



Validation of Temperature and Precipitation Variables of CMIP5 Models in Iran Under CORDEX and NEX-GDDP Projects

Fatemeh Taghavinia¹ , Batool Zeinali² , Abbasali Dadashi Roudbari³

1. Department of Climatology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Email: f.taghavinia@uma.ac.ir

2. Department of Climatology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Email: zeynali.b@uma.ac.ir

3. Department of Climatology, Faculty of Social Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

Email: a-dadashi@um.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article History:

Received:

1 April 2023

Received in revised form:

28 May 2023

Accepted:

29 June 2023

Available online:

2 August 2023

Keywords:

CORDEX-WAS,

Iran,

NEX-GDDP,

Precipitation,

Temperature.

ABSTRACT

No study has so far evaluated the NEX-GDDP and CORDEX-WAS downscaling methods to validate the output of CMIP5 models in Iran for temperature and precipitation parameters. Therefore, this study is the first in Iran to compare the MPI-ESM-LR model performance from the CMIP5 model series for temperature and precipitation variables with the combined approach of dynamic and statistical downscaling methods for the historical period of 1980-2005. The verification was performed using the MBE, RMSE, and R statistics. The slope of the data trend in the time series is estimated using Sen's non-parametric method. The findings revealed that degrees of bias equal to -0.34 and -0.46 C were recorded in CORDEX and NEX-GDDP projects, respectively, indicating the better performance of the MPI-ESM-LR model under the CORDEX dynamic downscaling project than the NEX-GDDP statistical project in temperature simulation. In both projects, the maximum and minimum temperatures were simulated in Iran's southern coasts and north-western heights. The MBE index shows a decreased bias in the NEX-GDDP project (-2.60 mm) compared to the CORDEX project (-8.21 mm), suggesting the better performance of the MPI-ESM-LR model in the NEX-GDDP project than the CORDEX project in precipitation simulation. Both projects' maximum and minimum precipitations were simulated in the Zagros highlands and the southeast of Iran, respectively.

Cite this article: Taghavinia, F., Zeinali, B., & Dadashi Roudbari, A. (2023). Validation of Temperature and Precipitation Variables of CMIP5 Models in Iran Under CORDEX and NEX-GDDP Projects. *Physical Geography Research Quarterly*, 55 (2), 111-132

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.358843.1007772>



© The Author(s).

DOI: [10.22059/JPHGR.2023.358843.1007772](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.358843.1007772)

Publisher: University of Tehran Press

Extended abstract

Introduction

Currently, most of the research on climate change relies on GCMs. These models are an important tool for simulating and predicting past and future climate changes in various research fields. To develop a climate change-resistant strategic plan, policymakers and decision-makers should be informed of the potential changes in the forecasted future climate. To this aim, there is a need to emphasize an in-depth study of uncertainty using CMIP5 models with CORDEX-WAS dynamic downscaling and NEX-GDDP statistical methods on a regional scale. No study has so far evaluated the NEX-GDDP and CORDEX-WAS downscaling methods to validate the output of CMIP5 models in Iran for temperature and precipitation parameters. Therefore, this study is the first in Iran to compare the MPI-ESM-LR model performance from the CMIP5 model series for temperature and precipitation variables with the combined approach of dynamic and statistical downscaling methods for the historical period of 1980-2005.

Methodology

To verify the accuracy of the air temperature and precipitation data extracted from the MPI-ESM-LR model from the CMIP5 model series, 49 synoptic stations were selected in Iran during the statistical period of 1980-2005 (according to the historical data of CORDEX-WAS and NEX-GDDP projects). The verification was performed using the statistics of mean bias error (MBE), root mean square error (RMSE), and Pearson correlation coefficient (r). The simulated temperature and precipitation data were evaluated by the selected model with station data (observed data). This research uses CORDEX-WAS range data with a spatial resolution of 0.44 arc degrees, the RCA4 model for RCM, and the r1i1p1 ensemble. The output is also obtained from the NEX-GDDP downscaling project for Iran according to what is implemented for CORDEX-WAS. The slope of the data trend in the time series is estimated using Sen's non-parametric method.

Results and discussion

In the temperature variable, the MPI-ESM-LR model shows a correlation coefficient 0.99 in both projects. The RMSE indexes are equal to 0.78 and 0.51 °C in CORDEX and NEX-GDDP projects, respectively. Degrees of bias equal to -0.34 and -0.46 C were recorded in CORDEX and NEX-GDDP projects, respectively, indicating the better performance of the MPI-ESM-LR model under the CORDEX dynamic downscaling project than the NEX-GDDP statistical project in temperature simulation. The temperature downtrend slopes in each decade were calculated at -0.848 °C in the synoptic station, -1.191 °C in the CORDEX project, and -1.075 °C in the NEX-GDDP project. In both projects, the maximum and minimum temperatures were simulated in Iran's southern coasts and north-western heights. In the precipitation variable of the NEX-GDDP project, correlation coefficients of 0.85 and 0.65 were obtained in the CORDEX and NEX-GDDP projects, respectively. The RMSE index shows error values of 9.53 mm in the NEX-GDDP project and 6.52 mm in the CORDEX project. The MBE index shows a decreased bias in the NEX-GDDP project (-2.60 mm) compared to the CORDEX project (-8.21 mm), suggesting the better performance of the MPI-ESM-LR model in the NEX-GDDP project than the CORDEX project in precipitation simulation. Except for a precipitation downtrend of -11.766 mm per decade in the synoptic station, the uptrend precipitation slopes of 8.513 mm and 12.524 mm were simulated in CORDEX and NEX-GDDP projects, respectively, in each decade. Both projects' maximum and minimum precipitations were simulated in the Zagros highlands and the southeast of Iran, respectively.

In the temperature variable in the CORDEX project, the high correlation coefficients in the majority of regions in Iran indicate the high accuracy of the model in temperature simulation. Under this project, the highest error in the RMSE index was observed in Chabahar and Jask in the southeast of Iran, and the lowest error was noticed in the extreme western slopes of Zagros. In the MBE index, the performance of the model in

temperature simulation under the mentioned project shows a temperature overestimation or a positive bias in the southern coasts and western highlands and a negative bias in the Alborz highlands and low-altitude interior regions. In the NEX-GDDP project, a correlation of 0.99 exists between observed and simulated data in the whole country. In the RMSE index, the maximum error is visible on the west coast of the Caspian Sea and Ardabil, and the minimum error is seen in Jask, Chabahar, Iranshahr, and Zahedan (the southeast of Iran). In the MBE index, a positive bias was recorded in the same regions and on the eastern coasts of the Caspian Sea, versus a negative bias recorded in other regions of Iran.

In the precipitation variable under the CORDEX project, the correlation coefficient statistics in the heights of Binalud and Aladagh range from 0.99 to 0.92 in the north-east of the country and the heights of the western Zagros and up to 5.0 in the Caspian Sea coasts and the coastal areas of Oman (southeast of Iran). In the CORDEX project, the maximum negative bias in the MBE index was observed in the western shores of the Caspian while the maximum positive bias belonged to Tabriz and Khorramabad. In the RMSE index, the minimum error was seen in Zabul and Birjand in eastern Iran. In the NEX-GDDP project, a good correlation coefficient of > 89% was obtained in 81.5% of the country, indicating that the simulated data is close to the real data. In the RMSE index, the maximum error was recorded on the country's northern coasts. The minimum error is between 6.8 and 1.4 mm in Alborz heights and pitfalls in the central and eastern parts of the country. Caspian coasts show the highest negative bias or underestimation in the MBE index. The maximum positive bias was estimated in the Zagros highlands, central pitfalls, and the northeastern highlands of the country.

Conclusion

Climate change-driven disasters can be prevented to a large extent, provided that warnings of adverse weather conditions are taken seriously. The need to pay attention to risk management and increasing resilience

in climate change conditions caused by global warming can account for a road map in this context. Given Iran's mostly dry climate, temperature and precipitation changes necessitate an integrated management plan for water resources and a long-term vision of the relevant managers and officials in the country. This is because climate change leads to challenges in various environmental, agricultural, food security, social, economic, cultural, political, and international fields.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

درستی‌سنجی متغیرهای دما و بارش مدل‌های CMIP5 در ایران تحت پروژه‌های CORDEX و NEX-GDDP

فاطمه تقوی‌نیا^۱، بتول زینالی^۲✉، عباسعلی داداشی رودباری^۳

۱. گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: f.taghavinia@uma.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: zeynali.b@uma.ac.ir
۳. گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: a-dadashi@um.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

باتوجه به اینکه تاکنون هیچ مطالعه‌ای به ارزیابی توأمان روش‌های ریزگردانی NEX-GDDP و CORDEX-WAS جهت درستی‌سنجی خروجی مدل‌های CMIP5 در ایران برای فرا سنج‌های دما و بارش انجام نشده است؛ لذا این مطالعه برای نخستین بار در ایران مقایسه عملکرد مدل MPI-ESM-LR از سری مدل‌های CMIP5 را برای متغیرهای دما و بارش با رویکرد توأمان روش ریزگردانی دینامیکی و آماری برای دوره تاریخی ۲۰۰۵-۱۹۸۰ مورد مطالعه قرار می‌دهد. جهت درستی‌سنجی، آماره‌های MBE، RMSE و r مورد استفاده قرار گرفت. برای برآورد شیب روند داده‌ها در سری زمانی، از روش ناپارامتریک سنس استفاده می‌شود. نتایج نشان داد در پروژه کوردکس میزان اریبی ۰/۳۴- درجه سلسیوس و در پروژه NEX-GDDP میزان اریبی ۰/۴۶- درجه سلسیوس ثبت شده است که بیانگر عملکرد بهتر مدل MPI-ESM-LR تحت پروژه ریزگردانی دینامیکی کوردکس در مقایسه با پروژه آماری NEX-GDDP در شبیه‌سازی دما می‌باشد. در هر دو پروژه بیشینه دما در سواحل جنوب و کمینه دما در ارتفاعات شمال غرب کشور شبیه‌سازی شده است. در شاخص MBE پروژه NEX-GDDP با اریبی ۲/۶۰- میلی‌متر در مقایسه با پروژه کوردکس با اریبی ۸/۲۱- میلی‌متر، کاهش اریبی را نشان می‌دهد که بیانگر عملکرد بهتر مدل MPI-ESM-LR در پروژه NEX-GDDP نسبت به پروژه کوردکس در شبیه‌سازی بارش می‌باشد. بیشینه بارش در هر دو پروژه در ارتفاعات زاگرس و کمینه بارش در جنوب شرق کشور شبیه‌سازی شده است.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۰۱/۱۲

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۰۳/۰۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۲/۰۴/۰۸

تاریخ چاپ:

۱۴۰۲/۰۵/۱۱

واژگان کلیدی:

ایران،

بارش،

دما،

CORDEX-WAS

NEX-GDDP

استناد: تقوی‌نیا، فاطمه؛ زینالی، بتول و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۲). درستی‌سنجی متغیرهای دما و بارش مدل‌های CMIP5 در ایران تحت پروژه‌های CORDEX و NEX-GDDP. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۵ (۲)، ۱۱۱-۱۳۳.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2023.358843.1007772>

مقدمه

پدیده گرمایش جهانی نگرانی‌های زیادی را در سراسر جهان ایجاد کرده است و اثرات آن در سال‌های اخیر بر محیط طبیعی و جامعه بشری آشکار شده است (Gou et al, 2020: 5). در سال‌های گذشته، برخی از وقایع فرین آب‌وهوایی همانند سیل (Blöschl et al, 2017: 588) و خشکسالی (Mazdiyasn and AghaKouchak, 2015: 11485) اثرات منفی زیادی بر انسان و اکوسیستم‌های محیطی وارد کرده است. در میان پارامترهای آب‌وهوایی و رخداد‌های فرین، تأثیر پارامترهای اقلیمی دما و بارش بسیار گسترده‌تر و روشن‌تر است و مشاهدات نشان می‌دهد که فراوانی‌های فرین‌های مرتبط با این وقایع در حال افزایش است (Di Sante et al, 2021: 3210). گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییرات آب‌وهوایی (IPCC^۱) خاطر نشان می‌کند که دمای آینده جهان همچنان افزایشی خواهد بود و وقوع رویدادهای فرین آب‌وهوایی نیز به تبع آن بیش‌تر می‌شود (IPCC, 2014: 271). برای مقابله و سازگاری با اثرات تغییرات آب‌وهوایی در آینده نیازمند اطلاعات بهتر و با عدم قطعیت کمتری هستیم. امروزه بیش‌تر تحقیقات در خصوص تغییرات آب‌وهوایی به مدل‌های جهانی آب‌وهوا (GCM^۲) متکی هستند (IPCC, 2013: 746). این مدل‌ها به‌عنوان ابزاری مهم برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات آب‌وهوایی گذشته و آینده در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی از جمله مدل‌سازی‌های آب‌وهوایی، کشاورزی (Dawson et al, 2016: 432) و هیدرولوژی (Gosling & Arnell, 2016: 375) استفاده می‌شوند.

یکی از منابع اصلی عدم قطعیت در هر مدل آب‌وهوایی، برهم کنش پیچیده در بین زیرسیستم‌ها (جو، هیدروسفر، لیتوسفر و غیره) در تعامل با سیستم جهانی آب‌وهوا است. با این وجود، دلیل اصلی بروز خطا در GCM / RCM^۳ها، توضیح نامناسب از فیزیک اتمسفر و خطاهای مربوط به خود متغیرها است. حتی در مطالعات معدودی نیز مشاهده شده است که مدل‌های مختلف آب‌وهوایی تغییرات متضادی از فرایندها (مثلاً تغییر در میزان بارندگی، افزایش / کاهش بارندگی، دما و غیره) را ایجاد می‌کنند (Xu & Wang, 2019: 2512).

