



## Spatial and Temporal Assessment of the Accuracy of Precipitation Estimates from the ERA5-Land Reanalysis Database in Isfahan Province over the Past Two Decades

Ali Shahi<sup>1</sup>, Bromand Salahi  

1. Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (Corresponding Author). E: [salahi@uma.ac.ir](mailto:salahi@uma.ac.ir)

2. Ph.D. Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E: [Ali.shahi@uma.ac.ir](mailto:Ali.shahi@uma.ac.ir)

### ARTICLE INFO ABSTRACT

**Keywords**  
ERA5-Land  
Precipitation  
Quantile Mapping  
Reanalysis data  
Isfahan Province

Data from six selected synoptic weather stations—Isfahan, Daran, Semirom, Nain, Khor, Biabanak, and Kashan—were employed as representative samples of the region. Ground station data were sourced from the Iranian Meteorological Organization, while ERA5-Land reanalysis data were accessed via the Copernicus portal. Precipitation accuracy was assessed by comparing monthly estimates from the reanalysis database against ground station data using the Taylor diagram alongside key statistical indicators including RMSE, NSE, Mean Error, Bias, and the Wilmott index. To enhance the reliability of the reanalysis database outputs, a quantile mapping bias correction technique was applied. Subsequently, to analyze discrepancies in average monthly precipitation over the 20-year timeframe, both datasets were mapped using Geographic Information System software to identify areas of overestimation and underestimation in precipitation as determined by location. Results revealed that the ERA5-Land reanalysis database generated highly accurate precipitation estimates for Isfahan province, with a maximum discrepancy of just 10 mm compared to ground station observations. Furthermore, findings demonstrated that the ERA5-Land database performed optimally during winter and autumn. The greatest differences in precipitation estimates between the two datasets were noted in the western and northern regions of the study area. However, no discernible spatial pattern emerged regarding overestimation or underestimation. Overall, this research concluded that the bias-corrected output of the ERA5-Land reanalysis database possesses high accuracy and is well-suited for precipitation estimation in Isfahan province.

#### Article History:

Received:

11 Au 2025

Received in revised form:

18 No 2025

Accepted:

23 No 2025

Available online:

22 No 2025

**Citation:** Shahi, A. & Salahi, B. (2025). Spatial and Temporal Assessment of the Accuracy of Precipitation Estimates from the ERA5-Land Reanalysis Database in Isfahan Province over the Past Two Decades. *Journal of Geography*, 23 (86), 43-69.

 <http://doi.org/10.22034/jiga.2025.2066496.1426>



© The Author (s).

Publisher: Iranian Geographical Association This is an open

access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## Extended Abstract

### Introduction

According to various studies, precipitation has high volatility and greater uncertainty in forecasting than other atmospheric variables, especially temperature. Considering the special importance of precipitation in the life of living organisms, accurate data without statistical gaps must be available to further understand it. Since there are numerous limitations in the construction and maintenance of fixed ground stations, the need for appropriate databases from robust sources is greatly felt. One of these sources is reanalysis data, which can be used in calculations if their performance accuracy is evaluated.

### Methodology

In the present study, after receiving the reanalysis data, due to its NC format, the precipitation data were converted to text format based on the coordinates of the research stations using R software. Due to the fact that the unit of measurement was meters for comparison under the same conditions, the precipitation data was converted to millimeters by multiplying the data by 1000. To evaluate the accuracy of the ERA5-Land reanalysis data, which have a much stronger horizontal resolution than the ERA5 type (horizontal resolution of approximately 31 km), the Taylor mathematical diagram was used. For this purpose, the reference for precipitation data was synoptic ground stations. Using the Taylor diagram, station precipitation data and reanalysis of all six stations were compared. The studies showed that the raw output of the reanalysis data does not have sufficient quality and accuracy in the study area due to its high bias. To reduce errors and optimize the data, bias correction was applied using the Quantile Mapping method. For each station, separated by monthly time scale, a Taylor diagram was drawn as the average precipitation over the 20-year study period. Then, for each month, separately for each station, the precipitation calculated by the two databases was compared using R software. The difference in average precipitation calculated by two ground stations and reanalysis was visually zoned with a geographic information system, and the amount of difference, overestimation, and underestimation of the ERA5-Land station was evaluated at each station.

### Results and Discussion

According to the comparison between the precipitation data of the two ground stations and the reanalysis, the evaluation results with the Taylor diagram indicated a high error in the precipitation estimation by ERA5-Land in Isfahan province, so that the correlation coefficient value was zero in all months. Based on the Quantile Mapping method, bias correction optimized the precipitation data with very good performance, and the correlation coefficient reached 0.97 in some months. According to the graph drawn in the R software environment, the performance of the reanalysis database compared to the ground station in different months based on 6 stations in Isfahan province was consistent and had a low error. Zoning the difference in the average precipitation estimated by the reanalysis database with the synoptic station in the geographic information system software environment showed that the difference in precipitation between the two databases was appropriate and acceptable.

### Conclusion

The results showed that the ERA5-Land precipitation data are not able to estimate the precipitation of the study area directly (raw), but after bias correction using the quantile mapping method, it made a very good estimate of the precipitation of Isfahan province with a maximum difference of 10 mm compared to the ground station data. The best performance of the ERA5-Land database is in the winter and autumn seasons. In terms of spatiality, the maximum and minimal differences of precipitation data between the two databases have been visible in the west and north of the study area, respectively. No specific spatial distribution was observed in terms of overestimation and underestimation.

### 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.

### References

- 1) Aghamiri, H. S. & Rahmani, B. (2019). The Impact of Rural Migration on Food Security with Emphasis on Water Resources Case study: villages of Khansar city of Isfahan province. *Geography*, 16(59), 56-76. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_246083.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_246083.html?lang=en)
- 2) Ahmadi, M. & Dadashi Rudbari, A. A. (2019). Monitoring Iran's monthly temperature trend based on the output of the European Medium Term Forecast Center. *Geography*, 17(60), 86-104. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_247710.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_247710.html?lang=en)
- 3) ahmadi, M., nosrati, K. & solki, H. (2013). Drought and its relationship with soil moisture. *Geography*, 11(38), 77-92. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_705203.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_705203.html?lang=en)
- 4) Azizimobaser, J., Rasoulzadeh, A., rahmati, A., shayeghi, A. & Bakhtar, A. (2021). Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study., Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(11), 2937-2951. [Persian] <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.302176.668600>
- 5) Bagheri, M., Mokhtari Hashi, H., Gandomkar, A. & khademolhoseiny, A. (2023). Identification and Ranking of the Factors Affecting the Water Crisis in Isfahan Province. *Geography*, 21(77), 13-29. [Persian] <https://dor.isc.ac/dor/http://dor.net/dor/%2020.1001.1.27833739.1402.21.77.2.5>
- 6) Bahrami, A. & Darand, M. (2025). Evaluation of spatio-temporal accuracy of precipitation estimation of ERA-5 database over Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 19(1), 27-46. [Persian] <https://doi.org/10.30499/ijg.2024.455625.1599>
- 7) Dinku, T. (2019). Challenges with availability and quality of climate data in Africa. *Extreme hydrology and climate variability*, 71-80. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00007-5>
- 8) Farokhnia, A., Anvari, S. & Najafi, M. S. (2024). Assessing the Accuracy of Satellite and Reanalysis Precipitation in Iran, Focusing on Datasets with High Spatial Resolution. *Iran-Water Resources Research*, 20(1), 68-89. [Persian] <https://doi.org/10.22034/iwrr.2024.442656.2741>
- 9) Gleixner, S., Demissie, T. & Diro, G. T. (2020). Did ERA5 Improve Temperature and Precipitation Reanalysis over East Africa? *Atmosphere*, 11(9), 996. <https://doi.org/10.3390/atmos11090996>
- 10) Hamidianpour, M. & Shoja, F. (2022). *Introduction to Methods and Techniques of Climate Modeling and Climate Change*. First Edition. Sistan and Baluchestan: Sistan and Baluchestan University Press. [Persian]
- 11) Hejazizadeh, Z. & Pagooh, F. (2022). Analyzing the relationship between synoptic patterns and the amount of pervasive pollutant suspended particles in Tehran province. *Geography*, 15(53), 21-36. [Persian], [https://mag.iga.ir/article\\_254292.html](https://mag.iga.ir/article_254292.html)
- 12) Heidari, S., Karimi, M. & Beyranvand, A. (2024). Evaluation the performance of ERA5 reanalysis data in Iran's rainfall estimation and spatial analysis of the country's precipitation regime. *Researches in Earth Sciences*, 15(2), 1-24. [Persian] <https://doi.org/10.48308/esrj.2024.104225>
- 13) Jiao, D., Xu, N., Yang, F. & Xu, K. (2021). Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China. *Scientific Reports*, 11(1), 17956. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97432-y>

- 14) kazemiazar, F., Rezaie, H. & Mirabbasi, R. (2025). Performance evaluation of monthly ERA5 and ERA5-Land Reanalysis precipitation data in the upstream of the Zayandehroud reservoir basin. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 19(1), 75-87. [Persian] [https://idj.iaid.ir/article\\_213824.html?lang=en](https://idj.iaid.ir/article_213824.html?lang=en)
- 15) Lanzante, J. R., Adams- Smith, D., Dixon, K. W., Nath, M. & Whitlock, C. E. (2020). Evaluation of some distributional downscaling methods as applied to daily maximum temperature with emphasis on extremes. *International Journal of Climatology*, 40(3), 1571-1585. <https://doi.org/10.1002/joc.6288>
- 16) Li, Q., Jiang, Y., Wei, L. & Zhu, J. (2025). Comparison of ERA5-Land and CMPAS reanalysis data for the regional assessment of precipitation in Chongqing, China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 137(16), Article 16. <https://doi.org/10.1007/s00703-025-01062-2>
- 17) Majidi Karhroudi, F. S., Gharaylou, M. & Sabetghadam, S. S. (2024). Evaluation of the performance of the ERA5 and MERRA2 reanalysis datasets in estimating snow depth over Northwestern Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(1), 251-263. [Persian] <https://doi.org/10.22059/jesphys.2023.358474.1007521>
- 18) Malekzadeh, A., Ramesht, M. H. & Shahzidi, S. S. (2021). Normative analysis of precipitation characteristics and water resources of Iran in the texts of Iranian geographers (research article). *Geography*, 19(68), 38-50. [Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.27172996.1400.19.1.3.5>
- 19) Masoudian, S. A. (2012). *The Climate of Iran*, First Edition, Mashhad: Sharia Toos Publications. [Persian]
- 20) Mohammadi, M. & Forozanfar, M. (2024). Evaluating ERA5 Reanalysis for Climate Trend Analysis in Sistan and Baluchestan, Iran. *Climate Change Research*, 5(19), 37-54. [Persian] <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.458748.1218>
- 21) Morales-Velázquez, M. I., Herrera, G. D. S., Aparicio, J., Rafieeiniasab, A. & Lobato-Sánchez, R. (2021). Evaluating reanalysis and satellite-based precipitation at regional scale: A case study in southern Mexico. *Atmósfera*, 34(2), 189-206. <https://doi.org/10.20937/ATM.52780>
- 22) Muñoz- Sabater, J., Dutra, E., Agustí- Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez- Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C. & Thépaut, J. - N. (2021). ERA5- Land: A state- of- the- art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349-4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- 23) Nasr Isfahani, M. & Ghasemi, A. R. (2023). The Investigation of the Performance of Reanalyzed Global Forecast System (GFS (Data for Identifying evening thunderstorms in Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(37), 39-56. [Persian] <https://doi.org/10.22111/jneh.2023.42534.1906>
- 24) Nikandish, N. (2025). Analysis of spatial and temporal changes of extreme precipitation in Isfahan province. *Geography and Development*, [Persian] <https://doi.org/10.22111/gdij.2025.49837.3679>
- 25) Nuñez-Ibarra, D. A., Zambrano-Bigiarini, M. & Galleguillos, M. (2025). From grid to ground: How well do gridded products represent soil moisture dynamics in natural ecosystems during precipitation events? *EGUsphere*. Advance online preprint. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-2606>
- 26) Panofsky, H. A. & Brier, G. W. (1968). *Some applications of statistics to meteorology*, Pennsylvania State University.
- Salahi, B. & Shahi, A. (2025). Assessment of Uncertainty of Reanalyzed Snow Depth in Northwestern Iran Using Era5-Land and Merra-2. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, [Persian], <https://doi.org/10.22067/geoh.2025.95012.1604>
- 28) Seif, A. & Beranvand, H. (2024). ELA Reconstruction of late Quaternary in the Green Mountain in Zagros, Iran. *Geography*, 22(80), 151-171. [Persian] <https://doi.org/10.22034/jga.2024.712873>

- 29) Tarek, M., Brissette, F. P. & Arsenault, R. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2527-2544.  
<https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020>
- 30) Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 106(D7), 7183-7192.  
<https://doi.org/10.1029/2000JD900719>
- 31) Varlas, G., Stefanidis, K., Papaioannou, G., Panagopoulos, Y., Pytharoulis, I., Katsafados, P., Papadopoulos, A. & Dimitriou, E. (2022). Unravelling Precipitation Trends in Greece since 1950s Using ERA5 Climate Reanalysis Data. *Climate*, 10(2), 12.  
<https://doi.org/10.3390/cli10020012>
- 32) Yilmaz, M. (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of the Total Environment*, 856, 159182.



## در استان اصفهان طی دو ERA5-Land ارزیابی مکانی و زمانی دقت برآورد بارش پایگاه بازکاوی دهه اخیر

علی شاهی<sup>۱</sup>، برومند صلاحی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲. استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (نویسنده مسئول) E:salahi@uma.ac.ir

### اطلاعات مقاله چکیده

#### واژگان کلیدی:

بارش  
داده‌های بازکاوی،  
نگاشت چارکی  
ERA5-Land،  
استان اصفهان

این مطالعه با هدف ارزیابی مکانی و زمانی دقت تخمین بارش پایگاه بازکاوی ERA5-Land استان اصفهان (ایران) در دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ انجام شده است. برای این منظور، از ۶ ایستگاه همدیدی منتخب (اصفهان، داران، سمیروم، ناین، خور و بیابانک و کاشان) به عنوان نماینده منطقه مورد مطالعه استفاده شد. داده‌های ایستگاه زمینی از سازمان هواشناسی ایران و داده‌های مربوط به بازکاوی ERA5-Land از درگاه اینترنتی کوپرنیکس دریافت شد. دقت برآورد بارشی پایگاه مذکور، به صورت مقایسه بارش‌های برآورد شده بازکاوی با ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی زمینی در مقیاس زمانی ماهانه با استفاده از نمودار تیلور و شاخص‌های آماری کلیدی نظیر RMSE، NSE، میانگین خطا، BIAS و شاخص ویلموت انجام گرفت. برای افزایش دقت برآورد پایگاه بازکاوی از روش تصحیح اریبی نگاشت چارک (Quantile Mapping) استفاده گردید. در گام بعد، برای ارزیابی اختلاف میانگین بارش ماهانه در دوره ۲۰ ساله دو پایگاه داده در نرم‌افزار GIS پهنه‌بندی صورت گرفت تا از لحاظ مکانی مناطق دارای بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی بارش توسط ERA5-Land تعیین گردد. محاسبات نشان داد که داده‌های بارش پایگاه بازکاوی در این تحقیق تخمین بسیار مناسبی از بارش استان اصفهان را با حداکثر اختلاف ۱۰ میلی‌متر در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی انجام داده‌اند. یافته‌ها همچنین حاکی از آن است که بهترین عملکرد پایگاه ERA5-Land در فصول زمستان و پاییز است و همچنین بیشینه و کمینه اختلاف داده‌های بارش بین دو پایگاه داده، به ترتیب در غرب و شمال منطقه مورد مطالعه رویت شده است. از لحاظ بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی توزیع مکانی خاصی مشاهده نشد. نتایج نشان داد که برآورد ریزگردانی شده پایگاه بازکاوی ERA5-Land از دقت بالا و مناسب جهت تخمین بارش منطقه مورد مطالعه برخوردار است.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۵/۲۰

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۴/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۸/۲۵

تاریخ چاپ:

۱۴۰۴/۰۹/۰۱

**استناد:** شاهی، علی و صلاحی، برومند. (۱۴۰۴). ارزیابی مکانی و زمانی دقت برآورد بارش پایگاه بازکاوی ERA5-Land در استان اصفهان طی دو دهه اخیر، نشریه جغرافیا، (۸۵)، ۲۳-۶۹.

<http://doi.org/10.22034/jiga.2025.2066496.1426>

صاحب امتیاز: انجمن جغرافیایی ایران

© نویسندگان



## مقدمه و پیشینه

بارش نتیجه‌ای است از فرآیندهای پیچیده‌ای که در جو زمین رخ می‌دهد. این پدیده به دلیل نقش حیاتی‌اش در چرخه اقلیمی، اهمیت ویژه‌ای دارد و نسبت به دیگر متغیرهای اقلیمی، رفتار پیچیده‌تری از خود نشان می‌دهد. در ایران، بارش دارای نوسانات مکانی قابل توجهی است که بخشی از آن ناشی از ماهیت نامنظم این پدیده است و بخش دیگر به علت منابع متفاوت بارش در نقاط مختلف کشور، باعث می‌شود مقدار و زمان بارندگی در هر منطقه متغیر باشد (مسعودیان، ۱۳۹۱: ۱۱۳). استان اصفهان به‌عنوان یکی از مناطق نیمه‌خشک ایران، طی دهه‌های اخیر با کاهش بارش و افزایش فراوانی خشکسالی مواجه بوده است. مطالعات نشان می‌دهد بارش سالانه استان روندی کاهشی دارد، به‌ویژه در شرق و مرکز استان (نیک‌اندیش، ۱۴۰۴: ۱۹۱). مشاهدات ایستگاه‌های زمینی ثابت هواشناسی به‌طور کلی قابل اطمینان‌ترین و دقیق‌ترین مجموعه داده‌ها برای مطالعه هر متغیر آب و هوایی هستند (Dinku, 2019: 71) با این حال این ایستگاه‌ها دارای محدودیت‌هایی در زمینه پوشش‌های زمانی و مکانی، نصب و نگهداری، هستند، به‌ویژه در مناطق کوهستانی و مناطق خشک و نیمه‌خشک این محدودیت‌ها بیشتر است بنابراین استفاده از این داده‌ها برای مطالعاتی که به مجموعه داده‌های با وضوح بالا نیاز دارند، کافی نیستند (محمدی و فروزان فرد، ۱۴۰۳: ۲۵۲).

