

## Investigating the Impact of Climate Change on Extreme Precipitation Events in East Azerbaijan Province

Zahra Hedjazizadeh<sup>1</sup> , Ali Reza Karbalaee<sup>2</sup>, Mahsa Kazmy Azar

1. Professor Department of Climatology Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

E: [hejazizadeh@khu.ac.ir](mailto:hejazizadeh@khu.ac.ir) (Corresponding Author).

2. Assistant Professor Department of Climatology Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

3. MA of Student in meteorology, geography department, faculty of geographical sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Keywords

LARS-WG7

Precipitation

Trend

CMIP6

Climate change exerts a substantial influence on precipitation patterns, particularly regarding the incidence of extreme rainfall events. This study examines the implications of climate change on the intensity and frequency of extreme precipitation in East Azerbaijan Province. A comprehensive analysis was conducted on daily precipitation data obtained from six meteorological stations over the period from 1995 to 2014, aiming to identify specific precipitation trends. The LARS-WG7 regional climate model was employed to simulate precipitation, and these simulations were rigorously compared with observed data to validate their accuracy. Following a thorough model validation process, various climate change scenarios—specifically SSP1-2-6, SSP2-4-5, and SSP5-8-5—were implemented to project precipitation patterns from 2021 to 2041. The R10mm, R95P, and R99P indices were utilized to evaluate changes in both the intensity and frequency of extreme precipitation events. The findings indicate that the intensity and frequency of extreme precipitation events are projected to increase significantly in certain regions while decreasing in others. These changes present substantial risks, including heightened flooding, soil erosion, infrastructure damage, and adverse effects on agriculture and water resources. This underscores the necessity for policymakers and planners to incorporate these findings into future water resource management and disaster risk reduction strategies. By doing so, they can effectively mitigate the impacts of climate change and adapt to the evolving climatic conditions that threaten the region's sustainability and resilience.

#### Article History:

Received:

21 DE 2024

Received in revised form:

09 JAN 2025

Accepted:

22 JAN 2025

Available online:

19 FEB 2025

**Citation:** Hedjazizadeh, Z., Karbalaee, A. & Kazmy Azar, M. (2025). Investigating the Impact of Climate Change on Extreme Precipitation Events in East Azerbaijan Province. *Journal of Geography*, 22 (83), 1-20.



<http://10.22034/jiga.2025.2048574.1363>



© The Author (s).

Publisher: Iranian Geographical Associati

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

## Extended Abstract

### Introduction

Precipitation is a critical component of the hydrological cycle, significantly influencing water resource management across diverse regions. To optimize water utilization within basins, a comprehensive examination of precipitation patterns is essential. Global warming has induced climate change, affecting various aspects of human life and the environment. These alterations directly modify precipitation amounts and evapotranspiration rates while indirectly influencing the hydrological cycle through the occurrence of extreme weather events. Changes in precipitation patterns and water distribution can have profound consequences for agriculture, potable water supplies, and ecosystems. Therefore, understanding and rigorously analyzing these processes and their implications are crucial for the planning and sustainable management of water resources. Climate change represents one of the most pressing global challenges of recent centuries, resulting in severe and unforeseen phenomena that have significant implications for human societies and ecosystems. The consequential impacts include rising temperatures, altered precipitation patterns, and an increased frequency of natural events such as storms and floods. Addressing this crisis necessitates international collaboration and the development of sustainable solutions to mitigate its adverse effects and ensure a better future for generations to come.

### Methodology

This research investigates climate change and its ramifications across various sectors of East Azerbaijan Province. To achieve this, meteorological data and generative models are employed. The LARS-WG model is selected as a tool for assessing self-capabilities. For this analysis, observational data spanning 20 years from six synoptic stations within East Azerbaijan Province, collected from 1995 to 2014, was utilized. In order to project future conditions, data for the period 2021-2040 was generated using the CMIP6 model under three distinct scenarios: the optimistic scenario (SSP1-2-6), the intermediate scenario (SSP2-4-5), and the pessimistic scenario (SSP5-8-5). The stations considered in this study include Tabriz, Maragheh, Ahar, Mianeh, Jolfa, and Sarab. Daily precipitation data from the six synoptic stations for the period 1995 to 2014 was examined to compute extreme precipitation indices. These indices, which are designed to evaluate weather patterns and climate variability, conform to the global standards established by the Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). The goal of analyzing this data is to enhance the understanding of precipitation patterns and their impact on regional weather conditions. The assessment of extreme indices may facilitate more accurate predictions and improved planning in response to climate change, ultimately contributing to a deeper understanding of climate change and its effects on various regions.

### Results and Discussion

Simulated results were compared with observed data to evaluate the model's capacity to replicate precipitation patterns. Future precipitation was subsequently simulated for the period 2021-2040 under three distinct climate change scenarios. At the studied stations, the highest levels of precipitation were both observed and simulated in April and May, whereas the lowest levels occurred in August. Although the LARS-WG7 model demonstrated commendable performance in simulating general precipitation patterns, discrepancies were noted in the amounts and timing of precipitation between the observed and simulated datasets. Overall, peak precipitation in East Azerbaijan was associated with April and May, while minimum levels were recorded in August. Results from the R10mm index in the ACCESS-ESM1-5 model for the SSP1-2-6, SSP2-4-5, and SSP5-8-5 scenarios during the 2021-2040 period indicate that precipitation exceeding 10 mm is projected to increase in the mountainous and northern regions

of East Azerbaijan, while a decrease is anticipated in the eastern regions. The Ahar and Tabriz stations exhibited the highest frequency of extreme precipitation events. Furthermore, the R95P index suggests an increasing frequency of such events in the southwest and southeast, while a decline is observed in the northwest. The Maragheh, Sarab, and Mianeh stations recorded the highest frequency for the R99P index, whereas Jolfa exhibited the lowest frequency. The results of the trend and p-value analysis of the R10mm, R95p, and R99p indices for the SSP1-2-6, SSP2-4-5, and SSP5-8-5 scenarios in East Azerbaijan from 2040 to 2021, compared to observed data from 1995 to 2014, indicate a decreasing trend in heavy precipitation. The Tabriz, Ahar, and Jolfa stations displayed the most significant trends, while Maragheh and Sarab showed the least. P-values exceeding 0.05 at certain stations suggest insignificant changes. Moreover, these analyses underscore the necessity for further investigations to accurately comprehend variations related to climate change.

### Conclusion

The findings indicate that the intensity and frequency of extreme precipitation events are projected to increase significantly in certain regions while decreasing in others. These changes pose severe risks, including an increased likelihood of flooding, soil erosion, infrastructure damage, and detrimental effects on agriculture and water resources. This underscores the necessity for policymakers and planners to integrate these findings into future water resource management and disaster risk reduction strategies. By doing so, they can effectively mitigate the impacts of climate change and adapt to the evolving climatic conditions that threaten the region's sustainability and resilience. Addressing these challenges will be crucial for ensuring a stable future for communities affected by climate variability.

### Funding

There is no funding support.

### Authors' Contribution

The contribution of the first and second authors is 80% and the contribution of the third author is 20%.

### Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

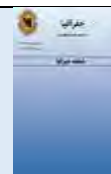
### Acknowledgments

According to the responsible author, this article is an extract from a doctoral thesis and has no financial support.

### References

- 1) Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M., Adab, H. & malbisei, S. (2009). Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model. *Geography and Development*, 7(16), 135-152. <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1179>. [persion].
- 2) Bartholy, J., Pongrácz, R. & Kis, A. (2015). Projected changes of extreme precipitation using multi-model approach. *QJ Hung. Meteorol. Serv*, 119, 129-142.
- 3) Das, S., Kamruzzaman, M. & Islam, A. R. M. T. (2022). Assessment of characteristic changes of regional estimation of extreme rainfall under climate change: A case study in a tropical monsoon region with the climate projections from CMIP6 model. *Journal of hydrology*, 610, 128002. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128002>
- 4) Eslahi, M., Pourasghar, F. & Akbarzadeh, Y. (2021). Studying of Climate Extremes Events in East Azerbaijan Province for 2009-2018. *Nivar*, 45(114-115), 44-55. <https://doi.org/10.30467/nivar.2021.271314.1180>. [persion].

- 5) Han, J., Du, H., Wu, Z. & He, H. S. (2019). Changes in extreme precipitation over dry and wet regions of China during 1961-2014. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124(11), 5847-5859. <https://doi.org/10.1029/2018JD029974>
- 6) Hedjazizadeh, Z., Halabian, A. H., Karbalaee, A. & Toulabi, M. (2020). Detection of extreme values variations of precipitation over Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(23), 135-150. <https://doi.org/10.22111/jneh.2019.29874.1519>. [persian].
- 7) Hejazizadeh, Z., Akbari, M., Sasanpour, F., Hosseini, A. & Mohammadi, N. (2022). Investigating the effects of climate change on torrential rains in Tehran province. *Water and Soil Management and Modelling*, 2(2), 87-105. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.9958.1075>. [persian].
- 8) Huo, R., Li, L., Chen, H., Xu, C. Y., Chen, J. & Guo, S. (2021). Extreme precipitation changes in Europe from the last millennium to the end of the twenty-first century. *Journal of Climate*, 34(2), 567-588. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0879.1>
- 9) Khazaei, M. & Kazemi, Reza. (2020). Projection of extreme precipitation in climate change condition and sensitivity analysis of results to downscaling method. *journal of water and soil resources conservation*, 10(1), 19-30. [persian].
- 10) Li, S., Chen, Y., Wei, W., Fang, G. & Duan, W. (2024). The increase in extreme precipitation and its proportion over global land. *Journal of Hydrology*, 628, 130456. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130456>.
- 11) Lu, W. & Qin, X. (2020). Integrated framework for assessing climate change impact on extreme rainfall and the urban drainage system. *Hydrology Research*, 51(1), 77-89. <https://doi.org/10.2166/nh.2019.233>
- 12) Mohammadi, H. , Azizi, G. , khoshahklagh, F. & Ranjbar, F. (2017). Analysis of Daily Precipitation Extreme Indices Trend in Iran. *Physical Geography Research*, 49(1), 21-37. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2017.61577>. [persian].
- 13) Shokoohi, A. & Habibnejad, R. (2019). Evaluating Intensity, Duration and Frequency of Short Duration Rainfalls Using a Regional Climate Change model (Case study: Tehran). *Iran-Water Resources Research*, 15(4), 412-424. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.4.28.1> [persian].
- 14) Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N. & Wallis, T. (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D22) <https://doi.org/10.1029/2005JD006181>



## واکاوی اثر تغییر اقلیم بر بارش های حدی در استان آذربایجان شرقی

زهرا حجازی زاده<sup>۱</sup>، علیرضا کربلانی<sup>۲</sup>، مهسا کاظمی آذر<sup>۳</sup><sup>۱</sup>. استاد آب و هواشناسی، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). E: [hejazizadeh@khu.ac.ir](mailto:hejazizadeh@khu.ac.ir)<sup>۲</sup>. استادیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.<sup>۳</sup>. دانشجوی کارشناسی ارشد، آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران،

## چکیده

## اطلاعات مقاله

## واژگان کلیدی:

Lars-WG7

بارش

روند

CMIP6

تغییر اقلیم به عنوان یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر، به طور قابل توجهی بر الگوهای بارندگی و وقوع رویدادهای بارشی شدید تأثیر گذاشته است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر شدت و فراوانی بارش‌های شدید در آذربایجان شرقی انجام شده است. در این مطالعه، داده‌های بارندگی روزانه از ۶ ایستگاه هواشناسی در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ گردآوری و تحلیل شده‌اند. این داده‌ها به منظور شناسایی الگوهای بارش و نوسانات آن‌ها در دوره‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. سپس، با استفاده از مدل LARS-WG7، بارندگی شبیه‌سازی شده و با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه گردید. پس از تأیید توانایی مدل در بازتولید الگوهای بارندگی، سناریوهای مختلف تغییر اقلیم شامل SSP1-2-6، SSP2-4-5 و SSP5-8-5 برای پیش‌بینی بارش‌ها در دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۱ اعمال شدند. به منظور ارزیابی تغییرات در شدت و فراوانی بارش‌های شدید، شاخص‌های R95P، R99P و R10mm محاسبه و روند تغییرات آن‌ها در دوره‌های پایه و آینده تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهند که در آینده، شدت و فراوانی بارش‌های شدید به طور قابل توجهی افزایش و همزمان در برخی مناطق کاهش خواهد یافت. افزایش شدت و فراوانی بارش‌های شدید می‌تواند پیامدهای جدی از جمله افزایش خطر سیل، فرسایش خاک، خسارات به زیرساخت‌ها و تأثیرات منفی بر کشاورزی و منابع آب را در پی داشته باشد. بنابراین، در نظر گرفتن این تغییرات در برنامه‌ریزی‌های آتی مدیریت منابع آب و کاهش اثرات مخاطرات طبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تاریخ دریافت