مدل‌های جهانی آب‌وهوا در فاز پنجم پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده (CMIP5^۴) توانایی محدودی در ضبط کردن جزئیات مکانی ویژگی‌های آب‌وهوایی (شدید) در مقیاس‌های منطقه‌ای یا محلی به دلیل وضوح نسبتاً درشت دارند. این مدل‌ها هنوز به‌تنهایی نمی‌تواند نیازهای تحقیقات منطقه‌ای تغییرات آب‌وهوایی را برآورده کنند. در طول یک دهه گذشته، انواع روش‌های مقیاس کاهی دینامیکی و آماری به طور گسترده‌ای در زمینه تغییرات آب‌وهوایی مورد استفاده قرار گرفت (Shi et al, 2018: 2379). از جمله این روش‌ها می‌توان به SDSM^۵، Lars-WG^۶، WRF، RegCM4^۷، پروژه دینامیکی CORDEX^۸ و آماری NEX-GDDP^۹ و ... اشاره کرد. تکنیک‌های مقیاس کاهی آماری نسبت به تکنیک‌های مقیاس کاهی دینامیکی به منابع محاسباتی کمتری احتیاج دارند و متعاقباً به‌طور گسترده‌ای در تحقیقات استفاده می‌شود (Xu & Wang, 2019: 2515).

باتوجه به اینکه تولید داده‌های آب‌وهوایی با دقت مناسب یکی از اهداف اصلی مراکز پیش‌بینی و مدل‌سازی است و مدل‌های اقلیمی با تنوع بالایی که دارند ابزار اصلی تحقیقات تغییر اقلیم هستند (Yang et al, 2018: 612)، درستی‌سنجی متغیرهای دما و بارش ایران با استفاده از جدیدترین روش مقیاس کاهی دینامیکی کوردکس و NEX-GDDP از اهمیت قابل توجهی برخوردار است که تاکنون در مورد کل ایران تحقیقات معدودی در این مورد انجام شده است. در حال حاضر، فقط چند مطالعه آن هم با تمرکز بر یک منطقه خاص و یا صرفاً با به‌کارگیری یک مدل انجام شده است. تحقیقات مرتبط

1. Intergovernmental Panel on Climate Change
2. Global Climate Models
3. Regional Climate Models
4. Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
5. Statistical Down Scaling Model
6. Long Ashton Research Station Weather Generator
7. Regional Climate Model version 4
8. Cordinated Regional climate Downscaling Experiment
9. NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections

دیگر در مورد ایران فقط روی حوضه‌های آبخیز یا مناطق کوچک متمرکز شده است؛ مانند پژوهش (کامیار و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۷) در ارزیابی دما در استان اصفهان؛ یا روی حوضه‌های آبخیز همچون پژوهش (عسگری و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۲۵) در ارزیابی تغییرات دما و بارش در حوضه آبخیز دز؛ پژوهش (Ahmadi and Azizzadeh, 2020: 685; Ahmadi Hasheminasab et al, 2022: 1866; et al, 2020: 661) در مطالعه تغییرات اقلیمی در حوضه کرخه؛ مطالعات (Rahimi et al, 2019: 2829) در شبیه‌سازی دما و بارش حوضه رودخانه کارون؛ یا مناطق کوچک مانند بررسی‌های (غلام‌پور شماری و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۵۸۳).

در ارزیابی بارش و تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع در شرایط تغییر اقلیم در نواحی عمده تولید محصولات دیم در استان کردستان، انجام شده است. در عین حال، ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی بی‌نظیر و آب‌وهوای متنوعی که دارد یکی از مناطقی است که بیش‌ترین تغییرپذیری آب‌وهوا را در جهان دارد. بر این اساس لزوم انجام پژوهشی در کل کشور با داده‌هایی با تفکیک افقی مناسب، ضروری است و داده‌هایی با تفکیک افقی بالا می‌توانند ویژگی‌های دقیق تغییرات آب‌وهوایی را در سراسر ایران بهتر نشان دهند. در این راستا لازم است تحقیقاتی در خصوص درستی‌سنجی مدل‌ها انجام شده و کارایی مدل MPI-ESM-LR در جهت به حداقل رساندن عدم قطعیت‌های موجود در پیش‌بینی‌های اقلیمی، بررسی گردد. مطالعه حاضر در راستای این هدف و با مقایسه عملکرد مدل MPI-ESM-LR از سری مدل‌های CMIP5 برای کشور ایران تحت پروژه‌های دینامیکی CORDEX-WAS و آماری NEX-GDDP برای متغیرهای دما و بارش برای دوره تاریخی ۱۹۸۰-۲۰۰۵ انجام شده است.

باتوجه به اهمیت مطالعه دقیق تغییر در شرایط جوی و نقش مدل‌های دینامیکی و آماری در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای آب‌وهوایی پژوهش‌های مختلفی پیرامون درستی‌سنجی متغیرهای دما و بارش مدل‌های CMIP5 تحت پروژه‌های کوردکس^۱ و NEX-GDDP در مقیاس جهان و ایران انجام شده است که نتایج مطالعات انجام شده مبتنی بر CMIP5 در چین توسط (Chen et al, 2017: 403; Wang et al, 2019: 1158)؛ در جنوب شرقی آسیا (Supari et al, 2020: 1)؛ در هند (Kumar et al, 2020: 525) و در اتیوپی (Tegegne et al, 2021: 1) بیانگر توانایی بهتر پروژه‌های کوردکس و NEX-GDDP در مقایسه با سایر پروژه‌ها در شبیه‌سازی دما و بارش است و نتایج به دست آمده همبستگی قابل توجه بالایی با مشاهدات دارد. در خصوص مطالعات انجام شده در مقیاس جهانی با پروژه کوردکس در رابطه با درستی‌سنجی مدل بهینه متغیرهای دما و بارش مبتنی بر برون‌داد مدل‌های CMIP5 می‌توان به بهینه بودن مدل MIROC-ESM^۲ در ارزیابی دمای هند (Panjwani et al, 2021: 407)؛ بهینه بودن مدل CSIRO-Mk3-6-0^۳ در مطالعه دمای استرالیا (Collier et al, 2011: 2691)؛ همچنین بهینه بودن مدل MPI-ESM-LR^۴ در بررسی‌های دمای بنگلادش (Bhuyan et al, 2018: 115)؛ بارش هند (Jena et al, 2016: 3)؛ بارش آفریقا (Karypidou et al, 2022: 1)؛ بارش رواندا (Safari et al, 2022: 1112)؛ بارش تانزانیا (Mutayoba and Kashaigili, 2021: 32)؛ اشاره کرد که همگی بیانگر گرمایش هوا در دوره‌های آبی و وجود همبستگی نسبتاً مطلوب بین داده‌های ایستگاهی و داده‌های مشاهداتی مدل‌های مذکور هستند. در زمینه پژوهش‌های انجام شده با روش آماری NEX-GDDP بر اساس مدل‌های CMIP5 در مقیاس جهانی می‌توان به عملکرد بهتر مدل GFDL-ESM2M^۵ در مطالعات (Mami et al, 2021: 63) در ارزیابی دمای آفریقا، (Aggarwal et al, 2016: 1392) در ارزیابی دما در هیمالیا و (Panjwani et al, 2021: 415) در مطالعه دمای هند، همچنین عملکرد مناسب مدل IPSL-

1. CORDEX

2. Model for Interdisciplinary Research on Climate- Earth System Model

3. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization-Mark3-6-0

4. Max Planck Institute Earth System Model Low Resolution

5. Geophysical Fluid Dynamics Laboratory- Earth System Model version 2M

۱ CM5A-MR در یافته‌های (Zhao et al, 2021: 11) در بررسی دمای جهان، بهینه بودن مدل CanESM2^۲ در ارزیابی دمای هند توسط (Kumar and Agarwal, 2020: 859)، بهینه بودن مدل MRI-CGCM3^۳ در بررسی بارش پاکستان در یافته‌های (Usman et al, 2021: 12)؛ بهینه بودن مدل MPI-ESM-LR در ارزیابی بارش هند توسط (Kumar et al, 2020: 530; Thakur et al, 2020: 10)؛ عملکرد مناسب مدل CNRM-CM5^۴ در یافته‌های (Kamworapan & Surussavadee, 2019: 15) در بررسی بارش جنوب شرق آسیا اشاره کرد که وقوع تغییر اقلیم در آینده را بیان کرده‌اند. در ایران نیز در خصوص درستی‌سنجی متغیرهای دما و بارش با پروژه CORDEX-WAS و NEX-GDDP بر اساس خروجی مدل‌های CMIP5 می‌توان به مطالعات (یعقوب‌زاده و رضانی، ۱۳۹۸: ۹۵) که در درستی‌سنجی دمای بیرجند مدل GFDL-ESM2M با بهترین عملکرد، در درستی‌سنجی بارش ایران توسط (Ghahreman et al, 2015: 9) و بارش اصفهان توسط (کامیار و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۷) و بارش نیمه غربی ایران توسط (عبدلی و همکاران، ۱۴۰۰: ۹) مدل MPI-ESM-LR را به‌عنوان مدل بهینه با کم‌ترین خطا برای پیش‌نگری دوره‌های آینده انتخاب کردند، اشاره کرد که همگی بیانگر وقوع گرمایش هوا در اقلیم آینده و توانایی بهتر مدل‌های مذکور برای ارائه اقلیم آینده هستند.

جمع‌بندی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیرندگان جهت توسعه یک برنامه استراتژیک مقاوم در برابر تغییرات آب‌وهوایی باید از تغییرات بالقوه در اقلیم پیش‌بینی شده آینده آگاه شوند. بدین منظور تأکید برای یک مطالعه عمیق عدم قطعیت با به‌کارگیری مدل‌های CMIP5 با روش‌های مقیاس‌کاهی دینامیکی CORDEX-WAS و آماری NEX-GDDP در مقیاس منطقه‌ای ضروری است. با توجه به اینکه تاکنون هیچ مطالعه‌ای به ارزیابی توانمان روش‌های مقیاس‌کاهی NEX-GDDP و CORDEX-WAS جهت درستی‌سنجی خروجی مدل‌های CMIP5 در ایران برای متغیرهای دما و بارش انجام نشده است؛ لذا این مطالعه برای نخستین بار در ایران مقایسه عملکرد مدل MPI-ESM-LR از سری مدل‌های CMIP5 را برای متغیرهای دما و بارش با رویکرد توانمان روش مقیاس‌کاهی دینامیکی و آماری برای دوره تاریخی ۱۹۸۰-۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار می‌دهد.

این پژوهش که به ارزیابی و درستی‌سنجی برون‌داد مدل‌های تغییر اقلیم می‌پردازد به‌عنوان پیش‌زمینه‌ای برای کارهای بعدی است که بتوانیم دریابیم که برون‌داد GCMها در مناطق مختلف اقلیمی کشور به چه صورت عمل می‌کنند و در نتیجه بتوانیم بهترین مدل را شناسایی کنیم و در گام بعدی بتوانیم آن مدل را تصحیح اریبی و مقیاس‌کاهی کنیم. نتایج این مطالعه برای مدل‌سازی اقلیمی و تنش‌های محیطی منتج از تغییرات آب‌وهوایی در ایران می‌تواند مفید باشد.

روش پژوهش

داده‌های مشاهداتی

برای بررسی درستی‌سنجی برون‌داد مدل‌های مورد استفاده از داده‌های دما و بارش ۴۹ ایستگاه سینوپتیک در سطح کشور طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۵ (مطابق داده‌های تاریخی پروژه CORDEX-WAS و NEX-GDDP) انتخاب شد که معیارهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا هر ایستگاه برای انتخاب ایستگاه‌ها با پراکندگی مناسب در تمام مناطق کشور مدنظر قرار گرفت. در بین ایستگاه‌های سینوپتیک انتخاب شده ایستگاه بابل‌سر با ۲۱- متر ارتفاع از سطح دریا پست‌ترین ایستگاه و ایستگاه شهرکرد با ۲۰۴۸/۹ متر ارتفاع مرتفع‌ترین ایستگاه است.

1. Institut Pierre Simon Laplace- Climate Model version 5- Medium Resolution
2. Canadian Earth System Model
3. Meteorological Research Institute Coupled Global Climate Model Version 3
4. Centre National de Recherches Meteorologiques- Climate Model version 5

برونداد مدل‌های مورد استفاده

در این پژوهش از دو پروژه NEX-GDDP و CORDEX استفاده شده است که NEX-GDDP مدل آماری و CORDEX مدل دینامیکی می‌باشد. در ادامه توضیح مختصری از هر یک ارائه می‌شود.

روش مقیاس کاهی آماری NEX-GDDP

مهم‌ترین ابزار برای پیش‌بینی تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی در سطح جهانی و قاره‌ای مدل‌های جهانی آب‌وهوا (GCMها) هستند (میراکبری و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۹۵). یکی از روش‌های مقیاس کاهی آماری را سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده آمریکا موسوم به ناسا (NASA) برای مدل‌های جهانی آب‌وهوا از پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز پنجم (CMIP5) اعمال و مجموعه داده‌هایی با تفکیک افقی بالا برای دوره‌های تاریخی و برای پیش‌نگری‌های بلندمدت آینده ایجاد کرد. این مجموعه داده به نام پیش‌نگری‌های مقیاس کاهی شده روزانه جهانی تبادل زمین ناسا (NEX-GDDP) معرفی و در ژوئن ۲۰۱۵ منتشر شد. تفکیک افقی این مدل‌ها ۰/۲۵ درجه قوسی (حدود ۲۵ کیلومتر) است. مهم‌ترین ویژگی این سری از داده‌ها، در نظر گرفتن اثر توپوگرافی محلی بر شرایط اقلیم منطقه‌ای است. داده‌های مشاهده‌ای استفاده شده در پروژه NEX-GDDP پایگاه داده واداشت هواشناسی جهانی (GMFD^۱) است که گروه تحقیقات هیدرولوژی دانشگاه پرینستون آن را ارائه کرده است (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱: ۵۱). پدیدآورندگان هدف از تولید این داده‌ها را کمک به جامعه علمی در انجام محاسبات تأثیرات تغییر اقلیم در مقیاس محلی و ناحیه‌ای و درک عمومی از الگوهای اقلیمی آینده در مقیاس‌های ویژه شامل شهرک‌ها، شهرها و حوضه‌های آبریز ذکر نموده‌اند (Ghalami et al, 2023: 351).