پایگاه داده‌ی بازکاوی ERA-5 نسل پنجم محصولات مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) است ERA5 نسبت به مشابه قدیمی‌تر خود (ERA-Interim) از سامانه داده چهاربعدی پیشرفته‌تر و منابع داده بیشتری بهره گرفته است، علاوه بر این محصولات بازکاوی ERA5 تفکیک مکانی حدود ۳۰ کیلومتر و تفکیک زمانی یک‌ساعته دارند و متغیرهای جوی را در ۱۳۷ تراز فشاری مختلف فراهم می‌کنند (Tarek et al, 2020: 2529). در سال ۲۰۱۹ ERA5-Land که محصولات مقیاس گاهی شده ERA5، است تفکیک مکانی مؤلفه زمینی بازکاوی‌های ERA5 را از ۰/۲۵ درجه به ۰/۱ درجه ارتقا داد تا دقت محاسبات را برای کاربری‌های زمینی افزایش دهد (Muñoz-Sabater et al, 2021: 4352). مطالعات متعددی در جهان و ایران به ارزیابی و اعتبارسنجی داده‌های بازکاوی در مقایسه با مشاهدات زمینی برای متغیرهای اقلیمی مختلف پرداخته‌اند.

گلیکسنر<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای عملکرد داده‌های بازکاوی ERA-5 را در مقایسه با ERA-interim برای دما و بارش سطح زمین در آفریقا ارزیابی کردند. نتایج نشان می‌دهد که در ERA-5 ارزیابی‌های اقلیمی دما و بارش در بیشتر مناطق آفریقا به‌وضوح کاهش می‌یابد و داده‌های مشاهداتی با داده‌های پایگاه ERA-5 همبستگی بیشتری دارند. مورالیس-ویلازکیوز<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۱) مقادیر بارش برآورد شده توسط پایگاه‌های داده‌ی ERA5، GLDAS، TRMM 3B42، و CHIRPS را بر روی حوضه‌های رودخانه‌ی لاسیرا در جنوب مکزیک ارزیابی و مقایسه کردند. نتایج نشان داد که CHIRPS و ERA5 بالاترین دقت محصولات بارش را در منطقه‌ی مورد مطالعه دارند. جیائو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱) عملکرد داده‌های بارش پایگاه داده ERA-5 را در کشور چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که داده‌های ERA-5 می‌تواند الگوهای سالانه و فصلی بارش مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه را با دقت بالا و با ضریب همبستگی بین ۰/۸ تا ۰/۹۵ نشان دهد، اما بارش را در فصل تابستان کمی بیش از میزان واقعی برآورد می‌کند. وارلاس<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۲) ویژگی‌های اقلیمی و روند سالانه‌ی بارش را در کشور یونان با استفاده از داده‌های ERA 5 به عنوان پایگاه داده مورد اعتماد واکاوی کردند. یافته‌ها گویای روند کاهشی معنادار بارش سالانه

۱. European Center for Medium-Range Weather Forecasting

2Gleixner

3Morales-Velázquez

4Jiao

5Varlas

منطقه مورد مطالعه بوده است. روند کاهشی در فصل زمستان در غرب و شرق یونان مشهودتر ارزیابی شده بود درحالی که در فصول بهار، تابستان و پاییز عمدتاً معنی‌دار نبوده است. یلماز (۲۰۲۳) روند تغییرات فصلی و مکانی زمانی روند دمایی و دقت مجموعه داده‌های ERA5 و ERA5 Land را با مشاهدات زمینی در ترکیه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ مقایسه نمودند. یافته‌ها نشان داد که مجموعه داده‌های ERA5 و ERA5-Land به‌جز برخی تفاوت‌ها به دلیل داده‌های از دست رفته و بهبود مدل دارای روندهای سازگار و قابل اعتماد هستند. این پژوهش نشان داد که مجموعه داده‌های ERA5 و ERA5-Land می‌توانند به عنوان جایگزین مشاهدات برای مطالعه تغییرات آب و هوا در ترکیه استفاده شوند.

لی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۵) مقایسه داده‌های بازکاوی ERA5-Land و CMPAS برای ارزیابی منطقه‌ای بارش در چونگ‌چینگ، چین را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که از نظر دقت در سطوح مختلف بارش، CMPAS عملکرد بهتری نشان می‌دهد، در حالی که ERA5-Land تمایل به بیش‌برآورد دارد. در انواع مختلف توپوگرافی، کیفیت CMPAS به‌طور کلی بهتر از ERA5-Land است، به‌ویژه در مناطق مرتفع شمال شرقی و جنوب شرقی چونگ‌چینگ که ERA5-Land بیشترین انحراف بارش و خطای بالاتر را در مناطق کوهستانی نسبت به تپه‌ها و دشت‌ها نشان می‌دهد. نونز-ایرا<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای به بررسی توانایی محصولات شبکه‌ای در بازنمایی پویایی رطوبت خاک در اکوسیستم‌های طبیعی طی رویدادهای بارشی پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که ERA5 و ERA5-Land به‌طور مستمر در بیشتر شاخص‌ها و در اغلب مناطق عملکرد بهتری نسبت به SPL4SMAU و GLDAS-Noah دارند، به‌ویژه اینکه ERA5-Land در مناطق مرطوب بسیار قوی‌تر عمل می‌کند.

احمدی و همکاران (۱۳۹۲) خشکسالی و ارتباط آن با رطوبت خاک را در ایستگاه کبوترآباد اصفهان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد شدیدترین خشکسالی‌ها در این ایستگاه در سال ۲۰۰۰ بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ روی داده است. بیشترین فراوانی آن مربوط به مقیاس ۳ و ۶ ماهه است که نشان دهنده خشکسالی هواشناسی بیشتر در این منطقه بوده است. با افزایش مقیاس زمانی، خشکسالی هم تداوم بیشتری داشته است. همچنین نتایج نشان داد شاخص بارش استاندارد شده و شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده دارای همبستگی معنی‌دار بوده اما شاخص بارش تبخیر و تعرق استاندارد شده پاسخ سریع‌تری نسبت به خشکسالی داشته است.

آقامیری و رحمانی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر مهاجرت روستایی بر امنیت غذایی با تأکید بر منابع آب، ۵ روستا از سه دهستان بخش مرکزی شهرستان خوانسار به‌صورت تصادفی سیستماتیک انتخاب شد. نتایج نشان داد بیش از ۱۵٪ مهاجرت‌ها، روستا-شهری و عمدتاً توسط جوانان انجام می‌شود. کاهش منابع آب کشاورزی عامل آغاز تفکر مهاجرت بوده و به کاهش نیروی کار، به‌ویژه مردان، منجر شده است. با توجه به پیوند مستقیم کشاورزی و امنیت غذایی، تداوم این روند تهدیدی جدی برای امنیت غذایی آینده محسوب می‌شود. احمدی و داداشی رودباری (۱۳۹۸) پایش روند دمای ماهانه ایران با داده‌های ERA-Interim مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواشناسی اروپا (ECMWF) در بازه ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۵ و تفکیک مکانی  $0.125 \times 0.125$  درجه انجام دادند. برای تحلیل روند از آزمون ناپارامتریک Mann-Kendall و شیب سن استفاده گردید. نتایج نشان داد دما در ماه‌های فوریه، مارس، مه و اکتبر روند افزایشی معنادار داشته و بیشترین نرخ افزایش در زمستان و کمترین در پاییز ثبت شده است. بیشینه روند افزایشی معنادار در نواحی بین عرض‌های ۳۰ تا ۳۵ درجه شمالی مشاهده شد. عزیزی مبصر و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی عملکرد داده‌های بازکاوی شده Era-5 در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل پرداختند. نتایج نشان

1 Yilmaz

2 Li

3. Nuñez-Ibarra

داد که محصول بارشی Era5 در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه می‌تواند بعد از اعمال تصحیحات اریبی به عنوان جایگزین مناسبی برای نقاط فاقد ایستگاه اندازه‌گیری بارش در سطح منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد.

ملک‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) به تحلیل هنجاری ویژگی‌های بارشی و منابع آبی ایران در متون جغرافیدانان ایران پرداختند. نتایج حاصل از این طرح نشان می‌دهد که: در شناخت ویژگی‌های بارشی و منابع آبی ایران، مجاز به بارگذاری هنجاری در حوزه علم نیستیم. ویژگی‌های اقلیمی یک منطقه هویت سرزمینی آن را شکل می‌دهد و سیاست‌های راهبردی آمایشی باید تابعی از آن باشد. تحلیل هنجاری از ویژگی‌های اقلیمی بیشتر زاینده حاکمیت تفکر اثبات‌گرایی جغرافیدانان ایران است. حجازی‌زاده و پژوه (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای رابطه الگوهای همدیدی با میزان ذرات معلق در تهران را بررسی کردند. داده‌های غلظت آلاینده‌ها از شرکت کنترل کیفیت هوا و داده‌های جو بالا از ایستگاه مهرآباد با نرم‌افزار RAOB تحلیل شد. نقشه‌های گردش جوی نیز با داده‌های ECMWF و نرم‌افزار Grads ترسیم گردید. نتایج نشان داد در زمستان و بهار، پرفشار سرد مهاجر و پشته میانی وردسپهر و در تابستان و پاییز، پرفشار خزر و کم‌فشار پاکستان همراه ناهه شمال روسیه، با ایجاد باد آرام و کاهش لایه مرزی، مهم‌ترین عوامل تشدید آلودگی هوای تهران هستند.

باقری و همکاران (۱۴۰۲) شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بحران آب در استان اصفهان را مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای، زمینه‌های بروز بحران آب استخراج شد. سپس با مصاحبه با کارشناسان و مدیران حوزه آب استان اصفهان، ۷ عامل اصلی و ۲۷ عامل فرعی شناسایی گردید. برای پالایش و رتبه‌بندی عوامل، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نظر ۱۵ خبره استفاده شد که در نهایت ۵ عامل اصلی و ۱۶ عامل فرعی باقی ماند. نتایج نشان داد مهم‌ترین عوامل بحران آب استان به ترتیب سیاسی، انسانی، کشاورزی، صنعتی-خدماتی و اقلیمی هستند.

مجیدی کهرودی و همکاران (۱۴۰۳) به ارزیابی عملکرد بانک داده‌های بازکاوی ERA5 و MERRA2 در تخمین میزان عمق برف در شمال غرب ایران پرداختند. این مقایسه برای دوره ۴۰ ساله در بازه زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ انجام گرفت. نتایج بررسی توزیع مکانی و زمانی در سراسر محدوده مورد مطالعه نشان داد که داده‌های ERA5 در تخمین میزان عمق برف نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای فروتخمین هستند؛ درحالی‌که داده‌های MERRA2 در بیشتر ایستگاه‌ها در تخمین میزان عمق برف میانگین با فراتخمین همراه هستند. حیدری و همکاران (۱۴۰۳) عملکرد داده‌های بازکاوی ERA5 را در تخمین بارش ایران و تحلیل فضایی رژیم بارشی طی دوره ۱۹۷۹-۲۰۲۱ بررسی کردند. برای ارزیابی دقت داده‌های ماهانه ERA5 نسبت به مشاهدات ایستگاهی، از شاخص‌های ضریب همبستگی، NRMSE، شاخص توافق ویلموت و Standard BIAS استفاده شد. نتایج نشان داد که سری زمانی بارش ماهانه ERA5 الگوی مشابهی با داده‌های ایستگاهی در بلندمدت دارد. سیف و بیرانوند (۱۴۰۳) به بازسازی برف‌مزرهای دائمی کواترنر پایانی در ارتفاعات گرین در زاگرس ایران پرداختند. برای بازسازی ELA، از پایگاه رقومی داده‌ها، تکنیک‌های ژئوماتیک، بازدیدهای مکرر میدانی و شواهد ژئومورفیک یخچالی از جمله، مورن‌های پایانی استفاده شده است. برای تعیین ارتفاع مورن‌ها و تعیین موقعیت آن‌ها از دستگاه GPS استفاده گردید و با استفاده از روش‌های هوفر، لویس و کف سیرک پورتر محاسبات بازسازی انجام شده است. نتایج نشان داد که بر اساس آمار اقلیمی میزان ELA زمان حال حاضر در ارتفاع ۴۵۷۷ متری بازسازی شده است. فرخ‌نیا و همکاران (۱۴۰۳) ارزیابی دقت پایگاه‌های اطلاعات ماهواره‌ای و بازکاوی بارش در ایران با تمرکز بر پایگاه‌های با تفکیک مکانی بالا را مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور از پایگاه‌های داده بارش جهانی حاصل از بازکاوی و اطلاعات ماهواره‌ای نظیر ERA5-Land، GSMaP، JMERG، MSWEP و CHIRPS استفاده شد. نتایج نشان داد تخمین بارش در این پایگاه‌ها برای مناطق پربارش‌تر کشور دقت بالاتری نسبت به مناطق خشک دارد و عموماً دقت

تخمین بارش در ماه‌های پربارش سال بیشتر از دوره خشک سال است؛ دقت هر پایگاه اطلاعاتی به مقیاس زمانی اطلاعات و منطقه اقلیمی مورد بررسی نیز وابستگی دارد که ضروری است در بهره‌برداری از این پایگاه‌ها مد نظر قرار داشته باشد.

محمدی و فروزان فرد (۱۴۰۳) در پژوهشی روند دما و رطوبت نسبی سیستان و بلوچستان طی دوره ۱۹۸۰-۲۰۲۰ با داده‌های ERA5 و ایستگاه‌های سینوپتیک را مورد ارزیابی قرار دادند. داده‌های ERA5 با تفکیک ۲۵ / درجه و معیارهای  $R^2$ ، RMSE و MAE با داده‌های مشاهداتی مقایسه گردید. آزمون من-کندال برای تحلیل روند به کار رفت. نتایج نشان داد بین داده‌های ERA5 و مشاهدات ایستگاهی همبستگی مثبت وجود دارد. بهرامی و دارند (۱۴۰۴) دقت زمانی-مکانی برآورد بارش پایگاه داده ERA-5 در ایران طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۹ را بررسی کردند. برای ارزیابی، شاخص‌هایی مانند R، POD، RMSE، PBias، FAR و CSI به کار رفت. نتایج نشان داد ERA-5 الگوی مکانی بارش را در بیشتر نقاط کشور به خوبی نمایش می‌دهد و میانگین پهنه‌ای ضریب همبستگی با داده‌های ایستگاهی در همه ماه‌ها بالاتر از ۰/۹ است. کاظمی آذر و همکاران (۱۴۰۴) عملکرد داده‌های بازکاوی ERA5 و ERA5-Land را در تخمین بارش ماهانه حوضه بالادست سد زاینده‌رود طی دوره ۱۹۸۸-۲۰۲۲ بررسی کردند. داده‌های بازکاوی با مشاهدات پنج ایستگاه مقایسه شد و از شاخص‌های ضریب تعیین، ضریب کارایی نش-ساتکلیف و RMSE استفاده گردید. نتایج نشان داد داده‌های بازکاوی به‌طور کلی الگوهای ماهانه بارش را به خوبی توصیف می‌کند و دقت ERA5-Land در بیشتر ایستگاه‌ها بالاتر از ERA5 است. صلاحی و شاهی (۱۴۰۴) ارزیابی عدم قطعیت عمق برف بازکاوی شده در شمال غرب ایران با استفاده از ERA5-Land و MERRA-2 را انجام دادند. محاسبات نشان داد که روش تصحیح اریبی نگاشت چارکی (QM) برای متغیر برف قابل اطمینان است. پایگاه بازکاوی ERA5 Land توانایی تشخیص عمق برف در شمال غرب ایران را در فصل زمستان دارد و در مقایسه با داده‌های پایگاه بازکاوی ۲ MERRA دقت بالاتری دارد.

بررسی‌های جهانی و منطقه‌ای نشان می‌دهد که داده‌های بازکاوی به‌ویژه ERA5 و ERA5-Land جایگاه ویژه‌ای در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی پیدا کرده‌اند. به عنوان نمونه، گلیکسندر و همکاران (۲۰۲۰) با مقایسه ERA5 و ERA-Interim در آفریقا نشان دادند که ERA5 توانسته است خطاها و اریبی‌های اقلیمی را در مقیاس قاره‌ای کاهش دهد. این یافته اهمیت گذار به ERA5 را در مناطق خشک و نیمه‌خشک برجسته می‌سازد. در همین راستا، مورالیس-ویلازکیوز و همکاران (۲۰۲۱) با مقایسه پایگاه‌های متنوع بارش (ERA5، GLDAS، TRMM و CHIRPS) در مکزیک، تأکید کردند که ERA5 در کنار CHIRPS بالاترین کارایی را در بازنمایی بارش‌های منطقه‌ای دارد.

مطالعات مشابه در آسیا نیز به همین نتایج رسیده‌اند. جیائو و همکاران (۲۰۲۱) در چین عملکرد ERA5 را برای بارش بررسی کرده و نشان دادند که اگرچه ERA5 قادر به بازنمایی الگوهای فصلی و سالانه بارش با دقت بالا است، اما در تابستان اندکی بیش برآورد دارد. همچنین، وارلاس و همکاران (۲۰۲۲) در یونان با استفاده از ERA5 به روندهای کاهش بارش سالانه پی بردند و اهمیت این داده‌ها را برای تحلیل تغییرات اقلیمی در حوضه مدیترانه برجسته ساختند.

در مقیاس منطقه‌ای نزدیک‌تر به ایران، یلماز (۲۰۲۳) دقت ERA5 و ERA5-Land را در ترکیه طی ۷۰ سال مقایسه کرده و نشان داد این داده‌ها می‌توانند به‌عنوان جایگزین مشاهدات زمینی در مطالعات تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گیرند. این نتیجه مستقیماً با هدف پژوهش حاضر مرتبط است؛ چرا که انتخاب ERA5-Land در استان اصفهان می‌تواند مشابه همین قابلیت‌ها را در محیط خشک ایران آشکار سازد.

در ایران نیز مطالعات متعددی به بررسی این پایگاه پرداخته‌اند. برای مثال، حیدری و همکاران (۱۴۰۳) با ارزیابی بارش ایران نشان دادند که ERA5 الگوی مشابهی با داده‌های ایستگاهی دارد، هرچند وجود اریبی در مقادیر برآوردی اجتناب‌ناپذیر است.

