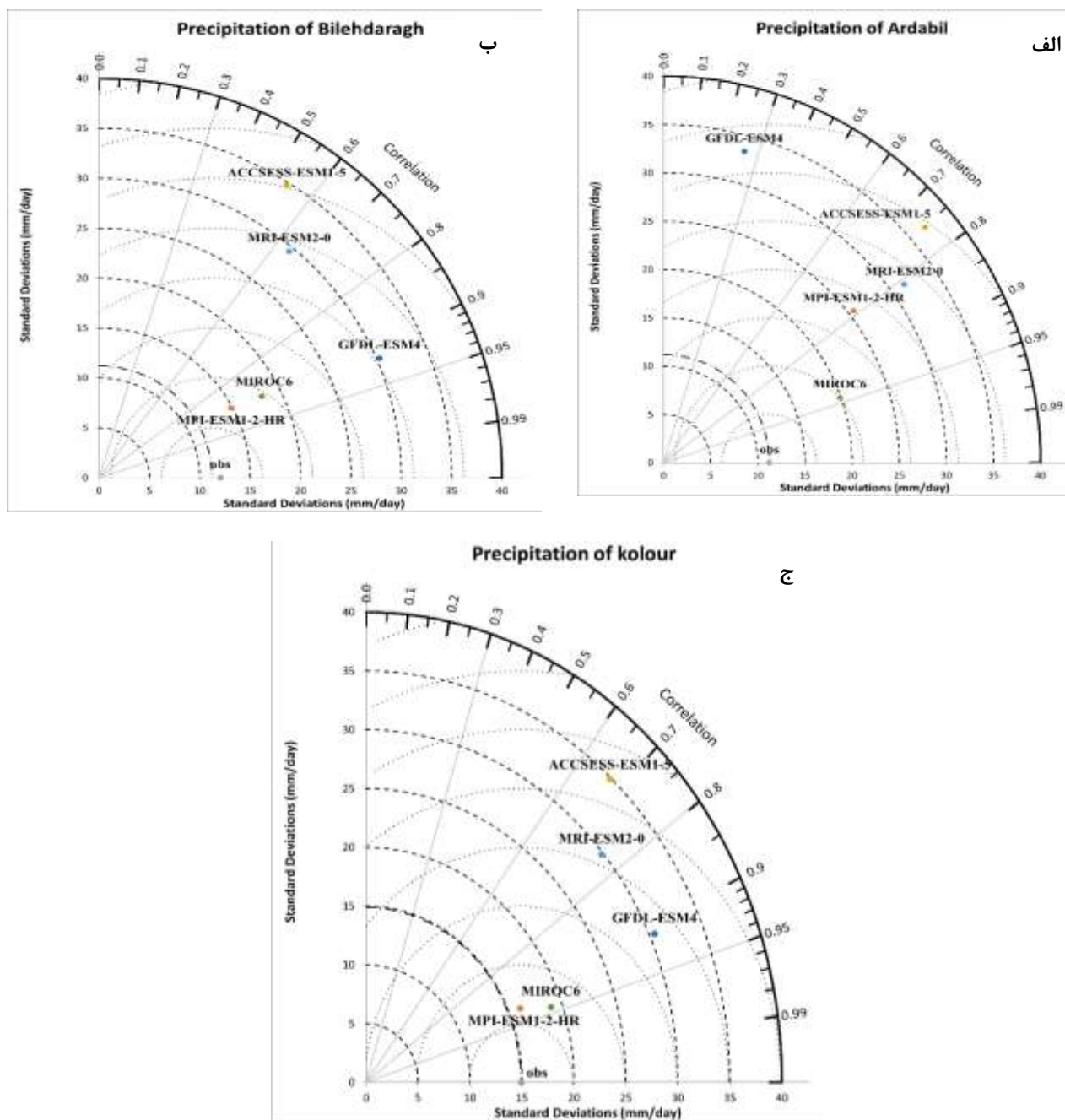
جدول (۲): مقایسه داده‌های بارش مشاهده‌شده با داده‌های تاریخی هر یک از مدل‌های GCM قبل از تصحیح اریبی

Table (2): Comparison of observed precipitation data with historical data of each GCM model before skew correction.

مدل‌های GCM	سنجه‌های آماری	اردبیل	بیله‌درق	کلور
-------------	----------------	--------	----------	------

۰/۴۵	۰/۲۸	۰/۵۶	R ²	ACCESS-ESM1-5
۲۵/۸۹	۲۹/۴۰	۲۲/۴۸	MAE	
۱۲۱۴/۶	۱۵۷۹/۷	۹۶۷/۳۰	MSE	
۳۴/۸۵	۳۹/۷۴	۳۱/۱۰	RMSE	
۰/۸۲	۰/۸۴	۰/۸۸	R ²	GFDL-ESM4
۱۱/۲۲	۱۲/۱۰	۸/۸۶	MAE	
۲۶۹/۴۹	۲۴۴/۳۰	۱۷۵/۶۶	MSE	
۱۶/۴۱	۱۵/۶۳	۲۵/۱۳	RMSE	
۰/۸۸	۰/۷۹	۰/۸۸	R ²	MIROC6
۵/۹۷	۷/۷۴	۵/۷۴	MAE	
۶۲/۳۲	۱۰۹/۶	۶۲/۵۳	MSE	
۷/۸۹	۱۰/۴۷	۷/۹۰	RMSE	
۰/۸۴	۰/۷۷	۰/۶۲	R ²	MPI-ESM1-2-HR
۵/۱۵	۶/۲۷	۱۳	MAE	
۵۲/۲۵	۷۶/۰۶	۲۷۳/۹۹	MSE	
۷/۲۲	۸/۷۲	۱۶/۵۵	RMSE	
۰/۵۷	۰/۴۰	۰/۶۵	R ²	MRI-ESM2-0
۱۹/۱۰	۲۲/۹۸	۱۵/۳۳	MAE	
۶۸۶/۳۶	۹۵۹/۷	۵۵۸/۲۳	MSE	
۲۶/۱۹	۳۰/۹	۲۳/۶۲	RMSE	