روش مقیاس کاهی دینامیکی CORDEX

طی سال‌های اخیر پژوهشگران آب‌وهواشناسی از مدل‌های آب‌وهوایی منطقه‌ای مختلف به منظور تولید مجموعه چندگانه از داده‌های مقیاس کاهی شده پروژه CMIP5 توسط WCRP^۲ استفاده کردند. در اقدامی هماهنگ با انجمن بین‌المللی مقیاس کاهی منطقه‌ای (CORDEX) باهدف پیش‌نگری تغییرات آب‌وهوایی به‌عنوان ورودی مطالعات دگرگونی آب‌وهوا و راهکارهای سازگاری با آن ایجاد گردید (Ahmadi et al, 2020: 665). هدف کوردکس ایجاد همکاری بین‌المللی به منظور تولید مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌های آب‌وهوایی گذشته و آینده در مقیاس منطقه‌ای، با ریزمقیاس‌نمایی مدل‌های مختلف آب‌وهوای جهانی (GCMها) شرکت‌کننده در پروژه مقایسه مدل جفت شده فاز ۵ (CMIP5) با وضوح بالا است (Ahmadi et al, 2021: 111).

کشور ایران از نظر جغرافیایی در منطقه ۶ به نام جنوب آسیا CORDEX-WAS قرار دارد. در این پژوهش از داده‌های محدوده CORDEX-WAS با قدرت تفکیک مکانی ۰/۴۴ درجه قوسی، مدل RCA4 برای RCM و گروه (Ensemble) r1i1p1 استفاده می‌شود.

در این پژوهش مدل MPI-ESM-LR از سری مدل‌های CMIP5 را برای دو پروژه مذکور بررسی کرده و به این نتیجه رسیدیم که مدل MPI-ESM-LR در هر دو پروژه در دسترس بوده و هر دو متغیر دما و بارش را دارد و در نتیجه این مدل مورد استفاده قرار گرفت.

1. Global Meteorological Forcing Dataset
2. World Climate Research Program

روش‌های درستی‌سنجی

تحقیق حاضر به بررسی درستی‌سنجی متغیرهای دما و بارش مدل MPI-ESM-LR از سری مدل‌های CMIP5 در ایران تحت پروژه‌های مقیاس کاهی دینامیکی CORDEX-WAS و آماری NEX-GDDP با استفاده از آماره‌های میانگین انحراف خطا (MBE^۱)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE^۲) و ضریب همبستگی پیرسون^۳ (r) که معادلات آنها به ترتیب در روابط (۱) تا (۳) مشخص شده‌اند، می‌پردازد.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - Y_i)}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - Y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این روابط X_i و Y_i به ترتیب i امین داده مشاهداتی و داده باز تحلیل / ماهواره، \bar{X} و \bar{Y} میانگین کل داده‌های X_i و Y_i در جامعه آماری و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۸۰).

بررسی روند داده‌ها

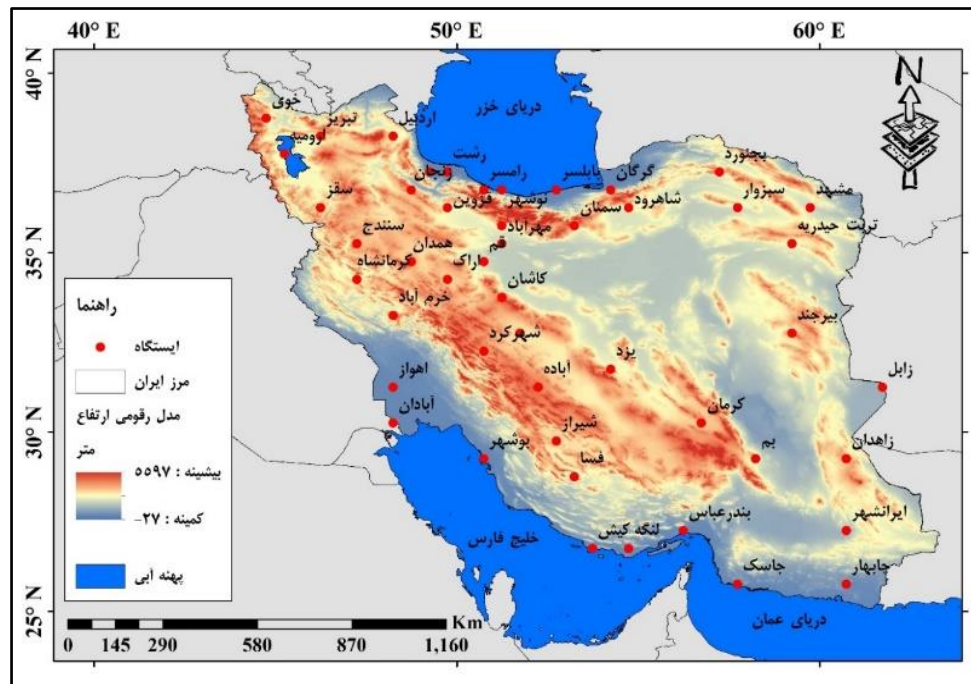
برای برآورد شیب روند داده‌ها در سری زمانی، از روش ناپارامتریک سنس استفاده می‌شود. این روش یکی از روش‌های سودمند در این زمینه است. این روش ابتدا توسط تیل در سال ۱۹۵۰ ارائه و سپس توسط سن در سال ۱۹۶۸ بسط داده شد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های ناپارامتریک بر ارزیابی تفاوت بین مشاهدات سری زمانی استوار است (داداشی رودباری، ۱۳۹۹: ۷۳). شایان‌ذکر است که IPCC مدل‌های CMIP6 را در گزارش ششم خود در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ منتشر کرده است و این مدل‌ها توسط بسیاری از محققین در حال ارزیابی و مقایسه با مدل‌های CMIP5 می‌باشد (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰: ۷۵؛ Di Sante et al, 2021: 3203؛ Hamed et al, 2022: 3؛ Usta et al, 2022: 3).

به دلیل اینکه در زمان انجام این پژوهش روش مقیاس کاهی CORDEX-WAS و NEX-GDDP مورد استفاده در این پژوهش، برای مدل‌های CMIP6 هنوز به طور کامل بسط داده نشده است؛ بنابراین از مدل‌های CMIP5 استفاده شده است. به دلیل بالا بودن تعداد نقشه‌ها، تمامی نقشه‌ها و نمودارها و جداول در مقیاس سالانه ترسیم و تحلیل شده است.

محدوده مورد مطالعه

ایران کشوری در جنوب غرب آسیا است و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. بلندترین نقطه کشور در قله دماوند با ۵۶۱۰ متر ارتفاع و پست‌ترین نقطه در سواحل جنوبی دریای خزر با ارتفاع کمتر از ۲۸ متر واقع شده است (شکل ۱). رشته‌کوه‌های البرز در شمال و زاگرس در غرب مانند سد مانع از ورود رطوبت به نواحی مرکزی کشور می‌شود در نتیجه بارش در مناطق مرکزی کشور نسبت به سایر مناطق بسیار ناچیز است. ایران همچنین میزبان یکی از گرم‌ترین بیابان‌های جهان یعنی دشت لوت است. مطابق روش طبقه‌بندی اقلیمی کوپن بیش از ۸۰ درصد از مساحت کشور در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰: ۷۷).

1. Mean Bias Error
2. Root Mean Square Error
3. Pearson's correlation coefficient



شکل ۱. ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب ایران

یافته‌ها

ارزیابی عملکرد مدل MPI-ESM-LR تحت مقیاس کاهی دینامیکی و آماری برای ایران

تغییرات دما و بارندگی، جنبه بسیار مهمی است که بر تغییرات اقلیمی تأثیر می‌گذارد. در جدول ۱ متوسط مقادیر سنجه‌های آماری محاسبه شده برای درستی‌سنجی داده‌های دما و بارش شبیه‌سازی شده مدل MPI-ESM-LR در ایران برای دوره مشاهداتی ۲۰۰۵-۱۹۸۰ بر اساس روش مقیاس کاهی دینامیکی CORDEX-WAS و مقیاس کاهی آماری NEX-GDDP نشان داده شده است که داده‌های تاریخی مدل منتخب با داده‌های ایستگاهی دما و بارش در ۴۹ ایستگاه بر اساس سه شاخص آماری RMSE، MBE و σ مورد بررسی قرار گرفت. در متغیر دما مدل MPI-ESM-LR در هر دو پروژه مقیاس کاهی ضریب همبستگی ۰/۹۹ را نشان می‌دهد که بیانگر همبستگی بالای داده‌های مشاهده‌ای مدل و داده‌های ایستگاهی است. در هر دو پروژه شاخص RMSE خطای کمتر از ۱ درجه سلسیوس معادل ۰/۷۸ درجه سلسیوس در پروژه کوردکس و ۰/۵۱ درجه سلسیوس در پروژه NEX-GDDP را نشان می‌دهد. همچنان که در شاخص MBE نیز میزان خطا در هر دو پروژه کمتر از ۱ درجه سلسیوس است با این تفاوت که در پروژه کوردکس میزان اریبی ۰/۳۴- درجه سلسیوس و در پروژه NEX-GDDP میزان اریبی ۰/۴۶- درجه سلسیوس ثبت شده است که بیانگر عملکرد بهتر مدل MPI-ESM-LR تحت پروژه مقیاس کاهی دینامیکی کوردکس در مقایسه با پروژه آماری NEX-GDDP در شبیه‌سازی دما می‌باشد. مدل مورد بررسی در شبیه‌سازی مقادیر دما، در پروژه کوردکس در ۴۸/۹ درصد ایستگاه‌ها بیش‌برآوردی و در ۵۱/۱ درصد ایستگاه‌ها کم برآوردی دما را نشان می‌دهد. در حالی که این مقادیر در پروژه NEX-GDDP با بیش‌برآوردی دما در ۳۲/۶ درصد از ایستگاه‌ها و کم برآوردی دما در ۶۷/۳ درصد از ایستگاه‌ها مواجه بوده است. مطابق نتایج پژوهش (Pathak et al, 2019: 7) توپوگرافی، عرض جغرافیایی، نوع پوشش منطقه و دوری یا نزدیکی به منابع رطوبتی، کمبود ایستگاه‌های سینوپتیک کافی در کارایی مدل‌ها تأثیر می‌گذارد که وجود خطای مدل به کار برده شده در شبیه‌سازی دما در هر دو پروژه قابل توجیه است و به معنای عدم توانایی مدل در شبیه‌سازی دما نیست.

در متغیر بارش در هر دو پروژه کاهش نسبی همبستگی بین داده‌های ایستگاهی و داده‌های مدل نشان داده شده است با این تفاوت که در پروژه NEX-GDDP میزان همبستگی ۰/۸۵ ثبت شده است که در مقایسه با پروژه کوردکس با

همبستگی ۰/۶۵، از همبستگی نسبتاً مطلوبی برخوردار است. در عین حال، در شاخص RMSE در هر دو پروژه خطای مدل افزایش یافته است که با افزایش خطا به میزان ۹/۵۳ میلی‌متر در پروژه NEX-GDDP مواجه هستیم که در مقایسه با پروژه کوردکس با خطای ۶/۵۲ میلی‌متر، افزایش خطای فاحشی را نشان می‌دهد. در نقطه مقابل، در شاخص MBE در پروژه NEX-GDDP با اریبی ۲/۶۰- میلی‌متر در مقایسه با پروژه کوردکس با ۸/۲۱- میلی‌متر، کاهش اریبی را نشان می‌دهد که بیانگر عملکرد بهتر مدل MPI-ESM-LR در پروژه NEX-GDDP نسبت به پروژه کوردکس در شبیه‌سازی بارش می‌باشد. تأثیر توپوگرافی، نزدیکی یا دوری از منابع آبی، نبود ایستگاه‌های سینوپتیک کافی، متغیر بودن بارش در مناطق کوهستانی و کویری در کاهش همبستگی مذکور تأثیر می‌گذارد. همچنان که بالا بودن خطا در شاخص‌های MBE و RMSE تأثیرپذیری شدید بارش از عوامل دیگر را نشان می‌دهد. در این راستا (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱: ۵۱) تأثیر توپوگرافی را به‌عنوان یکی از واداشته‌های اقلیمی منطقه‌ای در پراکندگی فضایی بارش بیان کرده‌اند. مدل مورد پژوهش تحت پروژه NEX-GDDP، در ۸۱/۶ درصد ایستگاه‌ها بیش‌برآوردی بارش و ۱۸/۴ درصد ایستگاه‌ها کم‌برآوردی بارش را نمایانگر است؛ اما در پروژه کوردکس ۷۱/۵ درصد ایستگاه‌ها دارای کم‌برآوردی بارش یا اریبی منفی و ۲۸/۵ درصد ایستگاه‌ها دارای بیش‌برآوردی بارش یا اریبی مثبت هستند. یافته‌های پژوهش‌های انجام شده (Jena et al, 2016: 31; Karypidou et al, 2022: 9) در خصوص تعیین GCM بهینه برای برآورد بارش هند و آفریقا تحت CMIP5 نیز توانایی بهتر مدل MPI-ESM-LR را در مقایسه با سایر مدل‌ها در برآورد بارش برای دهه‌های آتی نشان داده‌اند. شایان‌ذکر است که مدل MPI-ESM-LR در هر دو پروژه مورد استفاده در شبیه‌سازی دما و بارش در دوره تاریخی ۱۹۸۰-۲۰۰۵ مورد مطالعه، در برآورد دما و بارش کم‌برآوردی داشته است بدین معنی که مقادیر شبیه‌سازی شده کمتر از مقادیر ثبت شده در ایستگاه‌های سینوپتیک بوده است.