۱۴۰۳/۱۰/۰۱

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۱۱/۰۳

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۱۲/۰۱

**استناد:** حجازی زاده، زهرا؛ کربلانی، علیرضا و کاظمی آذر، مهسا. (۱۴۰۳). واکاوی اثر تغییر اقلیم بر بارش های حدی در استان آذربایجان

شرقی فصلنامه علمی جغرافیا، (۸۳) ۲۲، ۲۰-۱.

doi: <http://10.22034/jiga.2025.2048574.1363>

صاحب امتیاز: انجمن جغرافیایی ایران

© نویسندگان



## مقدمه و پیشینه

فرایند بارش به عنوان یکی از اجزای کلیدی چرخه هیدرولوژی، نقش بسزایی در مدیریت منابع آب در هر منطقه ایفا می‌کند. برای بهینه‌سازی استفاده از منابع آبی در حوضه‌ها، ضروری است که بارش در آن مناطق به دقت مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به گرمایش جهانی، کره زمین به تغییرات اقلیمی دچار شده است که این تغییرات بر روی تمامی ابعاد زندگی انسان و محیط زیست تأثیر می‌گذارد. تغییرات اقلیمی، به طور مستقیم بر روی مقادیر بارش، تبخیر و تعرق تأثیر گذاشته و افزایش فراوانی رخدادهای آب و هوایی شدید، به طور غیرمستقیم بر چرخه هیدرولوژی اثرگذار است. صادقی و دین پژوه (۱۳۹۹: ۸۳) این تغییرات می‌توانند منجر به تغییر در الگوهای بارش و توزیع منابع آب شوند، که در نهایت بر کشاورزی، تأمین آب شرب و اکوسیستم‌ها تأثیر خواهد گذاشت. لذا درک دقیق این فرایندها و اثرات آن‌ها، برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع آب ضروری است. تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی است که بشر در قرن‌های اخیر با آن روبرو شده است. این تغییرات در شرایط آب و هوایی، به بروز رویدادهای شدید و غیرمنتظره منجر می‌شود که تأثیرات عمیقی بر زندگی انسان‌ها و اکوسیستم‌ها دارد. افزایش دما، تغییر الگوهای بارش و افزایش رخدادهای طبیعی همچون طوفان‌ها و سیلاب‌ها، از جمله پیامدهای ناشی از این تغییرات هستند. اقدامات لازم برای مقابله با این بحران، نیازمند همکاری‌های بین‌المللی و توسعه راهکارهای پایدار است تا بتوان از اثرات منفی آن کاست و آینده‌ای بهتر برای نسل‌های آینده رقم زد (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۳۵).

بارتولی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵: ۱۲۹) در پژوهش خود تغییرات پیش‌بینی‌شده در بارش‌های شدید را با استفاده از رویکرد چندمدلی بررسی کردند. آنها از داده‌های تصحیح‌شده بارش روزانه مربوط به ۱۱ شبیه‌سازی مدل آب‌وهوای منطقه‌ای (RCM) برای تعیین روند پیش‌بینی بارش در حوضه کارپات استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بر اساس تحلیل شاخص‌های بارشی، فراوانی بارش‌های شدید به‌طور کلی در حوضه اروپای مرکزی و شرقی افزایش می‌یابد، با این تفاوت که در فصل تابستان روند کاهشی در بخش‌هایی از مجارستان و مناطق جنوبی مشاهده خواهد شد. هان و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۹: ۵۸۴۷) نیز با تحلیل داده‌های بارش و دما در مناطق خشک و مرطوب چین از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۴، افزایش شدت بارش‌های شدید را در هر دو نوع منطقه تأیید کردند. با این حال، این مطالعه نشان داد که مناطق مرطوب به گرمایش جهانی حساس‌تر هستند و شدت بارش در آن‌ها با نرخ بالاتری افزایش می‌یابد. بر اساس این یافته‌ها، انتظار می‌رود که در آینده، افزایش شدت بارش‌های شدید و در نتیجه خطر سیل در مناطق خشک و مرطوب تشدید شود. (لی یو و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۲۰: ۷۷). در پژوهشی به ارائه یک چارچوب یکپارچه برای ارزیابی تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر بارندگی‌های شدید و سیستم‌های زهکشی شهری پرداختند. در این مطالعه، از داده‌های اقلیمی و روش هاف برای تفکیک طراحی بارش از بارش‌های مشاهده شده استفاده شد. همچنین، از یک مدل هیدرولوژیکی شهری برای تحلیل رواناب بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که با استفاده از این روش، تولید داده‌های بارندگی با وضوح زمانی بالا تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم به صورت انعطاف‌پذیر و اقتصادی امکان‌پذیر است. این رویکرد، یک ابزار ارزشمند برای ارزیابی خطرات سیل، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی، کاهش مقیاس داده‌های اقلیمی و طراحی بارش‌های طراحی به شمار می‌رود. هوا و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۲۰: ۵۶۷) در پژوهشی به بررسی تغییرات شدید بارش در

<sup>۱</sup>Bartholy et a<sup>۲</sup>Han et a<sup>۳</sup>Lu et al.<sup>۴</sup>Huo et al



اروپا از هزاره گذشته تا پایان قرن بیست و یکم پرداختند. این مطالعه با استفاده از داده های بارش شبکه بندی شده روزانه و پنج مدل جهانی CMIP5، تنوع طبیعی و شدت بارش را برای دوره های هزاره گذشته (۸۵۰-۱۸۴۹)، تاریخی (۱۸۵۰-۲۰۰۵)، و آینده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 ارزیابی کرده است. نتایج نشان می دهد که بیشتر مناطق اروپا، به جز جنوب آن، به احتمال زیاد در آینده شاهد افزایش قابل توجهی در بارش های شدید و میانگین بارش تحت هر دو سناریو خواهند بود. داس و همکاران (۲۰۲۲: ۱) در پژوهشی به بررسی تغییرات بارندگی های شدید در یک منطقه گرمسیری موسمی (بنگلادش) تحت تأثیر تغییرات اقلیمی پرداختند. آن ها از مدل اقلیمی جهانی CMIP6 و دو سناریوی مختلف انتشار برای پیش بینی تغییرات آینده استفاده کردند. نتایج نشان می دهد که با توجه به تغییرات اقلیمی پیش بینی شده، شدت بارندگی های شدید با بازگشت صدساله حدود ۲۲ درصد افزایش خواهد یافت. این افزایش در شدت بارندگی ها می تواند منجر به وقوع سیل های مخرب در منطقه شود. لی و همکاران (۲۰۲۴: ۱) در پژوهشی به بررسی افزایش شدت بارش ها در سطح جهانی پرداختند. آن ها با تحلیل ۹ شاخص بارش شدید، دریافتند که به طور کلی، شدت بارش های حدی در سراسر جهان رو به افزایش است. با این حال، نتایج نشان می دهد که در ۷۰ سال گذشته، این روند افزایشی پس از یک دوره کاهش اولیه آغاز شده است.

حبیب نژاد و شکوهی (۱۳۹۸: ۴۱۲) نیز با استفاده از مدل های تغییر اقلیم، به بررسی تغییرات شدت، مدت و دوره بازگشت بارش های کوتاه مدت در ایران پرداختند. آن ها با تحلیل داده های بارش ایستگاه سینوپتیک مهرآباد و به کارگیری آزمون های آماری مناسب، وجود روند افزایشی در شدت بارش های شدید کوتاه مدت را تأیید کردند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که در آینده دور (بین سال های ۲۰۷۰ تا ۲۱۰۰)، شدت و فراوانی این نوع بارش ها به طور قابل توجهی افزایش خواهد یافت. بینش و همکاران (۱۳۹۷: ۲۲۶) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر بارش های شدید در حوزه سیل خیز غرب تهران پرداخته اند. این مطالعه با استفاده از داده های گزارش ارزیابی پنجم IPCC و در سه بازه زمانی ۲۰۶۰، ۲۰۹۰ و ۲۰۹۰ تحت سناریوی R8.5 صورت گرفته است. همچنین، برای شبیه سازی وضعیت بارش ها از مدل MRI-CGCM3 بهره گرفته شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که با نزدیک شدن به آینده، میزان بارش های شدید افزایش می یابد. بنابراین، ضروری است که تدابیر مؤثری برای پیشگیری از سیلاب و آبگرفتگی در مناطق شهری این حوزه اتخاذ شود. این ضرورت بیانگر لزوم توجه به برنامه ریزی های مدیریتی و زیرساختی است تا بتوان از تبعات منفی این تغییرات کاست و امنیت و رفاه ساکنان را حفظ کرد. کاظمی و خزائی (۱۳۹۹: ۱۹) در پژوهشی به مدل سازی تغییرات اقلیمی آینده تهران و یزد تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه ای (RCP) با استفاده از مدل اقلیمی منطقه ای LARS-WG پرداختند. آن ها با بهره گیری از داده های بارش و دمای این دو شهر در دوره آماری ۲۰۳۶ تا ۲۰۶۵، تغییرات احتمالی دما و بارش را در آینده پیش بینی کردند. در این مطالعه، خروجی های مدل جهانی canESM2 تحت سناریوهای RCP با استفاده از نرم افزار LARS-WG به مقیاس محلی کوچک تر تبدیل شد. نتایج نشان داد که در آینده، هر دو شهر تهران و یزد با افزایش قابل توجه دما و کاهش بارش سالانه مواجه خواهند شد. لذا، اتخاذ تدابیر سازگاری با تغییرات اقلیمی در این مناطق امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. اصلاحی و همکاران (۱۴۰۰: ۴۱) در پژوهشی به بررسی رخداد های حدی اقلیمی در استان آذربایجان شرقی طی دوره آماری ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۷ پرداختند. در این پژوهش، داده های مربوط به پنج شاخص اقلیمی

<sup>۱</sup>Das et al<sup>۲</sup>Li et al

شامل امواج سرمایی، امواج گرمایی، بارش‌های شدید، گرد و غبار و تگرگ مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که نسبت به دوره ده ساله مورد مطالعه، شدت و مدت امواج گرمایی افزایش یافته است. همچنین، شدت امواج سرمایی افزایش یافته اما مدت آن‌ها کاهش یافته است. علاوه بر این، فراوانی و شدت بارش‌های سنگین در این استان نیز روند افزایشی داشته است. حجازی زاده و همکاران (۱۴۰۱: ۸۷) در پژوهشی جامع به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر شدت بارش‌های سیل‌آسا در استان تهران پرداخته‌اند. در این مطالعه، داده‌های بارش و دما از سه ایستگاه هواشناسی در استان تهران طی دوره زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۲۰ جمع‌آوری و تحلیل شده است. محققان با استفاده از مدل‌های آماری RclimDex و مدل گردش عمومی جو CanESM۲ (با تأکید بر سناریوی انتشار شدید RCP8.5) و همچنین مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، به شبیه‌سازی تغییرات آینده بارش و رواناب در استان تهران پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با توجه به روند افزایشی دما در آینده، احتمال وقوع بارش‌های شدید و سیلاب‌ها در استان تهران افزایش خواهد یافت. این یافته‌ها حاکی از آن است که استان تهران به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیم ناشی از گرمایش جهانی قرار دارد و نیازمند اتخاذ تدابیر مناسب برای سازگاری با این تغییرات است. کریمی و همکاران (۱۴۰۱: ۱۲۷) در پژوهشی تغییرات شدت بارش ناشی از تغییر اقلیم را در ایستگاه بابل‌سر بررسی کردند. در این مطالعه، داده‌های مربوط به ایستگاه بابل‌سر به دو دوره ۲۶ ساله (۱۹۹۳-۱۹۶۸) و (۲۰۱۹-۱۹۹۴) تقسیم شدند. با استفاده از نرم‌افزار Easyfit و آزمون نکویی برازش کولموگروف-اسمیرنوف، شدت بارندگی مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که در ایستگاه بابل‌سر، شدت بارش‌های طولانی‌مدت ۳۵ درصد، بارش‌های کوتاه‌مدت ۳۵٫۵ درصد افزایش یافته و میزان رگبارهای میان‌مدت ۲۴ درصد کاهش داشته است. رزمخواه و همکاران (۱۴۰۲: ۲۹) با استفاده از مدل اقلیمی منطقه‌ای LARS-WG، به بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی بر پارامترهای هواشناسی در ایستگاه آباده پرداخته‌اند. در این پژوهش، با شبیه‌سازی اقلیم توسط مدل جهانی HADCM3 و ریز مقیاس‌سازی آن با استفاده از نرم‌افزار LARS-WG، وضعیت اقلیمی دوره پایه (۲۰۱۷-۱۹۹۳) در ایستگاه آباده شبیه‌سازی شده است. سپس، با استفاده از سه سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای A1B، B1 و A2، تغییرات آینده پارامترهای اقلیمی در دوره‌های زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی شده است. هدف از مطالعه حاضر واکاوی اثر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی در استان آذربایجان شرقی است. در این مطالعه از داده‌های مدل ACCESS-ESM1-5 گزارش ششم برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل CMIP6 تحت سه سناریوی خوش‌بینانه (SSP1-2-6)، میانه (SSP2-4-5) و کم (SSP5-8-5) برای ایستگاه‌های تبریز، مراغه، اهر، میانه، جلفا و سراب بررسی شد.

