



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources



(OPEN ACCESS)

## Investigating climate change forecasting on parameters of temperature, precipitation and sunshine hours using some CMIP6 models

Zagros Salami<sup>1</sup>, Seyed Abbas Hosseini<sup>\*2</sup>, Naser Khaleghpanah<sup>3</sup>, Ahmad Sharafati<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student, Dept. of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.  
E-mail: [zagrossalami@yahoo.com](mailto:zagrossalami@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. E-mail: [abbas\\_hoseyni@srbiau.ac.ir](mailto:abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir)
3. Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.  
E-mail: [n.khaleghpanah@uok.ac.ir](mailto:n.khaleghpanah@uok.ac.ir)
4. Associate Prof., Dept. of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.  
E-mail: [asharafati@srbiau.ac.ir](mailto:asharafati@srbiau.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 06.02.2024

Revised: 10.28.2024

Accepted: 11.04.2024

#### Keywords:

6th report,  
Atmospheric General  
circulation,  
LARS-WG,  
Microscale rotation,  
SSP scenarios

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Climate change is a global phenomenon that affects nearly all regions of the world, including Iran. Previous studies have highlighted its increasing impacts in the Karaj and Qazvin regions. Given these challenges, this study aimed to project future changes in minimum and maximum temperature, precipitation, and sunshine hours using data from the CMIP6 models, focusing on two future time horizons: the near future and the far future.

**Materials and Methods:** Daily records of minimum and maximum temperature, precipitation, and sunshine hours from synoptic stations in Karaj, Taleghan (Karaj Province), Qazvin, and Bagh Kausar (Qazvin Province) for the baseline period (1980–2015) were obtained from the National Meteorological Organization. To assess future climate projections, three high-performing CMIP6 models (HadGEM3, AccESSES1, and MRI-ESM) were selected. The LARS-WG statistical downscaling model was applied under three shared socioeconomic pathway (SSP) scenarios: SSP1-2.6 (optimistic), SSP2-4.5 (moderate), and SSP5-8.5 (pessimistic). Future projections were generated for 2030-2050 and 2050-2070 and compared with the baseline. Model performance was evaluated using NRMSE, MAE, RMSE, MSE, and R<sup>2</sup> criteria.

**Results:** Projections indicated consistent increases in both minimum and maximum temperatures across most stations and months. Minimum temperature is expected to rise by up to 2.25 °C compared with the baseline. Maximum temperature is projected to increase by 2.25-3.5 °C under SSP5-8.5 and by up to 2.3 °C under SSP2-4.5. Seasonal analysis revealed an average increase of 2.2 °C in maximum temperature during spring and autumn. Precipitation is expected to decline markedly, particularly in March-May, with an average decrease of about 66.6% compared to the baseline. Sunshine hours are projected to increase consistently across all months in both future periods.

---

**Conclusion:** Overall, the results indicate an upward trend in minimum temperature and sunshine hours across all scenarios and models, while precipitation is projected to decline in most months, with minor variability among stations. These findings highlight a warming and drying trend for the Karaj and Qazvin regions, consistent with broader climate change projections. The results underscore the need for adaptive strategies in agriculture, water management, and environmental planning to mitigate the adverse impacts of these projected changes.

---

Cite this article: Salami, Zagros, Hosseini, Seyed Abbas, Khaleghpanah, Naser, Sharafati, Ahmad. 2025. Investigating climate change forecasting on parameters of temperature, precipitation and sunshine hours using some CMIP6 models. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 15 (2), 23-50



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22485.2153

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم بر پارامترهای دما، بارش و ساعات آفتابی با استفاده از برخی مدل‌های CMIP6

زاگرس سلامی<sup>۱</sup>، سید عباس حسینی<sup>۲\*</sup>، ناصر خالقی‌پناه<sup>۳</sup>، احمد شرافتی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه مدیریت ساخت و آب، دانشکده عمران، هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [zagrossalami@yahoo.com](mailto:zagrossalami@yahoo.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت ساخت و آب، دانشکده عمران، هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [abbas\\_hoseyni@srbiau.ac.ir](mailto:abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir)
۳. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: [n.khaleghpanah@uok.ac.ir](mailto:n.khaleghpanah@uok.ac.ir)
۴. دانشیار، گروه مدیریت ساخت و آب، دانشکده عمران، هنر و معماری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. رایانامه: [asharafati@srbiau.ac.ir](mailto:asharafati@srbiau.ac.ir)

| اطلاعات مقاله                                                                                                                                                        | چکیده                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی- پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۳/۰۳/۱۳</p> <p><b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۳/۰۸/۰۷</p> <p><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۳/۰۸/۱۴</p> | <p><b>سابقه و هدف:</b> یکی از مسائل مهم که مورد توجه متخصصین رشته‌های مختلف می‌باشد، تغییر اقلیم است. نظر به این‌که مسأله تغییر اقلیم موضوعی جهانی است، کم و بیش تمام کشورهای جهان متأثر از آن بوده و کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. با توجه به چالش‌های فزاینده مرتبط با تغییرات آب و هوایی و با عنایت به این‌که در پژوهش‌های قبلی، در مناطق کرج و قزوین تغییر اقلیم گزارش شده است، هدف از انجام این پژوهش بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم و تأثیر آن بر پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی با استفاده از گزارش CMIP6 در دو دوره زمانی مختلف (آینده نزدیک و آینده دور) بود.</p>                                                                         |
| <p><b>واژه‌های کلیدی:</b> ریزمقیاس گردانی، سناریوهای SSP، گردش عمومی جو، گزارش ششم، LARS-WG</p>                                                                      | <p><b>مواد و روش‌ها:</b> در این پژوهش داده‌های دمای حداقل و حداکثر روزانه، مقادیر بارش روزانه و ساعات آفتابی روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک کرج و طالقان (استان کرج) و ایستگاه‌های سینوپتیک قزوین و باغ کوثر (استان قزوین) طی سالهای ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ میلادی به عنوان داده‌های دوره پایه از پایگاه داده سازمان هواشناسی کل کشور تهیه گردید. جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی پس از بررسی ده مدل، سه مدل برتر MRI-ESM و AccESSESM1، HadGEM3 از مجموعه مدل‌های گزارش ششم (CMIP6) استفاده شد. با استفاده از مدل‌های انتخابی، تحت سناریوهای SSP1-2.6 خوش‌بینانه و SSP2-4.5 میانه و SSP5-8.5 بدبینانه در دو دوره زمانی مختلف (۲۰۳۰-۲۰۵۰) و</p> |

(۲۰۷۰-۲۰۵۰) و مقایسه آن نسبت به دوره پایه (۱۹۸۰-۲۰۱۵) از طریق مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG در چهار ایستگاه سینوپتیک منتخب در حوضه کرج و قزوین پرداخته شد. در ارزیابی مدل LARS-WG به بررسی میزان خطای داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی با استفاده از معیارهای NRMSE, MAE, RMSE, MSE و  $R^2$  پرداخته شد.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از پارامترهای مورد بررسی نشان داد که در دوره آینده افزایش دمای کمینه و بیشینه در اکثر ماه‌ها و در ایستگاه‌های مورد مطالعه رخ خواهد داد. انتظار می‌رود در اکثر فصل‌ها تغییرات گرمایی و تغییرات حرارتی بیش‌تری رخ دهد و در اکثر فصل‌ها، گرمای بیش‌تری نسبت به دوره پایه اتفاق افتد. دمای حداقل به‌طور میانگین در طی دو دوره آینده مورد بررسی ۲/۲۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد. دمای حداکثر به‌طور میانگین در طی دو دوره آینده ۲/۲۵ تا ۳/۵ درجه سلسیوس تحت سناریوی SSP5-8.5 و هم‌چنین تحت سناریوی SSP2-4.5 تا ۲/۳ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش نشان می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده در فصل‌های بهار و پاییز به‌طور میانگین ۲/۲ درجه افزایش دمای حداکثر و در ماه‌های مارس، آوریل و می در هر ۲ دوره به‌طور میانگین کاهش ۶۶/۶۶ درصدی بارش نسبت به دوره پایه پیش‌بینی گردیده است. هم‌چنین براساس نتایج به‌دست آمده طی دو دوره آینده مورد بررسی، پارامتر ساعات آفتابی در تمامی ماه‌ها افزایش خواهد یافت.

**نتیجه‌گیری:** نتایج به‌دست آمده از پارامترهای مورد بررسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی)، نشان داد در هر سه مدل مورد بررسی تغییرات دمای حداقل (Tmin) در دوره‌های آینده نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای روند افزایشی خواهد بود. اما پارامتر بارش (Rain) در بیش‌تر ماه‌ها دارای روند کاهشی و در بعضی ایستگاه‌ها به‌صورت جزئی روند افزایشی/کاهشی داشت. به‌طورکلی می‌توان گفت میانگین مجموع بارش‌های ماهانه در دوره‌های (۲۰۳۰-۲۰۵۰) و (۲۰۵۰-۲۰۷۰) تحت هر سه سناریو دارای روند کاهشی بوده و پارامتر ساعات آفتابی (snhn) با توجه به عرض جغرافیایی و هم‌چنین ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه برای هر سه مدل و تحت سه سناریوی مورد بررسی دارای روند افزایشی بوده است. باتوجه به داده‌های به‌دست آمده از دوره پایه در ایستگاه‌های مذکور که تغییرات اقلیمی را به‌وضوح در پارامترهای دما، بارش و ساعات آفتابی نشان می‌دهد، نتایج حاصل از این پژوهش دور از انتظار نمی‌باشد.

**استناد:** سلامی، زاگرس، حسینی، سید عباس، خالق‌پناه، ناصر، شرافتی، احمد (۱۴۰۴). بررسی پیش‌نگری تغییر اقلیم بر پارامترهای دما، بارش و ساعات آفتابی با استفاده از برخی مدل‌های CMIP6. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۵ (۲)، ۵۰-۲۳.

DOI: 10.22069/ejsms.2025.22485.2153



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر مسأله تغییر اقلیم و چگونگی مواجهه با این موضوع می‌باشد. اهمیت موضوع تا حدی است که سازمان ملل جهانی را با عنوان IPCC<sup>۱</sup> تأسیس کرده تا تغییر اقلیم را در سطح جهانی مطالعه کند و تأثیر فعالیت‌های بشر در تغییر اقلیم را مورد ارزیابی قرار دهد (۱). علاوه بر آن، مطالعه تغییر اقلیم از اولویت‌های پژوهشی دانشمندان علوم مرتبط با زمین و محیط زیست در اکثر کشورها می‌باشد. یکی از مهم‌ترین علل تغییر اقلیم و گرمایش جهانی که اکثر مطالعات اقلیمی و نتایج داده‌های مشاهداتی آن را تصدیق می‌کنند، انتشار گازهای گلخانه‌ای به واسطه فعالیت‌های مختلف بشر می‌باشد. با توجه به این مسأله، دانشمندان جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی اقلیم آینده، اقدام به تولید سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای نموده‌اند تا بر اساس سناریوها، تغییر اقلیم را شبیه‌سازی نمایند. در این زمینه، IPCC به عنوان مهم‌ترین مرجع مطالعات و پیش‌بینی‌های مربوط به تغییر اقلیم، تاکنون چندین نسل از سناریوهای انتشار را ارائه داده و براساس نتایج مدل‌سازی‌های مختلف تغییر اقلیم، شش گزارش ارزیابی از تغییر اقلیم را منتشر کرده است. تازه‌ترین گزارش ارزیابی IPCC که براساس سناریوهای انتشار SSP<sup>۲</sup> (SSP1-1.9، SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP5-8.5) می‌باشد در سال ۲۰۲۲ (CMIP6) منتشر شد. گزارش پنجم براساس سناریوهای انتشار RCP<sup>۳</sup> (RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5) در سال ۲۰۱۴ منتشر شده بود (۲). تاکنون ابزارهای مؤثر بسیاری برای شبیه‌سازی‌های اقلیمی در دوره‌های گذشته و آینده توسعه یافته که به مواردی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

فاز پنجم پروژه مقایسه متقابل مدل جفت‌شده (CMIP5)<sup>۴</sup> شامل بیش از ۴۰ مدل بوده که در آن‌ها از مجموعه جدیدی از سناریوهای انتشار به نام نماینده خط سیر غلظت (RCPs)<sup>۵</sup> استفاده شده و اطلاعات اقلیمی ارزشمندی را برای سیاست‌گذاران و جامعه علمی تولید کرده است (۳). سناریوهای RCP بر اساس مقادیر واداشت تابشی (وات بر مترمربع) شامل ۴ سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای (RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5) است که برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در آینده معرفی شده‌اند و متوسط افزایش دمای جهانی را تا سال ۲۱۰۰ نسبت به ۳۰ سال گذشته به‌طور میانگین ۳ درجه سلسیوس پیش‌بینی کرده‌اند (۴).