جدول ۱. متوسط مقادیر سنجه‌های آماری محاسبه شده برای درستی‌سنجی دما و بارش مدل MPI-ESM-LR در ایران برای دوره مشاهداتی ۲۰۰۵-

۱۹۸۰

متغیر	پروژه	آماره	مقدار
دما	CORDEX-WAS	r	۰/۹۹
		RMSE	۰/۷۸
		MBE	-۰/۳۴
	NEX-GDDP	r	۰/۹۹
		RMSE	۰/۵۱
		MBE	-۰/۴۶
بارش	CORDEX-WAS	r	۰/۶۵
		RMSE	۶/۵۲
		MBE	-۸/۲۱
	NEX-GDDP	r	۰/۸۵
		RMSE	۹/۵۳
		MBE	-۲/۶۰

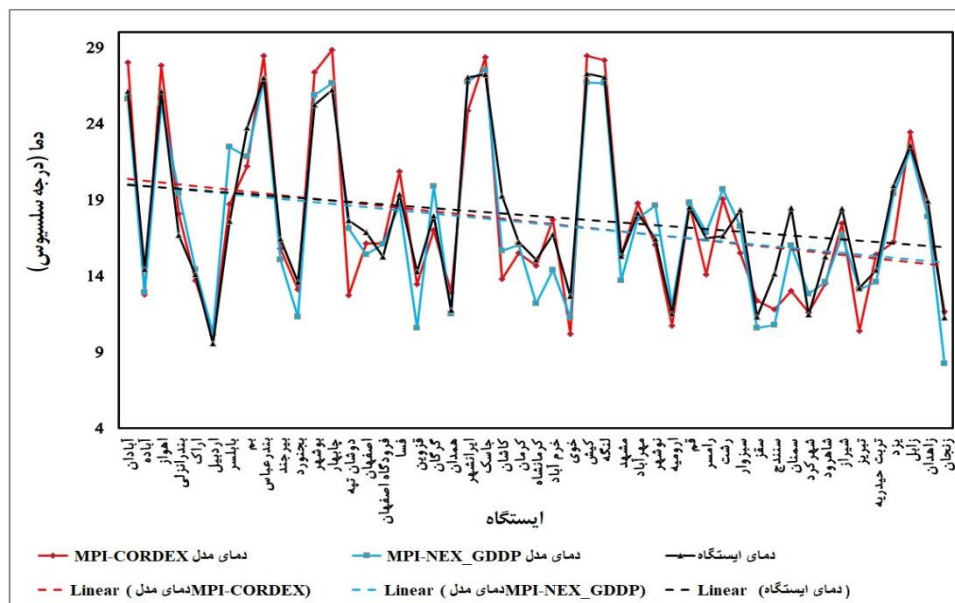
شیب روند دما و بارش مدل MPI-ESM-LR در ایران

مدل‌های آب‌وهوای جهانی ابزار اصلی شبیه‌سازی سیر تکاملی سیستم آب‌وهوای جهانی هستند و از آنجایی که تغییرات آب‌وهوا از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است بررسی عملکرد مدل‌ها برای شبیه‌سازی آب‌وهوا بسیار حائز اهمیت است (Kamworapan & Surussavadee, 2019: 7). بررسی شیب روند سالانه دما (شکل ۲) نشان می‌دهد که در مدل منتخب هر دو پروژه و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک شیب روند کاهشی دما در طول دوره مشاهداتی ۱۹۸۰-۲۰۰۵ ثبت شده است که شیب روند کاهشی دما در هر دهه به ترتیب در ایستگاه سینوپتیک ۰/۸۴۸- درجه سلسیوس، ۱/۱۹۱- درجه

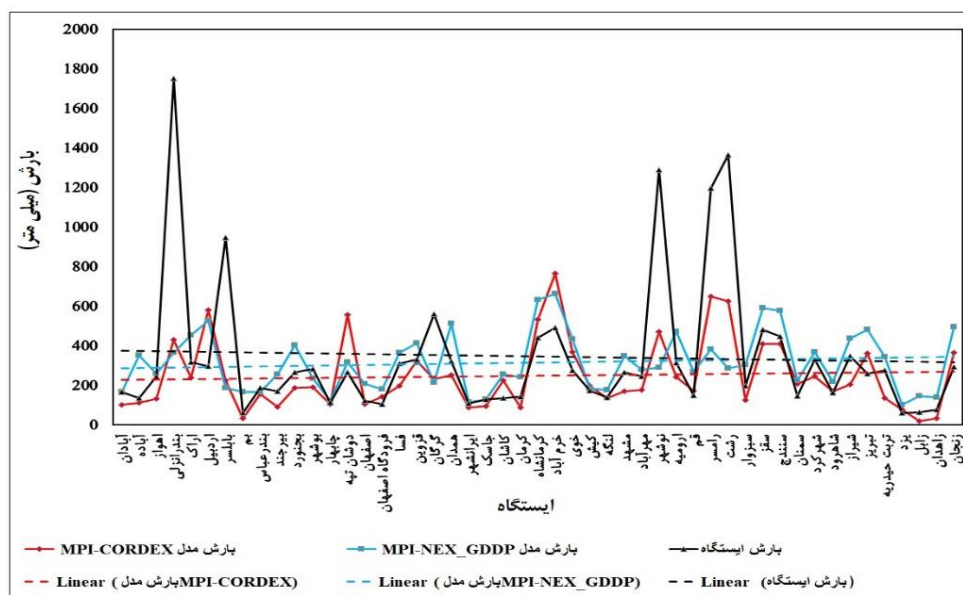
سلسیوس در پروژه کوردکس و $-۱/۰۷۵$ درجه سلسیوس در پروژه NEX-GDDP محاسبه شده است. همچنین بیشینه دمای ایستگاه سینوپتیک در جزیره کیش به میزان $۲۷/۲$ درجه سلسیوس و کمینه دمای ایستگاه سینوپتیک در اردبیل به مقدار $۹/۵$ درجه سلسیوس مشاهده شده است. درعین حال شبیه‌سازی مدل منتخب تحت پروژه کوردکس، بیشینه دما را در چابهار $۲۸/۸$ درجه سلسیوس و کمینه دما را در اردبیل $۱۰/۱$ درجه سلسیوس نشان می‌دهد. همچنان که مطالعات (Soroush et al, 2020: 427) نیز روند افزایشی دما را در نیمه جنوبی ایران نشان داده‌اند. درحالی‌که در پروژه NEX-GDDP بیشینه دما در جاسک $۲۷/۵$ درجه سلسیوس و کمینه دما در زنجان به میزان $۸/۲$ درجه سلسیوس شبیه‌سازی شده است. همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد میانگین دمای ایستگاه سینوپتیک $۱۷/۹$ درجه سلسیوس، میانگین دمای مدل در پروژه کوردکس $۱۷/۵$ درجه سلسیوس و میانگین دمای مدل در پروژه NEX-GDDP، $۱۷/۴$ درجه سلسیوس ثبت شده است که می‌توان دریافت مقادیر شبیه‌سازی شده دما تحت پروژه کوردکس نسبت به پروژه NEX-GDDP، به مقادیر واقعی ایستگاه سینوپتیک مشابه‌تر است.

برخلاف متغیر دما با شیب روند کاهشی، در متغیر بارش به‌استثنای وجود شیب روند کاهشی $-۱۱/۷۶۶$ میلی‌متر بارش در هر دهه در ایستگاه سینوپتیک، در شبیه‌سازی مدل MPI-ESM-LR در هر دو پروژه شیب روند افزایشی بارش نشان داده شده است که در پروژه کوردکس شیب روند افزایشی $۸/۵۱۳$ میلی‌متر در هر دهه و در پروژه NEX-GDDP روند افزایشی $۱۲/۵۲۴$ میلی‌متر در هر دهه شبیه‌سازی شده است. در این راستا مطالعات (Thakur et al, 2020: 8) نیز وجود روند افزایشی بارش را در هند تحت مدل و پروژه منتخب این پژوهش بیان کرده‌اند. از نظر گستره مکانی بارش در طول دوره $۲۰۰۵-۱۹۸۰$ ، در ایستگاه سینوپتیک بیشینه بارش در بندر انزلی به میزان $۱۷۴۹/۴$ میلی‌متر و کمینه بارش در بم به میزان $۵۸/۸$ میلی‌متر ثبت شده است.

درحالی‌که در پروژه کوردکس بیشینه بارش در خرم‌آباد $۷۶۳/۱$ میلی‌متر و کمینه بارش در زابل به میزان $۱۹/۵$ میلی‌متر و در پروژه NEX-GDDP بیشینه بارش در خرم‌آباد به میزان $۶۶۱/۲$ میلی‌متر و کمینه بارش در یزد به میزان ۱۰۰ میلی‌متر شبیه‌سازی شده است. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد بین متوسط مقادیر مشاهده شده بارش در ایستگاه سینوپتیک ($۳۴۵/۰۲$ میلی‌متر) و مقادیر شبیه‌سازی شده مدل در پروژه کوردکس ($۲۴۷/۱$ میلی‌متر) و در پروژه NEX-GDDP ($۳۱۴/۴$ میلی‌متر) تفاوت چشمگیر وجود دارد که می‌تواند به دلیل ماهیت بی‌ثبات و متغیر بارش باشد که توپوگرافی منطقه، دوری با نزدیکی به دریا و خشکی در این تفاوت مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده تأثیرگذار است. با این وجود در مقایسه با پروژه کوردکس، مقادیر شبیه‌سازی مدل منتخب تحت پروژه NEX-GDDP به مقادیر واقعی مشاهده شده در ایستگاه سینوپتیک نسبتاً نزدیک‌تر است.



شکل ۲. شیب روند سالانه دمای مدل MPI-ESM-LR تحت مقیاس کاهی دینامیکی و آماری برای ایران



شکل ۳. شیب روند سالانه بارش مدل MPI-ESM-LR تحت مقیاس کاهی دینامیکی و آماری برای ایران

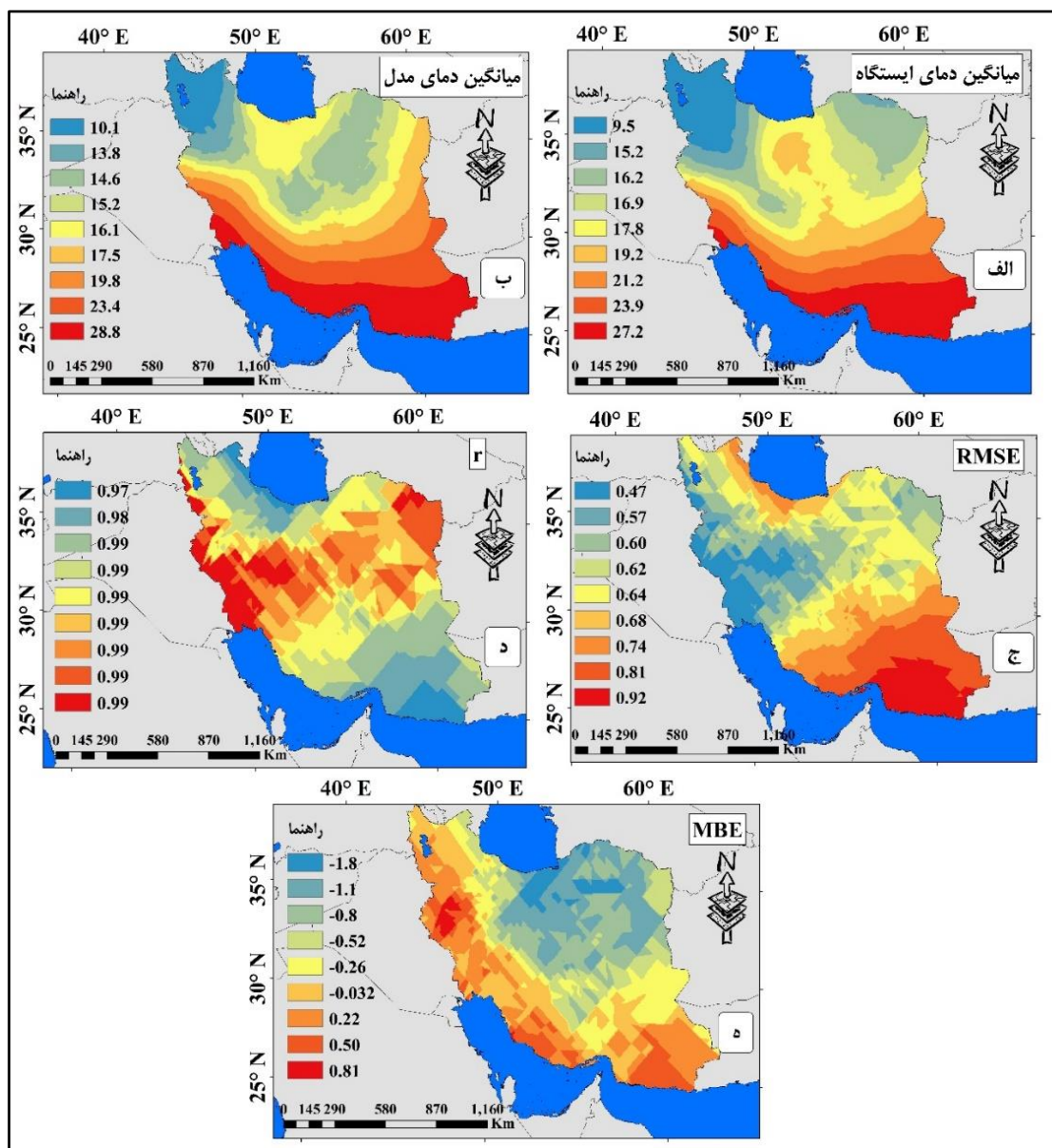
عملکرد مدل MPI-ESM-LR تحت مقیاس کاهی دینامیکی و آماری برای دمای ایران

هرچند پیش‌بینی‌های مدل‌های گردش عمومی از اعتماد و قابلیت مناسبی برخوردارند، با این وجود در نظر نگرفتن برخی از ویژگی‌های مهم محیطی مانند توپوگرافی و پوشش گیاهی، سبب می‌شود که داده‌های این مدل‌ها در مقیاس‌های مختلف فضایی و زمانی نیازمند ارزیابی دقت باشند (Usman et al, 2021: 6). با توجه به شکل‌های ۴ و ۵ (الف) می‌توان بیان کرد که در دوره مشاهداتی (۲۰۰۵-۱۹۸۰) از نظر گستره مکانی دمای سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک، در هر دو پروژه نوار ساحلی جنوب کشور بیشینه دما (۲۷/۲ درجه سلسیوس) و ایستگاه‌های کوهستانی شمال غرب کشور کمینه دما را (۹/۵ درجه سلسیوس) ثبت کرده‌اند. در مجموع مقادیر دما از جنوب به شمال و از شرق به غرب کاسته می‌شود. کاهش دما از جنوب به شمال به دلیل افزایش عرض جغرافیایی، کاهش تابش خورشید، تراکم ارتفاعات و افزایش ابرناکی در شمال کشور

