Journal of Natural Environment Hazards
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.14, Issue 44, June 2025

Forecasting the maximum temperature of the future periods in northwest Iran based on the CMIP6 climate models

Roghayeh Maleki Meresht[1], Bromand Salahi[2*], Mahnaz Saber[3]

1. Postdoctoral Researcher, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2. *Corresponding Author*, Professor of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Postdoctoral Researcher, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 29 November 2023
Revised: 10 August 2024
Accepted: 17 September 2024

Keywords:
Maximum temperature,
Northwest of Iran, CMIP6.

ABSTRACT

One of the most important challenges for mankind is the issue of climate change and how to face the dangers caused by it. The purpose of this research was to forecast the maximum temperature in northwest Iran based on CMIP6 climate models. For this purpose, after trending the maximum temperature data of 12 selected stations in the northwest of Iran from 1985 to 2014 using the Man-Kendall test, maximum temperatures were simulated in SDSM6.1 using (SSP 2-4.5) and (SSP 5-8.5) scenarios of CanEsm5, MPI-ESMI-2HR models and predicted for the next 30 years. To evaluate the performance of CMIP6 models and compare the basic and predicted values, 3 statistical measures are used. Including Mean Square Error (MSE), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Error (MAE). The results of trending by the Man-Kendall method indicated a significant upward trend at the 99% confidence level in all stations except Jolfa station. The results of maximum temperature modelling showed that the CanESM5 model has less error and more accuracy in predicting the maximum temperature compared to the MPI-ESMI-2HR model. According to the results, an increase in temperature will be experienced in all stations and all months of the year in the coming decades, and the amount of this increase was higher in (SSP 5.8.5) scenario. In general, according to the findings, the highest percentage of temperature increase in all stations will occur in the cold months and often in late autumn and winter. Based on the results, the maximum temperature in all stations will increase from 0.2℃ to 2℃. Tekab, Urmia, and Maragheh stations with a 12-13% increase, and Mako and Jolfa with a 6% increase will experience the highest and lowest increase in maximum temperature, respectively, compared to other stations.

Cite this article: Maleki Meresht, R. , Salahi, B. and Saber, M. (2025). Forecasting the maximum temperature of the future periods in northwest Iran based on the CMIP6 climate models. Journal of Natural Environmental Hazards, 14(44), 1-18. DOI: 10.22111/jneh.2024.47321.2006

© Bromand Salahi
Publisher: University of Sistan and Baluchestan
DOI: 10.22111/jneh.2024.47321.2006

* Corresponding Author Email: salahi@uma.ac.ir

مخاطرات محیط طبیعی
شاپا چاپی: ۲۶۷۶-۴۳۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۳۸۵
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۳، تیر ۱۴۰۴

پیش‌نگری دمای بیشینه دوره‌های آتی در شمال غرب ایران براساس برون‌داد مدل‌های اقلیمی CMIP6

رقیه ملکی مرشت[۱]، برومند صلاحی[۲*]، مهناز صابر[۳]

۱. پژوهشگر پسادکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۲. استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل (نویسنده مسئول)
۳. پژوهشگر پسادکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۸

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش : ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

واژه‌های کلیدی:
دمای حداکثر، شمال غرب ایران، CMIP6.

چکیده

یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی بشر، مسأله تغییر اقلیم و چگونگی رویارویی با مخاطرات ناشی از آن است. هدف از این پژوهش، پیش‌بینی دمای حداکثر شمال غرب ایران بر اساس مدل‌های اقلیمی CMIP6 بود. بدین منظور داده‌های متغیر دمای حداکثر ۱۲ ایستگاه منتخب شمال غرب ایران طی دوره آماری ۲۰۱۴-۱۹۸۵ از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید و پس از روندیابی با بهره‌گیری از آزمون من- کندال، تحت دو سناریوی متوسط (SSP 2-4.5) و بدبینانه (SSP 5-8.5) مدل‌های CanEsm5، MPI-ESMI-2HR، در نرم‌افزار SDSM6.1 شبیه‌سازی و برای ۳۰ سال آتی پیش‌بینی گردید. جهت ارزیابی عملکرد مدل‌های CMIP6 و مقایسه مقادیر پایه و پیش‌بینی‌شده، از ۳ سنجه آماری شامل: میانگین مربعات خطا (MSE)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) بهره گرفته شد. نتایج حاصل از روندیابی به روش من- کندال حاکی از روند صعودی معنادار در سطح اطمینان ۹۹٪ در همه ایستگاه‌ها به‌جز ایستگاه تکاب بود که روند صعودی دما در آن معنادار نبود. نتایج مدل‌سازی دمای حداکثر نشان داد که مدل CanESM5 در مقایسه با مدل MPI-ESMI-2HR در پیش‌بینی دمای حداکثر خطای کمتر و دقت بیشتری دارد. طبق پیش‌نگری انجام‌شده بر اساس سناریوهای دو مدل، طی دهه‌های آتی در همه ایستگاه‌ها و در کل ماه‌های سال افزایش دما تجربه خواهد شد که میزان این افزایش تحت سناریوی بدبینانه (SSP 5.8.5) بیشتر بود. در مجموع طبق یافته‌های این پژوهش، بالاترین درصد افزایش دما در همه ایستگاه‌ها در ماه‌های سرد سال و اغلب در اواخر پاییز و زمستان رخ خواهد داد. بر اساس نتایج، دمای بیشینه در همه ایستگاه‌ها ۰/۲ الی ۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت. ایستگاه‌های تکاب، ارومیه و مراغه با ۱۲ الی ۱۳ درصد افزایش، ماکو و جلفا با ۶٪ افزایش به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان افزایش دمای بیشینه را در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها تجربه خواهند کرد.

استناد: ملکی مرشت, رقیه , صلاحی, برومند و صابر, مهناز . (۱۴۰۴). پیش‌نگری دمای بیشینه دوره‌های آتی در شمال غرب ایران براساس برون‌داد مدل‌های اقلیمی CMIP6. مخاطرات محیط طبیعی, ۱۴(۴۴)، ۱۸-۱. DOI: 10.22111/jneh.2024.47321.2006

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

© رقیه ملکی مرشت، برومند صلاحی*، مهناز صابر.

*- برومند صلاحی (نویسنده مسئول) Email: salahi@uma.ac.ir

مقدمه

تغییر اقلیم و مؤلفه‌های اقلیمی یکی از مباحث روز و مورد توجه پژوهشگران در حوزه آب و هواشناسی است. شمال غرب ایران به‌عنوان یکی از مناطق سردسیر کشور به‌دلیل بهره‌مندی از آب‌وهوای مطلوب و خنک و جاذبه‌های گردشگری خاص و منحصربه‌فرد ازجمله پیست‌های اسکی، همواره پذیرای گردشگران داخلی و خارجی بوده است. با وقوع گرمایش جهانی و افزایش انکارناپذیر دما در نقاط مختلف، منطقه شمال غرب ایران نیز دچار تحولاتی شده و خواهد شد و افزایش دما در این منطقه قطعاً از جاذبه‌های گردشگری منطقه کاسته و اقتصاد آن را متضرر خواهد ساخت. امروزه اکثر محققان علوم جوی بر مسئله گرمایش زمین اتفاق‌نظر دارند. طبق بررسی‌های (اسکوت[1]، ۲۰۰۸)، تغییرات اقلیمی تهدیدی جدی بر تفریحات زمستانه شمال شرق ایالات‌متحده بوده و پیامدهای بالقوه آن بر کسب وکار و فعالیت‌های اجتماعی منطقه که ارتباط تنگاتنگی با توریسم زمستانه دارند، قابل‌ملاحظه است. مطالعات (هانسی[2]، ۲۰۰۷) نیز نشان داده است که تحت تأثیر گرمایش جهانی و افزایش دما، پوشش برف بین ۱۰ الی ۳۹ درصد در دهه ۲۰۲۰ و ۲۲ الی ۸۵٪ در ۲۰۵۰ کاهش خواهد یافت. با توجه به ارزیابی گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، میانگین سالانه دمای جهانی در دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۸۸۰ به میزان ۰/۸۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است و این افزایش دما به‌طور مستقیم سبب تغییر در فراوانی وقوع خشک‌سالی، سیل و طوفان خواهد شد و بنابراین مدیریت صحیح و کارآمد در مناطقی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که بیشتر تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم هستند، ضروری می‌باشد (سو- یان و همکاران[3]، ۲۰۲۰؛ به نقل از روشنی و حمیدی، ۱۴۰۰). تحولات آب-وهوایی اخیر که تحت تأثیر تغییر اقلیم رخ داده سبب نوسانات متغیرهای اقلیمی به‌ویژه دما، طی دهه‌های اخیر شده و به لحاظ اهمیتی که داشته، مورد توجه و بررسی بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته و عملکرد مدل‌های GCM در شبیه‌سازی و پیش‌بینی ویژگی‌های دما در مقیاس‌های مختلف ارزیابی و در قالب مطالعات متعدد، در داخل و خارج از کشور ارزیابی گردیده است. ازجمله این مطالعات می‌توان به پژوهش سانگ و همکاران[4] (۲۰۱۲) اشاره کرد که تغییر اقلیم قرن ۲۱ را بر اساس مدل‌های CMIP6 پیش‌بینی کردند. طبق یافته‌های آنان دمای جهانی به میزان ۱/۹۲ تا ۵/۲ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. پیش‌بینی کوی و همکاران[5] (۲۰۲۱) نیز نشان داده است دمای فلات تبت بر اساس شبیه‌سازی مدل‌های CMIP6 همانند دوره مشاهداتی، در دوره پیش‌بینی‌شده نیز در تمام فصول روند افزایشی خواهند داشت. در پژوهش زارعی و همکاران (۱۳۹۷)، سه سناریوی RCP2.6,RCP8.5،RCP4.5 برای بررسی تغییرات اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری استفاده شده است و آنان نیز همچون اغلب پژوهشگران، افزایش دما در مقیاس سالانه را تحت هر سه سناریو بین ۱/۶ تا ۱/۸ درجه سلسیوس پیش‌بینی کرده‌اند. بر اساس پژوهش‌های کثیری و همکاران (۱۳۹۹)، در سواحل جنوبی دریای خزر تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5، RCP2.6 مدل CanESM2 در تمامی ایستگاه‌ها به‌جز یک ایستگاه دمای حداقل و حداکثر افزایش خواهد یافت. همچنین، یافته‌های زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۰) که به پیش‌نگری دمای ایران بر اساس رویکرد همادی چندمدلی (MME) با کاربست مدل‌های CMIP6 پرداخته‌اند، نشان داده است که تحت