فاز ششم پروژه مقایسه متقابل مدل جفت‌شده (CMIP6)<sup>۶</sup>، الگوی تکامل و ویژگی‌های سازگاری فازهای قبلی CMIP را ادامه داده و شامل سناریوهای جدید سازماندهی شده از مدل‌سازی اقلیمی جهانی بوده که برای شناخت مکانیسم‌های مختلف آب و هوا طراحی شده است (۵). به‌طور کلی، مدل‌های موجود در CMIP6 وضوح بیشتری همراه با بهبود فرایندهای پویا دارند و سناریوهای انتشار مشترک اجتماعی و اقتصادی (RCP/SSP) برای شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی آینده اعمال شده است (۶). خروجی مدل‌های گزارش ششم تحت سناریوهای جدید خطوط سیر بخش‌های مشترک اقتصادی-اجتماعی (SSPs)<sup>۷</sup> هستند و غلظت‌های مختلف گازهای گلخانه‌ای RCP را نیز ارائه می‌دهند. سناریوهای گزارش ششم که شامل ۵ زیرگروه اصلی هستند، به شاخص‌های کمی هم‌چون جمعیت، شهرنشینی، توسعه اقتصادی منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای و سناریوهای

4- Coupled Model Intercomparison Project-Phase 5 (CMIP5)

5- Representative Concentration Pathway (RCPs)

6- Coupled Model Intercomparison Project-Phase6

7- General Circulation Models

1- Intergovernmental Panel Climate Change

2- Shared Socioeconomic Pthways

3- Representative Concentration Pathways

تعمیم یافته (اثرات، سازگاری و کاهش آسیب پذیری)، برنامه انرژی و تغییرات کاربری اراضی تأکید دارد. از جمله این سناریوها می توان به سناریوهای SSP1-1.9، SSP1-2.6، SSP2-4.5، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 اشاره کرد.

شال و همکاران (۲۰۲۰)، به تخمین تغییرات اقلیم در آینده در مناطق سردسیری به کمک مدل لارس و سناریوهای (RCP4.5، RCP2.6، RCP8.5) گزارش CMIP5 پرداختند. آن ها با استفاده از داده های روزانه آب و هوایی ۵۰ ساله ای سه ایستگاه هواشناسی در شمال شرقی چین و به کمک مدل لارس واسنجی شده و سه سناریوی RCP، تغییرات اقلیم در بازه های زمانی (۲۰۶۰-۲۰۴۱) و (۲۰۸۰-۲۰۶۱) را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مدل، عملکرد قابل قبولی در مناطق سردسیر از خود به نمایش گذاشته و به دلیل کاهش شرایط یخبندان، گرچه بارندگی سالانه افزایش داشته، ولی بارش برف کاهش خواهد یافت (۷). هوشیار و همکاران (۲۰۱۹)، به پیش بینی تغییرات اقلیم در ایران مبتنی بر مدل های CMIP5 با استفاده از تحلیل روند ۵۰ سال گذشته (۱۹۶۶-۲۰۱۶) تغییرات دما و بارش در آب و هوای ایران و برآورد آن در پنج دهه آینده (۲۰۲۰-۲۰۷۰) برای ۲۹ ایستگاه منتخب، با استفاده از مدل HadGEM2-ES از سری مدل های CMIP5 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در منطقه مورد مطالعه پرداختند. نتایج نشان داد در بازه زمانی (۱۹۶۶-۲۰۱۶) میانگین دما در اکثر ایستگاه ها دارای روند افزایشی و در بعضی ایستگاه ها بدون روند مشخصی بوده و در مورد بیشینه دما، تمام ایستگاه ها روند افزایشی داشتند. در پیش بینی ۵۰ سال آینده، هر دو کمینه و بیشینه دما در تمام ایستگاه ها روند افزایشی داشته و مقایسه نتایج مدل با مقادیر دوره زمانی گذشته، نشان داد که توزیع متغیرهای دما در

ایران که در اکثر نقاط کشور نرمال بوده، در حال تبدیل به وضعیت غیرنرمال می باشد (۸). سعدی و همکاران (۲۰۱۸)، تغییرات احتمالی الگوهای بارندگی در ساراواک جزیره برنئو (اندونزی) را بر اثر تغییرات آب و هوایی ارزیابی کردند. پیش بینی تغییرات آب و هوایی، با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مجموعه ۲۰ مدل CMIP5 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 انجام گرفت. نتایج نشان داد بارش سالانه پیش بینی شده تحت تأثیر فصل باران های موسمی به صورت منطقه ای افزایش یا کاهش می یابد (۹). سو و همکاران (۲۰۱۷)، از طریق ریزمقیاس نمایی خروجی مجموعه مدل های گردش عمومی سری CMIP6، تغییر اقلیم حوضه رودخانه ایندوس را بررسی کردند. نتایج پیش بینی ها نشان داد دمای متوسط سالانه در کل حوضه نسبت به دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵) با بیش ترین تغییر در بالادست حوضه، افزایش می یابد و در تمام سناریوها افزایش بارش های موسمی رخ خواهد داد و به جز برای RCP2.6، روند نزولی در بارش های بهاری و زمستانی پیش بینی شد (۱۰).

فنگ و همکاران (۲۰۱۵)، تغییرات رژیم آب و هوایی را بر اثر گرمایش جهانی با استفاده از ۲۰ مدل از مجموعه مدل های CMIP5 شبیه سازی کردند. تحت سناریوی RCP8.5، مدل ها، گرمایش جهانی (قاره ها) را بین ۳ تا ۱۰ درجه تا پایان قرن ۲۱ پیش بینی کردند. مدل های مورد استفاده در این پژوهش پیش بینی کردند که دمای سالانه منطقه زمین تا پایان قرن بیست و یکم حدود ۱۰-۳ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت و گرمایش قوی (مناطق معتدل) در عرض های بالای نیم کره شمالی و گرمایش ضعیف تر در مناطق استوایی و نیم کره جنوبی وجود داشت. به طور کلی، مدل ها در پیش بینی افزایش بارش در عرض های بالای نیم کره شمالی و کاهش

بارش در منطقه مدیترانه، جنوب غرب آمریکای شمالی، شمال و جنوب آفریقا و استرالیا نتایج مشابهی داشتند (۱۱). کامروز زمان و همکاران (۲۰۲۳) طی مطالعه‌ای به بررسی تغییرات پیش‌بینی‌شده در پارامترهای میانگین بارش سالانه، فصلی و ماهانه، حداکثر دمای هوا ( $T_{max}$ ) و حداقل دمای هوا ( $T_{min}$ ) در سرتاسر بنگلادش با استفاده از مدل‌های GCMS (۱۸ مدل) از گزارش ششم تغییر اقلیم CMIP6 و تکنیک‌های سنجش از دور پرداختند. نتایج نشان داد که در آینده دور، میانگین پیش‌بینی شده سالانه بارندگی افزایش یافته و دمای حداقل و حداکثر نیز به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. با توجه به سناریوی SSP5-8.5، افزایش قابل‌توجهی در بارندگی در زمانی پس از فصل باران‌های موسمی، پیش‌بینی‌شده و این تغییرات می‌تواند منجر به وقوع سیل‌های مکرر و شدید، رانش زمین و اثرات منفی بر سلامت انسان، کشاورزی و اکوسیستم شود (۱۲).

ساجادا و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به ارزیابی تعدادی از مدل‌های GCM (۱۳ مدل) از گزارش ششم CMIP6 برای شبیه‌سازی دما و بررسی تأثیر گرمایش آب‌های اقیانوس بر ساحل‌ها و زیستگاه‌های ساحلی در تایلند و مناطق مجاور در اوایل قرن بیست و یکم پرداختند. نتایج نشان داد که از مجموع ۱۳ مدل مورد بررسی، CESM2 و CNRM-CM6-1 عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها در شبیه‌سازی دمای تایلند، صرفاً برای مناطق خشکی یا مناطق دریایی و یا برای مناطق خشکی و دریا در مجاورت هم دارند، در حالی‌که MIROC6 بدترین عملکرد را برای منطقه مورد مطالعه داشت. از میان دو مدل، CNRM-CM6-1 بهترین عملکرد را داشته و مناسب‌ترین انتخاب برای شبیه‌سازی دما برای کل منطقه تایلند است (۱۳).

یانلین یو و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تغییرات در بارش و دمای آینده در حوضه رودخانه یانگ تسه در چین بر اساس ۲۳ مدل اقلیمی جهانی (GCMs) از پروژه CMIP6 پرداختند. نتایج نشان داد که بارش در رودخانه یانگ تسه از سال ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به‌ترتیب با نرخ ۹/۶۶، ۱۳/۴۵ و ۲۱/۰۱ میلی‌متر/دهه افزایش خواهد یافت. در بلندمدت، طبق سه سناریوی مذکور، بارش سالانه به ترتیب، به نسبت ۱۰/۴۱، ۱۰/۶۶ و ۱۵/۸۰ درصد زیاد خواهد شد، هم‌چنین در بلندمدت،  $T_{max}$  و  $T_{min}$  در رودخانه یانگ تسه افزایش خواهد یافت (۱۴).

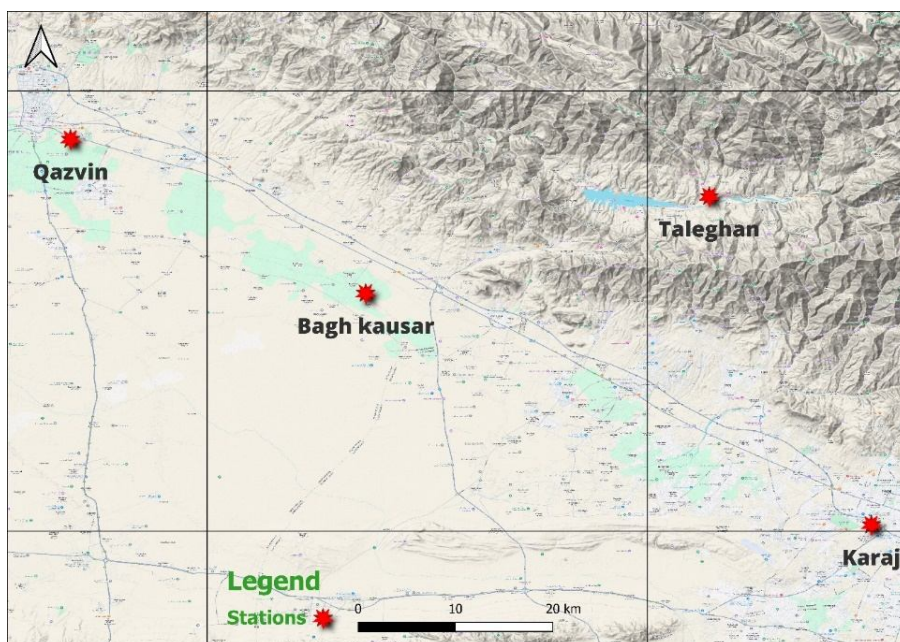
وی‌وک و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای از داده‌های بارش مشاهده‌شده به مدت ۳۰ سال (۱۹۸۵-۲۰۱۴) و سناریوهای جدید مسیرهای اجتماعی-اقتصادی (SSPs) مدل‌های CMIP6 برای ارزیابی تأثیر افزایش بارش در زمان‌های نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۹) و دور (۲۰۷۰-۲۰۹۹) در هند استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تنوع فصلی در میان همه مدل‌های CMIP6 GCMs انتخاب شده براساس سناریوهای بارش (۲۰۲۰-۲۰۹۹) در سراسر هند وجود داشت (۱۵).

با توجه به بررسی اکثر مقالات و پژوهش‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که بیش‌تر مطالعات اقلیمی به‌منظور درک بهتر تغییرات آب و هوایی منطقه انجام شده‌اند و اغلب این مطالعات با استفاده از خروجی‌های مدل‌های سری سوم CMIP3 یا CMIP5 مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. از طرفی انواع مدل‌های GCM براساس مناطق مختلف دقت و وضوح متفاوتی دارند، بنابراین برای انتخاب بهترین مدل برای منطقه مورد بررسی، لازم است تا مدل‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شوند. هم‌چنین با توجه به تأثیرات مختلف رشد سریع جمعیت و صنعت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، لازم است که به صورت

### مواد و روش‌ها

**مناطق مورد مطالعه:** مناطق مورد مطالعه در دو استان کرج و قزوین قرار دارد. در این بررسی از داده‌های مشاهداتی دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی چهار ایستگاه سینوپتیک منتخب در سطح منطقه استفاده شد که موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های مورد بررسی در شکل ۱ و همچنین مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی در جدول ۱ آورده شده است. شهرستان قزوین دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک بوده و میزان بارش سالیانه قزوین حدود ۳۱۸ میلی‌متر و دمای متوسط هوا، ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. شهرستان کرج دارای آب و هوای نیمه خشک می‌باشد و میانگین بارندگی سالیانه کرج حدود ۲۵۱ میلی‌متر و میانگین سالیانه دمای هوا ۱۴/۴ درجه سلسیوس است.

دوره‌ای سناریوهای جدید مورد بررسی قرار گرفته و با استفاده از آخرین داده‌ها، تحلیل تغییرات اقلیم انجام شود. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات اقلیم در مناطق قزوین، کرج، طالقان و باغ کوثر با استفاده از جدیدترین مدل‌های پروژه فاز ۶ مقایسه مدل جفت شده (CMIP6) بود. به‌طور خاص، این مطالعه با هدف تجزیه و تحلیل این تغییرات اقلیمی تحت سه مسیر مختلف اجتماعی-اقتصادی SSP1-2.6 (خوش‌بینانه)، SSP2-4.5 (متوسط) و SSP5-8.5 (بدبینانه) انجام پذیرفت. این پژوهش با ارزیابی دوره‌های زمانی آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۵۰-۲۰۷۰) در برابر یک خط پایه تاریخی (۱۹۸۰-۲۰۱۵)، ممکن است بتواند بینش‌های مهمی را در مورد تغییرات آب و هوایی بالقوه در این مناطق ارائه دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. The geographical location of the stations and the studied area.

