Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems

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

Climate change impact assessment on precipitation and temperature variations using emission scenarios (Case study: Kashmar climatic region)

Atefeh Dastgerdi[1], Hadi Memarian[2], Mohsen Pourreza Bilondi[3], Mahdi Mokari[4], Amirhosein Aghakhani Afshar[5]

1. M.Sc. Student, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Member of Research Group on Drought and Climate Change, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: a.dastgerdi72@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Member of Research Group on Drought and Climate Change, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: hadi_memarian@birjand.ac.ir
3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: mohsen.pourreza@birjand.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Kashmar Higher Education Center Iran, Email: mehdimokari@gmail.com
5. Ph.D., Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: a.s.a.a.6269@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Paper

Article history

Received: 15 July 2023

Revised: 29 August 2023

Accepted: 07 September 2023

Published online: 06 October 2023

Keywords:

Climate variables, Downscaling, Drought, General circulation models, Kashmar, Mann-Kendall test, Simulation.

ABSTRACT

Climate change affects extreme events such as floods and droughts. This research was conducted in the watershed of Kashmar City in Khorasan Razavi province and the output of general circulation models from the CMIP5 model series was used to check the performance and validity of these models in predicting the climatic parameters of precipitation, average temperature, maximum temperature, and minimum temperature during the period 1989-2005. The best model was selected using the evaluation indices of the determination coefficient, the root means squared error, the absolute mean error, the correlation coefficient, and the mean squared error. Finally, the BCSD method was employed to downscale the data for three time periods near future (2020-2038), middle future (2039-2069), and far future (2070-2100) under the IPSL-CM5A-MR model and future emission scenarios (RCP2.6, RCP4. 5, RCP6, RCP8.5). The Mann-Kendall statistic test was used in order to investigate the trend of changes in monthly, seasonal, and annual rainfall and temperature variables. The results of the model evaluation indices for four climate models indicated the highest performance of the IPSL-CM5A-MR model in simulating precipitation and temperature with a high correlation coefficient and relatively low error indices compared to other models. The results of the investigation of the rainfall trend showed that in the far future, the rainfall component will be completely decreasing and it will have the largest decrease under the RCP8.5 scenario with a value of -41.12 mm. The average temperature is also increasing in all months and the maximum increase in the average temperature in the far future under the RCP8.5 scenario is 7.58 °C. The amount of minimum temperature and maximum temperature increases in all months, and the maximum increase of minimum temperature in the far future interval under the RCP8.5 scenario is 8.35 °C. Furthermore, the maximum increase in the maximum temperature in the far future interval under the RCP8.5 scenario is 7.09 °C.

Citation: Dastgerdi, A., Memarian, H., Pourreza Bilondi, M., Mokari, M., & Aghakhani Afshar, A., (2023). Climate change impact assessment on precipitation and temperature variations using emission scenarios (Case study: Kashmar climatic region). *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 11(3), 93-109.

DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems

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

Climate change impact assessment on precipitation and temperature variations using emission scenarios (Case study: Kashmar climatic region)

Atefeh Dastgerdi[1], Hadi Memarian[2], Mohsen Pourreza Bilondi[3], Mahdi Mokari[4], Amirhosein Aghakhani Afshar[5]

1. M.Sc. Student, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Member of Research Group on Drought and Climate Change, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: a.dastgerdi72@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Member of Research Group on Drought and Climate Change, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: hadi_memarian@birjand.ac.ir
3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran, Email: mohsen.pourreza@birjand.ac.ir
4. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Kashmar Higher Education Center Iran, Kashmar, Iran, Email: mehdimokari@gmail.com
5. Ph.D., Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: a.s.a.a.6269@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Climate change and global warming are among the most important environmental challenges. Global warming has significant effects on climate variables, especially precipitation and temperature. In the last century, the average increase in global temperature has reached 0.85 °C. The increase of greenhouse gases as one of the main factors of global warming and climate change has caused an increase in temperature, an increase in the water level and the temperature of the oceans and after that, it has caused an increase in evaporation from the sea level and an increase in humidity and precipitation in the globe. The response of all parts of the planet to climate change is not an increase in rainfall, but due to changes in pressure patterns, some places have faced a decrease in rainfall. Climate change and the consequent change in climate parameters affect various environmental resources, such as surface and underground water resources, agricultural lands, forests, pastures, and human society. Currently, forecasting changes in rainfall and temperature parameters will be of great importance. Due to Iran's location in the high-pressure belt of the Northern Hemisphere, most of the country's regions, including Khorasan provinces, have a hot, arid to semi-arid climate, and semi-humid in some areas. Therefore, long-term forecasting and monitoring of the weather conditions of each region can be a good solution to deal with the adverse effects of climate change, such as floods and droughts. The purpose of this research is to investigate the trend of future changes in the climatic components of precipitation, average temperature, maximum temperature, and minimum temperature in Kashmar City, using the scenarios of the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change and atmospheric general circulation models. These changes are reviewed monthly, yearly, and quarterly during the near future, middle future, and far future time periods.

Methodology: This research was conducted in the watershed of Kashmar City in Khorasan Razavi province and the output of general circulation models from the CMIP5 model series was used to check the performance and validity of these models in predicting the climatic parameters of precipitation, average temperature, maximum temperature, and minimum temperature during the period 1989-2005. The best model was selected using the evaluation indices of the determination coefficient, the root mean squared error, the absolute mean error, the correlation coefficient, and the mean squared error. Finally, the BCSD method was employed to downscale the data for three time periods near future (2020-2038), middle future (2039-2069), and far future (2070-2100) under the IPSL-CM5A-MR model, and future emission scenarios (RCP2.6, RCP4. 5, RCP6, RCP8.5). The Mann-Kendall statistic test was used in order to investigate the trend of changes in monthly, seasonal, and annual rainfall and temperature variables.

Results and Discussion: The results of the model evaluation indices for four climate models indicated the highest performance of the IPSL-CM5A-MR model in simulating precipitation and temperature with a high correlation coefficient and relatively low error indices compared to other models. The results of the investigation of the rainfall trend showed that in the far future, the rainfall component will be completely decreasing and it will have the largest decrease under the RCP8.5 scenario with a value of -41.12 mm. The average temperature is also increasing in all months and the maximum increase in the average temperature in the far future under the RCP8.5 scenario is 7.58 °C. The amount of minimum temperature and maximum

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

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

temperature increases in all months, and the maximum increase of minimum temperature in the far future interval under the RCP8.5 scenario is 8.35 °C. Furthermore, the maximum increase in the maximum temperature in the far future interval under the RCP8.5 scenario is 7.09 °C.

Conclusion: The results of the model evaluation indices for four climate models show the performance of the IPSL-CM5A-MR model in simulating precipitation and temperature with a high correlation coefficient and relatively low error indices compared to other models. The assessment of the effects of climate change on some weather variables in the Kashmar Plain watershed as a part of the Central Iran catchment in the north of the Salt Desert showed that in all scenarios of greenhouse gas emissions, there will be a significant increase in temperature. The results of the temperature study show that the average annual temperature as well as the annual minimum temperature increase in the entire time period in all scenarios and all scenarios except the RCP2.6 scenario have a significant trend. The average annual average temperature of the entire period in RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 scenarios is 17.34, 18.30, 18.31, and 19.64 degrees Celsius, respectively, and the average average temperature in the historical period is 16.11 degrees Celsius, and the highest average temperature increase in the distant future and then in the middle and near future, and the RCP8.5, RCP6, RCP4.5 and RCP2.6 scenarios, and the increase is 3.53, 2.2, 2.19 and 1.23 degrees Celsius respectively. The average annual minimum temperature of the entire period in RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 scenarios is 10.56, 11.32, 11.34, and 12.55 degrees Celsius, respectively And the average minimum temperature in the historical period is equal to 9.13 degrees Celsius, and the maximum increase of the minimum temperature in the distant future and then in the middle and near future, and the RCP8.5, RCP6, RCP4.5 and RCP2.6 scenarios and the increase is equal to 3.42, 2.21, 2.19 and 1.43 degrees Celsius respectively. The amount of annual maximum temperature increases in the entire time period in RCP2.6, RCP4.5, RCP6 and RCP8.5 scenarios and has a significant trend in all scenarios. The maximum annual temperature of the whole period in RCP2.6, RCP4.5, RCP6, RCP8.5 scenarios is 24.12, 25.27, 25.27, 26.72 degrees Celsius, respectively. The average maximum temperature in the historical period is equal to 23.09 degrees Celsius. And the highest increase in maximum temperature in the distant future and then in the middle and near future, and RCP8.5, RCP6, RCP4.5 and RCP2.6 scenarios, and the amount of increase is 3.63, 2.18, 2.18, respectively and is 1.03 degrees Celsius. The investigation of the rainfall trend also showed that in the future, the rainfall will be completely decreasing and will have the highest decrease in the RCP8.5 scenario. The results of the rainfall survey showed that the amount of annual rainfall in the entire time period increases (0.04 %) in the RCP2.6 scenario and decreases in other scenarios, but there is no significant trend. The average annual rainfall of the entire period in RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5 scenarios is 228.17, 215.43, 211.36, and 202.63 mm, respectively. The average rainfall in the historical period is equal to 223.61 mm. The highest percentage of rainfall reduction is in the far, middle and near future, and RCP8.5, RCP6, RCP4.5 scenarios, and the reduction percentage is 0.2, 0.12, and 0.08, respectively. These findings mean an increase in evaporation and transpiration, a decrease in the amount of available water, an increase in plant stress, a decrease in the yield of many agricultural and garden crops, an increase in pressure on resources, a decrease in food security, and a total decrease in habitability potential in this area in the will be likely future.

Ethical Considerations

Data Availability Statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: This research was carried out in the form of a master's thesis under the support of the University of Birjand.

Authors' Contribution: Atefeh Dastgerdi was the main author, Hadi Memarian was the supervisor and other authors were the advisors of the thesis.

Conflicts of Interest: The authors of this article declare that they have no conflict of interest regarding the writing and publication of the contents and results of this research.

Acknowledgment: The financial and spiritual support of the University of Birjand in carrying out the different stages of this research is appreciated.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

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

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما با استفاده از سناریوهای انتشار (مطالعه موردی: منطقه اقلیمی کاشمر)

عاطفه دستگردی*[۱]، هادی معماریان[۲]، محسن پوررضا بیلندی[۳]، مهدی مکاری[۴]، امیرحسین آقاخانی‌افشار

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، a.dastgerdi72@gmail.com
۲. دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، hadi_memarian@birjand.ac.ir
۳. دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، mohsen.pourreza@birjand.ac.ir
۴. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر، کاشمر، ایران، mehdimokari@gmail.com
۵. دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، a.s.a.a.6269@gmail.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۴ تیر ۱۴۰۲
بازنگری: ۰۷ شهریور ۱۴۰۲
پذیرش: ۱۶ شهریور ۱۴۰۲
انتشار برخط: ۱۴ مهر ۱۴۰۲

واژه‌های کلیدی:
آزمون من-کندال، خشکسالی، ریز مقیاس‌نمایی، شبیه سازی، کاشمر، متغیرهای آب و هوایی، مدل‌های گردش عمومی جو.