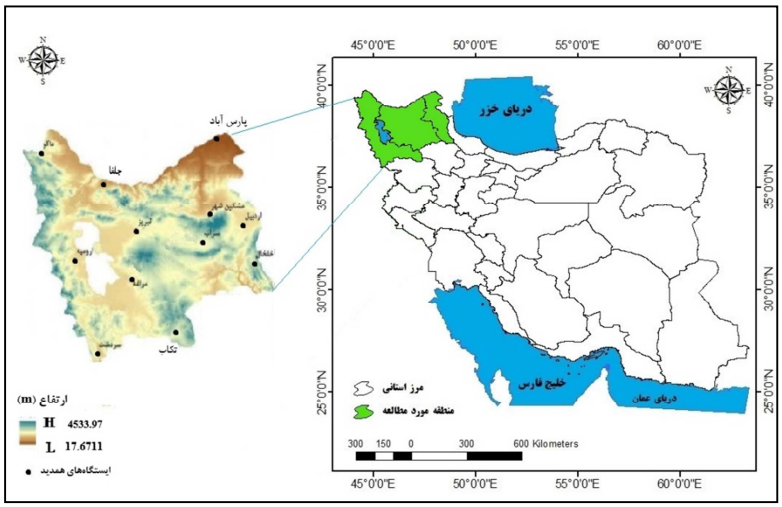
1. scott
2. Hennessy
3. Su-Yuan et al
4. Sung
5.Cui et al

سناریوهای SSP3-7.0 وSS5-8.5، میانگین دمای سالانهٔ کشور به‌ترتیب ۱۳/۱ و ۱/ ۲۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت. طبق پیش‌بینی انجام‌شده توسط عالی‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) در حوضه سیمره، دمای حداکثر ۲/۱۷ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که بیشترین افزایش مربوط به ماه‌های گرم سال خواهد بود. مطالعات داروند (۱۴۰۰) افزایش دما در تمام فصول را تأیید نموده است. نتایج پژوهش صی محمدی و همکاران (۱۴۰۰) نیز حاکی از روند افزایشی دما در شهر کرمانشاه است. محمدی و همکاران (۱۴۰۰) به پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی مولد آب‌وهوایی LARS-WG در زاگرس جنوبی پرداختند. نتایج پژوهش آنان حاکی از روند افزایش دما و کاهش بارش بوده است. همچنین طبق بررسی‌های زارعیان (۱۴۰۱)، بر اساس خروجی مدل‌های CMIP6 در اثر تغییر اقلیم و تحت تمامی سناریوهای انتشار، دمای سالانه استان یزد در ایستگاه‌های مختلف بین ۰/۲ تا ۰/۶ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت که بیشترین میزان افزایش در فصل بهار خواهند بود. عبدالعلی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲) نیز تأیید کرده‌اند که بر اساس مدل‌هایCMIP6 افزایش دمای متوسط سالانه حوضه ارومیه در آینده نزدیک تحت سناریوهای خوش‌بینانه و بدبینانه به‌ترتیب ۱/۵ و ۱/۸ درجه سلسیوس و در آینده دور به‌ترتیب ۱/۴ و ۴ درجه سلسیوس خواهد بود. بررسی پیشینه‌های ارائه‌شده نشان می‌دهد که در اغلب مطالعات انجام‌شده با مدل‌های CMIP6 و سناریوهای SSP پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای آینده دور و در محدوده کوچک انجام گرفته که این امر احتمال خطای پیش‌بینی را افزایش می‌دهد. در این پژوهش سعی شده است تا ایستگاه‌هایی انتخاب شود که ضمن تناسب توزیع آن‌ها در سطح منطقه مورد مطالعه، تعداد ایستگاه‌ها جهت ارائه نقشه پراکندگی دما در دوره مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده و مقایسه نتایج مناسب باشد. همچنین با توجه به اینکه ایستگاه‌های منتخب این پژوهش، از لحاظ اقتصاد و صنعت توریسم تأثیرپذیری بیشتری از تغییرات اقلیم و افزایش دما دارند. چراکه اغلب این ایستگاه-ها، از مناطق مهم گردشگری و کشاورزی شمال غرب ایران هستند و علی‌رغم اهمیتی که دارند، کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بنابراین استفاده از مدل‌های جدید و مورد تأیید پژوهشگران و پیش‌بینی دمای حداکثر آینده نزدیک در محدوده مورد مطالعه، با مدل‌های GCM نقش قابل‌ملاحظه‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت آینده منطقه خواهد داشت؛ چراکه در این صورت میزان افزایش دما در بدبینانه‌ترین حالت مشخص می‌گردد و آمادگی لازم جهت مقابله با خطرات احتمالی فراهم شده و آسیب‌های احتمالی ناشی از افزایش دما در منطقه به حداقل می‌رسد. همچنین، طبق پیشینه‌های ارائه‌شده، در مناطق مختلف جهان الگوها و روندهای دمایی متنوعی به‌دست آمده است که این امر عدم قطعیت در رابطه با آثار تغییر اقلیم را تشدید و لزوم مطالعه حوضه‌ای و منطقه‌ای را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون شمال غرب ایران تقویت می‌نماید. در این راستا، مهم‌ترین هدف این پژوهش، پیش‌بینی دمای حداکثر دوره‌های آتی در شمال غرب ایران بر اساس برون داد مدل‌های اقلیمی CMIP6 است و با توجه توضیحات ارائه‌شده، نتایج حاصل می‌تواند جهت کاهش آثار مخاطرات اقلیمی ناشی از افزایش دما راهگشای مدیران و برنامه-ریزان در منطقه شمال غرب ایران باشد.

داده‌ها و روش‌ها

ویژگی منطقه مورد مطالعه

شمال غرب ایران پهنه‌ای است که استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی و اردبیل را در بر می‌گیرد. این بخش ۷/۲ درصد از کل مساحت کشور را به خود اختصاص داده و یکی از قطب‌های کشاورزی ایران می‌باشد. به‌طوری‌که دارای سطح زیر کشت محصولات زراعی به مساحت ۲۳۴۵۵۹۵ هکتار می‌باشد (میرزایی و همکاران، ۱۴۰۱). در شکل (۱) نقشه منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۱: نقشه محدوده مورد مطالعه. *منبع: نگارندگان*

این پژوهش در دو بخش انجام می‌گیرد:

بخش اول، تحلیل روند تغییرات دمای حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در شرایط کنونی است. به‌منظور ارزیابی و تحلیل روند، سری‌های زمانی طولانی‌مدت متغیرهای اقلیمی مورد نیاز است تا از این طریق به‌توان تغییرات الگوهای آب‌وهوایی را به‌درستی شناسایی کرد و روند دقیق متغیرها را نشان داد (شجاع و شمسی‌پور، ۱۴۰۲). روش‌های مختلفی جهت تحلیل روند متغیرهای آب‌وهوایی وجود دارد. در این پژوهش از مهم‌ترین آن‌ها که آزمون ناپارامتری من - کندال است، بهره گرفته شد و بدین منظور از میانگین سالانه داده‌های دمای حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه برای دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵) استفاده گردید تا روند سالانه متغیر یادشده طی دوره پایه در ایستگاه‌های منتخب مشخص شود. دلیل استفاده از این روش، کارایی آن برای تحلیل روند سری‌های زمانی است که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کند و نیز توانایی تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی را با وجود داده‌های گم‌شده دارد. همچنین وابسته نبودن به توزیع آماری خاص و اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی، از مزایای استفاده از این روش است (تورگی و ارکن[1]، ۲۰۰۵). طبق مطالعات پژوهشگران، آزمون ناپارامتریک من- کندال جزء پرکاربردترین روش‌های تحلیل روند در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی است (امیر رضائیه و همکاران؛ اسود۲ و همکاران، ۲۰۲۰؛ شجاع و شمسی‌پور، ۱۴۰۲).

روش گرافیکی آزمون من - کندال

1. Turgay & Ercan
2.Aswad et al

این آزمون در سطح اطمینان ۹۵٪ است. در این روش تمامی تحلیل‌ها و تفسیرها با توجه به نمودارهای حاصل از مقادیر آماره U(ti) و U′ (ti) انجام می‌شود. در نقطه شروع، دو نمودار U(ti) و U′ (ti) یکدیگر را قطع خواهند کرد. زمانی که قدر مطلق U از ۱/۹۶ بزرگ‌تر باشد، سری زمانی معنی‌دار است. به‌عبارتی‌دیگر، اگر نمودار U(ti) از دو خط Y= 1.96 و Y= -1.96 عبور کند، می‌توان روند موجود در سری‌ها را معنادار دانست. درصورتی‌که $U > 0$ باشد یا نمودار U(ti) در مجموع سیر صعودی داشته باشد، روند افزایشی، معنادار درنظر گرفته می‌شود. اگر $U < 0$ روند معنادار و از نوع کاهشی است. درصورتی‌که نمودارهای U(ti) و U′ (ti) در محدوده‌ی 1.96 و 1.96- با هم تلافی کنند، نشان‌دهنده تغییر ناگهانی در میانگین است. در این پژوهش از آزمون من- کندال دنباله‌ای بر اساس نظر سنیرس (۱۹۹۰) بهره گرفته شد که در آن مقادیر آماره U(ti) و U′ (ti) به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

ابتدا داده‌ها بر اساس سال با رتبه (yi) مرتب شد. در مرتبه بعد، رتبه کوچک‌تری (ti) محاسبه گردید. رتبه کوچک‌تری هر داده عبارت است از تعداد آن داده‌ها (ni) قبل از داده مورد نظر (yi) که از آن کوچک‌تر هستند.

$$t_i = \sum_k^i = 1^{n_k} \quad (۱)$$

$$E(t_i) = \frac{i(i-1)}{4} \quad (۲)$$

$$var(t_i) = \frac{[i(i-1)(2i+5)]}{72} \quad (۳)$$

$$u(t_i) = \frac{[t_i - E(t_i)]}{\sqrt{Var(t_i)}} \quad (۴)$$

در روابط بالا $E(t_i)$ و $var(t_i)$ به‌ترتیب مقادیر متوسط و واریانس t_i می‌باشند. U′ (t_i) دقیقاً به روش U(t_i) محاسبه می‌شود. بدین معنی که می‌توان فرض کرد انتهای سری، ابتدای آن باشد. داده‌های U (t_i) و U′ (t_i) بر اساس سال وقوع مرتب و رتبه‌بندی می‌شوند؛ با این تفاوت که سال وقوع در U (t_i) با سیر صعودی، اما در U′ (t_i) با سیر نزولی مرتب می‌شوند (ملکی نژاد و همکاران، ۱۳۹۲).

