



Performance Analysis of CMIP6 Models in Simulating Minimum and Maximum Temperature and Projecting Their Changes in the Mountainous Regions of Western Iran

Sanam Kohi¹ , Mohsen Hamidianpour² ✉, Mahmoud Khosravi³ , Hamzeh Ahmadi⁴

1- Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. sanamkoochi1987@gmail.com

2- Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir.

3- Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. Email: khosravi@gep.usb.ac.ir.

4- Department of Climatology and Geomorphology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevari, Iran. Email: hamzehahmadi2009@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 21 February 2025;

Received in revised form: 16 April 2025;

Accepted: 09 June 2025

Available online: 03 August 2026

Keywords:

mountainous regions, climate change, uncertainty, CMIP6, Bias correction

ABSTRACT

Objective: Climate change, through rising global temperatures and an increase in extreme events, has exerted significant impacts on agriculture, water resources, and ecosystems. Hence, accurate projection of changes in minimum and maximum temperatures appears essential for effective climate risk management.

Method: In this study, daily minimum and maximum temperature data were first collected from synoptic meteorological stations across the country, alongside outputs from CMIP6 models under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios for the baseline period (1985–2014), the near future (2021–2040), and the mid-future (2041–2060). Subsequently, five statistical metrics—namely CC, RMSE, NRMSE, ANMBD, and AARD—were computed, and using the Pomeroy–Romero normalization technique coupled with the entropy weighting method, the best-performing models in terms of temperature simulation capability were ranked and selected. Furthermore, to quantify the uncertainty arising from inter-model variability, the weight of each model was derived based on the discrepancy between its simulated mean and observed values during the baseline period, and a weighted multi-model ensemble mean was estimated for both minimum and maximum temperatures across all time horizons.

Results: The results indicate that, compared to the observational period, temperature conditions are projected to rise by 1.4 °C in the near-future period and by 2.5 °C in the far-future period. Among the stations, Saqqez exhibited the highest increases in both minimum and maximum temperatures across all time periods, while Khorramabad showed the smallest increases. Spatial analysis further revealed that minimum and maximum temperatures are more strongly affected in high-altitude and high-latitude regions than in low-altitude and low-latitude areas.

Conclusion: The findings demonstrate that the increases in minimum and maximum temperatures in the high-altitude western regions of the country are substantially greater than those in low-altitude areas, which could significantly affect crop phenology and water resources. Therefore, developing region-specific climate adaptation policies grounded in local characteristics appears essential. The outcomes of this research can be effectively utilized in water resource management and the agricultural cropping calendar for the western region of the country.

1. Introduction

Climate change is one of the most significant environmental challenges of the 21st century,

driven by increased greenhouse gas emissions. It has a widespread impact on ecosystems, agriculture, and water resources. Global warming

Cite this article: Kohi, S., Hamidianpour, M., Khosravi, M., Ahmadi, H. (2026). Analysis of the Performance of CMIP6 Models in Simulating Minimum and Maximum Temperatures and Projection Their Changes in the Mountainous Western Part of Iran. *Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas*, 7 (26), 1-22. <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2053939.1062>



© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Lorestan University.



DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2053939.1062>

is expected to pose significant challenges in the future. Global Climate Models (GCMs) are essential tools for simulating and assessing the effects of climate change and analyzing various atmospheric, oceanic, and land systems.

GCMs simulate the global climate response to greenhouse gas concentrations and are widely used in climate studies. Owing to structural differences and varying initial conditions, these models produce different results, even under the same emission scenarios. Therefore, evaluating and refining their output is crucial for regional studies. The CMIP6 models demonstrated improved accuracy in simulating the daily minimum and maximum temperature parameters.

According to IPCC reports, the global temperature is projected to increase by 2.1 °C to 5.3°C under intermediate scenarios and 3.3 °C to 7.5°C under pessimistic scenarios. Climate change has intensified extreme events, such as heatwaves and meteorological droughts, causing severe environmental and societal impacts. These changes affect water resources and agricultural production by increasing evaporation and transpiration, reducing soil moisture, and increasing water demand. Agriculture is highly dependent on climate conditions, and shifts in climate patterns can significantly reduce crop yields and overall productivity. Ultimately, climate change is a serious threat with major implications for natural ecosystems and agriculture. Agrometeorological phenomena, which directly influence crop production and yield, have become increasingly critical, necessitating special attention to climate and agricultural planning.

2. Methodology

In this study, the highlands of the Central Zagros region including Kurdistan, Hamedan, Lorestan, Kermanshah, and Ilam—were selected as the study area, with Lorestan, Hamedan, and Kurdistan being the most important walnut-producing hubs in the region. This region, which spans an elevational range from 28 to 4,049 meters above sea level, was investigated for climate change impacts on temperature using observational daily minimum and maximum temperature data, baseline CMIP model outputs for the historical period (1985–2014), and projections from CMIP6 models under the SSP2-4.5 (moderate development) and SSP5-8.5 (high fossil-fuel dependency) scenarios for the near future (2021–2040) and mid-future (2041–2060). Future data were obtained from the ESGF portal. Subsequently, after compiling data from national synoptic stations and the aforementioned models, five statistical metrics—namely CC, RMSE, NRMSE, ANMBD, and AARD—were

computed. Using a combination of Pomerol–Romero normalization and the entropy weighting method, the best-performing models in terms of temperature simulation capability were ranked and selected. Furthermore, to quantify the uncertainty arising from inter-model variability, the weight of each model was determined based on the deviation of its simulated mean from observed values during the baseline period, and a weighted multi-model ensemble mean was estimated for both minimum and maximum temperatures across all time horizons.

3. Results and Discussion

In this study, 15 models from CMIP6 were selected based on their resolution, availability of required data, and climate scenarios, and their performance in simulating minimum and maximum temperatures during the baseline period (1985–2014) was evaluated. The validation results using the RMSE index showed that the minimum temperature ranged between 3.51 and 8.25, while the maximum temperature ranged between 3.25 and 12.20. The correlation coefficient (CC) for both the minimum and maximum temperatures varied between 0.97 and 1. The ACCESS-CM2 and MIROC6 models had the highest and lowest accuracy for minimum temperature, respectively, while MPI-ESM1-2-HR and MIROC6 showed the same accuracy for maximum temperature. Based on entropy calculations, the NMBD index for the minimum temperature and the NRMSE index for the maximum temperature were identified as the most suitable criteria for selecting the best model. Ultimately, ACCESS-CM2, EC-Earth3, GISS-E2-2-G, FGOALS-g3, and MRI-ESM2-0 were chosen as the best models for minimum temperature, whereas NorESM2, MPI-ESM1-2-HR, MPI-ESM1-2-LR, INM-CM5-0, and INM-CM4-8 were selected for maximum temperature.

After integrating the selected models, future changes in minimum and maximum temperatures were projected for two future periods (2021–2040 and 2041–2060) under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. The results indicated that in the near future (2021–2040), the minimum temperature is expected to increase by 1 to 2°C, while the maximum temperature will rise by 0.8 to 1.1°C. In the mid-future period (2041–2060), the minimum temperature is projected to increase by 2.1 °C to 3.3°C and the maximum temperature by 1.8 °C to 2.1°C. The highest increase in minimum temperature was observed in Saez, whereas the highest increase in maximum temperature was recorded in Qorveh and Saez. Spatial analysis revealed that northern regions and higher elevations experienced the most significant

temperature changes, whereas southern areas experienced smaller increases. These changes could have important implications for agriculture, plant phenology, and climate-related hazards.

4. Conclusion

This study assessed 15 CMIP6 models and used an entropy-based multi-model ensemble approach to analyze temperature changes at meteorological stations across western Iran for two future periods (2021-2040 and 2041-2060) under the SSP2-4.5 and SSP5-8.5 scenarios. The results showed that the ensemble method provided higher accuracy than the individual models. The minimum temperature is projected to increase by 16.49% in the near future and 29.7% in the distant future, equivalent to 1.4°C and 2.5°C above the observational period, respectively. The highest temperature increase was observed in Saez, whereas the lowest was observed in Khorramabad. High-altitude and northern regions showed greater sensitivity to temperature changes than low-altitude and warmer areas. These findings align with those of previous studies and can aid in managing temperature-related risks, phenology, and adaptation to climate change.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

We are very grateful to everyone who assisted us in conducting this research. We would also like to express our sincere appreciation to the Iran Meteorological Organization (IRIMO) for providing the high-quality meteorological data used in this study. Their cooperation and support were essential to the successful completion of this work.

Ethical Considerations

All authors affirm that this research was conducted in accordance with ethical standards, with no data fabrication, falsification, or plagiarism.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest



تحلیل عملکرد مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی دمای کمینه و بیشینه و پیش‌نمایی تغییرات آن در

نواحی کوهستانی غرب ایران

صنم کوهی^۱؛ محسن حمیدیان پور^۲؛ محمود خسروی^۳؛ حمزه احمدی^۴

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: sanamkoochi1987@gmail.com

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: khosravi@gep.usb.ac.ir

۴- گروه آب و هواشناسی و ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران. رایانامه: hamzehahmadi2009@gmail.com

چکیده

مقدمه: تغییر اقلیم با افزایش دمای جهانی و رخدادهای حدی، تأثیرات چشم‌گیری بر کشاورزی، منابع آب و اکوسیستم‌ها داشته است؛ از این رو پیش‌نگری دقیق تغییرات دماهای کمینه و بیشینه برای مدیریت مخاطرات اقلیمی ضروری به نظر می‌رسد.

روش: در این پژوهش، ابتدا داده‌های روزانه دمای کمینه و بیشینه از ایستگاه‌های هواشناسی کشور و خروجی‌های مدل‌های CMIP6 تحت سناریوهای SSP2-4.5 و SSP5-8.5 برای دوره‌های پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵)، آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) و آینده میانه (۲۰۶۰-۲۰۴۱) گردآوری شد. سپس، با محاسبه پنج شاخص آماری CC، RMSE، NRMSE، ANMBD و AARD و استفاده از روش نرمال‌سازی پومرال و رومرو و وزن‌دهی آتروپی، مدل‌های برتر از لحاظ عملکرد در شبیه‌سازی دما رتبه‌بندی و گزینش شدند. در ادامه، به منظور کمی‌سازی عدم قطعیت ناشی از تنوع مدل‌ها، وزن هر مدل بر اساس اختلاف میانگین شبیه‌سازی شده با مشاهدات در دوره پایه محاسبه و میانگین وزنی همادی برای دماهای کمینه و بیشینه در تمام دوره‌های زمانی برآورد گردید.

نتایج: نتایج نشان داد در دوره آینده نزدیک وضعیت دمای ۱/۴ درجه سلسیوس و در دوره آینده دور برابر با ۲/۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره مشاهداتی خواهد بود. که در این بین متغیرهای دمای کمینه و بیشینه ایستگاه سقز در هر دوره زمانی بیشترین افزایش دما و ایستگاه خرم آباد کمترین افزایش دما را نشان می‌دهد و تحلیل فضایی نشان از تأثیرپذیری بیشتر دمای کمینه و بیشینه در مناطق پراارتفاع و عرض‌های بالا نسبت به مناطق عرض‌های پایین و کم ارتفاع دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد افزایش دمای کمینه و بیشینه در مناطق پراارتفاع غرب کشور به مراتب بیشتر از نواحی کم ارتفاع است که می‌تواند فنولوژی محصولات و منابع آبی را تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین تدوین سیاست‌های سازگاری با تغییر اقلیم به صورت منطقه‌ای و مبتنی بر ویژگی‌های محلی ضروری به نظر می‌رسد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در مدیریت منابع آب و تقویم کشت منطقه غرب کشور کاربرد داشته باشد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۳/۱۲/۰۳

تاریخ تجدیدنظر:

۱۴۰۴/۰۱/۲۷

پذیرش نهایی:

۱۴۰۴/۰۳/۱۹

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۵/۱۲

واژگان کلیدی:

مناطق کوهستانی، تغییر اقلیم

عدم قطعیت، CMIP6،

تصحیح بایاس.

