



Identification of Precipitation Changes in the Caspian Sea Basin and its Relationship with Remote Linkage Patterns

Emad ESteki

PhD student in Climatology, Department of Geography, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Amir Gandomkar ¹

Associate Professor, Department of Geography, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Alireza Abbasi

Assistant Professor, Department of Geography, Na.C., Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Parviz Rezaei

Associate Professor, Department of Geography, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

Abstract

Precipitation is one of the most important and variable climatic elements, exhibiting more complex behavior compared to other climatic factors. This element shows significant temporal and spatial variability. The aim of this research is to examine the trend of precipitation changes in the Caspian Sea basin and its relationship with teleconnection patterns. In this context, monthly precipitation data from the ERA-Interim dataset, with a resolution of $2^{\circ} \times 2^{\circ}$, covering the statistical period from 1970 to 2023, were utilized. Given the non-normality of the data, the non-parametric Mann-Kendall test was employed to calculate the trend. The precipitation slope was also determined using the Sen's slope estimator. The results indicated an increasing trend in precipitation during the months of January, February, March, November, December, and to some extent in May and October, while a decreasing trend was observed in other months. The increasing trend in precipitation was most pronounced in February, while the decreasing trend was most significant in June and August. The correlation between precipitation and teleconnection patterns showed that, temporally, correlations were observed in January, February, March, June, August, September, October, and December. The EA.WR pattern exhibited the highest correlation with the basin's precipitation compared to other patterns, followed by the TNA, AMO, and AMOS patterns. Overall, February showed the highest correlation between teleconnection patterns and precipitation, and in terms of pattern type, the EA.WR pattern had the strongest correlation with the basin's precipitation.

Keywords: Precipitation, Sen's slope, Mann-Kendall, Caspian Sea

¹.Corresponding Author: aagandomkar@iau.ac.ir



Extended Abstract

Introduction

Precipitation, as one of the important climatic elements, has certain complexities, and usually precipitation at a point on different time scales does not have simple and symmetrical statistical distributions. A decrease or increase in precipitation affects many other climatic and environmental phenomena such as runoff, flooding, air temperature, humidity, and also many human activities. therefore, changes in precipitation can be one of the signs of climate change. Climate change can also be affected by remote sensing patterns. teleconnection is one of the climate features on a global scale. The Caspian Sea, as the largest closed lake in the world, is of great international importance and plays a significant role in the fields of shipping, commerce, and the national economy, and has a great impact on the climate and climate of the region. This sea has very different climatic conditions due to its climate variability, evaporation rates, and freshwater inflow. Given the importance of this sea, the present study aims to investigate the trend of precipitation changes in the Caspian Sea basin and its relationship with teleconnection patterns.

Data and Method

In this study, monthly precipitation data analyzed by ERAInterim with a resolution of 2 x 2 during the statistical period 1970-2023 were used. The normality of the data was assessed using the Anderson-Darling test. Given the non-normality of the data, the non-parametric Mann-Kendall test was used to calculate the trend. The Sen slope test was also used to obtain the precipitation slope. Given the large volume of precipitation trend and slope values, this information was transferred to Arc Gis software and presented as zoning maps.

Results and Discussion

The study of the precipitation trend shows that an increasing trend in precipitation has been observed in the months of January, February, March, November, December and to a very small extent in May and October; but in other months only a decreasing trend in precipitation has occurred. In the meantime, an increase in precipitation has been observed in February more than in the other mentioned months. In the months when the increase in precipitation has occurred, it has been observed more in the northern parts of the basin located in Russia. The decreasing trends in precipitation have also occurred in the months of June and August more than in other months. It is noteworthy that the decreasing trends in precipitation have also been observed in the north of the basin located in Russia more than in other parts of the basin. The results of the study of the precipitation slope showed that precipitation decreased in the months of June, July and August, and the decrease was greater in the northern parts of the basin. A slight increase in precipitation has also been observed in the cold months of the year, especially April, November and December. The correlation of precipitation and teleconnection patterns indicates that temporal correlations have been observed between precipitation and teleconnection patterns in January, February, March, June, August, September, October, and December. Among them, more correlations have occurred in February, March, June, and December than in other months. In April, May,



Received: 15/05/2025

Accepted: 21/07/2025

July, and November, none of the teleconnection patterns has been correlated with basin precipitation. Among teleconnection patterns, the EA.WR pattern has been correlated with basin precipitation more than other patterns. After that, the TNA, AMO, and AMOS patterns are located. The NAO, SOI, NOI, AO, and NCP patterns have also not been correlated with basin precipitation in any month.

Conclusion

Global warming, which is occurring in almost most parts of the world, has also occurred in the Caspian Sea basin, and evidence of global warming has been observed in this basin. Another evidence of global warming in this basin is the decrease in precipitation in this basin, which is clearly evident in the precipitation trend zoning maps. As can be seen in these maps, precipitation has a decreasing trend in most months, and very slight increasing trends have been observed in some months. In general, in the precipitation trend zoning maps, the decreasing trend zone is larger than the increasing trend. In terms of time, the highest correlation between the teleconnection patterns and precipitation was observed in February, and in terms of pattern type, the EA.WR pattern also had the highest correlation with the basin precipitation. According to the coefficient of determination obtained in February and September, 58.4 and 51.1 percent of the basin precipitation changes are explained by the remote sensing patterns, which is the highest among the months of the year. The results of linear regression also indicate that the NCP pattern has been more influential than other patterns on the precipitation of the Caspian Sea basin. Understanding precipitation changes and their relationship with teleconnection patterns can be used to advance meteorological and agricultural management programs and operations.

References

1. Alavinia, Hassan and Zarei, Mehdi (2021). Analysis of climate change trends using extreme indices of long-term precipitation and temperature data in southeastern Iran. *Journal of Regional Planning*, 11(44), 16-1.
2. Azizian, Tahmineh, Asgari, Ahmad (2012). Study of the effect of AO index on Siberian high pressure and its possible effects on precipitation in the southern Caspian coastal region. *Marine Science and Technology Research*, 3(7), 13-27. (In Persian)
3. Ali-Mohammadi, Mehryar, Gholinejad, Arsalan, Najari-Kahnuj, Hadi, Mohammadi, Ali, Zadaghabadi, Ahmad. (2024). Investigation of atmospheric factors affecting fluctuations in the Caspian Sea water level from 1992 to 2022, *Climatological Research*, 58(58), 157-141. (In Persian)
4. Asgari, Ahmad and Rahimzadeh, Fatemeh (2006). Study of precipitation variability in recent decades in Iran, *Iranian Geographical Research*, 58, 67-80. (In Persian)
5. Branstator, G., (2002). Circumglobal teleconnections, the jet stream waveguide, and the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate*, v. 15(14), p. 1893-1910.
6. Branstator, G., (2002). Circumglobal teleconnections, the jet stream waveguide, and the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate*, v. 15(14), p. 1893-1910.
7. Boron, Ashraf, Zohorian Pardel, Manijeh, Lashkari, Hassan, Shakiba, Alireza, and Mohammadi, Zeinab (2025). Identification of heat waves in Khuzestan province and synoptic analysis of the role of Saudi high pressure in their creation, *New Ideas in The Geographical Sciences*, 8(3), 1-20. (In Persian)



