



Modeling and forecasting of climate parameters using CanESM2 model under RCP scenarios (case study: Karaj station)

Seyyed Javad Sadatinejad^{1*}, Farshad Soleimani sardoo², Mohammad Mirzavand³

1. Associate Professor, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: Jsadatinejad@ut.ac.ir

2. Assistant Professor, department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran. Email: F.soleimani@ujiroft.ac.ir

3. Assistant professor, School of Energy Engineering and Sustainable Resources, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. Email: MMirzavand@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received | July 10, 2024

Received in revised form

August 8, 2024

Accepted September 18, 2024

Available online September

22, 2024

Keywords:

climate change,
CanESM2 model,
RCP scenarios,
Karaj station.

ABSTRACT

Objective: Climate change is one of the most important challenges of this century. The consequences of these changes and how to adapt to them as well as reducing the causes of climate change are important points of this phenomenon. Currently, there is scientific and definite evidence about the warming of the earth and the unprecedented increase in temperature on the surface of the earth and the atmosphere caused by it is a human activity, it is a proof of this. The most important parameters affecting the phenomenon of climate change are precipitation and temperature.

Method: The CanESM2 model was used to predict the climatic parameters of temperature, precipitation and wind speed under the RCP to predict the climate change in Karaj station.

Results: The results showed that the average rainfall in the Karaj station was 96 mm in the historical period which is according to the scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP 8.5 will decrease in the near future (2060 - 2030) and 62 % in the near future (2060 - 2030) and 81 % in the future (2070 - 2099) than the observed period (1985 - 2017). The results of the simulation of the average temperature according to RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios showed that the average temperature in the future period is close to 0.53, 0.17 and 0.19% compared to the observation period (15.81 degrees Celsius) will decrease, while in the future period (2070-2100) under the RCP2.6 scenario, it will decrease by 1.11 percent and according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, it will increase by 0.39 and 2.13 percent. The average simulated wind speed showed that the wind speed was 27.89, 25.03 and 24.55% in the period from 2030 to 2060 and 34.16, 25.37 and 23.84% in the period from 207 to 2100 under the RCP scenarios compared to the value observed (2.41 m/s) will increase.

Conclusion: The evaluation results of CanESM2 model in this study can be considered as an acceptable statistical result to investigate the changes of climatic parameters. Observing the pattern of consumption and optimal use of water resources as well as preventing the increase of greenhouse gases can control the trend of increasing temperature and decreasing rainfall.

Cite this article: Sadatinejad, J., Soleimani sardoo, F., Mirzavand, M. (2024). Modeling and forecasting of climate parameters using CanESM2 model under RCP scenarios (case study: Karaj station). *ECOHYDROLOGY*, 11 (3), 411-426. <https://doi.org/10.22059/ije.2024.382370.1845>



© Seyyed Javad Sadatinejad, Farshad Soleimani sardoo, Mohammad Mirzavand.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ije.2024.382370.1845>

Introduction

Change in precipitation patterns will affect the amount of available water. In general, many climate models show that storms can increase the current and current flooding, while water infiltration decreases. The change in seasonal patterns affects the dispersion of groundwater and surface water. At the local scale, the growth of vegetation and the physical characteristics of impoundment areas significantly influence water conservation in the climate system, drier conditions make local water resources more vulnerable. In arid climates, even slight variations in temperature and rainfall can lead to significant changes in runoff amounts. Consequently, arid and semi-arid regions are particularly sensitive to decreases in precipitation and increases in evaporation and plant respiration. Numerous groundwater models have indicated a decrease in precipitation in the arid regions of Central Asia, the Mediterranean, North Africa, and Australia. The most crucial parameters in climate change studies are temperature and humidity. Together, temperature and precipitation play vital roles in meteorological and hydrological phenomena, such as droughts and flooding. Also, rainfall and temperature among other climatic variables have a great impact on agricultural productivity. General atmospheric circulation models as the most suitable tools for predicting changes in climatic parameters in the future have a high spatial resolution. Therefore, the application of these models on a regional and local scale Solitude is not suitable.

Method

The data used in this study include rainfall, average daily temperature and wind speed of Karaj synoptic station with longitude 35.92 degrees east and latitude 52.83 degrees north in the statistical period from 1985 to 2005, reanalyzed atmospheric data (NCEP) and the data of CanESM2 and SDSM models. The daily data are named as predicted, and the reanalyzed atmospheric data are named as observational predictors, and the general circulation model data are named as large-scale predictors. The average rainfall of Karaj station is 247.96 mm, the average temperature of this station is 15.81 degrees Celsius and the average wind speed in Karaj station is 2.98 meters per second.

In order to investigate the trend of changes in rainfall, average temperature and average wind speed in the future, the CanESM2 model data are scaled using the SDSM method. In this method, a quantitative relationship is established between large-scale variables/atmospheric general circulation model and small-scale (local/regional) observational variables. The CanESM2 model is the result of the fifth assessment report of the Inter-State Change Board, which has three scenarios: RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5. This CanESM2 model is an upgraded version of the general circulation models provided by CCCma and they are called Earth System Models (ESM). ESMs try to consider the maximum influencing components of the Earth system on the climate in their modeling structure. The CanESM2 model data in the base period from 1961 to 2005 and in the future period from 2006 to 2100 are scaled based on predictor variables by the SDSM method. This method has four main parts, which include determination of NCEP predictor variables, model recalibration, model validation, and simulation of rainfall and average temperature data under new and old release scenarios for the future period.

calibration of the model was performed using 70 % observed data in the statistical period of each station to determine the coefficients of the equation for modeling of rainfall, temperature and wind speed. then the coefficients obtained in the calibration step were used to

validate the model. ~~~ in order to evaluate the efficiency and uncertainty of the model, the NASH - Sutcliffe coefficient (NSE), normalized root mean square error (MSE), normalized ratio (PBIAS) and correlation coefficient were calculated to evaluate the downscaled parameters, mean temperature and wind speed in the statistical period of each station.

After modeling of climatic parameters in the base period of Karaj station and evaluation of model performance, comparing each parameter in the future under different scenarios (RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5). Timing of the future period is considered near future and far future. The time period between 2030 and 2060 as near future and 2070 - 2100 are far future.

Results

Rainfall parameter values, average temperature and wind speed were simulated in the near future (2030-2060) and distant (2070-2100) compared to the observational data during the period of 1985-2017. As the results show, rainfall has decreased during the future period compared to the historical period. Based on the results of rainfall simulation in Karaj station, the average rainfall in the historical period was 247.96 mm, which according to RCP2.6, RCP4.5 and RCP 8.5 scenarios will be 36.44, 8.75 and 15.62% respectively in the near future. 2030-2060) and 62.81, 14.53 and 16.47 percent will decrease in the far future (2070-2100) compared to the observation period (1985-2017). Also, in the far future period, the rainfall will decrease under the RCP scenarios, 62.81, 14.53 and 16.47 percent. The results of the simulation of the average temperature according to RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios showed that the average temperature in the future period is close to 0.53, 0.17 and 0.19% compared to the observation period (15.81 degrees Celsius). It will decrease, while in the future period (2100-2070) under the RCP2.6 scenario, it will decrease by 1.11 percent and according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios, it will increase by 0.39 and 2.13 percent. The average simulated wind speed showed that the wind speed was 27.89, 25.03 and 24.55% in the period from 2030 to 2060 and 34.16, 25.37 and 23.84% in the period from 207 to 2100 under the RCP scenarios compared to the value observed (2.41 m/s) will increase.