چکیده

تغییر اقلیم بر وقایع حدی از جمله سیلاب و خشک‌سالی اثر می‌گذارد. این پژوهش در حوزه آبخیز شهرستان کاشمر در استان خراسان رضوی انجام شد و از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو از سری مدل‌های CMIP5 به‌منظور بررسی عملکرد و صحت‌سنجی این مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارش، دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه در بازه زمانی (۲۰۰۵-۱۹۸۹) استفاده شد. انتخاب مدل برتر با استفاده از شاخص‌های ارزیابی ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، ضریب همبستگی، میانگین مربعات خطا صورت گرفت. در نهایت روش ریزمقیاس‌نمایی BCSD برای سه دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۳۸-۲۰۲۰)، آینده میانی (۲۰۶۹-۲۰۳۹) و آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰) در مدل IPSL-CM5A-MR و سناریوهای انتشار آینده (RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5) مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی روند تغییرات مؤلفه‌های بارندگی و دمای ماهانه، فصلی، سالانه و کل دوره، از آزمون آماره من-کندال استفاده شد. نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل، برای چهار مدل اقلیمی حاکی از عملکرد مدل IPSL-CM5A-MR در شبیه‌سازی بارش و دما با ضریب همبستگی بالا و کم بودن نسبی شاخص‌های خطا در مقایسه با سایر مدل‌هاست. نتایج بررسی روند بارندگی نشان داد که در آینده دور بارندگی کاملاً کاهشی بوده و دارای بیش‌ترین کاهش در سناریوی RCP8.5 به مقدار ۴۱/۱۲- میلی‌متر است. میزان دمای متوسط نیز در تمام ماه‌ها افزایشی بوده و بیش‌ترین افزایش دمای متوسط در آینده دور و سناریوی RCP8.5 و برابر ۷/۵۸ درجه سانتی‌گراد در سپتامبر است. میزان دمای کمینه و دمای بیشینه در تمام ماه‌ها افزایش می‌یابد و بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در آینده دور و سناریوی RCP8.5 به میزان ۸/۳۵ درجه سانتی‌گراد در سپتامبر و بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در آینده دور و سناریوی RCP8.5 به میزان ۷/۰۹ درجه سانتی‌گراد در مارس است.

استناد: دستگردی، عاطفه، معماریان، هادی، پوررضا بیلندی، محسن، مکاری، مهدی، و آقاخانی‌افشار، امیرحسین. (۱۴۰۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای بارش و دما با استفاده از سناریوهای انتشار (مطالعه موردی: منطقه اقلیمی کاشمر)، *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۱(۳)، ۹۳-۱۰۹.
DOI: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6

CC BY NC
© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

* **نویسنده مسئول:** عاطفه دستگردی
نشانی: گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
تلفن: ۰۹۱۵۶۰۴۳۵۴۴
پست الکترونیکی: a.dastgerdi72@gmail.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

مقدمه

تغییر اقلیم و گرمایش زمین از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی است. گرمایش جهانی تأثیرات چشم‌گیری در مقادیر اقلیمی بویژه بارش و دما داشته است (آقاخانی‌افشار و همکاران، ۱۳۹۵). گزارش‌ها نشان می‌دهند که در قرن گذشته نیز میانگین افزایش دمای جهانی به ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد رسیده است (IPCC, 2014). افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یکی از عوامل اصلی گرمایش زمین و تغییر اقلیم سبب افزایش دما، افزایش سطح آب و دمای اقیانوس‌ها شده و به دنبال آن باعث افزایش تبخیر از سطح دریا و افزایش رطوبت و بارش در سطح جهان شده است. پاسخ تمام نقاط کره زمین به تغییرات اقلیمی، افزایش بارش نیست، بلکه به‌دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط با کاهش بارش مواجه بوده‌اند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). تغییرات اقلیم و به تبع آن تغییر پارامترهای اقلیمی بر منابع مختلف محیطی از قبیل منابع آب سطحی و زیرزمینی، اراضی کشاورزی، جنگل‌ها، مراتع و هم‌چنین جامعه انسانی تاثیر می‌گذارد (آبکار و همکاران، ۱۳۹۲). این تغییرات موجب افزایش فراوانی و شدت وقایع خشک‌سالی شده و منجر به از بین رفتن محیط زیست، خسارات اقتصادی و حتی درگیری بین جوامع بشری می‌شود (مظفری و همکاران، ۱۳۹۹).

معتبرترین منابع اطلاعاتی در مورد تغییرات اقلیمی در سطح جهانی گزارش‌های ارزیابی هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC[1]) است که از زمان تأسیس تاکنون پنج گزارش ارزیابی در خصوص وضعیت تغییر اقلیم با مشارکت دانشمندان از سراسر جهان منتشر کرده است (معماریان و همکاران، ۱۳۹۸). بهترین ابزار برای بررسی و ارزیابی تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم زمین و تغییرات آن، کاربرد مدل‌های گردش عمومی (GCM[2]) است (حسینی‌خواه و همکاران، ۱۳۹۲). مدل‌های GCM، به‌عنوان مدل‌های عددی که فرآیندهای فیزیکی جو را نشان می‌دهند، می‌توانند اقلیم حاضر را شبیه‌سازی و شرایط اقلیم آینده را تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، پیش‌بینی نمایند. نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفت تحت عنوان CMIP5[3] شناخته شده است. مجموعه‌ای از آزمایش‌ها نظیر شبیه‌سازی‌های قرن بیستم و پروژه‌های اقلیمی قرن۲۱ تحت سناریوهای جدید انتشار با عنوان خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP[4]) مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند (آقاخانی‌افشار و همکاران، ۱۳۹۵).

جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منطقه مطالعاتی کاشمر، به مرور بخشی از پژوهش‌های زیادی که در دنیا با استفاده از مدل‌های مختلف انجام شده می‌پردازیم. طاووسی و همکاران (۱۴۰۲) به واکاوی تغییرات آتی شاخص‌های خشکی اقلیمی در آبخیز ایران مرکزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم پرداختند. یافته‌ها نشان داد که مقادیر به‌دست آمده از شاخص خشکی بر مبنای مدل های GCM منتخب در حوضه مورد مطالعه نسبت به دوره مشاهداتی کاهش پیدا کرده و بنابراین تعداد زیادی از ایستگاه‌ها با شرایط خشک فعلی، در اقلیم آتی وضعیت فراخشک را تجربه خواهند کرد. نیرومندفرد و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 در ایستگاه بیرجند پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد تغییرات دمای حداکثر و حداقل در دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۲) نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای روند افزایشی است و پارامتر بارش دارای روند سینوسی است و در برخی ماه‌ها افزایشی و در برخی کاهشی است. بلوکی و همکاران (۱۴۰۰) به پیش‌بینی اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر مقادیر دما و بارش استان هرمزگان پرداختند. نتایج حاکی از افزایش بیشینه بارش روزانه، دمای کمینه و بیشینه در همه ایستگاه‌ها بوده است. مجموع بارش در ایستگاه‌های مختلف از تغییرات ثابتی برخوردار نبوده و تغییرات کاهشی و افزایشی را نشان داده است. رحیم‌پور[5] و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر شرایط اقلیمی حوزه آبخیز زشک – ابرده در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشان داد، تا انتهای قرن بیست و یکم میزان درجه حرارت افزایشی و مقادیر بارش کاهشی خواهد بود. تانگ[6] (۲۰۱۹) به پیش‌بینی آب و هوای آینده مالزی پرداخت. یافته‌ها نشان داد که تا پایان قرن بیست و یکم میانگین دمای سالانه، متوسط سطح دریا و وقایع شدید آب و هوایی در حال افزایش است و میزان بارندگی دارای تنوع خواهد بود. استان خراسان رضوی نیز جزء استان‌های خشک و نیمه‌خشک کشور به‌شمار می‌رود و متوسط بارش استان در حدود ۲۱۰ میلی‌متر است. متوسط بارندگی محاسبه شده ایستگاه همدیدی کاشمر ۱۸۳/۸ میلی‌متر بوده و ریزش باران عمدتاً محدود به فصل زمستان و بهار است (دستگردی و همکاران، ۱۴۰۰). خشک‌سالی‌های اخیری که در این حوزه حاکم شده و توسعه سریع کشاورزی همراه با رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز آبی در دهه‌های اخیر سبب برداشت بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی این حوزه شده است

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change
[2] General Circulation Model
[3] Coupled Model Inter-comparison Phase 5
[4] Representative Concentration Pathways
[5] Rahimpour
[6] Tang

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

(خیرخواه و معماریان، ۱۳۹۴). هدف از این پژوهش بررسی روند تغییرات آینده مؤلفه‌های اقلیمی بارش، دمای متوسط، دمای بیشینه و دمای کمینه در حوزه آبخیز شهرستان کاشمر (که در استان خراسان رضوی واقع شده است)، با استفاده از سناریوهای انتشار گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5) و مدل‌های گردش عمومی جو است. این تغییرات به‌صورت ماهانه، سالانه و فصلی و در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور بررسی می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش، اطلاعات بسیار مهم و کاربردی را در اختیار مدیران منابع آب در این استان جهت برنامه‌ریزی‌های آتی قرار می‌دهد که دارای اهمیت بوده و برای اولین بار در این منطقه صورت پذیرفته است.

مواد و روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه

حوزه آبخیز کاشمر در استان خراسان رضوی به‌عنوان بخشی از حوزه آبریز ایران مرکزی در شمال کویر نمک با طول جغرافیایی '۴۰ °۵۷ شرقی تا '۴۰ °۵۸ شرقی و عرض جغرافیایی '۲ °۳۵ شمالی تا '۳۴ °۳۵ شمالی در جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد. این حوزه در بخش شمال شرقی آبریز کویر مرکزی ایران قرار داشته و دارای وسعت ۲۰۴۵ کیلومتر مربع است. حدود ۱۲۲۱ کیلومتر مربع از این حوزه را دشت کاشمر تشکیل می‌دهد (مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۴). دشت کاشمر از شمال به محدوده مطالعاتی ریوش و از جنوب به محدوده مطالعاتی بجستان یونسی از شرق به ازغند و فیض آباد محولات و از غرب به محدوده مطالعاتی بردسکن و قاسم آباد بجستان محصور می‌شود (شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰). موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. حوزه آبریز کاشمر دارای اقلیم نیمه‌خشک تا خشک است.