Received: 15/05/2025

Accepted: 21/07/2025

8. Çağlar, F., Yetemen, O., Pan Chun, K., & Lutfi Sen, O. (2023). The merit of the North Sea-Caspian pattern in explaining climate variability in the EuroMediterranean region. *International Journal of Climatology*, 43(10).
9. Dostan, Reza (2018). Global and regional links of Iran, *Earth and Space Physics*, 44 (3), 640-625. (In Persian)
10. Eskandari, Roqiyeh, Esmaali Auri, Abazar, Mostafizadeh, Rauf and Choubeh, Sepideh (2014). Evaluation of temporal and spatial changes in extreme climatic indices of precipitation in the central part of Ardabil province. *Environmental Science Studies*, 9(1), 8133-8119. (In Persian)
11. Falahatpisheh, Iman, Yousefi, Yadollah and Roordeh, Hematollah (2013). The relationship between teleconnection indices and temperature, precipitation and wind anomalies in Mazandaran province in the second half of the year (October to March), *Climatological Research*, 2013(54), 133-148. (In Persian)
12. Farajzadeh, Manouchehr (2023). Analysis of the effects of climate change on river discharge, case study: Sheshpir River, *Journal of Geography and Environmental Planning*, 24(1), 17-32. (In Persian)
13. Fakhimi, Seuda, Zeinali, Batoul and Salahi, Boroumand. (2024). Forecasting the effects of climate change on precipitation in East Azerbaijan province, *Environmental Science Studies*, 9(4), 9576-9560. (In Persian)
14. Gandomkar, Amir and Khadem Al-Husseini, Ahmad (2009). Investigation of precipitation changes in Zabol, *Journal of Environmental Management*, 6, 65-77. (In Persian)
15. Ghodrati, Zeinab, Salahi, Boroumand and Saber, Mahnaz (2024). Evaluating the trend of changes in the frequency of convective precipitation days in northwest Iran using the Mann-Kendall and Sheeb-Sen methods, *Environmental Science Studies*, 9(4). 9589-9577. (In Persian)
16. Ghavidel-Rahimi Yousef, Farajzadeh Asl, Manouchehr and Hatami-Zarneh, Dariush (2016). The role of the effects of the North Sea-Caspian remote coupling pattern on the volatility of maximum temperatures in Iran, *Journal of Geography and Planning*, 20(56), 239-255. (In Persian)
17. Hejazizadeh, Zahra, Akbari, Mehri and Jamshidi-Aini, Zarrin (2024). Studying the effect of the teleconnection patterns of the North Atlantic Oscillation and ENSO on the precipitation of the southern coast of the Caspian Sea. *Applied Research in Geographical Sciences*, 24 (74), 37-24. (In Persian)
18. Heydari, Shahab, Salahi, Boroumand, Zeinali, Batoul and Pourghasemi, Elhameh (2024). Forecasting the precipitation of some stations in Lorestan province in the next two decades using the LARSWG model. *Environmental Sciences Studies*, 9(1), 7976-7963. (In Persian)
19. Kasiri, Maryam, Goudarzi, Masoud, Janbaz Ghobadi, Gholamreza and Motavali, Sadruddin (2019). Future outlook of temperature and precipitation changes on the southern coasts of the Caspian Sea, *Natural Geography*, 13(47), 51-35. (In Persian)
20. Kutiel, H., Y, Benarochy, (2001). North Sea-Caspian pattern (NCP) an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean. *Theoretical and Applied Climatology*, 69 (1), 39-67.



Received: 15/05/2025

Accepted: 21/07/2025

21. Kliengchuay, W., Mingkhwan, R., & Kiangkoo, N. (2024). Analyzing temperature, humidity, and precipitation trends in six regions of Thailand using innovative trend analysis. *Sci Rep*, 14, 7800.
22. Karagiannidis, A., F., Karacostas, T., Maheras, P. & Makrogiannis, T. (2012). Climatological aspects of extreme precipitation in Europe, related to midlatitude cyclonic systems. *Theor. Appl. Climatol.*, No. 107, 165-174.
23. Khamidov, S., Li, Z., Nasirova, M., Pulatov, B., & Pulatov, A. (2023). Assessment of temperature and precipitation trends in Kashkadarya, Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 365, 01005.
24. Khansalari, Sakineh, Mohammadi, Seyedeh Atefeh, Qasabi, Zahra and Salehi, Hassan (2024). Forecasting changes in the amount of precipitation with different return periods in Iran based on the Hamadi approach of ten CMIP6 models in the near future. *Geography and Environmental Hazards*, 13(3), 246-214. (In Persian)
25. Khoshakhlaq, Faramarz, Ghanbari, Nozar and Masoompour Samakoosh, Jafar (2008). Studying the effects of the North Atlantic Oscillation on the precipitation regime and temperature of the southern coasts of the Caspian Sea. *Geographical Research*, 66, (70/57). (In Persian)
26. Mohammadrezaei, M., Soltani, S., & Modarres, R. (2020). Evaluating the effect of oceanatmospheric indices on drought in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 219–230. (In Persian)
27. Mir Mousavi, Seyed Hossein, Doostkamian Mehdi and Sotoudeh, Fatemeh (2016). Study and analysis of the spatial pattern of intra-decadal changes in heavy and extremely heavy precipitation in Iran, *Geography and Regional Planning*, 27(3), 86-67. (In Persian)
28. Manavipour, Kobra, Zeinali, Batoul and Salahi, Boroumand (2024). Study of the relationship between heavy precipitation in western Iran and the Joi River, *Environmental Science Studies*, 9(2), 8332-8322. (In Persian)
29. Mirhashemi, Hamid and Hassanvand, Ziba (2022). The effect of remote sensing patterns on monthly precipitation at stations in Khorramabad and Kermanshah. *Water and Soil Modeling and Management*, 3(4), 133-151. (In Persian)
30. Nabi bidhendi, Gholamreza, Mohammadnejad, Shahin and Ebadati, Fatemeh (2008). *Concepts and consequences of climate change with a review of the Kyoto Protocol*, Tehran: Tehran University Press and Publishing Institute. (In Persian)
31. Plewa, K., Perz, A., & Wrzesin'ski, D. (2019). Links between Teleconnection Patterns and Water Level Regime of Selected Polish Lakes. *Water*, 11, 13-30.
32. Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., Piovano, E. L., & Depetris, P. J. (2006). Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quaternary International*, 158(1), 127-139.
33. Park, Ch., Choi, J., Son, S., Kim, D., Yeh, S., Kug, J. (2023). SubSeasonal Variability of ENSO Teleconnections in Western North America and Its Prediction Skill. *JGR: Atmospheres*, 128, 6.
34. Ratna, Satyaban B., Osborn, Timothy J., Joshi, Manoj., Yang, Bao., & Wang, J. (2019). Identifying teleconnections and multidecadal variability of East Asian surface temperature during the last millennium in CMIP5 simulations. *Clim. Past*, 15, 1825–1844.
35. Salnikov, V.; Talanov, Y.; Polyakova, S.; Assylbekova, A.; Kauazov, A.; Bultekov, N.; Musralinova, G.; Kissebayev, D.; & Beldeubayev, Y. (2023). An Assessment of