مدلGCM و سناریوهای SSP

بخش دوم پژوهش، واکاوی آثار تغییرات اقلیمی بر الگوهای دمای حداکثر محدوده‌ی مورد مطالعه است. بدین منظور مدل‌های گردش عمومی (GCM) از فاز ششم پروژه مقایسه‌ای مدل جفت‌شده (CMIP6) انتخاب گردید. این پروژه از سناریوهای جدید به نام مسیرهای اجتماعی و اقتصادی مشترک (SSP) استفاده می‌کند که با نماینده خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP) پروژه‌ی گزارش پنجم IPCC ترکیب شده است (ارینگ و همکاران[1]، ۲۰۱۶). سناریوهای جدید اضافه‌شده در CMIP6 شامل SSP1-1.9، SSP4-3.4، SSP3-7.0 هستند که چهار سناریوی SSP1-2.6، SSP2-4.5 ، SSP4-6.0، SSP5-8.5 نیز به‌روزشده سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 موجود در CMIP5 می‌باشند (گوپتا و همکاران[2]، ۲۰۲۰). مدل‌های آب‌وهوایی فعلی قوی‌تر از مجموعه‌های قبلی CMIP هستند و پیشرفت‌های مؤثری را در بازتولید الگوهای بزرگ‌مقیاس متغیرهای آب‌وهوایی نشان داده‌اند (چن و همکاران[3]، ۲۰۲۰). مدل‌های GCM داده‌های هواشناسی را در یک شبکه مقیاس بزرگ در ارتفاعات بالایی جو پیش‌بینی می-

1. Eyring et al
2. Gupta et al
3. Chen et al

کنند که عمومی‌ترین روش برای رفع این مشکل، استفاده از روش‌های ریزمقیاس نمایی است. این روش‌ها خروجی مدل‌های GCM را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، به مقیاس محلی تبدیل می‌کنند. روش‌های ریزمقیاس‌سازی بـه دو دسته روش دینامیکی و آماری تقسـیم می‌شوند (باتس و کاندیزوایز[1]، ۲۰۰۸). یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها عملکرد سـریع و آسان آن‌ها نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد (کیم و سئو[2]، ۲۰۰۷).

برای اجرای بخش دوم پژوهش، نیاز به دو سری داده بود. دسته اول، داده‌های روزانه دمای حداکثر طی سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۸۵ برای ایستگاه‌های همدید منتخب شمال غرب ایران (جلفا، تبریز، سراب، مراغه، پارس‌آباد، مشکین‌شهر، اردبیل، خلخال، ماکو، ارومیه، تکاب و سردشت) که از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید (ایستگاه‌ها بر اساس داده‌های موجود و تناسب توزیع آن‌ها در سطح منطقه انتخاب شدند). دسته دوم، داده‌های ۲ مدل GCMS شامل: CanEsm5، MPI-ESMI-2HR، از سری مدل‌های CMIP6 است (مدل‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شدند که دارای وضوح مکانی بالا بوده و داده‌های آن‌ها برای سناریوهای مورد مطالعه موجود باشد). این داده‌ها شامل مقادیر روزانه برای دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۸۵) و آینده (۲۰۴۳-۲۰۱۵) بود که از وب‌سایت پروژه مقایسه مدل جفت‌شده گزارش ششم[3] دریافت گردید. به‌منظور پیش‌نگری دمای حداکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در نرم‌افزار SDSM6.1 با استفاده از مدلCMIP6 و تحت سناریوهای بینابین (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5)، ابتدا دقت و کارایی مدل‌ها برای شبیه‌سازی دوره پایه نسبت به داده‌های مشاهداتی مورد ارزیابی قرار گرفت. در مرحله بعد تغییرات دمای هر یک از ایستگاه‌ها، برای آینده (۲۰۴۳-۲۰۱۵) پیش‌بینی و نتایج حاصل با داده‌های دوره‌ی پایه مقایسه شد (لازم به توضیح است که در نسخه جدید نرم‌افزار SDSM دوره حال و آینده هم‌زمان شبیه‌سازی و پیش‌بینی می‌گردد. بنابراین دلیل تاریخ شروع دوره آتی توسط خود نرم‌افزار از سال ۲۰۱۵ تعریف شده است). در جدول (۱) مشخصات مدل‌های GCM مورد استفاده در پژوهش ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات مدل‌های GCM مورد استفاده در پژوهش. *منبع: عبدالعلی‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱*

ردیف	نام مدل	کشور ارائه‌دهنده	رزولوشن (خشکی)	واریانت	مؤسسه
۱	MPI_ESM1_2_HR	کانادا	۱۰۰ کیلومتر	r1i1p1f1	مرکز کانادایی مدل‌سازی و تحلیل آب‌وهوا
۲	CanESM5	آلمان	۱۰۰ کیلومتر	r1i1p1f1	موسسه هواشناسی ماکس پلانک (MPI-M)

معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌ها

جهت ارزیابی عملکرد و دقت مدل‌های CanEsm5، MPI-ESMI-2HR، در تولید داده‌های دمای حداکثر، داده‌های دوره مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با استفاده از ۳ سنجه آماری شامل: میانگین مربعات خطا (MSE)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) مقایسه شد. این معیارها برای ارزیابی خروجی GCM استفاده

1. Bates & Kundzewicz
2. Kim & Seoh
3. https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6/

می‌شود و مقادیر حاصل، نشان‌گر میزان خطاست و بنابراین هرچه دقت مدل پیش‌بینی کننده بالاتر باشد، مقادیر خطای حاصل از اعمال شاخص‌های خطاسنجی یادشده، به صفر نزدیک‌تر می‌شود. در روابط ۵ تا ۷ به آماره‌های مورد استفاده اشاره شده است.

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i-1}^{N}(X_0 - X_S)^2 \quad (۵)$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i-1}^{N}(X_0 - X_S)^2}}{N} \quad (۶)$$

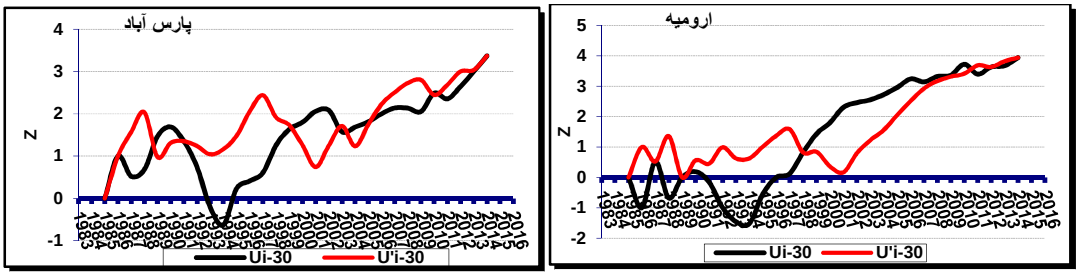
$$MAE = \frac{\sum_{i-1}^{N}(X_0 - X_S)}{N} \quad (۷)$$

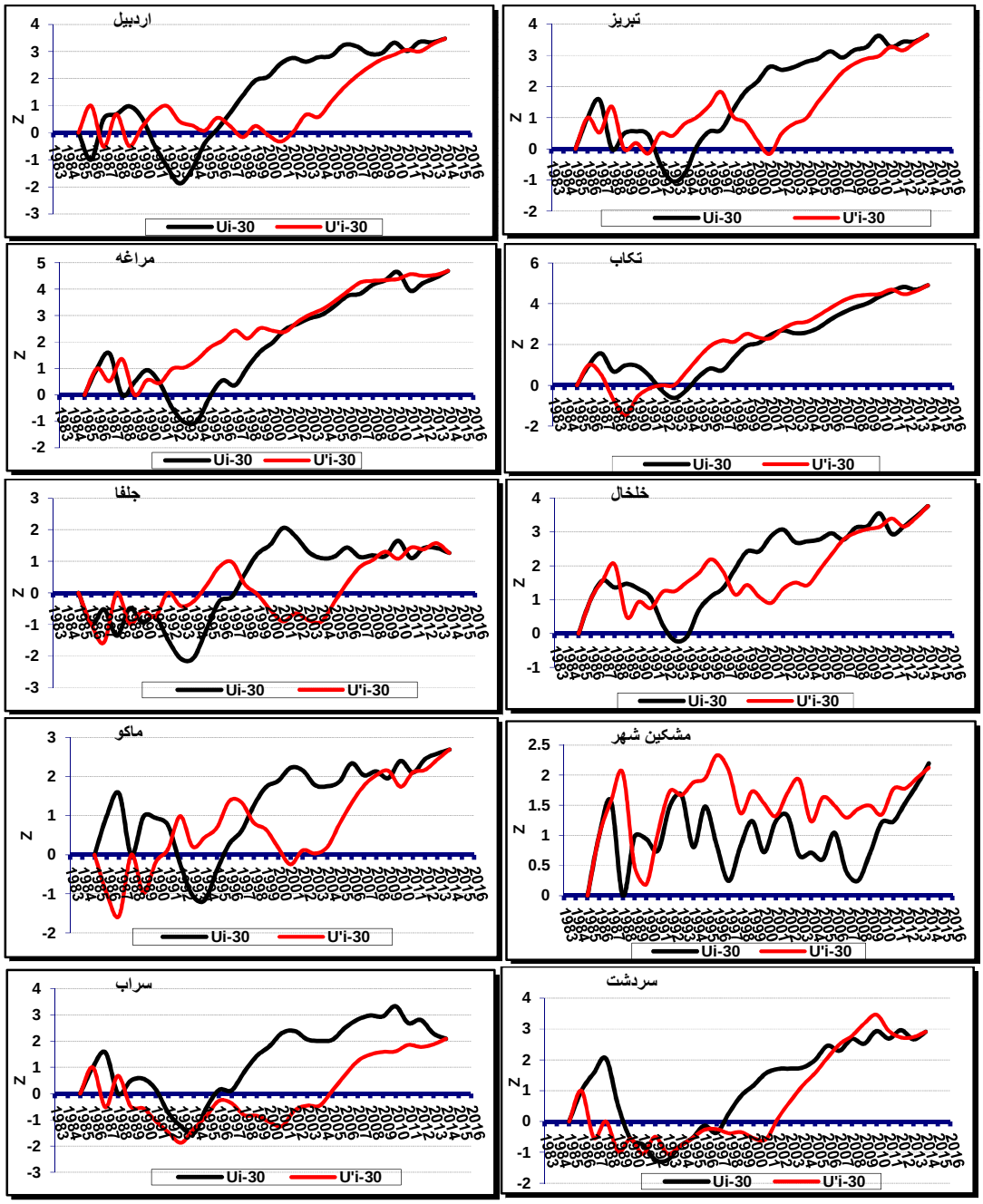
در معادلات بالا، Xo داده‌های مشاهده‌شده، Xs داده‌های شبیه‌سازی‌شده و N تعداد داده‌ها را نشان می‌دهند (مسگری و همکاران، ۲۰۲۲).