۱. مقدمه

گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی، اثرات گسترده‌ای

بر سیستم‌های بوم‌شناختی، کشاورزی و منابع آبی گذاشته است

(IPCC, 2021). بنابراین تغییراتی که در آینده در ارتباط با

تغییر اقلیم یکی از چالش‌برانگیزترین مسائل زیست‌محیطی قرن ۲۱

است (Hamidianpour & Shoja, 2022) که با افزایش انتشار

استناد: کوهی، صنم؛ حمیدیان‌پور، محسن؛ خسروی، محمود و احمدی، حمزه. (۱۴۰۵). تحلیل عملکرد مدل‌های CMIP6 در شبیه‌سازی دماهای کمینه

و بیشینه و پیش‌نمایی تغییرات آن در نواحی کوهستانی غرب ایران. *مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی*، ۷ (۲۶)، ۲۲-۱.

<http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2053939.1062>



DOI: <http://doi.org/10.22034/gsma.2025.2053939.1062>



نویسندگان.

ناشر: دانشگاه لرستان.

انسان (Chen et al, 2021a, Saeed et al, 2023)، امنیت غذایی (Mirzabaev et al, 2023)، منابع آب (Wang et al, 2022, Fabian et al, 2023, Khan & Pilz, 2018)، افزایش سطح آب دریاها (Sweet et al, 2022)، ثبات اکوسیستم (Chen et al, 2021b) در آینده می‌تواند چالش‌هایی را ایجاد کند. در مناطق مختلف جهان بدترین شرایط این رخداد را از نظر خسارات کشاورزی، خسارات زیرساختی، تلفات انسانی و سایر خسارات مالی تجربه کرده‌اند (NOAA, 1995, Schmitt et al., 2022, WHO, 2018, Stillman, 2019).

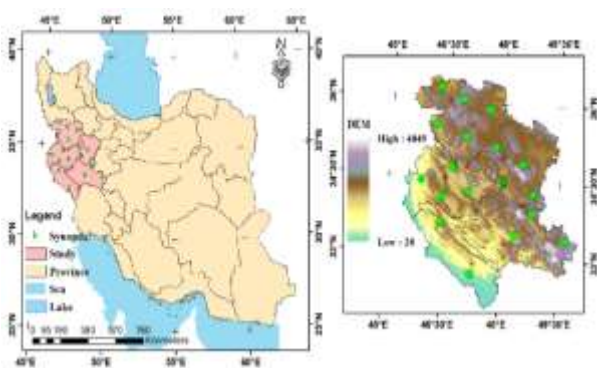
باتوجه به اهمیت دماهای کمینه و بیشینه در پژوهش‌های اقلیمی، بسیاری از پژوهشگران به بررسی این پارامترها پرداخته‌اند، Zarrin (2021) Dadashi-Roudbari & در پژوهش خود به بررسی پیش‌نگری دمای ایران در آینده نزدیک بر اساس رویکرد همادی چند مدلی CMIP6، پرداختند نتایج نشان داد بر اساس سناریوهای SSP3-7.0 و SS5-8.5، میانگین دمای سالانه کشور به ترتیب ۱/۱۳ و ۱/۲۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. کمینه بی‌هنجاری در جنوب شرق و بیشینه آن در مناطق شمال غربی و مرکزی ایران اتفاق می‌افتد. در پژوهشی دیگر بررسی بی‌هنجاری و روند دمای ایران در پهنه‌های مختلف اقلیمی با استفاده از مدل‌های جفت شده پروژه مقایسه متقابل مرحله ششم (CMIP6) مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد روند دما در ایران افزایشی است. بیشینه روند افزایشی دما با نمره استاندارد ۳/۷۷ بر اساس سناریوی SSP5-8.5 به دست آمده که در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. متوسط شیب روند دما در ایران طی دوره‌های آتی به ازای هر سال به میزان ۰/۰۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت که رشد ۰/۰۱ را نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد که در دهه های پایانی قرن بیستم (۲۰۸۱-۲۱۰۰) کانون بیشینه بی‌هنجاری مثبت به استان‌های آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه و بخش‌های شمالی استان ایلام کشیده شده است (Zarin et al, 2021). نتایج پژوهش، Zang et al (2022) در منطقه شین جیانگ چین با استفاده از دیتاست CMIP6 نشان از دقت و توانایی بیشتر دما به نسبت بارش در شبیه‌سازی دارد. (Chen et al, 2020) به مقایسه مدل‌های CMIP5 و CMIP6 در شبیه‌سازی فرین‌های اقلیمی در چین پرداختند. Qin et al (2021) به پیش‌نمایی

گرمایش جهانی رخ خواهد داد، چالش‌های بیشتری را ایجاد خواهد کرد (Karl et al, 2015). مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs) مهم‌ترین مدل‌های مزدوج عددی و ابزارهای قدرتمندی در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم هستند که سیستم‌های مختلف اتمسفر، اقیانوس، سطح زمین و یخ-دریا را شبیه‌سازی نموده و به نمایش می‌گذارند (Fowler et al, 2007). همچنین این مدل‌ها واکنش اقلیم جهانی به غلظت گازهای گلخانه‌ای و نیز سناریوهای اقلیمی آینده را برای سراسر کره زمین شبیه‌سازی می‌کنند (IPCC, 2013). مدل‌های GCM گوناگونی توسعه یافته است و به دلیل تفاوت ساختار این مدل‌ها و تفاوت شرایط اولیه‌ای که تحت آن اجرا می‌شوند، نتایج آن‌ها حتی برای یک سناریوی انتشار یکسان، متفاوت است؛ لذا برای استفاده در مطالعات منطقه‌ای، لازم است خروجی این مدل‌ها ارزیابی شود (Kay et al., 2009). مدل‌های CMIP6 با افزایش دقت شبیه‌سازی، توانایی بالایی در پارامترهای دمای کمینه و بیشینه روزانه را نشان می‌دهد (Richter & Tokinaga, 2020). هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (۲۰۲۱)، میانگین افزایش دمای جهانی در سناریوهای حد واسط و بدبینانه به ترتیب ۲/۱ تا ۳/۵ و ۳/۳ تا ۵/۷ درجه سلسیوس پیش‌بینی شده است. رخداد‌های شدید همزمان مانند امواج گرما و خشکسالی‌های هواشناسی به دلیل گرمایش جهانی افزایش یافته است (Aghakouchak et al., 2014; Adeyeri et al., 2023). این تغییرات می‌تواند به روش‌های گوناگونی که تأثیرات قابل توجهی بر منابع آبی، کشاورزی و زیست و بوم‌های طبیعی دارند با افزایش تبخیر و تعرق، کاهش رطوبت خاک و افزایش تقاضای آب، تولیدات و محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد (Meehl et al, 2004, Feyissa et al., 2024). کشاورزی به عنوان یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی، شدیداً تحت تأثیر پارامترهای و مخاطرات اقلیمی است (Sivakumar et al, 2005). پس بنابراین تغییر اقلیم به عنوان یک مخاطره جدی می‌تواند در ایجاد و تشدید و تغییرات آب و هوایی به عنوان یک عامل تأثیرگذار در نواحی مرتفع برای کشاورزی، اکولوژی و ... نقش عمده‌ای را ایفا کند، که در این بین پدیده‌های مرتبط با هواشناسی کشاورزی که در ارتباط مستقیم با تولید و بازده محصولات کشاورزی است، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تغییرات دمایی و دماهای حدی می‌تواند در زمینه سلامت

تحت دو سناریوی سناریوی خوشبینانه (SSP2-4-5) و بدبینانه (SSP-5-8-5) پرداخته شد.

۲. روش تحقیق

استان‌های مرتفع نواحی زاگرس مرکزی شامل کردستان، همدان، لرستان، کرمانشاه و ایلام منطقه مورد مطالعه پیش‌رو را پوشش می‌دهند. استان‌های مذکور در پیرامون غربی رشته کوه عظیم زاگرس واقع شده‌اند. منطقه مد نظر دارای اختلاف ارتفاعی بیش از ۴۰۰۰ متر است به طوری که کمترین ارتفاع حدود ۲۸ متر در مناطق مرزی و ۴۰۴۹ متر در نقاط مرتفع زاگرس است (شکل ۱). شبیه‌سازی دماهای کمینه و بیشینه و پیش‌نمایی تغییرات آن در استان‌های زاگرس مرکزی، شامل استان‌های کردستان، همدان، لرستان، کرمانشاه و ایلام، برای برنامه‌ریزی و مدیریت بخش‌های کلیدی مانند کشاورزی، منابع آب، سلامت عمومی و زیرساخت‌ها از اهمیت بسزایی برخوردار است. تغییرات دمایی با تاثیر بر ارتفاع مرز برف، برای مناطقی که به ذوب برف به عنوان منبعی اصلی برای تأمین آب وابسته هستند، از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین، دماهای شدید می‌تواند رشد و عملکرد محصولات کشاورزی و باغی را مختل کند (Ghadimi et al., 2019).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع منطقه مورد مطالعه (نقشه سمت راست) و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه (نقشه سمت چپ) منبع: نگارندگان، ۱۴۰۳

برای انجام و بررسی اثر پیامدهای تغییر اقلیم بر دماهای کمینه و بیشینه با استفاده از داده‌های CMIP، به مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات علمی نیاز داریم که به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند: داده‌های ایستگاهی، داده‌های مدل‌ها در دوره پایه و دوره‌های آتی مبتنی بر سناریوها. در دسته داده‌های ایستگاهی، داده‌های روزانه

تغییرات دما و بارش در شمال غربی چین با استفاده از ۵ مدل CMIP6 پرداختند. نتایج نشان داد که مدل‌های CMIP6 می‌توانند دما را بهتر از بارش شبیه‌سازی کنند. پیش‌بینی‌ها نیز نشان داد که میانگین دما و بارش افزایش پیدا خواهد کرد. در پژوهشی دیگر با تمرکز بر کشور سوریه افزایش دماهای کمینه و بیشینه در آینده پیش‌نگری شد که می‌تواند منجر به افزایش رخداد‌های حدی دمایی شود (Mathbout et al., 2023). You et al., (2021) با استفاده از مدل‌های CMIP6 و سه سناریو SSP به پیش‌نگری تغییرات دما در چین پرداختند. نتایج نشان داد که دما در شمال غربی چین و فلات تبت به سرعت در حال افزایش است. اما در رابطه با محصولات، Hamidianpour et al., (2023)، ارزیابی و پیش‌بینی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر نیاز آبی پنبه را بررسی کردند، به طوری که تا پایان قرن به ترتیب ۲۰۸۴ درجه سلسیوس، ۵۰۷۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. در پژوهشی دیگر Namroodi et al., (2021) به تحلیل فضایی-زمانی تغییرات امواج گرما و سرما در ایران طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۱۸ پرداختند، نتایج نشان داد که کمینه و بیشینه دمای روزانه در سال‌ها و دهه‌های اخیر افزایش یافته است. در مقایسه با داده‌های ثبت شده در دهه ۱۹۷۰، دمای بیشینه حدود ۱/۵ درجه سلسیوس و دمای کمینه حدود ۱/۹ درجه سلسیوس در سال‌های (۲۰۱۱-۲۰۱۸) افزایش یافته است. پژوهش Mesgari et al., (2023) نشان داد که دمای کمینه در سطح ایران طی دوره آینده (۲۰۵۰-۲۰۲۱) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۸۵) افزایش خواهد یافت. بنابراین با توجه به افزایش دمای کمینه و کوتاه‌تر شدن روزشمارهای ژولیوسی، به دلیل گرمای هوا منجر به ظهور زود هنگام مراحل فنولوژیکی خواهد شد و ریسک سرما و یخبندان را در مرحله جوانه‌زنی تا گلدهی درختان بیشتر می‌کند.

بنابراین دانستن سازوکار رفتار مخاطرات اقلیمی در دوره گذشته و ارزیابی تغییرات و ناهنجاری‌های آن‌ها در دوره آینده، برای اجرای راهبردهای مدیریتی اهمیت زیادی دارد. لذا با توجه به اهمیت تغییرات اقلیمی در این پژوهش به ارزیابی مدل‌های مختلف CMIP6 در شبیه‌سازی دمای کمینه و دمای بیشینه در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) و پیش‌نگری تغییرات آن در منطقه غرب ایران در دو دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) و آینده دور (۲۰۶۰-۲۰۴۱) به دوره پایه با استفاده از خروجی بهترین مدل ارزیابی شده

استفاده شد. داده های مدل از سایت ESGF^۱ دانلود شدند. (جدول ۲). در این پژوهش از دو سناریوی حدواسط SSP2-4.5 که دنیایی با توسعه اقتصادی - اجتماعی در شرایط معمول را با آسیب پذیری و سطح واداشت تابشی متوسط در نظر می گیرد و سناریوی خیلی بدبینانه SSP5-8.5 که حد بالای سوخت فسیلی و الگوی مصرف بالای انرژی همراه است (Hamidianpour & Shoja, 2022; Estoque et al, 2020) استفاده گردید.