Received: 15/05/2025

Accepted: 21/07/2025

- the Present Trends in Temperature and Precipitation Extremes in Kazakhstan. *Climate*, 11, 33.
36. Sari Sarraf, Behrouz, Rostamzadeh, Hashem and Mohammadi, Nabi (2024). Precipitation forecasting using CMIP6 models until the end of the 21st century in northwest Iran. *Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 194-173. (In Persian)
 37. Sajed, Ali, Gandomkar, Amir, and Bagheri Badaghabadi, Mohsen (2024). Analysis of hydroclimatological changes in the Aji Chai River (Talkheh Rud) watershed, *New Ideas in The Geographical Sciences*, 8(3), 131-111. (In Persian)
 38. Saberi Loye, Fardin, Alijani, Bahloul and Khalidi, Shahriar (2019). Estimation of future climate changes in the southern coast of the Caspian Sea using a regional climate model. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 6(1), 111-138. (In Persian)
 39. Salahi, Boroumand and Behrouzi, Mahmoud (2022). Investigating the relationship between the North Sea-Caspian Sea teleconnection pattern and Iranian precipitation (Case study: Ardabil Province). *Earth Science Research*, 13(2), 1-20. (In Persian)
 40. Serrano, A., Mateos, V.L., & Garcia, J.A. (1999): Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. *phys. Chem. EARTH(B)*, 24(12), 85-90.
 41. Sari Sarraf, B., Rostamzadeh, H., & Mohammadi, N. (2014). Precipitation forecasting using CMIP6 models until the end of the 21st century in northwestern Iran. *Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 194-173. (In Persian)
 42. Satyaban B. Ratna, Timothy J. Osborn, Manoj Joshi, Bao Yang, and Jianglin Wang (2019). Identifying teleconnections and multidecadal variability of East Asian surface temperature during the last millennium in CMIP5 simulations, *Clim. Past*, 15, 1825–1844.
 43. Takeuchi, Z.X. Xu.K., & Ishidaira. H. (2003). Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation. *Journal of hydrology*. 279, 144-150.
 44. Tan, X., Gan, T.Y., & Shao, D. (2017). Effects of persistence and largescale climate anomalies on trends and change points in extreme precipitation of Canada. *Journal of Hydrology*, 550, 453-465
 45. Yatagai, A., Krishnamurti, T.N., Kumar, V., Mishra, A.K., & Simon, A. (2014). Use of APHRODITE Rain Gauge– Based Precipitation and TRMM 3B43 Products for Improving Asian Monsoon Seasonal Precipitation Forecasts by the Superensemble Method. *Journal of Climate*, 27(3): 1062-1069.
 46. Wallace JM, Gutzler DS. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109: 784–812.
 47. Wigley, T.M.L. (2000). Stabilization of CO₂ concentration levels. (In) *The Carbon Cycle*, (eds. T.M.L. Wigley and D.S. Schimel), Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 258–276.
 48. Zeinali, B., Jalali-Ansroudi, T. and Mostafavi, H. (2013). Investigating the impact of climate change on precipitation-induced nutrition in the Shiramin watershed. *Environmental Science Studies*, 8 (2), 6602-6589. (In Persian)



شناسایی تغییرات بارش حوضه دریای خزر و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور

عماد استکی

دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

امیر گندم کار^۱

دانشیار گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

علیرضا عباسی

استادیار گروه جغرافیا، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

پرویز رضایی

دانشیار گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

چکیده

بارش یکی از مهم‌ترین و متغیرترین عناصر اقلیمی است و نسبت به سایر عناصر اقلیمی دارای رفتار پیچیده‌تری است. این عنصر از تنوع زمانی و مکانی قابل توجهی برخوردار است. هدف از این پژوهش بررسی روند تغییرات بارش حوضه دریای خزر و ارتباط آن با الگوهای پیوندازدور می باشد. در این راستا از داده‌های بارش ماهانه واکاوی شده ERAInterim با توان تفکیک $2 * 2$ طی دوره آماری ۲۰۲۳-۱۹۷۰ استفاده شده است. با توجه به غیرنرمال بودن داده‌ها از آزمون ناپارامتری من - کندال برای محاسبه روند استفاده شد. شیب بارش نیز با استفاده از آزمون شیب سن به دست آمد. نتایج نشان داد در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر، دسامبر و تا حدودی مه و اکتبر روند افزایشی بارش مشاهده شده است ولی در سایر ماه‌ها تنها روند کاهشی بارش رخ داده است. روند افزایشی بارش در ماه فوریه و روند کاهشی بارش در ماه‌های ژوئن و آگوست بیش از سایر ماه‌ها رخ داده است. همبستگی بارش و الگوهای پیوندازدور نشان داد از نظر زمانی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، ژوئن، آگوست، سپتامبر، اکتبر و دسامبر بین بارش و الگوهای پیوندازدور همبستگی مشاهده شده است. الگوی EA.WR بیش از سایر الگوها با بارش حوضه همبستگی نشان داده است. پس از آن الگوهای AMO، TNA و AMOS قرار دارند. به طور کلی از نظر زمانی در ماه فوریه بیشترین همبستگی بین الگوهای پیوندازدور و بارش مشاهده شده و از نظر نوع الگو، الگوی EA.WR بیشترین همبستگی را با بارش حوضه داشته است.