نتایج و بحث

نتایج واکاوی تغییرات روند دمای حداکثر طی دوره آماری مورد مطالعه بر اساس آزمون من - کندال

به‌منظور تحلیل روند دمای حداکثر، طی دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۴-۱۹۸۵)، مقادیر آزمون‌های ناپارامتری من - کندال برای هر یک از ۱۲ ایستگاه منتخب در مقیاس سالانه محاسبه و نتایج حاصل در قالب نمودار و در شکل (۲) ارائه گردید. بررسی آزمون نموداری من - کندال نشان داد که در سری میانگین دمای حداکثر سالانه، در هر ۱۲ ایستگاه، منحنی U در بازه مثبت حرکت کرده و به عبارتی دو منحنی در بازه مثبت یکدیگر را قطع کرده‌اند و به‌جز ایستگاه جلفا که روند افزایشی معنادار نداشت، در سایر ایستگاه‌ها به‌دلیل اینکه نمودار U از خط Y= 1.96 عبور کرده است؛ بنابراین روند افزایشی معنادار در سطح ۹۹٪ اطمینان وجود دارد و بنابراین در همه‌ی ایستگاه‌ها طی سال‌های اخیر در دمای حداکثر افزایش رخ داده است. طی دوره آماری مورد مطالعه، مؤلفه‌های U و U' میانگین دمای حداکثر سالانه در ایستگاه سینوپتیک ماکو، تغییرات و جهش‌های زیادی داشته است و به‌طور متوالی، دو منحنی با هم برخورد کرده‌اند که محل تلاقی شاخص‌های U' و U نشان‌دهنده تغییر ناگهانی در میانگین سری زمانی است. طبق نمودار من - کندال، به غیر از ایستگاه پارس‌آباد که جهش‌ها در طول دوره آماری مشاهده می‌گردد، در سایر ایستگاه-های مورد مطالعه، جهش‌ها اغلب طی ۱۰ سال نخست دوره آماری مورد مطالعه رخ داده است.





شکل ۲: بررسی روند و نقاط جهش از میانگین سری زمانی ۳۰ ساله دمای حداکثر به روش من - کندال

نتایج خطاسنجی دمای حداکثر ماهانه شبیه‌سازی ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس مدل‌های GCM

طبق نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل‌های GCM، بر اساس شاخص خطاسنجی RMSE, MSE و MAD، اگرچه در هر دو مدل به‌ویژه در شاخص MSE، میزان خطای داده‌های مشاهداتی با داده تولیدشده نسبتاً بالا بود؛ اما در همه

ایستگاه‌ها مدل CanESM5 نسبت به مدل MPI خطای کمتری داشت. بااین‌حال با توجه به اینکه میزان خطا در هر دو مدل تقریباً نزدیک به هم بود، بنابراین پیش‌نگری مقادیر آتی دما بر اساس هر دو مدل انجام گرفت (جدول ۲).

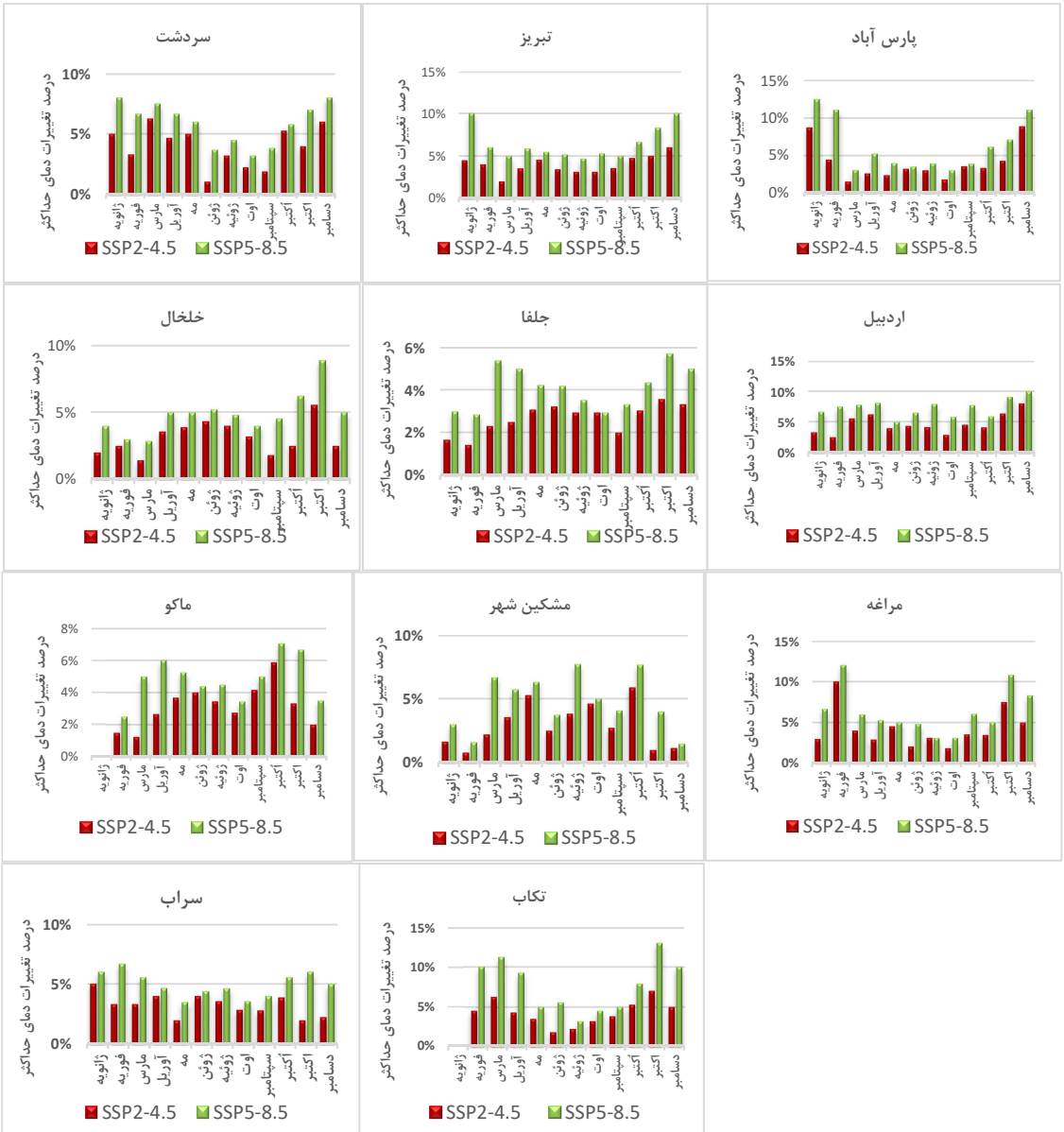
جدول ۲: خطاسنجی دمای حداکثر ماهانه شبیه‌سازی‌شده با مدل‌های MPI,CanESM5

ایستگاه‌ها	مدل‌ها	MAD	MSE	RMSE
جلفا	MPI	۴	۲۳/۵	۴
	CanESM5	۳/۲	۱۳/۹	۳/۷
سراب	MPI	۳/۸	۱۸/۸	۴/۳
	CanESM5	۲/۸	۱۱/۳	۲/۸
تبریز	MPI	۳/۴	۱۶/۴	۴
	CanESM5	۲/۷	۱۱/۲	۳/۳
مراغه	MPI	۴/۲	۲۷/۷	۵/۲
	CanESM5	۳/۹	۲۵/۴	۵
ماکو	MPI	۴,۲	۱۰/۵	۳/۲
	CanESM5	۱/۵	۴/۸	۲/۱
ارومیه	MPI	۳/۹	۲۳/۴	۴/۸
	CanESM5	۳/۹	۲۵/۴	۵
سردشت	MPI	۳/۳	۱۴/۶	۳/۸
	CanESM5	۲/۹	۱۳/۵	۳/۶
تکاب	MPI	۳/۹	۲۴/۲	۴/۹
	CanESM5	۱/۹	۶/۷	۲/۵
پارس‌آباد	MPI	۲/۶	۱۲/۸	۳/۵
	CanESM5	۳/۳	۱۵/۱	۳/۸
مشکین‌شهر	MPI	۳/۲	۱۵/۴	۳/۹
	CanESM5	۲/۵	۸/۱	۲/۸
اردبیل	MPI	۲/۵	۱۰/۲	۳/۲
	CanESM5	۲/۵	۱۰/۲	۳/۲
خلخال	MPI	۲	۷/۷	۲/۷
	CanESM5	۲/۶	۱۰	۳/۱

