

Research Paper

Investigation of Climate Change Using CMIP6 Models Outputs (Case Study: Kashan Plain)

Mahdiah Afsharinia¹,Fatemeh Panahi^{2*},Mohammad Ehteram³

¹ PhD student, Department of Desert Sciences Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran, afshari_mahdie@yahoo.com

¹ Associate Professor, Department of Desert Sciences Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Iran, alabd_fpanahi@yahoo.com (Corresponding author)

¹ PhD, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Iran, eh.mohammad@yahoo.com



10.22125/IWE.2023.383176.1704

Received:

June 23, 2023

Accepted:

September 16, 2024

Available online:

December 30, 2023

Keywords:

Temperature and precipitation, SSP scenarios, simulation, meteorological variables, linear Scaling

Abstract

The aim of the study is to evaluate the changes of mean temperature and precipitation parameters using IPCC Sixth Report models (CMIP6) under SSP scenarios (SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SPP5-8.5) during the period of 2022-2100 in Kashan Plain. The mean temperature and precipitation data was obtained from 7 stations (Kashan, Kavir-e-Hosseinabad, Kamu, Ardestan, Alavi, Noushabad and Sensen) in Kashan plain considering the base period of 30 years (1984-2014). Also, 7 models were selected from the models of the sixth report (CMIP6). The post-processing of the output of the models was carried out using the linear ratio method. Nash-Sutcliffe indices (NSE), root mean square error (RMSE) and correlation coefficient (r) were used to determine the accuracy of the models. The annual trend of changes was investigated using Mann-Kendall test. Finally, the mean of IPSL-CM6A-LR and BCC-CSM2-MR model's outputs was used to simulate mean temperature and precipitation changes in the future period. According to the results, in all of the studied stations, precipitation in the coming period will have a decreasing trend compared to the base period. The mean temperature will also increase in the future period compared to the base period. In Kavir-e-Hosseinabad, Ardestan, Noush Abad and Sen Sen stations, the intensity of temperature increase will be higher than Kashan, Kamu and Alavi. According to the predicted conditions, it is necessary to pay attention to comprehensive policies in the field of adapting to climate change in Kashan Plain.

1-Introduction

Climate change is not a new issue and mankind has a long history of adapting to such changes. However; An important issue is the effect on the global climate through the increase of greenhouse gases, especially carbon dioxide, methane and nitrogen oxide, which causes global warming. Therefore, the consequences of such changes cause an increase in extreme weather events, lack of water resources, an increase in floods and droughts, and severe storms, and in the long run, it will have various consequences for tropical forests and global biodiversity (Mohsani Sarvi et al., 1400). Due to the different trends of climate change in different parts of the world, investigating the long-term trend of climatic parameters is an inevitable necessity.

2-Materials and Methods

Average temperature and precipitation statistics were collected from 7 stations (Kashan, Kavir-e-Hosseinabad, Kamu, Ardestan, Alavi, Noushabad and Sensen) in Kashan plain considering the base period of 30 years (1984-2014). Also, 7 models were selected from among the models of the sixth report (CMIP6). The post-processing of the output of the models was done using the linear ratio method. Nash-Sutcliffe indices (NSE), root mean square error (RMSE) and correlation coefficient (r) were used to determine the accuracy of the models. Using the Mann-Kendall test, the annual trend of changes was investigated. Finally, the average output of IPSL-CM6A-LR and BCC-CSM2-MR models was used to simulate changes in average temperature and precipitation in the future period.

3-Results

In the future period (2022-2100) almost all scenarios and stations have an increasing trend in temperature in summer, and the SSP1-2.6 scenario shows the largest temperature increase in July. In the SSP2-4.5 scenario, the temperature will decrease the most in June and increase the most in July. In the SPP5-8.5 scenario, the temperature will decrease the most in July and increase the most in July. Also, by comparing the average values of the annual observations of the base period with the corresponding results in the future period, the reduction of precipitation in the studied stations under all SPP scenarios is clearly evident. According to the SSP1-2.6 scenario, rainfall will decrease the least in June and increase the most in January. In the SSP2-4.5 and SPP5-8.5 scenarios, rainfall will decrease the most in July, August and September and increase the most in January.

4-Discussion and Conclusion

In the coming period, the average temperature has a significant increasing trend and the precipitation does not have a pattern of significant changes in the studied area and will experience many fluctuations. The average annual precipitation in Kashan station is predicted from 9.44 mm in the base period, under the SSP1-2.6, SSP2-4.5 and SPP5-8.5 scenarios, respectively 9, 8.66 and 8.67 mm per year. In other words, it can be concluded that the occurrence of precipitation in the coming period will decrease between 7 and 36 percent. The average temperature will also increase between 15.47 and 20.14 percent. In Kavir-e-Hosseinabad station, the occurrence of precipitation will decrease between 0.83 and 12.50 percent in the coming period. Also, the average temperature will increase between 21.43 and 26.10 percent. In kamu station, the occurrence of precipitation in the coming period will decrease between 56.36 and 333.47 percent. Also, the average temperature will increase between 17.50 and 221.86 percent. In Ardestan station, the occurrence of precipitation will decrease between 0.025 and 2.85% in the coming period. Also, the average temperature will increase between 21.04 and 174.65 percent. In Alavi station, the occurrence of precipitation will decrease between 0.72% and 3.27% in the coming period. Also, the average temperature will increase between 8.65 and 47.01 percent. In Noushabad station, the occurrence of precipitation will decrease between 10.83 and 275.83 percent in the coming period. Also, the average temperature will increase between 52.50 and 242.08 percent. In the Sen Sen station, the occurrence of precipitation will decrease between 1.67 and 35.83 percent in the coming period. Also, the average temperature will increase between 42.14 and 58.67 percent.

5-Six important references

- 1) Belazreg, N.E.H., Hasbaia, M., Şen, Z., And Ferhati, A. 2023. Historical evaluation and future projections of monthly precipitation and temperature under CMIP6 GCMs, case of Hodna basin (central Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*. volume 16, 39 (2023).
- 2) Bessah, E., Raji, A., Taiwo, O., Agodzo, S. And Olofade, O. 2019. The impact of varying spatial resolution of climate models on future rainfall simulations in the Pra river basin (Ghana). *Journal of Water and Climate Change*, 11 (4).
- 3) Crochemore, L., Ramos, M. H., And Pappenberger, F. 2016. Bias correcting precipitation forecasts to improve the skill of seasonal streamflow forecasts.
- 4) Ehteram, M., Kalantari, Z., Ferreira, C., Chau, K. And Emami, M. 2022. Prediction of future groundwater levels under representative concentration pathway scenarios using an inclusive multiple models coupled with artificial neural networks. *Journal of Water and Climate Change* 13 (10), 3620–3643.
- 5) Gutiérrez, J. M., Maraun, D., Widmann, M., Huth, R., Hertig, E., Benestad, R., And San Martin, D. 2019. An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross- validation experiment. *International journal of climatology*, 39(9), 3750-3785.
- 6) Thiha, S., Shamseldin, A.Y. And Melville, B.W. 2021. Assessment of the Myitnge River flow responses in Myanmar under changes in land use and climate. *Model. Earth Syst. Environ.* 7, 1393–1415.