کلمات کلیدی: بارش، شیب سن، من - کندال، دریای خزر



مقدمه

در طول قرن بیستم، آب‌وهوای کره زمین دستخوش تغییراتی شده است که از آن به تغییر اقلیم تعبیر می‌شود. تمایل به افزایش دما، تغییر در الگوی دما و بارش و افزایش فراوانی وقوع توفان‌های گردوغبار بعضی از آثار تغییر اقلیم است. بارش یکی از عناصر اقلیمی است که از تغییرپذیری زیادی برخوردار است. این تغییرات هم در بعد زمان و هم در بعد مکان در بسیاری از اقلیم ایران رخ می‌دهد (میرموسوی و همکاران، ۱۳۹۵). بارش به‌عنوان یکی از عناصر اقلیمی مهم از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار است و معمولاً بارش‌های یک نقطه در مقیاس‌های زمانی مختلف دارای توزیع‌های آماری ساده و متقارنی نیست (عسکری و رحیم‌زاده، ۱۳۸۵). کاهش یا افزایش میزان بارندگی بر بسیاری دیگر از پدیده‌های اقلیمی و محیطی مانند رواناب، سیلاب، دمای هوا، رطوبت و همچنین بر بسیاری از فعالیت‌های بشر اثر دارد (گندمکار و خادم‌الحسینی، ۱۳۸۸)؛ لذا تغییر در بارش می‌تواند یکی از نشانه‌های تغییر اقلیم باشد. از آنجا که هرگونه تغییر معنادار آماری در بارش می‌تواند پیامدهای منفی بر محیط‌زیست، منابع آبی، منابع طبیعی و سایر بخش‌ها داشته باشد لذا شناخت روند این تغییرات از اهمیت زیادی برخوردار است. تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر روی سری‌های زمانی مانند سری‌های زمانی مشاهداتی دما، بارش، جریان رودخانه و... در نقاط گوناگون جهان استفاده شده است. روش‌های آماری زیادی جهت تحلیل روند سری‌های زمانی وجود دارد که این روش‌ها به‌طورکلی در دودسته روش‌های پارامتری و ناپارامتری تقسیم‌بندی می‌شوند. برای سری‌هایی که توزیع آماری خاصی بر آنها قابل برآزش نیست، استفاده از روش‌های ناپارامتری یک مناسب‌تر است (تاکیوچی و ایشیداریا، ۲۰۰۳). با بررسی روند می‌توان به این نتیجه رسید که تغییرات رخ داده در منطقه در اثر پدیده تغییر اقلیم بوده و یا در نتیجه تغییرات موقتی و طبیعی روی داده است و فرایندی دائمی و همیشگی نمی‌باشند (علوی نیا و زارعی، ۱۴۰۰). تغییر اقلیم همچنین می‌تواند متأثر از الگوهای پیوندازدور باشد. پیوندازدور یکی از ویژگی‌های آب‌وهوایی در مقیاس جهانی است. طی این سازوکار، تغییرات رخ داده در الگوی دما یا فشار در منطقه‌ای از کره زمین از طریق سامانه‌های بزرگ‌مقیاس میانی به نواحی دیگر منتقل شده و به صورت‌های مختلف، شرایط جوی و آب‌وهوایی را متأثر می‌سازد (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۸۶). الگوهای پیوندازدور، در واقع ناشی از تغییرات بزرگ‌مقیاس در الگوهای امواج و رودبادهای جوی است که بر رژیم بارندگی‌ها و رگبارهای بارشی در سرزمین‌های وسیع اثر می‌گذارد (برانستاتور^۱، ۲۰۰۲).

پهنه‌های آبی یکی از اجزای مهم اقلیم می‌باشد. دریای خزر یک پهنه آبی ۴۲۰ هزار کیلومترمربعی است که بزرگترین دریاچه جهان محسوب می‌شود و اثرات زیادی بر روی آب و هوای شمال کشور به ویژه گیلان و مازندران دارد. محصور شدن دریای خزر در پهنه‌های آبی و کوه‌ها و قرار گرفتن در معرض آب‌وهوای خاص، این منطقه را مستعد پدیده‌های خطرناک کرده است. دریای خزر به‌عنوان بزرگ‌ترین دریاچه بسته جهان، از نظر بین‌المللی دارای اهمیت زیادی است و نقش شاخصی در زمینه‌های کشتیرانی، بازرگانی، اقتصاد ملی داشته و تأثیر زیادی بر آب‌وهوا و اقلیم منطقه می‌گذارد. این دریا به علت تنوع آب‌وهوایی، میزان تبخیر و درون‌ریز آب‌های شیرین، شرایط اقلیمی بسیار متفاوتی

¹ Takeuchi & Ishidaiaira

² Branstator



دارد. باتوجه به اهمیت این دریا لذا پژوهش حاضر باهدف بررسی روند تغییرات بارش در حوضه دریای خزر و ارتباط آن با الگوهای پیونداز دور شکل گرفته است.

پیشینه تحقیق

کاراجیانیدیس^۱ (۲۰۱۲)، روند بارش های فرین اروپا را بررسی و دریافتند که بارشهای فرین منطقه دارای روند کاهشی، افزایشی و بدون روند بوده و با افزایش ارتفاع تعداد آنها نیز افزایش می یابد. یاتاگانی^۲ و همکاران (۲۰۱۴: ۱۰۶۲) بارش های فصلی موسمی آسیا را پیش بینی و دریافتند پیش بینی حاصل از پایگاه داده آفرودیت نسبت به پایگاه TRMM از دقت بالاتری برخوردار می باشد. تان^۳ و همکاران (۲۰۱۷) اثرات تداوم و روند نابهنجاری های اقلیمی بزرگ مقیاس و بارش های حدی در کانادا را بررسی و دریافتند اثرات نابهنجاری های اقلیمی بر روندها در فصل زمستان معنی دار است. پلوا^۴ و همکاران (۲۰۱۹) اثر الگوهای پیونداز دور را بر رژیم سطح آب دریاچه های منتخب لهستان بررسی و نتیجه گرفتند ارتباط های مشاهده شده در الگوهای AO و NAO مهم تر و در الگوهای EA و SCAND ضعیف تر هستند. استیابان^۵ و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر الگوهای پیونداز دور را بر دمای سطح آسیای شرقی مطالعه و دریافتند رابطه دمای شرق آسیا با الگوی AMO توسط عوامل خارجی و رابطه با الگوی PDO متأثر از تغییر در الگوهای داخلی می باشد. محمدرضایی و همکاران (۲۰۲۰) اثر شاخص های اتمسفری اقیانوسی را بر خشکسالی ایران بررسی و نشان دادند AMO به عنوان مهمترین شاخص در مدل سازی رابطه بین شاخص های خشکسالی در ایران مورد استفاده قرار گیرد. پارک^۶ و همکاران (۲۰۲۳) تغییرپذیری فصلی الگوی انسو را در شمال غربی آمریکا بررسی کردند. نتایج شبیه سازی بهتر انسو در ارتباط با همرفت حاره ای و الگوهای پیونداز دور در مدل را برای بهبود پیش بینی طولانی مدت آب و هوای سطح شمال غربی آمریکا نشان داد. سالنیکو^۷ و همکاران (۲۰۲۳) روندهای دما و بارش در قزاقستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که قلمرو قزاقستان بر اساس تغییرات آب و هوایی به نیمه جنوب غربی و شمال شرقی تقسیم شده است. روندهای شدید در نیمه جنوب غربی بیشتر مشهود است، جایی که روند قابل توجهی هم برای افزایش دمای بسیار بالا در روز و هم در شب بسیار پایین شناسایی شده است. روند شاخص بارش بر خلاف دما در اکثر نقاط کشور از نظر آماری ناچیز است. خامیدو^۸ و همکاران (۲۰۲۳) روندهای دما و بارش در کشکادریا ازبکستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که میانگین دما از ۱۴/۵۳ درجه سانتیگراد طی سالهای ۲۰۰۶-۲۰۱۰ به ۱۴/۴۰ درجه سانتیگراد طی سالهای ۲۰۱۱-۲۰۱۵ کاهش یافته است. در سالهای ۲۰۲۱-۲۰۲۰، کمترین و حداکثر میزان بارش به ترتیب در سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۹ در منطقه ۱۱/۲۳ و ۵۵/۹۱ میلی متر بوده، در حالی که این میزان در دوره دوم (۱۳۹۰-۱۳۹۰)، ۱۱/۹۶ میلی متر و ۶۰/۲۸ میلی متر افزایش یافته