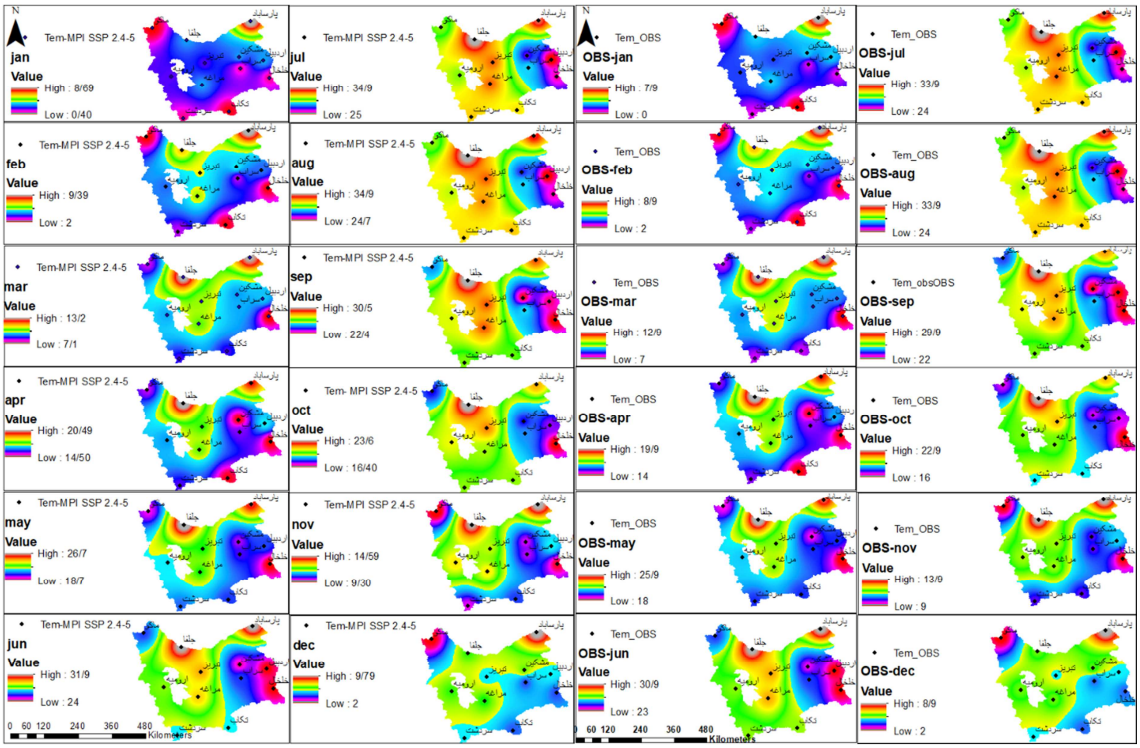
نتایج خروجی مدلMPI

نتایج پیش‌بینی دمای حداکثر ۱۲ ایستگاه بر اساس مدل MPI نشان داد که از نظر درصد افزایش دما بر اساس سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 بیشترین درصد افزایش دما طی دوره آتی اغلب در ماه‌های سرد سال رخ خواهد داد (شکل ۳). طبق پیش‌نگری انجام‌شده، در ایستگاه اردبیل بیشترین افزایش دما در ماه دسامبر و به میزان $^{\circ}C$ ۰/۵ خواهد بود. در ایستگاه خلخال ماه نوامبر بیشترین افزایش دما تجربه خواهد شد که میزان آن $^{\circ}C$۰/۸ است. در ایستگاه ماکو در ماه اکتبر $^{\circ}C$ ۱/۲ افزایش دما پیش‌بینی شد. در ایستگاه جلفا افزایش ۶ درصدی دما به میزان $^{\circ}C$۰/۸ در ماه نوامبر پیش‌بینی شد. در ایستگاه مشکین‌شهر این افزایش ۲ درجه سلسیوس و در ماه جولای رخ خواهد داد. در مراغه ماه فوریه بالاترین درصد افزایش به میزان ۰/۶ درجه سلسیوس رخ خواهد داد. طبق نمودار مربوط به ایستگاه پارس‌آباد بالاترین میزان افزایش دما حدود $^{\circ}C$ ۱ و در ماه ژانویه پیش‌بینی شد. در ایستگاه سراب، بالاترین درصد افزایش دما ۷٪ در ماه فوریه و به میزان ۰/۲ درجه سلسیوس پیش‌بینی گردید. در ایستگاه تکاب ماه نوامبر دما حدود $^{\circ}C$ ۱/۳ افزایش خواهد یافت. در سردشت بیشترین افزایش دما در دسامبر و به میزان ۰/۳ درجه

پیش‌بینی شد. در ایستگاه تبریز این افزایش در ماه دسامبر تجربه و به میزان ۰/۵ درجه خواهد شد. در ارومیه به میزان $^{\circ}C$ ۱/۴ افزایش دما در ماه نوامبر پیش‌بینی شد. همچنین بر حسب درجه سلسیوس نیز دمای حداکثر در همه ایستگاه‌ها ۰/۲ الی ۱/۸ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت که بالاترین میزان افزایش برای ایستگاه تکاب پیش-بینی شد. نقشه‌های پراکندگی میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره پایه و مقادیر پیش‌نگری‌شده تحت دو سناریوی مدل MPI در شکل ۴ (الف و ب) و ۵ (الف و ب) ارائه شده است.

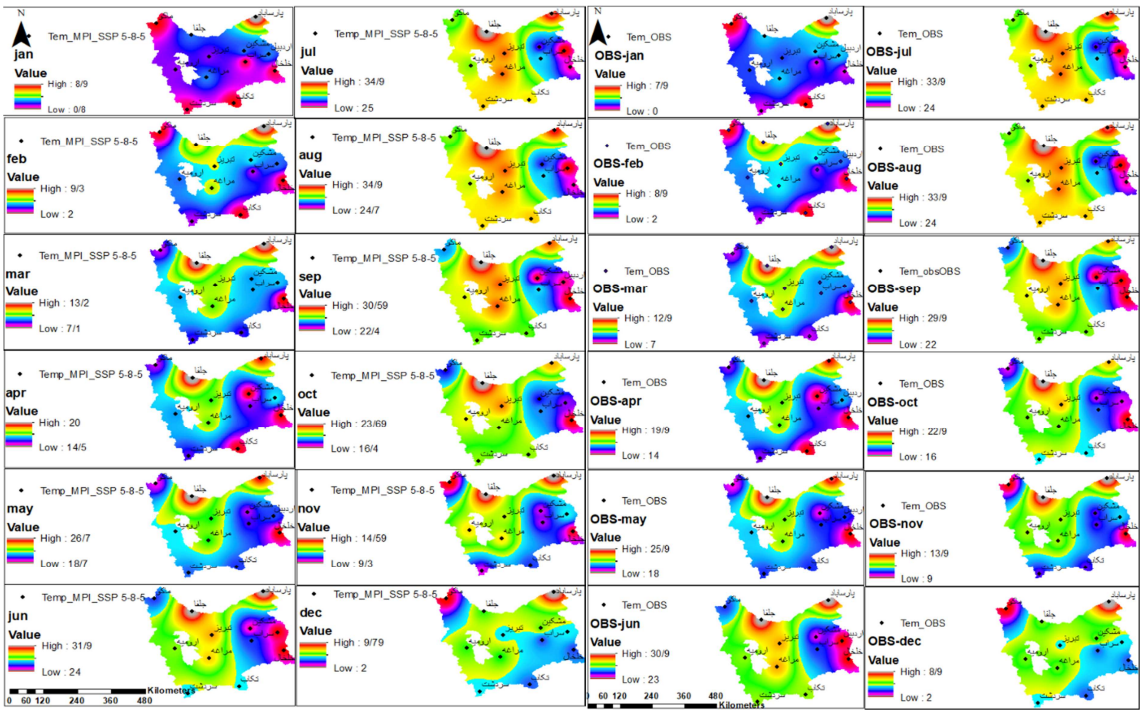


شکل ۳: نمودار درصد تغییرات میانگین ماهانه دمای حداکثر بر اساس سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 مدل MPI



ب) الف)

شکل ۴: نقشه‌های پراکندگی میانگین ماهانه دمای حداکثر دوره پایه (الف) و پیش‌بینی‌شده (ب) تحت سناریوی SSP 2-4.5 مدلMPI