Conclusion

High accuracy prediction about climate change phenomenon is very important. The use of models in order to simulate and predict climatic parameters causes a correct analysis and evaluation of the occurrence of climate change and the analysis of its trend in the near and distant future. In this study, the CanESM2 model was used. According to the results of the evaluation of the CanESM2 model to produce rainfall and average temperature parameters in Karaj station, this model can be used for climate forecasting in the future. Also, the evaluation criteria of the model do not confirm the capability of the CanESM2 model for the wind speed parameter in Karaj station. The evaluation results of CanESM2 model in this study can be considered as an acceptable statistical result to investigate the changes of climatic parameters. Observing the pattern of consumption and optimal use of water resources as well as preventing the increase of greenhouse gases can control the trend of increasing temperature and decreasing rainfall.

Data Availability Statement

“Not applicable”

Ethical considerations

The authors avoided from data fabrication and falsification.

Funding

No fund.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.



مدل سازی و پیش بینی پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP (مطالعه موردی: ایستگاه کرج)

سید جواد ساداتی نژاد^۱ | فرشاد سلیمانی ساردو^۲ | محمد میرزاوند^۳

۱. دانشیار، گروه علوم و فناوری‌های محیطی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: Jsadatinejad@ut.ac.ir

۲. استادیار، گروهی مهندسی طبیعت دانشکده منابع طبیعی دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران. رایانامه: F.soleimani@ujiroft.ac.ir

۳. استادیار، گروه علوم و فناوری‌های محیطی، دانشکده مهندسی انرژی و منابع پایدار، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: MMirzavand@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	موضوع: تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهم قرن حاضر است. پیامدهای این تغییرات و چگونگی سازگاری با آن‌ها و همچنین کاهش علل ایجاد تغییرات اقلیمی از نکات مهم این پدیده است. در حال حاضر، شواهد علمی و قطعی در مورد گرم شدن زمین وجود دارد و میزان افزایش بی‌سابقه دما در سطح زمین و جو که ناشی از فعالیت‌های انسانی بوده، شاهدهی بر این موضوع است. از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر روی پدیده تغییر اقلیم، بارندگی و دما هستند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰	هدف: در این مطالعه به منظور پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در ایستگاه کرج از مدل CanESM2 برای مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی دما، بارندگی و سرعت باد تحت سناریوهای RCP استفاده شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸	روش تحقیق: در این مطالعه از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی برای پیش‌بینی پارامترهای دما، بارش و باد در ایستگاه کرج استفاده شد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۸	یافته‌ها: نتایج نشان داد براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارندگی در ایستگاه کرج، میانگین بارندگی در دوره تاریخی ۲۴۷/۹۶ میلی‌متر بوده که طبق سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 به ترتیب ۳۶/۴۴، ۸/۷۵ و ۱۵/۶۲ درصد در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و ۶۲/۸۱، ۱۴/۵۳ و ۱۶/۴۷ درصد در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۱۷) کاهش خواهد یافت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی دمای متوسط طبق سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد دمای متوسط در دوره آینده نزدیک ۰/۵۳، ۰/۱۷ و ۰/۱۹ درصد نسبت به دوره مشاهداتی (۱۵/۸۱ درجه سانتی‌گراد) کاهش خواهد یافت؛ در حالی که در آینده دوره (۲۰۷۰-۲۱۰۰) تحت سناریو RCP2.6 ۱/۱۱ درصد کاهش و براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 ۰/۳۹ و ۲/۱۳ درصد افزایش خواهد داشت. میانگین سرعت باد شبیه‌سازی شده نشان داد سرعت باد ۲۷/۸۹، ۲۵/۰۳ و ۲۴/۵۵ درصد در دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ و ۳۴/۱۶، ۲۵/۳۷ و ۲۳/۸۴ درصد در دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوهای RCP نسبت به مقدار مشاهداتی (۲/۴۱ متر بر ثانیه) افزایش خواهد یافت.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱	نتیجه‌گیری: نتایج ارزیابی مدل CanESM2 در این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک نتیجه آماری قابل قبول برای بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در نظر گرفته شود. رعایت الگوی مصرف و استفاده بهینه از منابع آبی و همچنین جلوگیری از افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند روند افزایش دما و کاهش بارندگی را کنترل کند.
کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، مدل CanESM2، سناریوهای RCP، ایستگاه کرج.	

استناد: ساداتی نژاد، سید جواد؛ سلیمانی ساردو، فرشاد؛ میرزاوند، محمد. مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل CanESM2 تحت

سناریوهای RCP (مطالعه موردی: ایستگاه کرج). *اکوهیدرولوژی*، ۱۱(۳)، ۴۱۱-۴۲۶. <https://doi.org/10.22059/ije.2024.382370.1845>



مقدمه

تغییر الگوهای بارش بر مقدار آب قابل دسترس تأثیر خواهد داشت. بسیاری از مدل‌های آب‌وهوایی نشان می‌دهند که به‌طور کلی رگبارهای بسیار شدید، سبب افزایش آب‌های جاری و جاری شدن سیل می‌شوند و این درحالی است که نفوذ آب در خاک کاهش می‌یابد. تغییر در الگوهای فصلی بر پراکندگی منطقه‌ای مقدار آب‌های زیرزمینی و سطحی تأثیر می‌گذارد. در سطح محلی، رویش گیاهان ویژگی‌های فیزیکی نواحی آبگیر تأثیر بیشتری برای حفاظت آب‌ها دارد. در سیستم آب‌وهوایی هرچه آب‌وهوا خشک‌تر باشد، ذخایر آب محلی آسیب‌پذیرتر می‌شود. در آب‌وهوای خشک، تغییرات نسبتاً جزئی در دما و مقدار بارش، سبب تغییرات زیادی در مقدار رواناب می‌شود. بنابراین مناطق خشک و نیمه‌خشک به کاهش مقدار بارش و افزایش تبخیر و تنفس گیاهان حساس‌اند. هم‌اکنون بسیاری از مدل‌های آب‌وهوایی، کاهش مقدار بارش را در مناطق خشک آسیای مرکزی، مدیترانه، آفریقای شمالی و استرالیا نشان می‌دهند. از مهم‌ترین پارامترهایی که در مطالعات تغییر اقلیم بررسی می‌شود، دما و بارندگی است. دما و بارندگی از پارامترهای اقلیمی مهم در پدیده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی همانند خشکسالی و سیل هستند. همچنین بارندگی و دما در میان دیگر متغیرهای اقلیمی تأثیر زیادی بر بهره‌وری کشاورزی می‌گذارند (کرتریاس و پررا، ۲۰۱۵؛ چن، سینک و ژینو، ۲۰۱۳؛ دیپوس، ۲۰۰۷)؛ به‌طوری‌که دما بر روی طول فصل رشد و بارندگی بر تولید اثر می‌گذارد (داس، جاهاجاها ریا و پاندی، ۲۰۱۸؛ کانتلوبی و ترس، ۲۰۰۵؛ السن و بینیدی، ۲۰۰۲). مطالعات بسیاری در رابطه با تأثیر بارندگی و دما بر روی محصولات کشاورزی صورت گرفته است (ارسکین و اشکار، ۱۹۹۳؛ لوبل و فیلد، ۲۰۰۷؛ کوپر، دایمس و راثو، ۲۰۰۸؛ موچر، سینکلیر و بنت، ۱۹۹۹). تمام این مطالعات دریافته‌اند که بارندگی و دما دو عامل مؤثر بر روی بازدهی تولیدات کشاورزی هستند. بارندگی و دما دو پارامتر اقلیمی مهم هستند که اطلاع از تغییرات آن‌ها در آینده برای برنامه‌ریزی اکوسیستم‌های طبیعی لازم و ضروری است.