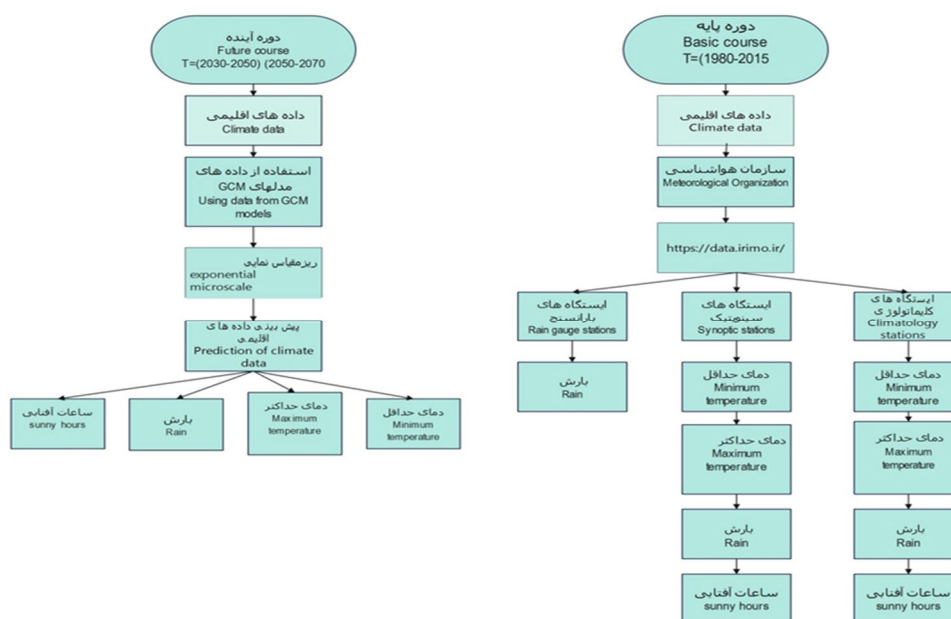
جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه.

Table 1. Characteristics of the meteorological stations under study.

| نام ایستگاه<br>Station name | موقعیت استانی<br>Provincial location | نوع ایستگاه<br>Station type | عرض جغرافیایی<br>latitude | طول جغرافیایی<br>Longitude | ارتفاع (متر)<br>Height(m) |
|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| طالقان<br>Taleghan          | استان البرز<br>Alborz province       | سینوپتیک<br>Synoptic        | 36.18                     | 50.77                      | 1857                      |
| کرج<br>Karaj                | استان البرز<br>Alborz province       |                             | 35.807                    | 50.954                     | 1292.9                    |
| قزوین<br>Qazvin             | استان قزوین<br>Qazvin province       |                             | 36.245                    | 50.045                     | 1279.1                    |
| باغ کوثر<br>Bagh Kausar     | استان قزوین<br>Qazvin province       |                             | 36.07                     | 50.38                      | 1245                      |

<https://climate4impact.eu/impactportal/data/esgfsearch.jsp#> به دست آمد. فرمت این داده‌ها به صورت NC یا NCEP (مرکز ملی پیش‌محیطی داده‌های جوی در مقیاس جهانی) بوده که با انتقال داده‌ها به نرم‌افزار ArcGIS تبدیل به فایل‌های TEXT شده و سپس داده‌ها به صورت ماهانه مرتب شدند (شکل ۲).

داده‌های مورد استفاده: در این پژوهش، از داده‌های هواشناسی چهار ایستگاه سینوپتیک کرج، قزوین، طالقان و باغ کوثر برای داده‌های دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه، بارش روزانه و مقادیر ساعات آفتابی روزانه در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ میلادی به عنوان داده‌های دوره پایه استفاده شد. در این بخش داده‌های اقلیمی مورد نیاز مدل‌های گزارش ششم از سایت



شکل ۲- داده‌های اقلیمی مورد استفاده و پیش‌بینی داده‌های اقلیمی آینده با استفاده از مدل‌های اقلیمی گزارش ششم CMIP6.

Figure 2. Climate data used and future climate data forecast using climate models of the 6th CMIP6 report.

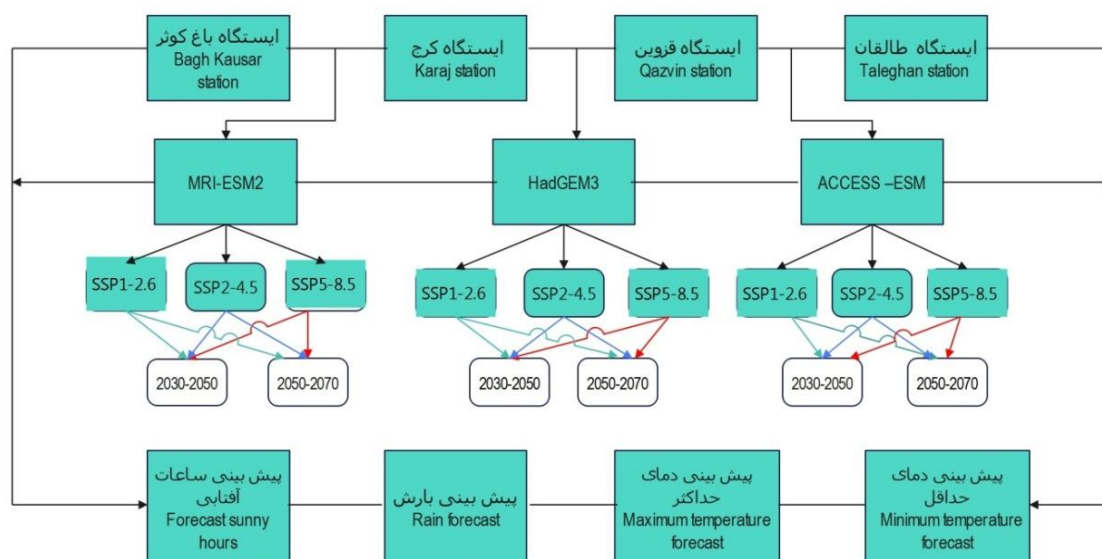
انتخاب مدل برتر: در این پژوهش ابتدا از ده مدل گزارش ششم، خروجی گرفته شده و به کمک معیارهای ارزیابی، سه مدل که دارای عملکرد مناسبتری بودند انتخاب گردید. جهت بررسی تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه، از سه مدل

انتخاب مدل برتر: در این پژوهش ابتدا از ده مدل گزارش ششم، خروجی گرفته شده و به کمک معیارهای ارزیابی، سه مدل که دارای عملکرد مناسبتری بودند انتخاب گردید. جهت بررسی تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه، از سه مدل

جدول ۲- مشخصات مدل‌های مورد بررسی گزارش ششم CMIP6.

Table 2. Specifications of the models examined in the 6th CMIP6 report.

| مدل‌های اقلیمی<br>Model | موسسه سازنده/کشور سازه<br>Institution/Country                                          | دقت مدل<br>Resolution      | سناریوهای<br>مورد شبیه‌سازی<br>Simulation scenarios |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------|
| ACCESSCM2               | Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science, Australia | $1.875 \times 1.25^\circ$  | SSP1-2.6<br>SSP2-4.5<br>SSP5-8.5                    |
| MRI-ESM2-0              | Meteorological Research Institute, Ibaraki, Japan                                      | $1.125 \times 1.125^\circ$ | SSP1-2.6<br>SSP2-4.5<br>SSP5-8.5                    |
| HadCM3                  | HadCM3 developed at the Hadley Centre in the United Kingdom                            | $2.5 \times 3.75^\circ$    | SSP1-2.6<br>SSP2-4.5<br>SSP5-8.5                    |



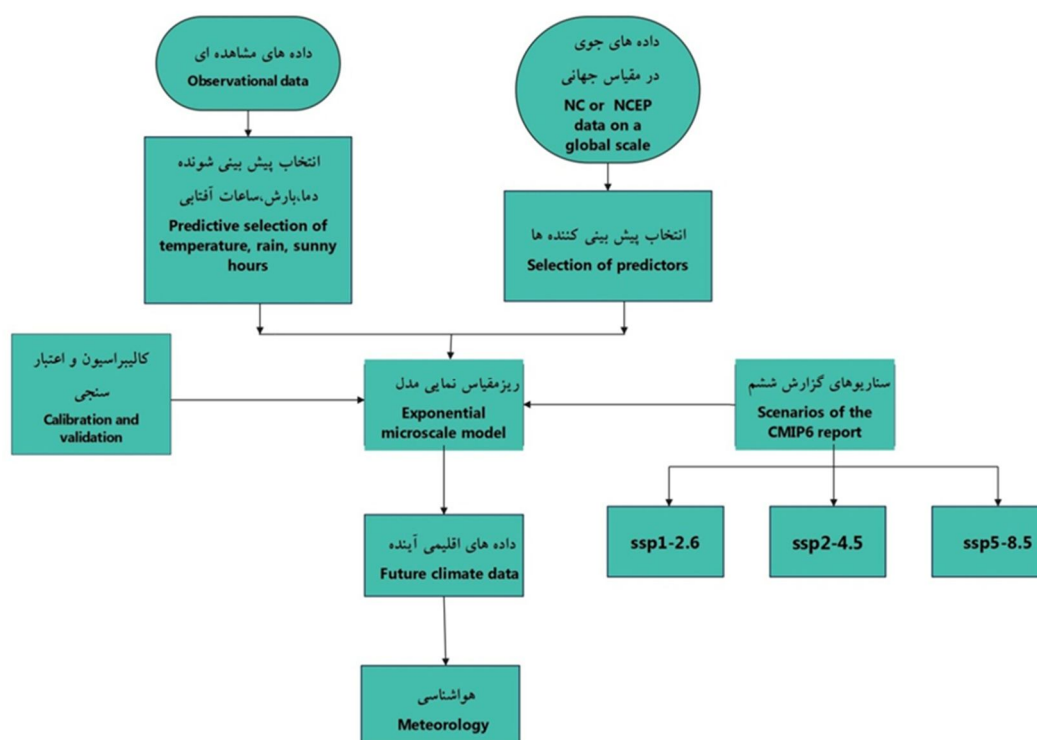
شکل ۳- مدل‌های مورد بررسی گزارش ششم CMIP6.

Figure 3. The models examined in the 6th CMIP6 report.

ریزمقیاس‌نمایی با استفاده از مدل LARS-WG: در این پژوهش از مدل LARS-WG با توجه به شکل ۴ برای اعمال ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل‌های جهانی MRI-ESM و AccESSES1، HadGEM3 استفاده شد. مدل LARS-WG یکی از معروف‌ترین مدل‌های تولید داده‌های تصادفی اقلیمی بوده و برای تولید دما، بارش و تابش به صورت روزانه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود که ابتدا توسط راسکو و همکاران ارائه شده (۱۶)، سپس توسط سمنوف و همکاران بازنگری شد (۱۷). دلیل اصلی تولید این مدل، غلبه بر نقاط ضعف زنجیره مارکوف بود. این مدل به‌عنوان یک مدل ریزمقیاس‌سازی، در عین پیچیدگی کم‌تر فرآیند شبیه‌سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد (۱۸). در اجرای مدل LARS-WG از داده‌های روزانه دما، بارش و ساعات آفتابی روزانه در دوره آماری ۳۵ ساله (۱۹۸۰-۲۰۱۵) استفاده شد که به‌عنوان مبنای تغییر اقلیم گذشته و برای شبیه‌سازی اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز این مدل به صورت روزانه از سازمان هواشناسی تهیه گردید. فرآیند پیش‌بینی داده‌ها در زمان آینده توسط این مدل طی چهار مرحله انجام می‌گیرد (۱۸):

- ۱- آنالیز داده‌های پایه: تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی به‌منظور تعیین ویژگی‌های آماری داده‌ها، ۲- تولید اولیه داده: تولید داده به‌صورت مصنوعی توسط مدل در دوره پایه و تعیین خصوصیات آماری داده‌های مصنوعی تولید شده، ۳- مقایسه آماری: تطبیق و مقایسه ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی

و داده‌های مصنوعی تولیدشده، ۴- تولید داده‌های روزانه در آینده: استفاده از ویژگی‌های آماری داده‌های پایه و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و خروجی مدل‌های گردش عمومی در تولید سری‌های زمانی روزانه منتقل شده به آینده با همان خصوصیات آماری داده‌های پایه. در واقع عملکرد مدل این گونه است که ابتدا مدل، داده‌های مشاهداتی دوره پایه را دریافت می‌کند و با بررسی آن‌ها، مشخصات آماری داده‌ها استخراج می‌شود. سپس به‌منظور اعتبارسنجی و اطمینان از قابلیت‌های مدل برای دوره آماری پایه، مدل را اجرا کرده و یک سری داده‌های مصنوعی در دوره پایه تولید می‌کند. سپس این خروجی‌ها به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل در بازسازی داده‌ها، با مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی با استفاده از آزمون‌ها و معیارهای مختلف مقایسه می‌شوند. تطابق مشخصات آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های بازتولیدی نشان می‌دهد که مدل، سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای انتخابی و خروجی مدل‌های اقلیمی GCM را به داده‌های دوره پایه اعمال کرده و تغییرات را شبیه‌سازی می‌کند (۱۹). در نرم‌افزار لارس برای خروجی مدل‌های تعیین شده تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 نیاز به تعیین مقدار CO<sub>2</sub> در طول دوره پایه بوده و برای دسترسی به میانگین CO<sub>2</sub> سالانه در سال‌های مختلف از سایت [www.CO2.earth](http://www.CO2.earth) استفاده شد. چون طول دوره پایه بین ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ بود CO<sub>2</sub> موردنیاز ۳۶۳/۸ پی‌پی‌ام در نظر گرفته شد.