## روش پژوهش

### مدل LARS-WG

یکی از مدل‌های معروف در زمینه تولید داده‌های تصادفی، مدل LARS-WG است که برای شبیه‌سازی مقادیر تابش، بارش، دماهای حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های مختلف بر اساس شرایط اقلیمی فعلی و آینده به کار می‌رود. این مدل به‌ویژه در کشور انگلیس مورد استفاده قرار می‌گیرد و توسط یک موسسه تحقیقاتی به نام LARS توسعه یافته است. در این مدل، برای شبیه‌سازی بارش، از روش زنجیره مارکف بهره گرفته می‌شود که به منظور مدل‌سازی متغیرهای جوی، از توزیع‌های آماری پیچیده استفاده می‌کند. برای مدل‌سازی بارش، مبنای این روش شامل طول دوره‌های خشک و مرطوب و همچنین سری‌های تابشی با استفاده از توزیع‌های نیمه تجربی است (باباییان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۵۲). در نسخه ابتدایی این مدل، شبیه‌سازی‌ها به‌طور جداگانه برای هر ایستگاه انجام می‌شد، اما نسخه‌های جدیدتر قابلیت



پوشش دهی به مناطق وسیع تر یا حتی کل کشور را دارند. برای اجرای مدل، حداقل ۱۵ سال داده های مشاهده ای نیاز است و این داده ها چندین بار با استفاده از اعداد تصادفی مختلف اجرا می شوند تا میانگین نتایج به عنوان یک پیش بینی یا ارزیابی چندگانه مورد استفاده قرار گیرد. مدل های مولد داده های آب و هوایی تأثیر مستقیمی بر ارزیابی تغییرات اقلیمی در نواحی مختلف دارند. به این منظور، توانمندی های مدل LARS با استفاده از ۲۰ سال داده های مشاهده ای از شش ایستگاه سینوپتیک در استان آذربایجان شرقی در بازه زمانی ۱۹۹۵-۲۰۱۴ مورد تحلیل قرار گرفته است. همچنین، داده های آینده برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل CMIP6 تحت دو سناریوی خوش بینانه-SSP1-2 (6)، میانه (SSP2-4-5) و کم (SSP5-8-5) رای ایستگاه های تبریز، مراغه، اهر، میانه، جلفا و سراب تولید شده است. این بررسی ها می توانند به درک بهتر تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر روی مناطق مختلف کمک کنند.

### محاسبه مقادیر نمایه های حدی بارش

جهت محاسبه نمایه های حدی، داده های روزانه بارش از شش ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار گرفته است. این شاخص های حدی که برای ارزیابی شرایط جوی و تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار می گیرند، توسط ETCCDI تعریف شده و در سطح جهانی به رسمیت شناخته شده اند. در جدول مربوطه، این شاخص ها معرفی و توضیح داده شده اند. هدف از تجزیه و تحلیل این داده ها، درک دقیق تری از الگوهای بارش و تأثیرات آن بر شرایط آب و هوایی منطقه است. بررسی این نمایه ها (جدول ۱) می تواند به پیش بینی های دقیق تر و برنامه ریزی های بهتر در مواجهه با تغییرات اقلیمی کمک کند.

جدول ۱. شاخص های مورد بررسی در این پژوهش

| ردیف | شاخص                     | نمایه | تعریف                                                | واحد    |
|------|--------------------------|-------|------------------------------------------------------|---------|
| ۱    | تعداد روز با بارش سنگین  | R10   | تعداد روز با بارش $PR \geq 10mm$                     | روز     |
| ۲    | روز های خیلی مرطوب       | R95p  | کل بارش بیش از صدک ۹۵م با بارش متوالی                | میلیمتر |
| ۳    | روز های فوق العاده مرطوب | R99p  | کل بارش روز های متوالی با مقدار بارش بیشتر از صدک ۹۹ | میلیمتر |

### مدل RclimDex

زانگ و یانگ این نرم افزار در شعبه تحقیقات اقلیمی سرویس هواشناسی کانادا توسعه دادند. این نرم افزار که در ابتدا در آژانس توسعه ملی کانادا و از طریق پروژه همکاری تغییرات اقلیمی بین کانادا و چین شکل گرفته، به منظور محاسبه روند شاخص های حدی دما و بارش طراحی شده است (زانگ و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۱۰). تیم کارشناسی در زمینه آشکارسازی و نمایش تغییر اقلیم و شاخص ها (ETCCDI) ۲۷ شاخص حدی را به صورت استاندارد تعریف کرده و این شاخص ها را به پنج دسته تقسیم بندی کرده اند: شاخص های مطلق، صدک ها، شاخص های حدی دوره ای، شاخص دامنه تغییرات و شاخص های آستانه ای. نرم افزار مذکور با استفاده از زبان برنامه نویسی R و بر اساس الگوریتم های بهبود یافته و کاهش خطای عددی طراحی شده است. حمایت از این ابتکار به صورت مشترک توسط کمیسیون اقلیم شناسی (CLIVAR) انجام می گیرد (سیلمن و روکنر، ۲۰۰۸). آستانه های مشخصی برای این نرم افزار تعریف شده و لذا ابتدا داده های حداکثر و حداقل دما و بارش روزانه در محیط اکسل مورد کنترل کیفیت قرار می گیرند و سپس به مدل تحلیل منتقل می شوند. در این تحلیل، مقادیر شیب سنس و P-value مبنای ارزیابی قرار می گیرند (حجازی زاده و همکاران،

۱۴۰۱: ۸۷). برای آشکارسازی روند تغییرات اقلیمی، از آزمون‌های متعددی استفاده می‌شود. به‌منظور بررسی فراسنج‌های اقلیمی نظیر بیشینه رطوبت نسبی، بیشینه سرعت باد و ساعات آفتابی، از آزمون کندال که یکی از متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک در تحلیل سری‌های زمانی است، استفاده می‌شود. این روش قادر است تغییرات داده‌ها را شناسایی کند و زمان و نوع تغییرات را مشخص سازد. همچنین، بر اساس آستانه‌های تعریف شده برای هر شاخص، شیب آن‌ها طی محاسبات آماری اندازه‌گیری می‌شود (محمدی و همکاران (۱۳۹۶: ۳۷). مدل‌های GCM موجود در مدل LARS-WG7 شامل ACCESS-ESM1-5، HadGEM3-GC31-LL و MRI-ESM2-0 هستند. در این پژوهش، به منظور مقایسه این مدل‌ها و انتخاب بهترین گزینه، بارش‌ها با استفاده از دو مدل GCM شبیه‌سازی شده است. مدل ACCESS-ESM1-5 برای سه سناریوی SSP1-2-6، SSP2-4-5 و SSP5-8-5 انتخاب شده‌اند. دوره زمانی مورد بررسی برای این تحقیق، سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ می‌باشد. پس از این مرحله، با بهره‌گیری از نرم‌افزار R-cilmDex، تحلیل و پیش‌بینی بارش‌های حدی انجام شده است. هدف از این مطالعه، درک بهتر تغییرات بارش و تأثیرات آن در آینده نزدیک است که می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های آبی و مدیریت منابع آب بسیار کارآمد باشد.

### محدوده مورد مطالعه

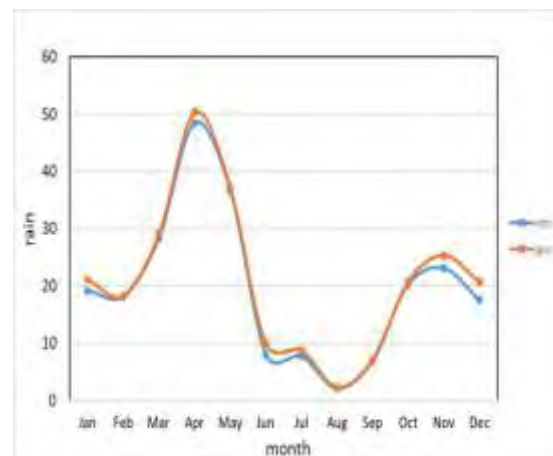
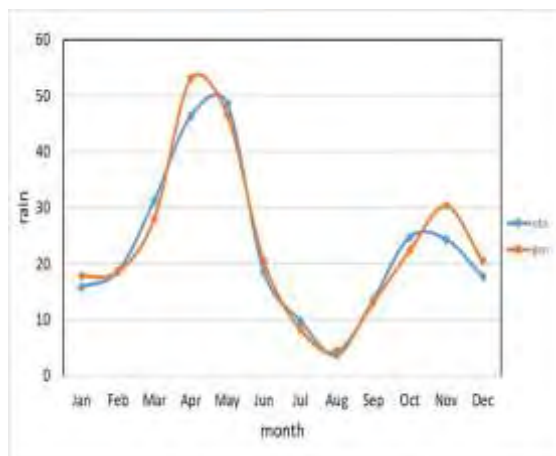
در این پژوهش، با هدف تحلیل روند بارش‌های شدید در استان آذربایجان شرقی، از داده‌های ۶ ایستگاه سینوپتیک منتخب (تبریز، سراب، جلفا، اهر، مراغه و میانه) در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ استفاده شده است. با توجه به اهمیت دقت و اعتبار داده‌ها، ایستگاه‌هایی که دارای نواقص و شکاف‌های زمانی قابل توجهی بودند، از تحلیل حذف شدند. این انتخاب، به منظور افزایش اطمینان از نتایج و قابلیت تعمیم آن‌ها به کل استان، صورت گرفته است. هدف اصلی این پژوهش، شناسایی الگوهای بارش‌های شدید و شرایط اقلیمی مؤثر بر وقوع این پدیده، در راستای مدیریت بهینه منابع آب و کاهش مخاطرات ناشی از حوادث طبیعی است.



شکل ۱. نقشه موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی  
منبع: (ترسیم از نگارندگان، ۱۴۰۳)

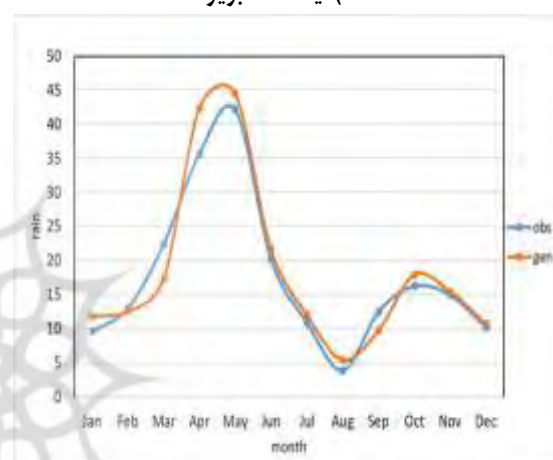
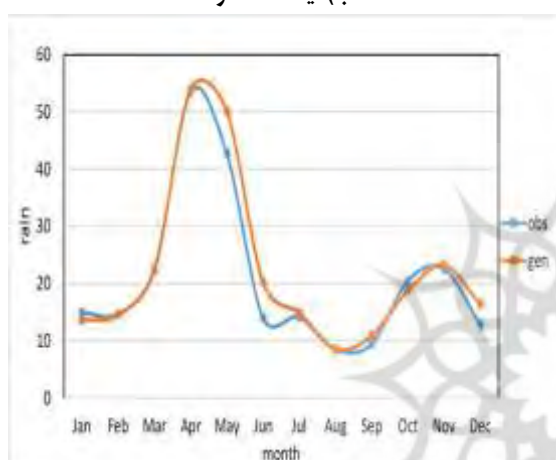
## بحث و یافته‌ها