¹ Karagiannidis

² Yatagai

³ Tan

⁴ Plewa

⁵ Satyaban

⁶ Park

⁷ Salnikov

⁸ Khamidov



است. بارش از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۴۰ به شدت از SSP2.6 به SSP8.5 تغییر نخواهد کرد. کاگلار^۱ و همکاران (۲۰۲۳) الگوی دریای شمال خزر در تبیین تغییرات اقلیمی در منطقه اروپا - مدیترانه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که NCP به خوبی با جابجایی در دریای مدیترانه و با قدرت فرورفتگی در شرق آسیا ارتباط دارد. ناهنجاری‌های آب و هوایی نشان داده شده توسط NCP در مقایسه با سایر الگوهای پیوندازدور بیشتر و از نظر فضایی سازگارتر بود. NCP تغییرپذیری آب‌وهوا را در تمام فصول توضیح داد که مراکز الگوهای پیوندازدور را در شرق و غرب اوراسیا به هم مرتبط می‌کند. کلینگچوری^۲ و همکاران (۲۰۲۴) روند دما، رطوبت و بارش در شش منطقه تایلند را بررسی کردند. نتایج نشان داد که هر شش منطقه یک روند صعودی در شاخص دما و رطوبت داشتند. در حالی که رطوبت نسبی و بارش هر دو روند صعودی و نزولی را در مناطق مختلف نشان دادند. مناطق جنوبی و شرقی روند افزایشی معنی‌داری را در رطوبت نسبی و شاخص رطوبت در سطح معنی‌داری ۵ درصد نشان دادند. خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۷) اثرات نوسان اطلس شمالی را بر بارش و دمای سواحل جنوبی خزر با استفاده از آزمون همبستگی بررسی کردند. نتایج نشان داد مرحله مثبت شاخص نوسانات اطلس شمالی با دوره‌های افزایش بارش و کاهش دما و مرحله منفی شاخص با دوره‌های کاهش بارش و افزایش دما همزمان است. پیرنیا و همکاران (۱۳۹۴) تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره شمالی را بررسی کردند. نتایج نشان داد دما در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه گرگان افزایش و بارندگی هم در ایستگاه‌های مختلف، تغییرات متفاوتی را داشته است که این شرایط می‌تواند تاثیری از افزایش گازهای گلخانه‌ای در سطح محلی، منطقه‌ای و جهانی و همچنین فاصله از منبع عظیم آبی دریای خزر باشد. قویدل‌رحیمی و همکاران (۱۳۹۵)، نقش الگوهای پیوندازدور دریای شمال را در تغییرات بارش سواحل خزر بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها حاکی از وجود رابطه معنی‌دار و مستقیم بین پارامترهای مورد مطالعه می‌باشد. صابری و همکاران (۱۳۹۸) تغییرات آب و هوایی آینده در ساحل جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل آب‌وهوایی منطقه‌ای را برآورد کردند. نتایج نشان داد ضریب تغییرات بارش و دما برای کل حوضه خزر افزایشی است و در ناحیه جنوبی الگوی نامنظمی بر آستانه‌های بارش حاکم است. کثیری و همکاران (۱۳۹۹) چشم‌انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل SDSM توانایی لازم جهت شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش در منطقه مورد مطالعه را دارد. تغییرات بارش نشان داد که به جز ایستگاه گرگان در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه میزان بارش در همه ادوار آینده نسبت به دوره پایه کاهش پیدا خواهد کرد که میزان آن به طور متوسط در طول دوره آینده (۲۱۰۰۲۰۲۱) برابر با ۳/۶ درصد خواهد بود. بیشترین تغییرات آن نیز مربوط به نواحی مرکزی و سپس غربی منطقه مورد مطالعه است. همچنین سناریو RCP8.5 بیشترین تغییرات دما و بارش را نشان داد. صلاحی و بهروزی (۱۴۰۱) ارتباط الگوی پیوندازدور دریای شمال خزر با بارش‌های استان اردبیل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در مشگین‌شهر، همبستگی بارش و NCP در فوریه و دسامبر مثبت و معنادار بود، اما در مقیاس فصلی، ارتباطی بین آنها وجود نداشت. همبستگی بارش‌های اردبیل با شاخص NCP معنادار نبود، ولی در خلخال، بارش ماه‌های نوامبر و دسامبر با شاخص