شکل ۴- واسنجی و ریزمقیاس نمایی داده ها در نرم افزار LARS\_WG.

Figure 4. Calibration and microscaling of data in LARS\_WG software.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N X_0 X_S}{\sqrt{\sum_{i=1}^N X_0^2 \sum_{i=1}^N X_S^2}} \quad (1)$$

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_0 - X_S)^2}{N}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N \|X_0 - X_S\|}{N} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_S - X_0)^2}}{\sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_0 - \bar{X}_0)^2}} \quad (5)$$

در روابط فوق  $X_0$  داده های مشاهداتی،  $X_S$  داده های شبیه سازی شده،  $\bar{X}_0$  میانگین داده های مشاهداتی و  $N$  تعداد داده ها می باشد. پس از ارزیابی مدل

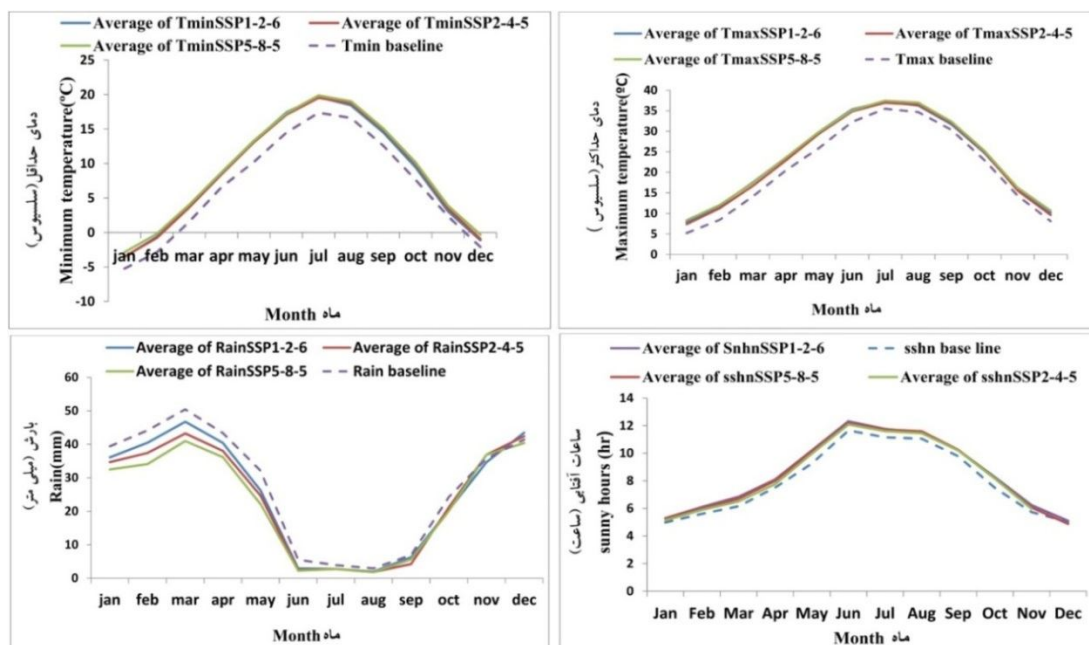
ارزیابی عملکرد مدل: برای ارزیابی و تحلیل عملکرد مدل ریزمقیاس نمایی، از معیارهای  $MAE$ ،  $MSE$ ،  $RMSE$  و  $R^2$  استفاده شده است که در جدول ۳ و شکل ۹ نمایش داده شده است. ضریب تبیین ( $R^2$ ) یک معیار بدون بعد بوده و بهترین مقدار آن برابر با یک است (۲۰) و میانگین مربعات خطا ( $MSE$ ) از صفر در عملکرد عالی تا بی نهایت تغییر می کند (۲۱). مجذور میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه سازی شده و مقادیر اندازه گیری به کار می رود و  $NRMSE$  یک شاخص نرمال شده از  $RMSE$  است و به عنوان مرسوم ترین شاخص خطا استفاده می شود (۲۲). میانگین مطلق خطا ( $MAE$ ) نیز برای مقایسه خطای نسبی مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر اندازه گیری شده استفاده می شود (۲۳).

بررسی عملکرد مدل و ورود داده‌های مشاهداتی به نرم‌افزار LARS-WG، جهت نمایش بهتر و اطمینان از صحت پیش‌بینی به مقایسه مقادیر خروجی نرم‌افزار LARS-WG برای پارامترهای مورد بررسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی) توسط مدل و مقادیر مشاهداتی آن‌ها در دوره پایه پرداخته شد. با توجه تعداد زیاد شکل‌های پارامترهای مورد بررسی، جهت نشان دادن نمودارها، ایستگاه سینوپتیک طالقان به‌عنوان نمونه آورده شده است. شاخص  $R^2$  برای پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی در تمامی ایستگاه‌ها نزدیک به یک است. شاخص MSE در تمامی ایستگاه‌ها در پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی نزدیک به صفر بوده و برای بارش در تمامی ایستگاه‌ها کمی از صفر بیش‌تر است.

LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن آن، به بررسی داده‌های تولید شده به وسیله مدل برای سه سناریوی تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های HadGEM3، MRI-ESM، AccESSESM1 پرداخته شد.

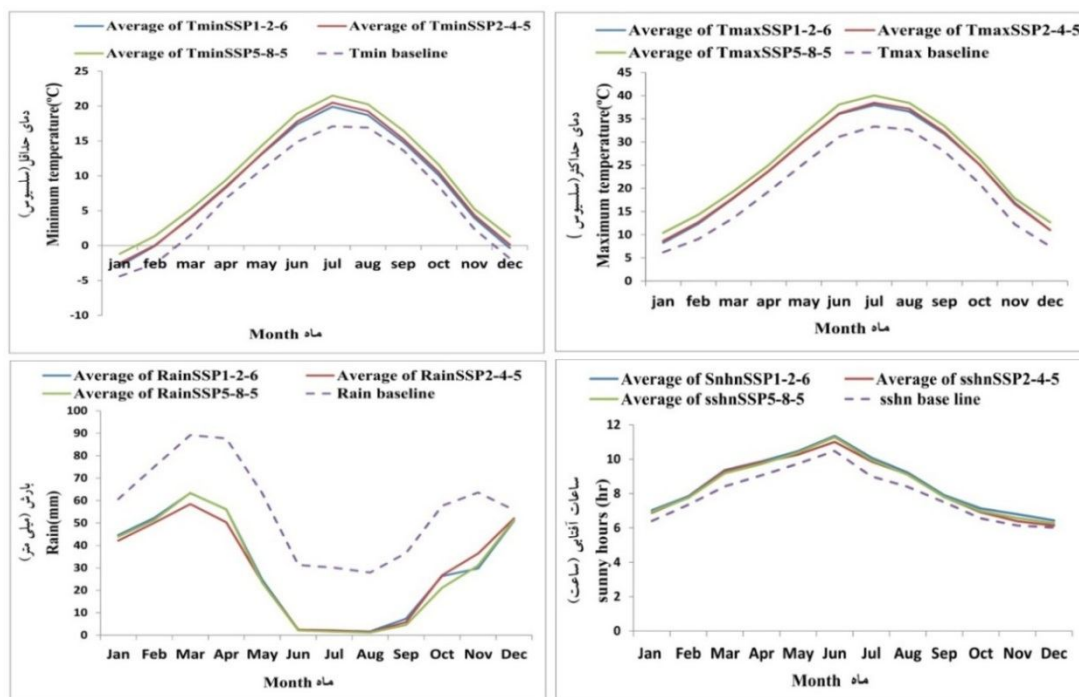
### نتایج و بحث

همانطور که در قسمت مواد و روش‌ها اشاره گردید، از ده مدل گزارش ششم، خروجی گرفته شده و به کمک معیارهای ارزیابی، سه مدل که دارای عملکرد مناسب‌تری بودند انتخاب گردید. با توجه خروجی‌های زیاد سه مدل برتر، نمونه‌ای از تغییرات مدل‌ها به‌صورت تک ایستگاه بر اساس تغییرات زمانی (۲۰۳۰-۲۰۵۰) و (۲۰۵۰-۲۰۷۰) در شکل‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است. در جدول ۳ نتایج ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG در ایستگاه‌های مورد مطالعه آورده شده است. با توجه به



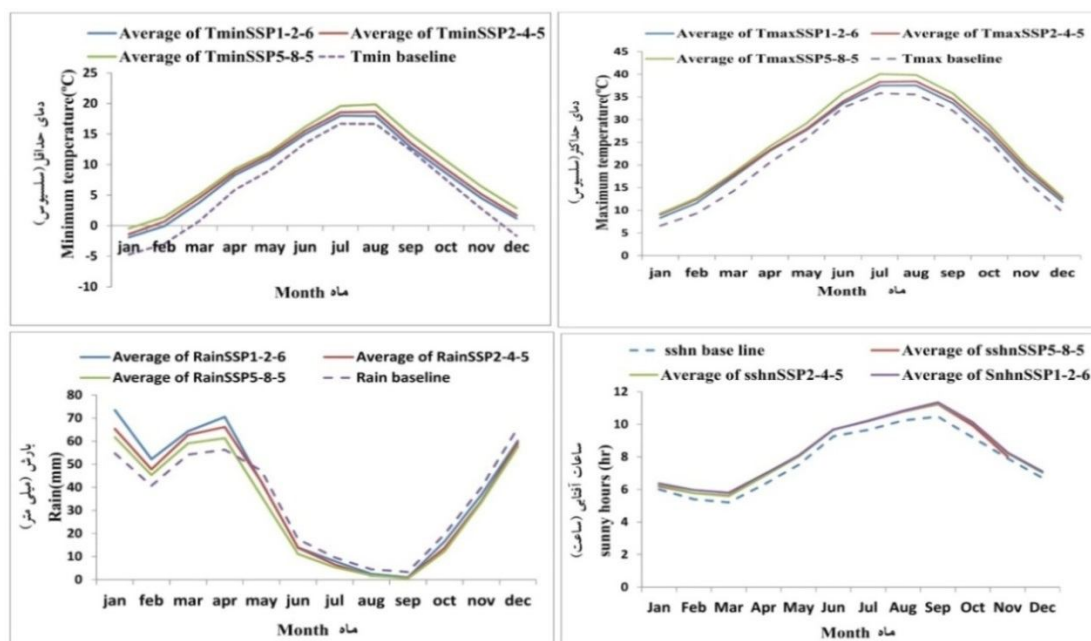
شکل ۵- ایستگاه قزوین، مدل AccESSESM1 (۲۰۳۰-۲۰۵۰).

Figure 5. Qazvin station, AccESSESM1 model (2030-2050).



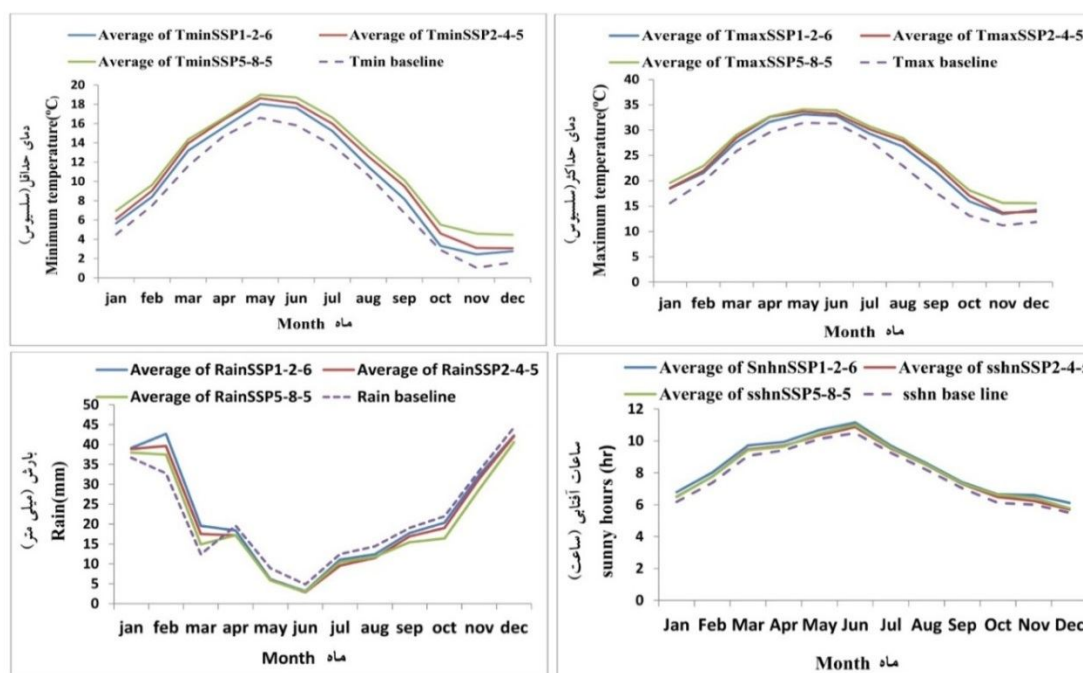
شکل ۶- ایستگاه طالقان، مدل MRI-ESM (۲۰۵۰-۲۰۷۰).