علاوه بر بررسی برخی از سنج‌های آماری، برای شناسایی مدل برتر از دیاگرام تیلور نیز جهت یافتن مدل شایسته استفاده شد. همبستگی و مقدار RMSE بین مقادیر مربوط به میانگین ماه‌های بارش مشاهداتی و مدل‌های مورد بررسی شامل ACCESS-ESM1-5، GFDL-ESM4، MIROC6، MPI-ESM1-2-HR، MRI-ESM2-0 در قالب دیاگرام تیلور به نمایش درآمده است (شکل ۴). در این نمودار، دوایر خط‌چین مربوط به خطای استاندارد پیش‌بینی هستند بدین ترتیب که در ایستگاه اردبیل، مدل MIROC6 با انحراف معیار ۱۹/۸۹ میلی‌متر و همبستگی ۰/۹۴ درصد نسبت به سایر مدل‌ها توانایی بیش‌تری از خود نشان داده است. در ایستگاه بیلهدرق و کلور، مدل MPI-ESM1-2-HR، با انحراف معیار به ترتیب ۱۴/۸۶ و ۱۶/۱۰ میلی‌متر و همبستگی ۰/۸۸ و ۰/۹۲ درصد مدل برتر شناخته شد. در ایستگاه‌های بیلهدرق و کلور، مدل MIROC6 با اختلاف اندکی نسبت به مدل MPI-ESM1-2-HR در رتبه دوم قرار گرفته و نتایج نمودارهای تیلور ترسیم شده با نتایج سنج‌های آماری که پیش‌تر بررسی شد هم‌خوانی داشته است.

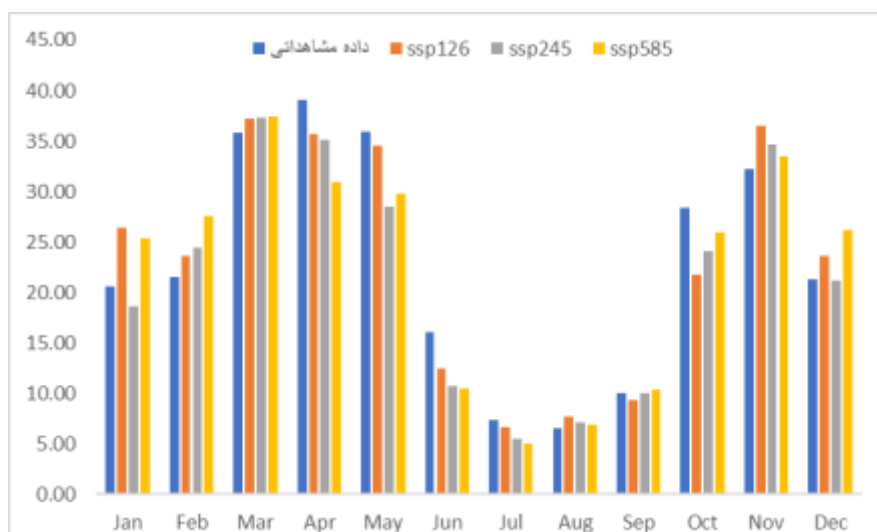


شکل (۴): نمودار تیلور بین مقادیر بارش مشاهداتی ایستگاه‌های الف) اردبیل، ب) بیلهدرق، ج) کلور و داده‌های تاریخی مدل‌های GCM مورد مطالعه (قبل از تصحیح اریبی)

Figure (4): Taylor diagram between the observed rainfall values of A) Ardabil, B) Bileh-Daragh, C) Kolour and historical data of GCM models under study (before skew correction)