ارزیابی تغییرات اقلیمی با استفاده از برون داد مدل های CMIP₆ (مطالعه موردی: دشت کاشان)

مهديه افشاري نيا^۱، فاطمه پناهي^۲، محمد احترام^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۵

مقاله پژوهشی

چکیده

هدف از مطالعه، ارزیابی تغییرات پارامترهای دمای متوسط و بارش با استفاده از مدل های گزارش ششم (CMIP₆) IPCC تحت سناریوهای SSP (SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5) طی دوره ۲۰۲۲-۲۱۰۰ در دشت کاشان است. آمار مربوط به دمای متوسط و بارش از ۷ ایستگاه (کاشان، حسین آباد کویر، کامو، اردستان، علوی، نوش آباد و سن سن) در دشت کاشان با در نظر گرفتن دوره ۳۰ ساله پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۴) جمع آوری شد. هم چنین ۷ مدل از بین مدل های گزارش ششم (CMIP₆) انتخاب گردید. پس پردازش خروجی مدل ها با استفاده از روش نسبت گیری خطی انجام شد. برای تعیین دقت مدل ها از شاخص های ناش-ساتکلیف (NSE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (r) استفاده شد. با استفاده از آزمون من-کندال روند سالانه تغییرات بررسی شد. در نهایت، از میانگین برون داد دو مدل IPSL-CM6A و LR و BCC-CSM2-MR برای شبیه سازی تغییرات دمای متوسط و بارش در دوره آتی استفاده شد. براساس نتایج، در همه ایستگاه های مورد مطالعه بارش در دوره آتی در مقایسه با دوره پایه دارای روند کاهشی خواهد بود. دمای متوسط نیز در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. به طوریکه شدت افزایش دما در ایستگاه های حسین آباد کویر، اردستان، نوش آباد و سن سن بیشتر از کاشان، کامو و علوی خواهد بود. با توجه به شرایط پیش بینی شده ضروری است سیاست های جامع در زمینه سازگاری با تغییر اقلیم دشت کاشان مورد توجه قرار گیرد.

واژه های کلیدی: دما و بارش، سناریوهای SSP، شبیه سازی، متغیرهای هواشناسی، نسبت گیری خطی

^۱ دانشجوی دکترا، گروه بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران، afshari_mahdie@yahoo.com

^۲ دانشیار، گروه بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران، (*نویسنده مسئول): @alabd_fpanahi@yahoo.com

^۳ دکترا، گروه مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران، eh.mohammad@yahoo.com



مقدمه

تغییرات اقلیمی موضوع جدیدی نیست و بشر سابقه بسیاری در سازگاری با چنین تغییراتی دارد. با این وجود؛ موضوعی که حائز اهمیت است تأثیر بر آب و هوای جهانی از طریق افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه کربن دی اکسید، متان و اکسید نیتروژن است، که سبب گرمایش جهانی می‌شود. لذا پیامد چنین تغییراتی باعث افزایش رخدادهای شدید آب و هوایی، کمبود منابع آب و طوفان‌های شدید است (محسنی ساروی و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به متفاوت بودن روند تغییر اقلیم در نقاط مختلف جهان، بررسی روند درازمدت پارامترهای اقلیمی ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است (Thiha et al, 2021). به‌طور کلی، مدل‌های گردش عمومی (GCMs)^۱ قادر به شبیه‌سازی در ابعاد بزرگ هستند. این مدل‌ها به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای آب و هوایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bessah et al, 2019). مقیاس بزرگ شبکه؛ از نظر زمان و مکان منجر به خطاهای محاسباتی می‌شود، بنابراین کاهش مقیاس خروجی مدل‌های اقلیمی یک وظیفه مهم برای مدل‌سازان است (Ehteram et al, 2022). تاکنون نسخه‌های گوناگونی از مدل‌های تغییر اقلیم ارائه شده است؛ از آن جمله می‌توان به مدل‌های اولین گزارش ارزیابی هیأت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC)^۲ با نام FAR، مدل‌های دومین گزارش با نام SAR، مدل‌های سومین گزارش با نام TAR، مدل‌های چهارمین گزارش با نام AR4 (CMIP₄) و مدل‌های پنجمین گزارش با نام AR5 (CMIP₅) و مدل‌های ششمین گزارش با نام AR6 (CMIP₆)^۳ اشاره کرد (میراکبری و همکاران، ۱۳۹۷). خروجی مدل‌های گزارش ششم تحت سناریوهای جدید خطوط سیر بخش‌های مشترک اقتصادی-اجتماعی (SSPs)^۴ هستند و غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای را نیز ارائه می‌دهند.

سناریوهای گزارش ششم که شامل پنج زیر گروه اصلی هستند، به شاخص‌های کمی هم‌چون جمعیت، شهرنشینی، توسعه اقتصادی منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای و سناریوهای تعمیم یافته (اثرات، سازگاری و کاهش آسیب‌پذیری) تأکید دارد (فلاح کلاکی و همکاران، ۱۴۰۰). در ایران به تازگی اکثر پژوهشگران به ارزیابی مدل‌های ششمین گزارش (CMIP₆) IPCC پرداخته‌اند. برای نمونه؛ زارعیان (۱۴۰۱)، در مطالعه‌ای تحت عنوان اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش استان یزد براساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP₆ نتیجه گرفتند؛ مدل‌های CanESM5 و BCC-CSM2-MR به ترتیب بیشترین توانایی را در شبیه‌سازی دما و بارش در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه (یزد، بافق، رباط پشت بادام و مروست) داشت. هم‌چنین بیان نمودند در تمامی سناریوهای انتشار (-SSP5، -SSP2-4.5، -SSP1-2.6) 8.5 دمای سالانه در دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰) بین ۰/۲ تا ۰/۶ درجه سانتیگراد افزایش و بارندگی سالانه بین ۲/۹ تا ۱۳/۷ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. روشنی و حمیدی (۱۴۰۰)، در مطالعه‌ای به پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش براساس مدل CMIP₆ در ایستگاه ساری پرداختند. ایشان گزارش نمودند که، میانگین تغییرات دما در دوره (۲۰۱۶-۲۰۴۱) و (۲۰۸۱-۲۱۰۰) از ۱/۱۶ تا ۴/۰۹ درجه سانتیگراد افزایش خواهد داشت و میزان بارش سالانه نیز از ۲۴ درصد تا ۳۶ درصد بیشتر می‌شود. مقدار بارش نیز طی دوره آتی کاهش خواهد داشت. Pimonsree et al (2023) در یک مطالعه تحت عنوان ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP₆ تغییرات بارش در جنوب شرق آسیا را بررسی نمودند. براساس نتایج ایشان مدل TaiESM1 بهترین عملکرد را برای شبیه‌سازی بارش در بین ۲۷ مدل مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه داشت. Sing et al (2022) تغییرات بارش را تحت

¹ General Circulation Models

² Intergovernmental Panel on Climate Change

³ Coupled Model Intercomparison Project Phase

⁴ Shared Socioeconomic Pathways

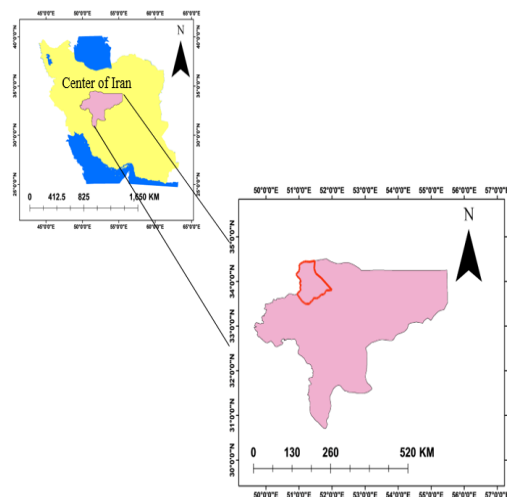
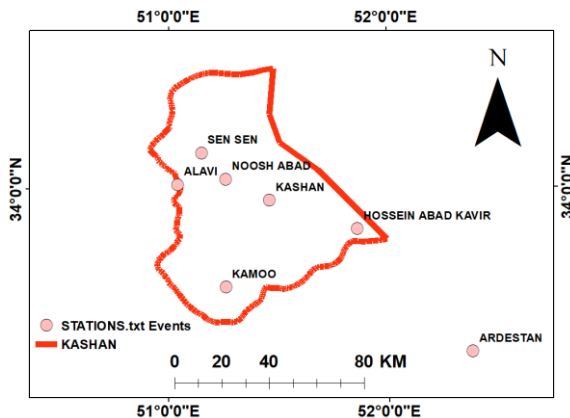


مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت کاشان در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۹ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۶ دقیقه و ۴ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۵ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۲۹ دقیقه و ۶ ثانیه قرار دارد. مساحت دشت کاشان ۲۷۲۳۰ کیلومتر مربع و ارتفاع از سطح دریا ۹۷۰ متر است. دشت کاشان از نظر پهنه‌بندی اقلیمی در پهنه اقلیمی گرم و خشک قرار گرفته است. دمای گرم‌ترین ماه سال (تیر) از ۳۳ درجه سانتیگراد بیشتر است و دی با متوسط ۳/۵۱ درجه سانتیگراد سردترین ماه سال می‌باشد. این منطقه در محدوده جنوب و غرب در بین سلسله کوه‌های مرکزی ایران واقع، و از جنوب به ارتفاعات کرکس و از شمال به نوار ریگ بلند محدود می‌شود. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در سطح کشور و استان به همراه موقعیت ایستگاه‌ها ارائه شده است.

سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SPP5-8.5 در هند گزارش نمودند. براساس نتایج به دست آمده الگوی کاهش بارندگی سالانه در مقایسه با سناریوی کنونی (۱۹۶۱-۲۰۰۵) برای دوره (۲۰۰۶-۲۰۴۰) را به میزان ۹-۱۸ درصد، برای دوره (۲۰۴۱-۲۰۷۰) به میزان ۱۶-۱۲ درصد و افزایش روند برای دوره (۲۰۷۱-۲۰۹۹) را نشان می‌دهد. به طور کلی مدل‌های مختلف گردش عمومی دارای دقت مکانی یکسانی نبوده و براساس منطقه مورد مطالعه دقت و کارایی متفاوتی دارند. به همین دلیل برای دستیابی به مدل برتر برای یک منطقه باید عملکرد مدل‌های گوناگون بررسی شود. بدین ترتیب، در این مطالعه؛ تغییرات پارامترهای دمای متوسط و بارش با استفاده از مدل‌های گزارش ششم IPCC (CMIP6) تحت سناریوهای جدید انتشار SSP طی دوره آتی (۲۰۲۲-۲۱۰۰) در ۷ ایستگاه دشت کاشان بررسی می‌شود.

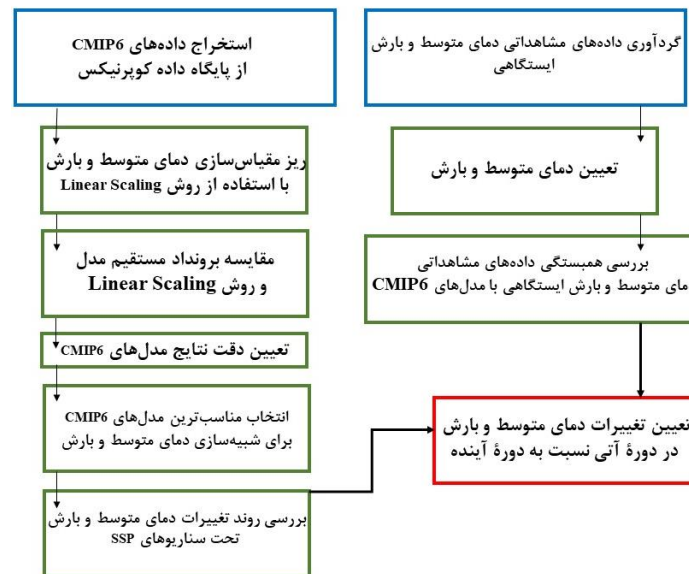


شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در سطح کشور و استان به همراه ایستگاه‌های مورد بررسی

ارزیابی دقت مدل‌های گزارش ششم IPCC (CMIP6) و شبیه‌سازی تغییرات دمای متوسط و بارش طی دوره آتی (۲۰۲۲-۲۱۰۰) انجام شده است.

روش‌شناسی پژوهش

در شکل ۲ مراحل مختلف روش‌شناسی پژوهش ارائه شده است. پژوهش حاضر، در دو بستر اصلی



شکل (۲): روش شناسی پژوهش

براساس کامل بودن داده‌های تاریخی و همچنین سناریوهای مدنظر و عدم بررسی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه، مشخص گردید. در جدول ۲، اطلاعات کلی هر یک از ۷ مدل (MRI-EMS2-0, PSL-CM6A-LR, BCC-HadGEM3, CanESM5, MIROC6, CESM2 و CSM2-MR) به همراه کشور ارائه دهنده آن‌ها خلاصه شده است. در این تحقیق سناریوهای اصلی (SPP5-8.5 و SSP2-4.5, SSP1-2.6) که به ترتیب شرایط خوش‌بینانه تا بدبینانه برای واداشت تابشی در اتمسفر را پیش‌بینی می‌کنند؛ به‌منظور شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در دوره آتی (۲۰۲۲-۲۱۰۰) مورد استفاده قرار گرفت. سناریوی SSP1-2.6، پایین‌ترین میزان واداشت تابشی را نشان می‌دهد. سناریوی SSP2-4.5 دنیایی با توسعه اقتصادی-اجتماعی در شرایط معمول را با آسیب‌پذیری و سطح واداشت تابشی متوسط در نظر می‌گیرد. سناریوی SSP5-8.5 نیز حد بالای واداشت تابشی را ارائه می‌دهد که در آن پیشرفت با استفاده از سوخت فسیلی و الگوی مصرف بالای انرژی همراه است (انصاری مهابادی و همکاران، ۱۴۰۱).

داده‌های مورد استفاده

با توجه به معیار توصیه شده توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO)^۱ که حداقل باید از یک دوره ۳۰ ساله به منزله یک دوره پایه در نظر گرفته شود (دسترنج و رستمی خلیج، ۱۳۹۹)، در اولین گام داده‌های مربوط به دما و بارش از آمار ۷ ایستگاه (کاشان، حسین‌آباد کویر، کامو، اردستان، علوی، نوش‌آباد و سن‌سن) سینوپتیک و باران‌سنجی سازمان هواشناسی و تخیرسنجی و باران‌سنجی وزارت نیرو در محدوده و اطراف منطقه مورد مطالعه به نمایندگی از هر تراز ارتفاعی با در نظر گرفتن دوره ۳۰ ساله پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۴) جمع‌آوری شد (جدول ۱). علت انتخاب این بازه زمانی بدین دلیل بود که دوره تاریخی داده‌های گزارش ششم تا سال ۲۰۱۴ است. داده‌های گزارش ششم از پایگاه داده کوپرنیکس (Copernicus) به صورت ماهانه تحت فرمت NetCDF دریافت شد. پس از اخذ اطلاعات از پایگاه کوپرنیکس (Copernicus)، لازم بود داده‌های NetCDF به فرمت Excel یا Txt تبدیل شوند که برای این منظور از نرم افزار Arc GIS (نسخه ۱۰/۴/۱) استفاده شد. پس از انجام بررسی‌های صورت گرفته ۷ مدل

¹ World Meteorological Organization

² NetCDF



جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در منطقه مطالعاتی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	سازمان متبوع	سال شروع دوره آماری	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع متوسط (متر)
کاشان	سینوپتیک	هواشناسی	۱۹۷۰	۳۳/۹۶	۵۱/۴۶	۹۸۲
حسین آباد کویر	باران‌سنجی	وزارت نیرو	۱۹۷۰	۳۳/۸۵	۵۱/۸۶	۱۵۲۴
کامو	باران‌سنجی	وزارت نیرو	۱۹۷۰	۳۳/۶۳	۵۱/۲۶	۲۰۴۵
اردستان	تبخیرسنجی	وزارت نیرو	۱۹۷۰	۳۳/۳۸	۵۱/۳۸	۱۰۴۵
علوی	تبخیرسنجی	وزارت نیرو	۱۹۷۰	۳۴/۰۲	۵۱/۰۴	۱۷۵۳
نوش آباد	باران‌سنجی	وزارت نیرو	۱۹۷۰	۳۴/۰۴	۵۱/۲۶	۸۹۸
سن سن	تبخیرسنجی	وزارت نیرو	۱۹۷۰	۳۴/۱۴	۵۱/۱۵	۸۷۱