مشاهده شده دمای کمینه و بیشینه، از سازمان هواشناسی کشور دریافت شد (جدول ۱). در دسته داده های مدل ها در دوره پایه، داده های تاریخی دما از مدل های CMIP برای دوره زمانی پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) ضروری است این داده ها به منظور تحلیل عملکرد مدل ها و مقایسه با داده های مشاهده ای به کار گرفته شدند. در دسته داده های مدل ها در دوره های آتی مبتنی بر سناریو ها، داده های پیش بینی دماهای کمینه و بیشینه بر اساس سناریو های مختلف انتشار (مانند SSP2-4.5 و SSP5-8.5) برای دوره های زمانی آینده نزدیک و آینده میانه (۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۱-۲۰۶۰)

جدول ۱. مشخصات ایستگاه های مورد استفاده در پژوهش

ردیف	ایستگاه	سال	ماه	روز	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
۱	الیگودرز	۱۹۸۶	۱	۱	۳۳/۴۰۸	۴۹/۷۰۳	۲۰۲۲/۱
۲	بیجار	۱۹۸۸	۱	۱	۴۷/۶۲۱	۴۷/۶۲۱	۱۸۸۳/۴
۳	بروجرد	۱۹۹۰	۱	۱	۳۳/۹۱۵	۴۸/۷۵۸	۱۶۲۹
۴	دهلران	۱۹۸۷	۱	۱	۳۲/۶۸۱	۴۷/۲۸۱	۲۳۲
۵	اسلام آباد غرب	۱۹۸۷	۱	۱	۳۴/۱۱۷	۴۶/۴۶۷	۱۳۴۸/۸
۶	همدان (فرودگاه)	۱۹۷۷	۱	۱	۳۴/۸۶۹	۴۸/۵۳۵	۱۷۴۰/۸
۷	ایلام	۱۹۸۷	۱	۱	۳۳/۵۸۸	۴۶/۳۹۸	۱۳۳۷
۸	کنگاور	۱۹۸۷	۱	۱	۳۴/۵۰۰	۴۷/۹۸۳	۱۴۶۸
۹	کرمانشاه	۱۹۵۱	۱	۱	۳۴/۳۵۲	۴۷/۱۵۳	۱۳۱۸/۵
۱۰	خرم آباد	۱۹۵۱	۱	۱	۳۳/۴۳۹	۴۸/۲۸۴	۱۱۴۷/۸
۱۱	ملایر	۱۹۹۲	۱	۱	۳۴/۲۴۹	۴۸/۸۵۷	۱۷۷۶/۵
۱۲	مریوان	۱۹۹۲	۱	۱	۳۵/۴۹۷	۴۶/۱۵۱	۱۲۸۷
۱۳	قروه	۱۹۹۰	۱	۱	۳۵/۱۸۰	۴۷/۷۸۶	۱۹۰۶
۱۴	روانسر	۱۹۸۹	۱	۱	۳۴/۷۱۷	۴۶/۶۵۰	۱۳۸۰
۱۵	سنندج	۱۹۶۰	۱	۱	۳۵/۲۵۴	۴۷/۰۱۵	۱۳۷۳/۴
۱۶	سقز	۱۹۶۲	۱	۱	۳۶/۲۲۲	۴۶/۳۱۱	۱۵۲۲/۸
۱۷	سرپل ذهاب	۱۹۸۶	۱	۱	۳۴/۴۵۰	۴۵/۸۶۷	۵۴۵
۱۸	زرنه	۱۹۹۰	۱	۱	۳۶/۰۶۷	۴۶/۹۱۷	۲۱۴۲/۶

جدول ۲. مشخصات مجموعه داده های CMIP6 مورد استفاده در پژوهش

نام مدل	موسسه	کشور	قدرت تفکیک فضایی
ACCESS-CM2	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	Australia	192 × 144
CMCC-ESM2	Fondazione Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatic	Italy	192 × 145
EC-Earth3	EC-Earth consortium, Rossby Center, Swedish Meteorological and Hydrological Institute/SMHI	Sweden	512 × 256
FGOALS-g3	Chinese Academy of Sciences	China	180 × 80
GFDL-ESM4	National Oceanic and Atmospheric Administration, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	288 × 180
GISS-E2-2-G	Goddard Institute for Space Studies, National Aeronautics and Space Administration	USA	144 × 90
INM-CM4-8	Institute for Numerical Mathematics, Russian Academy of Science, Moscow	Russia	180 × 120

180 × 120	Russia	Institute for Numerical Mathematics, Russian Academy of Science, Moscow	INM-CM5-0	۸
256 × 128	Japan	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	MIROC6	۹
384 × 192	Germany	Max Planck Institute for Meteorology	MPI_ESM1_2_HR	۱۰
320 × 160	Japan	Meteorological Research Institute	MRI_ESM2_0	۱۱
192 × 96	China	Nanjing University of Information Science and Technology	NESM3	۱۲
288 × 192	Norway	Climate Modeling Consortium consisting of Center for International Climate and Environmental Research	NorESM2_MM	۱۳
288 × 192	Taiwan	Research Center for Environmental Changes, Academia Sinica	TaiESM1	۱۴

نمایه‌های ارزیابی عملکرد

انواع گوناگونی از مدل‌های GCM وجود دارد. بنابراین پرسش‌های زیر مطرح است: آیا انتخاب مدل‌های گوناگون در نتایج تغییر اقلیم و پیامدهای آن تأثیر دارد؟ چه راهبردی باید در انتخاب GCM ها برگزیده شود؟ آیا راهبرد کلی وجود دارد که بتوان از آن برای انتخاب مدل استفاده کرد؟ (Pierce et al, 2009; Legates & McCabe, 1999). آیا می‌توان مدل‌ها را بر حسب عملکرد آنها رتبه‌بندی نمود؟ در این راستا نمایه‌های گوناگونی برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها و روش‌های گوناگون ریزگردانی وجود دارد (Karydas et al, 2009; Hamidianpour et al, 2013; Sreelatha & Raje, 2021). نمایه‌های ارزیابی عملکرد شاخص‌ها ساده و موثر و معنی‌داری هستند که شباهت GCM ها تاریخی (پیش‌گو) را با داده‌های مشاهده شده (پیش‌گو شونده) ایستگاهی اندازه‌گیری می‌کنند. این نمایه‌ها ممکن است مبنایی برای ارزیابی سطح اطمینان خروجی‌های GCM فراهم کنند. جهت ارزیابی دقت و توانایی مدل‌های CMIP6 به مقایسه داده‌های مشاهداتی ایستگاهی (Observation) و داده‌های تاریخی مدل (Historical) در دوره (۲۰۱۴-۱۹۸۵) با استفاده از شاخص‌های CC، RMSE، NRMSE و ANMBD و AARD پرداخته شد.

$$CC = \left(\sum_{i=1}^T \frac{[(x)_i - \bar{x}][(y)_i - \bar{y}]}{(T-1)\sigma_x\sigma_y} \right) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2}}{\bar{x}} \quad (3)$$

$$ANMBD = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (y_i - x_i)^2}}{\bar{x}} \quad (4)$$

$$AARD = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T |ARD_i|; \text{ where } ARD_i = \frac{(y_i - x_i)^2}{\bar{x}} \quad (5)$$

علامت‌های $y-I$ مقادیر GCM ها شبیه‌سازی شده و $x-I$ مقادیر داده‌های مشاهداتی و $\bar{X}$ میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشد (Hamidianpour & Shoja, 2022).

در ادامه در راستای انتخاب پنج مدل برتر، شاخص‌های عملکرد خطای مدل‌ها بر اساس شاخص Pomerol & Romero (2000) نرمال‌سازی و رتبه‌بندی گردیدند.

$$k_{aj} = \frac{k_j(a)}{\sum_{a=1}^T k_j(a)} \quad (6)$$

وزن آنتروپی هر شاخص، ارزش تنوع و در نهایت وزن نرمال شده شاخص‌های عملکرد محاسبه گردید (معادله ۷ تا ۹)

$$E_{nj} = \frac{1}{\ln(T)} \sum_{a=1}^T k_{aj} \ln(k_{aj}) \text{ for } 1, \dots, J \quad (7)$$

$$Dd_j = 1 - E_{nj} \quad (8)$$

$$r_j = \frac{Dd_j}{\sum_{j=1}^i Dd_j} \quad (9)$$

ریزگردانی (Downscaling)

مدل‌های جهانی اقلیم (GCMs) پیشرفته‌ترین ابزار برای شبیه‌سازی تغییر اقلیم هستند، اما وضوح پایین آن‌ها برای بررسی اثرات محلی کافی نیست

۴. Normalized Root Mean Square Deviation

۵. Absolute Normalized Mean Bias Deviation

۶. Annualized Asymmetric Radiation Dissatisfaction

۱. General Circulation Models

۲. Pearson Correlation Coefficient

۳. Root Mean Square Error

و داده‌های هواشناسی لازم، انتخاب گردید. سپس، پس از استخراج داده‌های دمای کمینه و بیشینه برای منطقه مورد مطالعه، عملکرد و دقت این مدل‌ها در شبیه‌سازی پارامترهای مذکور در دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۱۴) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل‌های مورد بررسی در شبیه‌سازی دما نشان داد که بر اساس سنجه RMSE در منطقه مورد مطالعه دمای کمینه بین ۳/۵۱ تا ۸/۲۵ و دمای بیشینه ۳/۲۵ تا ۱۲/۲۰ و میزان CC در دمای کمینه بین ۰/۹۷ تا ۱ و در دمای بیشینه ۰/۹۸ تا ۱ در تغییر است که کمترین و بیشترین دقت مدل در دمای کمینه به ترتیب مربوط به مدل‌های ACCESS-CM2 و MIROC6 و در دمای بیشینه MPI-ESM1-2-HR و MIROC6 است. در مجموع بر اساس سنجه‌های عملکردی مختلف دقت اکثر مدل‌های CMIP6 مورد بررسی در شبیه‌سازی دما در منطقه مورد مطالعه بالا است (جدول ۲).

و دارای خطاهایی ناشی از ساده‌سازی فیزیک و درک ناقص سیستم هستند. استفاده مستقیم از خروجی تصحیح‌نشده این مدل‌ها در مطالعات تأثیر، نتایج غیرواقعی به همراه دارد. بنابراین، پیش از کاربرد در مدل‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی، باید خروجی GCM ها با روش‌های پس‌پردازش، ریزگردانی و تصحیح بایاس شوند تا داده‌هایی دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر در مقیاس محلی تولید گردد (Holthuijzen et al, 2022; Reder et al, 2025). در پژوهش پیش‌رو، از روش مقیاس‌گذاری خطی (LS) استفاده شد (Fang et al, 2015).

روش میانگین‌گیری وزنی

یکی از روش‌های کمی‌سازی میزان عدم قطعیت ناشی از بکارگیری مدل‌های GCM مختلف، استفاده از روش وزن‌دهی میانگین‌های مشاهداتی متغیر مورد بررسی مانند دمای بیشینه و کمینه می‌باشد. وزن مدل‌های مورد بررسی GCM در مورد شبیه‌سازی دما محاسبه گردید و بر اساس وزن تولید شده برای هر مدل، میانگین وزنی همادی برای دوره پایه و آینده نزدیک و میانه محاسبه گردید.

$$W_{i,j} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \left(\frac{1}{|\Delta T_{i,j}|} \right)} \quad (10)$$

که $W_{i,j}$ وزن داده شده به هر یک از مدل‌ها در روز مورد نظر، $T_{i,j}$ متغیر مورد بررسی، ΔT اختلاف میانگین متغیر مورد بررسی شبیه‌سازی شده با مقدار مشاهداتی در دوره پایه، i, j به ترتیب نشان دهنده روز و مدل گردش عمومی جو است (Gohari et al, 2013).