Figure 6. Taleghan station, MRI-ESM model (2050-2070).



شکل ۷- ایستگاه باغ کوثر، مدل HadEM3-LL (۲۰۵۰-۲۰۷۰).

Figure 7. Bagh Kausar station, HadEM3-LL model (2050-2070).



شکل ۸- ایستگاه کرج، مدل AccESSESM1 (۲۰۵۰-۲۰۷۰).

Figure 8. Karaj station, ACCESSESM1 model (2050-2070).

ساعات آفتابی، اختلاف چندانی با یکدیگر نداشته که بیانگر عملکرد مناسب مدل LARS-WG جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه است. پس از ارزیابی مدل LARS-WG و اطمینان از مناسب بودن آن (جدول ۳)، به بررسی داده‌های تولید شده به وسیله مدل برای سه سناریوی مورد مطالعه در این پژوهش پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی ماهانه پارامترهای مورد بررسی در ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد.

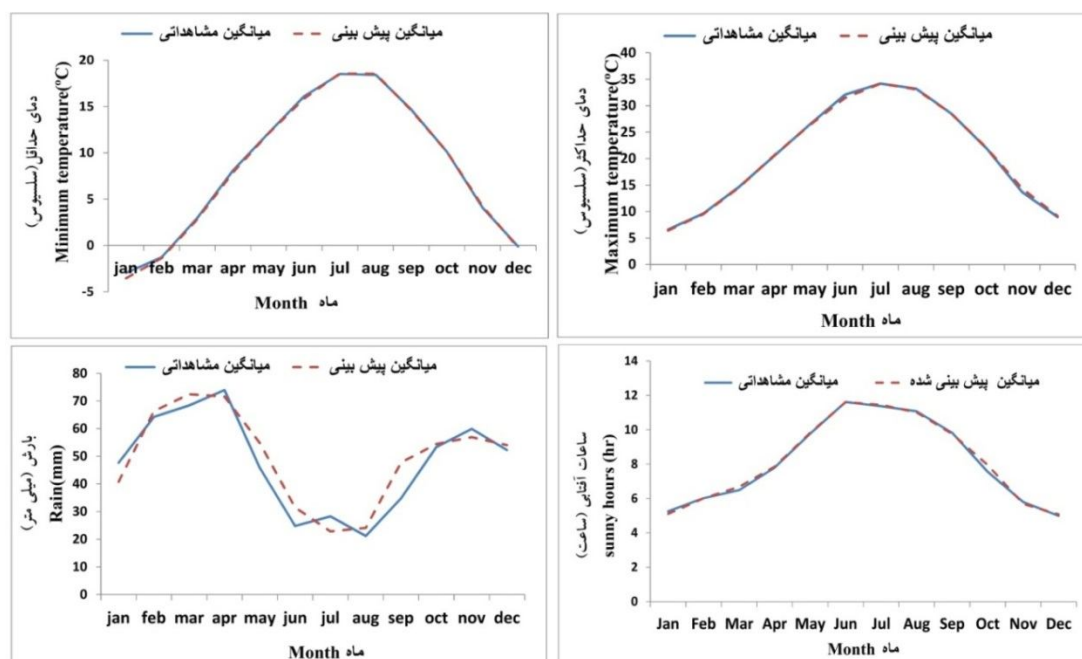
پیش‌بینی بارش در سناریوهای تغییر اقلیم: نتایج پیش‌نگری بارش در منطقه مورد مطالعه تحت سه سناریوی مورد بررسی در دو دوره آینده نزدیک و دور در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است.

مقادیر شاخص MAE در ایستگاه باغ کوثر در تمامی پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی نزدیک به صفر بوده و مدل دارای بیش‌برآوردی نبوده است، همچنین در ایستگاه‌های طالقان، کرج، قزوین، مقدار این شاخص برای پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی نزدیک به صفر، اما برای پارامتر بارش بیش‌تر از صفر بوده و مدل دارای بیش‌برآوردی بوده است. شاخص RMSE در تمامی ایستگاه‌ها برای پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر و ساعات آفتابی بین ۰/۱ تا ۰/۵ بوده و برازندگی مدل خوب ارزیابی شده است. در ارتباط با پارامتر بارش در تمامی ایستگاه‌ها مقدار RMSE بیش‌تر از ۰/۸ بوده و برازندگی مدل، متوسط ارزیابی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی پارامترهای دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و

جدول ۳- ارزیابی عملکرد مدل ریزمقیاس گردانی LARS-WG در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 3. Performance evaluation of LARS-WG microscale model in the studied stations.

| NRMSE | R <sup>2</sup> | MAE   | RMSE   | MSE    | پارامتر<br>Parameter               | ایستگاه<br>Station        |
|-------|----------------|-------|--------|--------|------------------------------------|---------------------------|
| 0.97  | 0.999          | 0.099 | 0.207  | 0.043  | دمای حداقل<br>Minimum temperature  | طالقان<br>Taleghan        |
| 1.04  | 0.999          | 0.022 | 0.286  | 0.082  | دمای حداکثر<br>Maximum temperature |                           |
| 11.20 | 0.995          | 0.823 | 0.206  | 17.95  | بارش<br>Rain                       |                           |
| 1.64  | 0.997          | 0.059 | 0.302  | 0.091  | ساعات آفتابی<br>Sunny hours        |                           |
| 0.72  | 0.999          | 0.058 | 0.154  | 0.023  | دمای حداقل<br>Minimum temperature  | کرج<br>Karaj              |
| 1.10  | 0.999          | 0.027 | 0.30   | 0.091  | دمای حداکثر<br>Maximum temperature |                           |
| 5.89  | 0.963          | 0.797 | 2.5897 | 6.706  | بارش<br>Rain                       |                           |
| 1.64  | 0.998          | 0.105 | 0.301  | 0.090  | ساعات آفتابی<br>Sunny hours        |                           |
| 0.91  | 0.999          | 0.023 | 0.203  | 0.041  | دمای حداقل<br>Minimum temperature  | قزوین<br>Qazvin           |
| 0.61  | 0.999          | 0.08  | 0.178  | 0.031  | دمای حداکثر<br>Maximum temperature |                           |
| 8.38  | 0.951          | 0.821 | 4.18   | 17.47  | بارش<br>Rain                       |                           |
| 1.61  | 0.998          | 0.038 | 0.330  | 0.109  | ساعات آفتابی<br>Sunny hours        |                           |
| 0.77  | 0.999          | 0.032 | 0.164  | 0.027  | دمای حداقل<br>Minimum temperature  | باغ کوثر<br>Kausar garden |
| 0.90  | 0.999          | 0.026 | 0.260  | 0.068  | دمای حداکثر<br>Maximum temperature |                           |
| 5.39  | 0.975          | 0.059 | 2.9289 | 8.5788 | بارش<br>Rain                       |                           |
| 1.46  | 0.998          | 0.075 | 0.231  | 0.053  | ساعات آفتابی<br>Sunny hours        |                           |

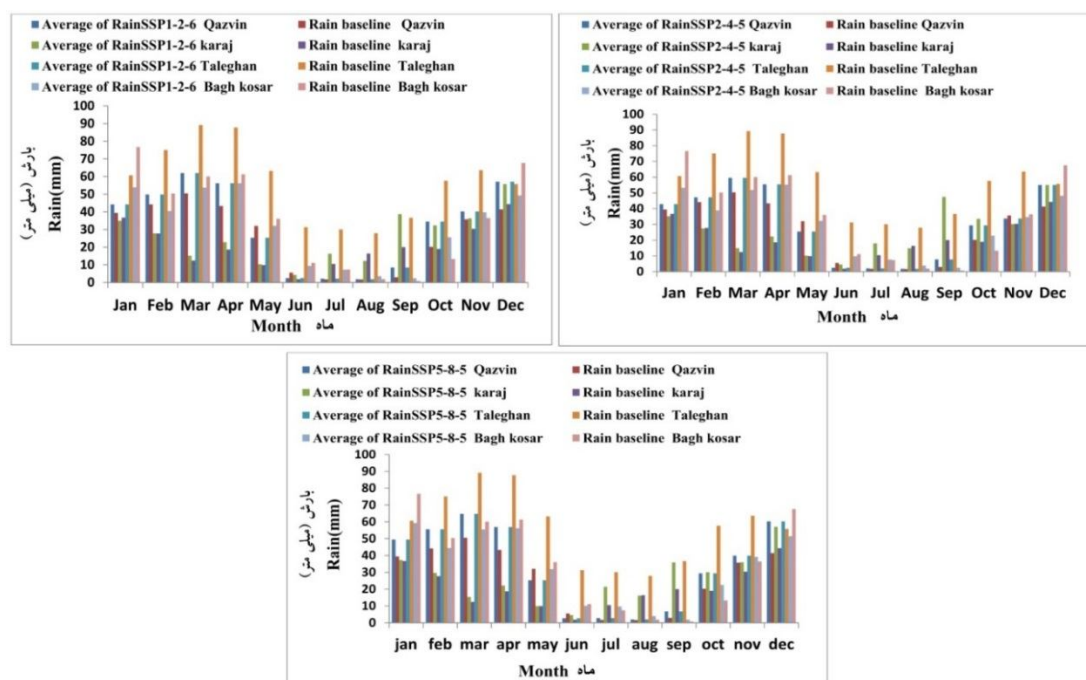


شکل ۹- مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده پارامترهای مورد بررسی ایستگاه طالقان.

Figure 9. Observed and simulated values of the investigated parameters of Talaqan station.

ایستگاه طالقان و به مقدار ۵۷/۶۷ درصد رخ خواهد داد. بررسی فصلی بارش در این دوره نشان می‌دهد که در فصل تابستان و پاییز تحت همه سناریوها در ایستگاه طالقان، تغییرات کاهشی بوده است، به‌طوری‌که در فصل تابستان و تحت سناریوی SSP5-8.5 مقدار بارش ۷۷/۷۲ درصد کاهش یافته است. فصل بهار نشان از تغییرات افزایشی بارش داشته و بیش‌ترین افزایش، تحت سناریوی SSP 2-4.5 در ایستگاه قزوین و به مقدار ۲۸/۴۷ درصد رخ خواهد داد. تغییرات در فصل زمستان تحت سناریوی SSP 1-2.6 در ایستگاه کرج ۴/۹۱، در ایستگاه باغ کوثر ۲۹/۴۱ و در ایستگاه طالقان ۲۵/۷۴ درصد کاهشی و تحت سناریوی SSP5-8.5 به‌ترتیب در ایستگاه طالقان ۱۸/۳، ایستگاه باغ کوثر ۲۱/۵۶ درصد کاهشی و تحت سناریوی SSP 2-4.5 در ایستگاه قزوین به مقدار ۱۵/۳۸ درصد افزایشی خواهد بود.

در این شکل‌ها SSP ها نمایشگر یافته‌های سناریوهای برگزیده و baseline نمایشگر داده‌های مشاهداتی دوره پایه می‌باشد. در طی دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۰) هر سه سناریو در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست در ایستگاه‌های طالقان، قزوین، کرج کاهش بارش و در ماه‌های اکتبر، مارس، آوریل، نوامبر و سپتامبر روند افزایشی را نشان دادند و در سایر ماه‌ها نتایج سناریوها یکسان نبود. تحت سناریوهای SSP 1-2.6 و SSP 2-4.5 بیش‌ترین افزایش بارش در ماه آوریل در ایستگاه قزوین و به‌ترتیب به مقدار ۱۴/۴ و ۹/۹ میلی‌متر، هم‌چنین، بیش‌ترین کاهش بارش در ایستگاه طالقان در ماه آگوست و تحت سناریوی SSP5-8.5 به مقدار ۲۶/۱ میلی‌متر پیش‌نگری شد. در این دوره بررسی میانگین بارش سالانه تحت هر سه سناریو، کاهش بارش را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. بیش‌ترین کاهش میانگین بارش سالانه تحت سناریوی SSP5-8.5 در

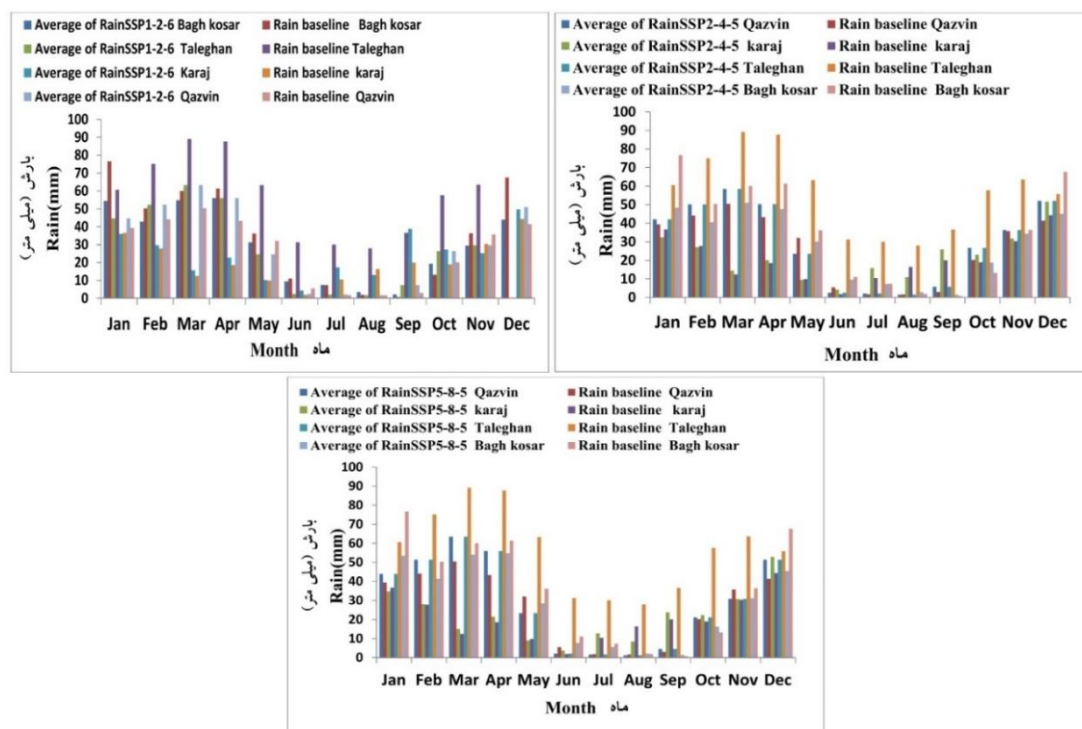


شکل ۱۰- پیش‌نگری بارش با استفاده از مجموعه مدل‌های انتخاب شده آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۰).