جدول (۲): مشخصات مدل‌های گردش کلی سری CMIP۶

ردیف	نام مدل	قدرت تفکیک (کیلومتر)	کشور ارائه دهنده	سناریوهای انتشار
۱	IPSL-CM6A-LR	۱۰۰	فرانسه	
۲	MRI-EMS2-0	۱۰۰	ژاپن	
۳	MIROC6	۲۵۰	ژاپن	SSP1-2.6
۴	CanESM5	۱۰۰	کانادا	SSP2-4.5
۵	HadGEM3	۱۰۰	انگلیس	SPP5-8.5
۶	BCC-CSM2-MR	۱۰۰	چین	
۷	CESM2	۱۰۰	آمریکا	

روش نسبت‌گیری خطی انجام شد. روش LS به صورت زیر است:

$$P_{cor.m.d} = P_{raw.m.d} \times \frac{\mu(Pobs)}{\mu(Praw.m)} \quad (1)$$

طبق معادله فوق، $P_{cor.m.d}$ پیش‌بینی تصحیح شده برای عضو m ام در روز d ام هر ماه، $P_{raw.m.d}$ پیش‌بینی تصحیح نشده یا خام برای عضو m ام در روز d ام هر ماه، $\mu(Pobs)$ متوسط پارامتر مشاهداتی (دما یا بارش) و $\mu(Praw.m)$ متوسط پارامتر (دما یا بارش) پیش‌بینی خام می‌باشد. در پژوهش حاضر؛

پس‌پردازش خروجی مدل‌های CMIP۶

روش نسبت‌گیری خطی (LS) شبیه‌سازی مدل را با یک نسبت خطی تصحیح می‌کند. این روش توسط محققان متعددی در تصحیح پیش‌نگری‌های اقلیمی استفاده شده است (Gutiérrez et al, 2019) Crochemore et al, 2016؛ لذا در پژوهش حاضر به دلیل آن‌که استفاده مستقیم از داده‌های مدل‌های گزارش ششم صحیح نیست (ارشاد فتح، ۱۴۰۱) پس‌پردازش خروجی مدل‌های CMIP۶ با استفاده از

¹ Linear Scaling

گردید که در این آزمون پارامتر S به صورت زیر تعریف می‌شود، که در آن x_i و x_j به ترتیب داده‌های مربوط به نقاط i ام و j ام می‌باشند (آقاخانی افشار و همکاران، ۱۳۹۵) (معادله‌های ۴ و ۵)، همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری می‌نماید. شایان ذکر است به‌منظور بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از رویکرد کولموگروف-اسمیرنوف^۱ استفاده شد.

$$s = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^N \operatorname{sgn}(x_i - x_j) \quad (4)$$

$$\operatorname{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1, & (x_i - x_j) > 0 \\ 0, & (x_i - x_j) = 0 \\ -1, & (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

(۵)

بنابراین تمامی مقادیر به دست آمده از تابع علامت (sgn) صفر، ۱ یا -۱ است.

نتایج

انتخاب مناسب‌ترین مدل‌های CMIP₆ در شبیه‌سازی دما و بارش

به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP₆ در تولید داده‌های دما و بارش، دوره تاریخی این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی در دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۴) به صورت ماهانه برای ۷ ایستگاه موجود در منطقه مورد مطالعه مورد مقایسه قرار گرفت. در جدول‌های ۳ و ۴ نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای ۷ مدل مستخرج گزارش ششم (CMIP₆) مربوط به مؤلفه‌های دما و بارش ارائه شده است. با توجه به نتایج، از میان ۷ مدل اقلیمی مستخرج گزارش ششم (CMIP₆)، مدل‌های IPSL-CM6A-LR و BCC-CSM2-MR به علت توانایی بالای آن‌ها در شبیه‌سازی داده‌های دما و بارش انتخاب گردید. به‌طوریکه این مدل‌ها دارای کمترین RMSE و بیشترین NSE و همبستگی برای داده‌های اقلیمی دما و بارش می‌باشد. به طور مثال، در ایستگاه

تصحیح آریبی با استفاده از بسته نرم‌افزاری Climate4R انجام شده است.

انتخاب مناسب‌ترین مدل

در پژوهش حاضر برای تعیین دقت مدل‌ها از شاخص‌های ناش-ساتکلیف (NSE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد (معادله ۲ و ۳)، تا براساس این شاخص‌ها بهترین مدل انتخاب شود. دامنه NSE بین یک تا منفی بی‌نهایت است و ضرایب نزدیک عدد یک نشان‌دهنده دقت بالای مدل است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۰). RMSE نیز از مرسوم‌ترین شاخص‌های برآورد خطا است که هرچه خروجی آن به صفر نزدیکتر باشد، بیانگر خطای کمتر در داده‌های شبیه‌سازی شده است. هم‌چنین به‌منظور بررسی همبستگی داده‌های مشاهداتی دما و بارش ایستگاهی با مدل‌های CMIP₆ از ضریب همبستگی (r) استفاده شد. دامنه تغییرات این شاخص بین -۱ تا ۱ است و هرچه به صفر نزدیکتر باشد گویای رابطه ضعیف میان دو گروه داده می‌باشد (ارشاد فتح، ۱۴۰۱).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (X_{obs} - Y_{mod})^2}{\sum_{t=1}^T (X_{obs} - \bar{X}_{mod})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^T (X_{obs} - Y_{mod})^2}{n}} \quad (3)$$

در رابطه‌های فوق، x_{obs} و y_{mod} به ترتیب مقدار داده‌های مشاهداتی یا واقعی و مدل‌سازی شده است.

بررسی روند تغییرات دما و بارش

در پژوهش حاضر به‌منظور تجزیه و تحلیل روند تغییرات دما و بارش مدل‌های CMIP₆ از آزمون غیرپارامتریک من-کندال استفاده شد. آزمون من-کندال^۱ یک روش آماری است که برای تشخیص روند توسط من (Mann) در سال ۱۹۴۵ و به عنوان یک آزمون توزیع آماری برای تست روند غیرخطی و نقطه عطف توسط کندال (Kendall) در سال ۱۹۷۵ فرموله

¹ Mann-Kendall

² Kolmogorov-Smirnov



ادامه جدول (۳): عملکرد معیارهای ارزیابی برای ۷ مدل گزارش ششم (CMIP6) مربوط به مؤلفه دما

	HadGEM3	۰/۴۰	۳/۹۴۵	۰/۶۷۸
	BCC-CSM2-MR	۰/۵۶	۲/۲۳۳	۰/۷۹۰
	CESM2	۰/۵۲	۳/۶۰۶	۰/۶۴۱
	IPSL-CM6A-LR	۰/۷۸	۱/۲۲۲	۰/۸۸۱
	MRI-EMS2-0	۰/۷۰	۲/۳۱۱	۰/۷۲۸
	MIROC6	۰/۶۸	۲/۹۰۸	۰/۷۰۱
نوش آباد	CanESM5	۰/۶۹	۲/۶۲۱	۰/۷۳۵
	HadGEM3	۰/۶۸	۲/۹۸۷	۰/۷۴۴
	BCC-CSM2-MR	۰/۸۰	۱/۱۱۰	۰/۸۹۰
	CESM2	۰/۷۰	۲/۳۰۷	۰/۷۳۳
	IPSL-CM6A-LR	۰/۷۷	۱/۲۳۴	۰/۸۶۶
	MRI-EMS2-0	۰/۷۰	۲/۳۱۶	۰/۷۴۰
	MIROC6	۰/۶۷	۲/۸۸۸	۰/۶۹۹
سن سن	CanESM5	۰/۶۸	۲/۶۵۰	۰/۷۰۱
	HadGEM3	۰/۶۸	۲/۸۸۹	۰/۷۴۲
	BCC-CSM2-MR	۰/۷۶	۱/۱۷۸	۰/۸۵۵
	CESM2	۰/۷۰	۲/۳۲۳	۰/۷۳۹