**صحت سنجی و اعتبار سنجی داده های بارش ایستگاه های استان آذربایجان شرقی:** در مطالعه، مقایسه بین مقادیر بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط مدل LARS-WG7 برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ در ایستگاه تبریز انجام شد. نتایج نشان داد که در ماه آوریل، اختلاف بین داده های مشاهده شده و شبیه سازی شده حدود ۸,۷۱ میلی متر بوده و در ماه آگوست تطابق خوبی بین این دو مشاهده شده است. مدل LARS-WG7 الگوی کلی بارش در ایستگاه تبریز را به خوبی شبیه سازی کرده است (شکل ۲ الف). مقایسه ماهانه میزان بارش در ایستگاه اهر با استفاده از داده های مشاهده شده و شبیه سازی مدل LARS-WG7 بین سال های ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ نشان می دهد که ماه مه با بیشترین بارش مشاهده شده ۴۸,۶ میلی متر بوده و مدل ۴۶,۵۷ میلی متر پیش بینی کرده است. این نشان می دهد که مدل توانایی محدودی در شبیه سازی دقیق الگوی بارش ماهانه در منطقه را دارد (شکل ۲ ب). شکل (۲ ج) نشان می دهد که مدل LARS-WG7 برای ایستگاه جلفا در دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ توانسته است الگوی کلی تغییرات بارش ماهانه را بازتولید کند، اما در برخی ماه ها تفاوت هایی با داده های مشاهده شده وجود دارد. بیشترین بارش ماهانه ی مشاهده شده در ماه می ۴۲,۰۶ میلی متر و در ماه می شبیه سازی شده ۴۴,۵۱ میلی متر بوده است، با اختلاف ۲,۴۵ میلی متر. کمترین بارش ماهانه ی مشاهده شده در ماه آگوست ۳,۹۱ میلی متر و در ماه آگوست شبیه سازی شده ۵,۴۵ میلی متر بوده است، با اختلاف ۱,۵۴ میلی متر می باشد (شکل ۲ ج). مقایسه بین بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط مدل LARS-WG7 در ایستگاه سراب نشان داد که در ماه آوریل تطابق نسبتاً خوبی وجود دارد، اما در ماه آگوست انحراف اندکی وجود دارد. بارش بیشترین مقدارش در آوریل ۵۳,۵ میلی متر بوده و مدل ۵۳,۹۵ میلی متر را شبیه سازی کرده است. کمترین بارش در آگوست ۸,۴۸ میلی متر بوده و مدل ۸,۵۹ میلی متر را شبیه سازی کرده است (شکل ۲ د). مقایسه مقادیر بارش مشاهده و شبیه سازی شده برای ایستگاه مراغه نشان داد که بیشترین مقدار بارش ماه آوریل ۵۶,۸۱ میلی متر بوده و اختلاف آن با مقدار شبیه سازی شده ۲,۸۴ میلی متر است. بارش ماه آگوست با مقدار کمترین مشاهده شده ۰,۰۴ میلی متر بوده و اختلاف مقدار شبیه سازی شده در این ماه توجه چندانی ندارد (شکل ۲ ه). مقایسه بارش مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط مدل LARS-WG7 برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ در ایستگاه میانه نشان داد که اختلاف مدل با مشاهدات در بارش ماهانه می و آگوست بسیار بزرگ است، نشان از چالش های شبیه سازی مدل در ماه های خشک می باشد. شکل (۲ و).



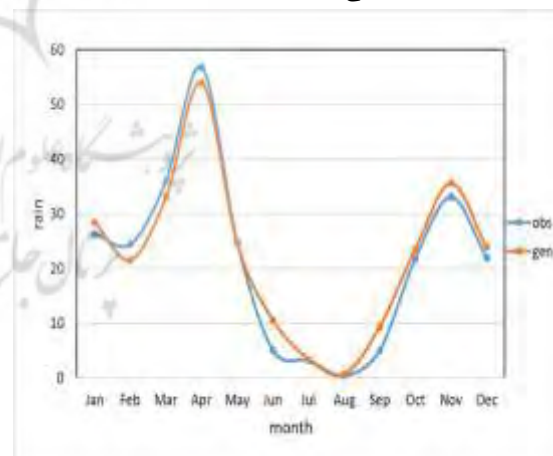
الف) ایستگاه تبریز

ب) ایستگاه اهر



ج) ایستگاه جلفا

د) ایستگاه سراب



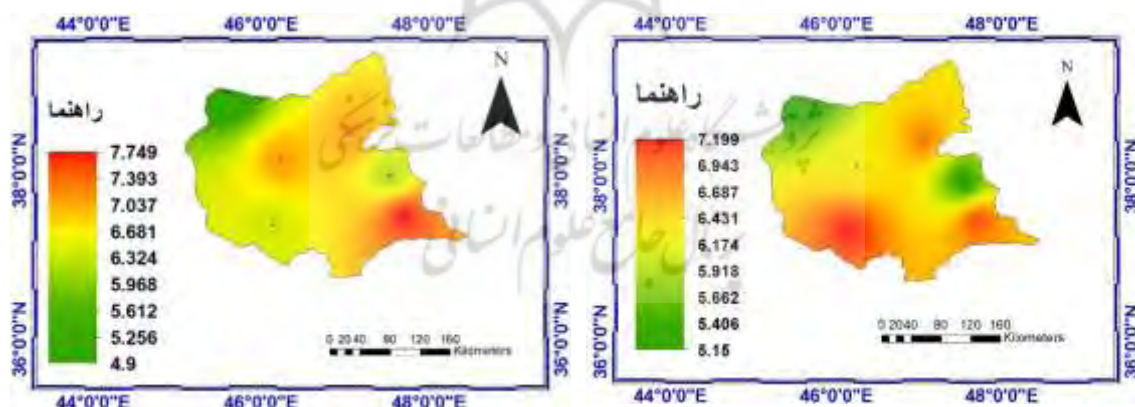
ه) بارش مراغه

و) ایستگاه میانه

شکل ۲. مقایسه مقدار میانگین بارش مشاهده و شبیه سازی شده ایستگاه منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی  
منبع: (ترسیم از نگارندگان، ۱۴۰۳)

### بررسی رفتار مکانی شاخص های حدی مورد مطالعه

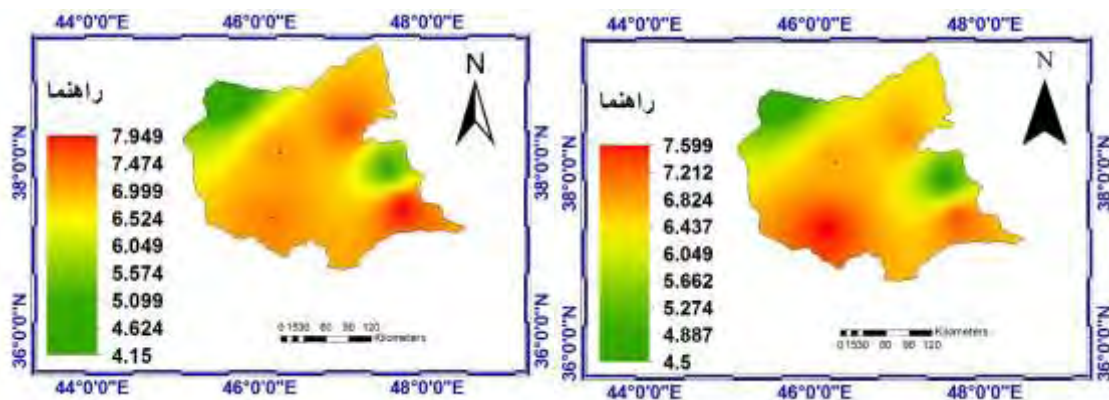
**فراوانی شاخص R10mm:** شاخص R10mm به تعداد روزهایی اشاره دارد که در طول یک سال، بارندگی روزانه‌ای بیش از ۱۰ میلی‌متر ثبت شده است. این شاخص به عنوان معیاری کلیدی برای ارزیابی شدت و فراوانی بارش‌های سنگین در یک منطقه خاص به کار می‌رود. شکل (۴) فراوانی بارش‌های بالای ۱۰ میلی‌متر را در استان آذربایجان شرقی بر اساس داده‌های مشاهداتی (شکل ۴ الف) نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که در آذربایجان شرقی، مناطق کوهستانی و شمالی این استان دارای فراوانی بالاتری از روزهای بارانی با بارش ۱۰ میلی‌متر و بیشتر هستند. به طور مقابل، در مناطق شرقی استان، کاهش قابل توجهی در فراوانی روزهای بارانی مشاهده می‌شود، در حالی که در نواحی جنوبی شاهد افزایش جزئی در تعداد روزهای بارانی هستیم. به طور کلی، در جنوب آذربایجان شرقی، تعداد روزهای بارانی به‌طور معناداری کاهش یافته است که این امر ممکن است به عوامل جغرافیایی و پوشش گیاهی محدود در این مناطق مرتبط باشد. شکل (۴) همچنین فراوانی شاخص R10mm را برای سه سناریوی SSP1-2-6 (شکل ۳ ب)، SSP2-4-5 (شکل ۳ ج) و SSP5-8-5 (شکل ۳ د) برای دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و داده‌های مشاهداتی برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ نشان می‌دهد. در مدل ACCESS-ESM1-5، نتایج نشان می‌دهند که در سناریوی SSP1-2-6، بیشترین فراوانی شاخص R10mm در ایستگاه‌های میانه، اهر، تبریز، مراغه و سراب مشاهده شده است، در حالی که کمترین میزان این شاخص در ایستگاه جلفا ثبت شده است. سناریوی SSP2-4-5 با چالش‌هایی در فراوانی بارش‌های شدید مواجه است. به‌طور خاص، تعداد روزهای بارش بالای ۱۰ میلی‌متر در این سناریو نسبت به سناریوی قبلی افزایش ناچیزی داشته است و گستره فراوانی این شاخص نیز افزایش یافته است. در سناریوی SSP5-8-5 نیز در برخی نواحی، تعداد روزهای بارانی با بارش ۱۰ میلی‌متر نسبت به سناریوهای قبلی افزایش یافته است.



ب

الف





د

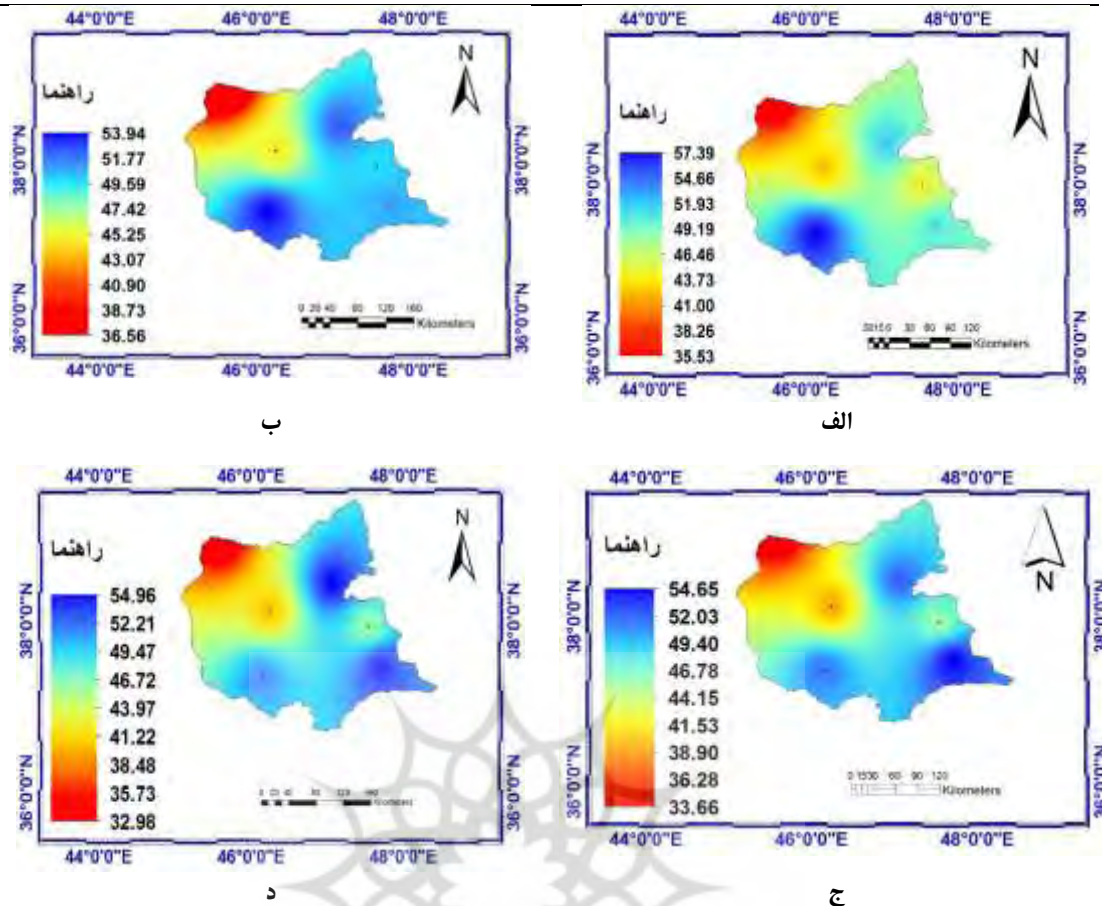
ج

شکل ۳. فراوانی شاخص R10mm برای دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) و سناریوی ۵۸۵ (د) بر