۳. یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، ۱۵ مدل از مجموعه مدل‌های CMIP6 بر اساس معیارهای تفکیک مکانی مناسب، در دسترس بودن سناریوهای مورد نیاز

جدول ۳. ارزیابی مدل‌های مورد مطالعه - دمای کمینه (Min) و بیشینه (Max) (سلسیوس)

Models	CC		RMSE		NRMSE		ANMBD		AARD	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
ACCESS-CM2	۰/۹۹	۱/۰۰	۳/۵۱	۴/۹۱	۰/۶۹	۰/۲۲	۰/۶۳	۰/۲۱	۲/۰۴	۰/۵۱
CMCC-ESM2	۱/۰۰	۱/۰۰	۳/۸۶	۳/۹۸	۰/۸۶	۰/۱۹	۰/۷۳	۰/۱۷	۲/۷۷	۰/۵۰
EC-Earth3	۰/۹۹	۱/۰۰	۴/۸۹	۵/۶۰	۰/۹۵	۰/۲۶	۰/۶۴	۰/۲۴	۳/۳۳	۰/۶۳
FGOALS-g3	۰/۹۹	۰/۹۹	۳/۵۰	۴/۱۵	۰/۶۹	۰/۱۹	۰/۶۵	۰/۱۷	۲/۵۷	۰/۳۹
GFDL-ESM4	۰/۹۹	۱/۰۰	۳/۹۰	۶/۰۶	۰/۷۴	۰/۲۸	۰/۶۸	۰/۲۷	۲/۷۴	۰/۶۱
GISS-E2-2-G	۰/۹۹	۱/۰۰	۴/۴۱	۵/۴۰	۰/۷۱	۰/۲۵	۰/۶۴	۰/۲۳	۳/۰۶	۰/۴۲

INM-CM4-8	۰/۹۸	۰/۹۸	۴/۳۶	۳/۶۶	۰/۸۶	۰/۱۸	۰/۷۴	۰/۱۴	۲/۱۹	۰/۵۶
INM-CM5-0	۰/۹۷	۰/۹۹	۴/۱۹	۳/۴۰	۰/۸۵	۰/۱۷	۰/۶۹	۰/۱۴	۱/۵۸	۰/۵۱
MIROC6	۰/۹۹	۰/۹۹	۸/۲۵	۱۲/۲۰	۱/۷۳	۰/۵۹	۱/۶۲	۰/۵۱	۶/۲۷	۰/۹۰
MPI-ESM1-2-HR	۰/۹۹	۱/۰۰	۴/۱۷	۳/۲۵	۰/۹۸	۰/۱۶	۰/۸۳	۰/۱۵	۳/۱۳	۰/۴۸
MPI-ESM1-2-LR	۱/۰۰	۱/۰۰	۳/۹۹	۳/۲۹	۰/۹۲	۰/۱۶	۰/۷۷	۰/۱۴	۲/۴۵	۰/۴۸
MRI-ESM2-0	۰/۹۹	۰/۹۹	۳/۷۰	۵/۸۹	۰/۷۵	۰/۲۷	۰/۶۵	۰/۲۴	۳/۲۵	۰/۵۳
NESM3	۰/۹۹	۱/۰۰	۸/۱۰	۶/۴۰	۱/۷۳	۰/۲۹	۱/۵۳	۰/۲۸	۲/۸۳	۰/۵۷
NorESM2	۰/۹۹	۱/۰۰	۴/۵۰	۳/۵۲	۱/۰۰	۰/۱۶	۰/۹۷	۰/۱۵	۲/۶۶	۰/۴۹
TaiESM1	۰/۹۹	۱/۰۰	۳/۹۳	۳/۸۸	۰/۸۸	۰/۱۸	۰/۷۶	۰/۱۷	۳/۱۲	۰/۴۹

Romeroe, (2000) نرمال سازی شدند (جدول ۴). سپس، با بهره گیری از روش آنتروپی، بهترین شاخص عملکرد خطا برای ارزیابی و رتبه بندی مدل های جهانی اقلیم (GCMs) انتخاب گردید.

بر اساس روش شناسی تشریح شده در بخش روش مطالعه، به منظور کاهش عدم قطعیت ناشی از به کارگیری چندین مدل در مطالعات تغییر اقلیم، از رویکرد میانگین وزنی مدل ها استفاده گردید. در این راستا، نخست شاخص های عملکردی بر اساس روش Pomerol &

جدول ۴. نرمال سازی متغیر دمای کمینه (Min) و بیشینه (Max)

Models	CC		RMSE		NRMSE		NMBD		AARD	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
ACCESS-CM2	۰/۰۶۶	۰/۰۶۷	۰/۰۵۱	۰/۰۶۵	۰/۰۴۸	۰/۰۶۳	۰/۰۵۰	۰/۰۶۷	۰/۰۴۶	۰/۰۶۳
CMCC-ESM2	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۵۶	۰/۰۵۳	۰/۰۶۰	۰/۰۵۲	۰/۰۵۸	۰/۰۵۴	۰/۰۶۳	۰/۰۶۲
EC-Earth3	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۷۱	۰/۰۷۴	۰/۰۶۶	۰/۰۷۵	۰/۰۵۱	۰/۰۷۵	۰/۰۷۶	۰/۰۷۸
FGOALS-g3	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۵۱	۰/۰۵۵	۰/۰۴۸	۰/۰۵۲	۰/۰۵۱	۰/۰۵۳	۰/۰۵۸	۰/۰۴۸
GFDL-ESM4	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۵۶	۰/۰۸۰	۰/۰۵۲	۰/۰۷۹	۰/۰۵۴	۰/۰۸۴	۰/۰۶۲	۰/۰۷۵
GISS-E2-2-G	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۱	۰/۰۵۰	۰/۰۶۹	۰/۰۵۱	۰/۰۷۰	۰/۰۶۹	۰/۰۵۲
INM-CM4-8	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۳	۰/۰۴۸	۰/۰۶۰	۰/۰۵۱	۰/۰۵۹	۰/۰۴۵	۰/۰۵۰	۰/۰۶۹
INM-CM5-0	۰/۰۶۵	۰/۰۶۶	۰/۰۶۰	۰/۰۴۵	۰/۰۵۹	۰/۰۴۷	۰/۰۵۵	۰/۰۴۳	۰/۰۳۶	۰/۰۶۳
MIROC6	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۱۱۹	۰/۱۶۱	۰/۱۲۱	۰/۱۶۶	۰/۱۲۹	۰/۱۵۸	۰/۱۴۲	۰/۱۱۲
MPI-ESM1-2-HR	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۰	۰/۰۴۳	۰/۰۶۹	۰/۰۴۵	۰/۰۶۶	۰/۰۴۵	۰/۰۷۱	۰/۰۶۰
MPI-ESM1-2-LR	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۵۸	۰/۰۴۴	۰/۰۶۴	۰/۰۴۵	۰/۰۶۲	۰/۰۴۴	۰/۰۵۶	۰/۰۵۹
MRI-ESM2-0	۰/۰۶۷	۰/۰۶۶	۰/۰۵۳	۰/۰۷۸	۰/۰۵۲	۰/۰۷۶	۰/۰۵۲	۰/۰۷۴	۰/۰۷۴	۰/۰۶۶
NESM3	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۱۱۷	۰/۰۸۵	۰/۱۲۰	۰/۰۸۳	۰/۱۲۲	۰/۰۸۷	۰/۰۶۴	۰/۰۷۱
NorESM2	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۶۵	۰/۰۴۷	۰/۰۷۰	۰/۰۴۶	۰/۰۷۸	۰/۰۴۷	۰/۰۶۱	۰/۰۶۰
TaiESM1	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۱	۰/۰۶۱	۰/۰۵۱	۰/۰۶۱	۰/۰۵۳	۰/۰۷۱	۰/۰۶۱
Weight	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

(Pomerol & Romeroe, 2000)

کمترین وزن آنتروپی و ارزش تنوع بالاتر و اکتساب بیشترین وزن نرمال شده شاخص عملکرد به عنوان شاخص برتر شناسایی و انتخاب گردیدند (جدول ۵ و ۶). بنابراین در ادامه مسیر پژوهش برای ارزیابی مدل ها از شاخص عملکرد خطا NRMSE استفاده خواهد شد.

بر اساس شاخص آنتروپی وزن آنتروپی برای هر شاخص و همچنین ارزش تنوع و وزن نرمال شده شاخص عملکرد برای انتخاب بهترین شاخص محاسبه گردید. که نتایج نشان داد که شاخص NMBD برای دمای کمینه و همچنین شاخص عملکرد خطا NRMSE با توجه به

جدول ۵. محاسبات آماری شاخص آنتروپی - دمای کمینه

توصیف	CC	RMSE	NRMSE	NMBD	AARD	
وزن آنتروپی هر شاخص (Enj)	۱/۰۰	۰/۹۸۴۵	۰/۹۸۲۳	۰/۹۷۹۲	۰/۹۸۱۵	
ارزش تنوع (Degree of diversification)	۰/۰۰	۰/۰۱۵۵	۰/۰۱۷۷	۰/۰۲۰۸	۰/۰۱۸۵	۰/۰۷۲

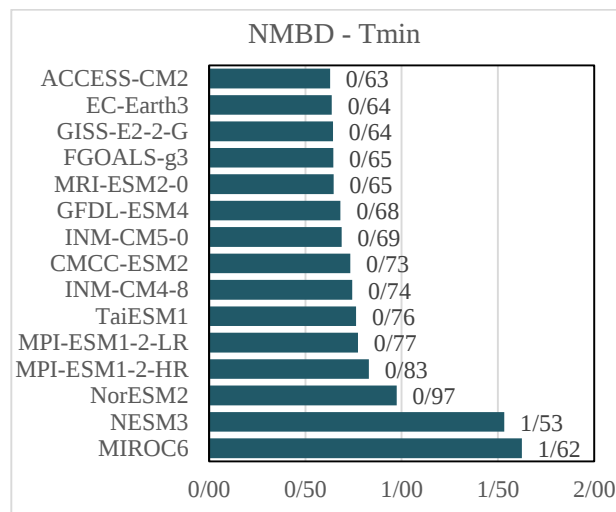
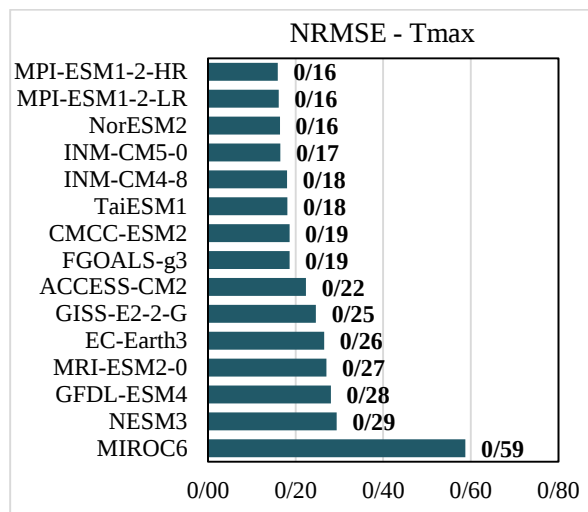
۱/۰۰۰	۰/۲۵۵۳	۰/۲۸۶۳	۰/۲۴۴۷	۰/۲۱۳۵	۰/۰۰۰۱	وزن نرمال شده شاخص عملکرد (rj)
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------------------------------

جدول ۶ محاسبات آماری شاخص آنتروپی - دمای بیشینه

توصیف	CC	RMSE	NRMSE	NMBD	AARD	
وزن آنتروپی هر شاخص (Enj)	۱/۰۰۰۰	۰/۹۷۱۵	۰/۹۷۱۲	۰/۹۷۲۱	۰/۹۹۲۴	
ارزش تنوع (Degree of diversification)	۰/۰۰۰۰	۰/۰۲۸۵	۰/۰۲۸۸	۰/۰۲۷۹	۰/۰۰۷۶	۰/۰۹۳
وزن نرمال شده شاخص عملکرد (rj)	۰/۰۰۰۰	۰/۳۰۶۹	۰/۳۱۰۱	۰/۳۰۱۱	۰/۰۸۱۹	۱/۰۰۰۰

FGOALS-g3,G و MRI-ESM2-0 و برای دمای بیشینه
MPI-ESM1-2-LR، MPI-ESM1-2-HR، NorESM2
INM-CM4-8 و INM-CM5-0 به عنوان مدل‌های برتر
شناسایی و انتخاب گردیدند.