پیشینه پژوهش

بررسی الگوی تغییر دما و بارندگی به دلیل پدیده تغییر اقلیم از اهمیت زیادی برخوردار است (کرلینگ و بیر، ۲۰۱۳؛ کنگ و بردی، ۲۰۱۲؛ جعفریان و شجاعیان، ۱۴۰۰). اطلاع از الگوی تغییرات زمانی دما و رابطه آن با دیگر متغیرهای اقلیمی برای برنامه‌ریزی‌های اقلیمی بسیار اهمیت دارد (بلیانی، خسروی و قدمی، ۱۳۹۶). بارش و دما تغییرات زمانی زیادی دارند (بویا، کورا و داکاگن، ۲۰۱۷؛ ستی، پاندی و پاندی، ۲۰۰۶). وابستگی بارندگی به دما باعث تغییرات بالای آن در طول زمان می‌شود. مدل‌های گردش عمومی جو به‌عنوان مناسب‌ترین ابزار پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی در آینده دارای تفکیک مکانی بالایی هستند (میائو، دووان و چن، ۲۰۱۳). بنابراین کاربرد این مدل‌ها در مقیاس منطقه‌ای و محلی به‌تنهایی مناسب نیست (جبرمسکل، دسمت و هافمن، ۲۰۰۵). دقت مکانی پایین این مدل‌ها باعث می‌شود خروجی مدل برای بررسی تأثیرات هیدرولوژیکی و زیست‌محیطی تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای قابل استفاده نباشد (های، ویلی و لیوسلی، ۲۰۰۰). مهم‌ترین و مناسب‌ترین ابزار برای ایجاد ارتباط بین مقیاس محلی/منطقه‌ای و مقیاس مدل گردش عمومی جو ریزمقیاس‌نمایی است. از بین روش‌های آماری ریزمقیاس‌نمایی، SDSM تاکنون به‌طور گسترده‌ای برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی، در سرتاسر جهان استفاده شده است (هانگ و همکاران، ۲۰۱۱). SDSM ترکیب دو روش رگرسیون خطی چندگانه و مولد آب‌وهوایی آماری است (جبرمسکل، دسمت و هافمن، ۲۰۰۵؛ ژئو، هانگ و وانگ، ۲۰۱۸؛ غنچه‌پور، سعدالدین و بهره‌مند، ۱۴۰۲). به‌کارگیری روش غربالگری کمی در مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) برای ایجاد سناریوهای تغییر اقلیم در حوضه رودخانه گرگان‌رود را بررسی کردند. نتایج نشان‌دهنده کارایی مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل CanESM2 در مقیاس حوضه رودخانه گرگان‌رود بود. بنابراین، مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای یادشده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 برای سه دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۰، ۲۰۴۱ تا ۲۰۷۰ و ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ استفاده شد. همچنین روند تغییرات یادشده در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ بررسی شد. براساس نتایج مقدار بارش در ایستگاه‌های تمر، چشمه‌خان، بهلکه‌داشلی و غفارحاجی در هر سه دوره زمانی بررسی شده و تحت هر دو سناریو افزایش یافته و در مقابل ایستگاه‌های گرگان آراز کوسه کاهش می‌یابد (قربانی، صحراپیان و سالاری، ۱۳۹۵). تأثیر تغییر اقلیم را بر روند تغییرات دبی در حوزه آبریز گالیکش براساس پارامترهای بارندگی و دما با

استفاده از داده‌های گزارش چهارم مدل HadCM3 توسط روش ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG بررسی کردند. داده‌های حاصل از مدل تغییر اقلیم به‌عنوان ورودی مدل IHACRES برای پیش‌بینی دبی رودخانه مورد استفاده قرار گرفت (خان، کولیالی و دیبیک، ۲۰۰۶). از طریق بررسی عدم قطعیت‌های مشاهده‌شده در نتایج کوچک‌مقیاس‌شده بارش روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه حاصل از سه روش کوچک‌مقیاس‌نمایی را مورد ارزیابی قرار دادند (مدل Lasr-WG، مدل SDSM و شبکه عصبی مصنوعی). آن‌ها برای ارزیابی عدم قطعیت، برای مطالعه موردی منطقه‌ای در کانادا، میانگین واریانس مقادیر کوچک‌مقیاس‌شده با داده‌های مشاهداتی را مقایسه نمودند. در این مطالعه تغییرات بارندگی، دما و سرعت باد به‌عنوان سه پارامتر اقلیمی مهم در عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی در آینده در شهرستان کرج توسط مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوهای RCP بررسی می‌شود. مدل‌های مورد استفاده شامل مدل‌های CanESM2 و SDSM است که بعد از مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره آماری پایه و ارزیابی کارایی مدل، نسبت به شبیه‌سازی هریک از پارامترها در دوره آینده تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 اقدام گردید. نتایج این مطالعه را می‌توان برای ارائه راهبرد برای کاهش خطر ناشی از پدیده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی در آینده تحت شرایط تغییر اقلیم استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل بارندگی و دمای متوسط روزانه و سرعت باد ایستگاه سینوپتیک کرج با طول جغرافیایی ۳۵/۹۲ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۲/۸۳ درجه شمالی در دوره آماری ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷، داده‌های باز تحلیل‌شده جو (NCEP) و داده‌های دو مدل CanESM2 و SDSM هستند. داده‌های روزانه تحت عنوان پیش‌بینی‌شونده، و داده‌های بازتحلیل‌شده جو تحت عنوان پیش‌بینی‌کننده مشاهداتی و داده‌های مدل گردش عمومی جو تحت عنوان پیش‌بینی‌کننده بزرگ‌مقیاس نام‌گذاری می‌شوند. متوسط بارندگی ایستگاه کرج ۲۴۷/۹۶ میلی‌متر است؛ همچنین میانگین دمای متوسط این ایستگاه ۱۵/۸۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین سرعت باد در ایستگاه کرج ۲/۹۸ نات است.

۱. ریزمقیاس‌نمایی آماری مدل‌های گردش عمومی جو توسط SDSM

برای بررسی روند تغییرات بارندگی و دمای متوسط و میانگین سرعت باد در آینده، داده‌های مدل CanESM2 با استفاده از روش SDSM ریزمقیاس‌نمایی می‌شوند. در این روش، رابطه کمی بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس / مدل گردش عمومی جو متغیرهای مشاهداتی کوچک‌مقیاس (محلی/منطقه‌ای) ایجاد می‌شود (ژئو، هوانگ و دانگ، ۲۰۱۸). این رابطه به‌صورت زیر خواهد بود (دیبیک و کولیالی، ۲۰۰۵):

$$Y = f(x) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، Y متغیر پیش‌بینی‌کننده، X متغیر پیش‌بینی‌شونده و f تابع انتقال بوده که به‌صورت تجربی از داده‌های مشاهداتی به دست می‌آید. مدل CanESM2 حاصل از گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر بوده که دارای سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 است. این مدل CanESM2 نسخه ارتقایافته از مدل‌های گردش عمومی است که CCCma ارائه داده و به آن‌ها مدل‌های سامانه زمین (ESM) گفته می‌شود. ESMها سعی بر لحاظ حداکثر مؤلفه‌های تأثیرگذار سامانه زمین بر اقلیم را در ساختار مدل‌سازی خود دارند. داده‌های مدل CanESM2 در دوره پایه از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ و در دوره آینده از سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ براساس متغیرهای پیش‌بینی‌کننده توسط روش SDSM ریزمقیاس می‌شوند. این روش دارای چهار بخش اصلی است که شامل تعیین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP، واسنجی مدل، صحت‌سنجی مدل و شبیه‌سازی داده‌های بارندگی و دمای متوسط تحت سناریوهای انتشار جدید و قدیم برای دوره آینده است.