شکل۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و خراسان رضوی
Figure 1- Location of the study area in Iran and Razavi Khorasan

روش کار

در پژوهشی مرتبط، شصت و یک مدل اقلیمی به منظور شبیه‌سازی دوره‌های زمانی پایه و آینده در گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم به کار رفته است (آقاخانی و همکاران، ۱۳۹۵). برای بررسی ارزیابی مؤلفه‌های اقلیمی با استفاده از گزارش پنجم، ۱۴ مدل از بین مدل‌های گزارش پنجم را بر اساس سنجه‌های ضریب نش-ساتکلیف، درصد اریبی، ضریب تبیین و نسبت جذر ریشه مربعات خطا به انحراف معیار استاندارد داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند که چهار مدل اقلیمی به نام‌های GFDL-ESM2G، IPSL-CM5A-MR، MIROC-ESM و NorESM1-M که بر اساس معیارهای ارزیابی انطباق بیش‌تری با داده‌های مشاهداتی از خود نشان دادند، انتخاب شد (آقاخانی و همکاران، ۱۳۹۵). در این پژوهش، با در نظر گرفتن نتایج مطالعات آقاخانی و همکاران (۱۳۹۵)، این چهار مدل از گزارش پنجم، AR5 هیأت بین‌دولتی تغییر اقلیم استخراج شده و به‌منظور بررسی کیفی عملکرد مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی متغیرهای بارش و دما، از شاخص‌های ارزیابی استفاده شده است. شاخص‌های ارزیابی ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، ضریب همبستگی (R) و میانگین مربعات خطا (MSE) طبق رابطه‌های ۱ تا ۵ مورد بررسی قرار می‌گیرند (اردونی و

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

همکاران، ۱۳۹۹). در دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹)، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت مدل IPSL-CM5A-MR به‌عنوان بهترین مدل انتخاب شد.

$$R^2 = \frac{\sum_{K=1}^{K} X_k Y_K}{\sqrt{\sum_{K=1}^{K} X_K^2 \sum Y_K^2}} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^{K} (X_K - Y_K)^2}{K}} \quad (۲)$$

$$MAE = \frac{\sum_{K=1}^{K} |X_K - Y_K|}{K} \quad (۳)$$

$$R = \frac{\sum_{K=1}^{K} (y_{act} - \bar{y}_{act})(y_{est} - \bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum_{K=1}^{K} (y_{act} - \bar{y}_{act})^2 \sum (y_{est} - \bar{y}_{est})^2}} \quad (۴)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{K=1}^{K} (OBS_i - FOR_i)^2 \quad (۵)$$

در رابطه‌های فوق X_K مقادیر مشاهداتی، Y_K مقادیر شبیه‌سازی شده و K تعداد داده‌هاست. $\bar{Y}_{act}$ میانگین مقادیر مشاهداتی، Y_{act} مقادیر مشاهداتی، Y_{est} مقادیر شبیه‌سازی شده، $\bar{Y}_{est}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده هستند. هم‌چنین OBS_i و FOR_i به‌ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دما یا بارش در دوره پایه و n تعداد کل داده‌های مشاهداتی است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۵). در سال ۲۰۱۰ هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی (AR5) از سناریوهای جدید به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای تحت عنوان RCP استفاده نموده است (معماریان و همکاران، ۱۳۹۸). این چهار سناریو شامل یک سناریوی منجر به انتشار بسیار کم گازهای گلخانه‌ای RCP2.6، دو سناریوی متعادل RCP4.5 و RCP6.0 و یک سناریوی با انتشار بسیار بالای گازهای گلخانه‌ای RCP8.5 است و بر اساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ بنا نهاده شده‌اند. در جدول ۱ اطلاعات سناریوهای RCP بیان شده است (IPCC, 2014).

جدول ۱- سناریوهای انتشار RCP (IPCC, 2014)

Table 1- RCP emission scenarios (IPCC, 2014)

سناریو	واداشت تابشی	غلظت دی‌اکسیدکربن	خط سیر	تیم مدل‌سازی
RCP2.6	حداکثر مقدار آن 3 وات بر متر مربع و سپس کاهش می‌یابد.	490 ppm قبل از سال 2100 و سپس کاهش می‌یابد.	اوج و کاهشی	IMAGE
RCP4.5	۴/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال 2100 ثابت می‌ماند.	650 ppm و بعد از سال 2100 ثابت می‌ماند.	ثابت و بدون تغییر	GCAM
RCP6.0	۶/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال 2100 ثابت می‌ماند.	850 ppm و بعد از سال 2100 ثابت می‌ماند.	ثابت و بدون تغییر	AIM
RCP8.5	بیش‌تر از ۸/۵ وات بر متر مربع در سال 2100	1370 تا 2100	افزایشی	MESSAGE

مدل‌های گردش عمومی جو دارای وضوح نسبتاً پایین بوده و برای مطالعات در سطح منطقه و محلی مناسب نیستند. بنابراین، خروجی این مدل‌ها به‌منظور استفاده در مقیاس منطقه‌ای بایستی ریزمقیاس شوند (رحیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). فرآیند ریزمقیاس نمایی BCSD مورد استفاده در این تحقیق در سه گام مجزا انجام می‌شود: در مرحله اول اصلاح انحراف آماری شبیه‌سازی‌های مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت در مقیاس شبکه مدل‌های گردش عمومی جو و در گام زمانی ماهانه محاسبه می‌شود. در مرحله دوم، ریزمقیاس نمایی فضایی از شبکه مدل‌های گردش عمومی به شبکه مورد نظر (محلی یا منطقه‌ای) انجام می‌پذیرد و در مرحله سوم خروجی‌ها با مقیاس‌های ماهانه به مقیاس زمانی روزانه به‌طور موقت جداسازی می‌شوند (رحیم‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). در این پژوهش به‌منظور ریزمقیاس نمایی داده‌های بارش و درجه حرارت از روش جداسازی فضایی تصحیح اریبی (BCSD) استفاده شد. بنابراین، تمامی خروجی‌های مدل گزارش پنجم به

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

شبکه‌هایی با قدرت تفکیک‌پذیری ۰/۵ درجه به‌منظور مقایسه دقیق بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی، ریزمقیاس شدند. در این مطالعه، تحلیل روند داده‌هایی که دارای خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی هستند، به روش حامد و رائو انجام شد (ترابی و امام‌قلی‌زاده، ۱۳۹۴). از آن‌جا که هدف، تجزیه و تحلیل روند تغییرات بارش و دما در مدل گزارش پنجم است، لذا از آزمون غیر پارامتری من-کندال استفاده شد. آزمون غیر پارامتری من-کندال یک روش آماری است که به‌طور گسترده‌ای برای تشخیص روند تغییرات در پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمون من-کندال به‌عنوان یک آزمون غیر پارامتری برای تشخیص روند توسط من[1] (۱۹۵۴) و به‌عنوان یک آزمون توزیع آماری برای تست روند غیرخطی و نقطه عطف توسط کندال[2] (۱۹۵۵) استفاده شد (معماریان[3] و همکاران، ۲۰۱۵).

نتایج و بحث

نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل، برای چهار مدل اقلیمی در دوره تاریخی بررسی شد، مشاهده می‌شود که عملکرد مدل IPSL-CM5A-MR در شبیه‌سازی بارش و دما برای ایستگاه کاشمر نشان‌دهنده بالا بودن ضریب همبستگی و کم بودن نسبی شاخص‌های خطا در مقایسه با سایر مدل‌هاست. جدول ۲ نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل را برای دمای متوسط و بارش منطقه، نشان می‌دهد. پس از تعیین بهترین مدل، روندها در چهار سناریوی انتشار به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه در سه دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۳۸-۲۰۲۰)، آینده میانی (۲۰۶۹-۲۰۳۹)، آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰) بررسی شد و نتایج بیان شد.

جدول ۲- نتایج معیارهای ارزیابی مدل برای متغیر بارش و دمای متوسط

Table 2- Results of model evaluation criteria for average rainfall and temperature

معیارهای ارزیابی مدل	مدل							
	IPSL-CM5A-MR		GFDL-ESM2G		MIROC-ESM		NorESM1-M	
	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	بارش
R^2	0.99	0.72	0.98	0.50	0.98	0.49	0.98	0.44
RMSE	2.6	21.3	2.9	23.2	3.1	23.3	2.9	25.4
MAE	2.1	13.5	2.4	15.3	2.5	14.2	2.4	15.8
R	0.97	0.56	0.96	0.50	0.96	0.49	0.96	0.44
MSE	7.1	456	8.9	540	9.6	544	8.5	645

تحلیل خروجی سناریوها بر اساس بارش و دما

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد بارش در کل دوره زمانی درسناریوهای RCP در بیش‌تر ماه‌ها دارای روند معنی‌داری نیست و در اکثر ماه‌ها مقدار آن کاهش می‌یابد. مقدار بارش در فصل بهار و تابستان و پاییز در کل دوره زمانی و تمام سناریوهای RCP کاهش می‌یابد و در بیش‌تر سناریوها دارای روند معنی‌داری نیست و مقدار بارندگی در کل دوره زمانی و فصل زمستان افزایش می‌یابد. مقدار بارش سالانه در کل دوره زمانی در سناریوی RCP2.6 افزایش (۰/۰۴ درصد) و در سایر سناریوها کاهش می‌یابد و دارای روند معنی‌داری نیستند.