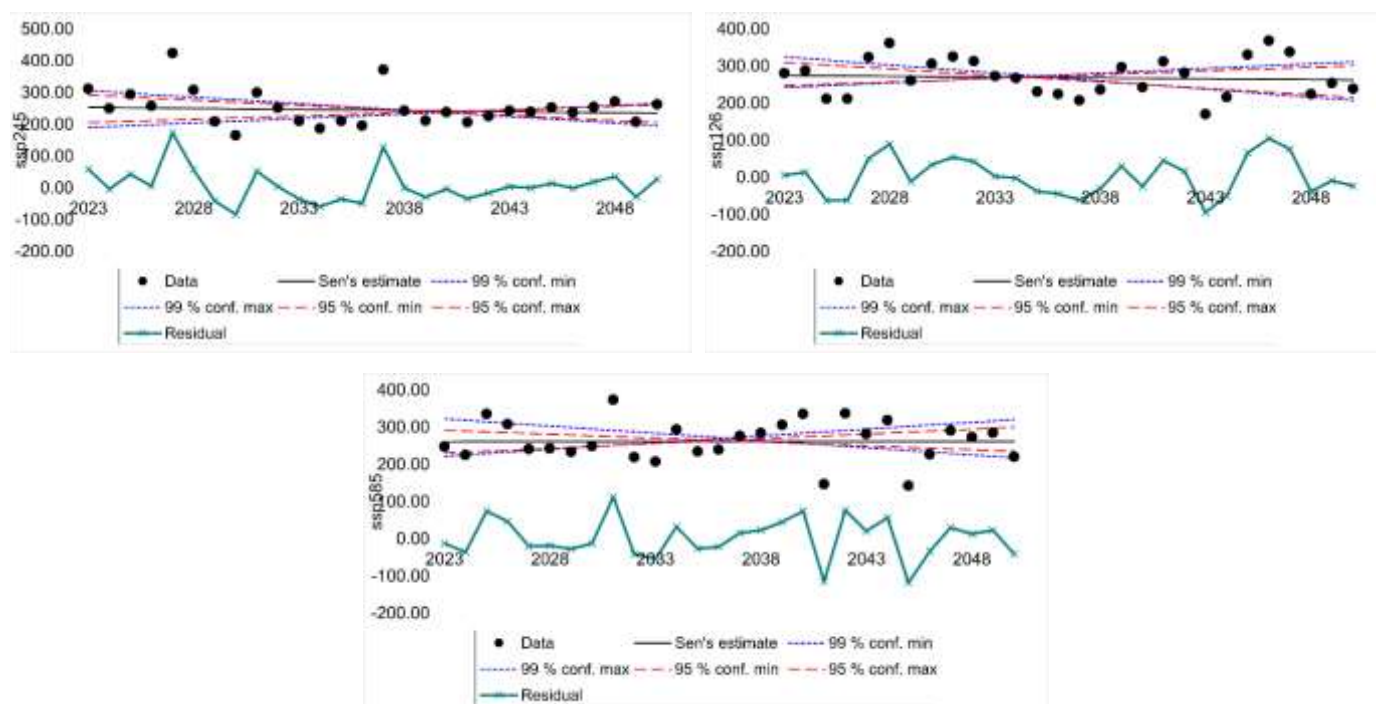
پیش‌نگری بارش ماهانه سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۵۰ ایستگاه اردبیل توسط مدل تصحیح اریبی شده MIROC6 در شکل (۵)، تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 نمایش داده شده است. این پیش‌بینی‌ها در هر یک از ماه‌ها متفاوت بوده و با دیگر مطالعات هم‌چون تحقیق داروند و همکاران (۱۴۰۰) که بیان داشتند در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس بیش‌ترین بارندگی‌ها و در ماه‌های ژوئیه و دسامبر کم‌ترین بارندگی‌ها در شهرستان بافت استان کرمان در دوره آینده رخ خواهد داد و هم‌چنین مطالعه‌ی عرب‌سلغار و همکاران (۱۴۰۱)، که بیان داشتند که در دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ در حوضه آبریز دز، بارش در ماه‌های ژانویه و فوریه افزایشی و در دیگر ماه‌ها کاهش‌ی خواهد بود منطبق است. در تحقیق حاضر نیز برای ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس نتایج مشابه به دست آمده و علاوه بر این ماه‌ها مشخص است در آگوست، نوامبر و دسامبر نیز افزایش بارش و در ماه‌های آپریل، می، ژوئن، جولای، سپتامبر و اکتبر کاهش بارش را خواهیم

داشت. هم‌چنین می‌توان بیان نمود در ماه ژوئن بر اساس سناریوهای SSP585 و SSP245 و در ماه اکتبر طبق سناریوی SSP126 به ترتیب ۳۵، ۳۳ و ۲۳ درصد کاهش بارش اتفاق خواهد افتاد. بر اساس سناریوی SSP585 و SSP245 در ماه فوریه و طبق سناریوی SSP126 در ماه ژانویه به ترتیب ۲۸، ۱۳ و ۲۸ درصد افزایش بارش رخ خواهد داد. در بعد سالانه تغییرات بارش در دوره آینده (۲۰۲۳-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۰/۲۴، ۶/۳۶ و ۲- درصد خواهد بود. با توجه به روند ترسیم‌شده برای سناریوهای مورد مطالعه توسط آزمون من-کندال در شکل ۶ و جدول ۳، بارش بر اساس SSP126 و SSP245 شیب نزولی ملایم و بر اساس SSP585 روند خنثی خواهد داشت لازم به ذکر است هیچ‌گونه روند معنی‌داری برای سه سناریو مذکور مشاهده نمی‌شود.



شکل (۵): پیش‌نگری بارش ماهانه ایستگاه اردبیل توسط پرونداد مدل MIROC6 برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰

Figure (5): Monthly precipitation forecast of Ardabil station by the output of MIROC6 model for 2023-2050



شکل (۶): بارش سالانه پیش‌بینی شده ایستگاه اردبیل توسط سناریوهای SSP برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰

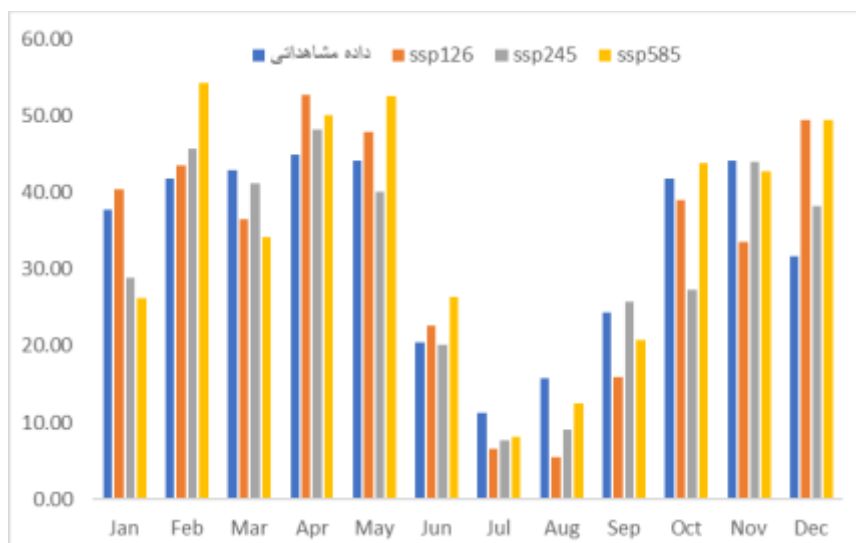
Figure (6): Predicted annual precipitation of Ardabil station by SSP scenarios for 2050-2023

جدول (۳): نتایج سالانه مقادیر آماره Z من کندال و سنس استیمیتور سناریوهای ssp ایستگاه اردبیل برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰

Table (3): Annual results of Kendall's Z-statistic values and Sens-Estimator of the ssp scenarios of Ardabil station for 2023-2050

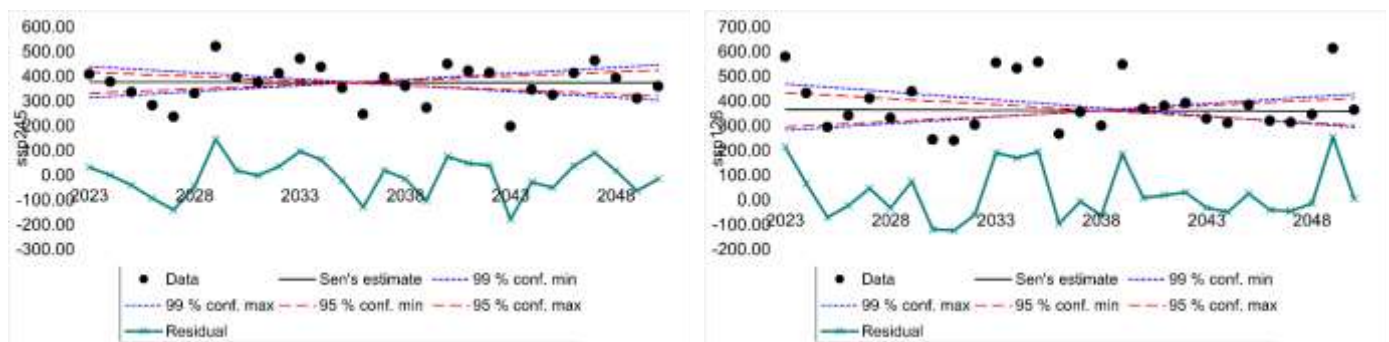
SSP585			SSP245			SSP126			ایستگاه
Qmed	signific	Test Z	Qmed	signific	Test Z	Qmed	signific	Test Z	
۰/۰۱۹	-	۰/۰۲	-۰/۶۸۲	-	-۰/۶۱	-۰/۴۷۰	-	-۰/۳۰	اردبیل

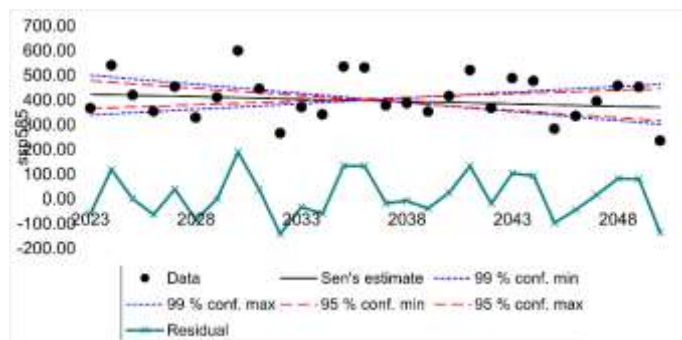
در شکل ۷، بارش ماهانه سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۵۰ ایستگاه باران‌سنجی بيله‌درق توسط مدل MPI-ESM1-2-HR، تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 پیش‌نگری شده است. پیش‌بینی بارش ماهانه نشان می‌دهد که در ماه‌های فوریه، آوریل، می، ژوئن و دسامبر، افزایش بارش قابل توجهی اتفاق خواهد افتاد و در ماه‌های مارس، جولای، اگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر عکس این قضیه حاکم خواهد شد. تغییرات بارش ماهانه پیش‌نگری شده توسط سناریوهای SSP نسبت به میانگین بارش ماهانه مشاهداتی دوره پایه هم‌چنین نشان می‌دهد بیش‌ترین افزایش بارش در ماه دسامبر برای سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۵۵، ۲۰ و ۵۵ درصد و بیش‌ترین کاهش بارش طبق SSP126، SSP245 در ماه اگوست با درصد تغییرات به ترتیب ۶۵ و ۴۳ درصد و برای سناریوی SSP585 در ماه ژانویه این میزان ۳۰ درصد خواهد بود اما در بعد سالانه تغییرات بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۱/۸۴-، ۶/۲۱- و ۴/۹۲ درصد خواهد بود. مطابق شکل ۸ و جدول ۴، روند آماره من-کندال برای هر سه سناریوی مورد مطالعه شیب نزولی ولی بدون روند معنی‌داری را تخمین زده است و در صورت رخداد SSP585 کاهش بارش به نسبت زیادتر هم خواهد بود.