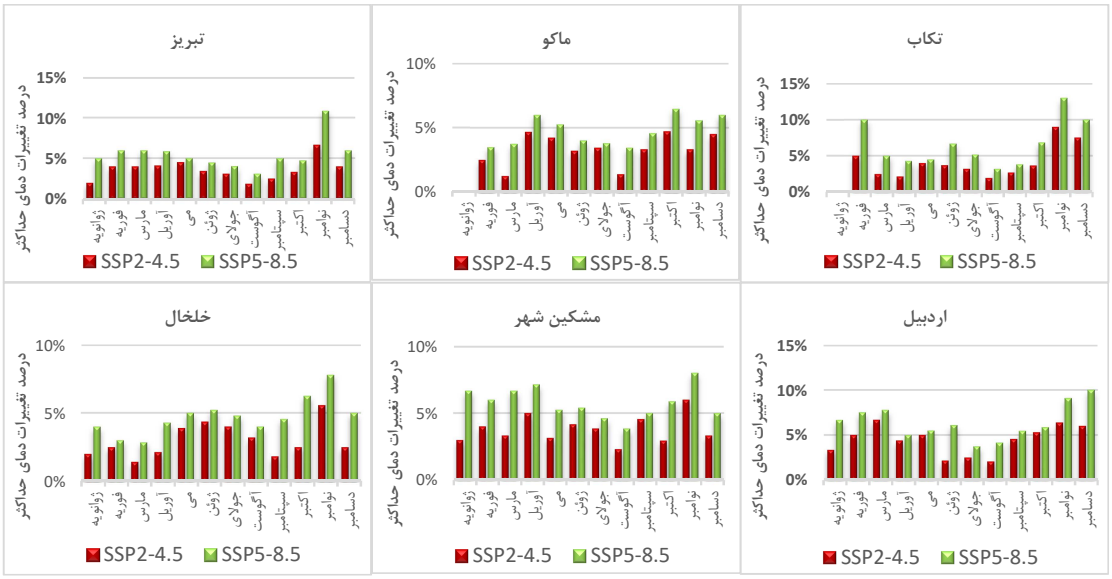


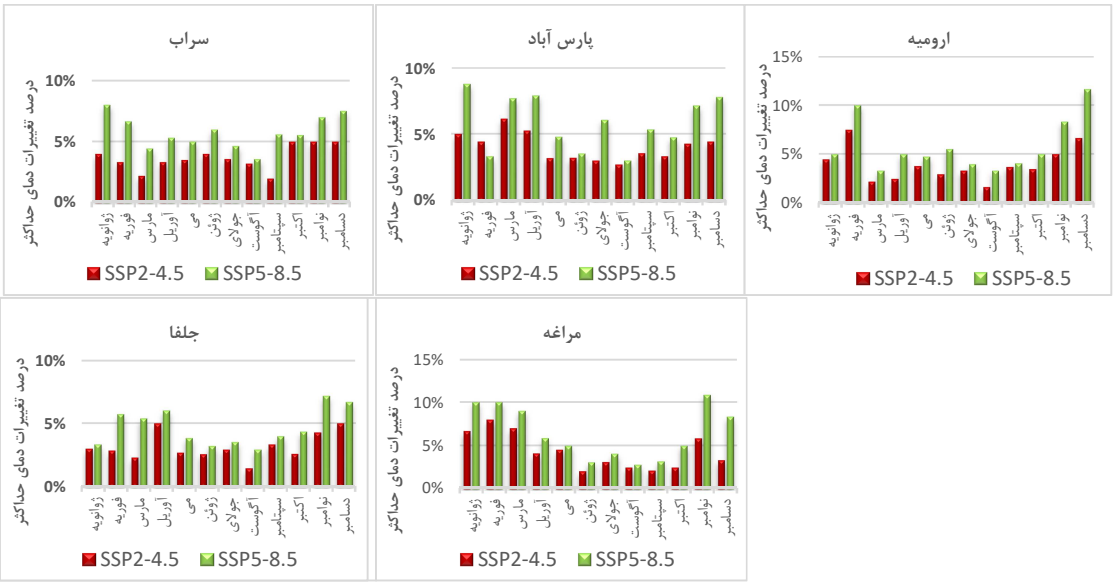
الف) ب)

شکل ۵: نقشه‌های پراکندگی میانگین ماهانه دمای حداکثر دوره پایه (الف) و پیش‌بینی‌شده (ب) تحت سناریوی SSP 5-8.5 مدل MPI

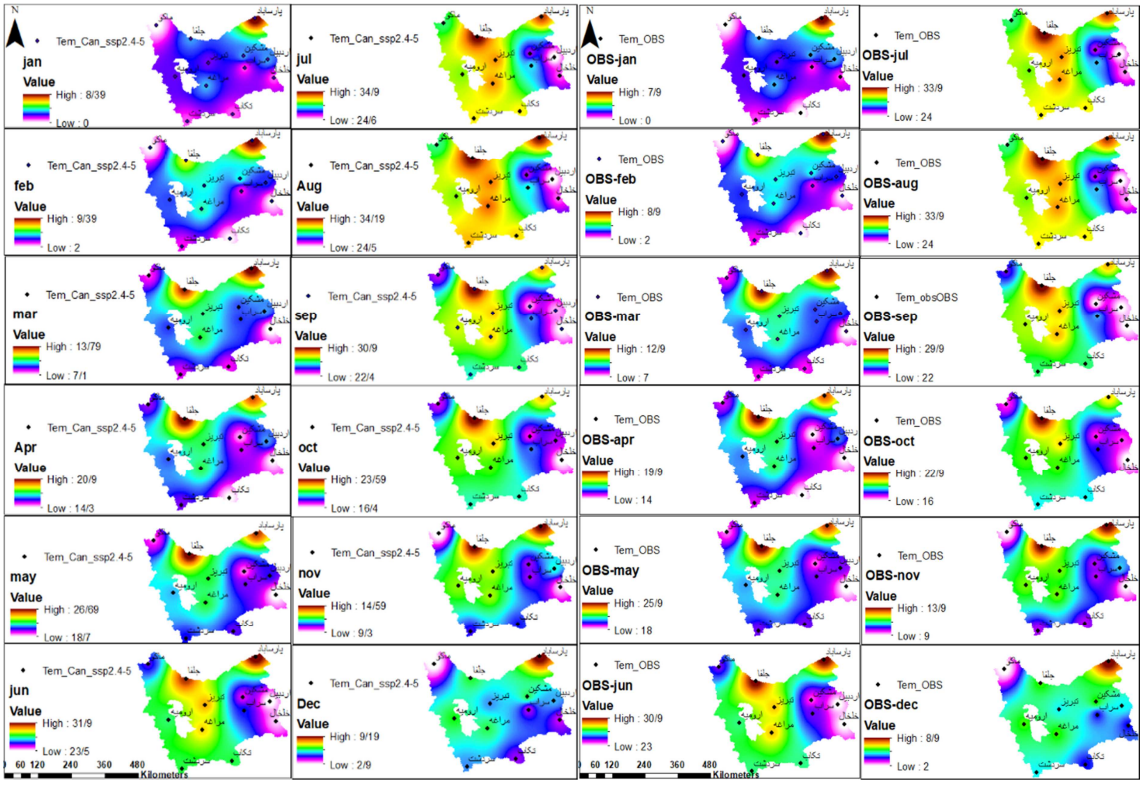
نتایج خروجی مدلCanESM5

طبق پیش‌بینی‌های انجام‌شده بر اساس سناریوهای مدل CanESM5، برای دمای حداکثر ماهانه ایستگاه‌های منتخب، در این مدل نیز بیشترین درصد افزایش دما طی دهه‌های آتی اغلب در ماه‌های سرد سال رخ خواهد داد. بر اساس پیش‌نگری انجام‌شده، در ایستگاه اردبیل بالاترین درصد افزایش دما در ماه دسامبر ۱۰٪ و به میزان ۰/۵°C خواهد بود. در ایستگاه خلخال ماه نوامبر بیشترین افزایش دما تجربه خواهد شد که میزان آن °C ۰/۷ است. در ایستگاه ماکو در ماه اکتبر بالاترین میزان افزایش دما ۱/۱ درجه سلسیوس و حدود ۶٪ پیش‌بینی شده است. در ایستگاه جلفا بیشترین افزایش دما ۱ درجه سلسیوس و در ماه نوامبر پیش‌بینی شده است. در ایستگاه مشکین‌شهر حدود ۰/۸ افزایش دمای حداکثر در ماه نوامبر رخ خواهد داد. در مراغه ماه نوامبر بیشترین افزایش دما تجربه خواهند کرد که میزان آن ۱/۳°C خواهد بود. طبق نتایج مربوط به پارس‌آباد، بالاترین درصد افزایش دمای حداکثر در این ایستگاه حدود ۰/۷ و در ماه ژانویه پیش‌بینی شده است. در ایستگاه سراب، بالاترین درصد افزایش دما به میزان ۰/۸ و در ماه ژانویه پیش‌بینی گردید. در ایستگاه تکاب دما در ماه نوامبر حدود ۱۳٪ و به میزان ۱/۳°C افزایش خواهد یافت. در سردشت بیشترین افزایش دما در ماه نوامبر به میزان ۰/۹ درجه سلسیوس پیش‌بینی شد. این افزایش در ایستگاه تبریز ۱/۳ درجه سلسیوس و در ماه نوامبر تجربه خواهد شد و در نهایت در ایستگاه ارومیه ماه دسامبر به میزان °C ۰/۷ افزایش دمای حداکثر رخ خواهد داد. بر حسب این مدل نیز در اغلب ایستگاه‌ها حداکثر ۰/۵ الی ۱/۳ درجه سلسیوس افزایش دما تجربه خواهند کرد. در شکل (۶)، درصد تغییرات میانگین دمای حداکثر ماهانه تحت دو سناریوی SSP2-4-5 و SSP 5-8.5 و در شکل ۷ (الف و ب) و ۸ (الف و ب) نقشه‌های پراکندگی میانگین دمای حداکثر ماهانه پیش‌نگری‌شده تحت دو سناریوی مدل CanESM5 ارائه شده است.



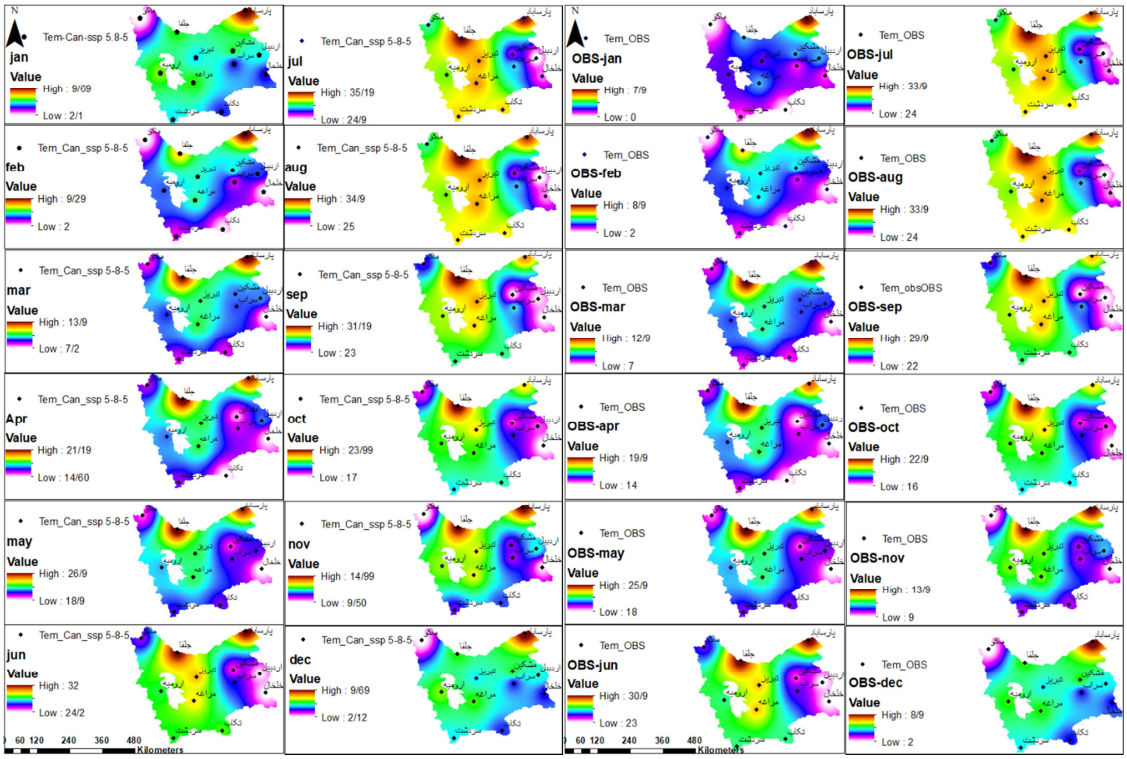


شکل ۶: نمودار درصد تغییرات میانگین ماهانه دمای حداکثر بر اساس سناریوهای SSP 2-4.5 و SSP 5-8.5 مدلCanESM5