همچنین کاظمی آذر و همکاران (۱۴۰۴) نشان دادند که ERA5-Land نسبت به ERA5 دقت بیشتری در حوضه زاینده‌رود داشته است. این یافته اهمیت انتخاب ERA5-Land را برای مناطق خشک مرکزی ایران تأیید می‌کند. از سوی دیگر، مطالعاتی مانند مجیدی کهرودی و همکاران (۱۴۰۳) و بهرامی و دارند (۱۴۰۴) نیز عملکرد ERA5 را در برف و بارش کشور بررسی کرده و بر نقاط قوت و ضعف آن تأکید داشته‌اند. این پژوهش‌ها اگرچه ارزشمند هستند، اما یا در مقیاس کشوری و حوضه‌ای انجام شده‌اند یا بر متغیرهای دیگر مانند برف تمرکز داشته‌اند. در نتیجه، خلأ پژوهشی در بررسی دقیق و موضعی بارش در سطح استانی (با تمرکز بر چند ایستگاه مشخص و طی بازه زمانی طولانی) همچنان باقی مانده است. بنابراین، مرور پیشینه نشان می‌دهد که اگرچه مطالعات گسترده‌ای درباره داده‌های ERA5 و ERA5-Land در مقیاس‌های قاره‌ای، منطقه‌ای و ملی انجام شده است، اما تحلیل مکانی-زمانی جزئی در مقیاس استانی با استفاده از روش‌های تصحیح اریبی مانند QM و ابزارهای بصری همچون نمودار تیلور، هنوز کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این همان نقطه‌ای است که پژوهش حاضر در پی پر کردن آن است.

با توجه به کمبود و نارسایی‌های داده‌های ایستگاهی، استفاده از داده‌های بازکاوی برای پایش اقلیم در ایران اهمیت ویژه‌ای دارد. در این میان، استان اصفهان به دلیل تنوع اقلیمی (بیابانی، نیمه‌خشک و کوهستانی)، توپوگرافی پیچیده، نقش حیاتی در کشاورزی و منابع آب کشور و پراکنش نامتوازن بارش، نمونه‌ای شاخص برای آزمون دقت داده‌های بازکاوی محسوب می‌شود. از سوی دیگر، درحالی‌که اغلب پژوهش‌ها در ایران بر روی ERA5 متمرکز بوده‌اند، مطالعه حاضر با تأکید بر ERA5-Land به عنوان نسل پیشرفته‌تر این داده‌ها صورت گرفته است. ERA5-Land با تفکیک مکانی بالاتر (۹ کیلومتر در مقابل ۳۱ کیلومتر در ERA5) و استفاده از مدل‌های سطح زمین، توانایی بیشتری در بازنمایی الگوهای بارش در مناطق ناهموار و اقلیم‌های متنوع مانند اصفهان دارد. این موضوع توسط مطالعات منطقه‌ای (نظیر یلماز، ۲۰۲۳ در ترکیه و کاظمی آذر، ۱۴۰۴ در زاینده‌رود) نیز تأیید شده است. بنابراین، انتخاب استان اصفهان و تمرکز بر ERA5-Land نه تنها پاسخ به یک خلأ پژوهشی است، بلکه می‌تواند مبنای معتبری برای بهبود ارزیابی منابع آب و اقلیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران فراهم کند.

نوآوری اصلی این پژوهش در چند محور قابل بیان است: نخست، ارزیابی هم‌زمان دقت مکانی و زمانی داده‌های ERA5-Land در سطح شش ایستگاه منتخب استان اصفهان طی بازه‌ای بلندمدت (۲۰۰۴-۲۰۲۳) که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته است. دوم، تمرکز ویژه بر داده‌های ERA5-Land با قدرت تفکیک بالای ۹×۹ کیلومتر که نسبت به نسخه استاندارد ERA5 قابلیت بیشتری برای مطالعات اقلیم‌شناسی محلی دارد، درحالی‌که ارزیابی‌های استانی آن تاکنون محدود بوده است. سوم، استفاده ترکیبی از نمودار تیلور و روش تصحیح بایاس نگاشت چارکی (QM) که چارچوبی آماری و تحلیلی دقیق برای ارزیابی و بایاس‌زدایی هم‌زمان فراهم می‌سازد. مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان نشان داده‌اند که روش QM نسبت به سایر روش‌های مقیاس‌کاهی در برآورد متغیر بارش برتری قابل توجهی دارد و دقت ارزیابی را به‌طور محسوسی افزایش می‌دهد. و در نهایت، تأکید بر کاربردپذیری نتایج در مدیریت منابع آب، پایش اقلیم و هشدارهای هواشناسی در مناطق نیمه‌خشک و کوهستانی مشابه استان اصفهان.

## روش تحقیق

در این پژوهش از ۲ پایگاه داده استفاده شد، داده‌های بارش ماهانه ۶ ایستگاه سینوپتیک منتخب واقع در استان اصفهان در دوره ۲۰۲۳-۲۰۰۴ از سازمان هواشناسی ایران اخذ گردید و داده‌های بارش ماهانه بازکاوی نوع ERA5-Land مربوط به ۶ ایستگاه منتخب در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق از پایگاه اینترنتی کوپرنیکس<sup>۱</sup> که وابسته به ECMWF است دریافت شد که به مشخصات آن در جدول (۱) اشاره شده است. مرکز پیش‌بینی میان‌مدت جوی اروپایی (ECMWF) از مهم‌ترین مراکز بین‌المللی بازکاوی داده‌های هواشناسی است که نسخه‌های متفاوتی از پایگاه داده‌های هواشناسی را تولید کرده است. داده‌های بازکاوی در کنار مشاهدات زمینی و حتی به عنوان جایگزین مشاهدات زمینی در مناطق فاقد ایستگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (عزیزی مبصر و همکاران، ۱۳۹۹: ۲۹۴۱).

جدول ۱. مشخصات داده‌های ERA5-Land برای بارش

ویژگی	مشخصات
نام پایگاه داده	ERA5-Land
ارائه دهنده	مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت هواشناسی اروپا (ECMWF) از طریق Copernicus CDS
متغیر	بارش تجمعی سطح زمین (Total precipitation)
واحد	متر (m)
قدرت تفکیک مکانی	۰/۱ درجه (تقریباً ۹ کیلومتر)
قدرت تفکیک زمانی	ساعتی (در این مطالعه به مقیاس ماهانه تجمیع شده است)
قالب داده‌ها	NETCDF (با قابلیت تبدیل به فرمت‌های متنی مانند CSV)
سطح پوشش	جهانی (در این مطالعه محدود به مختصات استان اصفهان، ایران)
روش جمع‌آوری	بازکاوی ترکیبی از مشاهدات ایستگاهی، داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های عددی
منبع: سرویس تغییر اقلیم کوپرنیکس (Copernicus C3S) - مرکز پیش‌بینی‌های میان‌مدت اروپا (ECMWF)، داده‌های ERA5-Land.	

در مطالعه حاضر بعد از دریافت داده‌های بازکاوی، به دلیل داشتن فرمت NC با استفاده از نرم‌افزار R داده‌های بارش بر اساس مختصات ایستگاه‌های تحقیق به فرم متنی تبدیل شدند. با توجه به داشتن واحد متر برای مقایسه در شرایط یکسان با ضرب کردن داده‌ها در عدد ۱۰۰۰، داده‌های بارش به میلی‌متر تغییر واحد دادند. پیش از تغییر واحد، داده‌های بازکاوی تحت فرآیند کنترل کیفیت قرار گرفتند؛ داده‌های غیرواقعی یا ناهنجار شناسایی و مدیریت شدند تا اطمینان حاصل شود مجموعه داده‌های نهایی برای تحلیل و مقایسه با مشاهدات ایستگاهی قابل اعتماد است. به دلیل ارزیابی دقت داده‌های ERA5-Land که دارای تفکیک افقی بسیار بالاتری نسبت به ERA5 هستند (تقریباً ۹×۹ کیلومتر در مقابل ۳۱ کیلومتر)، از نمودار ریاضی تیلور برای تحلیل استفاده شد. برای این منظور، مرجع داده‌های بارش، ایستگاه‌های زمینی همدیدی بودند. به‌منظور انطباق داده‌های بازکاوی ERA5-Land با داده‌های ایستگاهی، مختصات جغرافیایی هر یک از ایستگاه‌ها به‌عنوان مبنا قرار گرفت و نزدیک‌ترین پیکسل شبکه‌ای (۰/۱×۰/۱ درجه) انتخاب و داده‌های آن به ایستگاه متناظر اختصاص داده شد. این رویه که در مطالعات پیشین نیز متداول است، امکان هم‌سنجی مستقیم داده‌های بازکاوی با مشاهدات ایستگاهی را فراهم می‌سازد. مقایسه داده‌های بارش (ایستگاهی و بازکاوی) برای هر ۶ ایستگاه از طریق نمودار تیلور انجام گرفت. بررسی صورت گرفته نشان داد که برونداد خام داده‌های بازکاوی از کیفیت و دقت کافی در منطقه مورد مطالعه برخوردار نیستند و آریبی زیاد است. برای کاهش خطا و بهینه

1. www.irimo.ir

2. https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-land-monthly-means?tab=overview

شدن داده‌ها تصحیح بایاس با روش نگاشت چارکی (Quantile Mapping) به کار رفت. نمودار تیلور برای هر ایستگاه به تفکیک مقیاس زمانی ماهانه، به صورت میانگین بارش در دوره مطالعاتی ۲۰ ساله ترسیم شد. سپس در محیط نرم‌افزار R برای هر ماه به تفکیک ایستگاه، میزان بارش محاسبه شده توسط دو پایگاه داده مورد مقایسه قرار گرفت. در گام آخر در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، اختلاف میانگین بارش محاسبه شده توسط ۲ پایگاه زمینی و بازکاوی به صورت بصری پهنه‌بندی شد و مقدار اختلاف و همچنین بیش برآوردی و کم‌برآوردی پایگاه ERA5-Land در هر ایستگاه از منطقه مورد مطالعه ارزیابی شد.

### نمودار تیلور

نمودار تیلور به طور هم‌زمان شاخص‌های همبستگی، انحراف معیار و جذر میانگین مربعات را محاسبه می‌کند (Taylor, 2001: 7185). در این نمودار داده‌های دیده‌بانی به عنوان یک نقطه مرجع روی محور افقی مشخص می‌شود و بعد زاویه‌ای نشان دهنده همبستگی مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی است، مقادیر انحراف معیار به صورت حلقه‌های هم‌مرکز حول مرکز دایره و مقادیر RMSE به شکل حلقه‌های هم‌مرکز نسبت به نقطه مرجع نشان داده می‌شوند. سه مشخصه آماری یاد شده می‌توانند توسط رابطه (۱) به هم مرتبط باشند که در آن R ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی،  $E'$  جذر خطای مربعات و  $\sigma_f^2$  و  $\sigma_r^2$  به ترتیب واریانس داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی را نشان می‌دهند. ساخت دیاگرام تیلور از طریق تشابه بین رابطه (۱) و رابطه مثلثاتی مربوط به کسینوس (۲)، حاصل شده است (باباییان و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۶).

$$E'^2 = \sigma_f^2 + \sigma_r^2 - 2\sigma_f\sigma_rR$$

رابطه (۱)

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\theta$$

رابطه (۲)

### تصحیح اریبی با روش Quantile Mapping

روش نگاشت چارک یکی از پرکاربردترین روش‌های تصحیح بایاس است که توسط پانوفسکی و بریر<sup>۱</sup> (۱۹۶۸) طراحی شد. این روش با استفاده توابع توزیع تجمعی برای مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی در هر مقیاس زمانی باعث حذف خطاها می‌شود. در واقع اریبی نگاشت چارک مقادیر مدل را با تغییر دادن آن به مقدار مشاهده شده در کمیتی که مقادیر مدل در توزیع تاریخی مدل پایین آمده است تصحیح می‌کند (حمیدیان پور و شجاع، ۱۴۰۱: ۲۵۳). از نظر ریاضی رابطه تصحیح اریبی نگاشت چارک به صورت زیر است (رابطه ۳) (Lanzante et al., 2020: 1573).

$$FDF(X) = FOh[F-1Mh(X)]$$

رابطه (۳)

در رابطه فوق F نشان دهنده تابع توزیع تجمعی و F-1 معکوس آن است. برای ریزمقیاس نمودن هر مقداری، نگاشت چارک، موقعیت نسبی آن در توزیع Mh تعیین می‌کند و سپس مقدار را از توزیع Oh مربوط به همان موقعیت نسبی پیدا می‌کند و این را به عنوان ارزش ریزمقیاس شده اختصاص می‌دهد؛ بنابراین از آنجایی که تنها از توزیع‌های Mh و Oh استفاده می‌کند. از الگوی تصحیح بایاس پیروی می‌نماید (حمیدیان پور و شجاع، ۱۴۰۱: ۲۵۳).

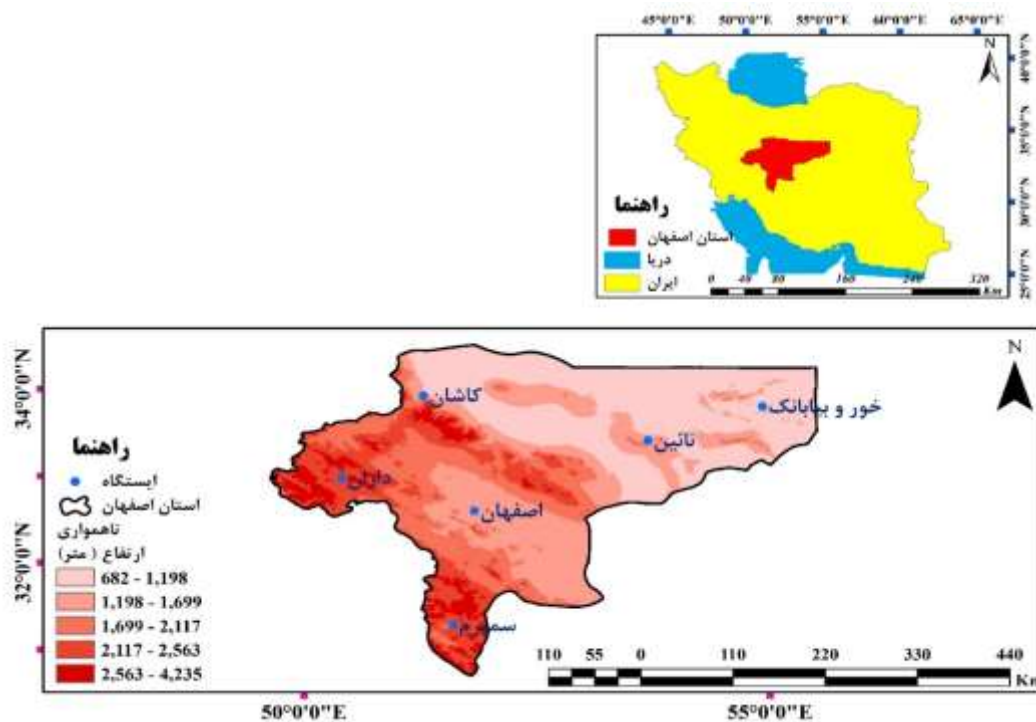
بازه زمانی برآزش توزیع‌ها: توزیع‌های (Mh) و (Oh) بر اساس داده‌های ماهانه ۲۰۰۴-۲۰۲۳ محاسبه شدند.

پارامترها: برای هر ایستگاه و هر ماه، نگاشت چارک جداگانه انجام شد تا دقت ریزمقیاس مکانی-زمانی حفظ شود.

نرم‌افزار و کتابخانه مورد استفاده: کلیه محاسبات در محیط R با استفاده از بسته qmap انجام شد، که امکان محاسبه توابع توزیع تجمعی و نگاشت چارک را فراهم می‌کند.

## محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان اصفهان واقع در ایران است که در محدوده جغرافیایی، عرض‌های ۳۰ تا ۳۵ درجه شمالی و طول‌های ۴۹ تا ۵۵ درجه شرقی قرار گرفته است. به‌منظور ارزیابی دقیق عملکرد داده‌های بازکاوی ERA5-Land در تخمین بارش، شش ایستگاه سینوپتیک از میان ایستگاه‌های فعال استان اصفهان با در نظر گرفتن معیارهایی همچون پراکنش جغرافیایی، تنوع اقلیمی، تفاوت ارتفاعی و دسترسی به داده‌های کامل و معتبر در بازه ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ انتخاب شدند. این ایستگاه‌ها شامل اصفهان (مرکز استان)، داران (غرب کوهستانی)، سمیروم (جنوب غرب مرتفع و پربارش)، ناین (شرق خشک و بیابانی)، خور و بیابانک (بیابانی‌ترین ناحیه) و کاشان (شمال شرق نیمه‌خشک) هستند. ترکیب این ایستگاه‌ها از نظر موقعیت مکانی و شرایط اقلیمی، کفایت لازم برای پوشش متنوع‌ترین بخش‌های اقلیمی استان اصفهان را داشته و به‌عنوان نماینده‌ای مناسب برای تحلیل‌های استانی محسوب می‌شوند (شکل ۱). با توجه به تفکیک مکانی داده‌های ERA5-Land برابر  $1/8^\circ \times 1/8^\circ$  (تقریباً ۹-۱۱ km)، این مستطیل جغرافیایی معادل تقریباً  $40/0^\circ \times 5/5^\circ$  است که حدود ۲۲۰۰ سلول (grid cells) را پوشش می‌دهد (در صورت شمارش نقاط گره‌ای شامل مرزها معادل حدود ۲۲۹۶ گره خواهد بود). در این پژوهش برای استخراج مقدار بازتحلیل برای هر ایستگاه، نزدیک‌ترین پیکسل شبکه به مختصات ایستگاه انتخاب شده است.