شکل (۷): پیش‌نگری بارش ماهانه ایستگاه بيله‌درق توسط برونداد مدل MPI-ESM1-2-HR برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰

Figure (7): Monthly precipitation forecast of Bileh-Daragh station by MPI-ESM1-2-HR model output for 2023-2050





شکل (۸): بارش سالانه پیش بینی شده ایستگاه بیلهدرق توسط سناریوهای SSP برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰

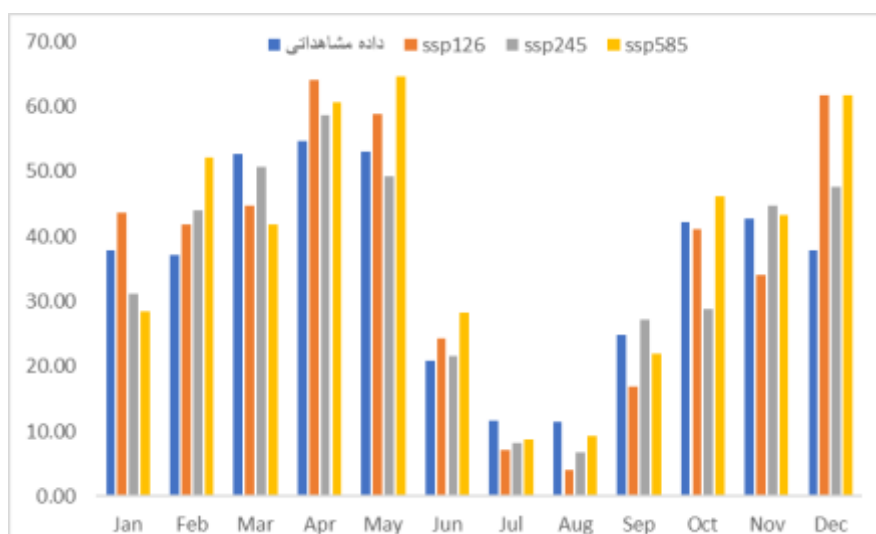
Figure (8): Predicted annual precipitation of Bileh-Daragh station by SSP scenarios for 2050-2023

جدول (۴): نتایج سالانه مقادیر آماره Z من کندال و سنس استیمیتور سناریوهای ssp ایستگاه بیلهدرق برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰

Table (4): The annual results of Kendall's Z-statistic values and Sens-Estimator of ssp scenarios of Bileh-Daragh station for 2023-2050

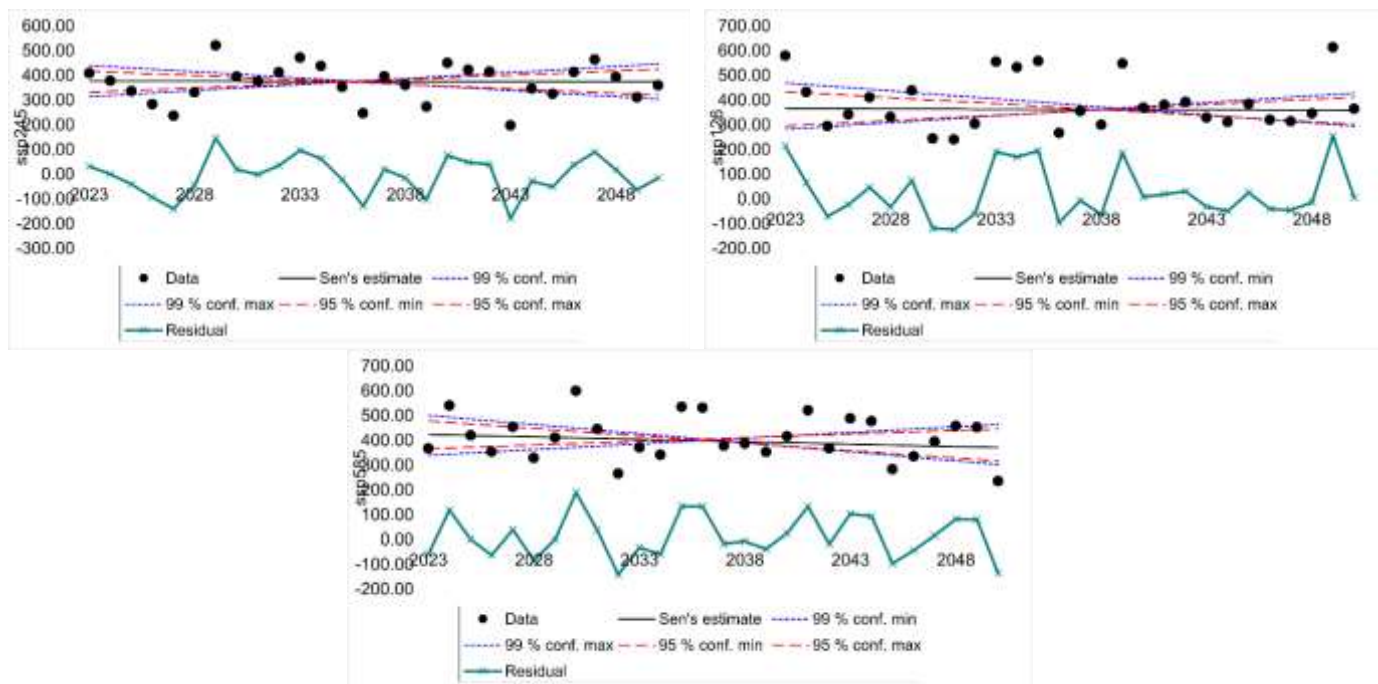
SSP585			SSP245			SSP126			ایستگاه
Qmed	signific	Test Z	Qmed	signific	Test Z	Qmed	signific	Test Z	
-۰/۱۹۴۷	-	-۰/۶۱	-۰/۰۸۶	-	-۰/۰۲	-۰/۲۶۵	-	-۰/۰۲	بیلهدرق