میانگین بارندگی سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب برابر ۲۲۸/۱۷، ۲۱۵/۴۳، ۲۱۱/۳۶ و ۲۰۲/۶۳ میلی‌متر است و میانگین بارش در دوره تاریخی برابر۲۲۳/۶۱ میلی‌متر است، بیش‌ترین درصد کاهش بارندگی به‌ترتیب در آینده دور، میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP8.5، RCP6 و RCP4.5 است و درصد کاهش به‌ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۱۲ و ۰/۰۸ است. این نتایج با مطالعات رحیم‌پور و همکاران (۲۰۲۰) که نشان دادند تغییرات اقلیمی بر روی پارامترهای آب و هوایی تاثیر می‌گذارد و روند تغییرات بارندگی نیز در آینده کاهشی خواهد بود هم‌خوانی دارد. جدول ۳ بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر بارش (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹) نشان می‌دهد. هم‌چنین شکل ۲ نمودارهای مقادیر بارش فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی و شکل ۳ مقادیر بارش سالانه مدل تحت سناریوهای انتشار را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

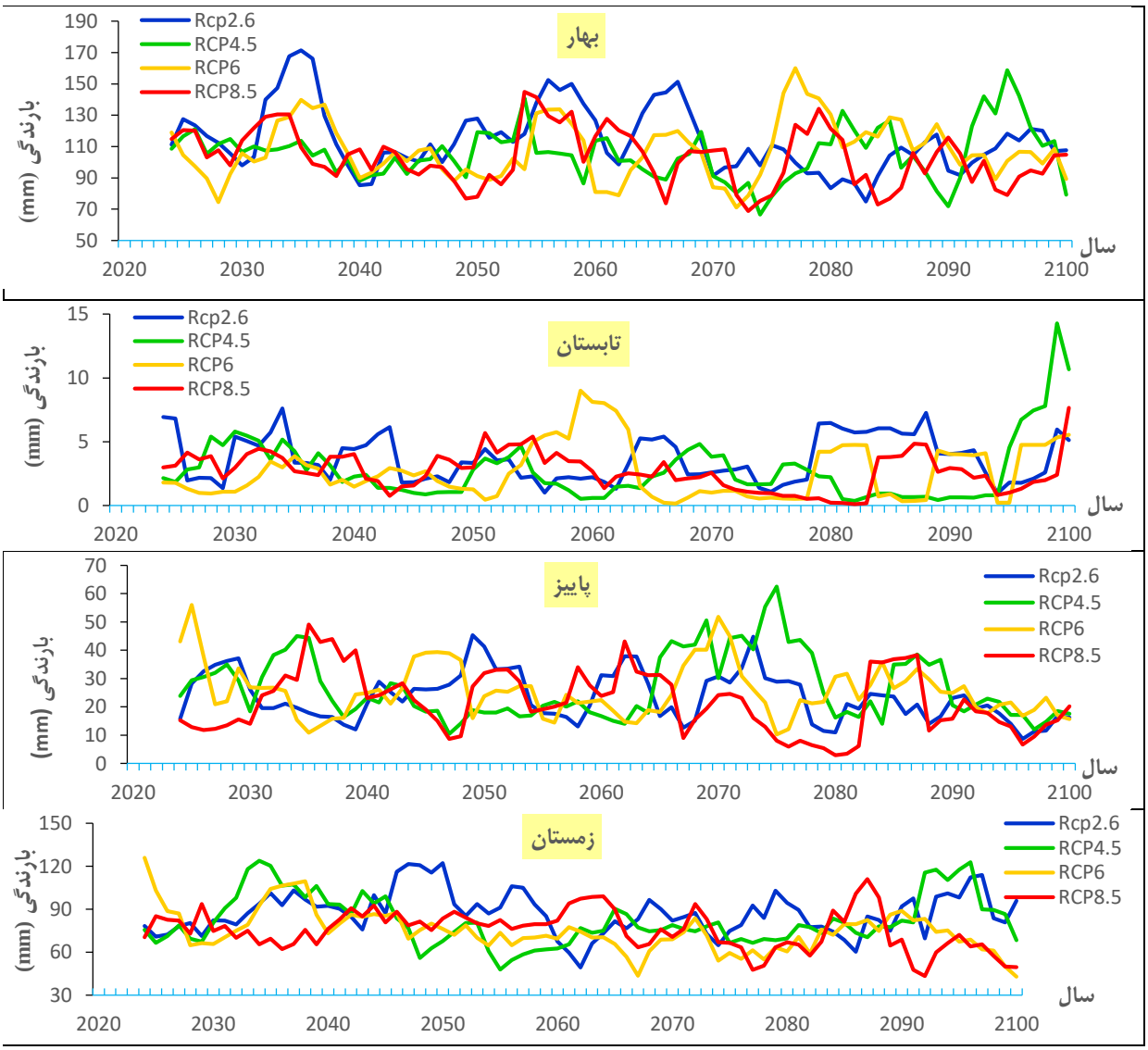
[1] Mann
[2] Kendall
[3] Memarian

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

جدول ۳- بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر بارش در دوره‌های زمانی مختلف در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹)

Table 3- The highest and the lowest precipitation values in different time intervals in the IPSL-CM5A-MR model under RCP scenarios compared to historical period (1989-2005)

دوره زمانی	بارش ماهانه		بارش فصلی		بارش سالانه	
	بیش‌ترین افزایش	بیش‌ترین کاهش	بیش‌ترین افزایش	بیش‌ترین کاهش	بیش‌ترین افزایش	بیش‌ترین کاهش
آینده نزدیک	RCP6 ژانویه 20.83 mm	RCP8.5 آوریل -9.79 mm	RCP6 زمستان 21.57 mm	RCP4.5 بهار -8.47 mm	RCP6 11.79 mm	RCP8.5 -9.79 mm
آینده میانی	RCP8.5 ژانویه 13.91 mm	RCP8.5 آوریل -9.88 mm	RCP2.6 زمستان 17.01 mm	RCP6 بهار -17.75 mm	RCP2.6 19.10 mm	RCP4.5 -17.80 mm
آینده دور	RCP2.6 ژانویه 11.08 mm	RCP8.5 مارس -13.72 mm	RCP2.6 زمستان 12.43 mm	RCP8.5 بهار -19.16 mm	بارندگی کاملا کاهشی است و دارای بیش‌ترین کاهش در سناریوی RCP8.5 به مقدار -41.12 mm است	

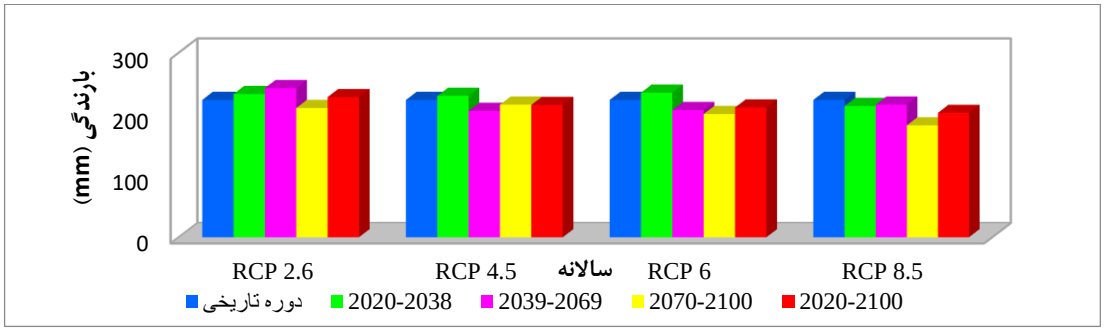


شکل ۲- نمودارهای مقادیر بارش فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی

Figure 2- Seasonal precipitation values by the IPSL-CM5A-MR model of the fifth assessment report under RCP scenarios during total time period

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]



شکل ۳- نمودار مقادیر بارش (سالانه) در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای انتشار RCP و دوره های زمانی مختلف

Figure 3- Precipitation values (annual) by the IPSL-CM5A-MR model of the fifth assessment report under RCP emission scenarios during different time intervals

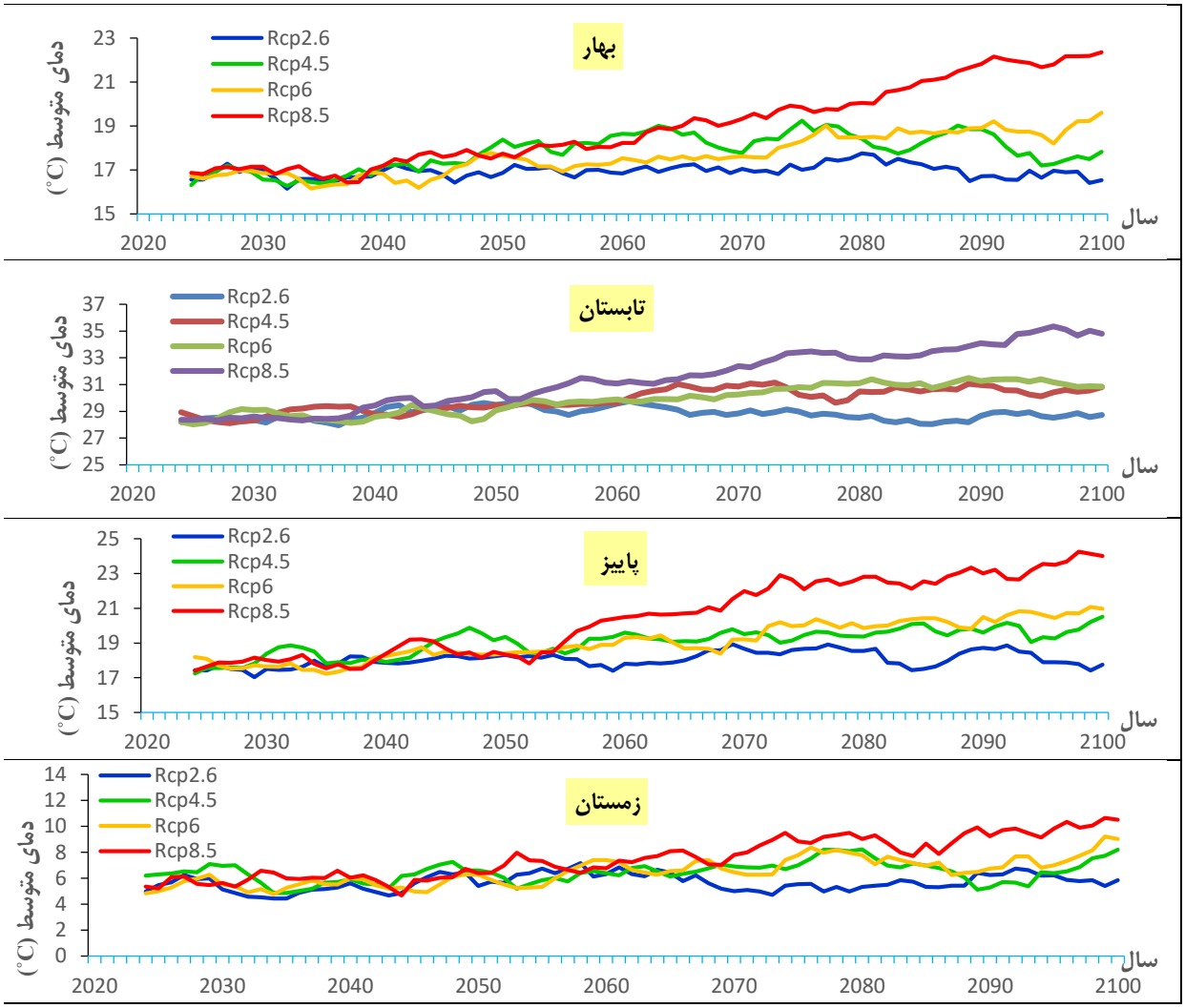
نتایج دمای متوسط نشان داد در کل دوره زمانی درسناریوهای RCP4.5 (غیر از ماه‌های، ژانویه و فوریه)، RCP6 و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری است. اما در سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری نیست و میزان دمای متوسط در تمام ماه‌ها افزایش می‌یابد. میزان دمای متوسط در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در کل دوره زمانی و تمام سناریوهای RCP افزایش می‌یابد و در سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری نیست، اما در سناریوهای RCP4.5، RCP6 (غیر از فصل پاییز) و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری است. میزان دمای متوسط سالانه در کل دوره زمانی در تمام سناریوها افزایش می‌یابد و به‌جز سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری هستند. میانگین دمای متوسط سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 به‌ترتیب برابر۱۷/۳۴، ۱۸/۳۰، ۱۸/۳۱، ۱۹/۶۴ درجه سانتی‌گراد است و میانگین دمای متوسط در دوره تاریخی برابر۱۶/۱۱ درجه سانتی‌گراد است، و بیش‌ترین افزایش دمای متوسط در آینده دور و پس از آن در آینده میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP8.5، RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 است و افزایش به‌ترتیب برابر ۳/۵۳، ۲/۲، ۲/۱۹ و ۱/۲۳ درجه سانتی‌گراد است. در واقع روند تغییرات داده‌های دمای متوسط از سناریوی RCP2.6 به سمت RCP8.5 افزوده شده است. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، نتایج مطالعات تانگ (۲۰۱۹) و هم‌چنین مطالعات رحیم‌پور و همکاران (۲۰۲۰) که به افزایش روند دما در آینده به‌دلیل تغییرات اقلیمی اشاره دارند را تأیید می‌کند. جدول ۴ بیش‌ترین مقادیر افزایش دمای متوسط (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹) نشان می‌دهد. هم‌چنین شکل ۴ نمودارهای مقادیر دمای متوسط فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی و شکل ۵ مقادیر دمای متوسط سالانه مدل تحت سناریوهای انتشار را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