جدول (۴): عملکرد معیارهای ارزیابی برای ۷ مدل گزارش ششم (CMIP6) مربوط به مؤلفه بارش

ایستگاه‌ها (Stations)	مدل (Model)	NES	RMSE	r
کاشان	IPSL-CM6A-LR	۰/۷۹	۱/۰۵۰	۰/۸۹۳
	MRI-EMS2-0	۰/۷۳	۲/۵۲۱	۰/۵۸۵
	MIROC6	۰/۷۶	۱/۶۶۵	۰/۶۹۱
	CanESM5	۰/۷۷	۱/۱۵۴	۰/۶۹۰
	HadGEM3	۰/۷۷	۱/۲۵۹	۰/۶۸۹
	BCC-CSM2-MR	۰/۷۸	۱/۱۲۶	۰/۷۹۲
	CESM2	۰/۷۶	۱/۴۱۵	۰/۷۹۰
حسین آباد کویر	IPSL-CM6A-LR	۰/۷۸	۱/۱۱۰	۰/۸۷۷
	MRI-EMS2-0	۰/۷۳	۲/۶۳۱	۰/۷۸۷
	MIROC6	۰/۷۶	۱/۶۶۹	۰/۷۱۱
	CanESM5	۰/۷۸	۱/۱۶۰	۰/۷۳۰
	HadGEM3	۰/۷۷	۱/۲۶۱	۰/۷۱۸
	BCC-CSM2-MR	۰/۷۹	۱/۱۲۹	۰/۸۹۰
	CESM2	۰/۷۶	۱/۳۹۶	۰/۷۲۱
کامو	IPSL-CM6A-LR	۰/۷۳	۲/۱۲۳	۰/۶۹۹
	MRI-EMS2-0	۰/۶۶	۳/۶۵۱	۰/۵۹۷
	MIROC6	۰/۶۵	۲/۷۷۲	۰/۶۹۳
	CanESM5	۰/۷۲	۲/۲۱۰	۰/۶۸۰
	HadGEM3	۰/۷۱	۲/۳۳۳	۰/۶۷۰
	BCC-CSM2-MR	۰/۷۳	۲/۱۲۲	۰/۶۹۸
	CESM2	۰/۷۱	۲/۳۲۲	۰/۶۸۷
اردستان	IPSL-CM6A-LR	۰/۷۹	۱/۱۱۶	۰/۸۷۸
	MRI-EMS2-0	۰/۷۴	۲/۶۳۸	۰/۷۸۹
	MIROC6	۰/۷۷	۱/۶۷۲	۰/
	CanESM5	۰/۷۹	۱/۱۶۸	۰/۷۳۹
	HadGEM3	۰/۷۸	۱/۲۷۰	۰/۷۲۰
	BCC-CSM2-MR	۰/۸۰	۱/۱۳۲	۰/۸۹۹
	CESM2	۰/۷۵	۱/۳۹۹	۰/۷۲۸
علوی	IPSL-CM6A-LR	۰/۷۸	۲/۰۲۰	۰/۷۱۱
	MRI-EMS2-0	۰/۶۵	۳/۱۲۱	۰/۶۵۲
	MIROC6	۰/۶۴	۲/۲۱۷	۰/۶۹۶
	CanESM5	۰/۷۸	۲/۰۱۲	۰/۷۲۱
	HadGEM3	۰/۷۸	۲/۲۱۲	۰/۷۱۹
	BCC-CSM2-MR	۰/۷۸	۲/۱۰۹	۰/۷۰۱
	CESM2	۰/۷۲	۲/۳۳۷	۰/۶۹۸
نوش آباد	IPSL-CM6A-LR	۰/۸۲	۱/۰۱۱	۰/۸۹۰
	MRI-EMS2-0	۰/۷۴	۲/۶۴۲	۰/۷۸۶
	MIROC6	۰/۷۸	۱/۶۸۰	۰/۷۱۰
	CanESM5	۰/۷۹	۱/۱۶۰	۰/۷۳۰



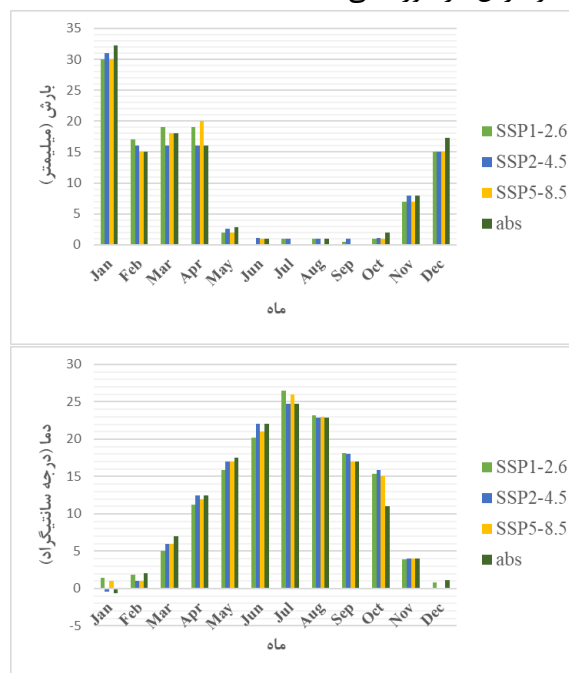
ادامه جدول (۴): عملکرد معیارهای ارزیابی برای ۷ مدل گزارش ششم (CMIP6) مربوط به مؤلفه بارش
SSP2-، SSP1-2.6) تحت سه سناریو (۲۰۲۲-۲۱۰۰)

HadGEM3	۰/۷۵	۱/۲۹۴	۰/۷۲۹	
BCC-CSM2-MR	۰/۸۴	۱/۰۰۲	۰/۸۹۹	
CESM2	۰/۸۰	۱/۳۴۴	۰/۷۳۱	
IPSL-CM6A-LR	۰/۸۸	۱/۰۰۶	۰/۸۹۳	
MRI-EMS2-0	۰/۷۶	۲/۶۴۲	۰/۷۷۷	
MIROC6	۰/۸۳	۱/۶۸۰	۰/۸۰۷	
CanESM5	۰/۸۷	۱/۱۶۰	۰/۸۹۱	
سن سن	HadGEM3	۰/۸۶	۱/۲۰۹	۰/۸۹۰
	BCC-CSM2-MR	۰/۸۵	۱/۲۳۴	۰/۸۷۴
	CESM2	۰/۸۳	۱/۳۵۶	۰/۸۱۲

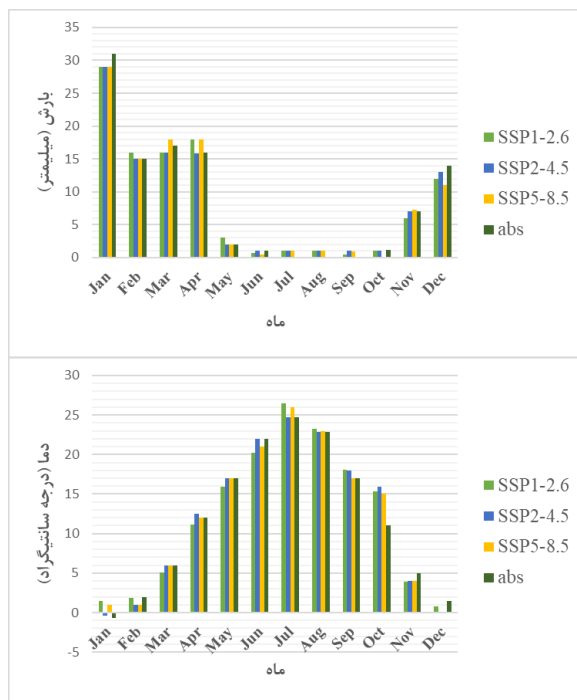
۴.۵ و SPP5-8.5) انجام شد. در نمودارهای ۵ تا ۱۱؛
SPP ها گویای سه سناریوی منتخب و obs نیز
نشان‌دهنده داده‌های مشاهداتی است.

شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش

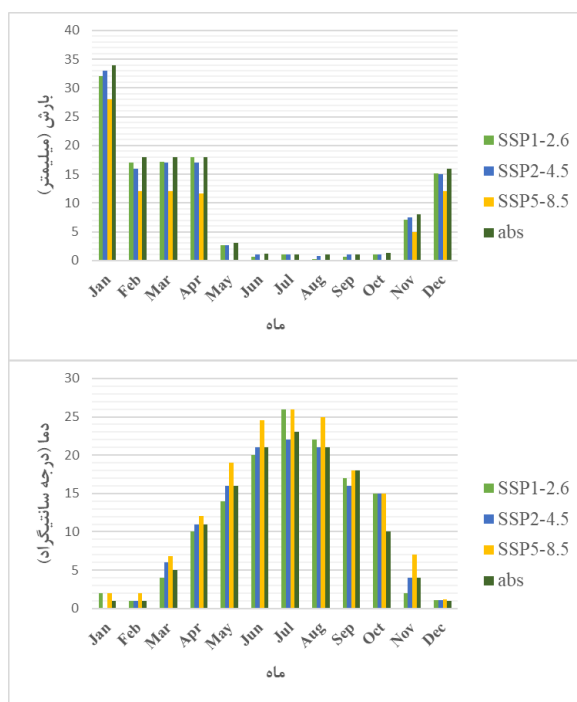
پس از مطمئن شدن از صحت مدل‌ها در برآورد متغیرهای
اقلیمی، شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در دوره آتی



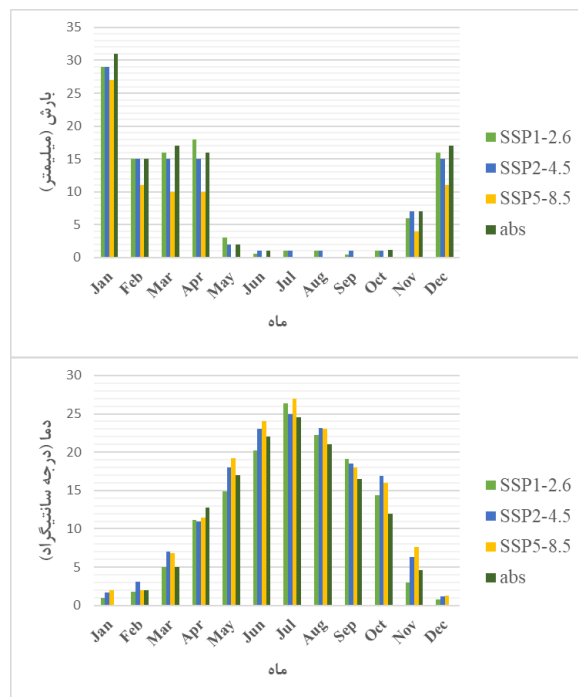
شکل (۵): شبیه‌سازی تغییرات بارش (میلیمتر) دمای متوسط (درجه سانتیگراد) تحت سه سناریو طی دوره آتی (۲۰۲۲-۲۱۰۰) در ایستگاه کاشان



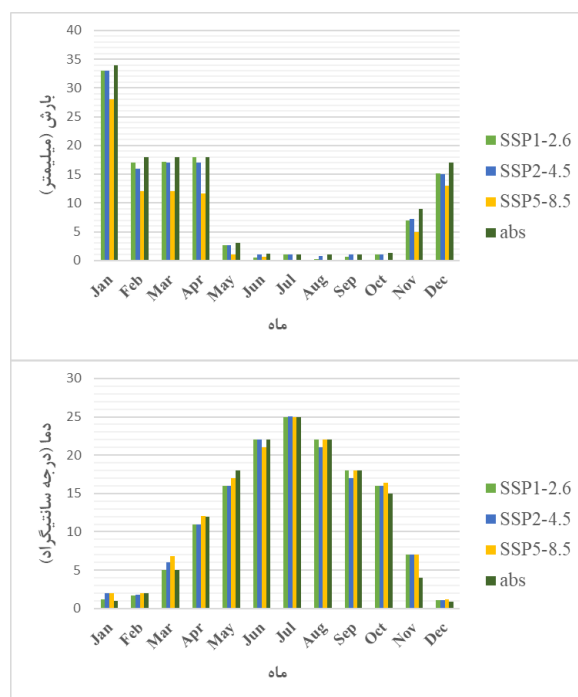
شکل (۶): شبیه‌سازی تغییرات بارش (میلیمتر) دمای متوسط (درجه سانتیگراد) تحت سه سناریو طی دوره آتی (۲۰۲۲-۲۱۰۰) در ایستگاه حسین آباد کویر



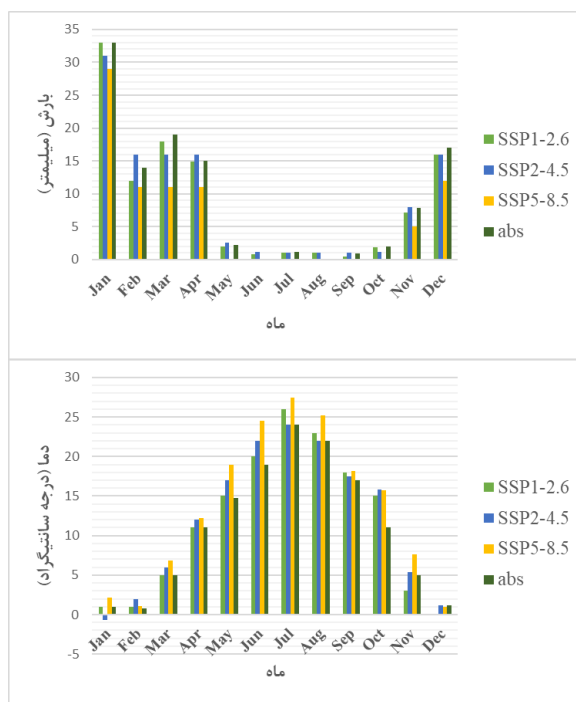
شکل (۷): شبیه‌سازی تغییرات بارش (میلیمتر) دمای متوسط (درجه سانتیگراد) تحت سه سناریو طی دوره آتی (۲۰۲۲-۲۱۰۰) در ایستگاه کامو



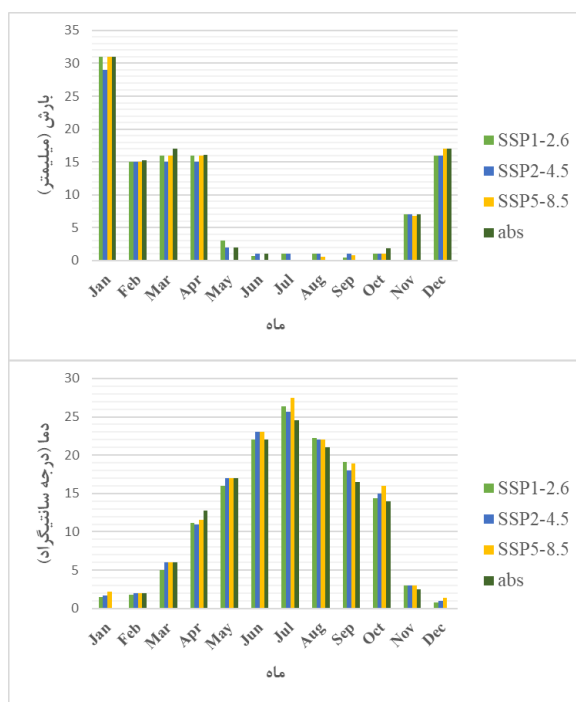
شکل (۸): شبیه‌سازی تغییرات بارش (میلیمتر) دمای متوسط (درجه سانتیگراد) تحت سه سناریو طی دوره آبی (۲۰۲۲-۲۱۰۰) در ایستگاه اردستان