اساس مدل ACCESS-ESM1-5

منبع: (ترسیم از نگارندگان)

**فراوانی شاخص R95p:** شاخص R95p به تعداد روزهایی اشاره دارد که مجموع بارش روزهای متوالی با میزان بارش بیشتر از صدک نود و پنجم ثبت می‌شود. این شاخص به طور خاص برای ارزیابی روزهای بارانی شدید و فراوانی بارش‌های سنگین در یک ناحیه خاص به کار می‌رود. شکل (۴) فراوانی بارش‌های بالای صدک نود و پنجم را در استان آذربایجان شرقی بر اساس داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که در جنوب غربی و نیمه شرقی استان، بیشترین فراوانی شاخص R95p مشاهده می‌شود. این افزایش در فراوانی بارش‌های شدید در این مناطق می‌تواند به عوامل جغرافیایی مانند ارتفاع، توپوگرافی و همچنین پوشش گیاهی متنوع نسبت داده شود. در مقابل، در شمال غربی استان، فراوانی کمتری در این شاخص مشاهده می‌شود که ممکن است به تفاوت‌های اقلیمی و الگوهای جوی در این ناحیه مرتبط باشد. شکل (۴) نیز فراوانی شاخص R95p را برای سه سناریوی SSP1-2-6 (شکل ۴ الف)، SSP2-4-5 (شکل ۴ ب) و SSP5-8-5 (شکل ۴ ج) برای دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و داده‌های مشاهداتی برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ ارائه می‌دهد. در مدل ACCESS-ESM1-5، نتایج نشان می‌دهند که در سناریوهای مختلف، بیشترین فراوانی شاخص R95p در ایستگاه‌های اهر، سراب، میانه و مراغه ثبت شده است، در حالی که کمترین میزان این شاخص در ایستگاه‌های تبریز و جلفا گزارش شده است. این اختلافات در داده‌ها نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در الگوهای بارش در همین نواحی است. جالب است که در نیمه شرقی و جنوب غربی استان، روند افزایشی در شاخص R95p مشاهده می‌شود، در حالی که در شمال غربی استان، کاهش قابل توجهی در این شاخص وجود دارد. این نتایج بیانگر نوسانات شدید در فراوانی بارش‌های سنگین در مناطق مختلف استان است و می‌تواند به تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر الگوهای بارش مربوط باشد.

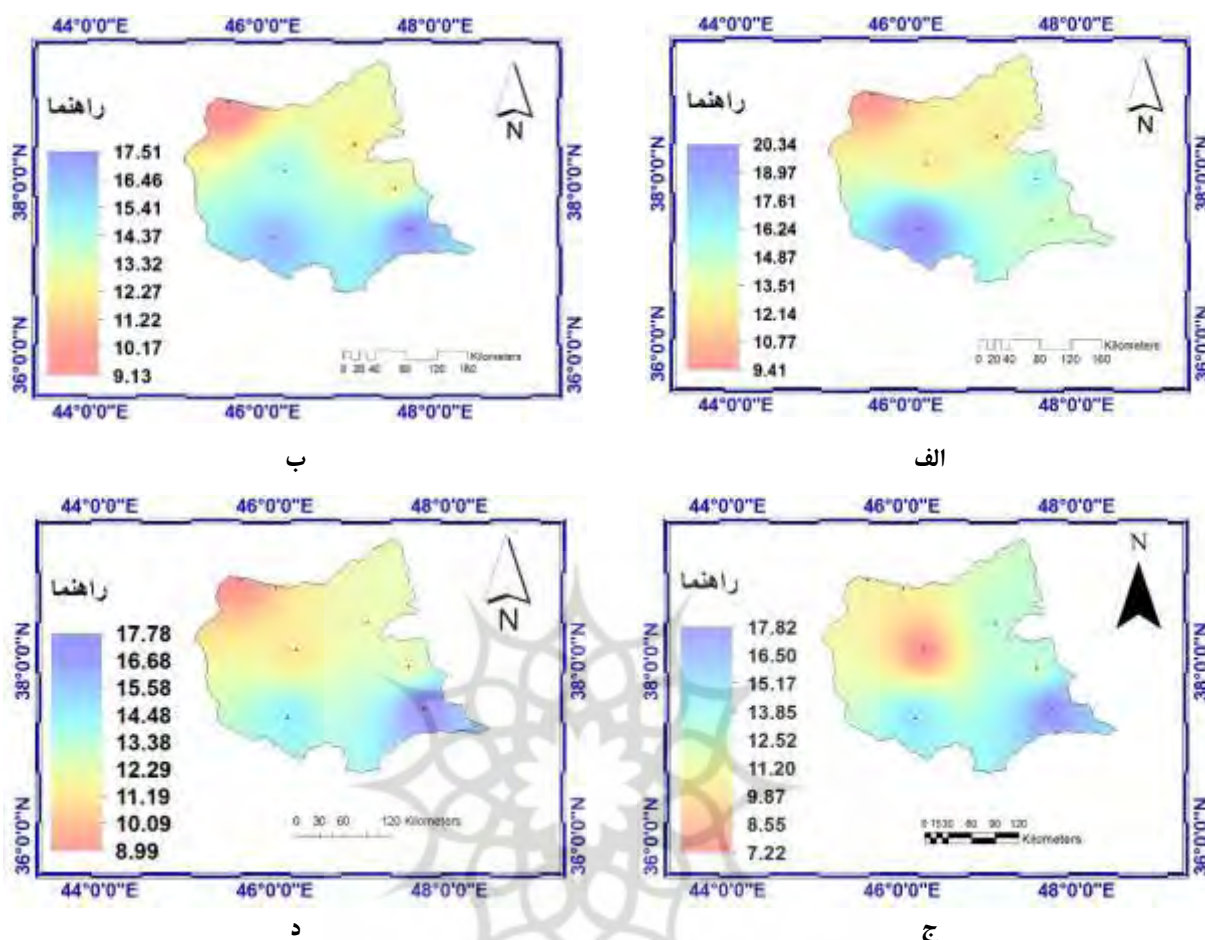


شکل ۴. فراوانی شاخص R95p برای دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) و سناریوی ۵۸۵ (د) بر اساس مدل ACCESS-ESM1-5  
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

**فراوانی شاخص R99p:** شاخص R99p به تعداد روزهایی اشاره دارد که بارندگی کل سالانه بیشتر از صدک نود و نهم ثبت می‌شود. این شاخص به عنوان معیاری کلیدی برای ارزیابی شدت و فراوانی بارش‌های سنگین در یک منطقه خاص به کار می‌رود. شکل (۵) فراوانی بارش‌های بالاتر از صدک نود و نهم را در استان آذربایجان شرقی بر اساس داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که در داده‌های مشاهداتی، بیشترین میزان این شاخص در ایستگاه‌های مراغه، سراب، میانه، تبریز و اهر مشاهده می‌شود، در حالی که ایستگاه جلفا کمترین تعداد فراوانی را دارد. به طور خاص، روند فراوانی شاخص R99p در نیمه جنوبی استان بیشتر است، در حالی که در نیمه شمالی کمتر مشاهده می‌شود. این تفاوت می‌تواند ناشی از عوامل جغرافیایی، تغییرات اقلیمی و ویژگی‌های محلی مانند توپوگرافی و پوشش گیاهی باشد. شکل (۵) همچنین فراوانی شاخص R99p را برای سه سناریوی SSP1-2-6 (شکل ۵ الف)، SSP2-4-5 (شکل ۵ ب) و SSP5-8-5 (شکل ۵ ج) برای دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و داده‌های مشاهداتی برای دوره ۱۹۹۵-۲۰۱۴ نمایش می‌دهد. در مدل ACCESS-ESM1-5، بیشترین فراوانی شاخص R99p در ایستگاه‌های میانه، مراغه، تبریز، اهر و سراب ثبت شده است، در حالی که ایستگاه جلفا کمترین مقدار این شاخص را نشان می‌دهد. در سناریوی SSP2-4-5، مقدار فراوانی شاخص R99p در شمال شرقی استان افزایشی بوده و نسبت به سناریوی قبلی افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد. در عوض، در شمال غربی استان، روند کاهشی در فراوانی این شاخص مشاهده می‌شود. این نتایج حاکی از تغییرات دینامیک در الگوهای بارش در این نواحی است و می‌تواند به درک بهتر از تأثیرات



تغییرات اقلیمی بر بارش‌های شدید کمک کند. در سناریوی SSP5-8-5 نیز بارش‌های بالاتر از صدک نود و نهم در نیمه شمالی استان نسبت به سناریوی قبلی کمتر شده است.

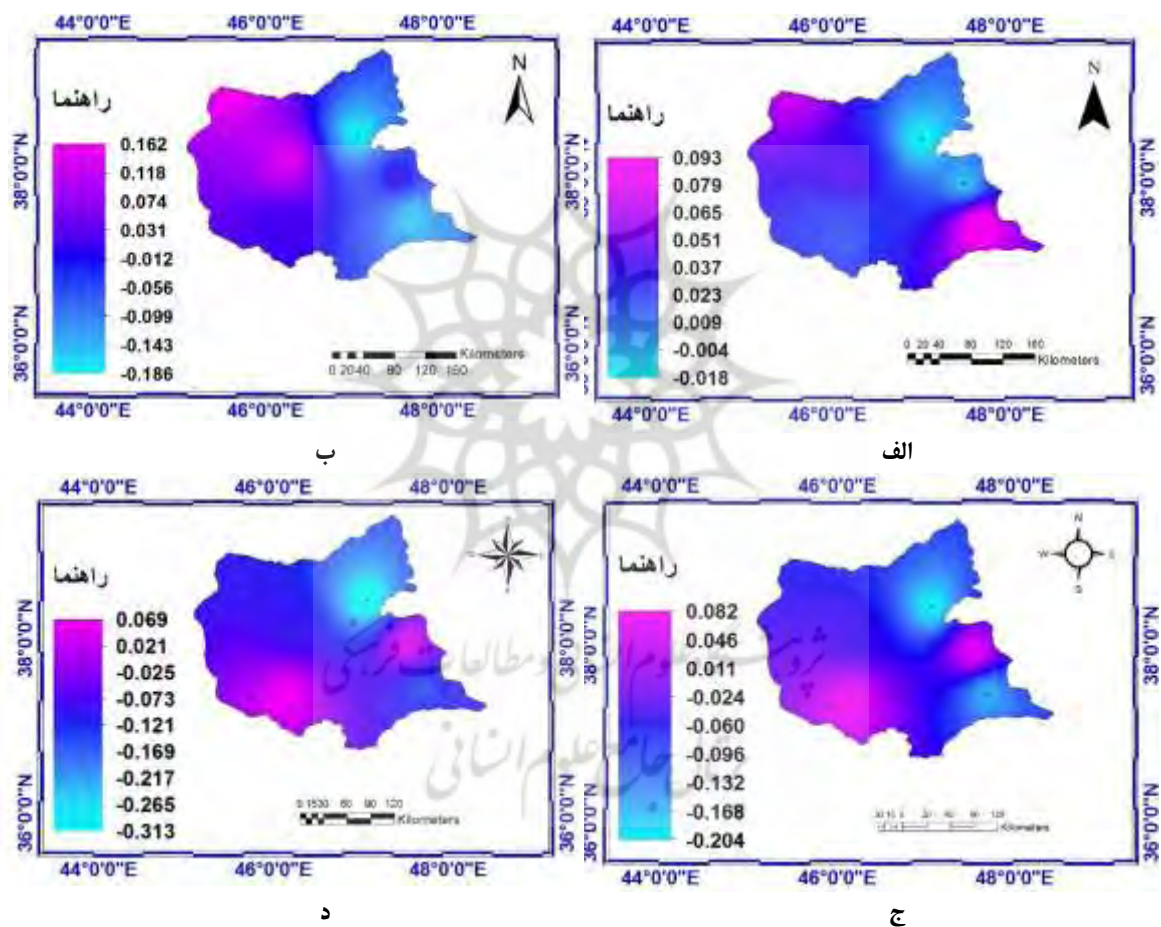


شکل ۵. فراوانی شاخص R99p برای دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) و سناریوی ۵۸۵ (د) بر اساس مدل ACCESS-ESM1-5