است؛ ولی کاهش دما از شرق به غرب به دلیل تجمع توده کوهستانی زاگرس در غرب کشور و هجوم توده هوای سرد سبیری به چاله‌های مرکزی ایران رخ می‌دهد (علیچانی، ۱۳۸۹: ۱۵۷). میانگین دمای سالانه مدل MPI-ESM-LR (شکل ۴ ب) در پروژه کوردکس نیز بیشینه دما را (۲۸/۸ درجه سلسیوس) در سواحل جنوب کشور و کمینه دما را (۱۰/۱ درجه سلسیوس) در ارتفاعات شمال غرب نشان می‌دهد. اما این مدل تحت پروژه NEX-GDDP (شکل ۵ ب) بیشینه دما را با کاهش وسعت علاوه بر سواحل جنوب کشور، در سواحل شرقی خزر در بابلسر به میزان ۲۳ درجه سلسیوس نیز نشان می‌دهد که تأثیر ارتفاع پایین منطقه، نزدیکی به دریا و پوشش گیاهی متنوع و فراوان در این گرمایش شبیه‌سازی شده مؤثر است. کمینه دمای مدل تحت این پروژه در ارتفاعات شمال غرب در زنجان با ۸/۲ درجه سلسیوس و به صورت محدود در شمال شرق در بجنورد با ۱۰ درجه سلسیوس ثبت شده است. در پروژه کوردکس در شاخص ضریب همبستگی (شکل ۴ د) مدل MPI-ESM-LR همبستگی ۹۷ درصد را در سواحل خزر در انزلی و ۹۸ درصد در سواحل شرقی جنوب کشور و ۹۹ درصد در سایر مناطق کشور نشان می‌دهد. بالابودن همبستگی در اکثریت مناطق کشور گویای دقت بالای مدل در شبیه‌سازی دما است. کاهش جزئی همبستگی در سواحل خزر به دلیل بالابودن بارش این منطقه متأثر از نزدیکی به منبع رطوبتی می‌باشد. همچنین تحت این پروژه در شاخص RMSE (شکل ۴ ج) بیش‌ترین خطا در جنوب شرق کشور در چابهار و جاسک به میزان ۰/۹۲ درجه سلسیوس و کمینه خطا به میزان ۰/۴۷ در منتهی‌الیه دامنه غربی زاگرس مشاهده شده است. افزایش جزئی خطا به معنای ضعف مدل در شبیه‌سازی نیست؛ بلکه به‌خاطر تغییرپذیری دما متأثر از بادهای گذرا از روی منابع آبی به ساحل و فاصله ایستگاه تا نزدیک‌ترین یاخته و عرض جغرافیایی پایین می‌باشد. همان‌طور که تأثیر عرض جغرافیایی و دوری یا نزدیکی به منبع رطوبتی در عملکرد GCMها در مطالعات (Pathak et al, 2019: 9) بیان شده است. در اکثریت مناطق اقلیمی کشور خطا کمتر از ۰/۷۰ درجه سلسیوس است که بیانگر توانایی بهتر مدل در شبیه‌سازی دما است. در شاخص MBE عملکرد مدل مورد بررسی تحت پروژه مذکور در شبیه‌سازی دما در ۴۸/۹ درصد ایستگاه‌ها بیش برآوردی دما و در ۵۱/۱ درصد ایستگاه‌ها کم برآوردی دما داشته است. همان‌طور که در شکل ۴ (ه) مشاهده می‌شود در سواحل جنوب و ارتفاعات غربی بیش‌برآوردی دما یا اریبی مثبت ۰/۸۱ تا ۰/۲۲ درجه سلسیوس و در ارتفاعات البرز و نواحی کم‌ارتفاع داخلی کم برآوردی دما یا اریبی منفی به میزان ۰/۰۳- تا ۱/۸- درجه سلسیوس نشان داده شده است که تأثیر افزایش ارتفاع و نزدیکی به منبع رطوبتی در بروز این اریبی‌ها قابل توجه است. همچنان که افزایش اریبی می‌تواند ناشی از چهار عامل: تغییر خرد آب‌وهواشناسی محل، افزایش هواویزهای هوا سپهری، بخار آب قابل بارش و ابرها و دامنه دگرگونی دما باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۶۳۱).

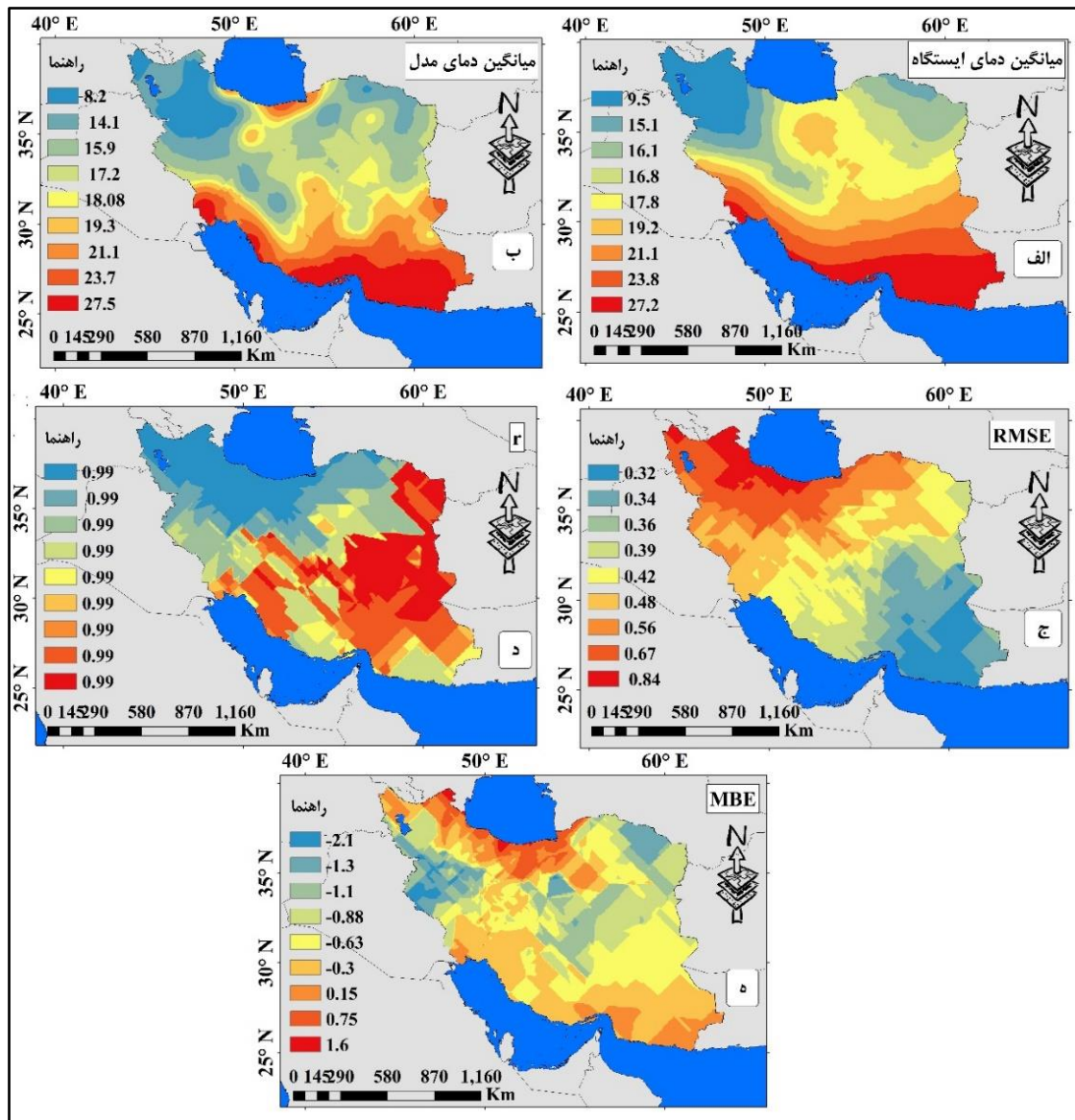
بررسی گستره مکانی سنج‌های آماری مدل منتخب در پروژه NEX-GDDP (شکل ۵ د) نشان می‌دهد که در کل کشور همبستگی ۰/۹۹ بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد. در شاخص RMSE (شکل ۵ ج) بیشینه خطا در سواحل غربی خزر و اردبیل به میزان ۰/۸۴ درجه سلسیوس و کمینه خطا در جنوب شرق کشور در جاسک، چابهار، ایرانشهر و زاهدان به میزان ۰/۳۲ درجه سلسیوس نمایان است که به‌وضوح تأثیر منبع رطوبتی، ابرناکی و بارندگی منطقه در عملکرد این مدل نشان داده شده است. همچنان که در شاخص MBE (شکل ۵ ه) نیز در همین مناطق و در سواحل شرقی خزر که ۳۲/۶ درصد از ایستگاه‌ها را شامل می‌شود، اریبی مثبت بین ۱/۶ تا ۰/۱۵ درجه سلسیوس ثبت شده است و در سایر مناطق کشور که ۶۷/۴ درصد ایستگاه‌ها را شامل می‌شود اریبی منفی یا کم برآوردی دما بین ۰/۰۳- تا ۱/۸- درجه سلسیوس مشاهده شده است. اختلاف ارتفاع بین مدل و مشاهدات از موارد مهم عدم قطعیت مدل‌هاست که منجر به اریبی منفی در مدل‌های اقلیمی می‌شود (Yang et al, 2018: 611). در تأیید مطالب مذکور، عملکرد بهینه مدل MPI-ESM-LR در برآورد دمای بنگلادش نیز قابل توجه است که گرمایش ۱/۶ درجه سلسیوس را برای دوره‌های آینده نشان می‌دهد (Bhuyan et al, 2018: 115). در راستای مطالب مذکور، مطالعات (V. Raghavan et al, 2018: 503) به عملکرد مناسب پروژه NEX-GDDP بر اساس مدل‌های CMIP5 در شبیه‌سازی دما در جنوب شرق آسیا اشاره کرده‌اند.

در مقام مقایسه عملکرد مدل MPI-ESM-LR تحت روش‌های مقیاس کاهی دینامیکی و آماری مورد استفاده می‌توان بیان کرد که از نظر گستره مکانی دمای سالانه، عملکرد مدل مذکور تحت پروژه مقیاس کاهی دینامیکی کوردکس به پهنه‌بندی دمای سالانه ایستگاه سینوپتیک نزدیک‌تر است که سواحل جنوب کشور بیشینه دما و ارتفاعات شمال غرب کشور کمینه دما را نشان داده‌اند در حالی که در پروژه NEX-GDDP سواحل شرقی دریای خزر نیز به گستره مناطق با بیشینه دما اضافه شده است.



شکل ۴. کارایی مدل MPI-ESM-LR تحت مقیاس کاهی دینامیکی CORDEX-WAS بر اساس درستی‌سنجی داده‌های دمای مدل و

داده‌های ایستگاهی طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۰



شکل ۵. کارایی مدل MPI-ESM-LR تحت مقیاس کاهی آماری NEX-GDDP بر اساس درستی‌سنجی داده‌های دمای مدل و داده‌های ایستگاهی طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۰

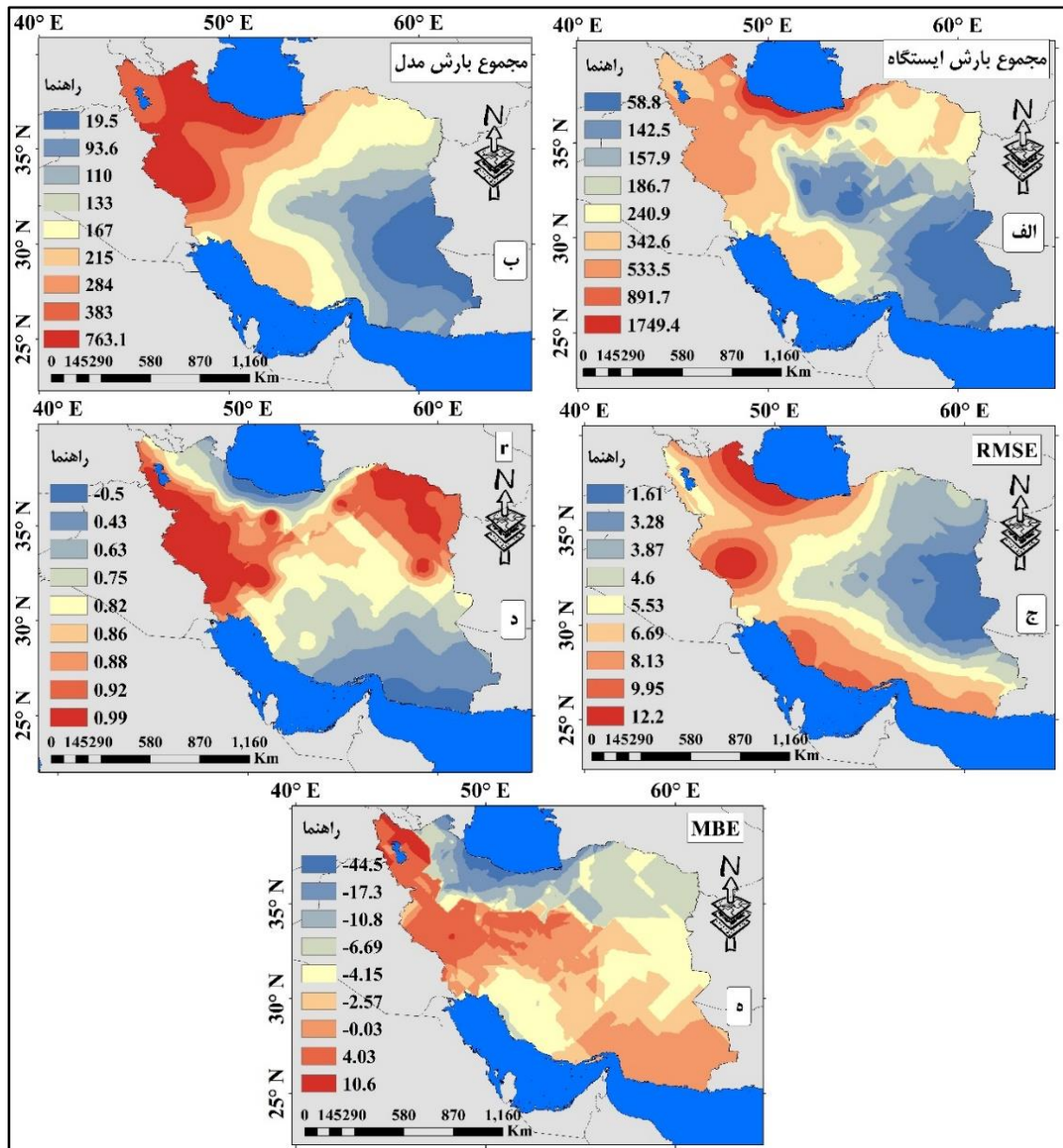
عملکرد مدل MPI-ESM-LR تحت روش مقیاس کاهی دینامیکی و آماری برای بارش ایران