شکل (۹): شبیه‌سازی تغییرات بارش (میلیمتر) دمای متوسط (درجه سانتیگراد) تحت سه سناریو طی دوره آبی (۲۰۲۲-۲۱۰۰) در ایستگاه علوی



شکل (۱۰): شبیه‌سازی تغییرات بارش (میلیمتر) دمای متوسط (درجه سانتیگراد) تحت سه سناریو طی دوره آتی (۲۱۰۰-۲۰۲۲) در ایستگاه نوش آباد



شکل (۱۱): شبیه‌سازی تغییرات بارش (میلیمتر) دمای متوسط (درجه سانتیگراد) تحت سه سناریو طی دوره آتی (۲۱۰۰-۲۰۲۲) در ایستگاه سن

میانگین دما در فصل تابستان دارای روند افزایشی است، و براساس سناریوی SSP1-2.6، دما در ماه دسامبر

با توجه به نتایج به دست آمده، در دوره آتی تقریباً در تمام سناریوها و ایستگاه‌ها



آزمون روند من-کندال

براساس جدول ۸، میزان آماره کندال داده‌های دمای متوسط مشاهداتی و سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب ۲/۱۷، ۱/۱۳، ۲/۷۵ و ۳/۹۶ می‌باشد. لذا دمای متوسط براساس آزمون من-کندال در سطح ۵ درصد دارای روند افزایشی معنادار است. این روند افزایشی دما در دوره پایه نسبت به دوره آبی نشان از وجود فرایند تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه است. همچنین میزان آماره کندال داده‌های بارش مشاهداتی و سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب ۱/۵۵، ۱/۴۵، ۱/۴۰ و ۱/۹۲- است. سطح معناداری نیز کمتر از ۵ درصد بوده و از لحاظ آماری روند آن مورد تأیید قرار می‌گیرد.

بیشترین میزان کاهش و در ماه جولای بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت. در سناریوی SSP2-4.5، دما در ماه ژوئن بیشترین میزان کاهش و در ماه جولای بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت. در سناریوی SSP5-8.5، دما در ماه دسامبر بیشترین میزان کاهش و در ماه جولای بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت. همچنین با مقایسه مقادیر میانگین سالانه مشاهداتی دوره پایه با نتایج متناظر آن در دوره آبی، کاهش بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه تحت تمامی سناریوهای SPP به وضوح مشخص است. براساس سناریوی SSP1-2.6، بارش در ماه ژوئن کمترین میزان کاهش و در ماه ژانویه بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت. در سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بارش در ماه جولای، آگوست و سپتامبر بیشترین میزان کاهش و در ماه ژانویه بیشترین میزان افزایش را خواهد داشت.

جدول (۸): آزمون روند من-کندال داده‌های مشاهداتی (۲۰۱۴-۱۹۸۴) و سناریوهای طی دوره آبی (۲۰۲۲-۲۱۰۰)

پارامتر اقلیمی	آماره کندال	سطح معناداری
دمای متوسط	مشاهداتی	۲/۱۷*
	SSP1-2.6	۱/۱۳*
	SSP2-4.5	۲/۷۵*
	SPP5-8.5	۳/۹۶*
بارش	مشاهداتی	۱/۵۵
	SSP1-2.6	۱/۴۵
	SSP2-4.5	۱/۴۰
	SPP5-8.5	-۱/۹۲*

*: داده‌ها در سطح ۵ درصد معنادار است.



بحث و نتیجه‌گیری

براساس نتایج مشخص شد در دوره آبی دمای متوسط دارای روند افزایشی معنادار است و بارش نیز دارای الگوی تغییرات معناداری در منطقه مورد مطالعه نیست و نوسانات بسیاری تجربه خواهد کرد. میانگین سالانه بارش در ایستگاه کاشان از ۹/۴۴ میلی‌متر در دوره پایه، تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SPP5-8.5 به ترتیب ۹، ۸/۶۶ و ۸/۶۷ میلی‌متر در سال پیش‌بینی می‌شود. به عبارتی می‌توان چنین استنباط نمود که وقوع بارش در دوره آبی بین ۷ تا ۳۶ درصد کاهش خواهد داشت. دمای متوسط نیز بین ۱۵/۴۷ تا ۲۰/۱۴ درصد افزایش خواهد داشت. در ایستگاه حسین‌آباد کویر، وقوع بارش در دوره آبی بین ۰/۸۳ تا ۱۲/۵۰ درصد کاهش خواهد داشت. هم‌چنین دمای متوسط بین ۲۱/۴۳ تا ۲۶/۱۰ درصد افزایش خواهد داشت. در ایستگاه کامو، وقوع بارش در دوره آبی بین ۵۶/۳۶ تا ۳۳۳/۴۷ درصد کاهش خواهد داشت. هم‌چنین دمای متوسط بین ۱۷/۵۰ تا ۲۲۱/۸۶ درصد افزایش خواهد داشت. در ایستگاه اردستان، وقوع بارش در دوره آبی بین ۰/۲۵ تا ۲/۸۵ درصد کاهش خواهد داشت. هم‌چنین

منابع

- ارشاد فتح، ف.، رائینی سرجاز، م.، شاه نظری، ع. و اولسون، ی.، ۱۴۰۱. کاربرد روش پس پردازش مقیاس‌دهی خطی برای تصحیح اریبی برون‌داد مدل‌های اقلیمی CMIP6. تحقیقات منابع آب ایران. سال هجدهم، شماره ۳، پائیز ۱۴۰۱. ص ۱۳۱-۱۴۴.
- آقاخانی افشار، ا.، حسن‌زاده، ی.، بسالت‌پور، ع و پوررضا بیلندی، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی سالیانه مؤلفه‌های اقلیمی حوضه آبخیز کشف رود در دوره‌های آبی با استفاده از گزارش پنجم هیأت بین‌دولتی تغییر اقلیم. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۳، شماره ششم. ص ۲۱۷-۲۳۲.
- انصاری مهابادی، ث.، دهبان، ح.، زارعیان، م.ج. و فرخ‌نیا، ا.، ۱۴۰۱. بررسی روند تغییرات دما و بارش حوزه‌های آبریز ایران در افق ۲۰ ساله آینده براساس برن‌داد مدل‌های CMIP6. مجله پژوهش آب ایران. جلد ۱۶، شماره ۱. ص ۱۱-۲۴.
- انصاری، م.، نوری، غ.ر. و فتوحی، ص.، ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. سال هفتم، شماره ۱۴. ص ۱۵۷-۱۵۲.
- دسترنج، ع. و رستمی خلج، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده با استفاده از ریز مقیاس‌نمایی مدل‌های گردش عمومی جو. جغرافیا و روابط انسانی. دوره ۳، شماره ۱. ص ۲۶۸-۲۵۲.
- رمضانی اعتدالی، ه.، خدابخشی، ف. و کنعانی، ا.، ۱۴۰۱. چشم‌انداز اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی بر اساس گزارش پنجم IPCC در ایلام. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. سال ۱۲، شماره ۱. ص ۸۷-۱۰۷.
- روشنی، ا.، حمیدی، م.، ۱۴۰۰. پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس مدل‌های CMIP6 در ایستگاه ساری. مدیریت آب و آبیاری. دوره ۱۱، شماره ۴. ص ۷۹۵-۷۸۱.