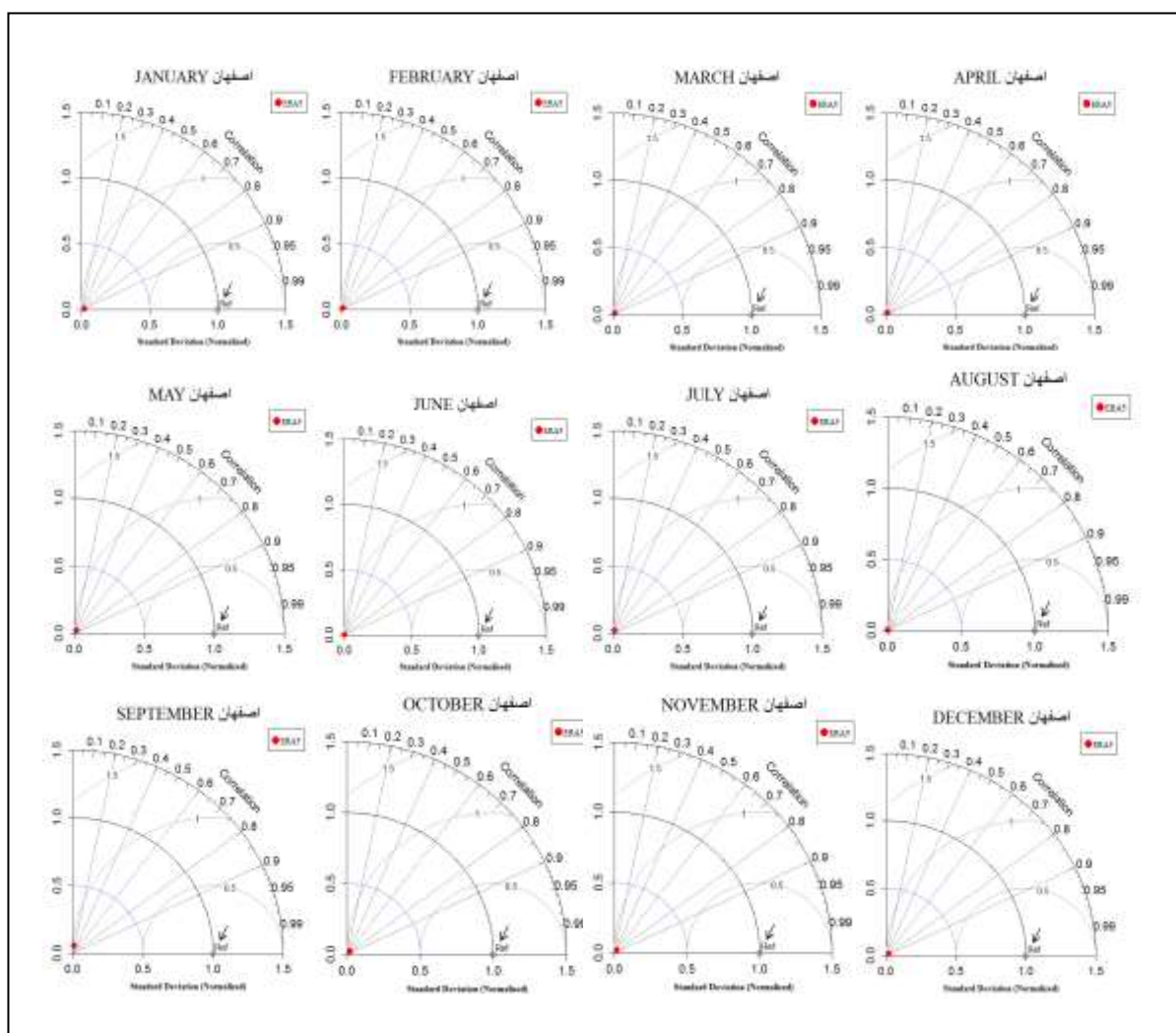


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۴)

## بحث و یافته‌ها

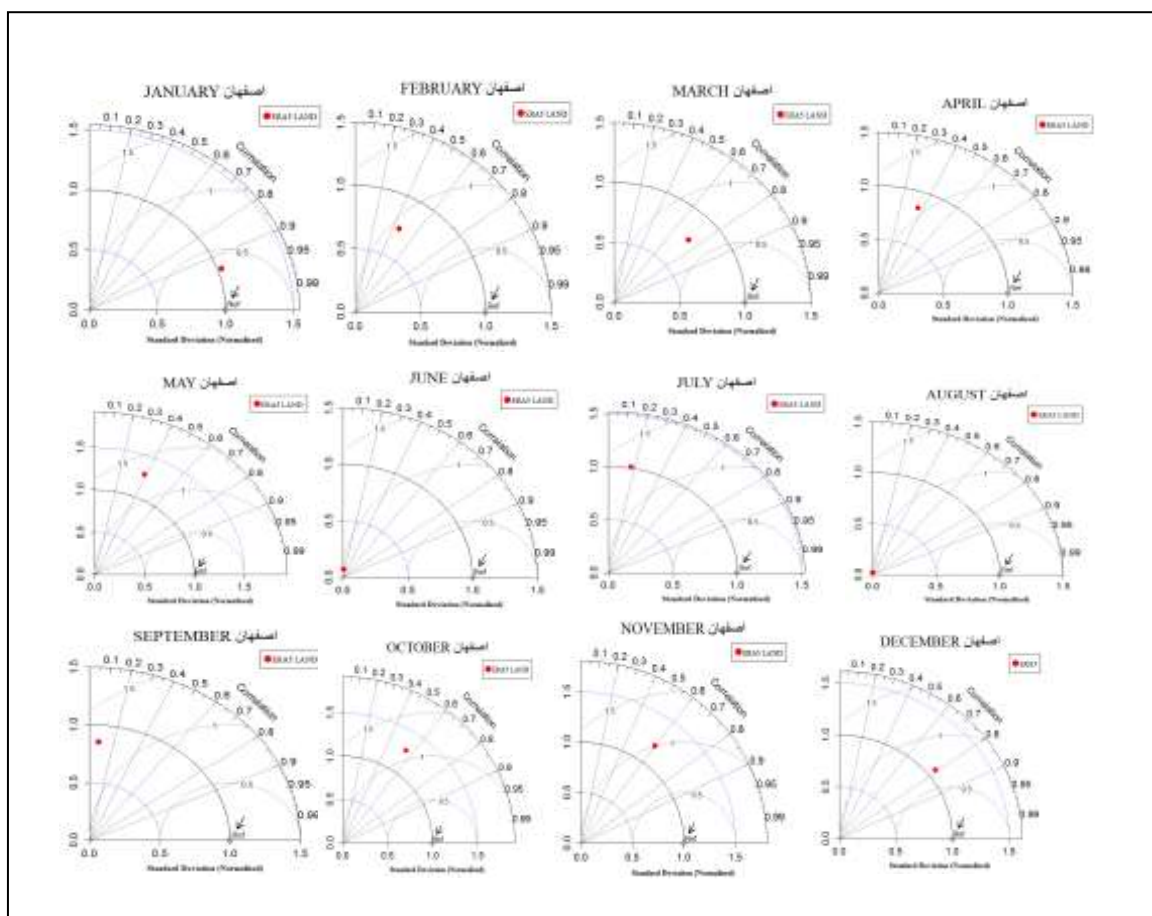
بر اساس مقایسه صورت گرفته بین داده‌های بارش ۲ پایگاه زمینی و بازکاوی، نتایج حاکی از خطای بالای تخمین بارش توسط ERA5-Land در استان اصفهان بود به طوری که در شکل (۲) که برای ایستگاه هواشناسی اصفهان در مقیاس ماهانه ترسیم شده این ارزیابی کاملاً مشهود است. مطابق شکل فوق در همه ماه‌های ۱۲ گانه در ایستگاه اصفهان، مقدار ضریب همبستگی صفر است و تفاوتی در مقدار میانگین بارش در ماه‌های مختلف در دوره ۲۰ ساله مشاهده نمی‌شود. همبستگی پایین بین داده‌های خام ERA5-Land و مشاهدات ایستگاهی در ایستگاه‌ها و ماه‌ها مشاهده شد. این امر به تفاوت مقیاس مکانی (۹×۹ کیلومتر) و ساختار داده‌های مدل محور بازکاوی نسبت داده می‌شود. مناطق با توپوگرافی پیچیده یا خشک بیشترین اثر را بر همبستگی نقطه‌ای دارند. پس از اعمال روش تصحیح بایاس QM، دقت و همبستگی داده‌ها به طور قابل توجهی افزایش یافت؛ این شرایط نشان دهنده نیاز داده‌های بازکاوی موردنظر به تصحیح ارزیابی است (به دلیل اجتناب از افزایش حجم صفحات مقاله از آوردن نتایج ایستگاه‌های دیگر خودداری شد).



شکل ۲. نمودار تیلور برای ارزیابی عملکرد ERA5-Land در ایستگاه هواشناسی اصفهان در مقیاس ماهانه قبل از تصحیح ارزیابی

منبع: (نگارنگان، ۱۴۰۴)

بر اساس مطالعات انجام شده در زمینه تصحیح بایاس متغیر بارش، روش نگاشت چارک (Quantile Mapping) دارای عملکرد مناسبی بوده و به همین علت از طریق این روش داده‌های بارش بازکاوی ریزگردانی شدند. در مرحله بعدی نمودار تیلور برای هر ایستگاه در مقیاس ماهانه ترسیم شد و داده‌های میانگین بارش ایستگاهی و بازکاوی مقایسه شدند. برونداد مقیاس گاهی شده داده‌های بارش بازکاوی، نشان داد که داده‌های بازکاوی بهینه شده و روش تصحیح بایاس نگاشت چارکی بسیار مناسب عمل کرده است. با توجه به شکل (۳) در ایستگاه همدیدی اصفهان، بعد از انجام تصحیح اریبی، بهترین عملکرد داده‌های بازکاوی در ماه ژانویه بوده است، با ضریب همبستگی  $0.95$ ، انحراف معیار  $1$  و ریشه دوم میانگین مربعات خطا کمتر از  $0.5$  که نشان از مشابهت زیاد به مقادیر مرجع دارد. در ارزیابی فصلی این ایستگاه، در فصل زمستان و پاییز عملکرد داده‌های بازکاوی با دقت بالاتر صورت گرفته است. بر اساس نمودار گرافیکی تیلور عملکرد ضعیف داده‌های بازکاوی در شناسایی بارش ایستگاه ذکر شده در فصل تابستان بوده است.

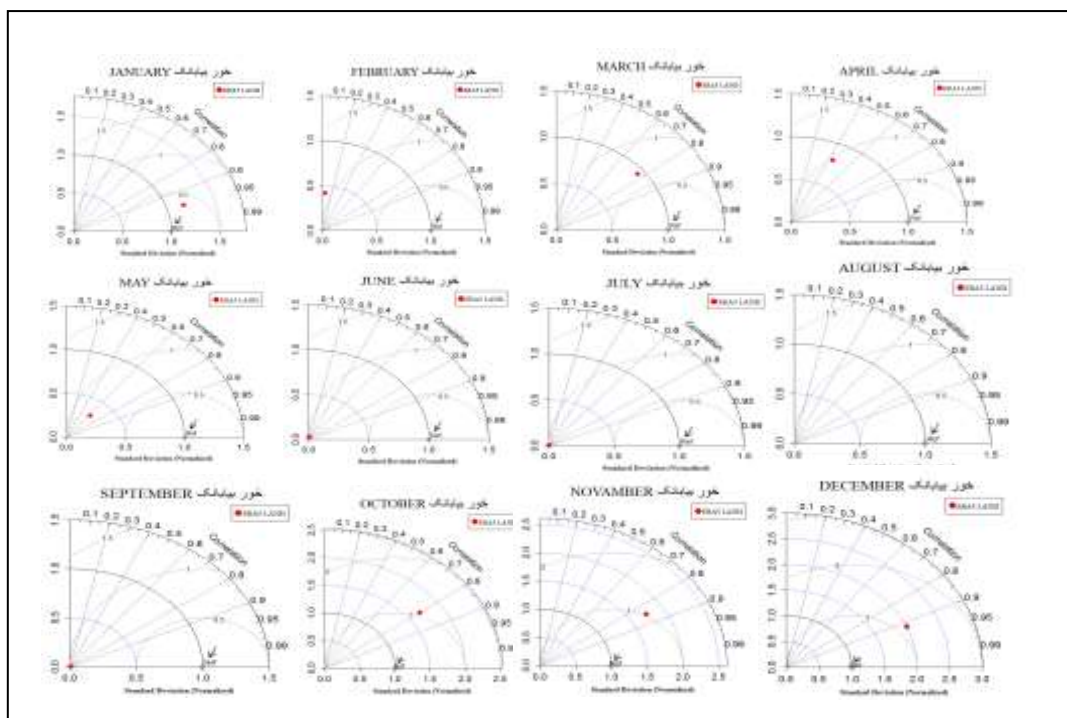


شکل ۳. نمودار تیلور برای ارزیابی عملکرد داده‌های بازکاوی ERA5-Land در ایستگاه هواشناسی اصفهان در مقیاس ماهانه بعد از

#### تصحیح بایاس

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۴)

مطابق شکل (۴) در ایستگاه همدیدی خور - بیابانک، بعد از انجام تصحیح اریبی، در ماه ژانویه عملکرد داده‌های بازکاوی با بیشترین دقت انجام شده است، با ضریب همبستگی  $0.97$ ، انحراف معیار  $1/2$  و ریشه دوم میانگین مربعات خطا کمتر از  $0.5$  که نشان از نزدیکی به مقادیر مرجع دارد. در ارزیابی فصلی این ایستگاه، در فصل پاییز داده‌های بازکاوی با دقت بهتری بارش در ایستگاه مذکور را تخمین زده‌اند. ضعیف‌ترین عملکرد ERA5-Land در ایستگاه خور - بیابانک در فصل تابستان بوده است،



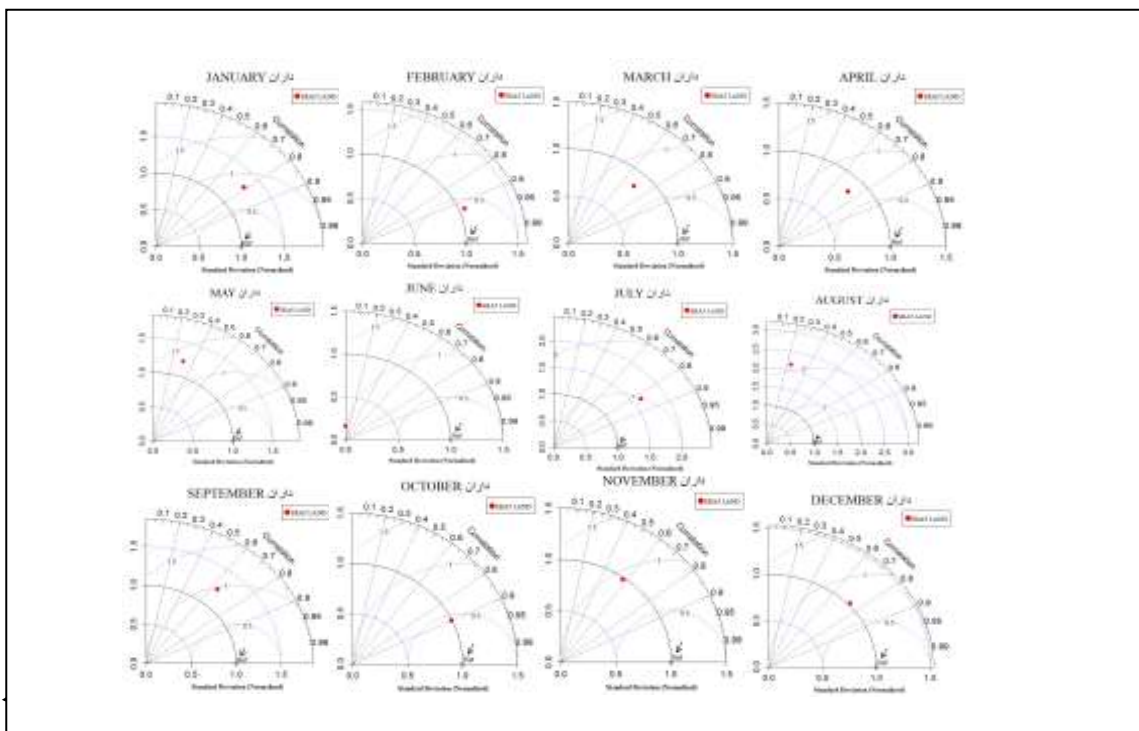
شکل ۴. نمودار تیلور برای بررسی دقت داده‌های بازکاوی ERA5-Land در ایستگاه هواشناسی خور - بیابانک در مقیاس ماهانه بعد از

#### تصحیح بایاس

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۴)

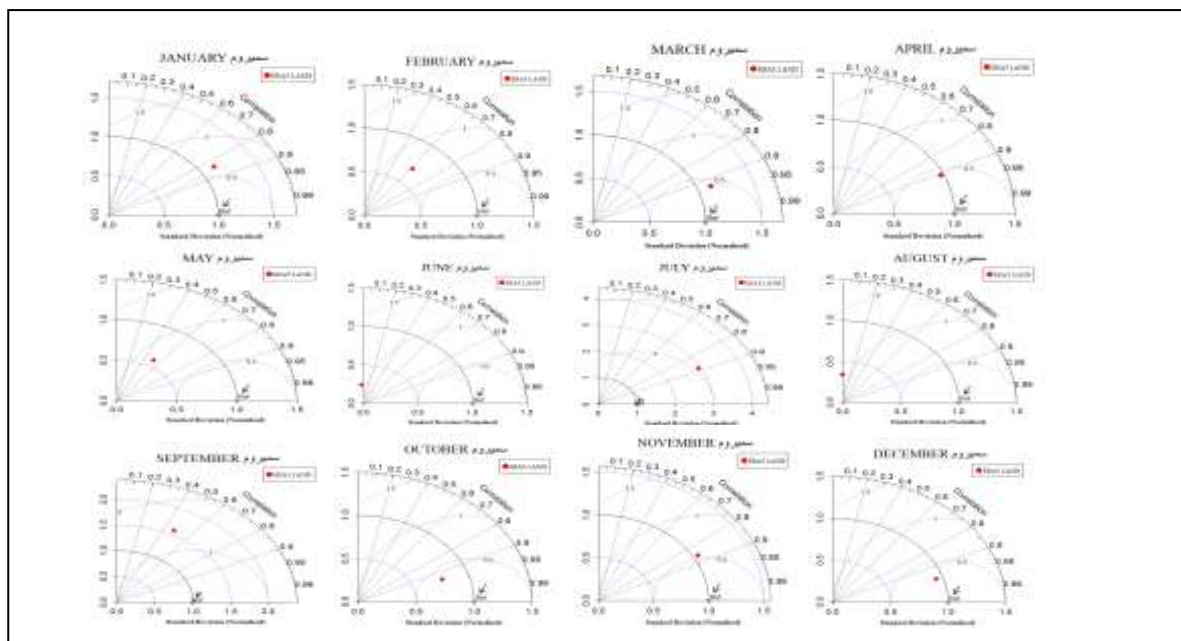
بر اساس شکل (۵) در ایستگاه همدیدی داران، بعد از انجام تصحیح بایاس، در ماه فوریه ERA5-Land با کمترین خطا برآورد بارش را انجام داده است، با ضریب همبستگی ۰/۹۴، انحراف معیار ۱/۱ و RMSE کمتر از ۰/۵ که نشان از تشابه به مقادیر دیدبانی دارد. در بررسی فصلی این ایستگاه، در فصل‌های پاییز و زمستان داده‌های بازکاوی با دقت بیشتری بارش ایستگاه داران را محاسبه کرده‌اند.