¹ Çağlar

² Kliengchuay



NCP همبستگی مثبت داشت. بیشترین همبستگی بین بارش پاییزه پارس آباد و شاخص NCP بود که همبستگی آنها مثبت و در سطح ۹۹ درصد معنادار بود. زینالی و همکاران (۱۴۰۲) تاثیر تغییر اقلیم بر تغذیه ناشی از بارش در حوضه آبریز شیرامین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در کنار کاهش بارش، در آینده دما در حوضه آبریز شیرامین بر اساس دو سناریوی مورد بررسی افزایش خواهد یافت. فلاح‌پیشه و همکاران (۱۴۰۲) ارتباط شاخص‌های پیوندازدور با ناهنجاری‌های دمایی، بارشی و باد استان مازندران در نیمه دوم سال را بررسی کردند. نتایج نشان داد ارتباط چشمگیری بین تغییر فاز دوره‌ای شاخص AMO با پارامتر باد مازندران وجود دارد؛ به طوری که ضریب همبستگی بین این دو ۰/۷ می‌باشد. میرهاشمی و حسنونند (۱۴۰۲) تأثیر الگوهای پیوندازدور بر بارش‌های ماهانه ایستگاه‌های خرم آباد و کرمانشاه را بررسی کردند. نتایج نشان داد الگوهای اقیانوس اطلس عمدتاً در فصل زمستان موجب تغییر معنادار بارش شده‌اند در صورتی که الگوهای مبتنی بر اقیانوس آرام در فصل پاییز اثر معناداری بر بارش داشته‌اند. حجازی‌زاده و همکاران (۱۴۰۳) تاثیر الگوهای پیوندازدور نوسانات اطلس شمالی و انسو بر بارش سواحل جنوبی دریای خزر را بررسی کردند. نتایج بیانگر ارتباط معنی‌دار مثبت بین شاخص چند متغیره انسو و بارش ایستگاه‌ها در فصل پائیز و بعضاً اوایل زمستان است. معنوی پور و همکاران (۱۴۰۳) ارتباط بین بارش‌های سنگین غرب کشور ایران با رودخانه جوی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که این بارش‌ها در سه الگو عمده قابل بررسی هستند. منشا رودخانه‌های الگوی اول دریای سرخ، دریای عرب و خلیج فارس بوده و در الگوی دوم و سوم علاوه بر مسیر ذکر شده در الگوی اول دریای مدیترانه نیز نقش داشته است. در مجموع بین رخ داد بارش‌های سنگین در غرب ایران و رودخانه جوی یک ارتباط مستقیمی وجود دارد. قدرتی و همکاران (۱۴۰۳) روند تغییرات فراوانی روزهای بارش همرفتی در شمال غرب ایران را بررسی کردند. نتایج بیانگر روند افزایشی در ایستگاه‌های ماکو، ارومیه و مشکین‌شهر است. هم‌چنین فراوانی بارش در ایستگاه‌های بستان‌آباد، مهاباد، اردبیل و پارس‌آباد بدون‌روند بوده و در سایر ایستگاه‌ها روند کاهشی بدون معنی‌داری را نشان می‌دهد. اسکندری و همکاران (۱۴۰۳) تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های حدی اقلیمی بارندگی در بخش مرکزی استان اردبیل را بررسی کردند. براساس نتایج بدست آمده شاخص‌های حداکثر بارش ماهانه یک‌روزه، حداکثر بارش ماهانه ۵ روزه و مجموع بارش سالانه در روزهای بارانی در بخش مرکزی و غربی به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین تغییرات را نشان می‌دهند. شاخص‌های شدت بارش خام، مجموع بارش سالانه در ۹۵ درصد روزهای بارانی در بخش‌های شمالی، جنوبی و غربی استان اردبیل بیش‌ترین مقدار و در بخش شرقی منطقه کم‌ترین مقدار را نشان می‌دهد. شاخص‌های تعداد روزهای دارای بارش ۱۰ میلی‌متر یا بیش‌تر، تعداد روزهای دارای بارش ۲۰ میلی‌متر یا بیش‌تر و مجموع بارش سالانه در ۹۹ درصد روزهای بارانی به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار را در شرق و شمال‌غربی منطقه نشان داد. حیدری و همکاران (۱۴۰۳) تغییرات بارش برخی ایستگاه‌های استان لرستان در دو دهه آینده را بررسی کردند. نتایج نشان داد در ایستگاه الشتر از نظر میانگین بارش سالانه نیز ۶/۳ تا ۹ میلی‌متر افزایش خواهد داشت و ایستگاه الیگودرز نیز روند از نظر بارش نیز افزایش در حدود ۳۱ تا ۳۳/۲ میلی‌متر افزایش نشان داد. هم‌چنین در ایستگاه کوه‌دشت پارامتر بارش کاهش ۷۰ تا ۸۰/۳ میلی‌متر پیش‌بینی شده است. خان‌سالاری و همکاران (۱۴۰۳) تغییرات مقدار بارش فرین با دوره بازگشت‌های مختلف در ایران را پیش‌نگری کردند. مقایسه پیش‌نگری بارش‌های فرین با دوره تاریخی نشان داد که درصد تغییرات مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده

در سناریو SSP24.5، نسبت به دو سناریو دیگر بیشتر است. همچنین به سمت دوره بازگشت‌های طولانی‌تر درصد افزایش مقدار بارش پیش‌نگری شده افزایش و منطقه رخداد آن نیز گسترش می‌یابد. بیشترین افزایش مقدار بارش فرین پیش‌نگری شده (بیشتر از ۲۵ درصد) در سناریو خوش‌بینانه در ایستگاه‌های گرگان، بابلسر، بجنورد، اراک، اصفهان و زاهدان، در سناریو میانه در ایستگاه‌های گرگان، سندج، همدان، اراک، کاشان، اصفهان، شیراز، فسا، میناب، بوشهر، بندرعباس، بندرلنگه، ابوموسی و در سناریو بدبینانه در ایستگاه‌های بجنورد، بیرجند، اراک، کاشان و سمنان مشاهده شد. ساری‌صراف و همکاران (۱۴۰۳) بارش شمال‌غرب ایران را با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ پیش‌نگری کردند. نتایج حاصل از پیش‌نگری تغییرات بارش نیز نشان داد بارش بر اساس سناریوی SSP12.6 در هر سه دوره آینده و به‌طور متوسط تا پایان قرن ۲۱ به میزان ۲/۶ درصد افزایش پیدا خواهد کرد و در بیشتر ایستگاه‌ها در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار شده است؛ اما بر اساس سناریوهای SSP37.0 و SSP58.5 میزان بارش تا پایان قرن ۲۱ به ترتیب ۱۴/۵ و ۳/۶ درصد کاهش پیدا خواهد کرد که بیشترین میزان کاهش آن نیز مربوط به مناطق پربارش در جنوب‌غرب منطقه است. میزان کاهش در مناطق غربی و جنوب‌غربی در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار شده است. ساجد و همکاران (۱۴۰۴) روند تغییرات هیدروکلیماتولوژی حوضه آبریز رودخانه آجی‌چای (تلخه‌رود) را بررسی کردند. نتایج نشان داد جریان رودخانه آجی‌چای در مقیاس سالانه در ایستگاه و نیار روند نزولی با شیب تند داشته است. همچنین روند نزولی معناداری در داده‌های دبی در مقیاس فصلی در فصول پاییز، زمستان و بهار مشاهده شد. برون و همکاران (۱۴۰۴) امواج گرمایی استان خوزستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در اکثر قریب به اتفاق امواج گرمایی در لایه‌های زیرین ورد سپهر زبانه‌های چرخندی پاکستان و عربستان به عنوان مهمترین سامانه تاثیرگذار در انطباق با الگوی توپوگرافی منطقه (ارتفاعات زاگرس جنوبی) و الگوی چرخشی سامانه سبب فرارفت گرم دمای تابشی بیابان‌های گرم لوت و عربستان بر روی استان خوزستان بوده‌اند.