در ایستگاه باران سنجی کلور، مدل MPI-ESM1-2-HR به عنوان مدل برتر شناسایی شد و توسط این مدل و برحسب سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 بارش ماهانه سال های ۲۰۲۳-۲۰۵۰ پیش نگری شد. نتایج حاکی از افزایش بارش در ماه های فوریه، آپریل، می، ژوئن و دسامبر و کاهش بارش و در ماه های مارس، جولای، آگوست و سپتامبر می باشد (شکل ۹). در این ایستگاه بیشترین افزایش بارش در دوره آینده برای ماه دسامبر تحت هر سه سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب با تغییرات ۶۳، ۶۲ و ۶۳ درصدی پیش بینی می شود اما در ماه آگوست برای سناریوهای SSP126، SSP245 و در ماه جولای برای سناریو SSP585 به ترتیب ۶۴، ۴۱ و ۲۵ درصد کاهش بارش رخ خواهد داد. تغییرات بارش در بعد سالانه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۳/۶۵، ۱/۹۷- و ۹/۴۴ درصد خواهد بود. در این ایستگاه نیز با توجه به روند ترسیم شده توسط آماره من-کندال در شکل ۱۰ و جدول ۵، مشاهده می شود بارش شیب نزولی ملایمی تحت هر سه سناریو در دوره آینده خواهد داشت و این کاهش بارش در حالت SSP585 نسبت به سایر سناریوها شدیدتر خواهد بود ولی در هیچ یک از سناریوهای مورد بررسی روند معنی داری در میزان کاهش بارش وجود نخواهد داشت.



شکل (۹): پیش نگری بارش ماهانه ایستگاه کلور توسط برونداد مدل MPI-ESM1-2-HR برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰

Figure (9): Monthly precipitation forecast of Kolour station by MPI-ESM1-2-HR model output for 2023-2050



شکل (۱): بارش سالانه پیش بینی شده ایستگاه کلور توسط سناریوهای SSP برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰
 Figure (6): Predicted annual precipitation of Kolour station by SSP scenarios for 2050-2023

جدول (۵): نتایج سالانه مقادیر آماره Z من کندال و سنس استیمیتور سناریوهای ssp ایستگاه کلور برای ۲۰۲۳-۲۰۵۰

Table (5): Annual results of values of Kendall's Z statistic and sense-estimator of the ssp scenarios of Kolour station for 2023-2050

SSP585		SSP245			SSP126			ایستگاه	
Qmed	sig	Test Z	Qmed	sig	Test Z	Qmed	sig		Test Z
-۱/۷۳۷	-	-۰/۵۷	-۰/۰۸۰	-	-۰/۰۶	-۰/۱۳۹	-	-۰/۰۲	کلور

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر وضعیت بارش دشت اردبیل در سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۲۲ بررسی شد و برای سال‌های آینده ۲۰۲۳-۲۰۵۰ برآورد گردید. روند بارش با استفاده از داده‌های باند precipitation ماهواره CHIRPS نشان داد که در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۰ کاهش بارش رخ داده و از سال ۱۹۹۵ به بعد شیب صعودی داشته است. تغییرات بارش در پهنه دشت اردبیل نیز نشان داد تراکم بارش در نواحی شرقی و غربی دشت مورد مطالعه بیش‌تر از سایر نواحی بوده و تغییرات آن به مقدار ۲/۸۰ میلی‌متر افزایش داشته است اما در نواحی مرکزی دشت مذکور تغییرات بارش کم‌تر بوده و متوسط تغییرات آن ۰/۷۸ میلی‌متر بوده است. نتایج مقایسه برونداد داده‌های تاریخی مدل‌های GCM مربوط به گزارش ششم IPCC با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های اردبیل، بیلهدرق و کلور در سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۴ توسط سنجه‌های آماری R^2 ، MAE، MSE، RMSE و دیاگرام تیلور نشان داد مدل MIROC6 برای ایستگاه سینوپتیک اردبیل و مدل MPI-ESM1-2-HR برای ایستگاه باران‌سنجی بیلهدرق و کلور داده‌های تاریخی نزدیک به واقعیت را شبیه‌سازی نموده‌اند. با بررسی سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 بر اساس مدل‌های برتر تصحیح‌اریبی شده برای هر کدام از ایستگاه‌های منتخب و ترسیم روند آن برای سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۵۰ توسط آماره من-کندال این نتایج به دست آمد که در ایستگاه سینوپتیک اردبیل در ماه فوریه بر اساس سناریوهای SSP245 و SSP585 و ماه ژانویه بر اساس سناریوی SSP126 بیش‌ترین افزایش بارش به ترتیب معادل ۳۵، ۳۳ و ۲۳ درصد و بر اساس سناریوی SSP245 و SSP585 در ماه ژوئن و طبق سناریو SSP126 در ماه اکتبر به ترتیب ۲۸، ۱۳ و ۲۸ درصد بیش‌ترین کاهش بارش اتفاق خواهد داد. در بعد سالانه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۰/۲۴، -۶/۳۶ و -۲ درصد تغییرات بارش را خواهیم داشت. بر اساس آماره من‌کندال مشخص شد در دوره آتی روند بارش در