دوره



(مأخذ: نگارنگان، ۱۴۰۴)

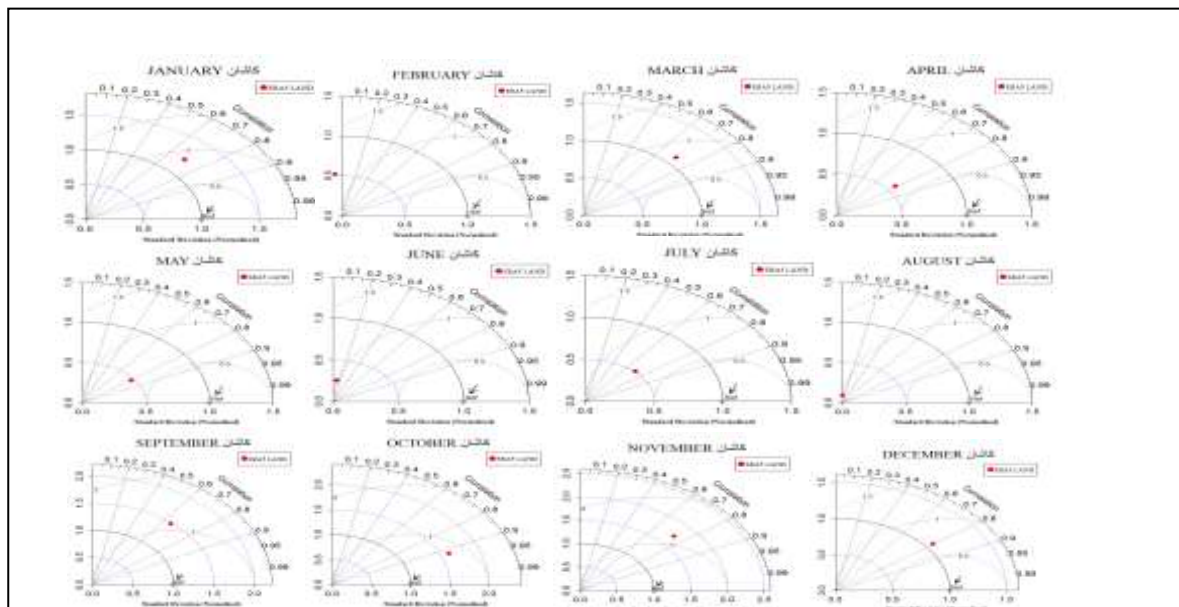
شکل (۶) نمودارهای تیلور جهت ارزیابی دقت تخمین داده‌های بارش بازکای ایستگاه سینوپتیک سمیروم را نشان می‌دهد که بعد از انجام تصحیح بایاس، در ماه دسامبر داده‌های بارش پایگاه بازکای با کمترین خطا بارش را برآورد کرده‌اند. ضریب همبستگی ۰/۹۷، انحراف معیار کمتر از ۱ و RMSE کمتر از ۰/۵ که شباهت به مقادیر مشاهداتی را نشان می‌دهد. در بررسی فصلی این ایستگاه، در فصل زمستان داده‌های بازکای با دقت بیشتری بارش ایستگاه سمیروم را محاسبه کرده‌اند.



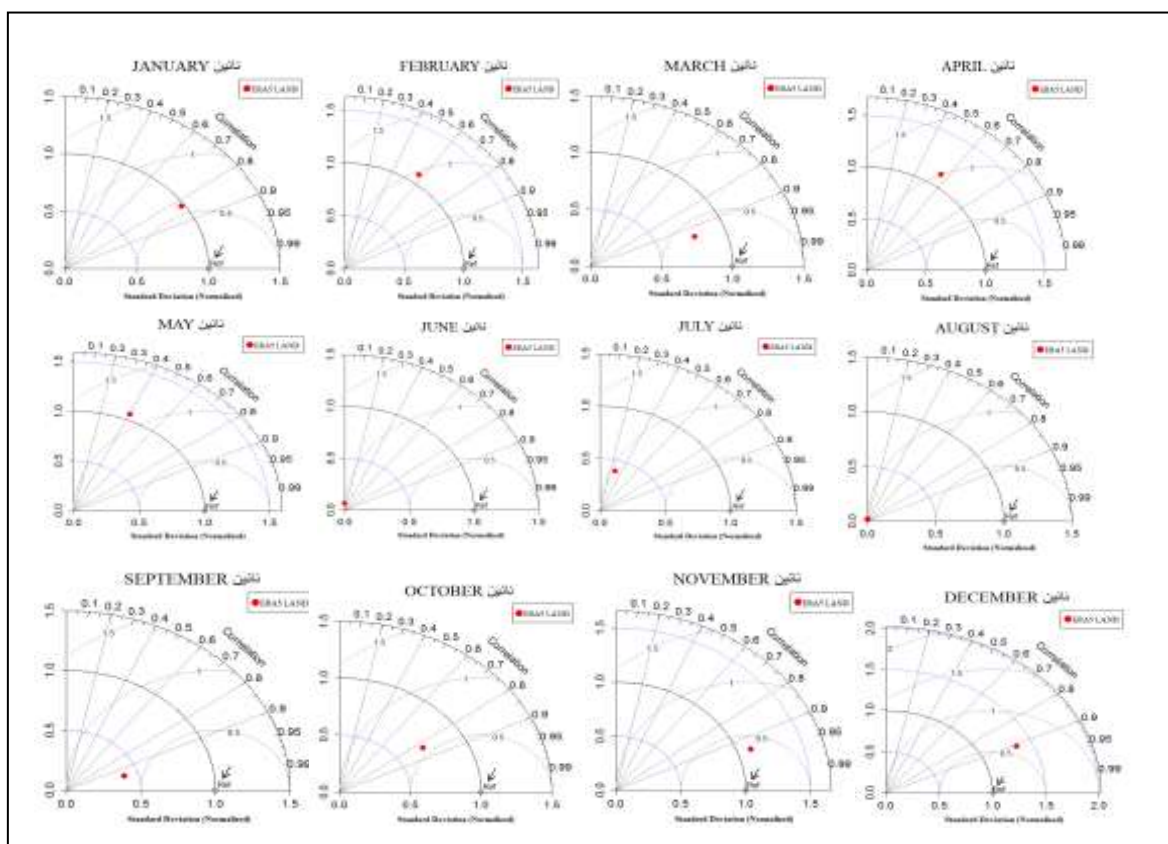
شکل ۶. نمودارهای تیلور برای ارزیابی دقت داده‌های بارش در مقیاس ماهانه برای بازکای ERA5-Land در ایستگاه هواشناسی

سمیروم

(منبع: نگارنگان، ۱۴۰۴)



شکل ۷. نمودارهای تیلور برای ارزیابی دقت داده‌های بارش در مقیاس ماهانه برای بازکاوی ERA5-Land در ایستگاه هواشناسی کاشان  
منبع: (نگارنگان، ۱۴۰۴)



شکل ۸. نمودارهای تیلور برای ارزیابی دقت داده‌های بارش در مقیاس ماهانه برای بازکاوی ERA5-Land در ایستگاه هواشناسی ناین  
منبع: (نگارنگان، ۱۴۰۴)

برای افزایش قابلیت اطمینان نتایج و تأیید عملکرد پایگاه بازتحلیل ERA5-Land در مقایسه با داده‌های ایستگاهی، علاوه بر نمودار تیلور، از شاخص‌های آماری کلیدی شامل RMSE، NSE، میانگین خطا، BIAS و شاخص ویلموت استفاده شد. محاسبات انجام شده نشان داد که پس از اعمال تصحیح بایاس با روش نگاشت چارکی، دقت تخمین بارش ماهانه در اکثر ایستگاه‌ها بهبود یافته و انطباق داده‌های بازتحلیل با مشاهدات ایستگاهی افزایش یافته است (جدول‌های ۲ و ۳). شاخص‌های آماری بارش ماهانه برای ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان ارائه شده است. Raw نشان‌دهنده داده‌های خام ERA5-Land قبل از تصحیح بایاس و QM نشان‌دهنده داده‌های ERA5-Land پس از اعمال روش نگاشت چارکی (Quantile Mapping) برای تصحیح سوگیری‌هاست. تمامی شاخص‌ها در مقیاس ماهانه محاسبه شده‌اند و مقایسه با داده‌های ایستگاهی انجام شده است.

جدول ۲. مقایسه شاخص‌های عملکرد پایگاه بازتحلیل ERA5-Land با داده‌های ایستگاهی در استان اصفهان (قبل و بعد از

تصحیح بایاس)

Station	Month	RMSE	NSE	Bias	Mae	Wilmot	RMSE	NSE	Bias	Mae	Wilmot
		raw	raw	raw	raw	raw	qm	qm	qm	qm	Qm
Kashan	April	۳۴/۷۳	-۰/۴۸	-۲۰/۳۸	۲۰/۴	-۰/۳۷	۱۸/۷۲	۰/۵۷	-۰/۶	۱۰/۵۴	۰/۸۱
Kashan	August	۳/۵۷	-۰/۱۴	-۱/۲۴	۱/۲۶	-۰/۲۷	۳/۵۵	-۰/۱۲	-۱/۱۵	۱/۲۶	-۰/۲۶
Kashan	December	۱۷/۵۵	-۰/۷۳	-۱۲	۱۲/۰۲	-۰/۴۵	۹/۰۷	۰/۵۴	۱/۵۹	۶/۷۷	-۰/۸۸
Kashan	February	۲۱/۵۱	-۱/۰۸	-۱۵/۴۲	۱۵/۴۲	-۰/۴۲	۱۷/۷۸	-۰/۴۲	-۲/۵۹	۱۰/۲۹	-۰/۳۴
Kashan	January	۲۱/۱۶	-۱/۴۴	-۱۶/۶۴	۱۶/۶۴	-۰/۴۸	۱۱/۸۵	۰/۲۴	۰/۰۶	۸/۸۸	-۰/۸۲
Kashan	July	-۰/۹۴	-۰/۲۱	-۰/۴۴	-۰/۴۵	-۰/۳۸	۰/۷۱	۰/۳۱	-۰/۳۳	۰/۳۸	-۰/۷۳
Kashan	June	۶/۵۴	-۰/۲۳	-۲/۸۵	۲/۸۶	-۰/۳۴	۶/۳۱	-۰/۱۴	-۲/۱۴	۲/۶۸	-۰/۳۴
Kashan	March	۲۹/۹	-۰/۹۸	۲۱/۶۷	۲۱/۶۸	-۰/۴۵	۱۷/۱۲	۰/۳۵	۱/۲۵	۹/۸۳	-۰/۸۳
Kashan	May	۱۶/۵۶	-۰/۵۳	-۱۰/۱۲	۱۰/۱۷	-۰/۴۱	۹/۸۱	۰/۴۶	-۳/۶۴	۶/۴۶	-۰/۷۵
Kashan	November	۲۱/۶۶	-۰/۹	-۱۵/۵۲	۱۵/۶۱	-۰/۴۵	۱۹/۸۵	-۰/۶	۶/۶۷	۱۲/۰۵	-۰/۷۷
Kashan	October	۶/۶۸	-۰/۲۸	-۳/۹۲	۳/۹۳	-۰/۴۶	۴/۸۴	۰/۳۳	۱/۳۳	۲/۲۸	-۰/۹
Kashan	September	-۰/۶۲	۰/۰۱	-۰/۲۳	-۰/۲۴	-۰/۳۶	۰/۷	-۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۲۷	-۰/۷۶
Khur	April	۱۳/۹۸	-۰/۸۴	-۹/۵۸	۹/۶	-۰/۴۳	۱۰/۳۷	-۰/۰۲	-۲/۷۶	۶/۰۷	-۰/۶۳
Khur	August	۰	۰/۲۹	۰	۰	-۰/۷۸	۰	-۰/۰۵	۰	۰	-۰/۱۶
Khur	December	۸/۸۹	-۰/۶۸	-۶/۰۸	۶/۰۸	۰/۵	۹/۷۳	-۱/۰۲	۵/۶۵	۶/۱۸	-۰/۷۹
Khur	February	۲۲/۴۶	-۰/۷۹	-۱۴/۹۲	۱۴/۹۳	-۰/۴۱	۱۸/۳	-۰/۱۹	-۴/۳۲	۹/۷۳	-۰/۳۹
Khur	January	۱۵/۲۳	-۰/۴۸	-۹/۲۴	۹/۲۴	-۰/۴۳	۶/۵۴	۰/۷۳	۴/۶۴	۵/۳۷	-۰/۹۴
Khur	July	-۰/۵۴	-۰/۰۶	-۰/۱۲	-۰/۱۳	-۰/۱۶	۰/۵۴	-۰/۰۶	-۰/۱۳	۰/۱۳	-۰/۱۷
Khur	June	۱۰/۷۴	-۰/۱۱	-۳/۴۲	۳/۴۳	-۰/۲۴	۱۰/۷۲	-۰/۱۱	-۳/۳۱	۳/۴۳	-۰/۲۳
Khur	March	۱۸/۰۷	-۰/۷۳	-۱۲/۰۸	۱۲/۰۸	-۰/۴۶	۹/۲۹	۰/۵۴	۱/۸۵	۵/۹۷	-۰/۸۷
Khur	May	۸/۹۷	-۰/۶۸	-۵/۷۷	۵/۷۸	-۰/۴۲	۶/۸۳	۰/۰۲	-۳/۶	۴/۰۹	-۰/۵۵
Khur	November	۱۱/۲۲	-۰/۷۶	-۷/۷۵	۷/۷۵	-۰/۴۵	۸/۸۸	-۰/۱	۱/۴۳	۴/۳۵	-۰/۸۵
Khur	October	۲/۰۹	-۰/۱۸	-۱	۱/۰۲	۰/۴	۲/۲۳	-۰/۳۴	۰/۸۵	۱/۱۱	-۰/۸
Khur	September	-۰/۶۹	-۰/۰۷	-۰/۱۹	-۰/۱۹	-۰/۲۱	۰/۶۹	-۰/۰۷	-۰/۱۹	۰/۱۹	-۰/۲۱
Naein	April	۱۹/۵۲	-۰/۶۳	-۱۲/۶۳	۱۲/۶۳	-۰/۴۲	۱۶/۱	-۰/۱۱	۴/۸۶	۹/۹	۰/۷
Naein	August	-۰/۲۲	-۰/۰۷	-۰/۰۶	-۰/۰۷	-۰/۲۲	۰/۲۲	-۰/۱	-۰/۰۶	۰/۰۷	-۰/۲۳
Naein	December	۱۰/۳۱	-۰/۹۲	-۷/۶	۷/۶	-۰/۴۸	۴/۶۱	۰/۶۲	۰/۸۸	۲/۹۸	-۰/۹۳
Naein	February	۱۰/۴۳	-۱/۷۶	-۸/۴۷	۸/۴۸	-۰/۴۵	۶/۲۳	۰/۰۱	۱/۴۱	۵/۰۸	-۰/۷۶
Naein	January	۱۶/۱۱	-۱/۱۹	-۱۲/۲۵	۱۲/۲۶	-۰/۴۵	۶/۴۱	۰/۶۵	-۱/۳۴	۵/۲۲	-۰/۹۱

Naein	July	۲/۱۰	-۰/۲۲	-۰/۹۴	-۰/۹۵	-۰/۳۷	۲	-۰/۰۹	۰/۷۸	-۰/۸۲	-۰/۴۸
Naein	June	۹/۸۲	-۰/۰۷	-۲/۴۹	۲/۵	-۰/۱۸	۹/۸۲	-۰/۰۷	-۲/۲۸	۲/۴۵	-۰/۱۷
Naein	March	۲۱/۸	-۰/۷۳	-۱۴/۷۴	۱۴/۷۸	-۰/۴۴	۶/۷۷	۰/۸۳	-۲/۶۷	۴/۸۹	-۰/۹۵
Naein	May	۱۱/۵۱	-۱/۳۶	-۸/۸۵	۸/۸۶	-۰/۴۷	۸/۴۷	-۰/۲۸	-۰/۴۳	۶/۲۲	-۰/۶۷
Naein	November	۱۹/۵۷	-۰/۸۷	-۱۳/۹۶	۱۳/۹۸	-۰/۴۴	۵/۵۲	۰/۸۵	۰/۷	۴/۱۱	-۰/۹۷
Naein	October	۴/۷۵	-۰/۱۷	-۲/۱۳	۲/۲۳	-۰/۳۸	۲/۴۹	۰/۶۸	-۰/۰۲	۱/۶۲	-۰/۸۹
Naein	September	-۰/۴۱	۰/۰۶	-۰/۰۹	-۰/۱۱	۰/۲	۰/۲۶	۰/۶	-۰/۰۵	-۰/۰۸	۰/۸

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۴)

جدول ۳. ارزیابی عملکرد پایگاه بازتحلیل ERA5-Land در تخمین بارش ماهانه: شاخص‌های آماری قبل و بعد از تصحیح بایاس در