۲. واسنجی مدل

واسنجی مدل با استفاده از ۷۰ درصد داده‌های مشاهداتی در دوره آماری مربوط به ایستگاه به‌منظور تعیین ضرایب معادله برای مدل‌سازی داده‌های بارندگی، دما و سرعت باد صورت گرفت. سپس ضرایب به‌دست‌آمده در مرحله واسنجی برای ۳۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها برای صحت‌سنجی مدل استفاده شدند. به‌منظور ارزیابی کارایی و عدم قطعیت مدل معیارهای آماری ضریب ناش-

ساتکلیف (NSE)، مجذور مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، درصد اریبی (PBIAS)، جذر نسبت استاندارد (RSR) و ضریب همبستگی برای ارزیابی مقادیر ریزمقیاس پارامترهای بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد محاسبه شدند. مقادیر قابل قبول معیارهای ارزیابی کارایی مدل در جدول ۱ ارائه شده است. در ادامه، نتایج مربوط به مرحله صحت‌سنجی و ارزیابی کارایی مدل بررسی می‌شود.

جدول ۱. معیارهای ارزیابی مدل و حدود تعیین کارایی مدل

معیارهای ارزیابی	RSR	PBIAS	NSE	ارزیابی
ضریب همبستگی				
$0.86 \leq \rho < 1$	$0 \leq RSR \leq 0.5$	$PBIAS \leq \pm 10$	$0.75 < NSE \leq 1$	خیلی خوب
$0.73 \leq \rho < 0.86$	$0.5 < RSR \leq 0.6$	$\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 15$	$0.65 < NSE \leq 0.75$	خوب
$0.6 \leq \rho < 0.73$	$0.6 < RSR \leq 0.7$	$\pm 15 \leq PBIAS \leq \pm 25$	$0.5 < NSE \leq 0.65$	قابل قبول
$\rho < 0.6$	$RSR > 0.7$	$PBIAS > \pm 25$	$NSE < 0.5$	غیر قابل قبول

۳. تولید سناریو شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد

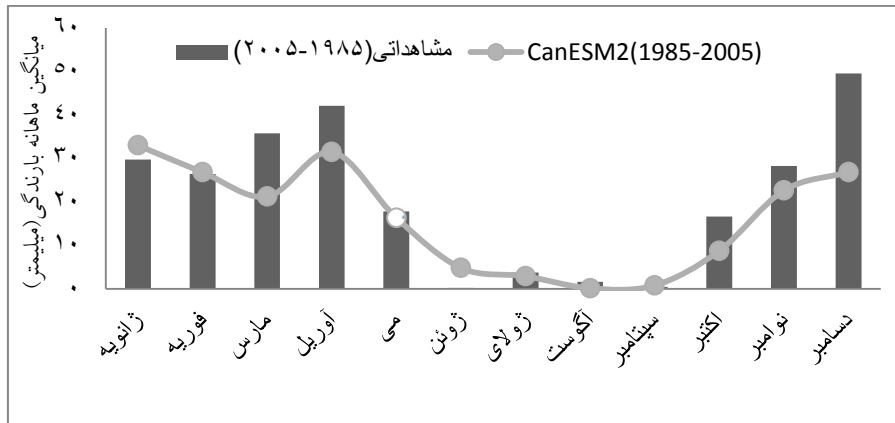
بعد از مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره آماری پایه، مربوط به ایستگاه کرج و ارزیابی کارایی مدل، نسبت به شبیه‌سازی هریک از پارامترها در دوره آینده تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 اقدام گردید. زمان بندی دوره آینده به صورت آینده نزدیک و آینده دور در نظر گرفته شد؛ که بازه زمانی ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ به عنوان آینده نزدیک و ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ تحت عنوان آینده دور هستند.

۴. مدل ARIMA

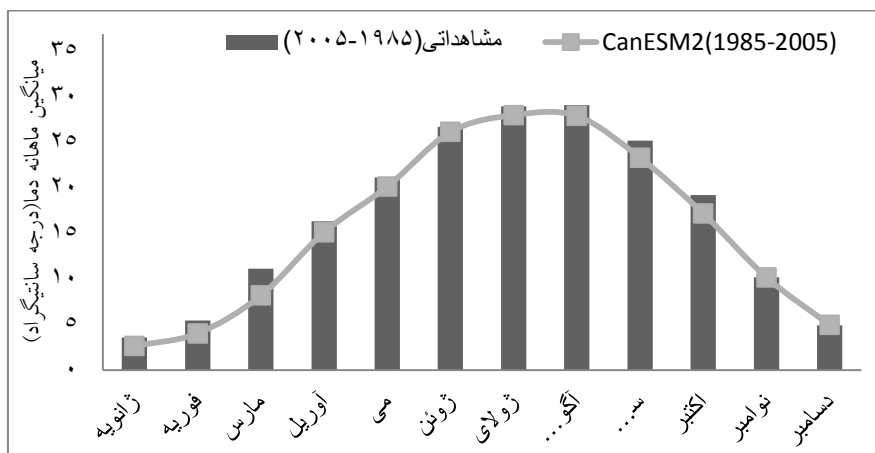
مدل میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون (ARIMA) یک رویکرد آماری پر کاربرد برای پیش‌بینی سری‌های زمانی است که اجزای خودرگرسیون (AR) و میانگین متحرک (MA) را باهم ترکیب می‌کند و برای تثبیت سری، دیفرانسیل‌گیری انجام می‌دهد (لوزنو و پنا، ۲۰۰۷). مدل‌های ARIMA به خصوص به سبب استحکام، سهولت استفاده و کاربرد وسیع در زمینه‌های مختلفی مثل اقتصاد، مهندسی و علوم محیط‌زیست مورد توجه‌اند. همچنین میانگین متحرک یکپارچه خودرگرسیون (ARIMA) یک مدل تحلیل آماری است که برای پیش‌بینی نقاط آینده در یک سری زمانی استفاده می‌شود. ARIMA یک نوع مدل است که مجموعه‌ای از ساختارهای زمانی استاندارد مختلف را در داده‌های سری زمانی ثبت می‌کند. مدل‌های ARIMA در زمینه‌های مختلف برای پیش‌بینی سری‌های زمانی، از جمله تجزیه و تحلیل تغییرات آب‌وهوا، با بررسی داده‌های گذشته برای پیش‌بینی روندهای آینده استفاده می‌شوند (اول، ۲۰۲۴؛ چن و ژو، ۲۰۱۲؛ اقبالی و نوید، ۱۳۹۵).