این ایستگاه تحت سناریوهای SSP126 و SSP245 کاهشی و بدون روند معنی‌دار خواهد بود و مطابق SSP585 روند خنثی خواهد داشت. برای ایستگاه بیلهدرق مشخص شد بیش‌ترین افزایش بارش در ماه دسامبر برای سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۵۵، ۲۰ و ۵۵ درصد و بیش‌ترین کاهش بارش طبق SSP126، SSP245 در ماه آگوست به ترتیب ۶۵ و ۴۳ درصد و برای SSP585 در ماه ژانویه ۳۰ درصد اتفاق خواهد افتاد؛ اما تغییرات بارش در بعد سالانه تحت سناریوهای SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۱/۸۴، -۶/۲۱ و ۴/۹۲ درصد خواهد داد و روند آن در دوره آتی در تمام سناریوها شیب نزولی ولی بدون جهت معنی‌دار خواهد بود؛ اما پیش‌نگری‌ها برای ایستگاه کلور مشخص نمود بیش‌ترین افزایش بارش در ماه دسامبر تحت هر سناریوی SSP126، SSP245 و SSP585 به ترتیب ۶۳، ۶۲ و ۶۳ درصد و در ماه آگوست برای سناریوهای SSP126، SSP245 و در ماه جولای برای سناریوی SSP585 به ترتیب ۶۴، ۴۱ و ۲۵ درصد کاهش بارش اتفاق خواهد افتاد. در بعد سالانه برای سناریوهای مذکور به ترتیب ۱/۸۴، -۶/۲۱ و ۴/۹۲ درصد تغییرات بارش رخ خواهد داد. روند بارش این ایستگاه در دوره آتی تحت هر سه سناریو کاهشی ولی بدون روند معنی‌دار خواهد بود.

References

- Abdi Dezfouli, A., Ghahreman, N. (2021). Assessment of the CHIRPS precipitation estimates in north of Karkhe river basin. *Amphibious Science and Technology*: 2(2), 54-65. (In Persian).
doi: 10.22034/jamst.2021.246257.
- Esmailzadeh, Z., Salahi, B., Saber, M. (2023). Revealing the relationship between the changes of some relative humidity indices of the southern coasts of Iran with Indian Ocean teleconnection patterns. *Amphibious Science and Technology*, 4(3): 59-78. (In Persian).
doi: 10.22034/jamst.2023.544224.1119.
- Homsy, R., Sanusi Shiru, M., Shahid, Sh., Ismail, T., Harun, S.B., Al-Ansari, N. Chau, K.W., Yaseen, Z.M. (2019). Precipitation projection using a CMIP5 GCM ensemble model: a regional investigation of Syria, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 14: 90-106.
<https://doi.org/10.1080/19942060.2019.1683076>.
- Jahanbakhsh Asl, S., Asakereh, H., Ashrafi, S. (2019). Downscaling the Relationship between the Precipitation and Runoff of the Rood Zard Basin in the Climate Change Context, *Hydrogeomorphology*, 6(21): 109-132. (In Persian).
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1398.6.21.6.1>.
- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A., Alinejad, M. H., Pourasghar, F. (2016). Impact of Climate Change on Precipitation and Temperature by Taking the Uncertainty of Models and Climate Scenarios (Case Study: Shahrchay Basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*, 3(7): 107-122. (In Persian).
doi: 20.1001.1.23833254.1395.3.7.6.2.
- Kamari, H., Zeinali, E., Soltani, A., Ghaderifar, F. (2020). An assessment of LARS-WG's model to forecast meteorological parameters for climatic zones of cotton-harvested areas over Iran, *Crop Production (Electronic Journal of Crop Production)*, 13(4): 27-40. (In Persian).
<https://doi.org/10.22069/ejcp.2021.17645.2300>.
- Kamyar, A., Mohebbi, S., Yazdanpanah, H. (2017). Projection of Minimum and Maximum Air Temperatures in Isfahan Province during 2050-2017, *Climatology Research*, 8(29-30): 37-54. (In Persian).
https://clima.irimo.ir/article_62689.html.
- Kavwenje, Sh., Zhao, L., Chen, L., Chaima, E. (2021). Projected temperature and precipitation changes using the LARS-WG statistical downscaling model in the Shire River Basin, Malawi, *International Journal of Climatology*, 42(1): 400-415.
<https://doi.org/10.1002/joc.7250>.