مبانی نظری

تغییر اقلیم:

آب‌وهوای زمین به‌طور طبیعی تغییر می‌کند و هر جزیی از این سیستم پیچیده، مقیاس زمانی متفاوتی را در بر می‌گیرد. اتمسفر در هر ساعت تغییر می‌کند و تغییرات جزیی آن قابل پیش‌بینی نیست. لایه‌های بالایی اقیانوس‌ها در طول چند فصل به حالت تعادل در می‌آید، در حالی که تغییرات در اعماق اقیانوس‌ها ممکن است قرن‌ها طول بکشد (نبی‌بیدهندی و همکاران، ۱۳۸۷). تغییر اقلیم به پدیده‌ای اطلاق می‌شود که سبب تغییر دما، بارش و یا فراسنج‌های دیگر جوی می‌شود، به طوری که اقلیم و سیستم‌های آب و هوایی تغییر کند (فخیمی و همکاران، ۱۴۰۳). تغییر اقلیم در مقیاس جهانی و در دراز مدت متاثر از عوامل مختلفی چون فعالیت‌های خورشیدی، آتشفشان‌ها، گازهای گلخانه‌ای اتمسفر و نهایتاً فعالیت‌های انسانی می‌باشد. این تغییر منجر به دگرگونی در وضع آب و هوا، تغییر مکانی و زمانی بارش و دما، جریان‌ات سطحی، تبخیر و غیره خواهد شد. بارش و دما دو عنصر اصلی در شناسایی اقلیم یک منطقه محسوب می‌شوند (فرج‌زاده، ۱۳۹۲). تغییر اقلیم یکی از معضلات کنونی جامعه بشری است و تهدید جدی برای سیاره زمین بشمار می‌آید. افزایش دمای کره زمین سبب تغییرات ژرف و وسیع در اقلیم سطح زمین می‌گردد و موجب بروز تغییراتی در زمان و مکان بارش



و طوفان ها می شود. با افزایش جمعیت و گسترش فعالیت های صنعتی و استفاده از سوخت های فسیلی، CO₂ از حدود ۲۸۰ PPM در زمان قبل از صنعتی شدن به حدود ۳۷۰ PPM در دوره کنونی افزایش یافته است که این رقم برابر با حدود ۳۵ درصد است (ویگلی، ۲۰۰۰). تغییرات اقلیمی یکی از مهمترین و پیچیده ترین نگرانی های قرن حاضر و آینده است. آثار خطرناک تغییرات اقلیمی بر حیات بشر، تقریباً تمامی جوانب زندگی را در بر خواهد گرفت. خشکسالی، بالا آمدن سطح آب دریاها، طوفان های سهمگین، کاهش منابع آب شیرین، گرم شدن هوا، آتش سوزی جنگل ها و بیابان زایی از جمله این آثار هستند (محمدی و همکاران، ۱۴۰۰). تغییر اقلیم یکی از مهم ترین مشکلات اکولوژیکی قرن ۲۱ است. با توجه به گزارش پنجم هیئت بین دول تغییرات آب و هوایی، این تغییرات جهانی به احتمال بسیار زیاد ناشی از عوامل انسانی است. بررسی های مختلف نشان می دهد که این پدیده می تواند بر سیستم های مختلف منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد (فخیمی و همکاران، ۱۴۰۳).

پیوند از دور:

پیوند از دور، یکی از ویژگی های آب و هوایی در مقیاس جهانی است. طی این سازوکار، تغییرات رخ داده در الگوی دما یا فشار در منطقه ای از کره زمین از طریق سامانه های بزرگ مقیاس میانی به نواحی دیگر منتقل شده و به صورت های مختلف، شرایط جوی و آب و هوایی را متأثر می سازند (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۸۷). الگوهای پیوند از دور ناشی از تغییرات بزرگ مقیاس در الگوهای امواج و رودبادهای جوی است که بر رژیم بارندگی ها و رگبارهای بارشی در سرزمین های وسیع اثر می گذارد (برانستاتور^۱، ۲۰۰۲). پیوند از دور همبستگی ها و ارتباط معنی دار بین نوسانات پارامترهای هواشناسی است که در نقاط وسیع و جدا از هم در سطح زمین اتفاق می افتد (والانس و گونزالز^۲، ۱۹۸۱). پیوند از دور را رابطه معنی دار پیوسته بین سری زمانی ماهانه یا بالاتر پارامترهای اقلیمی در نقاط دور از هم تعریف کردند. مهم ترین دورپیوندها در اقیانوس اطلس، آرام و خشکی اوراسیا، از جمله نوسان اطلس شمالی، انسو، آرام-آمریکای شمالی، مادان جولین، نوسان قطبی، اطلس شرقی، اطلس شرقی-روسیه غربی، مدیترانه شرقی و غیره می باشند. این پدیده معیار مهمی برای پیش بینی پارامتر اقلیمی با همبستگی مستقیم و تأخیری در مقیاس ماهانه و روزانه است؛ بنابراین تغییرات در یک پدیده دور پیوندی با تغییر و بی هنجاری گردش بزرگ مقیاس و نیمکره ای نمود دارد (دوستان، ۱۳۹۷).

الگوی دریای شمال - خزر (NCP):

الگوی دریای شمال - خزر (NCP) یکی از جدیدترین الگوهای دورپیوند است که توسط (کوتیل و بناویچ^۳، ۲۰۰۱) بنا نهاده شده است. الگوی مذکور بین دو منطقه جغرافیایی دریای شمال و خزر واقع است که مورد شناسایی قرار گرفته است. این الگو در فصل زمستان و فصول انتقالی نمایان تر از سایر فصول است (کوتیل و بناویچ، ۲۰۰۱).

روش شناسایی تحقیق

¹ Branstator

² Valance and Gonzales

³ Kutiel & Benarochy



در این پژوهش از داده‌های بارش ماهانه واکاوی شده ERAInterim با توان تفکیک ۲ * ۲ طی دوره آماری ۲۰۲۳-۱۹۷۰ استفاده شده است. سنجش بهنجاری داده‌ها با استفاده از آزمون اندرسون دارلینگ انجام شد. با توجه به غیرنرمال بودن داده‌ها از آزمون ناپارامتری من - کندال برای محاسبه روند استفاده شد. از آزمون شیب سن نیز برای به دست آوردن شیب بارش استفاده شد. با توجه به حجم زیاد مقادیر روند و شیب بارش لذا این اطلاعات به نرم‌افزار Arc Gis منتقل و به صورت نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شدند. بدین صورت امکان نمایش و پراکندگی موقعیت مکانی و زمانی روند بارش حوضه فراهم شده است. نمودارهای سری زمانی بارش نیز در نرم‌افزار اکسل ترسیم گردید. از داده‌های الگوهای پیوندازدور نیز طی همان دوره استفاده شد. با توجه به اینکه داده‌های شاخص NCP (دریای شمال - خزر) از دوره ۲۰۰۵-۱۹۴۸ موجود بود؛ لذا برای تکمیل دوره، از رابطه (۱) استفاده و شاخص تا ۲۰۲۳ محاسبه شد. برای الگوی مذکور شاخص عددی تعریف شده که بر پایه اختلاف ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بین دریای شمال و دریای خزر مورد محاسبه قرار گرفته است. در جدول (۱) الگوهای پیوندازدور مورد استفاده معرفی شده‌اند.

$$NCPI = \overline{gpm}(0^{\circ}55'N;10^{\circ}E;55^{\circ}N) - \overline{gpm}(50^{\circ}E;45^{\circ}N;60^{\circ}E;45^{\circ}N) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن NCP شاخص الگوی دریای شمال - خزر و میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل (متر) بین دو منطقه‌ای است که در داخل پراوتز آورده شده است. اساس تفکیک فاز منفی از فاز مثبت آستانه استاندارد شده ماهانه $\pm 0/5$ است. شاخص ماهانه‌ای که فاز منفی و مثبت با آن شناسایی می‌شوند بر اساس معادله زیر مورد محاسبه قرار می‌گیرد:

$$Z_i = \frac{NCPI_i - \overline{NCPI}}{\sigma} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن $NCPI_i$ مقدار ماهانه شاخص دریای شمال خزر در سال i ، میانگین بلندمدت ماهانه شاخص دریای شمال خزر، σ انحراف معیار بلندمدت شاخص هستند (کوتیل و بناوچ، ۲۰۰۲).