نتایج و بحث

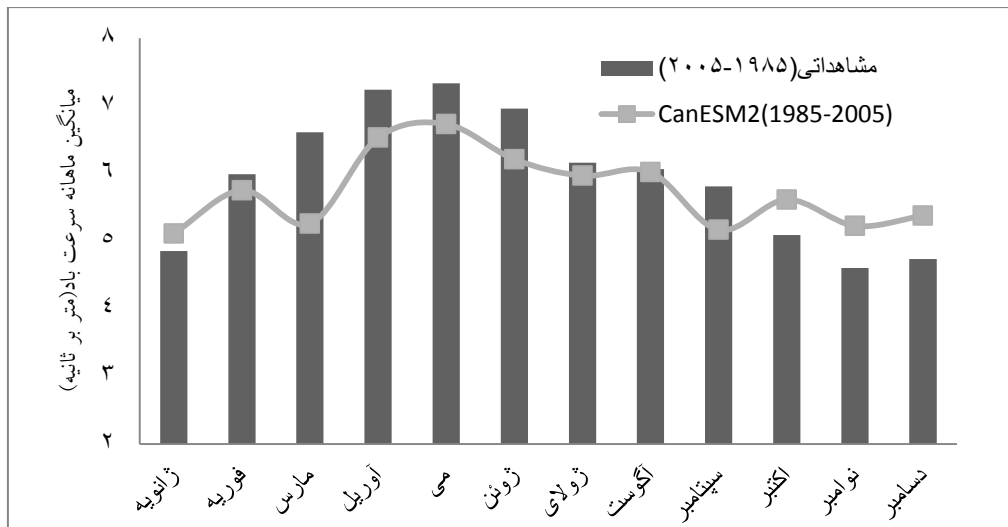
به دلیل اینکه مدل‌سازی توسط مدل گردش کلی جو نیاز به دوره آماری بلندمدت دارد، ایستگاه سینوپتیک کرج که دارای دوره آماری بلندمدت است، برای معرفی به مدل SDSM انتخاب شد. بعد از بررسی و کنترل کیفیت داده‌های مشاهداتی، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP که دارای بیشترین همبستگی با هریک از داده‌های مشاهداتی بودند، انتخاب شد. تعداد متغیرهای همبسته NCEP با داده‌های مشاهداتی بستگی به طول دوره آماری و نوع فرایند (شرطی و غیرشرطی) دارد؛ بدین صورت که هرچه طول دوره آماری بلندتر و متغیر پیوسته (فرایند غیرشرطی) باشد، تعداد متغیرهای همبسته کمتر شده و فرایند مدل‌سازی با دقت بالاتری انجام خواهد شد. شکل‌های ۱ تا ۳ مقادیر میانگین ماهانه بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد تولیدشده توسط مدل اقلیمی و داده‌های مشاهداتی حاصل از ایستگاه کرج را طی دوره آماری ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است، مدل اقلیمی در تولید داده‌های بارندگی و دمای متوسط از کارایی بسیار خوبی برخوردار است. این درحالی است که پارامتر بارندگی در ماه‌های مارس، آوریل و دسامبر کمتر از مقدار واقعی مدل‌سازی شده است (شکل ۱). این درحالی است که پارامتر سرعت توسط مدل اقلیمی در ماه‌های مارس تا ژوئن کمتر از مقدار مشاهداتی و در ماه‌های نوامبر، اکتبر و دسامبر بیشتر از مقدار مشاهداتی تولیدشده است (شکل ۳). نتایج معیارهای ارزیابی مدل در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱. مقایسه مقادیر ریزمقیاس شده توسط مدل CanESM2 و داده‌های مشاهداتی بارندگی - ایستگاه کرج



شکل ۲. مقایسه مقادیر ریزمقیاس شده توسط مدل CanESM2 و داده‌های مشاهداتی دمای متوسط - ایستگاه کرج

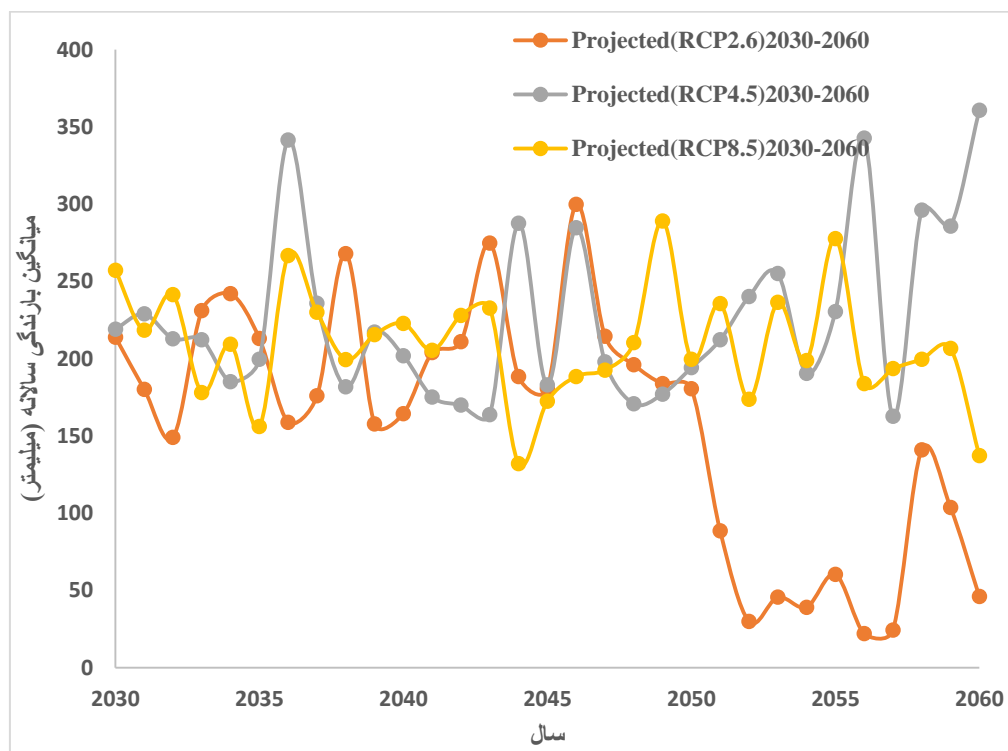


شکل ۳. مقایسه مقادیر ریزمقیاس شده توسط مدل CanESM2 و داده‌های مشاهداتی سرعت باد - ایستگاه کرج

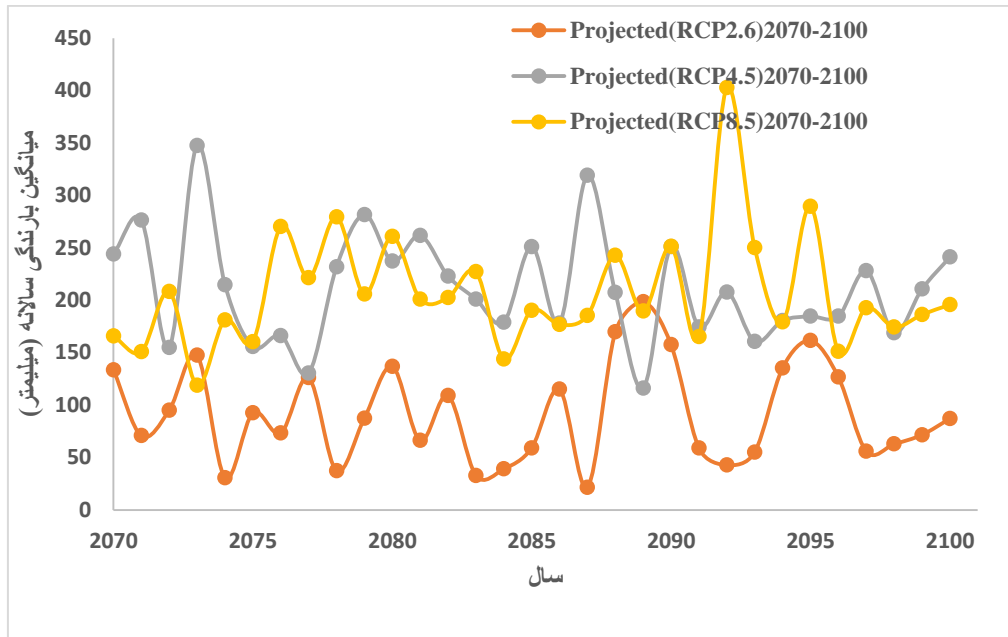
جدول ۲. معیارهای ارزیابی مدل CanESM2 برای پارامترهای بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد در ایستگاه کرج

پارامتر	NSE	RSR	PBIAS	NRMSE	ضریب همبستگی
بارندگی	0.758	0.491	18.019	0.0948	0.912
دما	0.975	0.155	6.99	0.049	0.996
سرعت باد	0.42	0.68	7.61	0.212	0.48