جدول ٤- بیش‌ترین مقادیر افزایش دمای متوسط در دوره‌های زمانی مختلف در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹)

Table 4- The highest values of average temperature increase in different time periods by the IPSL-CM5A-MR model under RCP scenarios compared to the historical period (1989-2005)

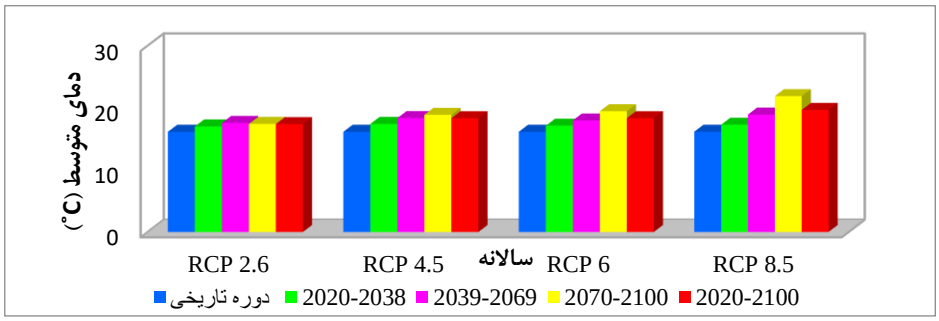
دوره زمانی	بیش‌ترین افزایش دمای متوسط		
	دمای متوسط ماهانه	دمای متوسط فصلی	دمای متوسط سالانه
آینده نزدیک	RCP4.5، اوت، 2.38 °c	RCP4.5، تابستان، 1.82 °c	RCP4.5، 1.26 °c
آینده میانی	RCP8.5، سپتامبر، 4.13 °c	RCP8.5، تابستان، 3.76 °c	RCP8.5، 2.77 °c
آینده دور	RCP8.5، سپتامبر، 7.58 °c	RCP8.5، تابستان، 6.83 °c	RCP8.5، 5.47 °c

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]



شکل ٤- نمودارهای میزان دمای متوسط فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی

Figure 4- Seasonal average temperature by the IPSL-CM5A-MR model of the fifth assessment report under RCP scenarios during total time period



شکل ٥- نمودار مقادیر دمای متوسط (سالانه) در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای انتشار RCP و دوره‌های زمانی مختلف

Figure 5- Average temperature values (annual) by the IPSL-CM5A-MR model of the fifth assessment report under RCP emission scenarios during different time periods

تحلیل خروجی سناریوها بر اساس دمای کمینه و دمای بیشینه

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد دمای کمینه کل دوره زمانی درسناریوهای RCP4.5 (غیر از ماه‌های، ژانویه، می و دسامبر)، RCP6 (غیر از ماه‌های، مارس و اوت) و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری است اما سناریوی RCP2.6 (به‌جز نوامبر) دارای روند معنی‌داری نیست و میزان دمای کمینه در تمام ماه‌ها افزایش می‌یابد. میزان دمای کمینه در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در کل دوره زمانی و تمام

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

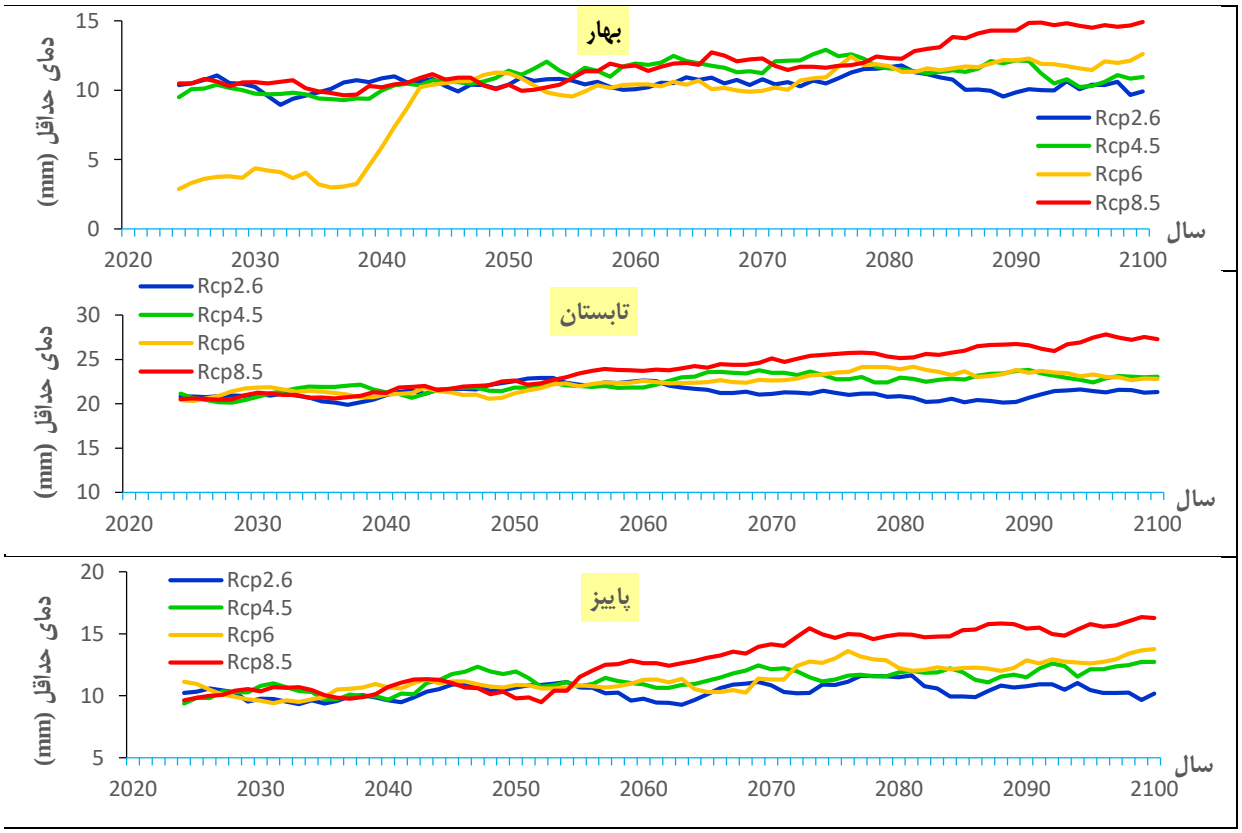
سناریوهای RCP افزایش می‌یابد و در سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری نیست، اما در سناریوهای RCP4.5 (به‌جز فصل زمستان)، RCP6 و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری است. بیش‌ترین درصد افزایش دمای کمینه در فصل تابستان و سناریوی RCP6 به میزان ۴/۶۲ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین درصد افزایش در بهار و سناریوی RCP2.6 به میزان ۰/۴ درجه سانتی‌گراد است. میزان دمای کمینه سالانه در کل دوره زمانی در سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 افزایش می‌یابد و همه سناریوها به‌جز سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری هستند. میانگین دمای کمینه سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب برابر ۱۰/۵۶، ۱۱/۳۲، ۱۱/۳۴ و ۱۲/۵۵ درجه‌سانتی‌گراد است و میانگین دمای کمینه در دوره تاریخی برابر۹/۱۳ درجه سانتی‌گراد است، و بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در آینده دور و پس از آن در آینده میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP8.5، RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 است و افزایش به‌ترتیب برابر ۳/۴۲، ۲/۲۱، ۲/۱۹ و ۱/۴۳ درجه سانتی‌گراد است.