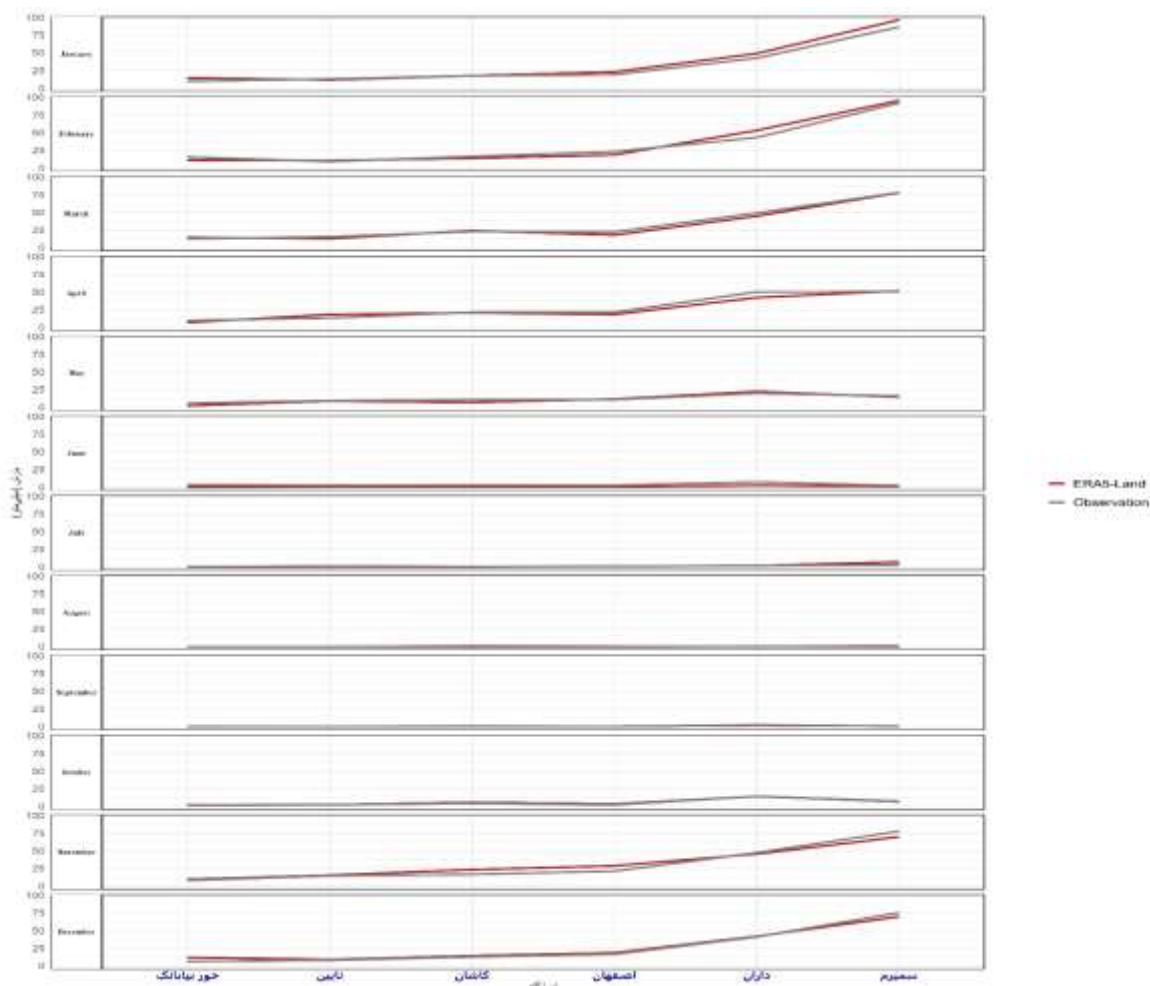
## استان اصفهان

Station	Month	RMSE	NSE	Bias	Mae	Wilmot	RMSE	NSE	Bias	Mae	Wilmot
		raw	raw	raw	raw	raw	qm	qm	qm	qm	Qm
Daran	April	۵۸/۱۱	-۲/۳۷	-۴۹/۰۶	۴۹/۰۶	-۰/۴۲	۲۳/۳۱	۰/۴۶	-۷/۹۸	۱۹	-۰/۸۴
Daran	August	۱/۱	-۰/۱۲	-۰/۴۳	۰/۴۶	-۰/۳۶	۲/۲۳	-۳/۶۳	۰/۲۲	۰/۷۷	-۰/۳۳
Daran	December	۵۲/۷۵	-۱/۲۴	-۳۹/۹۳	۴۰/۱۶	-۰/۴۵	۲۵/۸۲	۰/۴۶	۰/۷۳	۱۷/۶	-۰/۸۶
Daran	February	۵۴/۳۱	-۱/۲۴	-۴۱/۳۹	۴۱/۳۹	-۰/۴۴	۱۷/۳۳	۰/۷۷	۱۰/۱۰	۱۲/۹۹	-۰/۹۵
Daran	January	۴۸/۸۵	-۲/۱۹	-۴۱/۰۳	۴۱/۰۳	-۰/۴۶	۲۲/۹۸	۰/۲۹	۶/۳۷	۱۶/۴	-۰/۸۶
Daran	July	۳/۷۹	-۰/۱۷	-۱/۸	۱/۸۱	۰/۴	۳/۴۶	۰/۰۳	-۰/۱۹	۱/۵۷	-۰/۸۶
Daran	June	۲۴/۶۱	-۰/۰۹	-۶/۹۸	۷/۱۱	۰/۲	۲۴/۴۹	-۰/۰۸	-۴/۹۸	۶/۸۵	-۰/۱۹
Daran	March	۵۹/۱۳	-۱/۷۶	-۴۷/۷۳	۴۷/۷۳	-۰/۴۵	۲۶/۳۱	۰/۴۵	-۴/۳۵	۱۸/۶۱	-۰/۸۳
Daran	May	۲۵/۱۵	-۱/۳۱	-۱۹/۰۹	۱۹/۱۲	-۰/۴۴	۲۱/۹۱	-۰/۷۶	۲/۴۹	۱۵/۳۲	-۰/۵۹
Daran	November	۵۵/۹۳	-۱/۹۸	-۴۵/۹۴	۴۶/۱۲	-۰/۴۶	۲۹/۷۹	۰/۱۵	-۱/۷۵	۲۳/۵۵	-۰/۷۶
Daran	October	۲۳/۰۱	-۰/۴۷	-۱۳/۷	۱۳/۸	-۰/۴۲	۸/۴۳	۰/۸	-۰/۱۷	۶/۰۸	-۰/۹۵
Daran	September	۴/۸۹	-۰/۱۸	-۲/۲	۲/۲۳	-۰/۳۹	۴/۴۲	۰/۰۳	-۰/۶۷	۱/۹۳	-۰/۷۷
Esfahan	April	۲۶/۴۲	-۱/۸	-۲۱/۲۶	۲۱/۲۷	-۰/۴۳	۱۶/۹۹	-۰/۱۶	-۳/۲۵	۱۰/۷۷	-۰/۶۱
Esfahan	August	۲/۱۳	-۰/۱۱	-۰/۶۶	۰/۶۷	-۰/۲۴	۲/۱۳	-۰/۱	-۰/۶۵	۰/۶۶	-۰/۲۴
Esfahan	December	۲۳/۰۲	-۰/۹۲	-۱۶/۲۲	۱۶/۲۳	-۰/۴۷	۱۱/۵۳	۰/۵۲	۱/۹۹	۸/۳۸	-۰/۸۸
Esfahan	February	۳۲/۵۴	-۰/۹۱	-۲۲/۶۲	۲۲/۶۴	-۰/۴۴	۲۲/۴۲	۰/۰۹	-۴/۵۵	۱۲/۷۹	-۰/۶۷
Esfahan	January	۲۹/۴۷	-۰/۵۹	-۱۸/۵۲	۱۸/۵۴	-۰/۴۵	۸/۹۵	۰/۸۵	۳/۸۶	۶/۲۴	-۰/۹۶
Esfahan	July	۲/۸۸	-۰/۰۶	-۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۲	۳/۶۲	-۰/۶۸	-۰/۰۴	۱/۲۴	۰/۳
Esfahan	June	۷/۶	-۰/۱۳	-۲/۶	۲/۶۲	-۰/۲۵	۷/۵۲	-۰/۱۱	-۲/۳۵	۲/۵۱	-۰/۲۵
Esfahan	March	۲۷/۵۲	-۱/۶۸	-۲۱/۹۴	۲۱/۹۵	-۰/۴۳	۱۲/۱۸	۰/۴۷	-۴/۴	۷/۵۵	-۰/۸۲
Esfahan	May	۱۳/۹۷	-۱/۳۴	-۱۰/۶۶	۱۰/۶۷	-۰/۴۷	۰	۱	۰	۰	۱
Esfahan	November	۳/۳۵	-۰/۸۱	-۲۰/۶۸	۲۰/۶۸	-۰/۴۲	۲۳/۹۳	-۰/۱۳	۷/۴۶	۱۴/۸۳	-۰/۷۳
Esfahan	October	۴	-۰/۳۱	-۲/۰۶	۲/۰۷	-۰/۴۲	۴/۰۴	-۰/۳۴	۱/۲	۲/۴۱	-۰/۶۸
Esfahan	September	-۰/۴۱	-۰/۰۶	-۰/۱۱	-۰/۱۱	-۰/۲۱	-۰/۵	-۰/۶	-۰/۰۱	۰/۱۹	-۰/۲۱
Semirom	April	۶۱/۲۶	-۱/۸۵	-۴۹/۸	۴۹/۸	-۰/۴۵	۱۵/۳۹	۰/۸۲	۰/۹۴	۱۲/۳	-۰/۹۵
Semirom	August	۳/۱۸	-۰/۲	-۱/۳۱	۱/۳۴	-۰/۳۶	۳/۲۴	-۰/۲۵	-۱/۰۳	۱/۴۵	-۰/۳۵
Semirom	December	۹۵/۵۴	-۱/۴۱	-۷۴/۰۱	۷۴/۰۱	-۰/۴۵	۱۸/۹۶	۰/۹	-۵/۵	۱۵/۵۷	-۰/۹۷
Semirom	February	۱۱۱/۲۴	-۱/۸۶	-۹۰/۱۳	۹۰/۱۳	-۰/۴۱	۵۱/۷۱	۰/۳۸	۳/۴۶	۳۳/۱۲	-۰/۷۵
Semirom	January	۱۱۰/۳۳	-۱/۳۴	-۸۴/۶۱	۸۴/۶۱	-۰/۴۳	۴۵/۷۳	۰/۶	۱۰/۱۲	۲۴/۱۶	-۰/۹۱
Semirom	July	۷/۴۴	-۰/۰۲	-۲/۵۶	۲/۵۷	-۰/۲۸	۱۶/۱۳	-۳/۷۷	۴/۳۸	۵/۷۸	-۰/۶۹
Semirom	June	۸/۱۲	-۰/۰۸	-۲/۱۴	۲/۱۶	-۰/۱۹	۸/۳	-۰/۱۲	-۱/۳۲	۲/۷۳	-۰/۱۶

Semirom	March	۸۸/۸۷	-۲/۷۴	-۷۶/۶۲	۷۶/۶۲	-۰/۴۲	۱۹/۰۲	۰/۸۳	-۰/۲۲	۱۴/۴۶	۰/۹۶
Semirom	May	۲۲/۸۹	--/۸۴	-۱۵/۶	۱۵/۶۵	-۰/۳۹	۱۴/۴۹	۰/۲۶	-۱/۵	۱۰/۶	۰/۶۵
Semirom	November	۹۴/۹۱	-۱/۷۲	-۷۶/۲۴	۷۶/۲۴	-۰/۴۷	۳۱/۹۴	۰/۶۹	-۷/۸۴	۲۳/۵۵	۰/۹۲
Semirom	October	۱۲/۲۱	--/۴۵	-۷/۰۴	۷/۰۸	-۰/۴۵	۳/۸۸	۰/۸۵	-۰/۵۱	۲/۱۶	۰/۹۵
Semirom	September	۱/۱۸	--/۰۷	-۰/۳۷	-۰/۳۸	-۰/۲۴	۱/۶۴	-۱/۰۹	۰/۳۲	۰/۶۶	۰/۶۱

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۴)

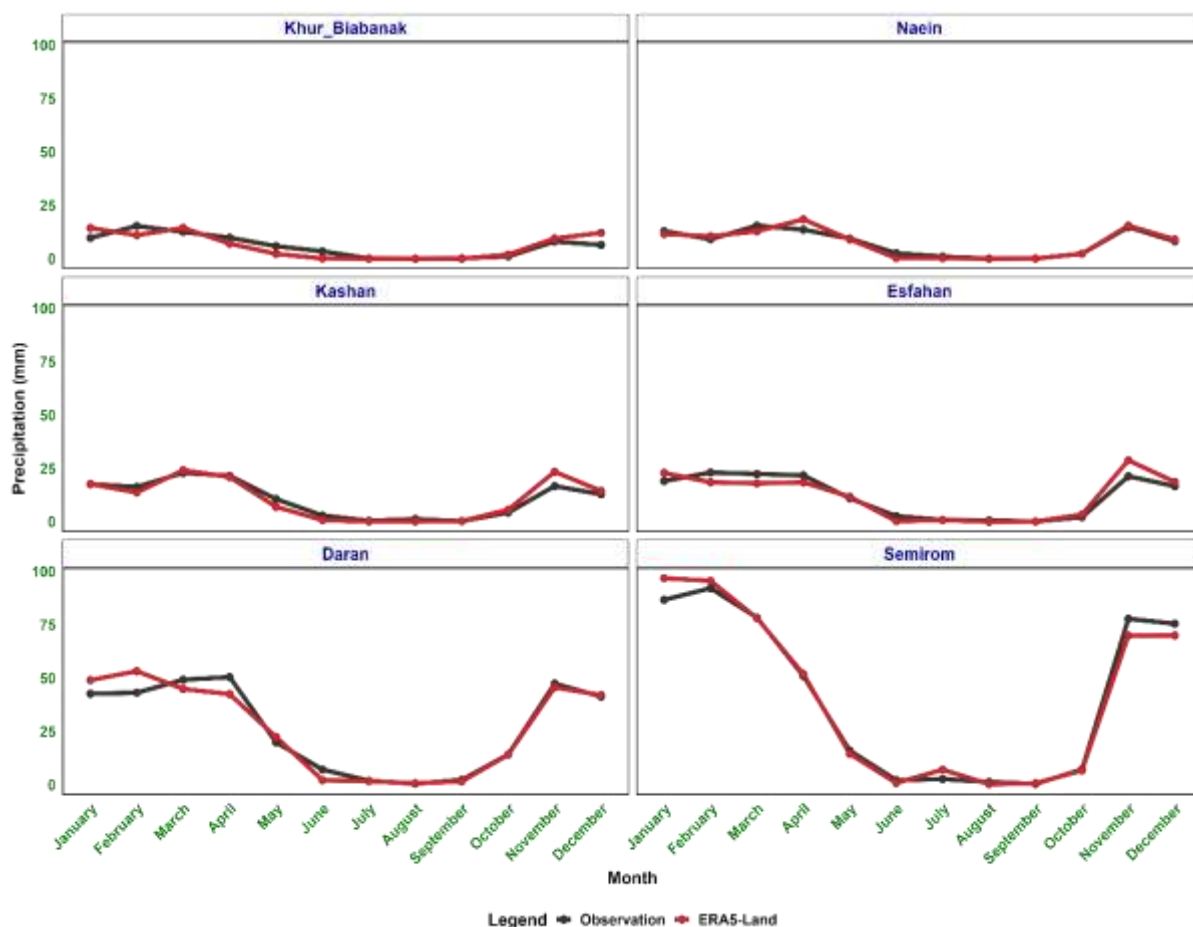
بر اساس شکل (۹) عملکرد مناسب داده‌های بازکاوی ERA5-Land در تخمین بارش ماهانه در استان اصفهان تأیید می‌شود. به طوری که مشاهده می‌شود در ماه‌های مختلف در دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ در ۶ ایستگاه مورد مطالعه از استان اصفهان ۲ خط نشانگر بارش توسط ۲ پایگاه داده یا باهم انطباق دارند یا با اختلاف کم از هم قرار گرفته‌اند. خط خاکستری برای داده‌های بارش ایستگاه‌های زمینی هم‌دیدگی و خط قرمز به داده‌های بارش پایگاه بازکاوی تعلق دارند. میزان کم‌برآوردی و بیش برآوردی داده‌های بازکاوی قابل اغماض است. با توجه به نمودار زیر داده‌های بازکاوی ERA5-Land در دوره سرد و گرم سال توانایی تخمین مناسب بارش منطقه مورد مطالعه را دارند.



شکل ۹. نمودار مستخرج از نرم‌افزار R بر اساس بارش شش ایستگاه، توسط ایستگاه زمینی و بازکاوی در ماه‌های گوناگون در دو دهه مورد مطالعه

منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۴)

شکل (۱۰) نمایش‌دهنده مقایسه بارش ماهانه شش ایستگاه منتخب استان اصفهان در دوره ۲۰۰۴-۲۰۲۳ است. محور افقی ایستگاه‌ها و محور عمودی مقدار بارش (میلی‌متر) را نشان می‌دهد. خطوط خاکستری مربوط به داده‌های مشاهداتی و خطوط قرمز مربوط به داده‌های ERA5-Land هستند. مشاهده می‌شود که روند بارش ماهانه در همه ایستگاه‌ها با داده‌های ERA5-Land تقریباً مشابه مشاهدات است، اما اختلاف‌های جزئی در برخی ماه‌ها و ایستگاه‌ها وجود دارد. بیشترین تطابق بین ERA5-Land و داده‌های مشاهداتی در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) مشاهده می‌شود. اختلاف در مناطق کوهستانی (مثلاً ایستگاه سمیرم) در برخی ماه‌ها نسبت به مناطق کم‌ارتفاع (خور-بیابانک، کاشان) بیشتر است. داده‌های ERA5-Land توانسته‌اند الگوهای کلی بارش ماهانه را در طول سال در مقیاس ایستگاه‌ها به خوبی بازنمایی کنند، که نشان‌دهنده قابلیت استفاده از این داده‌ها برای ارزیابی بارش در مناطق فاقد ایستگاه مشاهده‌ای است.

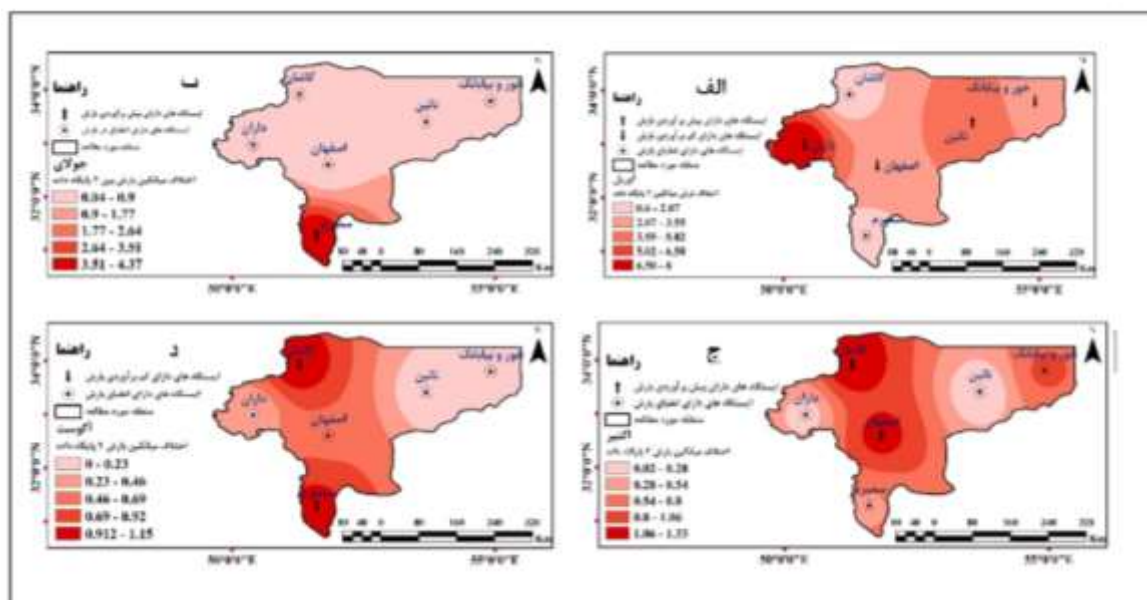


شکل ۱۰. مقایسه بارش ماهانه مشاهده‌شده و ERA5-Land در شش ایستگاه استان اصفهان (۲۰۰۴-۲۰۲۳)

منبع: (نگارنگان، ۱۴۰۴)

بر اساس شکل (۱۱) الف- در ماه آوریل حداکثر اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده در منطقه مورد مطالعه ۸ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش غربی در ایستگاه داران و بخش (شمالی و جنوبی) در ایستگاه‌های کاشان و سمیروم در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکوی در ایستگاه‌های داران، اصفهان و خور-بیابانک با کم‌برآوردی و ایستگاه ناین، با بیش برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را تخمین زده‌اند. ب- در ماه جولای، در استان اصفهان حداکثر

اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده ۴/۳۷ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش جنوبی در ایستگاه سمیروم و بخش شمالی در ایستگاه‌های کاشان، ناین، اصفهان، داران و خور-بیابانک در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه سمیروم، با کم‌برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را برآورد کرده است. ج- در ماه اکتبر حداکثر اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده، در منطقه مورد مطالعه ۱ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش شمالی در ایستگاه‌های اصفهان و کاشان و بخش (غربی و قسمت‌هایی از شرق منطقه) در ایستگاه‌های داران و ناین در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه‌های کاشان و اصفهان با بیش برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را تخمین زده‌اند. د- در ماه آگوست، در استان اصفهان حداکثر اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده ۱ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش (شمالی و جنوبی) در ایستگاه‌های کاشان و سمیروم و بخش شرقی در ایستگاه‌های ناین و خور-بیابانک در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه‌های کاشان و سمیروم با کم‌برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را تخمین زده‌اند. تحلیل اختلاف بارش بین داده‌های ERA5-Land و مشاهدات ایستگاهی در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد که الگوهای مکانی مشخصی وجود دارد. در مناطق کوهستانی غرب و جنوب غرب استان (به‌ویژه ایستگاه داران و سمیروم) داده‌های بازکاوی تمایل به کم‌برآوردی دارند، درحالی‌که در مناطق خشک و بیابانی شرق و شمال شرق استان (ناین، خور-بیابانک و کاشان) بیش‌برآورد مشاهده می‌شود. بیشینه اختلاف در ماه‌های آوریل و جولای مشاهده شد (به ترتیب ۸ و ۴/۳۷ میلی‌متر)، درحالی‌که در ماه‌های اکتبر و آگوست اختلاف‌ها کمتر از ۱ میلی‌متر بود. این الگوهای مکانی با توپوگرافی و شرایط اقلیمی منطقه همخوانی دارد و نشان می‌دهد که دقت داده‌های ERA5-Land تحت تأثیر ناهمواری و موقعیت جغرافیایی قرار می‌گیرد.