منبع: (ترسیم از نگارندگان)

**واکای شیب تغییرات شاخص R10mm:** این مطالعه به بررسی ضرایب شیب و مقادیر پی‌ولیوی (p-value) شاخص R10mm برای سناریوهای SSP1-2-6، SSP2-4-5 و SSP5-8-5 در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و داده‌های مشاهداتی ۱۹۹۵-۲۰۱۴ پرداخته است. تحلیل‌ها با استفاده از مدل ACCESS-ESM1-5 در استان آذربایجان شرقی انجام شده و تمرکز اصلی بر روی تعداد روزهای با بارش سنگین، که به‌عنوان روزهایی با بارش روزانه برابر یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر تعریف شده‌اند، می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که در داده‌های مشاهداتی آذربایجان شرقی، یک روند کاهشی در تعداد روزهای با بارش سنگین مشاهده می‌شود (شکل ۶). مقدار شیب این شاخص در ایستگاه‌های مختلف به‌طور متفاوتی تغییر کرده است. به‌طوری که ایستگاه‌هایی نظیر میانه، تبریز، جلفا و مراغه بیشترین مقادیر شیب را نشان می‌دهند، در حالی که ایستگاه‌های اهر و سراب کمترین مقادیر شیب را دارند. این تفاوت‌ها ممکن است ناشی از شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص هر ایستگاه باشد. (شکل ۷) تحلیل مقادیر p-value در ایستگاه‌های تبریز، مراغه، سراب، اهر و جلفا نشان می‌دهد که با توجه به اینکه این مقادیر کمتر از ۰,۰۵ نیستند، روند تغییرات معنادار نیست. در ایستگاه میانه، مقدار p-value کمتر از ۰,۰۵ است، که به معنای وجود تغییرات معنادار در این ایستگاه می‌باشد. در سناریو SSP1-2-6، ضرایب شیب محاسبه‌شده حاکی از افزایش تغییرات این شاخص نسبت به دوره مشاهداتی هستند (شکل ۶ ب). اگرچه این یافته‌ها نشان‌دهنده‌ی یک روند کاهشی ملایم در مقادیر این شاخص هستند، اما p-value‌های

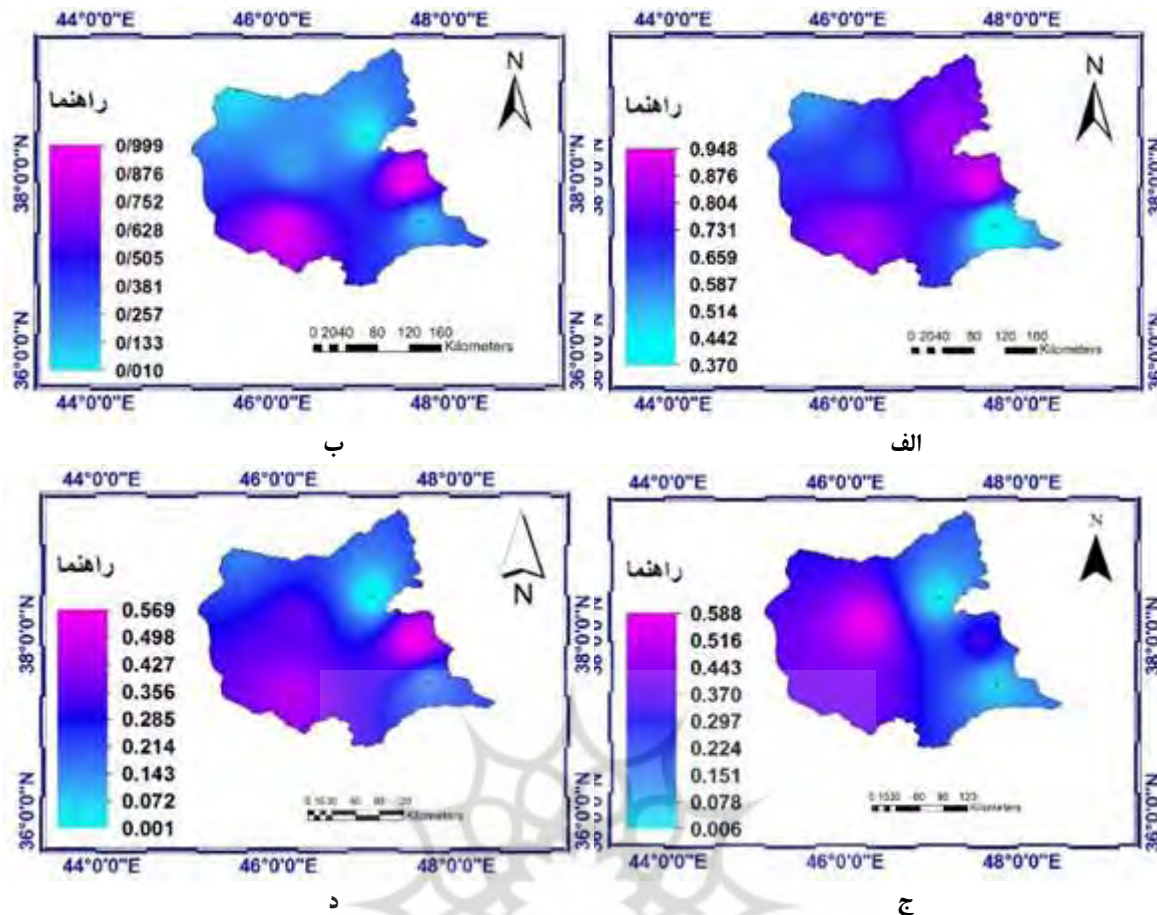
بالای ۰,۰۵ در ایستگاه های تبریز، جلفا، مراغه، سراب و میانه بیانگر این است که این تغییرات ممکن است ناشی از نوسانات طبیعی باشند و نه صرفاً تغییرات اقلیمی. در سناریوهای SSP2-4-5 و SSP5-8-5، مقادیر شیب کاهشی در آذربایجان شرقی افزایش یافته و به خصوص در نواحی شمالی و جنوب شرقی استان، مقادیر منفی بیشتری مشاهده می شود. در این سناریوها، p-value ها نیز کمتر از ۰,۰۵ است که نشان دهنده معناداری تغییرات می باشد. این تغییرات می تواند به تأثیرات شدیدتر تغییرات اقلیمی در این نواحی مربوط شود. در نیمه جنوبی آذربایجان شرقی، روند شیب افزایشی مشاهده می شود، اما با توجه به مقادیر p-value، این روند معنادار نیست. بدین ترتیب، نتایج به وضوح نشان دهنده پیچیدگی های تغییرات اقلیمی در این مناطق است و ضرورت بررسی های بیشتر برای درک بهتر علل و پیامدهای این تغییرات را تأکید می کند. به طور کلی، این مطالعه نشان می دهد که با وجود روندهای کاهشی در تعداد روزهای با بارش سنگین در برخی مناطق، نتایج معنادار در سناریوهای خاصی وجود دارد.



شکل ۶. ضرایب تغییرات شیب در دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) سناریوی ۵۸۵ (د) براساس

مدل ACCESS-ESM1-5

منبع: (ترسیم از نگارندگان)

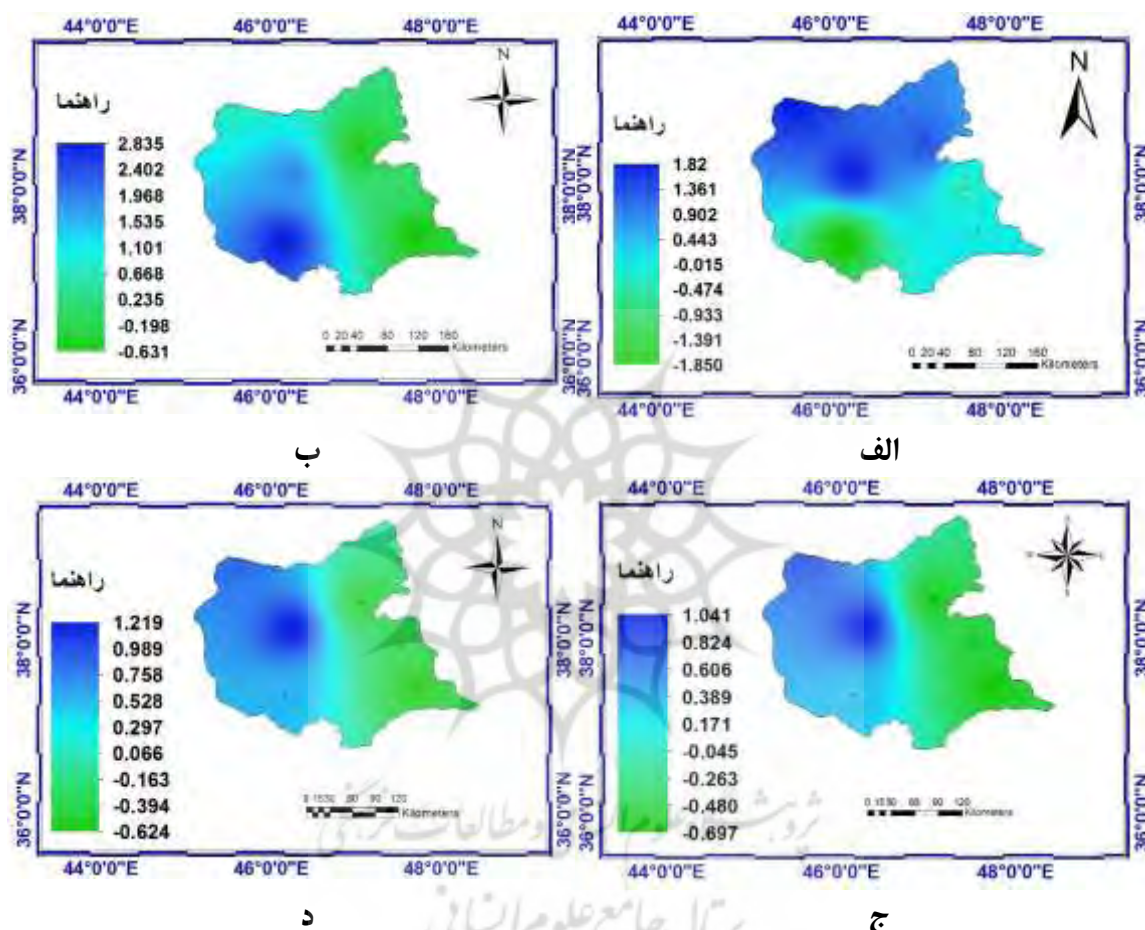


شکل ۷. ضرایب تغییرات P-Value در دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) سناریوی ۵۸۵ (د) براساس مدل ACCESS-ESM1-5  
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