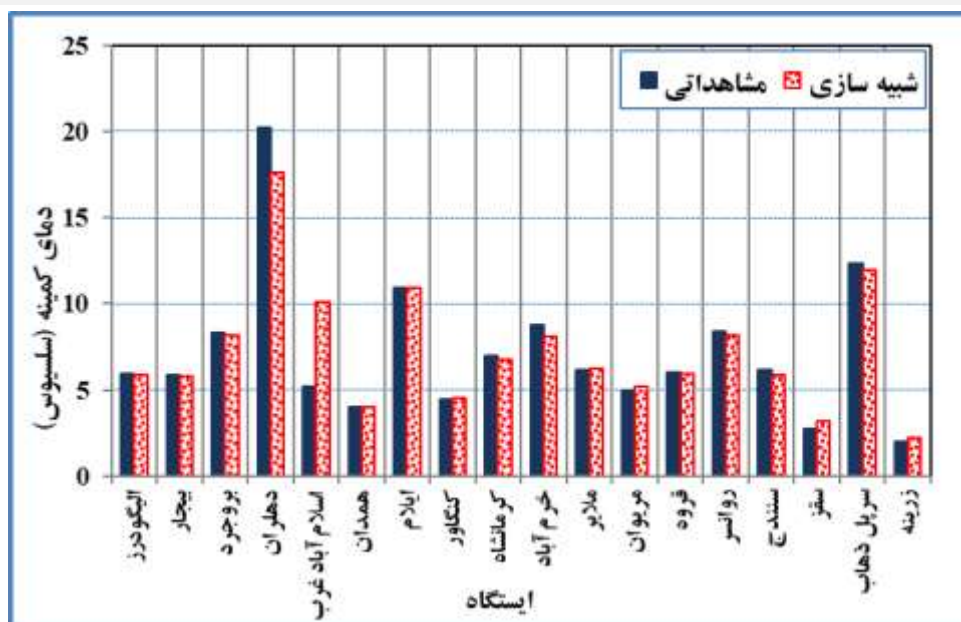
بر اساس محاسبات آنتروپی در متغیر دمای کمینه شاخص
NMBD و در متغیر دمای بیشینه شاخص NRMSE که کمترین
آنتروپی و بیشترین ارزش تنوع را دارا بود به عنوان شاخص مناسب
برای تشخیص بهترین مدل انتخاب گردید. در ادامه به ترتیب برای
دمای کمینه GISS-E2-2-، EC-Earth3، ACCESS-CM2



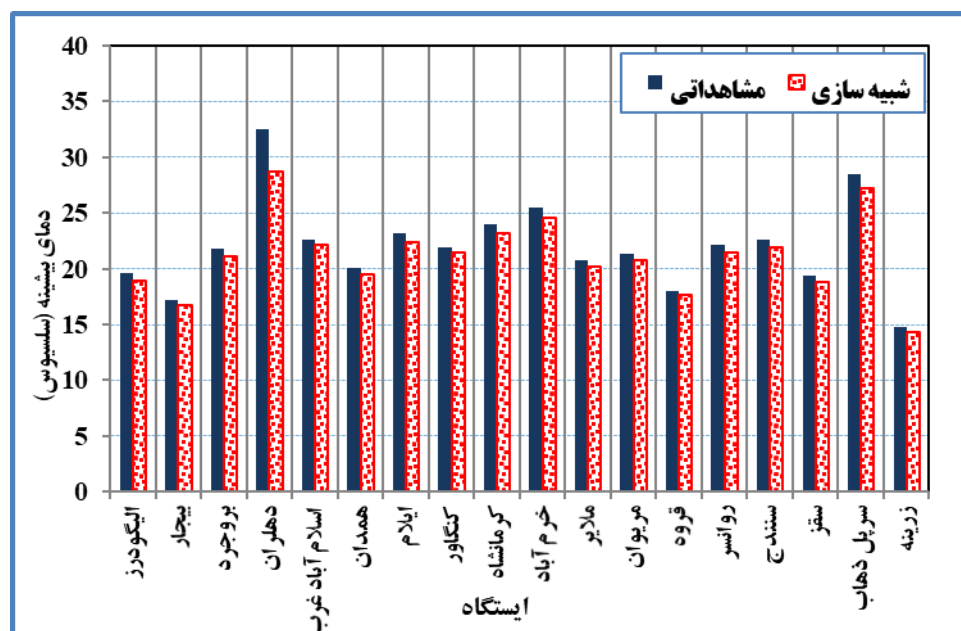
شکل ۲. میزان آنتروپی کلیه مدل‌ها بر اساس شاخص عملکرد خطای منتخب

گرفت. بر اساس نتایج حاصل روش مورد بررسی ضمن در نظر
گرفتن کاهش عدم قطعیت در پیش‌نمایی‌های اقلیمی از دقت
بالایی در شبیه‌سازی متغیرهای مورد مطالعه برخوردار است (شکل
۳ و ۴).

به منظور ارزیابی دقیق‌تر عملکرد روش مورد استفاده، مقادیر
مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای کمینه و بیشینه (بر مبنای داده‌های
همادی وزنی مدل‌های منتخب) در ایستگاه‌های هواشناسی مورد
مطالعه، در طول دوره آماری پایه، مورد مقایسه و بررسی قرار



شکل ۳. مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی دمای کمینه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در طول دوره آماری پایه



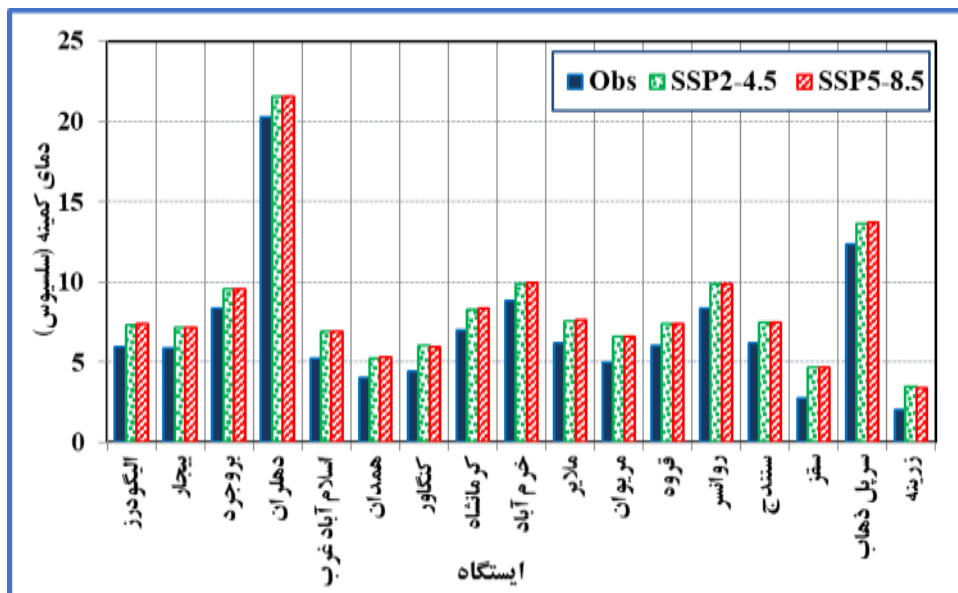
شکل ۴. مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی دمای بیشینه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در طول دوره آماری پایه

دمای بیشینه آن به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های مریوان، قروه و سقز با افزایش ۱/۱ و کرمانشاه، خرم آباد و سندج با افزایش ۰/۸ درجه سلسیوس و در دمای کمینه بیشترین و کمترین افزایش دما به ترتیب متعلق به ایستگاه سقز با ۲ و ایستگاه خرم آباد با ۱/۱ درجه سلسیوس افزایش است. بر اساس نتایج به طور سناریوی خوشبینانه (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) در غرب کشور در دوره مذکور برای دمای کمینه بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه سقز به ترتیب با ۲ و ۱/۹ درجه سلسیوس افزایش و ایستگاه خرم آباد با ۱ و ۱/۱ درجه

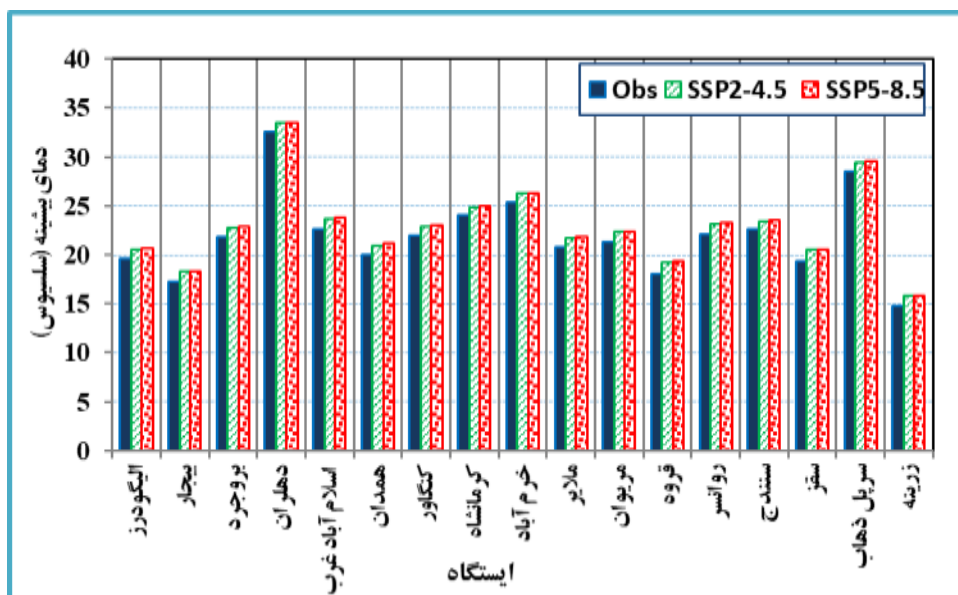
پس از همدادی کردن مدل‌های منتخب، به پیش‌نمایی تغییرات پارامترهای مورد بررسی در دو دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۴۰) و (۲۰۴۱-۲۰۶۰) تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 پرداخته شد. نتایج حاصل نشان داد دمای کمینه و دمای بیشینه در منطقه مورد مطالعه در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه بر اساس متوسط سناریوهای مورد بررسی دمای کمینه بین ۱ تا ۲ و دمای بیشینه ۰/۸ تا ۱/۱ درجه سلسیوس افزایش پیدا خواهد کرد که از نظر ایستگاهی بیشترین و کمترین تغییرات در

مهمی را نشان می‌دهد. در حالت کلی میزان دما بر اساس هر دو سناریوی مورد بررسی نسبت به دوره پایه در منطقه مورد مطالعه افزایش پیدا خواهد کرد (شکل ۵ و ۶).