مقادیر پارامتر بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) در مقایسه با داده‌های مشاهداتی طی بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ در شکل‌های ۴ تا ۹ در ایستگاه کرج نشان داده شده است. همچنین در جداول ۳ تا ۵ نیز مقادیر تغییرات پارامتر اقلیمی در این ایستگاه طی دوره آینده نزدیک و دور نسبت به دوره تاریخی ارائه شده است. همان‌طور که از نمودارها و مقادیر جدول قابل تشخیص است، بارندگی طی دوره آینده نسبت به دوره تاریخی کاهش داشته است. براساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی بارندگی در ایستگاه کرج، میانگین بارندگی در دوره تاریخی ۲۴۷/۹۶ میلی‌متر بوده که طبق سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب ۳۶/۴۴، ۸/۷۵ و ۱۵/۶۲ درصد در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) و ۶۲/۸۱، ۱۴/۵۳ و ۱۶/۴۷ درصد در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۱۷) کاهش خواهد یافت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی دمای متوسط طبق سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نشان داد دمای متوسط در دوره آینده نزدیک ۰/۱۷ و ۰/۱۹ درصد نسبت به دوره مشاهداتی (۱۵/۸۱ درجه سانتی‌گراد) کاهش خواهد یافت، در حالی که در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) تحت سناریو RCP2.6 ۱/۱۱ درصد کاهش و براساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 ۰/۳۹ و ۲/۱۳ درصد افزایش خواهد داشت. میانگین سرعت باد شبیه‌سازی شده نشان داد سرعت باد ۲۷/۸۹، ۲۵/۰۳ و ۲۴/۵۵ درصد در دوره ۲۰۳۰ تا ۲۰۶۰ و ۳۴/۱۶، ۲۵/۳۷ و ۲۳/۸۴ درصد در دوره ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوهای RCP نسبت به مقدار مشاهداتی (۲/۴۱ متر بر ثانیه) افزایش خواهد یافت. همچنین نتایج مدل‌های ARIMA به وسیله کدنویسی در محیط پایتون نشان از روند افزایشی دما و کاهش بارش را برای آینده در ایستگاه کرج نشان می‌دهد (شکل ۱۰) که نتایج مدل CanEMS2 را تأیید می‌کند.



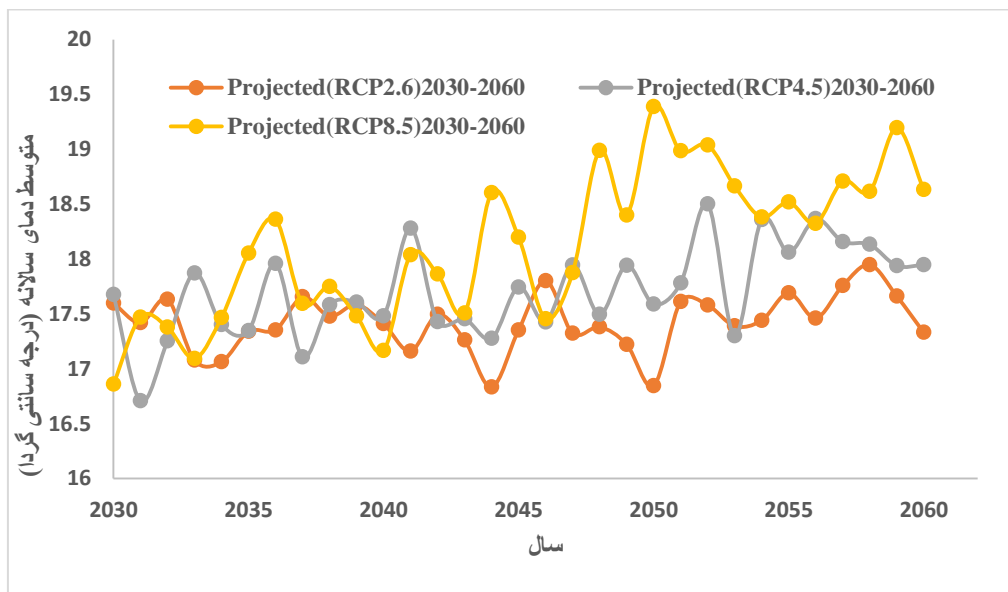
شکل ۴. مقادیر شبیه‌سازی شده بارندگی در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) برای ایستگاه کرج



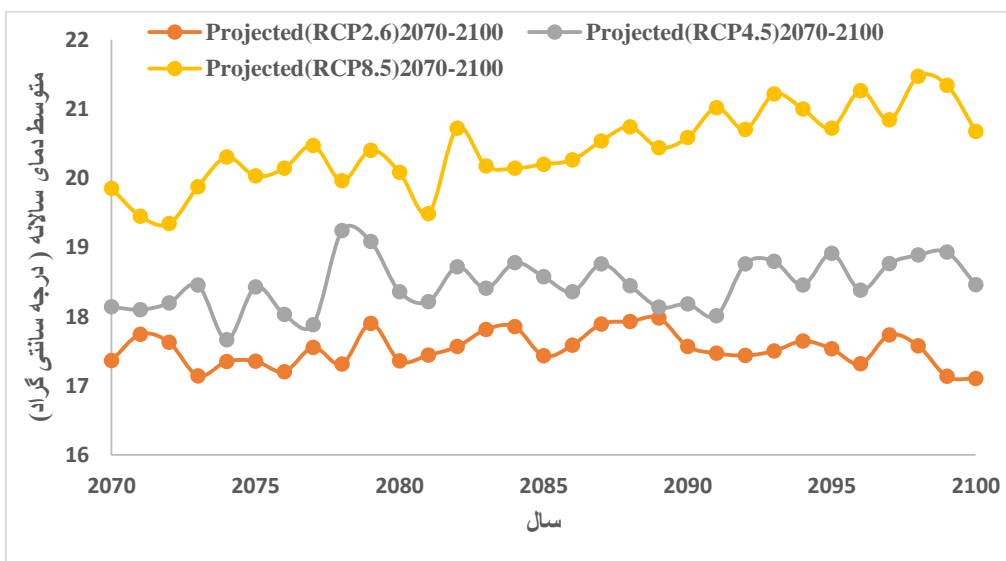
شکل ۵. مقادیر شبیه سازی شده بارندگی در دوره آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) برای ایستگاه کرج

جدول ۳. درصد تغییرات میانگین سالانه بارندگی تولیدشده تحت سناریوهای RCP نسبت به دوره مشاهداتی برای ایستگاه کرج

داده	میانگین سالانه-آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰)	درصد تغییرات در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰)	میانگین سالانه-آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰)	درصد تغییرات در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰)
مشاهداتی	247.96	-	-	-
RCP2.6	157.60	-36.44	92.22	-62.81
RCP4.5	226.26	-8.75	211.94	-14.53
RCP8.5	209.24	-15.62	207.13	-16.47



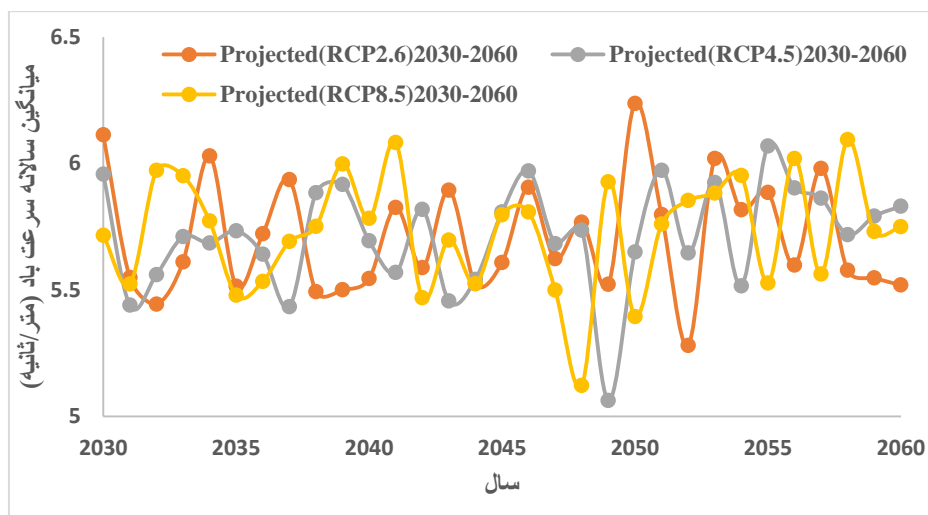
شکل ۶. مقادیر شبیه سازی شده دمای متوسط در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) برای ایستگاه کرج