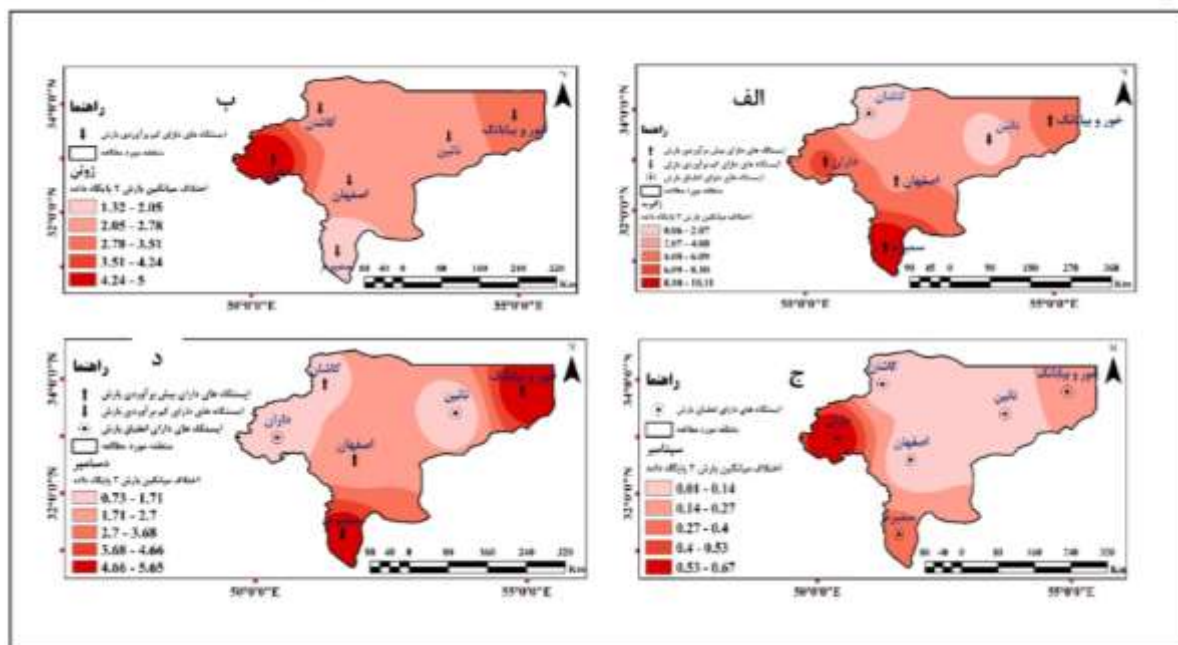


شکل ۱۱. نقشه‌های اختلاف میانگین بارش دو پایگاه داده در مقیاس ماهانه برای استان اصفهان: الف- ماه آوریل، ب- ماه جولای، ج- ماه اکتبر، د- ماه آگوست

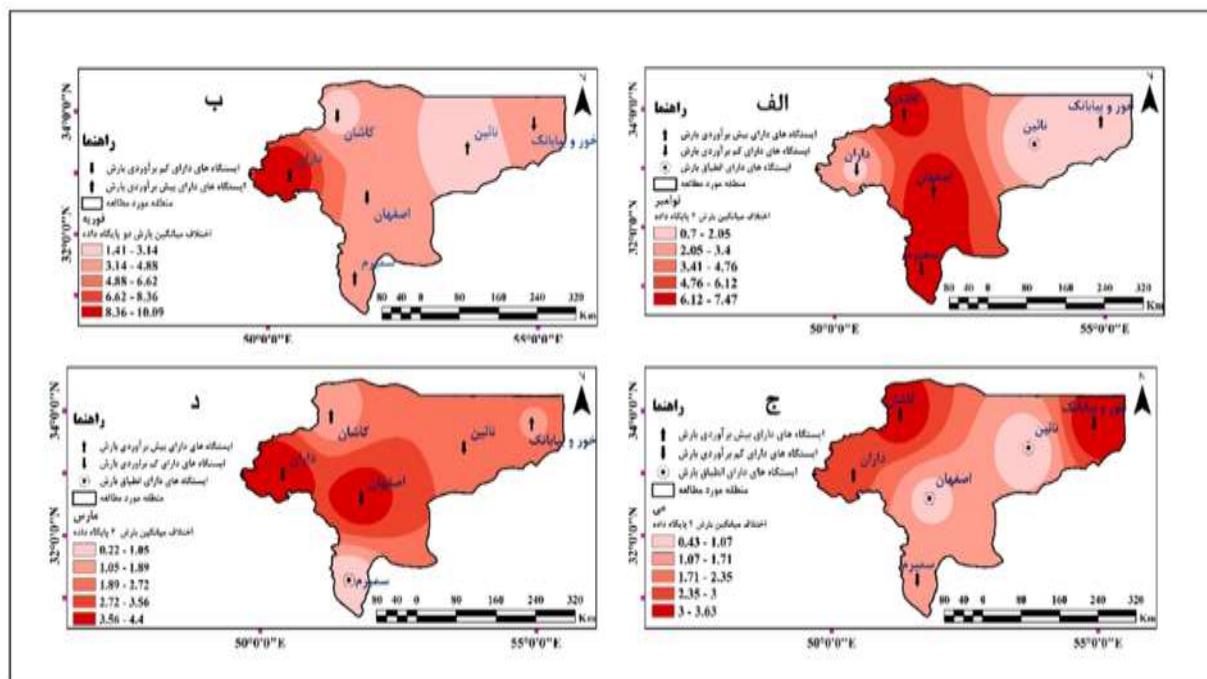
منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۴)

مطابق شکل (۱۲) الف- در ماه ژانویه حداکثر اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده در منطقه مورد مطالعه ۱۰ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش جنوبی در ایستگاه سمیروم و بخش شمالی در ایستگاه کاشان در منطقه مورد

مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه نایین با کم‌برآوردی و ایستگاه‌های سمیروم، اصفهان، داران و خور-بیابانک با بیش برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را تخمین زده‌اند. ب- در ماه ژوئن بیشینه اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده در استان اصفهان ۵ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش غربی در ایستگاه داران و بخش جنوبی در ایستگاه سمیروم در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکاوی در همه ۶ ایستگاه با کم‌برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را برآورد کرده است. ج- در ماه سپتامبر حداکثر اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده در منطقه مورد مطالعه ۰/۶۷ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش غربی در ایستگاه‌های داران و بخش شمالی در ایستگاه‌های کاشان، اصفهان و نایین در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. داده‌های بازکاوی در همه ایستگاه‌های استان اصفهان در ماه مذکور با داده‌های بارش دیدبانی منطقه مورد مطالعه انطباق داشته است. د- در ماه دسامبر حداکثر اختلاف داده‌های بارش در استان اصفهان برای ۲ پایگاه داده ۵/۵ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش (شرقی و جنوبی) در ایستگاه‌های خور-بیابانک و سمیروم و بخش (غربی و مرکزی) در ایستگاه‌های نایین و داران در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه سمیروم با کم‌برآوردی و ایستگاه‌های کاشان، اصفهان و خور-بیابانک بارش منطقه مورد مطالعه را تخمین زده‌اند. با توجه به داده‌های ماهانه، الگوهای مکانی مشخصی در اختلاف بارش مشاهده شد. به‌طور کلی، مناطق کوهستانی غرب و جنوب غرب استان (سمیروم و داران) تمایل به کم‌برآوردی و مناطق خشک و بیابانی شرق و شمال شرق استان (نایین، خور-بیابانک و کاشان) تمایل به بیش‌برآوردی دارند. بیشینه اختلاف‌ها در ماه‌های ژانویه و دسامبر مشاهده شد، درحالی‌که در ماه‌های ژوئن و سپتامبر اختلاف‌ها کمتر و همخوانی با مشاهدات بیشتر است. این الگوها با توپوگرافی و ویژگی‌های اقلیمی استان همخوانی داشته و نشان می‌دهد دقت داده‌های ERA5-Land تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی و ناهمواری قرار دا



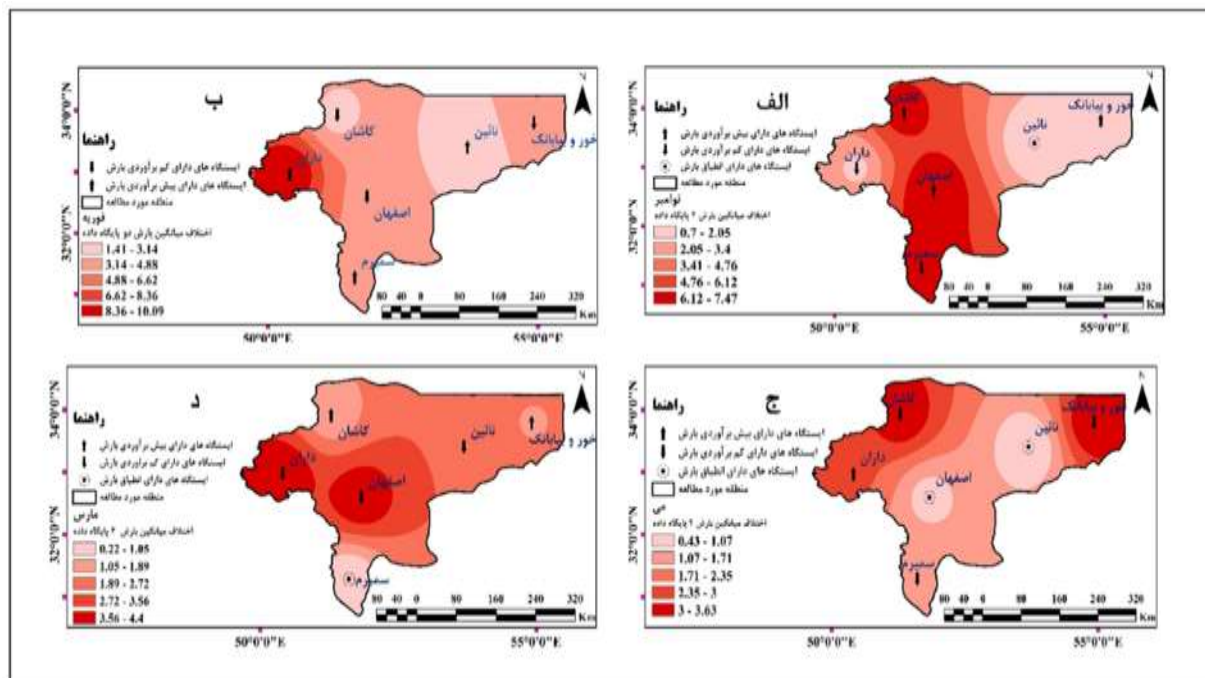
شکل ۱۲. نقشه‌های اختلاف میانگین بارش دو پایگاه داده در مقیاس ماهانه برای استان اصفهان: الف- ماه ژانویه، ب- ماه ژوئن، ج- ماه سپتامبر و د- ماه دسامبر



شکل ۱۳. نقشه‌های اختلاف میانگین بارش دو پایگاه داده در مقیاس ماهانه برای استان اصفهان: الف- ماه نوامبر، ب- ماه فوریه، ج- ماه می و د- ماه مارس  
 منبع: (نگارندگان، ۱۴۰۴)

بر اساس شکل (۱۳) الف- در ماه نوامبر حداکثر اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده در منطقه مورد مطالعه ۷/۴۷ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش (شمالی و جنوبی) در ایستگاه‌های کاشان، سمیروم و اصفهان و بخش شرقی در ایستگاه‌های نایین در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه‌های داران، سمیروم و داران با کم‌برآوردی و ایستگاه‌های اصفهان، کاشان و خور-بیابانک با بیش برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را تخمین زده‌اند. ب- در ماه فوریه بیشینه اختلاف داده‌های بارش ۲ پایگاه داده در استان اصفهان ۱۰ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش غربی در ایستگاه داران و بخش شمالی در ایستگاه کاشان در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه‌های اصفهان، کاشان و خور-بیابانک با کم‌برآوردی و در ایستگاه‌های نایین، سمیروم و داران با بیش برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را برآورد کرده است. ج- در ماه می حداکثر اختلاف داده‌های بارش برای ۲ پایگاه داده در منطقه مورد مطالعه ۳/۶۳ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش (شمالی و شرقی) در ایستگاه‌های خور-بیابانک و کاشان و بخش مرکزی در ایستگاه‌های اصفهان و نایین در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه‌های کاشان، سمیروم و خور-بیابانک با کم‌برآوردی و در ایستگاه داران با بیش برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را تخمین زده‌اند. د- در ماه مارس بیشینه اختلاف داده‌های بارش در ۲ پایگاه داده برای استان اصفهان ۴/۴ میلی‌متر است. بیشترین و کمترین اختلاف به ترتیب در بخش غربی در ایستگاه‌های اصفهان و داران و بخش جنوبی در ایستگاه سمیروم در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. داده‌های بازکاوی در ایستگاه‌های اصفهان، نایین و داران با کم‌برآوردی و در ایستگاه‌های کاشان و خور-بیابانک با بیش برآوردی بارش منطقه مورد مطالعه را تخمین زده‌اند. تحلیل اختلاف بارش در این ماه‌ها نشان می‌دهد که الگوهای مکانی مشخصی وجود دارد. به‌طور کلی، مناطق کوهستانی و مرتفع غرب و جنوب غرب استان (سمیروم و داران) تمایل به کم‌برآوردی و مناطق خشک و بیابانی شرق و شمال شرق استان (نایین، خور-بیابانک و کاشان) تمایل به

بیش‌برآوردی دارند. بیشینه اختلاف‌ها در ماه‌های می و نوامبر مشاهده شد، درحالی‌که در ماه‌های فوریه و مارس اختلاف‌ها کمتر و دقت داده‌ها با مشاهدات بالاتر بود. این الگوهای مکانی با توپوگرافی و شرایط اقلیمی استان همخوانی دارند و نشان می‌دهند که دقت داده‌های ERA5-Land تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی و ناهمواری قرار می‌گیرد.



شکل ۱۳. نقشه‌های اختلاف میانگین بارش دو پایگاه داده در مقیاس ماهانه برای استان اصفهان: الف- ماه نوامبر، ب- ماه فوریه، ج- ماه می و د- ماه مارس  
منبع: (نگارنگان، ۱۴۰۴)

یافته‌ها نشان داد که عملکرد ERA5-Land در پاییز و زمستان بهتر از تابستان است، که این موضوع با رژیم بارش ایران سازگار است. در ایران، متوسط بارش سالانه در مقیاس فصلی به‌طور تقریبی ۴۱ درصد در زمستان، ۳۱ درصد در پاییز، ۲۰ درصد در بهار و تنها ۸ درصد در تابستان رخ می‌دهد. بنابراین، داده‌های بازکاوی در فصولی که بخش عمده بارش سالانه اتفاق می‌افتد (پاییز و زمستان) عملکرد بهتری دارند. این امر به دلیل ماهیت بارش‌های گسترده ناشی از سامانه‌های مدیترانه‌ای در فصول سرد است که مدل‌های بازکاوی توان بازنمایی بهتری از آن دارند. در مقابل، بارش‌های تابستانی در ایران اغلب به‌صورت همرفتی و موضعی در مناطق مرتفع رخ می‌دهند که بازنمایی آن‌ها برای داده‌های بازکاوی با وجود رزولوشن بالا همچنان دشوار است. علاوه بر این، نقش توپوگرافی نیز پررنگ است؛ به‌گونه‌ای که در مناطق مرتفع داده‌های بازکاوی تمایل به کم‌برآوردی و در نواحی بیابانی به بیش‌برآوردی دارند. بنابراین، تفاوت عملکرد فصلی ERA5-Land همسو با ماهیت اقلیم و ویژگی‌های جغرافیایی ایران است. همچنین یافته‌ها نشان دادند که در بخش‌های کوهستانی واقع در غرب و جنوب منطقه، به‌ویژه در ایستگاه سمیرم، دقت برآورد بارش نسبت به مناطق کم‌ارتفاع و بیابانی در شرق و شمال منطقه، مانند ایستگاه‌های خور-بیابانک و کاشان، پایین‌تر بوده است؛ بیشینه اختلاف میانگین بارش ۲ پایگاه داده در ماه‌های ژانویه و فوریه به ترتیب در ایستگاه‌های سمیرم و داران در بخش‌های جنوبی و غربی منطقه رخ داده است که دارای بالاترین ارتفاع در منطقه مورد مطالعه هستند.

متغیر بارش نقش بسیار مهم و کلیدی در زندگی موجودات زنده و بقای آن‌ها ایفا می‌کند. برای درک بیشتر و ارزیابی مسائل مربوط به این پارامتر جوی به داده‌های با دقت بالا و قابل اعتماد نیاز است. با توجه به محدودیت‌های متعدد در زمینه احداث و نگهداری ایستگاه‌های ثابت زمینی وجود دارد، نیاز به پایگاه داده‌های مناسب از منابع قوی بسیار احساس می‌شود؛ یکی از این منابع داده‌های بازکاوی هستند که در صورت ارزیابی دقت عملکردشان می‌توانند در محاسبات مورد استفاده قرار گیرند.