تغییرات بارندگی از مسائل مهم در تغییرات آب‌وهوایی است. کاهش یا افزایش بارندگی بر پدیده‌های آب‌وهوایی مثل سیل، دمای هوا، رطوبت جو و بر فعالیت‌هایی همچون کشاورزی و سیلاب تأثیر می‌گذارد (احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۵: ۴۸۰). بررسی شکل‌های ۶ و ۷ (الف) نشان می‌دهد که بیشینه متوسط بارش سالانه در ایستگاه‌های سینوپتیک در سواحل شمال کشور به میزان ۱۷۴۹/۴ میلی‌متر در رشت و انزلی و کمینه متوسط بارش سالانه در نواحی کم‌ارتفاع داخلی و جنوب شرق کشور به میزان ۵۸/۸ میلی‌متر در بزم و زابل و زاهدان نشان داده شده است. در مجموع بارندگی از شمال به جنوب و از غرب به شرق کاسته می‌شود. در سواحل شمال کشور نسیم دریا و بادهای غربی سطح بالا عامل بارندگی‌اند و بارندگی خط ساحلی از نواحی کوهستانی مجاور بیشتر است. نواحی مرکزی و جنوب شرقی به علت نرسیدن عوامل صعود و رطوبت کمترین بارش را دارند که نوار کوهستانی البرز و زاگرس مانع نفوذ رطوبت به نواحی داخلی می‌شود. مدل MPI-ESM-LR تحت پروژه کوردکس (شکل ۶ ب) دامنه بیشینه متوسط بارش سالانه از ۷۶۳ میلی‌متر در خرم‌آباد در ارتفاعات زاگرس

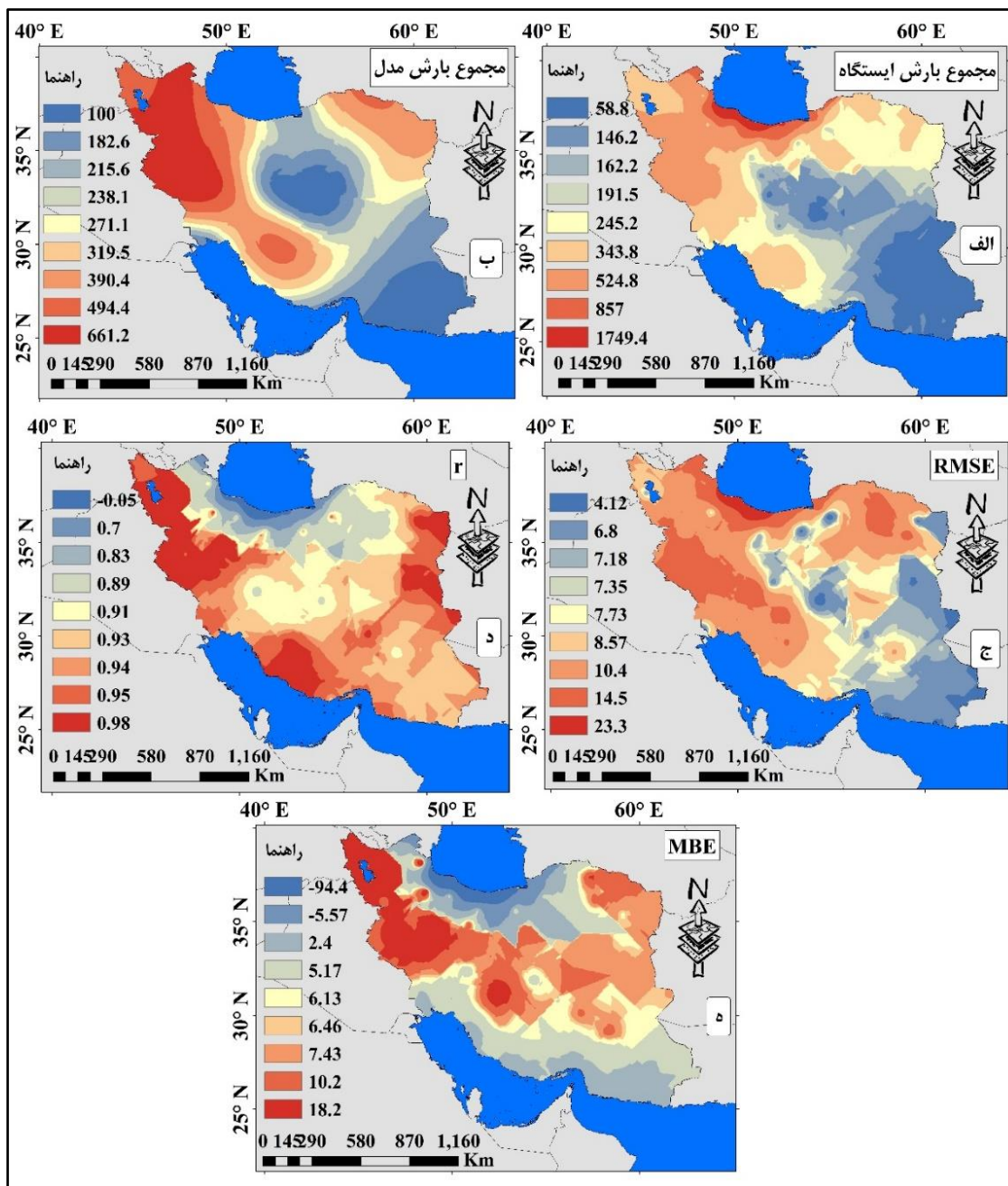
و سواحل غربی دریای خزر تا ۵۱۳ میلی‌متر در اردبیل متغیر است. یکی از دلایل کاهش بارندگی آذربایجان، نفوذ توده هوای سرد از قفقاز است. آذربایجان فقط از سیکلون مدیترانه استفاده می‌کند؛ ولی زاگرس از کم‌فشار سودانی هم بهره‌مند است. در عین حال کمینه متوسط بارش سالانه تحت این پروژه در جنوب شرق کشور و به صورت اندک در نواحی مرکزی نمایان است که دامنه کمینه بارندگی از ۱۰۲ میلی‌متر تا ۱۹/۵ میلی‌متر در زابل در نوسان است. در چاله‌های شرقی و مرکزی بارش کمترین مقدار را دارد و نیمی از بارش این مناطق در زمستان است. چون عامل صعود فقط در زمستان به این مناطق می‌آید. در مجموع در این پروژه بارش از شمال غرب به جنوب شرق کاهش می‌یابد. در حالی که در پروژه NEX-GDDP (شکل ۷ ب) دامنه بیشینه بارندگی سالانه با اندکی گسترش در شمال غرب تا ۴۹۴ میلی‌متر و منتهی‌الیه زاگرس مرکزی تا ۶۶۱ میلی‌متر متمرکز شده است و کمینه بارش با کاهش وسعت در ارتفاعات تفتان و بشاگرد در جنوب شرق کشور به میزان ۱۶۲ میلی‌متر و به میزان ناچیز در مرکز کشور در یزد متمرکز شده است با این تفاوت که در این مدل کمینه بارش به میزان ۱۰۰ میلی‌متر در یزد می‌باشد که در مقایسه با پروژه کوردکس در این منطقه ۵۰ میلی‌متر افزایش داشته است. کاهش بارندگی این مدل نیز از شمال غرب به جنوب شرق می‌باشد. در آماره ضریب همبستگی در پروژه کوردکس (شکل ۶ د) دامنه همبستگی در ارتفاعات بینالود و آلا داغ در شمال شرق کشور و ارتفاعات زاگرس غربی از ۰/۹۹ تا ۰/۹۲ و در سواحل خزر و نواحی ساحلی عمان در جنوب شرق کشور تا ۰/۵- متغیر است که به خوبی بیانگر تأثیر پذیری بارش از عوامل مختلف از جمله منابع رطوبتی و توپوگرافی می‌باشد (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱: ۵۳). در شاخص RMSE در پروژه کوردکس (شکل ۶ ج) همسو با نقشه متوسط بارندگی سالانه مدل، در مناطقی که بیشینه بارش شبیه‌سازی شده است بیشینه خطا به میزان ۱۲/۲ تا ۹/۹ میلی‌متر مشاهده شده است. در تأیید این خطا، در شاخص MBE (شکل ۶ ه) نیز بیشینه اریبی منفی به میزان ۴۴/۵- میلی‌متر در سواحل غربی خزر تا ۱۰/۶ میلی‌متر اریبی مثبت در تبریز و خرم‌آباد مشاهده شده است. در شاخص RMSE این پروژه (شکل ۶ ج)، کمینه خطا به میزان ۱/۶۱ میلی‌متر در شرق در زابل و بیرجند نشان داده شده است. همان‌طور که شکل ۶ ه نشان می‌دهد این مدل در ۴۰/۸ درصد از مساحت کشور با اریبی ۰/۰۳- تا ۲/۵- میلی‌متر عملکرد مناسب‌تری داشته است. همان‌طور که مشخص است افزایش اریبی مثبت یا منفی با افزایش ارتفاع و نزدیکی به منبع رطوبتی در ارتباط است که نتایج مطالعات (Karypidou et al, 2022: 19; Gnitou et al, 2021: 32) که به بهینه بودن مدل مذکور تحت پروژه کوردکس در برآورد بارش آفریقا و وجود ارتباط بین ارتفاع و دوری یا نزدیکی به منبع رطوبتی با اریبی بارش اشاره کرده‌اند، همخوانی دارد.

در پروژه NEX-GDDP (شکل ۷ د) ضریب همبستگی در ۸۱/۵ درصد از مساحت کشور همبستگی مناسب بالای ۸۹ درصد را نشان می‌دهد که بیانگر نزدیک بودن داده‌های شبیه‌سازی شده به داده‌های واقعی است. کاهش همبستگی در سواحل خزر و وجود همبستگی منفی در رامسر با نزدیکی به منبع رطوبتی و تأثیر دریا در افزایش ابرناکی و بخار آب و بارش قابل توجه است. همچنان که در شاخص RMSE (شکل ۷ ج) نیز بیشینه خطا به میزان ۲۳/۳ تا ۱۴/۵ میلی‌متر در سواحل شمال کشور ثبت شده است. با این وجود در ۱۸ درصد از مساحت کشور در ارتفاعات البرز و چاله‌های مرکزی و شرق کشور کمینه خطا بین ۶/۸ میلی‌متر تا ۴/۱ میلی‌متر می‌باشد که در مقایسه با کمینه خطا در پروژه کوردکس، همچنان خطای بیش‌تری را نشان می‌دهد. سواحل خزر در شاخص MBE (شکل ۷ ه) نیز بالاترین اریبی منفی یا کم برآوردی را به میزان ۹۴/۴- میلی‌متر نمایانگر هستند. وقوع بارش‌های محلی متأثر از دریا و خرد اقلیم منطقه که در بیش‌تر ایام سال هوای مه‌آلود را برای منطقه به دنبال دارد در اریبی بالای مدل تأثیر می‌گذارد. همچنین اریبی بالای مدل در این منطقه نشان‌دهنده عدم قطعیت در داده‌های مدل‌سازی از یک‌سو و رفتار حدی بارش از سوی دیگر است (Ahmadi & Azizzadeh, 2020: 586). بیشینه اریبی مثبت نیز در ۵۱ درصد از مساحت کشور در ارتفاعات زاگرس، چاله‌های مرکزی و ارتفاعات شمال شرق کشور به میزان ۱۸/۲ تا ۷/۴ میلی‌متر مشاهده شده است. میزان اریبی نسبتاً مناسب در ۲۸/۵ درصد از مساحت منطقه در دامنه جنوبی البرز و جنوب کشور به میزان ۲/۴ میلی‌متر مشاهده شده است که عملکرد نسبتاً مناسب این مدل در این پروژه را نشان می‌دهد. در این راستا عملکرد مناسب مدل MPI-ESM-LR در ارزیابی بارش هند توسط

(Thakur et al, 2020: 9; Kumar et al, 2020: 525) تحت پروژه NEX-GDDP نیز تأیید شده است که بیانگر افزایش بارش در اثر وقوع گرمایش هوا در اقلیم آینده و توانایی بهتر مدل مذکور برای ارائه اقلیم بارش آینده هستند. از نظر مقایسه عملکرد مدل MPI-ESM-LR در شبیه‌سازی بارش تحت دو پروژه مقیاس کاهشی دینامیکی و آماری می‌توان گفت که بر اساس هر دو پروژه مقادیر بارش کمتر از مقادیر واقعی ایستگاه سینوپتیک شبیه‌سازی شده است با این تفاوت که از نظر پراکندگی مکانی در کمینه بارش پروژه NEX-GDDP و در بیشینه بارش پروژه کوردکس عملکرد مناسبی داشته است.