افزایش سلسیوس خواهد کرد. میزان دمای کمینه و بیشینه به ترتیب نسب به دوره پایه به طور متوسط ۱۶/۴۹ و ۴/۳۸ درصد نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت که نسبت به دوره قبلی تغییرات



شکل ۵. تغییرات دمای کمینه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نزدیک نسبت به دوره مشاهداتی به تفکیک سناریوهای مورد بررسی



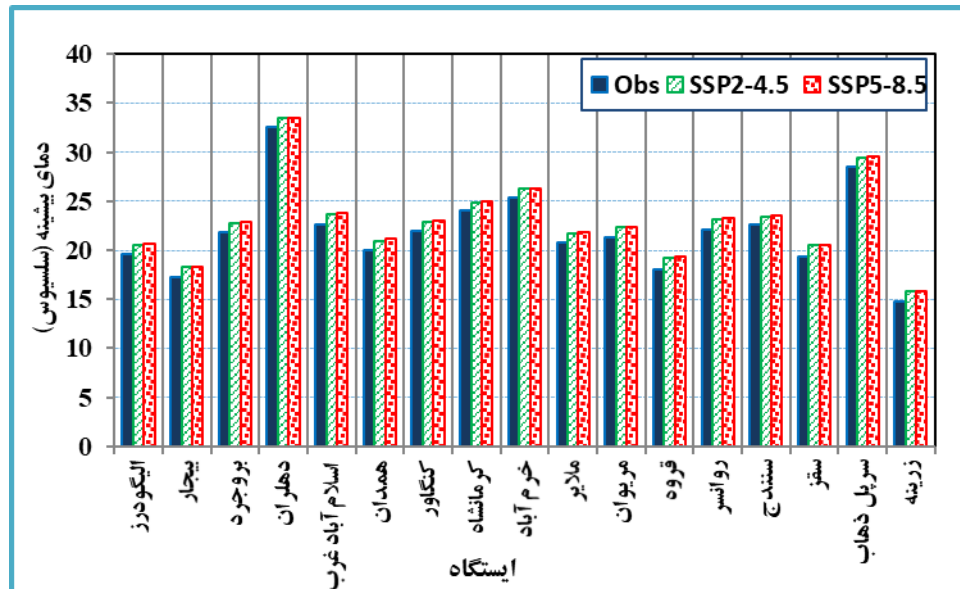
شکل ۶. تغییرات دمای بیشینه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نزدیک نسبت به دوره مشاهداتی به تفکیک سناریوهای مورد بررسی

خواهد داشت. از منظر ایستگاهی، بیشترین افزایش دمای بیشینه به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های قروه و سقز (هر دو با افزایش ۲/۱ درجه سلسیوس) و بیشترین افزایش دمای کمینه به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های سقز (با افزایش ۳/۳ درجه سلسیوس) و خرم‌آباد (با افزایش ۲/۱ درجه سلسیوس) است. بر اساس نتایج حاصل از

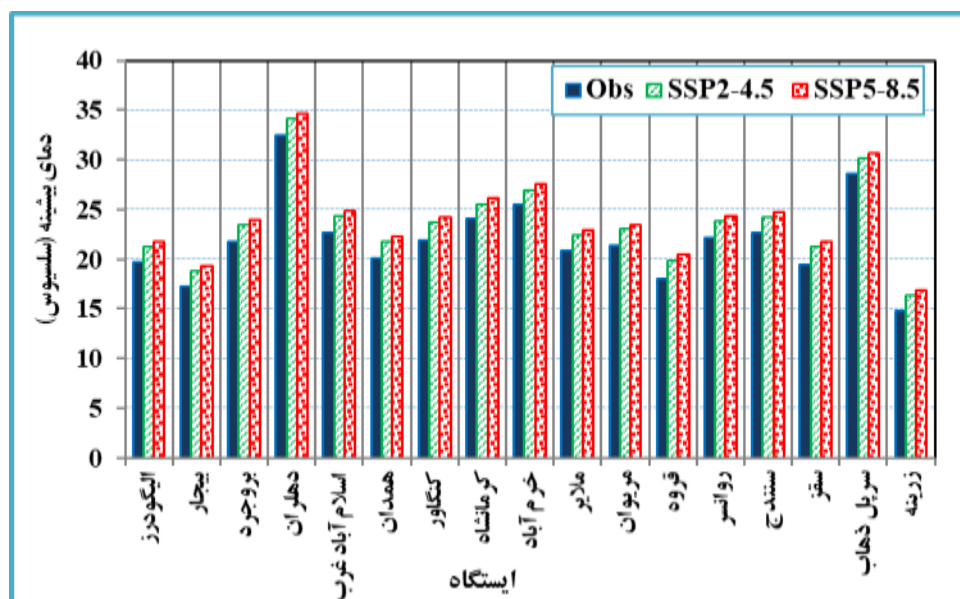
در ادامه، نتایج مربوط به دوره‌ی آینده‌ی دور (۲۰۴۱-۲۰۶۰) نشان داد که دمای کمینه و بیشینه در منطقه‌ی مورد مطالعه، نسبت به دوره‌ی پایه، بر اساس میانگین سناریوهای بررسی شده، افزایش خواهد یافت. به گونه‌ای که دمای کمینه بین ۲/۱ تا ۳/۳ درجه سلسیوس و دمای بیشینه بین ۱/۸ تا ۲/۱ درجه سلسیوس افزایش

درجه سلسیوس و ایستگاه خرم‌آباد با افزایش $1/8$ درجه سلسیوس مواجه خواهند شد. این مقادیر در سناریوی بدینانه به ترتیب به $3/8$ و $2/5$ درجه سلسیوس افزایش می‌یابند (شکل‌های ۷ و ۸).

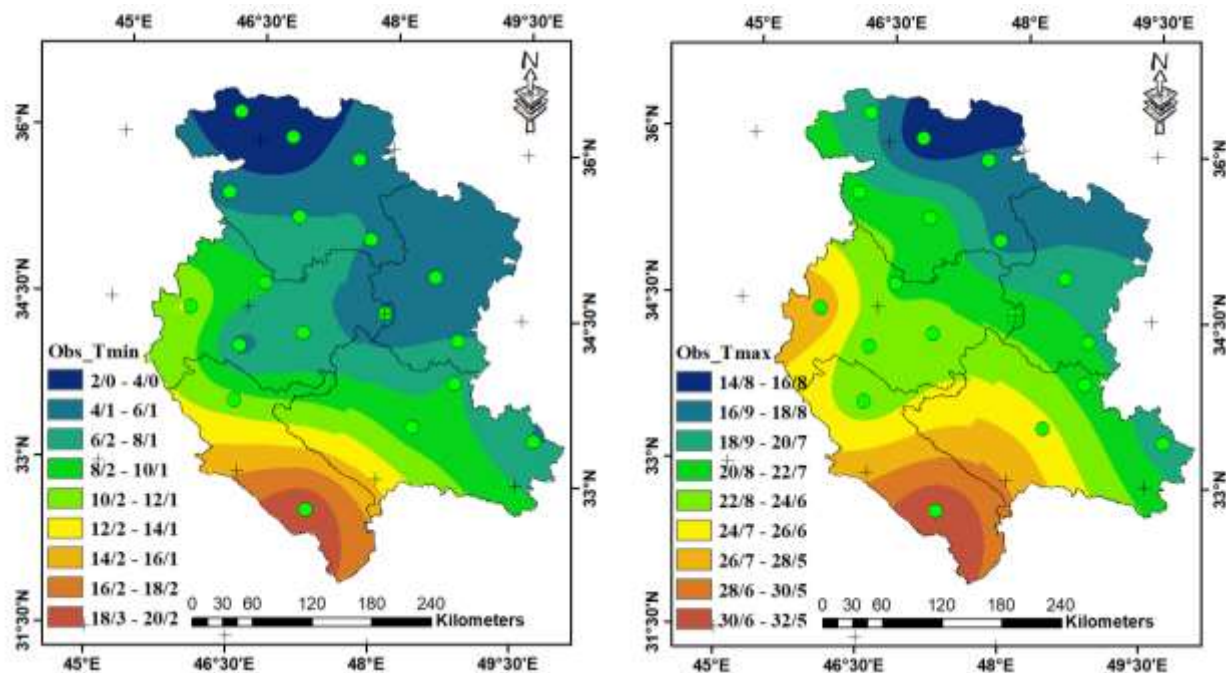
سناریوی خوشبینانه (SSP2-4.5) و بدینانه (SSP5-8.5) برای منطقه‌ی غرب کشور در دوره‌ی مورد بررسی، بیشترین افزایش دمای کمینه به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های سقز و خرم‌آباد است. به گونه‌ای که در سناریوی خوشبینانه، ایستگاه سقز با افزایش $2/8$



شکل ۷. تغییرات دمای کمینه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در دوره‌های آینده دور نسبت به دوره مشاهداتی به تکنیک سناریوهای مورد بررسی



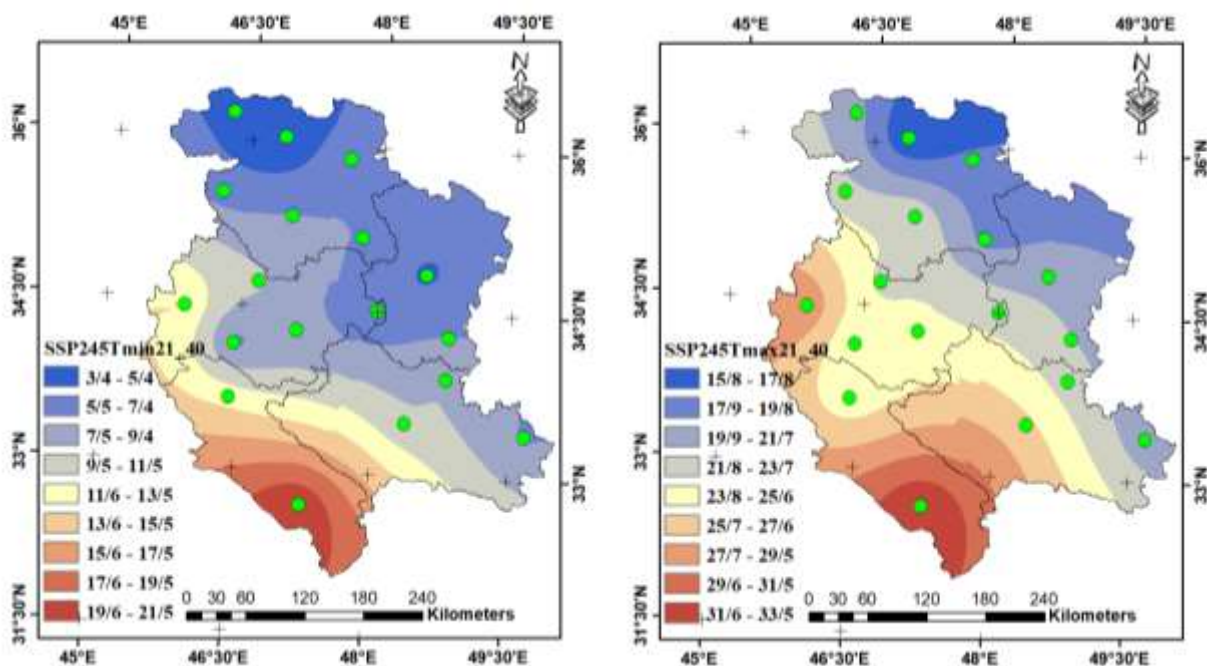
شکل ۸. تغییرات دمای بیشینه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در دوره‌های آینده دور نسبت به دوره مشاهداتی به تکنیک سناریوهای مورد بررسی

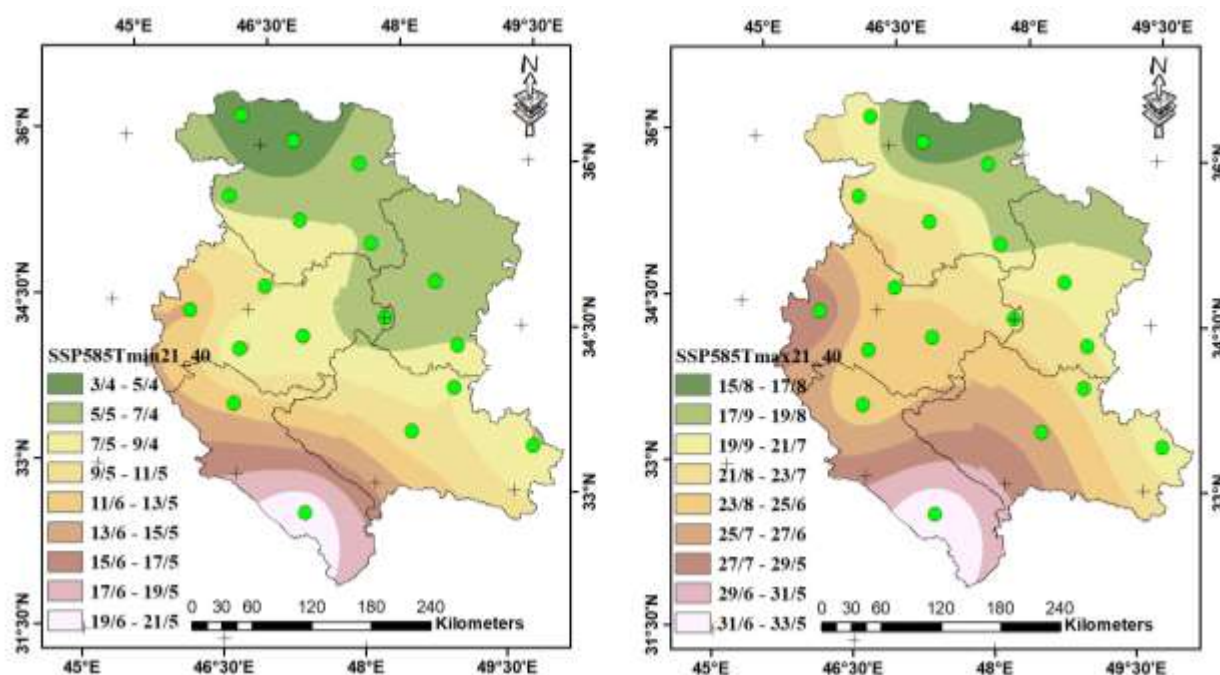


شکل ۹. نقشه فضایی وضعیت دمای کمینه (سمت چپ) و دمای بیشینه (سمت راست) در دوره مشاهداتی

منطقه شده‌اند. مناطق جنوب و جنوب غرب منطقه، با میانگین ارتفاع کمتر از ۱۰۰ متر، دمای نسبتاً بالایی را تجربه می‌کنند که در تضاد آشکار با شرایط دمایی مناطق شمالی است. این الگو نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های غرب ایران، ارتفاع و عرض جغرافیایی به‌عنوان دو عامل کلیدی، نقش تعیین‌کننده‌ای در تشدید یا تعدیل دما دارند.