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، نتایج مطالعات تانگ (۲۰۱۹) و هم‌چنین مطالعات سلطانی محمدی و همکاران (۱۳۹۸) که به افزایش روند دما در آینده به‌دلیل تغییرات اقلیمی اشاره دارند را تایید می‌کند. جدول ۵ بیش‌ترین مقادیر افزایش دمای کمینه (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹) را نشان می‌دهد. هم‌چنین شکل ۶ نمودارهای میزان دمای کمینه فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی و شکل ۷ مقادیر دمای کمینه سالانه مدل تحت سناریوهای انتشار را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

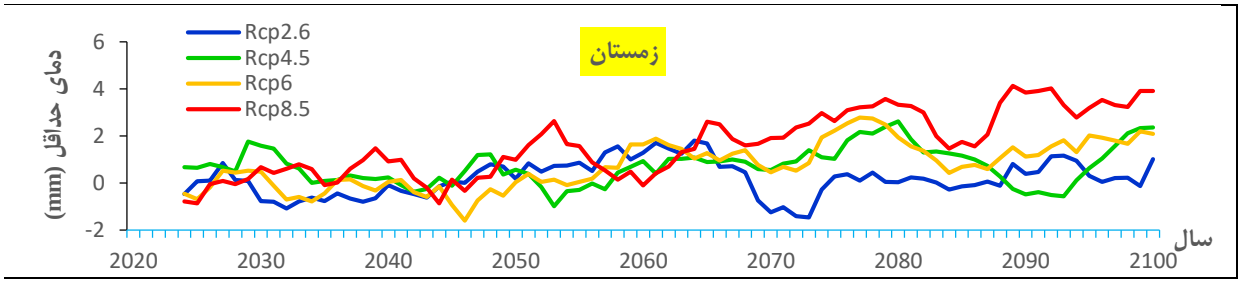
جدول ۵- بیش‌ترین مقادیر افزایش دمای کمینه در دوره‌های زمانی مختلف در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹)

Table 5- The highest increase in minimum temperature values during different time periods by the IPSL-CM5A-MR model under RCP emission scenarios compared to the historical period (1989-2005)

دوره زمانی	بیش‌ترین افزایش دمای کمینه		
	دمای کمینه ماهانه	دمای کمینه فصلی	دمای کمینه سالانه
آینده نزدیک	RCP4.5، اوت، 2.89 °c	RCP4.5، تابستان، 2.09 °c	RCP4.5، 1.27 °c
آینده میانی	RCP8.5، سپتامبر، 4.80 °c	RCP8.5، تابستان، 4.01 °c	RCP8.5، 2.69 °c
آینده دور	RCP8.5، سپتامبر، 8.35 °c	RCP8.5، تابستان، 7.09 °c	RCP8.5، 5.47 °c

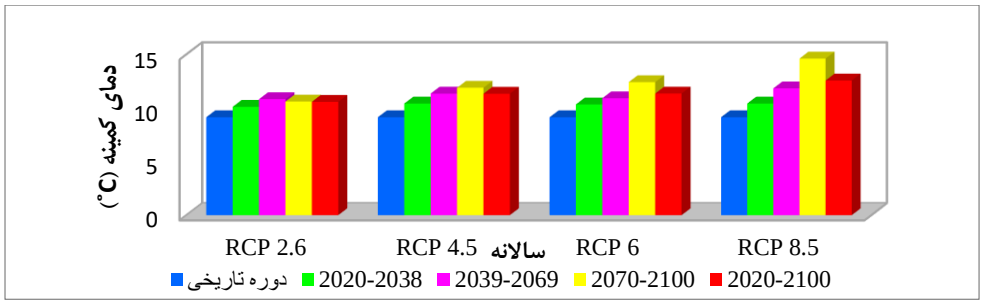


[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]



شکل ٦- نمودارهای میزان دمای کمینه فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی

Figure 6- Seasonal minimum temperature by the IPSL-CM5A-MR model of the fifth assessment report under RCP scenarios during the total time period



شکل ۷- نمودار مقادیر دمای کمینه (سالانه) در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای انتشار RCP و دوره‌های زمانی مختلف

Figure 7- Minimum temperature values (annual) by the IPSL-CM5A-MR model of the fifth assessment report under RCP emission scenarios during different time periods

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد دمای بیشینه کل دوره زمانی درسناریوهای RCP4.5 (غیر از ماه‌های، ژانویه، فوریه و مارس و نوامبر)، RCP6 و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری است اما سناریوی RCP2.6 (به‌جز ماه اکتبر) دارای روند معنی‌داری نیست و میزان دمای بیشینه در تمام ماه‌ها افزایش می‌یابد. میزان دمای بیشینه در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در کل دوره زمانی و تمام سناریوهای RCP افزایش می‌یابد و در سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری نیست، اما در سناریوهای RCP4.5، RCP6 (به‌جز فصل پاییز) و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری است. بیش‌ترین درصد افزایش دمای بیشینه در فصل تابستان و سناریوی RCP8.5 به میزان ۴/۱۶ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین درصد افزایش در فصل زمستان و سناریوی RCP2.6 به میزان ۰/۲۹ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی است. میزان دمای بیشینه سالانه در کل دوره زمانی در سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 افزایش می‌یابد و همه سناریوها دارای روند معنی‌داری هستند. میانگین دمای بیشینه سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 به‌ترتیب برابر۲۴/۱۲، ۲۵/۲۷، ۲۵/۲۷، ۲۶/۷۲ درجه سانتی‌گراد است و میانگین دمای بیشینه در دوره تاریخی برابر با ۲۳/۰۹ درجه سانتی‌گراد است، و بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در آینده دور و پس از آن در آینده میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP8.5، RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 است و افزایش به‌ترتیب برابر ۳/۶۳، ۲/۱۸، ۲/۱۸ و ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد است. این نتایج با مطالعات دار و همکاران (۲۰۱۹) و هم‌چنین رحیم‌پور و همکاران (۲۰۲۰) که نشان دادند تغییرات اقلیمی بر روی پارامترهای آب و هوایی تاثیر می‌گذارد و روند تغییرات دما نیز در آینده افزایشی خواهد بود هم‌خوانی دارد. جدول ۶ بیش‌ترین مقادیر افزایش دمای بیشینه (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹) نشان می‌دهد. هم‌چنین شکل ۸ نمودارهای مقادیر دمای بیشینه فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی و شکل ۹ مقادیر دمای بیشینه سالانه مدل تحت سناریوهای انتشار را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

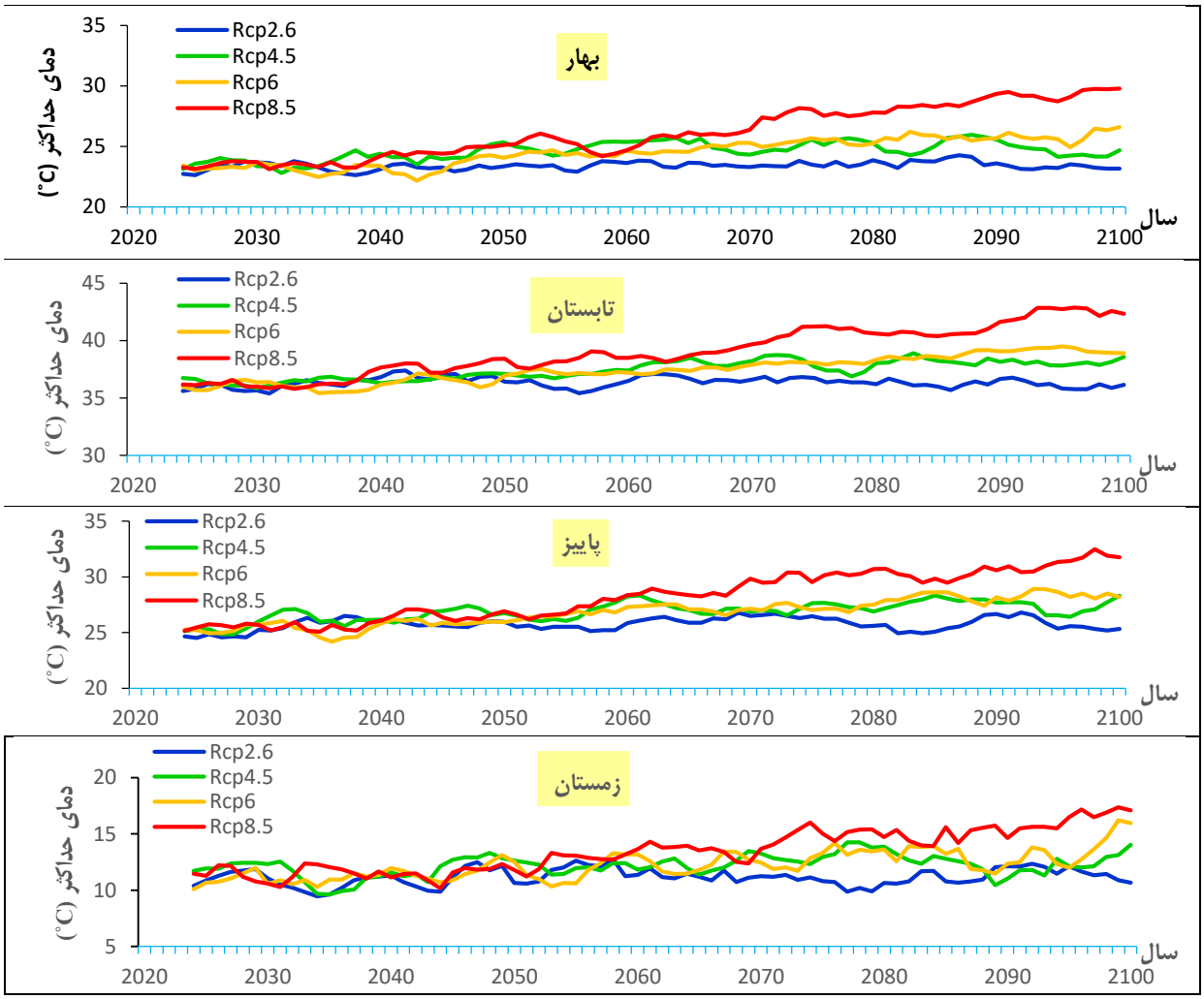
[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

جدول ٦- بیش‌ترین مقادیر افزایش دمای بیشینه در دوره‌های زمانی مختلف در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹)

Table 6- The highest values of maximum temperature increase during different time periods by the IPSL-CM5A-MR model under RCP emission scenarios compared to the historical period (1989-2005)

دوره زمانی	بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه		
	دمای بیشینه ماهانه	دمای بیشینه فصلی	دمای بیشینه سالانه
آینده نزدیک	RCP4.5، مارس، 2.16 °c	RCP4.5، تابستان، 1.56 °c	RCP4.5، 1.24 °c
آینده میانی	RCP8.5، اوت، 3.88 °c	RCP8.5، تابستان، 3.51 °c	RCP8.5، 2.85 °c
آینده دور	RCP8.5، مارس، 7.09 °c	RCP8.5، تابستان، 6.57 °c	RCP8.5، 6 °c