Figure 10. Precipitation forecast using a set of selected models for the near future (2030-2050).

مقدار ۱۲/۰۶ میلی‌متر پیش‌نگری شده است. میانگین بارش سالانه تحت هر سناریو نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد که تحت سناریوی SSP5-5.8، بیش‌ترین مقدار کاهش به اندازه ۴۸/۶۴ درصد رخ خواهد داد. همانند دوره قبل، فصل‌های تابستان و پاییز نیز با کاهش بارش روبرو خواهند شد. بیش‌ترین مقدار کاهش فصلی بارش در فصل تابستان و تحت سناریوی SSP 5-8.5 به میزان ۸۸/۳ درصد خواهد بود. هم‌چنین، فصل بهار تحت سناریوی SSP 1-2.6 افزایش ۲۵/۱ درصدی بارش را تجربه خواهد کرد.

در دوره آینده دور (۲۰۵۰-۲۰۷۰) ماه‌های می، ژوئن، آگوست، نوامبر و تحت هر سه سناریو، مناطق مورد مطالعه، کاهش بارش را تجربه خواهند کرد. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کاهش بارش در ماه‌های آگوست و نوامبر به ترتیب در ایستگاه‌های طالقان و باغ کوثر تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به میزان ۲۴/۹ و ۲/۱ میلی‌متر رخ خواهد داد. در این دوره، مقدار بارش تنها در ماه‌های آوریل و مارس تحت تمامی سناریوها (غیر از ایستگاه طالقان و باغ کوثر) افزایش یافته و بیش‌ترین مقدار این افزایش در ایستگاه قزوین تحت سناریوی SSP 1-2.6 به

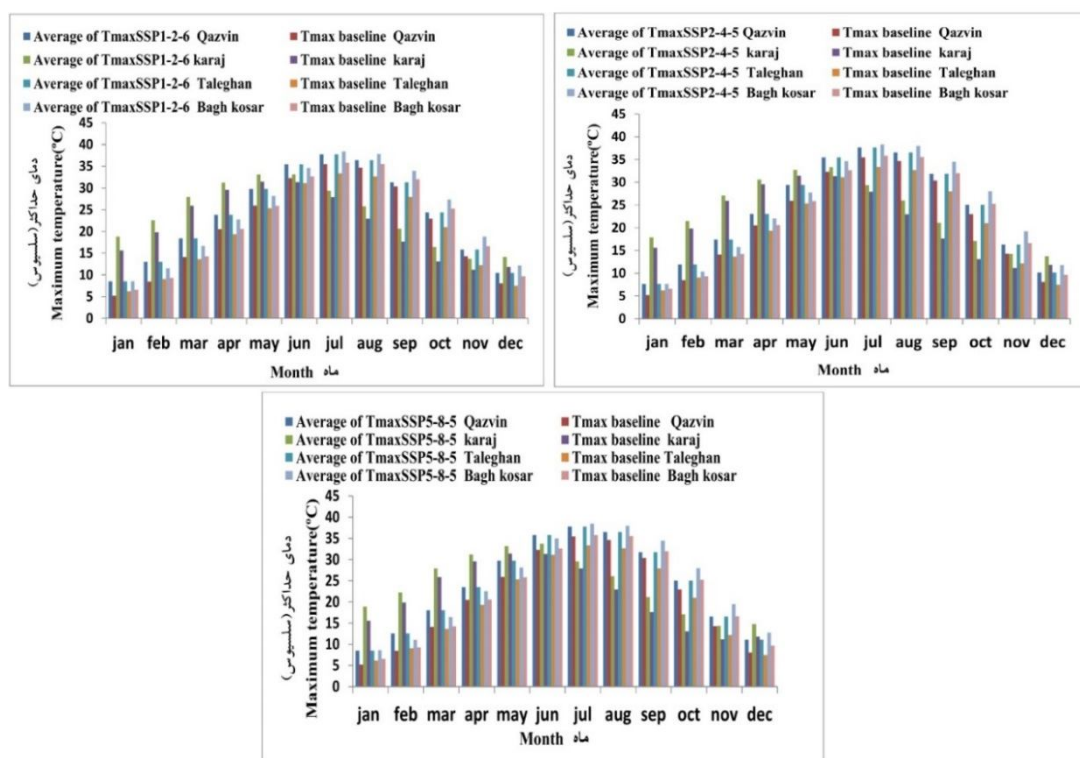


شکل ۱۱- پیش‌نگری بارش با استفاده از مجموعه مدل‌های انتخاب شده آینده دور (۲۰۵۰-۲۰۷۰).

Figure 11. Precipitation forecast using a set of selected models for the far future (2050-2070).

برای سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 می‌باشد. همچنین ماه آگوست در ایستگاه کرج کم‌ترین مقدار افزایش دما را در این دوره به خود اختصاص داده، به‌طوری‌که به‌ترتیب تحت سه سناریوی نام‌برده، افزایشی برابر با  $1/30$ ،  $1/46$  و  $1/71$  درجه سلسیوس را نشان داد. در این دوره، بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تغییر میانگین دمای سالانه (ایستگاه طالقان) مربوط به دو سناریو SSP5-8.5 و SSP1-2.6 به ترتیب به مقدار ۴ و  $3/64$  درجه سلسیوس است.

پیش‌بینی دمای حداکثر در سناریوهای تغییر اقلیم: شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نتایج پیش‌نگری دمای بیشینه را تحت سه سناریوی مختلف در دوره‌های آتی نمایش می‌دهند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۰) در همه ماه‌های سال شاهد افزایش مقدار میانگین دمای بیشینه در مقایسه با داده‌های مشاهداتی خواهیم بود. در این دوره، ماه مارس تحت هر سه سناریو در ایستگاه طالقان بیش‌ترین تغییرات دما را نشان می‌دهد. این تغییرات به ترتیب برابر با  $3/6$ ،  $3/8$  و  $4/4$  درجه سلسیوس

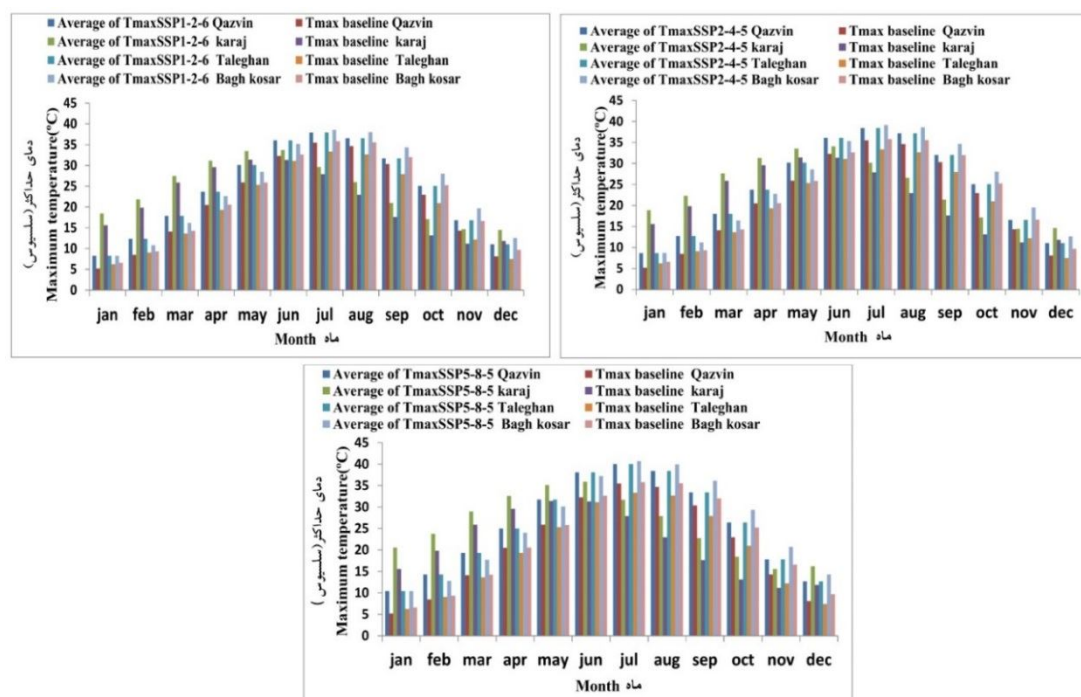


شکل ۱۲- پیش‌نگری دمای بیشینه با استفاده از مجموعه مدل‌های انتخاب شده آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۰).

Figure 12. Precipitation the maximum temperature using a set of selected models for the near future (2030-2050).

سناریوی SSP1-2.6 در ماه فوریه و به اندازه ۱/۱۵ درجه سلسیوس رخ داده در حالی که تحت سناریوهای SSP2-4.5 (ایستگاه باغ کوثر) و SSP5-8.5 (ایستگاه قزوین) کم‌ترین مقدار تغییر دمای بیشینه در ماه ژانویه و سپتامبر به ترتیب ۱/۸۳ و ۲/۹۶ درجه سلسیوس پیش‌نگری شد. مقدار تغییرات میانگین سالانه دمای بیشینه در این دوره در ایستگاه طالقان تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به ترتیب ۲۰/۳۵، ۲۵/۲۸ و ۳۱/۶ درصد افزایش داشته است.

در دوره آینده دور (۲۰۵۰-۲۰۷۰) ماه‌های مختلف سال افزایش میانگین دمای بیشینه را نسبت به دوره تاریخی نشان می‌دهند. در این دوره بیش‌ترین تغییرات میانگین دمای بیشینه ماهانه در ایستگاه قزوین مربوط به ماه ژانویه ۳/۰۷، ۳/۴۵ و ۵/۲۳ به ترتیب برای سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بود. تحت سناریوی SSP5-8.5 در ایستگاه طالقان بیش‌ترین تغییر میانگین دمای بیشینه ماهانه مربوط به ماه جولای و به اندازه ۶/۷۵ درجه سلسیوس بود. کم‌ترین تغییر میانگین دمای بیشینه ماهانه تحت

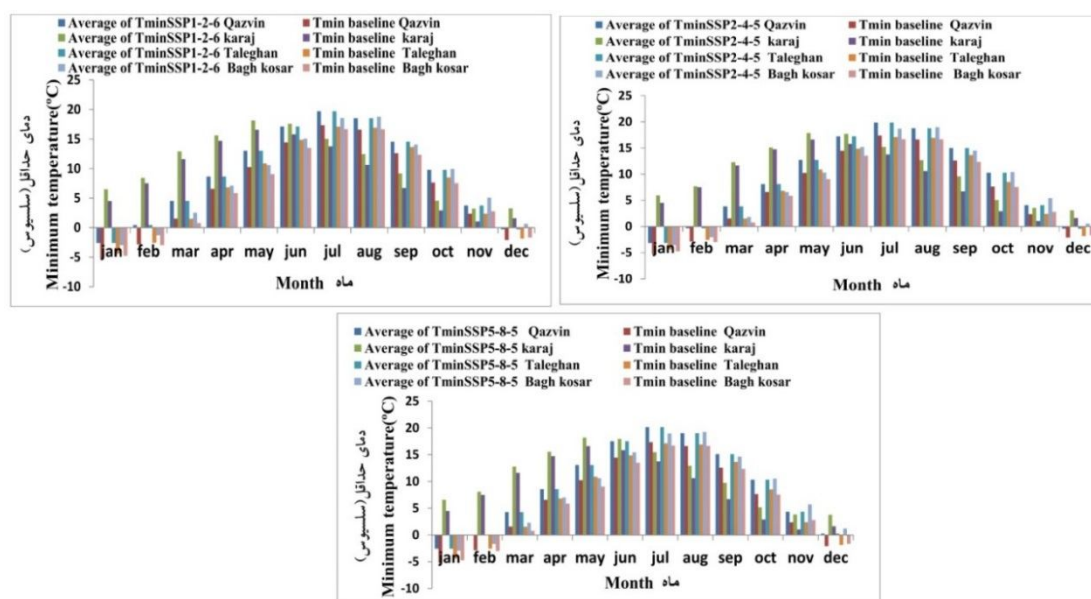


شکل ۱۳- پیش‌نگری دمای بیشینه با استفاده از مجموعه مدل‌های انتخاب شده آینده دور (۲۰۵۰-۲۰۷۰).