مطابق با شکل ۹، داده‌های مشاهداتی نشان‌دهنده الگوی مکانی مشخصی برای دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند. بر اساس این الگو، بیشینه دما در بخش‌های جنوبی و کمینه دما در نواحی شمالی و شمال شرقی منطقه مشاهده می‌گردد. علت این توزیع ناهمسان دمایی را می‌توان در ویژگی‌های توپوگرافیک منطقه جستجو کرد؛ به‌طوری‌که ارتفاعات قابل توجه در شمال و شمال شرق (با حداکثر ارتفاع ۴۰۴۹ متر) باعث ثبت کمترین دما در این نواحی نسبت به کل

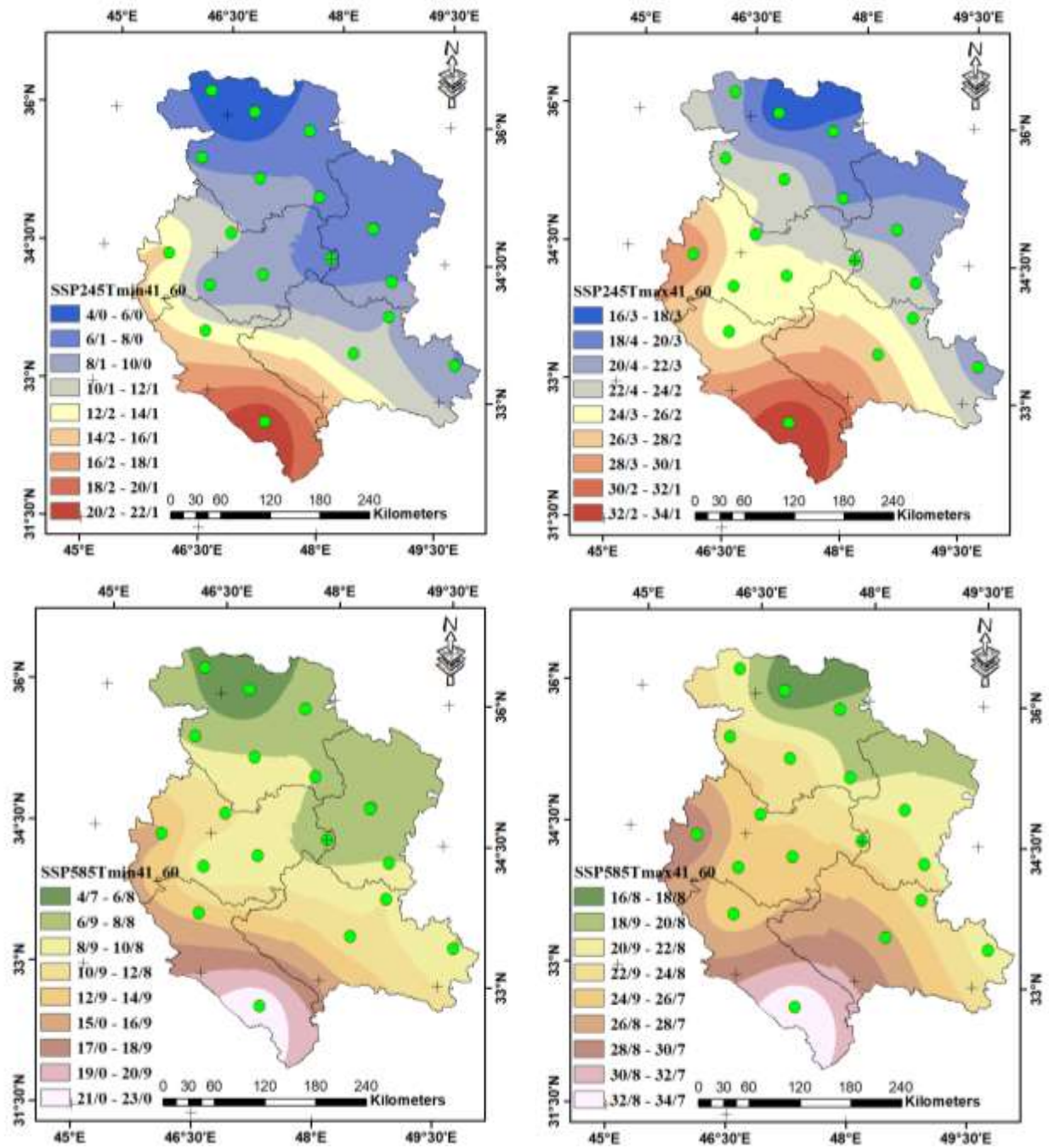




شکل ۱۰. نقشه فضایی وضعیت دمای کمینه (سمت چپ) و دمای بیشینه (سمت راست) بر اساس سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه در دوره آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱)

۶/۱ درصد و افزایش ۱/۳ درجه سلسیوسی واقع در جنوب منطقه به عنوان جنوبی ترین ایستگاه مورد مطالعه را نشان می دهد. اما در افزایش دمای بیشینه بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه زرینه در شمال منطقه با ۶/۶ درصد تغییرات و افزایش ۱ درجه سلسیوس دمایی و مشابه با دمای کمینه کمترین افزایش دمای بیشینه نسبت به میانگین دمای بیشینه ایستگاه ها مربوط به دهلران در جنوب منطقه می باشد. این تغییرات نشان می دهد که تغییرات دمای بیشینه در ارتفاعات بیشتر از تغییرات در مناطق پست و کم ارتفاع می باشد. که این مورد در مباحث باغبانی و فنولوژی گیاهان بسیار حائز اهمیت است و می تواند مخاطرات فراوانی را ایجاد کند.

شکل ۱۰ نتایج مربوط به وضعیت دمایی کمینه و بیشینه را در ایستگاه های مورد بررسی را در دوره آینده نزدیک ۲۰۴۰ - ۲۰۲۱ را بر اساس سناریوهای خوشبینانه SSP2.4.5 و بدبینانه SSP5.8.5 نشان می دهد. بطور متوسط دمای کمینه و دمای بیشینه مشابه با دوره مشاهداتی در جنوب به بیشترین حالت و در شمال و شمال شرق کمترین دماها آینده نگری شده اند. بطور متوسط بر اساس هر دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانه در متغیر دمای کمینه بیشترین درصد تغییرات با مقدار ۴۱/۸ مربوط به ایستگاه سرپل ذهاب با افزایش ۲ درجه سلسیوس واقع در غرب منطقه مطالعاتی و متوسط کمترین درصد تغییرات مربوط به ایستگاه دهلران با



شکل ۱۱. نقشه فضایی وضعیت دمای کمینه (سمت چپ) و دمای بیشینه (سمت راست) بر اساس سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه در دوره میانه نزدیک

(۲۰۴۱-۲۰۶۰)

شکل ۱۱ نتایج مربوط به وضعیت دمای کمینه و بیشینه را در ایستگاه‌های مورد بررسی را در دوره آینده میانه ۲۰۶۰-۲۰۴۱ را بر اساس سناریوهای خوشبینانه SSP2.4.5 و بدبینانه SSP5.8.5 نشان می‌دهد. بطور متوسط بر اساس هر دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانه در متغیر دمای کمینه بیشترین درصد تغییرات در ایستگاه‌های سقز و زرینه به ترتیب با مقدار ۵۴/۶ و ۵۴/۲ درصد تغییرات نسبت به دوره پایه و افزایش ۳/۳ و ۲/۴ درجه سلسیوس واقع در شمال منطقه مطالعاتی و متوسط کمترین درصد تغییرات مربوط به ایستگاه دهلران با ۱۰/۵ درصد و افزایش ۲/۴ درجه سلسیوس واقع در جنوب منطقه به عنوان جنوبی ترین ایستگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. اما در افزایش دمای بیشینه بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه زرینه و قروه در شمال منطقه با ۱۱/۱ و ۱۰/۵ درصد تغییرات و افزایش ۱/۸ تا ۲/۱ درجه سلسیوس دمایی و کمترین افزایش دمای بیشینه نسبت به میانگین دمای بیشینه ایستگاه‌ها مربوط به دهلران در جنوب منطقه با ۵/۴ درصد تغییرات می‌باشد. در صد تغییرات در مناطق ارتفاعی و عرض‌های بالا چشمگیر تر است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

پیش‌نمایی روند تغییرات دمای کمینه و بیشینه، از آن جهت حائز اهمیت است که این پارامترها به طور مستقیم بر مراحل حساس فنولوژی گیاه (از جوانه‌زنی تا رسیدگی)، طول دوره رشد، نیاز گرمایی (درجه-روز رشد) و در نهایت عملکرد محصول تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، آگاهی از این تغییرات در آینده، امکان برنامه‌ریزی برای تعدیل تنش‌های گرمایی و سرمایی، تنظیم تقویم زراعی، و مدیریت بهینه‌ی مصرف آب در مراحل بحرانی رشد را فراهم می‌آورد تا اثرات منفی تغییر اقلیم بر بهره‌وری کشاورزی تا حد امکان کاهش یابد. اهمیت پیش‌نگری دمایی در راستای توجه به مباحث کشاورزی و باغبانی و فنولوژی محصولات و حتی تبخیر و تعرق که رابطه مستقیم با دما دارد برای منطقه بسیار حائز اهمیت است. لذا با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی ۱۵ مدل CMIP6 و همچنین همادی کردن مدل‌های برتر به روش آنتروپی در شبیه‌سازی تغییرات دمای کمینه و بیشینه و همچنین پیش‌نگری تغییرات و اثرات آن‌ها در ایستگاه‌های غرب کشور تحت دو سناریوی SSP2-4.5 و SSP5-8.5 در دو دوره زمانی

آینده (۲۰۴۰-۲۰۲۱، و ۲۰۶۰-۲۰۴۱) نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۵-۲۰۱۴) پرداخته شد. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 مورد بررسی با استفاده از سنج‌های خطاسنجی مختلف نشان داد که روش همادی کردن مورد بررسی با در نظر گرفتن عدم قطعیت از دقت مناسبی نسبت به مدل‌های منفرد جهت شبیه‌سازی دمایی در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج حاصل از پیش‌نگری تغییرات دمای کمینه نشان داد که دمای کمینه به طور متوسط سناریوهای مورد بررسی در دوره آینده نزدیک، ۱۶/۴۹ درصد و در دوره آینده دور، ۲۹/۷ درصد افزایش خواهد یافت. در حالت کلی در هر دو دوره مورد بررسی میزان دما افزایش پیدا خواهد کرد که میزان آن در دوره آینده نزدیک برابر با ۱/۴ درجه سلسیوس و در دوره آینده دور برابر با ۲/۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره مشاهداتی خواهد بود. که در این بین برای متغیرهای دمای کمینه و بیشینه ایستگاه سقز در هر دوره زمانی بیشترین افزایش دما و ایستگاه خرم‌آباد کمترین افزایش دما را نشان می‌دهد. در مناطق پر ارتفاع و عرض‌های بالا وضعیت دمای کمینه و بیشینه تأثیرپذیری بیشتری از تغییرات را نسبت به مناطق عرض‌های پایین و کم ارتفاع از خود نشان می‌دهند. نتایج این پژوهش، یافته‌های مطالعات پیشین از جمله Mesgari et al, 2023 و Hamidianpour et al, 2023 را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که شدت تغییرات دمایی در نواحی سردسیر و کوهپایه‌ای واقع در عرض‌های جغرافیایی بالا، بیشتر از نواحی گرمسیر و کم ارتفاع در عرض‌های پایین‌تر است و روند افزایش دما در هر دو منطقه مشاهده می‌شود. از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان در مقابله با معضلاتی همچون مخاطرات دمایی و فنولوژی استفاده نمود و می‌تواند در اتخاذ برنامه‌های لازم برای سازگاری با تغییرات دمایی و کاهش پیامدهای تغییرات اقلیمی مفید باشد.