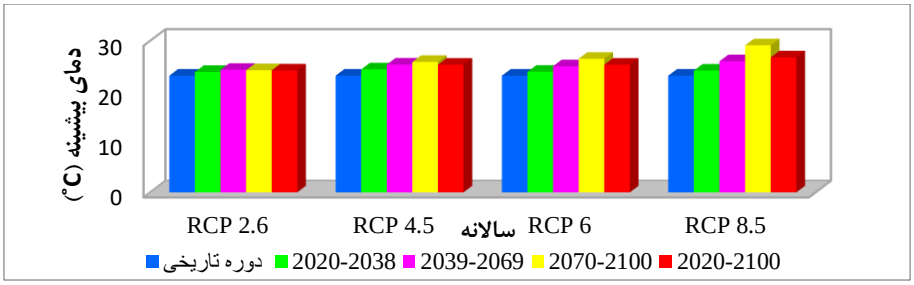


شکل ۸- نمودارهای میزان دمای بیشینه فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی

Figure 8- Maximum seasonal temperature by the IPSL-CM5A-MR model of the fifth assessment report under RCP scenarios during the entire period

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]



شکل ۹- نمودار مقادیر دمای بیشینه (سالانه) در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای انتشار RCP و دوره‌های زمانی مختلف

Figure 9- Maximum temperature values (annual) by the IPSL-CM5A-MR model of the fifth assessment report under RCP emission scenarios during different time periods

به‌طور کلی، نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل، برای چهار مدل اقلیمی در دوره تاریخی بررسی شد و نتایج نشان داد که عملکرد مدل IPSL-CM5A-MR در شبیه‌سازی بارش و دما برای ایستگاه کاشمر نشان‌دهنده زیاد بودن ضریب همبستگی و کم بودن نسبی شاخص‌های خطا در مقایسه با سایر مدل‌هاست. نتایج بارندگی نشان داد که مقدار بارش سالانه در کل دوره زمانی در سناریوی RCP2.6 افزایش (۰/۰۴ درصد) و در سایر سناریوها کاهش می‌یابد و دارای روند معنی‌داری نیستند. بررسی روند بارندگی نیز نشان داد که در آینده دور بارندگی کاملا کاهشی بوده و دارای بیش‌ترین کاهش در سناریوی RCP8.5 خواهد بود. نتایج مطالعات اقاخانی و همکاران (۱۳۹۵) در پشتیبانی از یافته‌های این تحقیق حاکی از آن است که بارش در اغلب مدل‌ها و سناریوها کم تر از دوره پایه آن ها بوده است. تنها در برخی مدل‌ها و سناریوها، میزان بارش بیش‌تر از دوره پایه آن‌هاست که مدل IPSL-CM5A-MR در سناریوی RCP 2.6 یکی از این مدل‌هاست.

نتایج دما نشان می‌دهد که میزان دمای متوسط سالانه و همچنین دمای کمینه سالانه در کل دوره زمانی در تمام سناریوها افزایش می‌یابد و همه سناریوها به‌جز سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری هستند. میزان دمای بیشینه سالانه در کل دوره زمانی در تمام سناریوها افزایش می‌یابد و همه سناریوها دارای روند معنی‌داری هستند. درجه حرارت نیز در کل حوزه در تمامی مدل‌ها و سناریوها افزایش پیدا می‌کند و در آینده دور مقادیر این پارامتر بیش‌تر از دیگر دوره‌های زمانی آینده خواهد بود و همچنین در سناریوی انتشار RCP8.5 نیز این مؤلفه بیش‌تر از سایر سناریوها خواهد بود. هم‌چنین نتایج محبی (۱۳۹۸) نیز در همخوانی با یافته های پژوهش حاضر نشان داد که در مدل canESM2 بارش در تمام دوره‌ها کاهش و دما در تمام دوره‌ها و سناریوها افزایش خواهد یافت و بیش‌ترین افزایش دمای متوسط در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ در ماه اکتبر و سناریوی RCP8.5 به میزان ۶/۶۲ درجه سانتی‌گراد است. نتایج تحقیقات رحیم‌پور و همکاران (۱۳۹۶) نیز بیانگر این است که تغییرات کاهشی مولفه‌ی بارش از نظر آماری معنی‌دار است، اما درجه حرارت روند افزایشی معنی‌داری از خود نشان می‌دهد که با یافته‌های پژوهش حاضر کاملاً هم‌خوانی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل، برای چهار مدل اقلیمی نشان از عملکرد مدل IPSL-CM5A-MR در شبیه‌سازی بارش و دما با ضریب همبستگی بالا و کم بودن نسبی شاخص‌های خطا در مقایسه با سایر مدل‌هاست. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر برخی از متغیرهای آب و هوایی در حوزه آبخیز دشت کاشمر به‌عنوان بخشی از آبریز ایران مرکزی در شمال کویر نمک نشان داد که در تمامی سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای با روند افزایشی معنی‌دار در دما مواجه خواهد شد. نتایج بررسی دما نشان می‌دهد که میزان دمای متوسط سالانه و هم‌چنین دمای کمینه سالانه در کل دوره زمانی در تمام سناریوها افزایش می‌یابد و همه سناریوها به‌جز سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری هستند. میانگین دمای متوسط سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب برابر ۱۷/۳۴، ۱۸/۳۰، ۱۸/۳۱ و ۱۹/۶۴ درجه سانتی‌گراد است و میانگین دمای متوسط در دوره تاریخی برابر ۱۶/۱۱ درجه سانتی‌گراد است، و بیش‌ترین افزایش دمای متوسط در آینده دور و پس از آن در آینده میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP8.5، RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 است و افزایش به‌ترتیب برابر ۳/۵۳، ۲/۲، ۲/۱۹ و ۱/۲۳ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای کمینه سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب برابر ۱۰/۵۶، ۱۱/۳۲، ۱۱/۳۴ و ۱۲/۵۵ درجه‌سانتی‌گراد است و میانگین دمای کمینه در دوره تاریخی برابر۹/۱۳ درجه سانتی‌گراد است، و بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در آینده دور و پس از آن در آینده میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP8.5، RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 بوده و افزایش به‌ترتیب برابر ۳/۴۲، ۲/۲۱، ۲/۱۹ و ۱/۴۳ درجه سانتی‌گراد است. میزان دمای بیشینه سالانه در کل دوره زمانی در سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 افزایش می‌یابد و در همه سناریوها دارای روند

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

معنی‌داری است. دمای بیشینه سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 به‌ترتیب برابر ۲۴/۱۲، ۲۵/۲۷، ۲۵/۲۷، ۲۶/۷۲ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای بیشینه در دوره تاریخی برابر با ۲۳/۰۹ درجه سانتی‌گراد است و بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در آینده دور و پس از آن در آینده میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP8.5، RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 بوده و میزان افزایش به‌ترتیب برابر ۳/۶۳، ۲/۱۸، ۲/۱۸ و ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد است. بررسی روند بارندگی نیز نشان داد که در آینده دور بارندگی کاملاً کاهشی بوده و دارای بیش‌ترین کاهش در سناریوی RCP8.5 خواهد بود. نتایج بررسی بارندگی نشان داد که مقدار بارش سالانه در کل دوره زمانی در سناریوی RCP2.6 افزایش (۰/۰۴ درصد) و در سایر سناریوها کاهش می‌یابد ولی دارای روند معنی‌داری نیست. میانگین بارندگی سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به‌ترتیب برابر ۲۲۸/۱۷، ۲۱۵/۴۳، ۲۱۱/۳۶ و ۲۰۲/۶۳ میلی‌متر و میانگین بارش در دوره تاریخی برابر ۲۲۳/۶۱ میلی‌متر است. بیش‌ترین درصد کاهش بارندگی به‌ترتیب در آینده دور، میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP8.5، RCP6 و RCP4.5 بوده و درصد کاهش به‌ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۱۲ و ۰/۰۸ است. این یافته‌ها به معنی افزایش تبخیر و تعرق، کاهش میزان آب در دسترس، افزایش تنش‌های گیاهی، کاهش عملکرد بسیاری از محصولات زراعی و باغی، افزایش فشار بر منابع، کاهش امنیت غذایی و در مجموع کاهش پتانسیل سکونت‌پذیری در این منطقه در آینده محتمل خواهد بود.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد و تحت حمایت دانشگاه بیرجند انجام شده است.

مشارکت نویسندگان: عاطفه دستگردی نویسنده اصلی، هادی معماریان به‌عنوان استاد راهنما و سایر نویسندگان اساتید مشاور پایان‌نامه بوده‌اند.

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

سپاس‌گزاری: بدین‌وسیله از معاونت فنی و عمرانی شهرداری مشهد به خاطر حمایت هایشان در ارائه مشخصات فنی سیستم جمع‌آوری رواناب شهری صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

۱. آبکار، علیجان، حبیب نژاد، محمود، سلیمانی، کریم، و نقوی، هرمز (۱۳۹۲). بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک ونیمه خشک. *مهندسی آبیاری و آب*، ۴(۱۴)، ۱-۱۷. **https://www.sid.ir/paper/247292/fa**

۲. اردونی، معصومه، معماریان، هادی، اکبری، مرتضی، و پوررضا، محسن (۱۳۹۹). صحت‌سنجی داده‌های بارش ماهواره GPM-IMERG در مقیاس‌های زمانی نیم‌ساعته و روزانه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرگانرود). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۷(۴)، ۱۴۹-۱۶۶. **https://civilica.com/doc/1148851**

۳. آقاخانی‌افشار، امیرحسین، حسن‌زاده، یوسف، بسالت‌پور، علی‌اصغر، و پوررضابیلندی، محسن (۱۳۹۵). ارزیابی سالیانه مؤلفه های اقلیمی حوضه آبخیز کشف رود در دوره‌های آتی با استفاده از گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۶)، ۲۱۷-۲۳۳. **doi: 10.22069/jwfst.2017.11186.2553**

۴. بابائیان، ایمان، نجفی نیک، زهرا، زابل عباسی، فاطمه، حبیبی نوخندان، مجید، ادب، حامد، و ملبوسی، شراره (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. *جغرافیا و توسعه*، ۷(۱۶)، ۱۳۵-۱۵۲. **https://www.sid.ir/paper/76967/fa**

۵. بلوکی، هدا و فاضلی، مهدی و شریف‌زاده، مهدی (۱۴۰۰). پیش‌بینی اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر مقادیر دما و بارش استان هرمزگان. *دهمین کنفرانس بین‌المللی سامانه‌های سطوح آبگیر باران*. **https://civilica.com/doc/1411176**

۶. ترابی پوده، حسن، و امامقلی‌زاده، صمد (۱۳۹۴). تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های حوضه رودخانه کرخه و تأثیر ضریب خودهمبستگی بر روند تغییرات جریان. *پژوهش آب ایران*، ۹(۱۶)، ۱۴۳-۱۵۱. **https://iwrj.sku.ac.ir/article_11040.html**