Figure 13. Precipitation the maximum temperature using a set of selected models for the far future (2050-2070).

دمای کمینه در ماه جولای و به ترتیب برابر با ۲/۷۴ و ۳/۰۳ درجه سلسیوس رخ داد. در ایستگاه کرج تحت سناریو SSP1-2.6 ماه فوریه کم‌ترین مقدار افزایش دما را به ترتیب به مقدار ۰/۱۶ درجه سلسیوس تجربه خواهد کرد. تحت سناریوی SSP5-8.5 کم‌ترین مقدار افزایش دما مربوط به ماه فوریه، ۰/۵۸ درجه سلسیوس خواهد بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تغییر میانگین دمای سالانه به ترتیب در ایستگاه طالقان، در این دوره نسبت به دوره پایه، مربوط به دو سناریوی SSP1-2.6 و SSP5-8.5 به ترتیب به مقدار ۳۰/۷۳ و ۲۷/۳۲ درصد است.

پیش‌بینی دمای حداقل در سناریوهای تغییر اقلیم: نتایج پیش‌نگری دمای حداقل (کمینه) تحت سه سناریوی مورد بررسی در دو دوره آینده نزدیک و دور در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۰) در همه ماه‌های سال شاهد افزایش مقدار میانگین دمای کمینه در مقایسه با داده‌های مشاهداتی هستیم، در این دوره بیش‌ترین تغییر دما در ایستگاه طالقان تحت سناریوی SSP1-2.6 در ماه جولای و به مقدار ۲/۶۳ درجه سلسیوس رخ خواهد داد. همچنین، در ایستگاه طالقان تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 بیش‌ترین افزایش میانگین



شکل ۱۴- پیش‌نگری دمای کمینه با استفاده از مجموعه مدل‌های انتخاب شده آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۰).

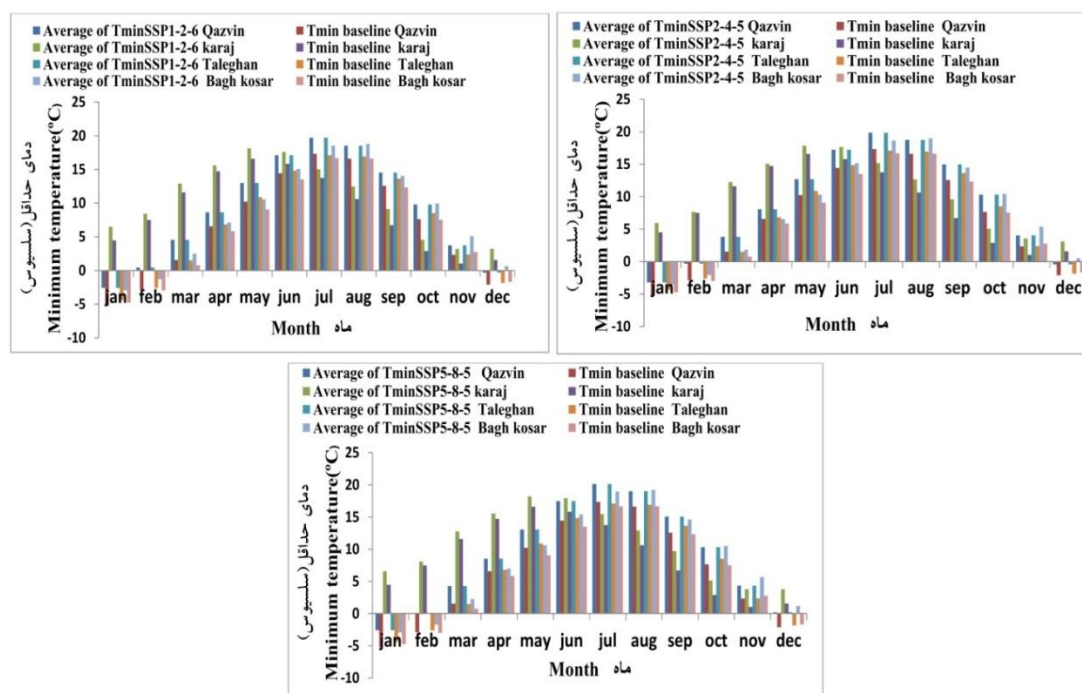
Figure 14. Precipitation the minimum temperature using a set of selected models for the near future (2030-2050).

سناریوی مختلف در دوره‌های آتی نمایش می‌دهد. نتایج پیش‌نگری در دوره آینده نزدیک (۲۰۳۰-۲۰۵۰) تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در تمامی ایستگاه‌ها در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن و جولای افزایش میانگین ساعت آفتابی را تجربه کردند که کمترین تغییرات در ماه ژانویه در ایستگاه باغ کوثر تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به میزان ۰/۰۵۳ ساعت نسبت به دوره پایه و بیش‌ترین تغییرات در ایستگاه کرج در ماه فوریه به میزان ۱/۰۷ ساعت خواهد بود.

بر طبق نتایج حاصل، در دوره آینده دور (۲۰۵۰-۲۰۷۰) تحت هر سه سناریو میزان ساعت آفتابی در سطح منطقه نیز روند افزایشی داشته و همانند دما در هر دهه نسبت به دهه قبل بالاتر رفته است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان افزایش ساعت آفتابی نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه طالقان به میزان ۱/۳۵ ساعت و ایستگاه باغ کوثر به میزان ۰/۰۷۳ ساعت نسبت به دوره پایه خواهد بود.

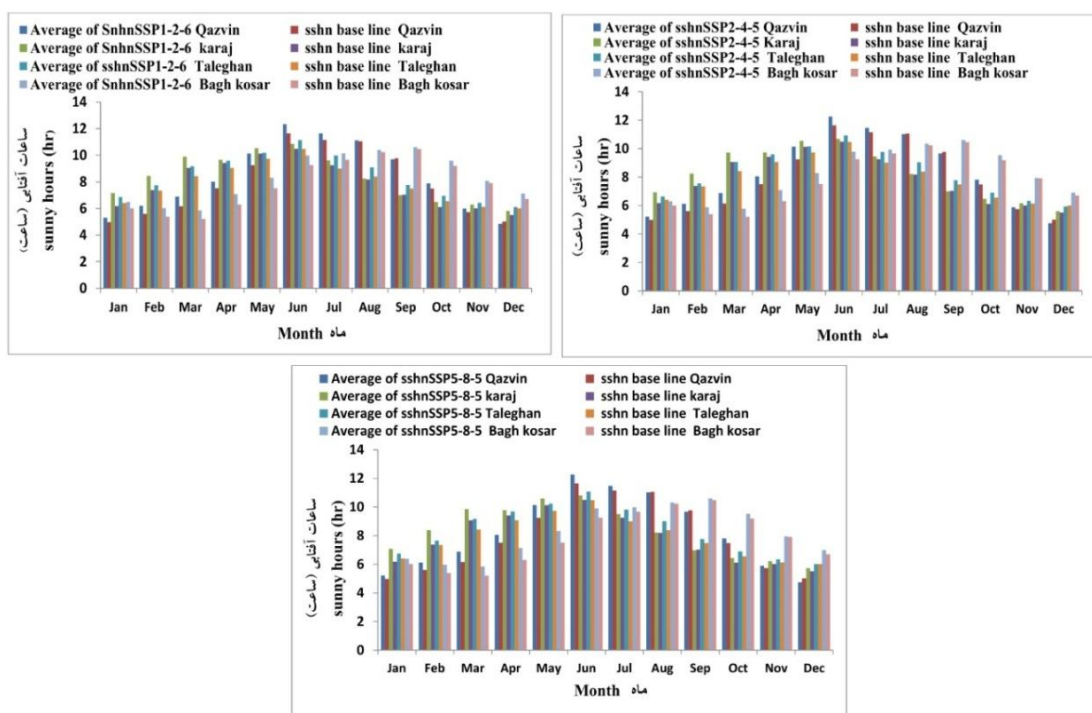
در دوره آینده دور (۲۰۷۰-۲۰۹۰) ماه‌های مختلف سال افزایش میانگین دمای کمینه را نسبت به دوره تاریخی نشان می‌دهند. در این دوره بیش‌ترین تغییرات میانگین دمای کمینه ماهانه در ایستگاه طالقان تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 مربوط به ماه جولای و به ترتیب به مقدار ۲/۸۱، ۳/۳۹ و ۴/۴ درجه سلسیوس است. کم‌ترین تغییر میانگین ماهانه دمای کمینه در ایستگاه کرج تحت سناریوی SSP2-4.5 در ماه فوریه، ۰/۵۵ درجه سلسیوس رخ داد در حالی‌که در ایستگاه کرج تحت سناریوهای SSP1-2.6 و SSP5-8.5 کم‌ترین مقدار تغییر دمای کمینه در ماه فوریه و به ترتیب به اندازه ۰/۴۲ و ۱/۸۹ درجه سلسیوس پیش‌نمایی شد. مقدار تغییرات میانگین سالانه دمای کمینه در این دوره تحت سه سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 به‌ترتیب ۳۳/۷۷، ۳۸/۰۹ و ۵۴/۹۱ درصد افزایش داشته است.

پیش‌بینی ساعات آفتابی در سناریوهای تغییر اقلیم: شکل ۱۶ نتایج پیش‌نگری ساعات آفتابی را تحت سه



شکل ۱۵- پیش‌نگری دمای کمینه با استفاده از مجموعه مدل‌های انتخاب شده آینده دور (۲۰۷۰-۲۰۵۰).

Figure 15. Precipitation the minimum temperature using a set of selected models for the far future (2050-2070).



شکل ۱۶- پیش‌نگری ساعات آفتابی با استفاده از مجموعه مدل‌های انتخاب شده آینده نزدیک (۲۰۵۰-۲۰۳۰).

Figure 16. Precipitation of sunny hours using a set of selected models for the near future (2030-2050).

در پژوهشی که بنی‌هاشمی ترشیزی و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی پیش‌بینی تغییرات نقطه‌ای مقادیر نسبی دما و بارش در اثر تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی آینده نزدیک و آینده دور در قزوین پرداختند، نشان دادند که افزایش دمای کمینه و دمای بیشینه و همچنین کاهش بارش در ایستگاه‌های مورد مطالعه در آینده دور و نزدیک رخ داد (۲۴). محمد اسماعیل (۲۰۱۸) نیز به بررسی تغییرات اقلیمی قزوین پرداختند نتایج این پژوهش‌گران بیانگر کاهش بارش و افزایش دمای ماهانه تحت تمامی سناریوها بود (۲۵). در مطالعه دیگری از فرشته و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی روند تغییر اقلیم شهرستان کرج با استفاده از شبیه‌سازی داده‌ها توسط Lars wg پرداختند. بنابر نتایج آن‌ها دما در همه ماه‌های سال افزایش یافته، اما مقدار این افزایش بسیار متغیر است. همچنین، بارش دارای تغییرات مثبت و منفی در ماه‌های مختلف بوده و در سال‌های آتی شهرستان کرج دارای زمستان‌های گرم‌تر و تابستان‌های خنک‌تر خواهد بود (۲۶). در مطالعه دیگری علیجانی و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تغییر اقلیم ایستگاه سینوپتیک کرج در دوره زمانی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری پرداختند. نتایج آن‌ها افزایش دما و کاهش متوسط بارش در هر چهار فصل را پیش‌بینی نمود (۲۷). در مطالعه‌ای نظرزاده و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی و ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی حوضه آبخیز طالقان پرداختند نتایج آن‌ها بیانگر روند افزایشی دمای کمینه در بیش‌تر ماه‌ها بوده و همچنین تغییرات دمای بیشینه و ساعات آفتابی در همه ماه‌ها روندی افزایشی را نشان داده است (۲۸). نتایج پژوهش حاضر نیز از نظر پیش‌نگری افزایش دما و تغییرات افزایشی و کاهش دما در ماه‌های مختلف و همچنین کاهش بارش در اکثر ماه‌ها با نتایج مطالعه فوق هم‌خوانی دارد.

نتایج مختلف پیش‌نگری بارش تحت سناریوهای مختلف می‌تواند به دلیل تغییرپذیری زیاد فراسنجه بارش باشد. همچنین، مطالعه‌ای توسط زرین و همکاران (۲۰۲۱) به منظور پیش‌نمایی دمای کل ایران با استفاده از برونداد سه مدل از مدل‌های گزارش ششم نشان داده که روند دما در ایران افزایشی است. بیشینه روند افزایشی دما با نمره استاندارد ۳/۷۷ براساس سناریوی SSP5-8.5 به‌دست آمده است (۲۹).