References

- Adeyeri, O. E., Zhou, W., Laux, P., Ndehedehe, C. E., Wang, X., Usman, M., & Akinsanola, A. A. (2023). Multivariate drought monitoring, propagation, and projection using bias-corrected General Circulation Models. *Earth's Future*, 11 (4). e2022EF003303. <https://doi.org/10.1029/2022EF003303>
- AghaKouchak, A., Cheng, L., Mazdiyasni, O., & Farahmand, A. (2014). Global warming and changes in risk of concurrent climate extremes: Insights from the 2014 California drought. *Geophysical Research Letters*, 41, 8847–8852.
- Chen, C. C., Wang, Y. R., Wang, Y. C., Lin, S. L., Chen, C. T., Lu, M. M., & Guo, Y. L. L. (2021b). Projection of future temperature extremes, related mortality, and adaptation due to climate and population changes in Taiwan. *Science of The Total Environment*, 760, 143373. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143373>.
- Chen, G., Gu, X., Liu, Y., Shi, X., Wang, W., & Wang, M. (2021a). Extreme cold events reduce the stability of mangrove soil mollusc community biomass in the context of climate impact. *Environmental Research Letters*, 16(9), 094050. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1b5b>.
- Chen, H.P., Sun, J.Q., Lin, W.Q., & Xu, H.W. (2020). Comparison of CMIP6 and CMIP5 models in simulating climate extremes. *Science Bulletin* 65:1415–1418.
- Estoque, R. C., Ooba, M., Togawa, T., & Hijioka, Y. (2020). Projected land-use changes in the Shared Socioeconomic Pathways: Insights and implications. *Ambio*, 49, 1972-1981. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01338-4>.
- Fabian, P. S., Kwon, H. H., Vithanage, M., & Lee, J. H. (2023). Modeling, challenges, and strategies for understanding impacts of climate extremes (droughts and floods) on water quality in Asia: A review. *Environmental Research*, 225, 115617. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115617>.
- Fang, G.H., Yang, J., Chen, Y. N., & Zammit, C. (2015). Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(6), 2547-2559. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2547-2015>.
- Feyissa, T. A., Demissie, T. D., Saathoff, F., & Gebissa, A. (2024). Hydrological response projection to the potential impact of climate change under CMIP6 model scenarios in the Omo River Basin, Ethiopia. **Results in Engineering**, 23, 102708.
- Fowler, H J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology*, 27: 1547-1578.
- Ghadimi, M., Moghbel, M., Gholamnia, M. et al. (2019). Snow line elevation variability under the effect of climate variations in the Zagros Mountains: case study of Oshtorankooh. *Environ Earth Sci* 78, 348 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8348-3>.
- Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Bavani, A.M., Wang, D. & Madani K. (2013). Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud River Basin. *Science of the Total Environment*, 442: 405–419. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.029>.
- Hamidianpour, M. & Shoja, F. (2022), Introduction to Methods and Techniques of Climate Modeling and Climate Change, Sistan and Baluchestan University Press, Zahedan, Iran. (In persian).
- Hamidianpour, M., Salighe, M., & Fallah Qalheri G.A. (2013). Application of various interpolation methods for spatial drought monitoring and analysis, case: Khorasan Razavi Province. *Journal of Geography and Development*, 11(30), 57-70. doi: 10.22111/gdij.2014.242. (In persian).
- Hamidianpour, M., Shoja, F., & Khashei-Siuki, A. (2023). Assessment and projections of climate change impacts on cotton water requirement: A case study. *International Journal of Global Warming*, 31(2), 242-261. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2023.133986>.
- Holthuijzen, M., Beckage, B., Clemens, P. J., Higdón, D., & Winter, J. M. (2022). Robust bias-correction of precipitation extremes using a novel hybrid empirical quantile mapping method. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-20. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04035-2>.
- Hu, T S., Lam, K.C., & Ng, S T. (2001). River flow time series prediction with a range dependent neural network. *Hydrological Science Journal*, 46: 729-745. <https://doi.org/10.1080/02626660109492867>.
- Kay, A.L., Davies, H.N., Bell, V.A. & Jones, R.G. (2009). Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. *Climatic Change* 92, 41–63. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9471-4>.
- IPCC. (2013). Climate Change 2013, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the

- Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- IPCC. (2021). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Karl, T. R., Arguez, A., Huang, B., Lawrimore, J. H., McMahon, J. R., Menne, M. J., ... & Zhang, H. M. (2015). Possible artifacts of data biases in the recent global surface warming hiatus. *Science*, 348(6242), 1469-1472. DOI:10.1126/science.aaa5632.
- Karydas, C. G., Gitas, I. Z., Koutsogiannaki, E., Lydakakis-Simantiris, N., & Silleos, G. N. (2009). Evaluation of spatial interpolation techniques for mapping agricultural topsoil properties in Crete. *EARSel eProceedings*, 8(1), 26-39.
- Khan, F., & Pilz, J. (2018). Modelling and sensitivity analysis of river flow in the Upper Indus Basin, Pakistan. *International Journal of Water*, 12(1), 1-21. <https://doi.org/10.1504/IJW.2018.090184>.
- Legates, D. R., & McCabe Jr, G. J. (1999). Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), 233-241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>
- Lin, J. Y., Cheng, C. T., & Chau, K. W. (2006). Using support vector machines for long-term discharge prediction. *Hydrological Science Journal*, 51: 599-612. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.4.599>
- Mathbout, S., Martin-Vide, J., & Bustins, J.A.L. (2023). Drought characteristics projections based on CMIP6 climate change scenarios in Syria. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 50, 101581. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101581>.
- Meehl GA, Tebaldi C, & Nychka D (2004) Changes in frost days in simulations of twentyfirst century climate. *Clim Dyn* 23(5):495-511. <https://doi.org/10.1007/s00382-004-0442-9>
- Mesgari, E., Hosseini, S. A., Houshyar, M., Kaseri, M., & Safarpour, F. (2023). Future projection of early fall and late spring frosts based on EC-earth models and shared socioeconomic pathways (SSPs) scenarios over Iran plateau. *Natural Hazards*, 119(3), 1421-1435. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06155-y>.
- Mirzabaev, A., Kerr, R. B., Hasegawa, T., Pradhan, P., Wreford, A., von der Pahlen, M. C. T., & Gurney-Smith, H. (2023). Severe climate change risks to food security and nutrition. *Climate Risk Management*, 39, 100473. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100473>.
- Namroodi, M., Hamidianpour, M., & Poodineh, M. (2021). Spatio-temporal analysis of changes in heat and cold waves across Iran over the statistical period 1966-2018. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(10), 857. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07161-9>
- NOAA, (1995). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (1995) The July 1995 Heat Wave Natural Disaster Survey Report, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, Silver Spring, MD, December.
- Pierce, D. W., Barnett, T. P., Santer, B. D., & Gleckler, P. J. (2009). Selecting global climate models for regional climate change studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(21), 8441-8446. <https://doi.org/10.1073/pnas.0900094106>.
- Pomerol, J.C., & Romero, S.B. (2000) Multicriterion decision in management: principles and practice. Kluwer Academic, Netherlands
- Qin, J., Su, B., Tao, H., Wang, Y., Huang, j., & Jiang, T. (2021). Projection of temperature and precipitation under SSPs-RCPs Scenarios over northwest China. *Front. Earth Sci.* 15, 23-37. <https://doi.org/10.1007/s11707-020-0847-8>.
- Reder, A., Fedele, G., Manco, I., & Mercogliano, P. (2025). Estimating pros and cons of statistical downscaling based on EQM bias adjustment as a complementary method to dynamical downscaling. *Scientific Reports*, 15(1), 621. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84527-5>.
- Richter, I., & Tokinaga, H. (2020). An overview of the performance of CMIP6 models in the tropical Atlantic: mean state, variability, and remote impacts. *Climate Dynamics*, 55, 2579-2601. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05409-w>.
- Saeed, A., Ali, S., Khan, F., Muhammad, S., Reboita, M. S., Khan, A. W., ... & Pongpanich, S. (2023). Modelling the impact of climate change on dengue outbreaks and future spatiotemporal shift in Pakistan. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(6), 3489-3505. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01429-z>
- Salahi, B., Goodarzi, M., & Hosseini, S. A. (2017). Predicting the temperature and precipitation changes during the 2050s in Urmia Lake Basin, Watershed Engineering and Management, 8(4): 425-438. <https://doi.org/10.22092/ijwmse.2016.107179>. (In persian).
- Schmitt, J., Offermann, F., Söder, M., Frühauf, C., & Finger, R. (2022). Extreme weather events cause significant crop yield losses at the farm level in

- German agriculture. Food Policy, 112, 102359. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102359>.
- Sedaghatkerdar, A., & Fattahi, E. (2008). Drought early warning methods over Iran, Journal of Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan; 6 (11): 59-76. (In persian).
- Sivakumar, M. V., Motha, R. P., & Das, H. P. (2005). Natural Disaster and Extreme Events in Agriculture. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-28307-2_20
- Seelatha, K., & Anand Raj, P. (2021). Ranking of CMIP5-based global climate models using standard performance metrics for Telangana region in the southern part of India. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 27(sup1), 556-565. <https://doi.org/10.1080/09715010.2019.1634648>.
- Stillman, J. H. (2019). Heat waves, the new normal: summertime temperature extremes will impact animals, ecosystems, and human communities. Physiology, 34(2), 86-100. <https://doi.org/10.1152/physiol.00040.2018>.
- Sweet, W. V., Hamlington, B. D., Kopp, R. E., Weaver, C. P., Barnard, P. L., Bekaert, D., ... & Zuzak, C. (2022). Global and regional sea level rise scenarios for the United States: Updated mean projections and extreme water level probabilities along US coastlines. National Oceanic and Atmospheric Administration. <https://oceanservice.noaa.gov/hazards/sealevelrise/noaa-nostechrpt01-global-regional-SLR-scenarios-US.pdf>.
- Wang, D., Chen, Y., Jarin, M., & Xie, X. (2022). Increasingly frequent extreme weather events urge the development of point-of-use water treatment systems. npj Clean Water, 5(1), 36. <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00182-1>.
- World Health Organization (WHO) (2018), Heat and health. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>. Accessed on 26 January, 2024).
- World Bank, (2024). World Bank. Agriculture, forestry, and fishing, value added (% of GDP). (2024). URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS> (Access on 30 January 2024).
- You, Q., Cai, Z., Wu, F., Jiang, Z., Pepin, N., & Shen, S. S. (2021). Temperature dataset of CMIP6 models over China: evaluation, trend and uncertainty. Climate Dynamics, 57, 17-35. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-05691-2>
- zarrin, A. and Dadashi-Roudbari, A. (2021). Projected changes in temperature over Iran by 2040 based on CMIP6 multi-model ensemble. Physical Geography Research, 53(1), 75-90. doi: 10.22059/jphgr.2021.308361.1007551. (In persian).
- Zarrin, A., dadashi-rodari, 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. <https://doi.org/10.30499/ijg.2020.249997.1292>. (In persian).
- Zhang, X., Hua, L., & Jiang, D. (2022). Assessment of CMIP6 model performance for temperature and precipitation in Xinjiang, China, Atmospheric and Oceanic Science Letters, 15(2):100128. <https://doi.org/10.1016/j.aosl.2021.100128>.