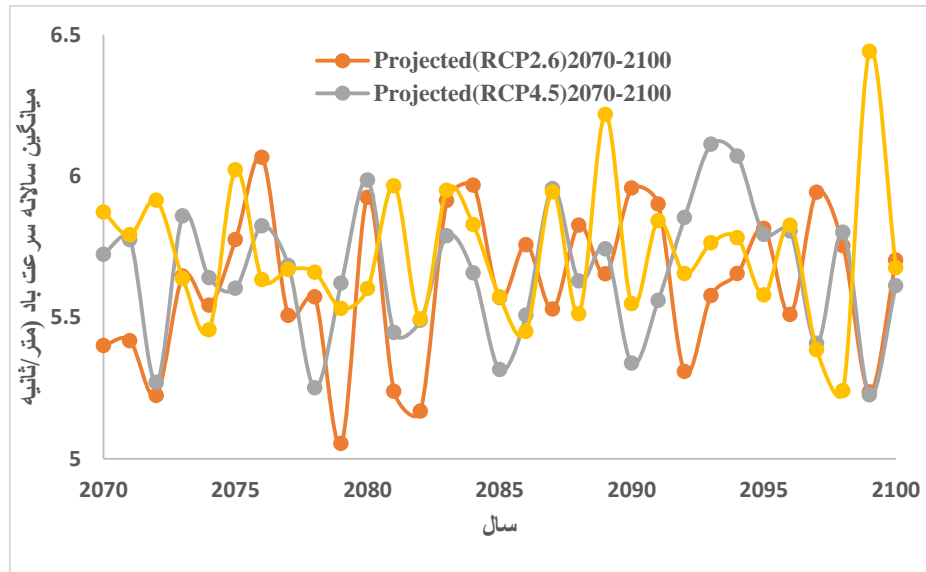
شکل ۷. مقادیر شبیه‌سازی شده دمای متوسط در دوره آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) برای ایستگاه کرج

جدول ۴. درصد تغییرات میانگین سالانه دمای متوسط تولید شده تحت سناریوهای RCP نسبت به دوره مشاهداتی برای ایستگاه کرج

داده	میانگین سالانه-آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰)	درصد تغییرات در آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰)	میانگین سالانه-آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰)	درصد تغییرات در آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰)
مشاهداتی	15.81	-	-	-
RCP2.6	15.73	-0.53	15.64	-1.11
RCP4.5	15.79	-0.17	15.88	0.39
RCP8.5	15.85	0.19	16.15	2.13



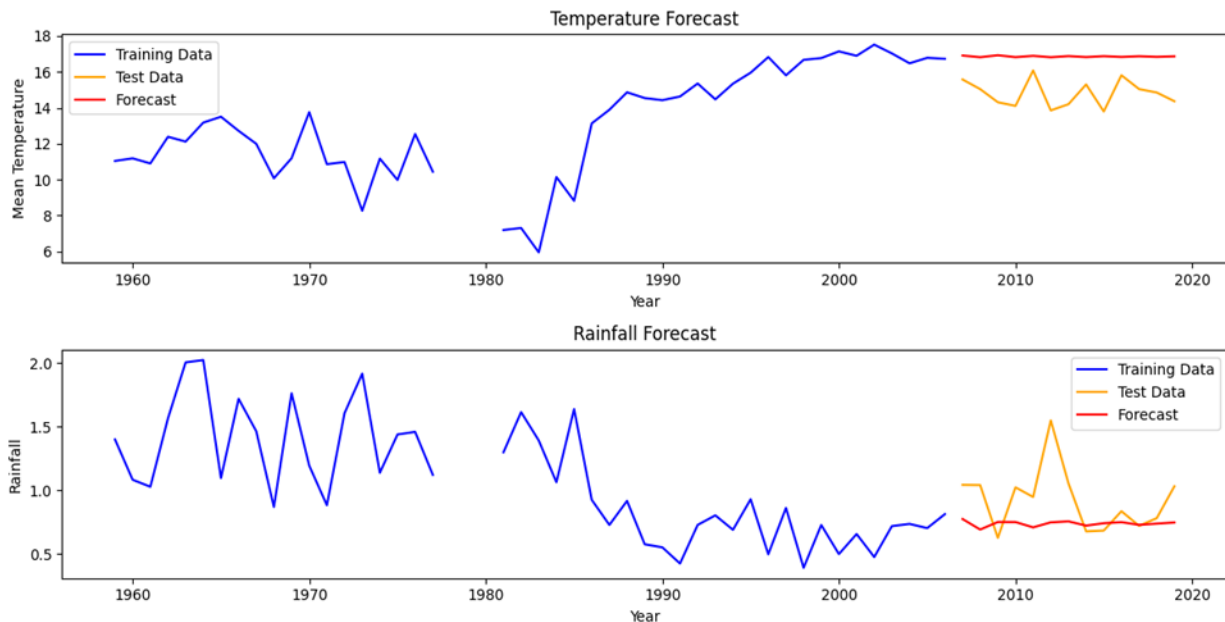
شکل ۸. مقادیر شبیه‌سازی شده سرعت باد در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۶۰) برای ایستگاه کرج



شکل ۹. مقادیر شبیه سازی شده سرعت باد در دوره آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) برای ایستگاه کرج

جدول ۵. درصد تغییرات میانگین سالانه سرعت باد تولید شده تحت سناریوهای RCP نسبت به دوره مشاهداتی برای ایستگاه کرج

داده	میانگین سالانه-آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۳۰)	درصد تغییرات در آینده نزدیک (۲۰۶۰-۲۰۳۰)	میانگین سالانه-آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰)	درصد تغییرات در آینده دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰)	مشاهداتی
RCP2.6	3.09	27.89	3.24	34.16	2.41
RCP4.5	3.02	25.03	3.03	25.37	3.09
RCP8.5	3.01	24.55	2.99	23.84	3.02