به‌طورکلی با توجه به یافته‌های پژوهش می‌توان پیشنهادات مدیریتی مختلفی برای کاهش اثرات تغییر آب و هوا در مناطق کرج، قزوین، طالقان و باغ کوثر ارائه داد (هرچند هر کدام از این روش‌ها و سیاست‌ها باید از جنبه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گیرند) از جمله: ۱- تنوع محصول: تشویق کشاورزان جهت انتخاب طیف وسیعی از محصولات که در برابر افزایش دما و کاهش بارندگی انعطاف‌پذیرتر هستند. که شامل انتخاب گونه‌های مقاوم به خشکی و استفاده از گیاهانی است که در طول دوره‌های رشد بحرانی به آب کم‌تری نیاز دارند. ۲- روش‌های آبیاری کارآمد: ترویج اجرای تکنیک‌های آبیاری پیشرفته، مانند سیستم‌های آبیاری قطره‌ای و بارانی، که می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی کارایی مصرف آب را بهبود بخشد. با توجه به افزایش دما و نرخ تبخیر پیش‌بینی‌شده، این روش‌ها به حفظ منابع آب کمک می‌کند. ۳- سیستم‌های جمع‌آوری آب باران: نصب سیستم‌های جمع‌آوری آب باران برای جمع‌آوری و ذخیره آب باران در دوره‌های مرطوب صورت گیرد. این آب ذخیره شده را می‌توان در طول دوره‌های خشک استفاده کرد و به کاهش اثرات کاهش بارندگی کمک نمود. ۴- برنامه‌های آموزشی سازگاری با اقلیم: اجرای طرح‌های آموزشی با هدف جامعه کشاورزان و جوامع محلی برای افزایش آگاهی در مورد تأثیر تغییرات آب و هوایی و ترویج

شیوه‌های انطباقی. جلسات آموزشی می‌تواند بر تکنیک‌های کشاورزی پایدار و مدیریت کارآمد منابع متمرکز باشد. ۵- ارتقای منابع انرژی تجدیدپذیر: تشویق انتقال به منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی یا بادی برای عملیات کشاورزی. این تغییر می‌تواند وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش داده و در عین حال راه‌حل‌های انرژی پاک برای سیستم‌های آبیاری و سایر نیازهای کشاورزی را ارائه دهد. ۶- تحقیق و پایش مستمر: ارزیابی‌های منظم مدل‌های اقلیمی برای اصلاح پیش‌بینی‌ها و اطلاع‌رسانی جهت برنامه‌ریزی آینده انجام شود.

با اجرای این پیشنهادات مدیریتی هدفمند، برنامه‌ریزان و مسئولان محلی ممکن است بتوانند به‌طور مؤثری به چالش‌های پیش‌بینی‌شده ناشی از تغییرات اقلیمی در مناطق کرج، قزوین، طالقان و باغ کوثر رسیدگی کنند. هدف این استراتژی‌ها نه تنها کاهش ریسک‌های فوری است، بلکه تاب‌آوری طولانی‌مدت در برابر تغییرات آب و هوایی آینده را تقویت می‌نماید.

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، عملکرد ۱۰ مدل اقلیمی از مجموعه CMIP6 در تولید داده‌های اقلیمی در زمان دوره آینده و دوره پایه بررسی شد. سپس با توجه به نتایج بررسی، میانگین خروجی سه مدل HadGEM3، MRI-ESM، AccESSESM1 که بهترین شبیه‌سازی‌ها را ارائه کردند، برای پیش‌بینی دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعات آفتابی روش LARS\_WG در دو دوره آینده (۲۰۳۰-۲۰۵۰) و (۲۰۷۰-۲۰۵۰) تحت سه سناریوی مختلف SSP1-2.6، SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در مناطق کرج، قزوین و طالقان مورد بررسی قرار گرفت. بر طبق نتایج پژوهش انتظار می‌رود در دوره آینده افزایش دمای کمینه و بیشینه در

اکثر ماه‌ها و ایستگاه‌های مورد مطالعه رخ دهد و در فصل‌های نسبتاً گرم، گرمای بیش‌تری نسبت به دوره پایه اتفاق بیفتد. بر اساس نتایج به دست آمده، در طی دو دوره آینده، میانگین افزایش دمای حداقل، ۲/۲۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه است. همچنین، دمای حداکثر به‌طور میانگین در این دو دوره تحت سناریوی SSP5-8.5 تا ۳/۵ درجه و تحت سناریوی SSP2-4.5 تا ۲/۳ درجه افزایش نشان می‌دهد. در فصل‌های بهار و پاییز، انتظار می‌رود میانگین افزایش دمای حداکثر در ماه‌های مارس، آوریل و مه ۲/۲ درجه باشد و بارش نسبت به دوره پایه ۶۶/۶۶ درصد کاهش یابد. با توجه به افزایش ساعات آفتابی در تمامی ماه‌ها در دو دوره آینده، انتظار می‌رود منطقه مورد مطالعه به‌طور کلی گرم‌تر و کم‌بارش‌تر شود. بنابراین، توصیه می‌شود که برنامه‌ریزان و مدیران در حوضه‌های انرژی، محیط‌زیست و کشاورزی راهکارهای سازگار با تغییرات اقلیمی و کم‌آبی پیاده کنند. با توجه به این‌که بخش عمده‌ای از کاربری اراضی در این منطقه مربوط به کشاورزی بوده که به‌علت افزایش دمای حداقل، دمای حداکثر و تبخیر و تعرق، نیاز آبی بالاتری خواهد داشت، بنابراین تغییر الگوی کشت و استفاده از روش‌های مدرن آبیاری و کم‌آبیاری می‌تواند خسارات ناشی از تغییرات اقلیمی را کاهش دهد. با توجه به خروجی مدل‌های اقلیمی CMIP6، پیشنهاد می‌شود که مطالعات بر روی سناریوهای دیگر نیز انجام شود تا دقت پیش‌بینی‌های اقلیمی SSP بهبود یابد و مدیران بتوانند سناریوی مناسب را با استفاده از روش‌های مختلف بررسی نموده و تصمیم‌گیری مناسب را انجام دهند. با توجه به این‌که تغییرات اقلیم باعث کمبود منابع آب زیرزمینی در مناطقی شده که تنها منبع تأمین آب برای مصارف مختلف است، نتایج این پژوهش ممکن است به بهبود مدیریت و برنامه‌ریزی آینده منابع آب زیرزمینی در حوضه‌های کرج و قزوین کمک نماید.

## منابع

1. Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J. A., Clarke, L., Dahe, Q., & Dasgupta, P. (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: Ipcc.
2. Shukla, P. R., Skeg, J., Buendia, E. C., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H. O., Roberts, D., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., & Van Diemen, S. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
3. Chen, H., & Sun, J. (2015). Assessing model performance of climate extremes in China: an intercomparison between CMIP5 and CMIP3. *Climatic Change*, 129, 197-211. doi: 10.1007/s10584-014-1319-5.
4. Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., & Lamarque, J.-F. (2011). The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 109, 5-31. doi: 10.1007/s10584-011-0148-z.
5. Eyring, V., Bony, S., Meehl, G., Senior, C., Stevens, B., Stouffer, R., & Taylor, K. (2015). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organisation. *Geoscientific Model Development Discussions*, 8(12). doi: org/10.5194/gmd-9-1937-2016.
6. O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J. F., & Lowe, J. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461-3482. doi: 10.5194/gmd-9-3461-2016.
7. Sha, J., Li, X., & Wang, Z. L. (2019). Estimation of future climate change in cold weather areas with the LARS-WG model under CMIP5 scenarios. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 3027-3039. doi: 10.1007/s00704-019-02781-4.
8. Hoshidar, M. (2019). Forecasting Climate Changes of Iran Based on Models of CMIP5. Shahid Beheshti University of Iran, doctoral thesis (Ph.D.). [In Persian]
9. Sa'adi, Z., Shahid, S., Chung, E. S., & Bin Ismail, T. (2017). Projection of spatial and temporal changes of rainfall in Sarawak of Borneo Island using statistical downscaling of CMIP5 models. *Atmospheric research*, 197, 446-460. doi: org/10.1016/j.atmosres.2017.08.002.
10. Su, B., Huang, J., Gemmer, M., Jian, D., Tao, H., Jiang, T., & Zhao, C. (2016). Statistical downscaling of CMIP5 multi-model ensemble for projected changes of climate in the Indus River Basin. *Atmospheric research*, 178, 138-149. doi: org/10.1016/j.atmosres.2016.03.023.
11. Feng, S., Hu, Q., Huang, W., Ho, C. H., Li, R., & Tang, Z. (2014). Projected climate regime shift under future global warming from multi-model, multi-scenario CMIP5 simulations. *Global and Planetary Change*, 112, 41-52. doi: org/10.1016/j.gloplacha.2013.11.002.
12. Kamruzzaman, M., Wahid, S., Shahid, S., Alam, E., Mainuddin, M., Islam, H. T., Cho, J., Rahman, M. M., Biswas, J. C., & Thorp, K. R. (2023). Predicted changes in future precipitation and air temperature across Bangladesh using CMIP6 GCMs. *Heliyon*, 9(5). doi: org/10.1016/j.heliyon.2023.e16274.
13. Kamworapan, S., Thao, P. T. B., Gheewala, S. H., Pimonsree, S., & Prueksakorn, K. (2021). Evaluation of CMIP6 GCMs for simulations of temperature over Thailand and nearby areas in the early 21st century. *Heliyon*, 7(11). doi: org/10.1016/j.heliyon.2021.e08263.
14. Yue, Y., Yan, D., Yue, Q., Ji, G., & Wang, Z. (2021). Future changes in

- precipitation and temperature over the Yangtze River Basin in China based on CMIP6 GCMs. *Atmospheric research*, 264, 105828. doi: [org/10.1016/j.atmosres.2021.105828](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105828).
15. Gupta, V., Singh, V., & Jain, M. K. (2020). Assessment of precipitation extremes in India during the 21st century under SSP1-1.9 mitigation scenarios of CMIP6 GCMs. *Journal of Hydrology*, 590, 125422. doi: [org/10.1016/j.jhydrol.2020.125422](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125422).
  16. Racsco, P., Szeidl, L., & Semenov, M. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological modelling*, 57(1-2), 27-41. doi: [org/10.1016/03043800\(91\)90053-4](https://doi.org/10.1016/03043800(91)90053-4).
  17. Semenov, M. A., Brooks, R. J., Barrow, E. M., & Richardson, C. W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate research*, 10(2), 95-107. doi: [org/10.3354/cr010095](https://doi.org/10.3354/cr010095).
  18. Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate research*, 41(1), 1-14. doi: [10.3354/cr00836](https://doi.org/10.3354/cr00836).
  19. Aghashahi, M., Ardestani, M., Nik Sokhan, M. H., & Tahmasebi, B. (2012). Introduction and comparison of LARS-WG and SDSM models for microscaling of environmental parameters in climate change studies, 6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran. <https://civilica.com/doc/170203>. [In Persian]
  20. Yaghoub Zadeh, M., Ahmadi, M., Seyed Kaboli, H., Zamani, G. R., & Amir Abadi Zadeh, M. (2017). The evaluation of Effect of Climate Change on Agricultural Drought Using ETDI and SPI Indexes. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), 43-61. doi: [10.22069/JWFST.2017.12202.2671](https://doi.org/10.22069/JWFST.2017.12202.2671). [In Persian]
  21. Zarei, A., Chemura, A., Gleixner, S., & Hoff, H. (2021). Evaluating the grassland NPP dynamics in response to climate change in Tanzania. *Ecological Indicators*, 125, 107600. doi: [org/10.1016/j.ecolind.2021.107600](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107600).
  22. Lin, J. Y., Cheng, C. T., & Chau, K. W. (2006). Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrological Sciences Journal*, 51(4), 599-612. doi: [org/10.1623/hysj.51.4.599](https://doi.org/10.1623/hysj.51.4.599).
  23. Hu, T., Lam, K., & Ng, S. (2001). River flow time series prediction with a range-dependent neural network. *Hydrological Sciences Journal*, 46(5), 729-745. doi: [10.1080/02626660109492867](https://doi.org/10.1080/02626660109492867).
  24. Banihashemi, S., Eslamian, S. S., & Nazari, B. (2021). Prediction of Local Alterations in the Relative Amounts of Temperature and Precipitation Caused by Climate Change in Near and Far Future, and Drought Investigation Using SPI and SPEI Indices in Qazvin Plain, Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 25 (2), 25-44. doi: [org/10.47176/jwss.25.2.41271](https://doi.org/10.47176/jwss.25.2.41271). [In Persian]
  25. Mohammad Ismail, Z. (2018). Climatic changes and its impact on irrigation (case study: Qazvin region), the third national conference on water management in the farm (central water demand), Karaj. <https://civilica.com/doc/738294>. [In Persian]
  26. Fereshte, F., Shiravand, H., & Hosseinzadeh, T. (2015). investigating the climate change process of Karaj city using data simulation by Lars wg, the second national conference on climate change and sustainable development engineering, agriculture and natural resources, Tehran. <https://civilica.com/doc/437348>. [In Persian]
  27. Alijani, B., Gharelou, R., Fatahi, E., & Hamidianpour, M. (2016). investigation of the climate change of Karaj synoptic station in the period 2010-2039 AD using statistical microscale, the first international conference on climate change, Tehran. <https://civilica.com/doc/640521>. [In Persian]

28. Nazarzadeh, N., Gudarzi, M., Baherland, A., & Nora, N. (2014). review and evaluation of Lars model according to scenario B 1 in simulating meteorological data of Taleghan watershed, 4th International Conference on Environmental Challenges and Tree Botany, Sari. <https://civilica.com/doc/788458>. [In Persian]
29. Zarrin, A., Dadashi-rodbari, A., & Salehabadi, N. (2021). Projected temperature anomalies and trends in different climate zones in Iran based on CMIP6. *Iranian Journal of Geophysics*, 15(1), 35-54. doi: [org/10.30499/ijg.2020.249997.1292](https://doi.org/10.30499/ijg.2020.249997.1292).