الف) **ب)**

شکل ۷: نقشه‌های پراکندگی میانگین ماهانه دمای حداکثر دوره پایه (الف) و پیش‌بینی‌شده (ب) تحت سناریوی SSP 2-4.5 مدل CanESM5



ب) الف)

شکل ۸: نقشه‌های پراکندگی میانگین ماهانه دمای حداکثر دوره پایه (الف) و پیش‌بینی‌شده (ب) تحت سناریوی SSP 5-8.5 مدل CanESM5

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت بحث گرمایش جهانی و تأثیر انکارناپذیر افزایش دما بر جوانب مختلف حیات بشر، این پژوهش با هدف پیش‌بینی دمای حداکثر دوره‌های آتی در شمال غرب ایران به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم گردشگری و کشاورزی ایران بر اساس برون داد مدل‌های اقلیمی CMIP6 انجام شد. طبق نتایج بررسی روند دمای حداکثر، بر اساس آزمون من – کندال، دمای حداکثر به استثنای ایستگاه جلفا که روند افزایشی معنادار نداشت، در سایر ایستگاه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد روند افزایشی معنادار داشت. بنابراین با توجه به درصد بالای اطمینان، انتظار می‌رود این روند افزایشی طی سال‌های آتی نیز تداوم داشته باشد. نتایج حاصل اعتبارسنجی دو مدل MPI و CanESM5 بر اساس شاخص‌های RMSE, MSE و MAD نشان داد، مدل CanESM5 نسبت به مدل MPI دمای حداکثر دوره پایه شمال غرب ایران را با خطای کمتری و دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌نماید. طبق شبیه‌سازی و پیش‌بینی انجام‌شده برای آینده نزدیک (۲۰۴۳-۲۰۱۵)، بر اساس مدل MPI تحت سناریوهای بینابین (SSP2-4.5) و بدبینانه (SSP5-8.5) طی دهه‌های آتی دمای حداکثر در هر ۱۲ ایستگاه منتخب افزایش خواهد یافت که این افزایش دما نسبت به دوره پایه، در همه ماه‌های سال تجربه خواهد شد. بر اساس مدل MPI، بیشترین افزایش دما تحت سناریوی بدبینانه (SSP5-8.5) در ایستگاه‌های مشکین (جولای)، ارومیه (نوامبر) و تکاب (نوامبر) به‌ترتیب ۲،

۱/۴ و ۱/۳ درجه سلسیوس و کمترین افزایش دما در ایستگاه سراب به میزان ۰/۲°C در ماه فوریه پیش‌بینی شد. همچنین بر اساس مدل CanESM5 دمای حداکثر در هر ۱۲ ماه سال در شمال غرب افزایش خواهد داشت. بر اساس مدل یادشده تحت سناریوی بدبینانه (SSP5-8.5)، ایستگاه‌های مراغه (نوامبر)، تکاب (نوامبر) و تبریز (نوامبر) به میزان ۱/۳°C بیشترین افزایش دما را خواهد داشت. همچنین کمترین افزایش دما بر اساس این مدل برای ایستگاه اردبیل به میزان ۰/۵°C در ماه دسامبر خواهد بود. طبق یافته‌های این پژوهش، میزان افزایش دما در مدل MPI حداکثر تا ۲°C و در مدل CanESM5 حداکثر تا ۱/۳ درجه خواهد بود. هر دو مدل بالاترین درصد افزایش دما در همه ایستگاه‌ها را در ماه‌های سرد سال به‌ویژه در اواخر پاییز و زمستان پیش‌بینی نمودند. در مجموع با توجه به نتایج اعتبارسنجی دو مدل، مدل CanESM5 به‌دلیل اینکه خطای کمتری در شبیه‌سازی داده‌های دوره پایه داشت؛ بنابراین در پیش‌بینی دمای حداکثر آینده منطقه مورد مطالعه، نسبت به مدل MPI، از دقت بیشتری برخوردار است و طبق نتایج مدل‌سازی بر اساس مدل انتخابی CanESM5، انتظار می‌رود طی ۳۰ سال آتی دمای حداکثر در منطقه مورد مطالعه حدود ۰/۵ تا ۲°C افزایش داشته باشد. یافته‌های این پژوهش افزایش چند درجه‌ای دمای حداکثر در ایستگاه‌های منتخب شمال غرب را در کل ماه‌های سال تأیید نمود و در این خصوص با نتایج اکثر پژوهش‌های یادشده در پیشینه همسو بود. از جمله سانگ و همکاران (۲۰۱۲)، کوی و همکاران (۲۰۲۱)، کثیری و همکاران (۱۳۹۹)، زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۰)، داروند (۱۴۰۰)، صی محمدی و همکاران (۱۴۰۰)، محمدی و همکاران (۱۴۰۰)، زارعیان (۱۴۰۱)، عبدالعلی‌زاده و همکاران (۱۴۰۲). همچنین بر اساس پیش‌بینی این پژوهش، بیشترین درصد افزایش دما در ماه‌های سرد سال خواهد بود که از این لحاظ با یافته عالی‌نژاد (۱۴۰۰)، زارعیان (۱۴۰۱) که حداکثر افزایش دما را در فصول گرم گزارش نموده‌اند، مغایرت داشت.

با توجه به این‌که نتایج تحلیل روند و مدل‌سازی، افزایش محسوس و معنادار دمای منطقه مورد مطالعه را تأیید نمود، ازاین‌رو این پژوهش با درنظرگرفتن اینکه منطقه شمال غرب ایران یکی از مناطق مهم گردشگری کشور محسوب می‌شود و زیرشاخه‌های مختلف شغل کشاورزی جزء مشاغل اصلی اغلب ساکنین منطقه است، لزوم تمرکز مطالعات گسترده‌تر بر بحث تغییر اقلیم و افزایش گازهای گلخانه‌ای را به‌عنوان یکی از دلایل اصلی و مهم افزایش دما پیشنهاد می‌نماید. چراکه افزایش چند درجه‌ای دمای حداکثر و به دنبال آن ذوب برف در ارتفاعات منطقه، افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارش و خشکی هوا، می‌تواند پیامدهای منفی و مخربی برای محیط‌زیست و ساکنین منطقه مورد مطالعه به دنبال داشته باشد. همچنین در راستای کاهش ریزگردهای ناشی افزایش دما و خشکی هوا، جهت سازگاری با شرایط اقلیمی جدید، مدیریت صحیح منابع آب و ممانعت از مهاجرت روستاییان و جلوگیری از تعطیلی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌گردد. چراکه خیزش ریزگردها علاوه بر به خطر انداختن سلامت ساکنین منطقه، مشکلات متعدد زیست‌محیطی ازجمله اختلال در عملکرد زنبورها در تولید عسل، ایجاد تل خاک‌های ناشی از ریزگرد محلی در اراضی زراعی را در پی خواهد داشت.

تقدیر و تشکر

این پژوهش برگرفته از طرح پسادکتری و تحت حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد. بنابراین نویسندگان، از پشتیبانی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی و دانشکده علوم اجتماعی آن دانشگاه کمال تشکر را دارند. همچنین از سازمان هواشناسی کشور به جهت در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز، قدردانی می‌گردد.

منابع

داروند، سروه؛ اسکندری دامنه، هادی؛ اسکندری دامنه، حامد؛ خسروی، حسن. (۱۴۰۰). پیش‌بینی روند تغییرات دما و بارش در دوره‌ی آتی و تأثیر آن بر بیابان‌زایی، نشریه مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، ۱ (۱)، ۶۶-۵۳. doi: 10.22098/mmws.2021.1181

روشنی، ادیب؛ حمیدی، مهدی. (۱۴۰۰). پیش‌بینی اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس مدل‌های CMIP6 (مطالعه موردی ایستگاه ساری)، مدیریت آب و آبیاری، ۱۱(۴)، ۷۹۵-۷۸۱. Doi: 10.22059/jwim.2022.330603.920

زارعی، آذین؛ اسدی، اسماعیل؛ ابراهیمی، عطاالله؛ جعفری، محمد؛ ملکیان، آرش. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات پارامترهای بارش و دما تحت سناریوهای اقلیمی در مراتع استان چهارمحال و بختیاری. مرتع، ۱۲(۴)، ۴۲۶-۴۳۶.doi:20.1001.1.20080891.1397.12.4.5.5

زارعیان، محمدجواد. (۱۴۰۱). اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش استان یزد بر اساس خروجی ترکیبی مدل‌های CMIP6. علوم آب و خاک. ۲۶ (۲)، ۹۱-۱۰۵. doi: 10.47176/jwss.26.2.31501

زرین، آذر؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). پیش‌نگری دمای ایران در آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۱) بر اساس رویکرد همادی چند مدلی CMIP6 .پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۵۳ (۱) ۹۰-۷۵.doi: 20.1001.1.24235474.1400.8.4.14.9

سازمان هواشناسی کشور.http://www.irimo.ir

شجاع، فائزه؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۴۰۲). پیش نمایی تغییرات بارش‌های آتی حوضه‌های آبخیز تأمین‌کننده آب شهر تهران، مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، ۱۲ (۳۶)، ۱۸۰-۱۵۱.doi:10.22111/jneh.2022.42622.1908

صی محمدی، سمیره؛ توکلی، محسن؛ زرافشانی، کیومرث؛ مهدی زاده، حسین؛ امیری، فرزاد. (۱۴۰۰). پیش‌بینی اثرات تغیر اقلیمی بر دما و بارش با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو، راهکاری برای کشاورزی پایدار، (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)، علوم تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۵ (۶)، ۳۱-۱۸.doi:10.30495/jest.2018.22114.3137

عالی نژاد، محمدحسین؛ جهانبخش اصل، سعید؛ خورشیددوست، علی محمد. (۱۴۰۰). بررسی تغییرات دما و بارش حوضه‌ی سیمره با استفاده از مدل‌های اقلیمی سریCMIP5. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۶ (۳)، ۳۲–۱۷. doi:10.52547/jsaeh.8.3.17