شکل ۱۰. نتایج پیش بینی پارامترهای دما و بارش مدل ARIMA در محیط پایتون

نتیجه‌گیری

پیش‌بینی با صحت بالا درباره پدیده تغییر اقلیم بسیار بااهمیت است. استفاده از مدل‌ها به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی باعث تحلیل و ارزیابی صحیحی از وقوع تغییر اقلیم و تحلیل روند آن در آینده نزدیک و آینده دور دارد. در این مطالعه از مدل CanESM2 استفاده شد. بر طبق نتایج حاصل از ارزیابی مدل CanESM2 برای تولید پارامترهای بارندگی و دمای متوسط در ایستگاه کرج، می‌توان این مدل را برای پیش‌بینی اقلیمی در دوره آینده مورد استفاده قرار داد؛ همچنان‌که معیارهای ارزیابی مدل نیز چندان قابلیت مدل CanESM2 را برای پارامتر سرعت باد در ایستگاه کرج تأیید نمی‌کنند (غنچه‌پور، سعدالدین و بهره‌مند، ۱۴۰۲). کارایی مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل CanESM2 در مقیاس حوضه رودخانه گران‌رود تأیید کردند. به‌طور کلی نتایج شبیه‌سازی مدل CanESM2 در ایستگاه کرج برای پارامترهای بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد حاکی از کاهش بارندگی، افزایش و کاهش دما و افزایش سرعت باد تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در دوره آینده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در آینده نزدیک و دور با کاهش بارندگی و افزایش دما در شهر کرج روبه‌رو هستیم که این باعث کمبود منابع آبی و همچنین افزایش گرمایش زمین خواهد شد. کمبود منابع آب در بخش‌های مختلفی اعم از کشاورزی، شرب و صنعت می‌تواند آشکار شود. یوسفی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی به بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک کرج پرداختند. نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل رگرسیون خطی چندمتغیره نشان داد توانایی این مدل در شبیه‌سازی بارندگی و دما ایستگاه کرج نسبتاً قابل قبول و با داده‌های مشاهداتی مطابقت دارد. نتایج به‌دست‌آمده در این بخش با برخی مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه مطابقت دارد (لیو، لیو و رن، ۲۰۱۱؛ حسن، شمس‌الدین و هارون، ۱۳۹۳؛ بزرگری و ملکی‌نژاد، ۱۳۹۴؛ میراکبری، مصباح‌زاده و ساروی، ۱۳۹۶). بنابراین در مقایسه با این یافته‌ها، نتایج ارزیابی مدل CanESM2 در این مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک نتیجه آماری قابل قبول برای بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در نظر گرفته شود. رعایت الگوی مصرف و استفاده بهینه از منابع آبی و همچنین جلوگیری از افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌تواند روند افزایش دما و کاهش بارندگی را کنترل کند.

References

- Awel, Y. M. (2024). Forecasting GDP growth: Application of autoregressive integrated moving average model. *Empirical Economic Review*, 1(2), 1–16. <https://ojs.umt.edu.pk/index.php/eeer/article/view/15>
- Balyani, S., Khosravi, Y., Ghadami, F., Naghavi, M., & Bayat, A. (2017). Modeling the spatial structure of annual temperature in Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(2), 581–593. (in persian).
- Barzegari, F., & Maleki-Najad, H. (2015). Investigation and comparison of climate changes in plain and mountain areas in the period from 2010 to 2030 (case study: Abkhiz area of Yazd Ardakan plain). *Physics and Earth*, 42(1), 171–182. (in persian).
- Buba, L. F., Kura, N. U., & Dakagan, J. B. (2017). Spatiotemporal trend analysis of changing rainfall characteristics in Guinea Savanna of Nigeria. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(3), 1081–1090.
- Cantelaube, P., & Terres, J. M. (2005). Seasonal weather forecasts for crop yield modeling in Europe. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 57(3), 476–487.
- Chen, L., & Xu, H. (2012). Autoregressive integrated moving average model in food poisoning prediction in Hunan Province. *PubMed*, 37(2), 142–146. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-7347.2012.02.005>
- Chen, L., Singh, V. P., Guo, S., Mishra, A. K., & Guo, J. (2013). Drought analysis using copulas. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 797–808.
- Cong, R.-G., & Brady, M. (2012). The interdependence between rainfall and temperature: Copula analyses. *Scientific World Journal*, 2012, 1–11.
- Cooper, P., Dimes, J., Rao, K., Shapiro, B., Shiferaw, B., & Twomlow, S. (2008). Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change?. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 126(1–2), 24–35.
- Das, P. K., Jhajharia, D., & Pandey, V. (2018). Modeling of interdependence between rainfall and temperature using copula. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(2), 867–879.
- Dibike, Y. B., & Coulibaly, P. (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Hydrology*, 307(1–4), 145–163.
- Dupuis, D. J. (2007). Using copulas in hydrology: Benefits, cautions, and issues. *Journal of Hydrologic Engineering*, 12(4), 381–393.
- Erskine, W., & El Ashkar, F. (1993). Rainfall and temperature effects on lentil (*Lens culinaris*) seed yield in Mediterranean environments. *Journal of Agricultural Science*, 121(3), 347–354.
- Gebremeskel, S. Y. B., de Smedt, L. F., Hoffmann, L., & Pfister, L. (2005). Analyzing the effect of climate changes on stream flow using statistically downscaled GCM scenarios. *International Journal River Basin Management*, 2(4), 271–280.
- Ghanchepour, D., Saaduddin, A., Bahramand, A. R., Jikman, A., & Mahini, A. R. (n.d.). Application of quantitative screening method in the statistical exponential microscale model (SDSM) to create climate change scenarios (case study: Gorgan Rood River Basin). *Ecohydrology*, 6(2), 379–414. (in persian)
- Ghorbani, Kh., Sohrabian, A., Salari Jezi, M., & Hosseini, M. (2016). Forecasting the effect of climate change on the monthly flow of the river using the IHACRES hydrological model (case study: Galiksh watershed). *Protection of Water and Soil Resources*, 5(4), 19–34.
- Hassan, Z., Shamsudin, S., & Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 116(1–2), 243–257.
- Hay, L. E., Wilby, R. L., & Leavesley, G. H. (2000). A comparison of delta changes and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 36(2), 387–397.

- Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, C., Wang, B., & Yao, J. (2011). Estimation of future precipitation change in the Yangtze River basin using the statistical downscaling method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 25(6), 781–792.
- Iqbal, M. A., & Naveed, M. A. (2016). Forecasting inflation: Autoregressive integrated moving average model. *European Scientific Journal*, 12(1), 83–83. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n1p83>
- Keerthirathne, D. G. T. C., & Perera, K. (2015). Joint distribution of rainfall and temperature in Anuradhapura, Sri Lanka using copulas. *Proceedings of the International Research Symposium on Engineering Advancements (RSEA)*, SAITM, Malabe, Sri Lanka.
- Khan, M. S., Coulibaly, P., & Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, 319, 357–382.
- Kreyling, J., & Beier, C. (2013). Complexity in climate change manipulation experiments. *Bioscience*, 63(9), 763–767.
- Liu, L., Liu, Z., Ren, X., Fischer, T., & Xu, Y. (2011). Hydrological impacts of climate change in the Yellow River Basin for the 21st century using hydrological model and statistical downscaling model. *Quaternary International*, 244(2), 211–220.
- Lobell, D., & Field, C. (2007). Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2(1), 014002.
- Luceño, A., & Peña, D. (2007). Autoregressive integrated moving average (ARIMA) modeling. *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*. <https://doi.org/10.1002/9780470061572.eqr276>
- Miao, C., Duan, Q., Sun, Q., & Li, J. (2013). Evaluation and application of Bayesian multi-model estimation in temperature simulations. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 37(6), 727–744.
- Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H., & Mortezaei Farizhandi, Q. (2017). Evaluation of CMIP5 model efficiency in simulating and forecasting climatic parameters of rainfall, temperature, and wind speed (case study: Yazd province). *Natural Geographic Research*, 50(3), 593–609.
- Muchow, R., Sinclair, T., & Bennett, M. (1999). Temperature and solar-radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy Journal*, 82(2), 338–343.
- Olesen, J. E., & Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use, and policy. *European Journal of Agronomy*, 16(4), 239–262.
- Samrad Jafarian Namin, M. T., Mohsen Shojaie, & Saeed Shavvalpour. (2021). Annual forecasting of inflation rate in Iran: Autoregressive integrated moving average modeling approach. *Engineering Reports*, 3(4). <https://doi.org/10.1002/eng2.12344>
- Sethi, R., Pandey, B. N., & Pandey, R. N. (2006). Climate change, water resources, and agriculture in India. *Current Science*, 91(10), 1296–1302.
- Wilby, R. L., Dawson, C. W., & Barrow, E. M. (2002). SDSM—A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Journal of Environmental Modeling and Software*. 17(2); 147–159.
- Zhao, J., Huang, L., Li, Y., Wang, H., & Zhang, H. (2018). Simulation and prediction of future climate in the Qinghai-Tibetan Plateau using statistical downscaling model and CMIP5. *International Journal of Climatology*, 38(1), 524–536.