شکل ۶. کارایی مدل MPI-ESM-LR تحت مقیاس کاهشی دینامیکی CORDEX-WAS بر اساس درستی‌سنجی داده‌های بارش مدل و داده‌های ایستگاهی طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۵



شکل ۷. کارایی مدل MPI-ESM-LR تحت مقیاس کاهمی دینامیکی NEX-GDDP بر اساس درستی‌سنجی داده‌های بارش مدل و داده‌های ایستگاهی طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۵

بحث

همان‌طور که یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد مدل MPI-ESM-LR تحت پروژه کوردکس با اریبی -0.34 درجه سلسیوس نسبت به پروژه NEX-GDDP با اریبی -0.46 درجه سلسیوس از توانایی مطلوب‌تری در شبیه‌سازی دما برخوردار است. درحالی‌که در شبیه‌سازی بارش مدل مذکور تحت پروژه NEX-GDDP با اریبی -2.60 میلی‌متر عملکرد بهتری در مقایسه با پروژه کوردکس با میزان اریبی -8.21 میلی‌متر نشان می‌دهد. در این راستا، نتایج حاصل از این پژوهش همسو با یافته‌های مطالعات (Chen et al, 2017: 403; Wang et al, 2019: 1158; Supari et al, 2020:)

CORDEX-WAS است که بیانگر توانایی بهتر پروژه‌های (1; Kumar et al, 2020: 525; Tegegne et al, 2021: 1 و NEX-GDDP در مقایسه با سایر پروژه‌ها در شبیه‌سازی دما و بارش مبتنی بر خروجی مدل‌های CMIP5 است. همچنین در مطالعات (Safari et al, 2022: 1112; Mutayoba and Kashaigili, 2017: 139; Luhunga et al, 2015: 9; Ghahreman et al, 2015: 32) و (کامیار و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۷؛ عبدلی و همکاران، ۱۴۰۰: ۹) عملکرد مناسب مدل منتخب در برآورد دما و بارش به ترتیب در رواندا، تانزانیا، ایران، اصفهان و نیمه غربی ایران قابل توجه است.

نتیجه‌گیری

مدل‌های جهانی آب‌وهوا که نشان‌دهنده فرایندهای فیزیکی موجود در جو، اقیانوس، کرایوسفر و سطح زمین هستند، در حال حاضر پیشرفته‌ترین ابزارها برای مدل‌سازی پاسخ سیستم آب‌وهوای جهانی به افزایش نیروی تابشی در مقیاس‌های زمانی و مکانی بزرگ هستند (V. Raghavan et al, 2018: 509). این مطالعه برای نخستین بار در ایران مقایسه عملکرد مدل MPI-ESM-LR از سری مدل‌های CMIP5 را برای متغیرهای دما و بارش با رویکرد توأمان روش مقیاس‌کاهی دینامیکی CORDEX-WAS و آماری NEX-GDDP برای دوره تاریخی ۱۹۸۰-۲۰۰۵ مورد مطالعه قرار می‌دهد. جهت درستی‌سنجی داده‌های دمای هوا و بارش که از مدل MPI-ESM-LR از سری مدل‌های CMIP5 استخراج شده بود، ۴۹ ایستگاه سینوپتیک در سطح کشور طی دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۰۵ (مطابق داده‌های تاریخی پروژه CORDEX-WAS و NEX-GDDP) انتخاب شد. از آماره‌های میانگین انحراف خطا (MBE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی پیرسون (r) جهت درستی‌سنجی داده‌های مدل و برای برآورد شیب روند داده‌ها در سری زمانی، از روش ناپارامتریک سنس استفاده شد. نتایج نشان داد که در متغیر دما مدل MPI-ESM-LR در هر دو پروژه ضریب همبستگی ۰/۹۹ را نشان می‌دهد. شاخص RMSE معادل ۰/۷۸ درجه سلسیوس در پروژه کوردکس و ۰/۵۱ درجه سلسیوس در پروژه NEX-GDDP می‌باشد. در پروژه کوردکس میزان اریبی ۰/۳۴- درجه سلسیوس و در پروژه NEX-GDDP میزان اریبی ۰/۴۶- درجه سلسیوس ثبت شده است که بیانگر عملکرد بهتر مدل MPI-ESM-LR تحت پروژه مقیاس‌کاهی دینامیکی کوردکس در مقایسه با پروژه آماری NEX-GDDP در شبیه‌سازی دما می‌باشد. همچنین شیب روند کاهشی دما در هر دهه به ترتیب در ایستگاه سینوپتیک ۰/۸۴۸- درجه سلسیوس، در پروژه کوردکس ۱/۱۹۱- درجه سلسیوس و ۱/۰۷۵- درجه سلسیوس در پروژه NEX-GDDP محاسبه شده است. در هر دو پروژه بیشینه دما در سواحل جنوب و کمینه دما در ارتفاعات شمال غرب کشور شبیه‌سازی شده است. در متغیر بارش در پروژه NEX-GDDP میزان همبستگی ۰/۸۵ و در پروژه کوردکس همبستگی ۰/۶۵ محاسبه شده است. شاخص RMSE خطای ۹/۵۳ میلی‌متری در پروژه NEX-GDDP و خطای ۶/۵۲ میلی‌متری در پروژه کوردکس را نشان می‌دهد. در شاخص MBE پروژه NEX-GDDP با اریبی ۲/۶۰- میلی‌متر در مقایسه با پروژه کوردکس با اریبی ۸/۲۱- میلی‌متر، کاهش اریبی را نشان می‌دهد که بیانگر عملکرد بهتر مدل MPI-ESM-LR در پروژه NEX-GDDP نسبت به پروژه کوردکس در شبیه‌سازی بارش می‌باشد. همچنین به‌استثنای وجود شیب روند کاهشی ۱۱/۷۶۶- میلی‌متر بارش در هر دهه در ایستگاه سینوپتیک، در پروژه کوردکس شیب روند افزایشی ۸/۵۱۳ میلی‌متر بارش در هر دهه و در پروژه NEX-GDDP روند افزایشی ۱۲/۵۲۴ میلی‌متر بارش در هر دهه شبیه‌سازی شده است. بیشینه بارش در هر دو پروژه در ارتفاعات زاگرس و کمینه بارش در جنوب شرق کشور شبیه‌سازی شده است. همان‌طور که ذکر گردید، مدل MPI-ESM-LR در هر دو متغیر دما و بارش تحت هر دو پروژه در شبیه‌سازی دما و بارش دارای کم برآوردی بوده است. از دلایل بروز خطا در شبیه‌سازی مدل‌ها می‌توان به‌وضوح مدل، عدم قطعیت‌های موجود در مدل، عدم پوشش دقیق موقعیت داده‌های مدل با موقعیت جغرافیایی منطقه اشاره کرد. به‌خصوص در متغیر بارش که تحت تأثیر توپوگرافی، نزدیکی یا دوری از منابع رطوبتی از تغییرات قابل توجهی برخوردار است (Kumar and Agarwal, 2020: 859). بلاپای ناشی از تغییرات آب‌وهوایی در صورتی که هشدارهای وضعیت نامناسب آب‌وهوایی جدی گرفته شود،

تا حد زیادی قابل پیشگیری است. لزوم توجه به مدیریت ریسک و افزایش تاب‌آوری در شرایط تغییرات آب‌وهوایی ناشی از گرمایش جهانی می‌تواند نقشه راهی در این زمینه محسوب شود (صادقی و احمدی، ۱۴۰۱: ۱۹۹). باتوجه به اقلیم ایران که بیش‌تر آن خشک است، به دنبال تغییرات دما و بارش، کشور نیازمند برنامه مدیریت یکپارچه منابع آب و چشم‌انداز بلندمدت مدیران و مسئولان مربوطه است. چرا که تغییر اقلیم چالش‌هایی را در زمینه‌های مختلف از جمله محیط‌زیست، کشاورزی، امنیت غذایی، اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی، سیاسی، بین‌المللی و غیره ایجاد می‌کند.

تقدیر و تشکر

این پژوهش مستخرج از رساله دکتری دانشجو فاطمه تقوی‌نیا با عنوان پایش و پیش‌نگری همادی دما و بارش ایران تحت روش‌های مقیاس کاهی آماری و دینامیکی با راهنمایی بتول زینالی و مشاوره عباسعلی داداشی رودباری می‌باشد و حامی مالی ندارد.

منابع

- (۱) احمدی، حمزه؛ فلاح قالمهری، غلامعباس و باعقیده، محمد. (۱۳۹۸). پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر بارش فصلی مناطق سردسیر ایران بر اساس سناریوهای واداشت تابشی RCP. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۵(۱)، ۱۷۷-۱۹۶. doi: 10.22059/jesphys.2018.256956.1007003
- (۲) داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۹). واکاوی وردایی زمانی - مکانی الگوهای قائم و افقی ریزگردها و ارزیابی بازخوردهای آب‌وهوایی آن در ایران. *رساله دکتری اقلیم‌شناسی*. به راهنمایی محمود احمدی. تهران: دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین.
- (۳) احمدی، محمود و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۵). ارزیابی آهنگ رفتار زمانی - مکانی بارش در دو دهه اخیر در ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۴۸(۳)، ۴۶۵-۴۸۴. doi: 10.22059/jphgr.2016.60102
- (۴) زرین، آذر و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۱). پیش‌نگری شدت بارش در ایران با به‌کارگیری رویکرد همادی چندمدلی با استفاده از داده‌های مقیاس کاهی شده NEX-GDDP. ژئوفیزیک ایران، ۱۶(۱)، ۴۷-۶۸. doi: 10.0499/ijg.2021.300366.1353
- (۵) زرین، آذر و داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۴۰۰). پیش‌نگری دمای ایران در آینده نزدیک (۲۰۲۱-۲۰۴۰) بر اساس رویکرد همادی چندمدلی CMIP6. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۳(۱)، ۷۵-۹۰. doi: 10.22059/jphgr.2021.308361.1007551
- (۶) صادقی، علی و احمدی، حمزه. (۱۴۰۱). ارزیابی تبخیر - تعرق مرجع ماهانه در ایران بر اساس برونداد مدل‌های دینامیکی ریزمقیاس شده پروژه CORDEX-MNA. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۴(۲)، ۱۸۵-۲۰۲. doi: 10.22059/jphgr.2022.332856.1007652
- (۷) عبدلی، سعدی؛ عزیزی، قاسم و برنا، رضا. (۱۴۰۰). ارزیابی تغییرات دمای هوا و بارش در منطقه پربارش نیمه غربی ایران تحت شرایط تغییر اقلیم. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، ۱۴(۵۳)، ۱-۱۸. DOR: 20.1001.1.20085656.1400.14.53.6.7
- (۸) عسگری، الهه؛ باعقیده، محمد؛ کامیار، اصغر؛ انتظاری، علیرضا و حسینی، مجید. (۱۳۹۹). چشم‌انداز تغییرات اقلیم‌شناختی دما و بارش در دامنه CORDEX جنوب آسیا (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دز). *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۸(۱)، ۲۲۵-۲۵۲. doi: 10.22067/geography. V 18i1.84891
- (۹) علیجانی، بهلول. (۱۳۸۹). *آب‌وهوای ایران*. چاپ هشتم. تهران: انتشارات دانشگاه پیام‌نور.
- (۱۰) غلام‌پور شمایی، یوسف؛ مجنون حسینی، ناصر؛ بذرافشان، جواد؛ شریف‌زاده، فرزاد و کانونی، همایون. (۱۳۹۸). ارزیابی بارش و تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع در شرایط اقلیم فعلی و تغییر اقلیم آینده تحت پروژه CORDEX در نواحی عمده تولید محصولات دیم استان کردستان. *تحقیقات آب‌و خاک ایران*، ۵۰(۱۰)، ۲۵۸۳-۲۵۹۴. doi: 10.22059/ijswr.2019.285043.668255
- (۱۱) کامیار، اصغر؛ موحدی، سعید و یزدان‌پناه، حجت‌الله. (۱۳۹۶). چشم‌انداز دمای کمینه و بیشینه استان اصفهان در افق ۲۰۵۰-۲۰۱۷. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۸(۲۹)، ۳۷-۵۴.

- ۱۲) میراکبری، مریم؛ مصباح‌زاده، طیبه؛ محسنی ساروی، محسن؛ خسروی، حسن و مرتضایی فریزه‌ندی، قاسم. (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد (مطالعه موردی: استان یزد). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰(۳)، ۵۹۳-۶۰۹. doi:10.22059/jphgr.2018.248177.1007156
- ۱۳) یعقوب‌زاده، مصطفی و رمضانی، یوسف. (۱۳۹۸). ارزیابی مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم در برآورد دما و بارش ایستگاه بیرجند. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۰(۳۷)، ۸۷-۱۰۰.

References

- 1) Abdoli, S., Azizi, G., & Borna, R. (2021). Evaluation of air temperature and precipitation changes in the rainy region of western Iran under climate change conditions. *Physical Geography Quarterly*, 14(53), 1-18. DOR: 20.1001.1.20085656.1400.14.53.6.7. [In Persian].
- 2) Aggarwal, S. P., Thakur, P. K., Garg, V., Nikam, B. R., Chouksey, A., Dhote, P. & Bhattacharya, T. (2016). Water resources status and availability assessment in current and future climate change scenarios for beas river basin of north western Himalaya. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B8, xxIII ISPRS Congress, Prague, Czech Republic, 1389-1396. DOI: 10.20944/preprints201609.0016.v1.
- 3) Ahmadi, H., & Azizzadeh, J. (2020). The impacts of climate change based on regional and global climate models (RCMs and GCMs) projections (case study: Ilam province). *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 685-696. DOI: 10.1007/s40808-020-00721-0.
- 4) Ahmadi, H., Fallah Ghalhari, G. A., & Baaghdeh, M. (2019). Projection of Climate Change Impacts on Seasonal Precipitation in Iranian Cold Regions Based on Radiative Forcing Scenarios (RCP). *Journal of the Earth and Space Physics*, 45(1), 177-196. doi: 10.22059/jesphys.2018.256956.1007003. [In Persian].
- 5) Ahmadi, H., Baaghdeh, M., & Dadashi-Roudbari, A. (2021). Climate change impacts on pistachio cultivation areas in Iran: a simulation analysis based on CORDEX-MENA multi-model ensembles. *Theoretical and Applied Climatology*, 145, 109-120. DOI: 10.1007/s00704-021-03614-z.
- 6) Ahmadi, H., Rostami, N., & Dadashi-Roudbari, A. (2020). Projected climate change in the Karkheh Basin, Iran, based on CORDEX models. *Theoretical and Applied Climatology*, 142, 661-673. DOI: 10.1007/s00704-020-03335-9.
- 7) Ahmadi, M., & Dadashi, A. (2016). Assessment of the tracks of spatio-temporal precipitation, Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(3), 465-484. doi: 10.22059/jphgr.2016.60102. [In Persian].
- 8) Alijani, b. (2010). *Weather of Iran*. 8th edition, Tehran: Payam Noor University Press. [In Persian].
- 9) Asgari, E., Baaghdeh, M., Kamyar, A., Entezari, A., & Hosseini, M. (2020). An Overview of Climate Changes of Temperature and Precipitation in the CORDEX Range of South Asia (Case Study: Dez Watershed). *Journal of Geography and Regional Development*, 18(1), 252-225. doi: 10.22067/geography.v18i1.84891. [In Persian].
- 10) Bhuyan, M., Islam, M., & Bhuiyan, M. (2018). A Trend Analysis of Temperature and Rainfall to Predict Climate Change for Northwestern Region of Bangladesh. *American Journal of Climate Change*, 7, 115-134. DOI: 10.4236/ajcc.2018.72009.
- 11) Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A., Merz, B., Arheimer, B. et al. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357 (6351), 588-590. doi: 10.1126/science. Aan 2506.
- 12) Chen, H. P., Sun, J. Q. & Li, H. X. (2017). Future changes in precipitation extremes over China using the NEX-GDDP high-resolution daily downscaled data-set. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 10 (6), 403-410. https://doi.org/10.1080/16742834.2017.1367625.
- 13) Collier, M. A., Jeffrey, S. J., Rotstayn, L. D., Wong, K. K. H., Dravitzki, S. M., & Moeseneder, C., (2011). The CSIRO-Mk3.6.0 Atmosphere-Ocean GCM: participation in