دمای متوسط بین ۲۱/۰۴ تا ۱۷۴/۶۵ درصد افزایش خواهد داشت. در ایستگاه علوی، وقوع بارش در دوره آبی بین ۰/۷۲ تا ۳/۲۷ درصد کاهش خواهد داشت. هم‌چنین دمای متوسط بین ۸/۶۵ تا ۴۷/۰۱ درصد افزایش خواهد داشت. در ایستگاه نوش‌آباد، وقوع بارش در دوره آبی بین ۱۰/۸۳ تا ۲۷۵/۸۳ درصد کاهش خواهد داشت. هم‌چنین دمای متوسط بین ۵۲/۵۰ تا ۲۴۲/۰۸ درصد افزایش خواهد داشت. در ایستگاه سن سن، وقوع بارش در دوره آبی بین ۱/۶۷ تا ۳۵/۸۳ درصد کاهش خواهد داشت. هم‌چنین دمای متوسط بین ۴۲/۱۴ تا ۵۸/۶۷ درصد افزایش خواهد داشت. این بخش از نتایج، با نتایج پژوهش ارشاد فتح (۱۴۰۱)، Peng et al (2023) و Liang et al (2023) مطابقت دارد. لذا باتوجه به اینکه تقریباً در تمام سناریوها میانگین دما در فصل تابستان دارای روند افزایشی است لذا انتظار تابستان‌های گرمتری را در دشت کاشان خواهیم داشت. میانگین بارش فصلی نیز برای تمام سناریوها نشان‌دهنده کاهش بارش می‌باشد، و میزان آب در دسترس با افت شدیدی مواجه خواهد شد. به همین ترتیب، اقلیمی گرم‌تر و کم‌بارش‌تر برای دشت کاشان پیش‌بینی می‌شود



زارعیان، م.ج.، ۱۴۰۱. اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش استان یزد بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP₆. نشریه علوم آب و خاک. سال ۲۶، شماره دوم. ص ۹۱-۱۰۵.

عابدینی، ا.، موسوی بایگی، م.، خاشعی سیوکی، ع. و سلامی ورزی، ی.، ۱۴۰۰. اثرات تغییر اقلیم بر روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما بر اساس گزارش پنجم IPCC در استان خراسان جنوبی. نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی. سال دوازدهم، شماره ۴۸. ص ۱-۲۲.

فلاح کلاکی، م.، شکرکی کوچک، و و رضانی اعتدالی، ه.، ۱۴۰۰. شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های CMIP₅ و CMIP₆ بر روانب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در حوضه آبریز طشک-بختگان. تحقیقات منابع آب ایران. سال هفدهم، شماره ۳. ص ۳۴۵-۳۵۹.

کوهی، س.، عزیزیان، ا. و مازندرانی‌زاده، ح.، ۱۴۰۱. اثر تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی تحت سناریوهای SSP با استفاده از منطق فازی. تحقیقات منابع آب ایران. سال هجدهم، شماره ۳. ص ۱-۱۷.

کیمیگر، و.، فتاحی، ا. و علیمحمدی، س.، ۱۳۹۸. بررسی تأثیر روش‌های مختلف ریزمقیاس‌سازی آماری بر تغییرات جریان پیش‌بینی شده بر اثر تغییر اقلیم در حوضه سد کرج. نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی. سال دهم، شماره ۳۸. ص ۱۷-۳۱.

لطفی قرانچای، ش.، شکیب، ع.ر.، دشت بزرگی، آ.، ربانی، ف. و اکبری ازیرانی، ط.، ۱۴۰۰. مدلسازی و پیش‌بینی عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر. فصلنامه جغرافیای طبیعی. سال ۱۳، شماره ۵۳. ص ۷۴-۵۷.

محسنی ساروی، م.، احترام، م.، پناهی، ف.، گیور، ع. ر. و افشاری‌نیا، م.، ۱۴۰۰. تغییرات اقلیمی در بیابان‌ها گذشته، حال و آینده. چاپ اول. تدوین: سخنوران-انتشارات دانشگاه کاشان.

میراکبری، م.، مصباح زاده، ط.، محسنی ساروی، م.، خسروی، ح.، و مرتضایی فریزهندی، ق.، ۱۳۹۷. ارزیابی کارایی مدل CMIP₅ در پیش‌بینی پارامترهای بارش و دما در شهر یزد. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ص ۵۳۹ - ۶۰۹.

هوشمند، د.، اسماعیلی، ک.، حسینی، ع.، ثنایی‌نژاد، ح. و خلیلی، د.، ۱۳۹۸. شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم تحت سناریوهای RCP بر منابع آبی حوضه آبریز سد سلمان فارسی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۲، جلد ۱۳. ص ۲۴۳-۲۵۸.

Belazreg, N.E.H., Hasbaia, M., Şen, Z., And Ferhati, A. 2023. Historical evaluation and future projections of monthly precipitation and temperature under CMIP6 GCMs, case of Hodna basin (central Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*. volume 16, 39 (2023).

Bessah, E., Raji, A., Taiwo, O., Agodzo, S. And Ololade, O. 2019. The impact of varying spatial resolution of climate models on future rainfall simulations in the Pra river basin (Ghana). *Journal of Water and Climate Change*, 11 (4).

Crochemore, L., Ramos, M. H., And Pappenberger, F. 2016. Bias correcting precipitation forecasts to improve the skill of seasonal streamflow forecasts.

Ehteram, M., Kalantari, Z., Ferreira, C., Chau, K. And Emami, M. 2022. Prediction of future groundwater levels under representative concentration pathway scenarios using an inclusive multiple model coupled with artificial neural networks. *Journal of Water and Climate Change* 13 (10), 3620-3643.

Gergel, D. R., Malevich, S. B., McCusker, K. E., Tenezakis, E., Delgado, M. T., Fish, M. A., And Kopp, R. E. 2023. Global downscaled projections for climate impacts research (GDPCIR): preserving extremes for modeling future climate impacts. *EGU sphere*. Preprint egusphere-2022-1513.

Gutiérrez, J. M., Maraun, D., Widmann, M., Huth, R., Hertig, E., Benestad, R., And San Martin, D. 2019. An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. *International journal of climatology*, 39(9), 3750-3785.



IPCC, (Intergovernmental Panel On Climate Chang). 2013.The Physical Basis.In: Stocker, T.F., Qin,D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), Contribution Of Working Group I To The Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Liang, Z., Zhu, F., Liang, T., Luo, F., And Luo, J. 2023. Spatiotemporal Distribution of CO in the UTLS Region in the Asian Summer Monsoon Season: Analysis of MLS Observations and CMIP6 Simulations. *Remote Sens.* 15(2):367.

Peng, S., Wang, C., Li, Z., Mihara, K., Kuramochi, K., Toma, Y., And Hatano, R. 2023. Climate change multi-model projections in CMIP6 scenarios in Central Hokkaido, Japan. *Scientific Reports.* 230 (2023).

Pimonsree, S., Kamworapan, S., Gheewala, S.H., Thongbhakdi, A. And Prueksakorn, K. 2023. Evaluation of CMIP6 GCMs performance to simulate precipitation over Southeast Asia. *Atmospheric Research*, Volume 282, February 2023.

Singh, G., Mishra, N., Thakural, L. And Kumar, S. 2022. Statistical Downscaling of Climate Change Scenarios of Rainfall in Haridwar District of Uttarakhand, India. *Environment and Sustainable Development*, 131–142.

Thiha, S., Shamseldin, A.Y. And Melville, B.W. 2021. Assessment of the Myitnge River flow responses in Myanmar under changes in land use and climate. *Model. Earth Syst. Environ.* 7, 1393–1415.