۷. حسینی‌خواه، منصور و زینی‌وند، حسین، حقی‌زاده، علی، و طهماسبی پور، ناصر (۱۳۹۳). پیش‌بینی تغییرات الگوی بارش حوزه آبخیز قره‌سو در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. *همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی*. همدان، ایران. **https://civilica.com/doc/282532**

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

۸. خیرخواه، آرزو، و معماریان، هادی (۱۳۹۴). بحران آب در دشت کاشمر، عوامل، پیامدها و راهکارها. *اولین همایش ملی بحران آب و مدیریت آن در مناطق خشک ایران*. دانشگاه یزد.
۹. دستگردی، عاطفه، معماریان، هادی، پوررضابیلندی، محسن، مکاری، مهدی، و اکبری، مرتضی (۱۴۰۰). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای دمای بیشینه و کمینه کاشمر. *پنجمین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران*. بیرجند. **https://civilica.com/doc/1250819**
۱۰. دفتر مطالعات پایه منابع آب (۱۳۹۰). گزارش تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی دشت کاشمر، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی.
۱۱. رحیم‌پور، محدثه، تاجبخش، سیدمحمد، معماریان، هادی، و آقاخانی افشار، امیرحسین (۱۳۹۶، تیر). ارزیابی تولید رواناب حوزه های آبخیز مناطق نیمه خشک تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوزه زشک–ابرده). *دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران*. شهرکرد. **https://civilica.com/doc/661428**
۱۲. سلطانی محمدی، عقیل، امیریان فر، منصور، و شریف حسینی، سیدمحمد (۱۳۹۸). بررسی تغییر اقلیم شهرستان کاشان در دوره (۲۱۰۰–۲۰۱۱) تحت سناریوهای گزارش چهارم و پنجم IPCC. *دومین کنفرانس بین‌المللی فناوری و نوآوری در علوم، مهندسی و تکنولوژی*، تهران، ایران. **https://civilica.com/doc/925445**
۱۳. طاوسی، تقی، شجاع، فائزه، و حسین‌آبادی، نسرین (۱۴۰۲). واکاوی تغییرات آتی شاخص های خشکی اقلیمی در آبخیز ایران مرکزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۴(۲۷)، ۸۶–۱۰۲. **https://civilica.com/doc/1719792**
۱۴. گودرزی، مسعود، حسینی، مجید، و پاره‌کار، منصور (۱۳۹۵). کاربرد روش ریز مقیاس گردانی آماری در براورد تغییر اقلیم حوزه کرخه تا محل سد. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۰(۳۵): ۵۱–۶۴. **http://jwmsei.ir/article-1-657-fa.html**
۱۵. مظفری، الهام، مرادی، نوازاله، و بذرافشان، ام‌البنین (۱۳۹۹). تغییرات زمانی و مکانی خصوصیات خشکسالی هواشناسی در ایران تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم. *مدیریت بیابان*، ۸(۱۶)، ۱۵۳–۱۶۸. **https://www.sid.ir/paper/409134/fa**
۱۶. معماریان، هادی، آقاخانی‌افشار، امیرحسین، عباس‌نیا، محسن، و مجیدی، میثم (۱۳۹۸). *مدلسازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب*. اصفهان: جهاد دانشگاهی اصفهان.
۱۷. مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار (۱۳۸۴). گزارش طرح مدل ریاضی منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی کاشمر، جلد اول، گزارش هواشناسی.
۱۸. نیرومندفرد، فریبا، خاشعی سیوکی، عباس، هاشمی، سید رضاهاشمی، و قربانی، خلیل (۱۴۰۱). بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم بر پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی: ایستگاه بیرجند). *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳(۹)، ۲۰۰۹–۲۰۲۶. **doi: 10.22059/ijswr.2022.343936.669284**

References

1. Abkar, A., Habibnejad, M., Soleimani, K., & Naqvi, H. (2014). Investigating the effectiveness of SDSM model in simulating temperature indices in arid and semi-arid regions. *Irrigation and Water Engineering Research Quarterly*, 4(14), 1-17. [In Persian]
2. Aghakhaniafshar, A., Hassanzadeh, Y., Basaltpour, A., & Pourreza Bilandi, M. (2017). Annual evaluation of the climatic components of the Kashf River watershed in the coming periods using the fifth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Journal of Water and Soil Conservation Research*, 23(6), 217-233. [In Persian]
3. Babaiyan, I., Najafi Nik, Z., Zabul Abbasi, F., Habibi Nokhandan, M., Adeb, H., & Malbousi, Sh. (2009). Assessing the country's climate change in the period of 2010-2039 using micro-scale data of ECHO-G atmospheric general circulation model. *Geography and Development Quarterly*, 7(16), 135-152. [In Persian]
4. Blouki, H., Fazeli, M., & Sharifzadeh, M. (2021). Predicting the possible effects of climate change on temperature and precipitation values in Hormozgan province. *The 10th International Conference on Rain Catchment Surface Systems*. [In Persian]
5. Consulting engineers for water and sustainable development (a2005). Mathematical model design report of the underground water resources of Kashmar study area, first volume, meteorological report. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

6. Dar, M. U. D., Aggarwal, R., & Kaur, S. (2019) Climate Predictions for Ludhiana District of Indian Punjab under RCP 4.5 and RCP 8.5. *British Journal of Environment & Climate Change*, 9(2), 128-141.
7. Dar, M. U. D., Aggarwal, R., & Kaur, S. (2019) Climate Predictions for Ludhiana District of Indian Punjab under RCP 4.5 and RCP 8.5. *British Journal of Environment & Climate Change*, 9(2), 128-141.
8. Dastgerdi, A., Memarian, H., Pourrezabilandi, M., Mokari, M., & Akbari, M. (2021, July). Evaluating the effects of climate change on the maximum and minimum temperature variables of Kashmar. *The 5th National Congress of Irrigation and Drainage of Iran*. Birjand. [In Persian]
9. Gudarzi, M., Hosseini, M., & Parekar, M. (2016). The use of micro-scale statistical rotation method in estimating the climate change of Karkheh basin to the dam site. *Scientific-Research Journal of Watershed Sciences and Engineering of Iran*, 10(35), 51-64. [In Persian]
10. Hosseinikhah, M., Zainiwand, H., Haqizadeh, A., & Tahmasabipour, N. (2014, July). Prediction of changes in the precipitation pattern of the Qarasu watershed in the statistical period of 2011-2030 using the statistical exponential microscale output of the ECHO-G model. *National Conference on Climate Change and Engineering Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources*. Hamedan, Iran. [In Persian]
11. IPCC. 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report. Contribution of working groups I. *II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, *151*(10.1017).
12. IPCC. 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report. Contribution of working groups I. II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 151(10.1017).
13. Khairkhah, A. & Memarian, H. (2016, February). Water crisis in Kashmar plain, factors, consequences and solutions. *The first national conference on water crisis and its management in dry areas of Iran*. Yazd University. [In Persian]
14. Memarian, H., Aghakhaniafshar, A. H., Abbasnia, M., & Majidi, M. (2019). Modeling the effects of climate change on water resources. Isfahan: Isfahan Academic Jihad. [In Persian]
15. Memarian, H., Balasundram, S. K., Abbaspour, K. C., Talib, J. B., Sung, C. T. B., & Sood, A. M. (2015). Integration of analytic hierarchy process and weighted goal programming for land use optimization at the watershed scale. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, *38*(2), 139-158.
16. Memarian, H., Balasundram, S. K., Abbaspour, K. C., Talib, J. B., Sung, C. T. B., & Sood, A. M. (2015). Integration of analytic hierarchy process and weighted goal programming for land use optimization at the watershed scale. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 38(2), 139-158.
17. Mozafari, E., Moradi, N., and Bazarafshan, U. (2021). Temporal and spatial changes of meteorological drought characteristics in Iran under the influence of climate change scenarios. *Desert Management*, 8(16), 153-168. [In Persian]
18. Niromandfard, F., Khashai Seyuki, A., Hashemi, R. H., & Ghorbani, Kh. (2022). Investigating climate change forecasting on temperature and precipitation parameters using CMIP6 models (case study: Birjand station). *Iran soil and water research*, 53(9), 2009-2026. [In Persian]
19. Office of Basic Studies of Water Resources, "Report on the Prohibition Extension of the Study Area of Kashmar Plain", Khorasan Razavi Regional Water Company, 2011. [In Persian]
20. Ordoni, M., Memarian, H., Akbari, M., & Pourreza, M. (2020). Validation of GPM-IMERG satellite rainfall data in half-hourly and daily time scales (case study: Gorganrood watershed). *Water and Soil Conservation Research*, 27(4), 149-166. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]

21. Rahimpour, M., Tajbakhsh, M., Memarian, H., & Aghakhani Afshar, A. H. (2017, July). Evaluation of runoff production of watersheds in semi-arid regions under climate change conditions (case study: Zoshk-Abardeh basin). *The second national hydrology conference of Iran*. Shahre Kord. [In Persian]
22. Rahimpour, M., Tajbakhsh, M., Memarian, H., & Aghakhani Afshar, A. (2020) Impact assessment of climate change on hydro-climatic conditions of arid and semi-arid watersheds (case study: Zoshk-Abardeh watershed, Iran). *Journal of Water and Climate Change*.
23. Rahimpour, M., Tajbakhsh, M., Memarian, H., & Aghakhani Afshar, A. (2020) Impact assessment of climate change on hydro-climatic conditions of arid and semi-arid watersheds (case study: Zoshk-Abardeh watershed, Iran). *Journal of Water and Climate Change*.
24. Soltani Mohammadi, A., Amirian Far, M., & Sharif Hosseini, M. (2019, July). Investigating the climate change of Kashan-Dardura city (2011-2100) under the scenarios of the fourth and fifth IPCC reports. *The second international conference on technology and innovation in science, engineering and technology*. Tehran, Iran. [In Persian]
25. Tang, K. H. D. (2019) Climate change in Malaysia: Trends, contributors, impacts, mitigation and adaptations. *Science of the Total Environment, 650*, 1858-1871.
26. Tang, K. H. D. (2019) Climate change in Malaysia: Trends, contributors, impacts, mitigation and adaptations. *Science of the Total Environment*, 650, 1858-1871.
27. Tavousi, T., Shoja, F., & Hossein Abadi, N. (2023). Analyzing the future changes of climatic aridity indicators in the watershed of central Iran under climate change scenarios. Watershed *Management Journal*, 14(27), 102-86. [In Persian]
28. Torabi Podeh, H. & Imamqolizadeh, S. (2015). Analyzing the trend of water flow changes in Karkheh river basin and the effect of autocorrelation coefficient on the trend of flow changes. *Iranian Water Research*, 9(16), 143-151. [In Persian]

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-08-01]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.6.6]