- CMIP5 and data publication. *19th International Congress on Modelling and Simulation*, Perth, Australia, 12–16 December 2011, 2691-2697.
- 14) Dadashi-Roudbari, A. (2020). Time-spatial verdaic analysis of vertical and horizontal patterns of fine dust and evaluation of its climate feedbacks in Iran. *Ph.D. thesis in meteorology*, Supervisor: Mahmoud Ahmadi, Tehran: Shahid Beheshti University, Faculty of Earth Sciences. (In Persian)
 - 15) Dawson, T. P., Perryman, A. H., & Pinardi, X. T. M. (2016). Modelling impacts of climate change on global food security. *Climatic Change*, 134(3), 429-440. DOI: [10.1007/s10584-014-1277-y](https://doi.org/10.1007/s10584-014-1277-y).
 - 16) Di Sante, F., Coppola, E. & Giorgi, F. (2021). Projections of river floods in Europe using EURO-CORDEX, CMIP5 and CMIP6 simulations. *Int. J. Climatol*, 41, 3203–3221. <https://doi.org/10.1002/joc.7014>.
 - 17) Ghahreman, N., Tabatabaei, M. & Babaeian, I. (2015). Investigation of uncertainty in the IPCC AR5 precipitation and temperature projections over Iran under RCP scenarios. *Poster on Cop21-Cmp11*, Paris, 30 November to Friday, 11 December 2015, 1-11. DOI: [10.13140/RG.2.1.1808.3683](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1808.3683).
 - 18) Ghalami, V., Saghafian, B. & Raziei, T. (2023). An appraisal of the NEX-GDDP precipitation dataset across homogeneous precipitation sub-regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 152, 347–369. DOI: [10.1007/s00704-023-04399-z](https://doi.org/10.1007/s00704-023-04399-z).
 - 19) Gholampour Shemami, Y., Majnoun Hosseini, N., bazrafshan, J., sharifzadeh, F., & Kanouni, H. (2020). Assessing Precipitation and Reference Potential Evapotranspiration in the Current Climate and under CORDEX Climate Change Projections in Major Drylands Region of Kurdistan Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(10), 2583-2594. doi: [10.22059/ijswr.2019.285043.668255](https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.285043.668255). [In Persian].
 - 20) Giorgetta, M.A., Jungclaus, J., & Reick, Ch. (2013). Climate and carbon cycle changes from 1850 to 2100 in MPI-ESM simulations for the Coupled Model Intercomparison Project phase 5. *J. Adv. Model. Earth Syst*, 5, 572–597. <https://doi.org/10.1002/jame.20038>.
 - 21) Gnitou, G. T., Tan, G., Niu, R. & Nooni, I. K. (2021). Assessing Past Climate Biases and the Added Value of CORDEX-CORE Precipitation Simulations over Africa. *Remote Sens*, 13(11), 1-26. <https://doi.org/10.3390/rs13112058>.
 - 22) Gosling, S. N. & Arnell, N. W. (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134(3), 371-385. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>.
 - 23) Gou, J., Miao, C., Duan, Q., Tang, Q., Di, Z., Liao, W. et al. (2020). Sensitivity analysis-based automatic parameter calibration of the VIC model for streamflow simulations over China. *Water Resources Research*, 56(1), 1-19. <https://doi.org/10.1029/2019WR025968>.
 - 24) Hamed, M. M., Nashwan, M. S. & Shahid, S. (2022). Inconsistency in historical simulations and future projections of temperature and rainfall: A comparison of CMIP5 and CMIP6 models over Southeast Asia. *Atmospheric Research*, 265, 1-14. DOI: [10.1016/j.atmosres.2021.105927](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105927).
 - 25) Hasheminasab, F. S., Rahimi, D., Zakerinejad, R. & Kropáček, J. (2022). Assessment of climate change impact on surface water: a case study—Karoun River Basin, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(904), 1866-1875. DOI: [10.1007/s12517-022-09969-5](https://doi.org/10.1007/s12517-022-09969-5).
 - 26) IPCC (2014). In: Field C. B., Barros V. R., Dokken D. J., Mach K. J., Mastrandrea M. D., Bilir T. E, et al. (2014). *White LL (eds) Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part a: global and sectoral aspects. Contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press, Cambridge, 1581 PP. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
 - 27) IPCC, (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, 1535 pp. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
 - 28) Jena, P., Azad, S. & Rajeevan, M. N. (2016). CMIP5 Projected Changes in the Annual Cycle of Indian Monsoon Rainfall. *Climate*, 4(1), 1-11. <https://doi.org/10.3390/cli4010014>.
 - 29) Kamworapan, S. & Surussavadee, C. (2019). Evaluation of CMIP5 Global Climate Models for simulating climatological Temperature and Precipitation for Southeast Asia. *Advances in Meteorology*, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2019/1067365>.

- 30) kamyar, A., Movahedi, S., & Yazdanpanah, H. (2017). Projection of Minimum and Maximum Air Temperatures in Isfahan Province during 2050-2017. *Journal of Climate Research*, (29), 37-54. [In Persian].
- 31) Karypidou, M. C., Sobolowski, S. P., Katragkou, E., Sangelantoni, L. & Nikulin, G. (2022). The impact of latera boundary forcing in the CORDEX-Africa ensemble over southern Africa. *Geoscientific Model Development*, 348, 1-36. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-1887-2023>.
- 32) Kumar, P. V. A. & Agarwal, S. (2020). Statistical Downscaling of Temperature and Precipitation Using SDSM. *Proceeding of National Conference on Emerging Trends in Civil Engineering during 26th – 27th June*, K L University, Green Fields, Vaddeswaram, Andhra Pradesh 522502, 856-862.
- 33) Kumar, P., Kumar, S., Barat, A., Sarthi, P. P. & Sinha, A. K. (2020). Evaluation of NASA's NEX-GDDP-simulated summer monsoon rainfall over homogeneous monsoon regions of India. *Theoretical and Applied Climatology*, 141, 525–536. DOI: 10.1007/s00704-020-03188-2.
- 34) Luhunga, P., Joe, B. & Kahimba, F. (2016). Evaluation of the performance of CORDEX regional climate models in simulating present climate conditions of Tanzania. *J. South. Hemisph. Earth Syst. Sci*, 66, 32-54. DOI: 10.22499/3.6601.005.
- 35) Mami, A., Raimonet, M., Yebdri, D., Sauvage, S., Zettam, A. & Sanchez Perez, J. M. (2021). Future climatic and hydrologic changes estimated by bias-adjusted regional climate model outputs of the Cordex-Africa project: case of the Tafna basin (North-Western Africa). *Home International Journal of Global Warming*, 23(1), 58-90. DOI: 10.1504/IJGW.2021.112489.
- 36) Mazdiyasn, O. & AghaKouchak, A. (2015). Substantial increase in concurrent droughts and heatwaves in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(37), 11484-11489. <https://doi.org/10.1073/pnas.1422945112>.
- 37) Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H., & Mortezaie Farizhendi, G. (2018). Performance of Series Model CMIP5 in Simulation and Projection of Climatic Variables of Rainfall, Temperature and Wind Speed (Case Study: Yazd). *Physical Geography Research Quarterly*, 50(3), 593-609. doi: 10.22059/jphgr.2018.248177.1007156. [In Persian].
- 38) Mutayoba, J. & Kashaigili, E. (2017). Evaluation for the performance of the CORDEX regional climate models in simulating rainfall characteristics over mbarali river catchment in the Rufiji Basin, Tanzania. *J. Geosci. Environ. Prot*, 5(4), 139–151. DOI: 10.4236/gep.2017.54011.
- 39) Panjwani, S., kumar, S. N. & Ahuja, I. (2021). Simulation performance of selected global and regional climate models for temperature and rainfall in some locations in India. *Journal of Agrometeorology*, 22(4), 407-418. DOI: 10.54386/jam. V 22i4.443.
- 40) Pathak, R., Sahany, S., Mishra, S. K. & Dash, S. K. (2019). Precipitation biases in CMIP5 models over the South Asian Region. *Scientific Reports*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45907-4>.
- 41) Rahimi, D., Hasheminasab, F. S. & Abdollahi, K. (2019). Assessment of temperature and rainfall changes in the Karoun River basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 2829–2839. DOI: 10.1007/s00704-019-02771-6.
- 42) Sadeghi, A., & Ahmadi, H. (2022). Evaluation of monthly reference evapotranspiration in Iran based on the output of CORDEX-MNA project downscaled dynamic models. *Physical Geography Research Quarterly*, 54(2), 185-202. doi: 10.22059/jphgr.2022.332856.1007652. [In Persian].
- 43) Safari, B., Joseph, N. S. & Asher, S. (2022). Evaluation of CORDEX-CORE regional climate models in simulating rainfall variability in Rwanda. *International Journal Of climatology*, 43(2), 1112-1140. DOI: 10.1002/joc.7891.
- 44) Shi, Y., Wang, G. & Gao, X. J. (2018). Role of resolution in regional climate change projections over China. *Climate Dyn*, 51, 2375–2396. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-4018-x>.
- 45) Soroush, F., Fathian, F., Hasheminasab, F. S. & Kahya, E. (2020). Trends in pan evaporation and climate variables in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 142, 407–432. DOI: 10.1007/s00704-020-03262-9.

- 46) Supari, S., Tangan, F., Liew, J., Faye, C., Jing, X. C., Sheau, T. N., Ester, S., et al. (2020). Multi-model projections of precipitation extremes in Southeast Asia based on CORDEX-Southeast Asia simulations. *Environmental Research*, 184, 1-23. DOI: [10.1016/j.envres.2020.109350](https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109350).
- 47) Tegegne, G., Melesse, A. M. & Alamirew, T. (2021). Projected changes in extreme precipitation indices from CORDEX simulations over Ethiopia, East Africa. *Atmospheric Research*, 247, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105156>.
- 48) Thakur, A., Mishra, P. K., Nema, A. K., Thakur, H. P. & Singh, A. (2020). Future Precipitation Changes over the Wainganga Sub-Basin using NEX-GDDP High-Resolution Statistically Downscaled Data. *Organized by Indian Institute of Technology Roorkee and National Institute of Hydrology, Roorkee during February 26-28*, 1-11.
- 49) Usman, M., Ndehedehe, C. E., Manzanar, R., Ahmad, B. & Adeyeri, O. E. (2021). Impacts of Climate Change on the Hydrometeorological Characteristics of the Soan River Basin, Pakistan. *Atmosphere*, 12(6), 792, 1-15. <https://doi.org/10.3390/atmos12060792>.
- 50) Usta, D. F. B., Teymouri, M. & Chatterjee, U. (2022). Assessment of temperature changes over Iran during the twenty-first century using CMIP6 models under SSP1-26, SSP2-4.5, and SSP5-8.5 scenarios. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(416), 1-16. DOI: [10.1007/s12517-022-09709-9](https://doi.org/10.1007/s12517-022-09709-9).
- 51) V. Raghavan, S., Hur, J. & Liong, S. Y. (2018). Evaluations of NASA NEX-GDDP data over Southeast Asia: present and future climates. *Climatic Change*, 148, 503–518. DOI: [10.1007/s10584-018-2213-3](https://doi.org/10.1007/s10584-018-2213-3).
- 52) Wang, X., Jiang, D., & Lang, X. (2019). Temperature and precipitation changes over China under a 1.5 °C global warming scenario based on CMIP5 Models. *J. Atmos. Sci*, 43, 1158–1170. doi: [10.3878/j.issn.1006-9895.1810.182251](https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9895.1810.182251).
- 53) Xu, L. & Wang, A. (2019). Application of the Bias Correction and Spatial Downscaling Algorithm on the Temperature Extremes from CMIP5 Multimodel Ensembles in China. *Earth and Space*, 6, 2508-2524. <https://doi.org/10.1029/2019EA000995>.
- 54) Yaghoobzadeh, M., & rahmani, Y. (2020). Evaluation models and scenarios of the climate change Fifth Report in estimation temperature and precipitation of Birjand Station. *Journal of Climate Research*, (37), 87-100. [In Persian].
- 55) Yang, X., Wood, E. F., Sheffield, J., Ren, L., Zhang, M. & Wang, Y. (2018). Bias correction of historical and future simulations of precipitation and temperature for China from CMIP5 models. *Journal of Hydrometeorology*, 19(3), 609-623. DOI: [10.1175/JHM-D-17-0180.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-17-0180.1).
- 56) 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), 75-90. doi: [10.22059/jphgr.2021.308361.1007551](https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.308361.1007551). [In Persian].
- 57) zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2022). Projection of precipitation intensity in Iran using NEX-GDDP by multi-model ensemble approach. *Iranian Journal of Geophysics*, 16(1), 47-68. doi: [10.30499/ijg.2021.300366.1353](https://doi.org/10.30499/ijg.2021.300366.1353). [In Persian].
- 58) Zhao, S., He, W., Dong, T., Zhou, J., Xie, X., Mei, Y., Wan, S. & Jiang, Y. (2021). Evaluation of the Performance of CMIP5 Models to Simulate Land Surface Air Temperature Based on Long-Range Correlation. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 1-15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.628999>.