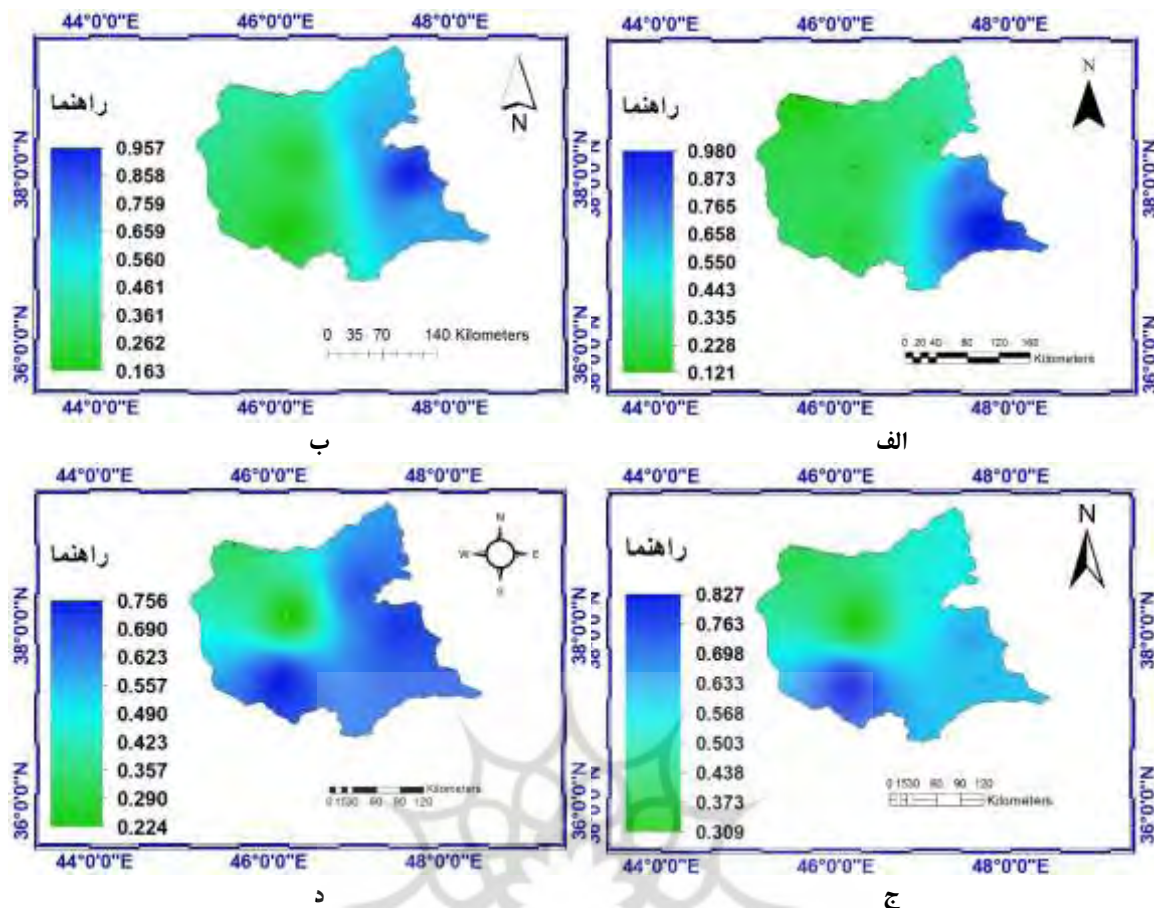
**واکاوی شیب تغییرات شاخص R95p:** این مطالعه به بررسی ضرایب شیب و مقادیر پی‌ولیوی (p-value) برای سناریوهای SSP1-2-6، SSP2-4-5 و SSP5-8-5 در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و داده‌های مشاهداتی ۱۹۹۵-۲۰۱۴ پرداخته است. تحلیل‌ها با استفاده از مدل ACCESS-ESM1-5 در استان آذربایجان شرقی انجام شده و شاخص مورد بررسی، ارزیابی شاخص R95p است، که مجموع بارش روزهای متوالی با میزان بارش بالاتر از صدک نود و پنجم را نشان می‌دهد. (شکل ۸) نتایج نشان می‌دهند که در داده‌های مشاهداتی، بیشترین مقدار شیب شاخص R95p در ایستگاه‌های تبریز، جلفا، اهر و سراب مشاهده می‌شود، در حالی که ایستگاه‌های میانه و مراغه کمترین مقادیر شیب را دارند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقدار شاخص R95p در نیمه شمالی استان آذربایجان شرقی و کمترین میزان آن در نیمه جنوبی استان قرار دارد. این تفاوت‌ها احتمالاً ناشی از عوامل جغرافیایی و اقلیمی مختلف تأثیرگذار بر الگوهای بارش در استان هستند. (شکل ۹) تحلیل مقادیر p-value برای شاخص R95p در داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های سراب و میانه، مقادیر p-value بزرگتر از ۰,۰۵ وجود دارد که به معنای عدم معناداری تغییرات در این ایستگاه‌هاست. در مقابل، در ایستگاه‌های تبریز، جلفا، اهر و مراغه، مقادیر p-value کمتر از ۰,۰۵ به دست آمده که نشان‌دهنده معناداری تغییرات است. در مدل ACCESS-ESM1-5 برای سناریوی SSP1-2-6، محاسبات نشان می‌دهند که در نیمه شرقی استان، مقادیر شیب افزایشی و در نیمه غربی کاهش یافته است. در نیمه شرقی، مقادیر p-value بیشتر از ۰,۰۵ به دست آمده که بیانگر عدم معنی‌داری تغییرات در این ایستگاه‌ها است. در حالی



که در نیمه غربی استان، مقادیر p-value کمتر از ۰,۰۵ وجود دارد که نشان دهنده معناداری تغییرات در این ناحیه است. در سناریوهای SSP2-4-5 و SSP5-8-5، مقادیر شیب افزایشی در نیمه غربی استان و مقادیر منفی در نیمه شرقی مشاهده شده است. در این سناریوها، مقادیر p-value در نیمه شرقی و نیمه جنوب غربی استان بیشتر از ۰,۰۵ است که نشان دهنده عدم معناداری این تغییرات می باشد. در مقابل، مقدار p-value در شمال غربی کمتر از ۰,۰۵ است که نشان دهنده معناداری تغییرات در این ناحیه است. این نتایج نشان دهنده تغییرات پیچیده در الگوهای بارش استان آذربایجان شرقی و نیاز به بررسی های بیشتر برای درک بهتر علل و پیامدهای این تغییرات است.



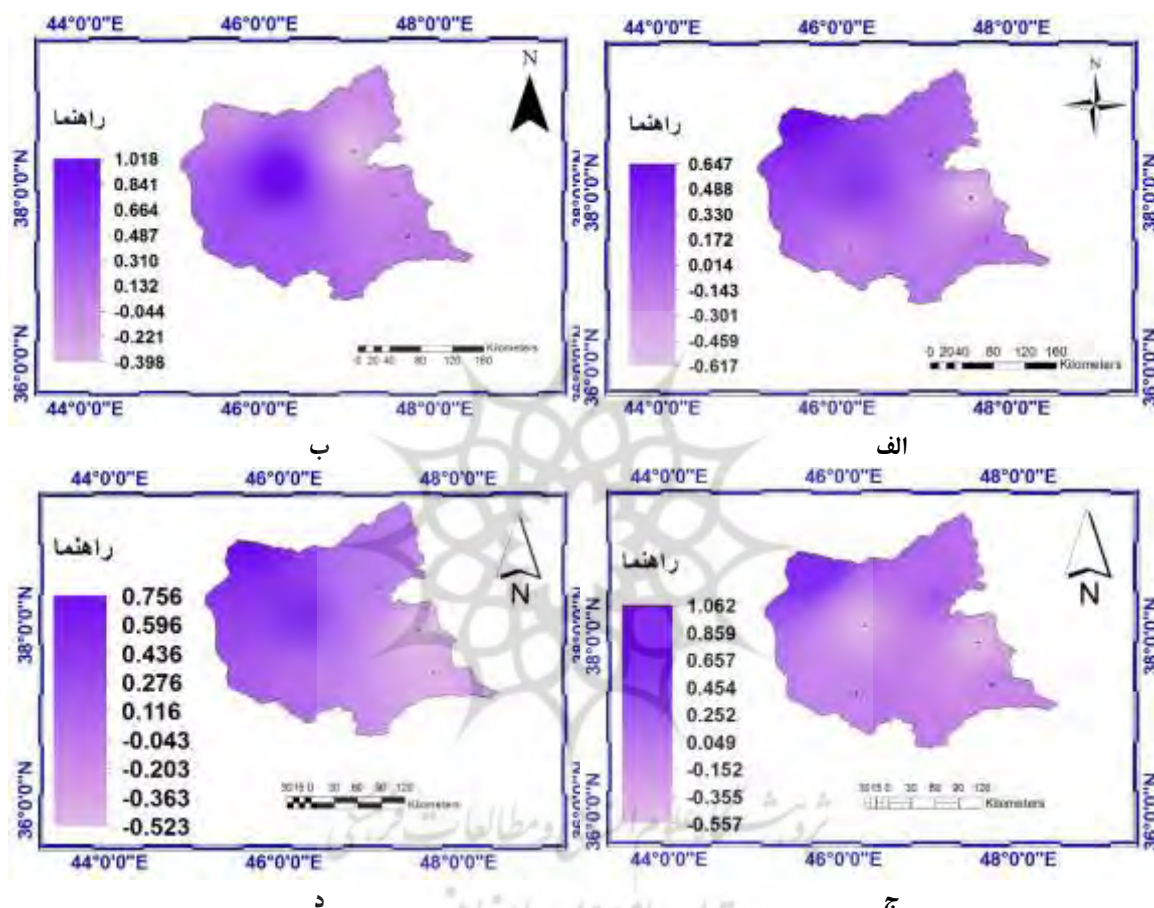
شکل ۸. ضرایب تغییرات شیب در دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) سناریوی ۵۸۵ (د) براساس مدل ACCESS-ESM1-5  
منبع: (ترسیم از نگارندگان)



شکل ۹. ضرایب تغییرات P-Value در دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) سناریوی ۵۸۵ (د) براساس مدل ACCESS-ESM1-5  
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

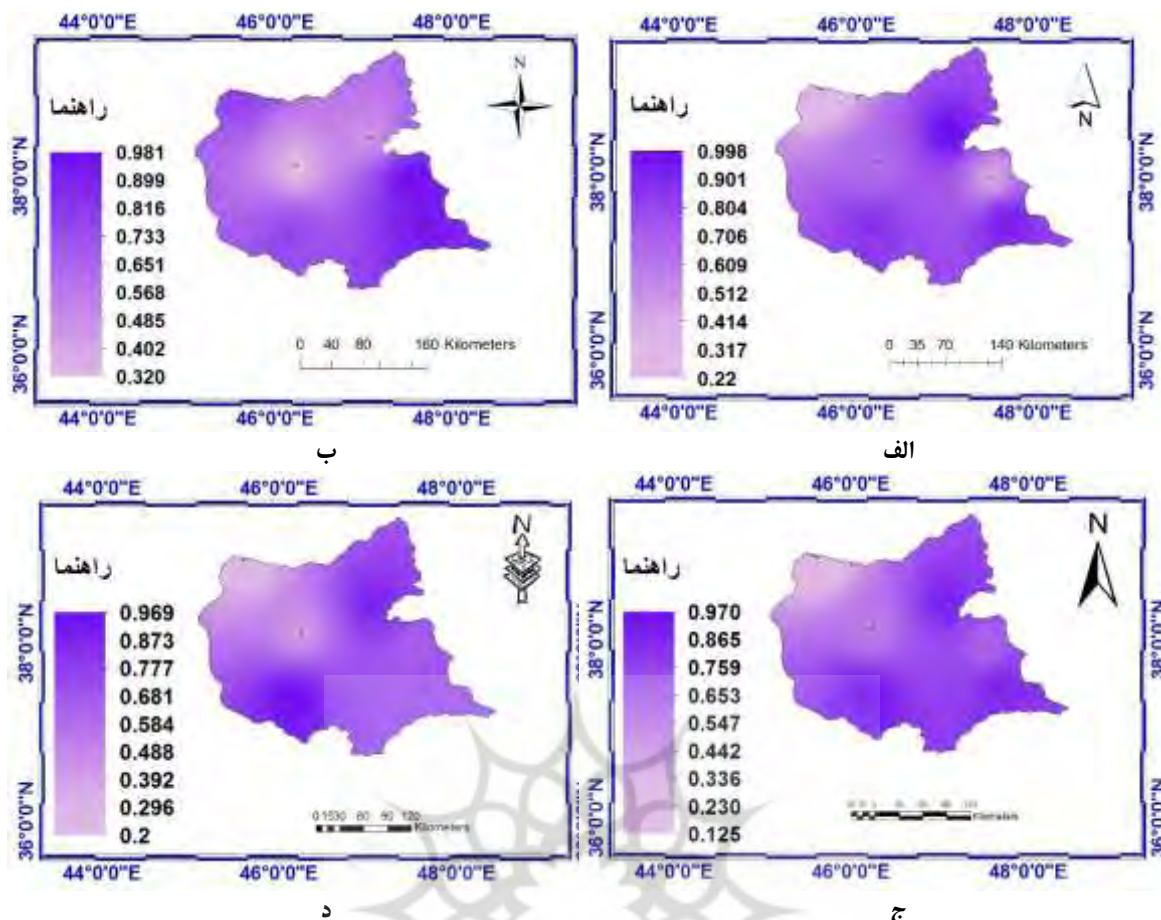
**واکاوای شیب تغییرات شاخص R99p:** این مطالعه به بررسی ضرایب شیب و مقادیر پی‌ولیوی (p-value) برای سناریوهای SSP1-2-6، SSP2-4-5 و SSP5-8-5 در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و همچنین داده‌های مشاهداتی ۲۰۱۴-۱۹۹۵ پرداخته است. تحلیل‌ها با استفاده از مدل ACCESS-ESM1-5 در استان آذربایجان شرقی انجام شده و شاخص مورد بررسی، R99p است که به تعداد روزهای بارندگی کل سالانه بیشتر از صدک نود و نهم اشاره دارد. (شکل ۱۰) مقادیر شیب داده‌های مشاهداتی R99p را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهند که بیشترین شیب در ایستگاه‌های اهر، تبریز، جلفا و میانه مشاهده می‌شود، در حالی که ایستگاه‌های سراب و مراغه کمترین مقادیر شیب را دارند. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از عوامل جغرافیایی و اقلیمی خاص هر ایستگاه باشد که بر الگوهای بارش تأثیر می‌گذارد. (شکل ۱۱) تحلیل مقادیر p-value نشان می‌دهد که در داده‌های مشاهداتی، ایستگاه‌های تبریز، اهر، مراغه و میانه مقادیر p-value بالاتر از ۰,۰۵ دارند، که نشان‌دهنده عدم معنی‌داری تغییرات شاخص R99p در این ایستگاه‌هاست. در مقابل، در ایستگاه‌های سراب و جلفا، مقادیر p-value کمتر از ۰,۰۵ به دست آمده که بیانگر معناداری تغییرات در این ایستگاه‌هاست. در مدل ACCESS-ESM1-5 برای سناریوی SSP1-2-6، برآورد کلی شیب نشان می‌دهد که مرکز استان بالاترین شیب را دارد، در حالی که نیمه شرقی و جنوب غربی و همچنین شمال استان شیب کاهشی را نشان می‌دهند. مقادیر p-value برای شاخص R99p در ایستگاه‌های مراغه، میانه، سراب و جلفا بالای ۰,۰۵ است که به معنای عدم معنی‌داری تغییرات در این ایستگاه‌ها می‌باشد. ولی در ایستگاه‌های اهر و تبریز، مقادیر p-value کمتر از ۰,۰۵ وجود