عبدالعلی‌زاده، فیروز؛ خورشیددوست، علی محمد؛ جهانبخش اصل، سعید. (۱۴۰۲). پیش‌نگری چشم‌انداز آتی دما و بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه مبتنی بر مدل‌های CMIP6. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۵ (۱)، ۱۱۲-۹۵.
Doi: 10.22059/jphgr.2023.352727.1007737

کثیری، مریم؛ گودرزی، مسعود، جانباز قبادی، غلامرضا؛ متولی، صدرالدین. (۱۳۹۹). چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، نشریه جغرافیای طبیعی، ۱۳ (۴۷)، ۵۱-۳۵.doi:20.1001.1.20085656.1399.13.47.3.5

محمدی، حسن؛ خلیلی، رضا؛ محمدی، سجاد. (۱۴۰۰). پیش‌نگری تغییرات دما و بارش با استفاده از سناریوهای واداشت تابشی مولد آب-وهوایی LARS-WG در زاگرس جنوبی، نیوار، ۴۵، (۱۱۵-۱۱۴)، ۱۵۳-۱۳۸. doi: 10.30467/nivar.2022.319565.1209

ملکی نژاد، حسین؛ سلیمانی مطلق، مهدی؛ جایدری، اعظم؛ شاطر آبشوری، سمیه. (۱۳۹۲). تحلیل روند تغییرات بارندگی و خشک‌سالی با استفاده از آزمون‌های من - کندال و سن در استان تهران، مجله علمی و فنی نیوار، ۸۰، ۵۵-۴۳. doi:20.1001.1.20085362.1393.25.3.10.6

میرزایی، محمد؛ امینی نیا، کریم؛ پناهی، علی. (۱۴۰۱). تحلیل آماری و همدیدی پاییزهای خشک در شمال غرب ایران، فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی، ۸۷، ۱۹۰-۱۶۵. . doi: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.9.8

Aswad, F. K., Yousif, A. A., Ibrahim, S. A. (2020). Trend analysis using mann-kendall, sen's slope estimator test and innovative trend analysis method in Yangtze River basin, china: review, Journal of University of Duhok, (Pure and Eng. Sciences), 23 (2), pp 501-508. DOI:10.14419/ijet.v7i4.29591

Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J. (2008). Climate Change and Water. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 200 pages.

Chen, Z., Zhou, T., Zhang, L., Chen, X., Zhang, W., Jiang, J. (2020). Global land monsoon precipitation changes in CMIP6 projections. Geophysical Research Letters, 47(14), pp 1-9. https://doi.org/10.1029/2019GL086902

Cui, T., Li, Ch., Tian, F. (2021). Evaluation of Temperature and Precipitation Simulations in CMIP6 Models over the Tibetan Plateau, Earth and space science, 8 (7). https://doi.org/10.1029/2020EA001620

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C., Stevens, B., Stouffer, R. J., Taylor, K. E. (2015). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development Discussions, 8(12), pp 1937-1958. doi:10.5194/gmd-9-1937-2016, 2016

Hennessy, K. J., Whetton, P. H., Walsh, K., Smith, I. N., Bathols, J. M., Hutchinson, M., Sharples, J. (2007). Climate change effects on snow conditions in mainland Australia and adaptation at ski resorts through snowmaking. Climate Research, 35(3), pp 255. DOI:10.3354/cr00706

Kim, B.S., Kim, H.S., Seoh, B.H. Kim, N.W. (2007). Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 21: pp 355–373. DOI:10.1007/s00477-006-0070-5

Scott, D., Dawson, J., Jones, B. (2008). Climate change vulnerability of the US Northeast winter recreation–tourism sector Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 13(5-6), pp 577-596.

Sung, H.M., Kim, J., Shim, S. (2021). Climate Change Projection in the Twenty-First Century Simulated by NIMS-KMA CMIP6 Model Based on New GHG Concentration Pathways. Asia-Pacific J Atmos Sci, 57, pp 851–862. Doi:10.1007/s13143-021-00225-6

Turgay, P. & Ercan K. (2005). Trend Analysis in Turkish Precipitation Data. Hydrological processes published online in Wiley Interscience (www.Interscience.wiley.com). doi:10.1002/hyp.5993.

University of Sistan and Baluchestan
Journal of Natural Environment Hazards
Print ISSN: 2676 - 4377 Online ISSN: 2676 - 4385
Homepage: https://jneh.usb.ac.ir

References

References (in Persian)

Abdolalizadeh, F., Khorshiddoust, A. M., Jahanbakhsh, S. (2023). Projection of the future outlook of temperature and precipitation in Urmia Lake basin by the CMIP6 models. Physical Geography Research Quarterly, 55(1), PP 95-112. Doi: 10.22059/jphgr.2023.352727.1007737 [In Persian]

Aalinejad, M.H., Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A.M. (2021). Investigation of Temperature and Precipitation Changes in the Seymare Basin by Using CMIP5 Series Climate Models. 8 (3), PP 17-32. . doi:10.52547/jsaeh.8.3.17 [In Persian]

Darvand, S., Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H. (2021). Prediction of the changing trend of temperature and rainfall in the future period and its impact on desertification. Water and Soil Management and Modelling, 1(1), PP 53-66. doi: 10.22098/mmws.2021.1181 [In Persian]

Kathiri, M., Gudarzi, M., Janbaz Qobadi, Gh., Motavali, S. (2019). The future perspective of temperature and precipitation changes in the southern shores of the Caspian Sea, Journal of Natural Geography, 13 (47): PP 35-51. doi:20.1001.1.20085656.1399.13.47.3.5 [In Persian]

Maleki Nejad, H., Soleimani Mutlaq, M., Jaidari, A., Shater Abshuri, S. (2012). Analysis of changes in rainfall and drought using Mann-Kendall and age tests in Tehran province, Newar Scientific and Technical Journal, 80, 43-55. doi:20.1001.1.20085362.1393.25.3.10.6. [In Persian]

Meteorological Organization of Iran..http: //www.irimo.ir.

Mirzaei, M., Amininia K., Panahi, A. (2022). Statistical-Synoptic Analysis of the Occurrence of Dry Autumns in Northwest of Iran, Geographical Space, 78: PP 165-190. doi: 20.1001.1.1735322.1401.22.78.9.8 [In Persian]

Mohammadi, H., Khalili, R., Mohammadi, S. (2021). Forecasting temperature and precipitation changes using LARS-WG climate-generating radiative forcing scenarios in South Zagros, Newar, 45, PP 138-153. doi: 10.30467/nivar.2022.319565.1209 [In Persian]

Roshani, A., Hamidi, M. (2022). Forecasting the effects of climate change scenarios on temperature & precipitation based on CMIP6 models (Case study: Sari station). Water and Irrigation Management, 11(4), 781-795. doi: 10.22059/jwim.2022.330603.920 [In Persian]

Seymohammadi, S., Tavakoli, M., Zarafshani, K., Mahdizadeh, H., Amiri, F. (2021). Prediction Impact of Climate Change on the Temperature & Precipitation by General Circulation Model, a Strategy for Sustainable Agriculture: (Case of Kermanshah Township). Journal of Environmental Science and Technology, 23(6), PP 15-31. doi: 10.30495/jest.2018.22114.3137 [In Persian]

Shoja, F., Shamsipour, A. (2023). Projection of future Precipitation changes in Tehran's water supply watersheds. Journal of Natural Environmental Hazards, 12(36), PP 151-180. doi: 10.22111/jneh.2022.42622.1908 [In Persian]

Zaree, A., Asadi, E., Ebrahimi, A., Jafari, M., Malekian, A. (2019). Study of temperature and precipitation changes under climate change scenarios in rangelands of ChaharMahal-va-Bakhtiyari. Range, 12 (4): PP 426-436. doi:20.1001.1.20080891.1397.12.4.5.5. [In Persian]

Zarrin, A., Dadashi-Roudbari, A. (2021). Projected changes in temperature over Iran by 2040 based on CMIP6 multi-model ensemble. Physical Geography Research Quarterly, 53(1), PP 75-90. doi: 10.22059/jphgr.2021.308361.1007551. [In Persian]

References (in English)

Aswad, F. K., Yousif, A. A., Ibrahim, S. A. (2020). Trend analysis using mann-kendall, sen's slope estimator test and innovative trend analysis method in Yangtze River basin, china: review, Journal of University of Duhok, (Pure and Eng. Sciences), 23 (2), pp 501-508. DOI:10.14419/ijet.v7i4.29591

Bates, B., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and Palutikof, J. (2008). Climate Change and Water. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 200 pages.

Chen, Z., Zhou, T., Zhang, L., Chen, X., Zhang, W., Jiang, J. (2020). Global land monsoon precipitation changes in CMIP6 projections. Geophysical Research Letters, 47(14), pp 1-9. https://doi.org/10.1029/2019GL086902

Cui, T., Li, Ch., Tian, F. (2021). Evaluation of Temperature and Precipitation Simulations in CMIP6 Models over the Tibetan Plateau, Earth and space science, 8 (7). https://doi.org/10.1029/2020EA001620

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C., Stevens, B., Stouffer, R. J., Taylor, K. E. (2015). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. Geoscientific Model Development Discussions, 8(12), pp 1937-1958. doi:10.5194/gmd-9-1937-2016, 2016

Hennessy, K. J., Whetton, P. H., Walsh, K., Smith, I. N., Bathols, J. M., Hutchinson, M., Sharples, J. (2007). Climate change effects on snow conditions in mainland Australia and adaptation at ski resorts through snowmaking. Climate Research, 35(3), pp 255. DOI:10.3354/cr00706

Kim, B.S., Kim, H.S., Seoh, B.H. Kim, N.W. (2007). Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 21: pp 355–373. DOI:10.1007/s00477-006-0070-5

Scott, D., Dawson, J., Jones, B. (2008). Climate change vulnerability of the US Northeast winter recreation–tourism sector Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 13(5-6), pp 577-596.

Sung, H.M., Kim, J., Shim, S. (2021). Climate Change Projection in the Twenty-First Century Simulated by NIMS-KMA CMIP6 Model Based on New GHG Concentration Pathways. Asia-Pacific J Atmos Sci, 57, pp 851–862. Doi:10.1007/s13143-021-00225-6

Turgay, P. & Ercan K. (2005). Trend Analysis in Turkish Precipitation Data. Hydrological processes published online in Wiley Interscience (www.Interscience.wiley.com). doi:10.1002/hyp.5993.