- Khajeh amiri, C., Khosravi, M., Tavousi, T., Hamidianpour, M., & kiani moghadam, M. (2022). An analysis of the output performance of CMIP6 climate models in comparison with the observational data of Makran coast, *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 5(1): 22-41. (In Persian).
doi: 10.22034/jmas.2023.379448.1193.
- Khan, N., Shahid, Sh., Ahmed, A., Ismail, T., Nawaz, N., Son, M. (2018). Performance Assessment of General Circulation Model in Simulating Daily Precipitation and Temperature Using Multiple Gridded Datasets, *Water*, 10(12): 1793.
<https://doi.org/10.3390/w10121793>.
- Luo, M., Liu, T., Meng, F., Duan, Y., Frankl, A., Bao, A., De Maeyer, Ph. (2018). Comparing Bias Correction Methods Used in Downscaling Precipitation and Temperature from Regional Climate Models: A Case Study from the Kaidu River Basin in Western China, *Water*, 10(8): 1046.
<https://doi.org/10.3390/w10081046>.
- Mesgari, E., Hosseini, S.A., Houshyar, M., Kaseri, K., Safarpour, F. (2023). Future projection of early fall and late spring frosts based on EC-earth models and shared socioeconomic pathways (SSPs) scenarios over Iran plateau, *Natural Hazards*, 119: 1421-1435.
<https://doi.org/10.1007/s11069-023-06155-y>.
- Mohmedraffi Shaikh, M., Lodha, P., Lalwani, P., Mehta, D. (2022). Climatic projections of Western India using global and regional climate models. *Water Practice and Technology*, 17 (9): 1818–1825.
<https://doi.org/10.2166/wpt.2022.090>.
- Noor, M., Ismail, T.B., Ullah, Sh., Iqbal, Z., Nawaz, N., Ahmed, K. (2020). A non-local model output statistics approach for the downscaling of CMIP5 GCMs for the projection of rainfall in Peninsular Malaysia. *Journal of Water and Climate Change*, 11 (4): 944–955.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2019.041>.
- Ostad-Ali-Askari. K., Ghorbanizadeh Kharazi. H., Shayannejad. M., Javad Zareian. M. (2020). Effect of Climate Change on Precipitation Patterns in an Arid Region Using GCM Models: Case Study of Isfahan-Borkhar Plain. *Natural Hazards Review*, 21(2).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000367](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000367).
- Salamati Hormozi, V., mazidi, A., Balali Komizi, A. A. (2021). Investigation of the effects of climate change scenarios on temperature and precipitation forecasting using LARS-WG model (Case study: Bandar Abbas). *Amphibious Science and Technology*, 2(2): 1-16. (In Persian).
doi: 10.22034/jamst.2021.245333.
- Salman, S.A., Nashwan, M.S., Ismail, T., Shahid, Sh. (2020). Selection of CMIP5 general circulation model outputs of precipitation for peninsular Malaysia. *Hydrology Research*, 51 (4): 781–798.
<https://doi.org/10.2166/nh.2020.154>.
- Sari sarraf, B., Jalali Ansaroodi, T. (2019). The Investigation of the Impact of Climate Change on Water Balance Caused by Precipitation in Tasuj Aquifer for the Period of 2017-2030. *Hydrogeomorphology*, 6(19): 163-185. (In Persian).
doi: 20.1001.1.23833254.1398.6.19.9.0.
- Sobhani. B, nasiri. F. (2022). Agro-ecological zonation of canola cultivation in Ardebil Plain. *Jgs*, 22 (65): 61-78. (In Persian).
<http://dx.doi.org/10.52547/jgs.22.65.61>.
- Sha, J., Li, X., Liang Wang, Z. (2019). Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 137: 3027–3039.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-019-02781-4>.
- Shabanpour, F., Bazrafshan, J., Araghinejad, Sh. (2021). Evaluation of the Effect of Bias Correction Methods on the Skill of Seasonal Precipitation Forecasts of CFSv2 Climate Model, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(12): 3017-3032. (In Persian).

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.306717.668680>.

Trigo, R.M., Palutikof, J.P. (2001). Precipitation Scenarios over Iberia: A Comparison between Direct GCM Output and Different Downscaling Techniques. *Journal of Climate*, 14(23): 4422–4446.

[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014%3C4422:PSOIAC%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014%3C4422:PSOIAC%3E2.0.CO;2).

Zadmehr, H., Farrokhan Firouzi, A. (2022). Investigation of Soil Temperature Using the Modified Mann-Kendall Non- Parametric Test in Selected Regions of Khuzestan Province, *Soil research*, 35(4): 429-443. (In Persian).

<https://doi.org/10.22092/ijsr.2022.355507.622>.

Zarrin, A., Dadashi roudbari, A. (2021). Projected changes in temperature over Iran by 2040 based on CMIP6 multi-model ensemble, *Physical Geography Research*, 53(1): 75-90. (In Persian).

<https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.308361.1007551>.

Zarrin, A., Dadashi roudbari, A. (2021). Projected consecutive dry and wet days in Iran based on CMIP6 bias-corrected multi-model ensemble, *Journal of Earth and Space Physics*, 47(3): 561-578. (In Persian).

<https://doi.org/10.22059/jesphys.2021.319270.1007295>.

Ziyaye, S., Esmaeili, A., Mostafazadeh, R., Gorbani, A. (2021). Effective Factors in Ground Water Variations and Water Table Decrease in Ardabil Plain, *Hydrogeomorphology*, 8(28): 127-143.

<https://doi.org/10.22034/hyd.2021.46333.1590>.