دارد که نشان دهنده معناداری تغییرات است. در سناریوهای SSP2-4-5 و SSP5-8-5، محاسبات شیب نشان می دهد که در نیمه شرقی و جنوب غربی استان، روند کاهشی ادامه دارد، در حالی که در شمال غربی استان، روند افزایش مشاهده می شود. به ویژه در سناریوی SSP5-8-5، مرکز استان بالاترین مقدار شیب را دارد. این تفاوت ها می تواند ناشی از عوامل جغرافیایی و طبیعی متنوع استان باشد. در نهایت، مقادیر p-value در این سناریوها در نیمه شرقی و جنوب غربی استان بیشتر از ۰,۰۵ است که نشان دهنده عدم معناداری تغییرات در این مناطق می باشد. در مقابل، مقادیر p-value در شمال غربی استان کمتر از ۰,۰۵ است، که بیانگر معناداری این تغییرات است.



شکل ۱۰. ضرایب تغییرات شیب در دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) سناریوی ۵۸۵ (د) براساس مدل ACCESS-ESM1-5  
منبع: (ترسیم از نگارندگان)





شکل ۱۱. ضرایب تغییرات P-Value در دوره مشاهداتی (الف) سناریوی ۱۲۶ (ب) سناریوی ۲۴۵ (ج) سناریوی ۵۸۵ (د) براساس مدل ACCESS-ESM1-5  
منبع: (ترسیم از نگارندگان)

### نتیجه گیری

پژوهش حاضر به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی در استان آذربایجان شرقی پرداخته است. داده‌های بارش مشاهده‌ای از ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۴ جمع‌آوری و با استفاده از مدل شبیه‌سازی آب و هوایی LARS-WG7 تحلیل شده است. نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه و توانایی مدل در بازتولید الگوهای بارشی ارزیابی گردید. سپس، بارش‌های آینده برای ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ تحت سه سناریوی تغییر اقلیم شبیه‌سازی شد. در ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیشترین بارش در ماه‌های آوریل و می و کمترین بارش در آگوست مشاهده و شبیه‌سازی شده است. اگرچه مدل LARS-WG7 توانسته الگوهای کلی بارش را به خوبی شبیه‌سازی کند، اما اختلافاتی در مقادیر و ماه‌های بارش بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده وجود دارد. مجموعاً، بیشترین بارش‌ها در آذربایجان شرقی مربوط به ماه‌های آوریل و می و کمترین آنها به آگوست اختصاص دارد. نتایج شاخص R10mm در مدل ACCESS-ESM1-5 برای سناریوهای SSP1-2-6، SSP2-4-5 و SSP5-8-5 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نشان می‌دهد که در آذربایجان شرقی، بارش‌های بالای ۱۰ میلی‌متر در مناطق کوهستانی و شمالی بیشتر و در مناطق شرقی کاهش یابد. ایستگاه‌های اهر و تبریز بالاترین فراوانی بارش‌های شدید را دارند. همچنین، شاخص R95P نشان‌دهنده افزایش فراوانی در جنوب غربی و نیمه شرقی است، در حالی که شمال غربی کاهش دارد. ایستگاه‌های مراغه، سراب و میانه در بیشترین فراوانی را ثبت کرده‌اند و جلفا کمترین را دارد. نتایج مطالعه شیب و پی ویلیو شاخص R10mm، R95p و R99p برای

سناریوهای SSP1-2-6، SSP2-4-5 و SSP5-8-5 در آذربایجان شرقی از دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با داده‌های مشاهداتی ۱۹۹۵-۲۰۱۴ نشان می‌دهند که بارش‌های سنگین نمایانگر روند کاهشی است. ایستگاه‌های تبریز، اهر، و جلفا بیشترین شیب و ایستگاه‌های مراغه و سراب کمترین را دارند. پی ولیوها بالای ۰,۰۵ در برخی ایستگاه‌ها نشان‌دهنده عدم معناداری تغییرات است. همچنین تحلیل‌ها نیاز به بررسی‌های بیشتر برای درک دقیق تغییرات اقلیمی را تأکید می‌کنند.

### حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

### سهم نویسندگان

سهم نویسنده اول و دوم ۸۰ درصد و سهم نویسنده سوم ۲۰ درصد است.

### تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند، هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

### تقدیر و تشکر

نویسنده مسئول این مقاله از عاملین چاپ مقاله تشکر می‌کند.

### منابع

- اصلاحی، مهدی؛ پوراصغر، فرناز و اکبرزاده، یونس (۱۴۰۰). بررسی رخدادهای حدی اقلیمی در استان آذربایجان شرقی در دوره ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۹۷. نشریه نیوار، (۱۱۵-۱۱۴) ۴۵، ۴۱-۵۱.
- باباییان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابل عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد و ملبوسی، شراره (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. جغرافیا و توسعه، (۷۱۶)، ۱۵۲-۱۳۵.
- بینش، نگین؛ نیک سخن، محمدحسین و سارنگ، امین (۱۳۹۷). تحلیل تاثیر تغییر اقلیم بر بارش های حدی حوزه سیل برگردان غرب تهران. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، (۹۱۷)، ۲۳۴-۲۲۶.
- حبیب نژاد، رویا و شکوهی، علیرضا (۱۳۹۸). ارزیابی تغییرات شدت، مدت و دوره بازگشت بارش های کوتاه مدت با استفاده از مدل تغییر اقلیم منطقه ای (مطالعه موردی: تهران). تحقیقات منابع آب ایران، (۴) ۱۵، ۴۱۲-۴۲۴.
- حجازی زاده، زهرا؛ اکبری، مهری؛ ساسان پور، فرزانه؛ حسینی، علیرضا و محمدی، نیلوفر (۱۴۰۱). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش های سیل آسا در استان تهران. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، (۲) ۲، ۸۷-۱۰۵.
- حجازی زاده، زهرا؛ حلبیان، امیرحسین؛ کربلایی درئی، علیرضا و طولابی نژاد، میثم (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش در گستره ی ایران زمین. مخاطرات محیط طبیعی، (۲۳) ۹، ۱۵۰-۱۳۵.
- رزمخواه، هما؛ مسعودی، عبدالله؛ رستمی راوی، امین و فرارویی، علیرضا (۱۴۰۲). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای هواشناسی با استفاده از مدل LARS-WG. مطالعه موردی: ایستگاه آباده. مدیریت جامع حوزه های آبخیز، (۲) ۳، ۱۶-۲۹.
- صادقی، امین و دین پژوه، یعقوب (۱۳۹۹). تحلیل نوسانات بارش-رواناب حوضه مرزی ارس تحت شرایط تغییر اقلیم. حفاظت منابع آب و خاک، (۲) ۱۰، ۹۷-۸۳.
- خزائی، محمدرضا و کاظمی، رضا (۱۳۹۹). پیش یابی بارش های سیل آسا در شرایط تغییر اقلیم و تحلیل حساسیت نتایج به روش کاهش مقیاس. حفاظت منابع آب و خاک، (۱) ۱۰، ۳۰-۱۹.

- ۱۰) کریمی، ولی اله؛ کیا، عیسی و ملکی، محمدعلی (۱۴۰۱). تغییرات شدت بارش متأثر از تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک بابلسر. اطلاعات جغرافیایی، (۱۲۳) ۳۱، ۱۳۸-۱۲۷.
- ۱۱) محمدی، حسین؛ عزیزی، قاسم؛ خوش اخلاق، فرامرز و رنجبر، فیروز (۱۳۹۶). تحلیل روند شاخص های حدی بارش روزانه در ایران. پژوهش های جغرافیای طبیعی (پژوهش های جغرافیایی)، (۱) ۴۹، ۳۷-۲۱.
- 12) Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M., Adab, H. & malbisei, S. (2009). Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model. Geography and Development, 7(16), 135-152. <https://doi.org/10.22111/gdij.2009.1179>. [persian].
- 13) Bartholy, J., Pongrácz, R. & Kis, A. (2015). Projected changes of extreme precipitation using multi-model approach. QJ Hung. Meteorol. Serv, 119, 129-142.
- 14) Das, S., Kamruzzaman, M. & Islam, A. R. M. T. (2022). Assessment of characteristic changes of regional estimation of extreme rainfall under climate change: A case study in a tropical monsoon region with the climate projections from CMIP6 model. Journal of hydrology, 610, 128002. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128002>
- 15) Eslahi, M., Poursaghar, F. & Akbarzadeh, Y. (2021). Studying of Climate Extremes Events in East Azerbaijan Province for 2009-2018. Nivar, 45(114-115), 44-55. <https://doi.org/10.30467/nivar.2021.271314.1180>. [persian].
- 16) Han, J., Du, H., Wu, Z. & He, H. S. (2019). Changes in extreme precipitation over dry and wet regions of China during 1961-2014. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 124(11), 5847-5859. <https://doi.org/10.1029/2018JD029974>
- 17) Hedjazizadeh, Z., Halabian, A. H., Karbalaee, A. & Toulabi, M. (2020). Detection of extreme values variations of precipitation over Iran. Journal of Natural Environmental Hazards, 9(23), 135-150. <https://doi.org/10.22111/jneh.2019.29874.1519>. [persian].
- 18) Hejazizadeh, Z., Akbari, M., Sasanpour, F., Hosseini, A. & Mohammadi, N. (2022). Investigating the effects of climate change on torrential rains in Tehran province. Water and Soil Management and Modelling, 2(2), 87-105. <https://doi.org/10.22098/mmws.2022.9958.1075>. [persian].
- 19) Huo, R., Li, L., Chen, H., Xu, C. Y., Chen, J. & Guo, S. (2021). Extreme precipitation changes in Europe from the last millennium to the end of the twenty-first century. Journal of Climate, 34(2), 567-588. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0879.1>
- 20) Khazaei, Mohammad reza. & Kazemi, Reza. (2020). Projection of extreme precipitation in climate change condition and sensitivity analysis of results to downscaling method. journal of water and soil resources conservation, 10(1), 19-30. [persian].
- 21) Li, S., Chen, Y., Wei, W., Fang, G. & Duan, W. (2024). The increase in extreme precipitation and its proportion over global land. Journal of Hydrology, 628, 130456. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130456>.
- 22) Lu, W. & Qin, X. (2020). Integrated framework for assessing climate change impact on extreme rainfall and the urban drainage system. Hydrology Research, 51(1), 77-89. <https://doi.org/10.2166/nh.2019.233>
- 23) Mohammadi, H. , Azizi, G. , khoshahklagh, F. & Ranjbar, F. (2017). Analysis of Daily Precipitation Extreme Indices Trend in Iran. Physical Geography Research, 49(1), 21-37. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2017.61577>. [persian].
- 24) Shokoohi, A. and Habibnejad, R. (2019). Evaluating Intensity, Duration and Frequency of Short Duration Rainfalls Using a Regional Climate Change model (Case study: Tehran). Iran-Water Resources Research, 15(4), 412-424. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1398.15.4.28.1> [persian].
- 25) Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N. & Wallis, T. (2005). Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 110(D22) <https://doi.org/10.1029/2005JD006181>.