### نتیجه گیری

بر اساس پژوهش انجام شده در منطقه استان اصفهان در کشور ایران، در دوره ۲۰۰۴-۲۰۲۳ در زمینه ارزیابی توانایی پایگاه‌های بازکاوی ERA5-Land برای تخمین بارش در مقیاس زمانی ماهانه، بر اساس صحت‌سنجی با استفاده از نمودار تیلور، نتایج نشان دادند که داده‌های بارش پایگاه مذکور به صورت مستقیم (خام) توانایی برآورد بارش منطقه مورد مطالعه را ندارد، ولی بعد از انجام تصحیح بایاس با روش نگاشت چارکی (Quantile Mapping)، تخمین بسیار مناسبی از بارش استان اصفهان را با حداکثر اختلاف ۱۰ میلی‌متر در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی در مقیاس ماهانه انجام می‌دهد؛ میانگین RMSE کل استان اصفهان برای داده‌های ERA5-Land قبل از تصحیح بایاس برابر با ۲۲ میلی‌متر و پس از اعمال تصحیح بایاس به روش نگاشت چارکی به ۱۱ میلی‌متر کاهش یافته است، که نشان‌دهنده بهبود قابل توجه دقت برآورد بارش در مقیاس ماهانه است. نتایج حاکی از آن است که بهترین عملکرد پایگاه ERA5-Land در فصول زمستان و پاییز است و همچنین در ماه سپتامبر در همه ۶ ایستگاه منطقه مورد مطالعه انطباق کامل بین داده‌های ایستگاهی و بازکاوی در دوره ۲۰ ساله وجود داشته است، بیشترین اختلاف میانگین بارش ماهانه در دوره ۲۰ ساله در بین ۲ پایگاه داده در ماه ژانویه و فوریه وجود داشته است. با توجه به محاسبات صورت گرفته، از لحاظ مکانی بیشینه و کمینه اختلاف داده‌های بارش بین ۲ پایگاه داده، به ترتیب در غرب و شمال منطقه مورد مطالعه رؤیت شده است؛ بیش‌برآوردی در مناطق کم‌ارتفاع و کم‌برآوردی در ارتفاعات مشاهده شد که با توپوگرافی منطقه همخوانی دارد. این مطالعه با تأکید بر ارزیابی هم‌زمان مکانی و زمانی، استفاده از داده‌های ERA5-Land با تفکیک بالای مکانی و اعمال تصحیح QM، نوآوری قابل توجهی نسبت به مطالعات پیشین ارائه می‌دهد. نتایج تحقیق حاضر با مطالعه انجام شده توسط جیائو و همکاران (۲۰۲۱) از لحاظ تأیید دقت بالای محصول بارشی پایگاه بازکاوی ERA5-Land همسو است. همچنین به دلیل تأیید دقت بالای تخمین بارش در مقیاس ماهانه، پایگاه بازکاوی ERA5-Land در طولانی‌مدت با پژوهش انجام شده توسط حیدری و همکاران (۱۴۰۳) همخوانی مطلوبی دارد. نتایج این مطالعه با نتایج تحقیق بهرامی و دارند (۱۴۰۴) از بابت اینکه در کشور ایران در کل ماه‌های سال پایگاه بازکاوی ERA5-Land برون‌داد بارش با ضریب همبستگی بالای ۰/۹ در مقایسه با داده‌های ایستگاهی دارد در یک راستا نیست. و نیز نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پس از اعمال تصحیح اریبی، داده‌های بارش پایگاه بازکاوی ERA5-Land در مقیاس ماهانه می‌توانند به عنوان جایگزینی مناسب برای نقاط فاقد ایستگاه بارش مورد استفاده قرار گیرند، که این یافته با نتایج مطالعه عزیزی‌مبصر و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. نتایج این مطالعه با یافته‌های فرخ‌نیا و همکاران (۱۴۰۳) در زمینه اینکه، محصولات بارشی پایگاه بازکاوی ERA5-Land دقت تخمین بالایی در ماه‌های پربارش سال نسبت به دوره خشک سال دارد همسو است.

**حامی مالی**

این مقاله حامی مالی ندارد.

**سهم نویسندگان**

نویسندگان در انجام این پژوهش سهم برابر دارند.

**تضاد منافع**

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

**تقدیر و تشکر**

بنا به اظهار نویسنده مسئول، از مسئولین انتشار مقاله قدردانی می‌شود.

**منابع**

- (۱) آقامیری، حمیده سادات و رحمانی، بیژن (۱۳۹۷). تأثیر مهاجرت روستایی در امنیت غذایی با تأکید بر منابع آب مطالعه موردی: روستاهای شهرستان خوانسار استان اصفهان. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، ۱۶(۵۹)، ۷۶-۵۶.  
[https://mag.iga.ir/article\\_24608.html](https://mag.iga.ir/article_24608.html)
- (۲) احمدی، محمود و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۸). پایش روند دمای ماهیانه ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده مرکز پیش‌بینی میان‌مدت هواسپهر اروپایی. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، ۱۷(۶۰)، ۸۶-۱۰۴.  
[https://mag.iga.ir/article\\_247710.html](https://mag.iga.ir/article_247710.html)
- (۳) احمدی، محمود؛ نصرتی، کاظم و سلکی، هیوا (۱۳۹۲). خشکسالی و ارتباط آن با رطوبت خاک. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، ۱۱(۳۸)، ۹۲-۷۷.  
[https://mag.iga.ir/article\\_705203.html](https://mag.iga.ir/article_705203.html)
- (۴) باقری، مهرداد؛ مختاری هشی، حسین؛ گندمکار، امیر و خادم‌الحسینی، احمد (۱۴۰۲). شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر بحران آب در استان اصفهان. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، ۲۱(۷۷)، ۱۳-۲۹.  
<https://dor.isc.ac/dor/http://dor.net/dor/%2020.1001.1.27833739.1402.21.77.2.5>  
بر روی ایران. مجله ژئوفیزیک ERA-5 بهرامی، اسرین و دارند، محمد (۱۴۰۴). ارزیابی دقت زمانی - مکانی برآورد بارش پایگاه داده ایران، ۱۹(۱)، ۲۷-۴۶.  
<https://doi.org/10.30499/ijg.2024.455625.1599>
- (۵) حمیدیان پور، محسن و شجاع، فائزه (۱۴۰۱). مقدمه‌ای بر روش‌ها و شگردهای مدل‌سازی اقلیم و تغییر اقلیم. چاپ اول. سیستان و بلوچستان: انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- (۶) حجازی‌زاده، زهرا و پژوه، فرشاد (۱۴۰۱). واکاوی رابطه الگوهای هم‌دید با میزان ذرات معلق آلاینده فراگیر در استان تهران. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، ۱۵(۵۳)، ۲۱-۳۶.  
[https://mag.iga.ir/article\\_254292.html](https://mag.iga.ir/article_254292.html)
- (۷) حیدری، سوسن؛ کریمی، مصطفی و بیرانوند، آذر (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 در تخمین بارش ایران و واکاوی فضایی رژیم بارشی کشور. پژوهش‌های دانش زمین، ۱۵(۲)، ۱-۲۴.  
<https://doi.org/10.48308/esrj.2024.104225>
- (۸) سیف، عبدالله و بیرانوند، حجت‌اله (۱۴۰۳). بازسازی برف‌مزه‌های دائمی کواترنر پایانی در ارتفاعات گرین در زاگرس ایران. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، ۲۲(۸۰)، ۱۵۱-۱۷۱.  
<https://doi.org/10.22034/iga.2024.712873>
- (۹) صلاحی، برومند و شاهی، علی (۱۴۰۴). ارزیابی عدم قطعیت عمق برف بازتحلیل شده در شمال غرب ایران با استفاده از ERA5-Land و MERRA-2 جغرافیا و مخاطرات محیطی.  
<https://doi.org/10.22067/geoe.2025.95012.1604>

- ۱۰) عزیزی مبصر، جوانشیر؛ رسولزاده، علی؛ رحمتی، اکبر؛ شایقی، افشین و باختر، آیدین (۱۳۹۹). ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده Era-5 در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۱(۱)، ۲۹۳۷-۲۹۵۱.  
<https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.302176.668600>
- ۱۱) فرخ‌نیا، اشکان؛ انوری، صدیقه و نجفی، محمدسعید (۱۴۰۳). ارزیابی دقت پایگاه‌های اطلاعات ماهواره‌ای و بازتحلیلی بارش در ایران با تمرکز بر پایگاه‌های با تفکیک مکانی بالا. تحقیقات منابع آب ایران، ۲۰(۱)، ۶۸-۸۹.  
<https://doi.org/10.22034/iwrr.2024.442656.2741>
- ۱۲) کاظمی آذر، فراهم؛ خلیلی، کیوان؛ رضایی، حسین و میرعباسی نجف‌آبادی، رسول (۱۴۰۴). ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیلی ERA5 و ERA5-Land در تخمین بارش ماهانه حوضه آبریز بالادست سد زاینده‌رود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۹(۱)، ۷۵-۸۷.  
[https://idj.iaid.ir/article\\_213824.html](https://idj.iaid.ir/article_213824.html)
- تجلی مجیدی کهرودی، فائزه سادات؛ فرایلو، مریم و ثابت‌قدم، سیده سمانه (۱۴۰۳). ارزیابی عملکرد بانک داده‌های بازتحلیل ERA5 و MERRA2 در تخمین میزان عمق برف در شمال غرب ایران. فیزیک زمین و فضا، ۵۰(۱)، ۲۶۳-۲۵۱.  
<https://doi.org/10.22059/jesphys.2023.358474.1007521>
- ۱۴) محمدی، مجتبی و فروزان فرد، معصومه (۱۴۰۳). ارزیابی داده‌های بازتحلیل ERA5 به‌منظور تحلیل روند پارامترهای اقلیم در سیستان و بلوچستان، ایران. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۵(۱۹)، ۳۷-۵۴.  
<https://doi.org/10.30488/ccr.2024.458748.1218>
- ۱۵) مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۱). آب و هوای ایران، چاپ اول، مشهد: انتشارات شریعه توس
- ۱۶) ملک‌زاده، فرخ؛ رامشت، محمدحسین و شاهزیدی، سمیه‌السادات (۱۴۰۰). تحلیل هنجاری ویژگی‌های بارشی و منابع آبی ایران در متون جغرافیدانان ایران. جغرافیا (نشریه انجمن جغرافیایی ایران)، ۱۹(۶۸)، ۳۸-۵۰.  
<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.27172996.1400.19.1.3.5>
- ۱۷) نیک‌اندیش، نسرين (۱۴۰۴). تحلیل تغییرات مکانی و زمانی بارش فرین استان اصفهان. مجله جغرافیا و توسعه، ۲۳(۸۱)، ۱۹۴-۱۷۵.  
<https://doi.org/10.22111/gdij.2025.49837.3679>
- 18) Aghamiri, H. S. & Rahmani, B. (2019). The Impact of Rural Migration on Food Security with Emphasis on Water Resources Case study: villages of Khansar city of Isfahan province. *Geography*, 16(59), 56-76. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_246083.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_246083.html?lang=en)
- 19) Ahmadi, M. & Dadashi Rudbari, A. A. (2019). Monitoring Iran's monthly temperature trend based on the output of the European Medium Term Forecast Center. *Geography*, 17(60), 86-104. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_247710.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_247710.html?lang=en)
- 20) ahmadi, M., nosrati, K. & solki, H. (2013). Drought and its relationship with soil moisture. *Geography*, 11(38), 77-92. [Persian] [https://mag.iga.ir/article\\_705203.html?lang=en](https://mag.iga.ir/article_705203.html?lang=en)
- 21) Azizimobaser, J., Rasoulzadeh, A., rahmati, A., shayeghi, A. & Bakhtar, A. (2021). Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study., Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(11), 2937-2951. [Persian] <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.302176.668600>
- 22) Bagheri, M., Mokhtari Hashi, H., Gandomkar, A. & khademolhoseiny, A. (2023). Identification and Ranking of the Factors Affecting the Water Crisis in Isfahan Province. *Geography*, 21(77), 13-29. [Persian] <https://dor.isc.ac/dor/http://dor.net/dor/%2020.1001.1.27833739.1402.21.77.2.5>
- 23) Bahrami, A. & Darand, M. (2025). Evaluation of spatio-temporal accuracy of precipitation estimation of ERA-5 database over Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 19(1), 27-46. [Persian] <https://doi.org/10.30499/ijg.2024.455625.1599>
- 24) Dinku, T. (2019). Challenges with availability and quality of climate data in Africa. *Extreme hydrology and climate variability*, 71-80. Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00007-5>
- 25) Farokhnia, A., Anvari, S. & Najafi, M. S. (2024). Assessing the Accuracy of Satellite and Reanalysis Precipitation in Iran, Focusing on Datasets with High Spatial Resolution. *Iran-Water Resources Research*, 20(1), 68-89. [Persian] <https://doi.org/10.22034/iwrr.2024.442656.2741>
- 26) Gleixner, S., Demissie, T. & Diro, G. T. (2020). Did ERA5 Improve Temperature and Precipitation Reanalysis over East Africa? *Atmosphere*, 11(9), 996.  
<https://doi.org/10.3390/atmos11090996>

- 27) Hamidianpour, M. & Shoja, F. (2022). Introduction to Methods and Techniques of Climate Modeling and Climate Change. First Edition. Sistan and Baluchestan: Sistan and Baluchestan University Press. [Persian]
- 28) Hejazizadeh, Z. & Pagooh, F. (2022). Analyzing the relationship between synoptic patterns and the amount of pervasive pollutant suspended particles in Tehran province. *Geography*, 15(53), 21-36. [Persian], [https://mag.iga.ir/article\\_254292.html](https://mag.iga.ir/article_254292.html)
- 29) Heidari, S., Karimi, M. & Beyranvand, A. (2024). Evaluation the performance of ERA5 reanalysis data in Iran's rainfall estimation and spatial analysis of the country's precipitation regime. *Researches in Earth Sciences*, 15(2), 1-24. [Persian] <https://doi.org/10.48308/esrj.2024.104225>
- 30) Jiao, D., Xu, N., Yang, F. & Xu, K. (2021). Evaluation of spatial-temporal variation performance of ERA5 precipitation data in China. *Scientific Reports*, 11(1), 17956. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97432-y>
- 31) kazemiazar, F., Rezaie, H. & Mirabbasi, R. (2025). Performance evaluation of monthly ERA5 and ERA5-Land Reanalysis precipitation data in the upstream of the Zayandehroud reservoir basin. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 19(1), 75-87. [Persian] [https://idj.iaid.ir/article\\_213824.html?lang=en](https://idj.iaid.ir/article_213824.html?lang=en)
- 32) Lanzante, J. R., Adams- Smith, D., Dixon, K. W., Nath, M. & Whitlock, C. E. (2020). Evaluation of some distributional downscaling methods as applied to daily maximum temperature with emphasis on extremes. *International Journal of Climatology*, 40(3), 1571-1585. <https://doi.org/10.1002/joc.6288>
- 33) Li, Q., Jiang, Y., Wei, L. & Zhu, J. (2025). Comparison of ERA5-Land and CMPAS reanalysis data for the regional assessment of precipitation in Chongqing, China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 137(16), Article 16. <https://doi.org/10.1007/s00703-025-01062-2>
- 34) Majidi Karhroudi, F. S., Gharaylou, M. & Sabetghadam, S. S. (2024). Evaluation of the performance of the ERA5 and MERRA2 reanalysis datasets in estimating snow depth over Northwestern Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(1), 251-263. [Persian] <https://doi.org/10.22059/jesphys.2023.358474.1007521>
- 35) Malekzadeh, A., Ramesht, M. H. & Shahzidi, S. S. (2021). Normative analysis of precipitation characteristics and water resources of Iran in the texts of Iranian geographers (research article). *Geography*, 19(68), 38-50. [Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.27172996.1400.19.1.3.5>
- 36) Masoudian, S. A. (2012). *The Climate of Iran*, First Edition, Mashhad: Sharia Toos Publications. [Persian]
- 37) Mohammadi, M. & Forozanfar, M. (2024). Evaluating ERA5 Reanalysis for Climate Trend Analysis in Sistan and Baluchestan, Iran. *Climate Change Research*, 5(19), 37-54. [Persian] <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.458748.1218>
- 38) Morales-Velázquez, M. I., Herrera, G. D. S., Aparicio, J., Rafieeiniasab, A. & Lobato-Sánchez, R. (2021). Evaluating reanalysis and satellite-based precipitation at regional scale: A case study in southern Mexico. *Atmósfera*, 34(2), 189-206. <https://doi.org/10.20937/ATM.52780>
- 39) Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C. & Thépaut, J.-N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349–4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- 40) Nasr Isfahani, M. & Ghasemi, A. R. (2023). The Investigation of the Performance of Reanalyzed Global Forecast System (GFS (Data for Identifying evening thunderstorms in Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(37), 39-56. [Persian] <https://doi.org/10.22111/jneh.2023.42534.1906>
- 42) Nikandish, N. (2025). Analysis of spatial and temporal changes of extreme precipitation in Isfahan province. *Geography and Development*, [Persian] <https://doi.org/10.22111/gdj.2025.49837.3679>
- 43) Nuñez-Ibarra, D. A., Zambrano-Bigiarini, M. & Galleguillos, M. (2025). From grid to ground: How well do gridded products represent soil moisture dynamics in natural ecosystems during precipitation events? *EGU sphere*. Advance online preprint. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-2606>
- 44) Panofsky, H. A. & Brier, G. W. (1968). *Some applications of statistics to meteorology*, Pennsylvania State University.

- 45) Salahi, B. & Shahi, A. (2025). Assessment of Uncertainty of Reanalyzed Snow Depth in Northwestern Iran Using Era5-Land and Merra-2. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, [Persian], <https://doi.org/10.22067/geoeh.2025.95012.1604>
- 46) Seif, A. & Beranvand, H. (2024). ELA Reconstruction of late Quaternary in the Green Mountain in Zagros, Iran. *Geography*, 22(80), 151-171. [Persian] <https://doi.org/10.22034/iga.2024.712873>
- 47) Tarek, M., Brissette, F. P. & Arsenault, R. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5), 2527-2544. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020>
- 48) Taylor, K. E. (2001). Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 106(D7), 7183-7192. <https://doi.org/10.1029/2000JD900719>
- 49) Varlas, G., Stefanidis, K., Papaioannou, G., Panagopoulos, Y., Pytharoulis, I., Katsafados, P., Papadopoulos, A. & Dimitriou, E. (2022). Unravelling Precipitation Trends in Greece since 1950s Using ERA5 Climate Reanalysis Data. *Climate*, 10(2), 12. <https://doi.org/10.3390/cli10020012>
- 50) Yilmaz, M. (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of the Total Environment*, 856, 159182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159182>