جدول ۱: مشخصات الگوهای پیوندازدور مورد مطالعه

نام فارسی

نام کامل

نام اختصاری ردیف



شرق آسیا/غرب روسیه	Eastern Asia/Western Russia	EA.WR	۱
نوسانات اقیانوس اطلس شمالی	North Atlantic Oscillation	NAO	۲
شاخص نوسانات جنوبی	Southern Oscillation Index	SOI	۳
شاخص حاره‌ای اقیانوس اطلس شمالی	Tropical Northern Atlantic Index	TNA	۴
الگوی شمالگان	Antarctic Oscillation	AO	۵
نوسانات چند دهه‌ای اقیانوس اطلس	Atlantic multidecadal Oscillation	AMO	۶
حالت نصف‌النهاری اقیانوس اطلس	Atlantic Meridional Mode	AMM	۷
نوسانات چند دهه‌ای اقیانوس اطلس هموار شده	AMO smoothed	AMOS	۸
شاخص دمای سطح آب حاره‌ای اطلس شمالی	North Tropical Atlantic SST Index	NTA	۹
شاخص نوسان شمالی	Northern Oscillation Index	NOI	۱۰
شاخص دریای شمال خزر	North SeaCaspian Pattern	NCP	۱۱

آزمون من - کندال

این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) بسط و توسعه یافت (سرانو^۱، ۱۹۹۹، ۸۵). آزمون من کندال جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود و با استفاده از روش من - کندال تغییرات روند داده‌ها شناسایی می‌شود. این روش به گونه گسترده و متداولی در تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار می‌رود (پاسکوینی^۲ و همکاران، ۲۰۰۶).

معرفی منطقه مورد مطالعه

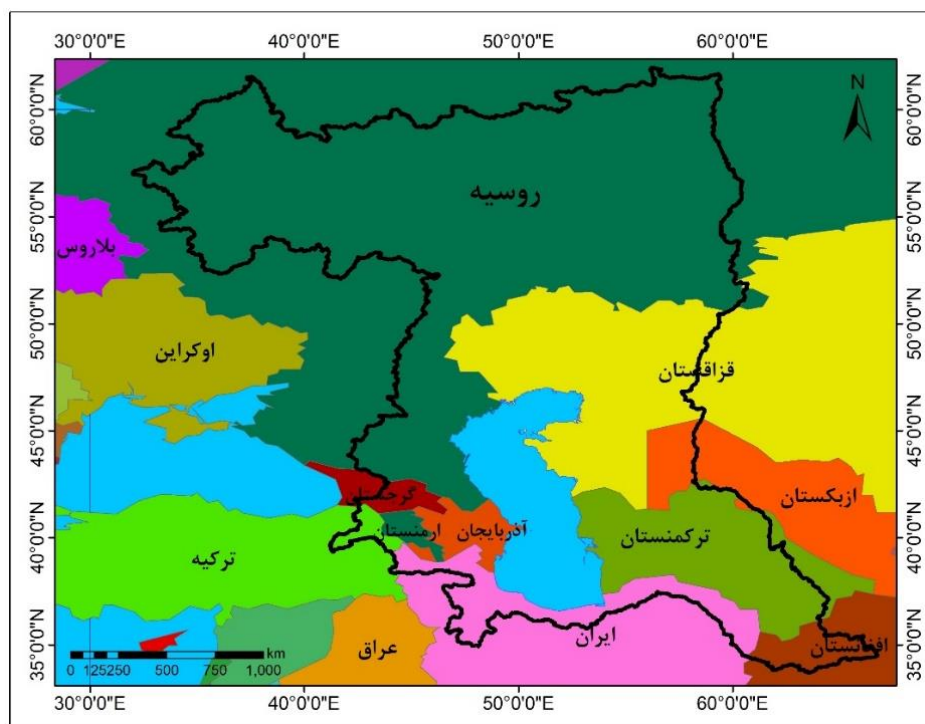
حوضه دریای خزر یکی از حوضه‌های آبی اروپا است که با مساحت ۳۳۵۹۲۶۰ کیلومتر مربع بین طول‌جغرافیایی ۳۱ تا ۶۶ درجه شرقی و عرض‌جغرافیایی ۳۳ تا ۶۲ درجه شمالی قرار گرفته است. زیرحوضه‌های اورال، ولگا، کارا بوگازگل، آراکاس و ترک در این حوضه قرار دارند. این حوضه مابین کشورهای روسیه، قزاقستان، افغانستان، ازبکستان، ترکمنستان، ایران، ارمنستان، گرجستان، آذربایجان و ترکیه قرار دارد. دریای خزر که بزرگترین حوضه آبی محصور در خشکی جهان شناخته می‌شود، نیز در محدوده این حوضه قرار گرفته است (شکل ۱). تأمین رطوبت هوا برای بارش باران و برف و برقراری اعتدال دمایی دو کارکرد مهم این دریا در منطقه است که اثرات مثبت و منفی دارد، اما اثرات مثبت آن بسیار بیشتر از اثرات منفی آن بوده و موجب می‌شود که گیلان و مازندران و حتی گلستان به عنوان منطقه معتدل شناخته شود. یکی از بزرگترین آسیب‌های تغییر اقلیم ناهنجار شدن وضعیت آب‌وهوا و کاهش بارش در این منطقه می‌باشد. به طوری که در گذشته شالیکاران منطقه گیلان در فصل بهار با بارش باران مواجه بودند، اما طی چند سال اخیر در فصل بهار چندین روز بدون بارش در گیلان ثبت شده است. یکی دیگر از پیامدهای گرمایش جهانی و افزایش تبخیر، وقوع بارندگی‌های سیل آسا

¹ Serrano

² Pasquini



در منطقه می‌باشد. هرچقدر آب دریا گرم‌تر شود، منبع عظیمی از انرژی در مواجهه با سامانه‌های جوی شکل می‌گیرد و در چند سال اخیر رکوردهای بارش ایران شکسته شد. در واقع سامانه‌های بارش زایی که از دریای خزر عبور می‌کنند با حجم زیادی از رطوبت برخورد دارند و لذا بارش‌ها به سمت حدی شدن پیش می‌رود که یکی از اثرات منفی تغییر اقلیم است.

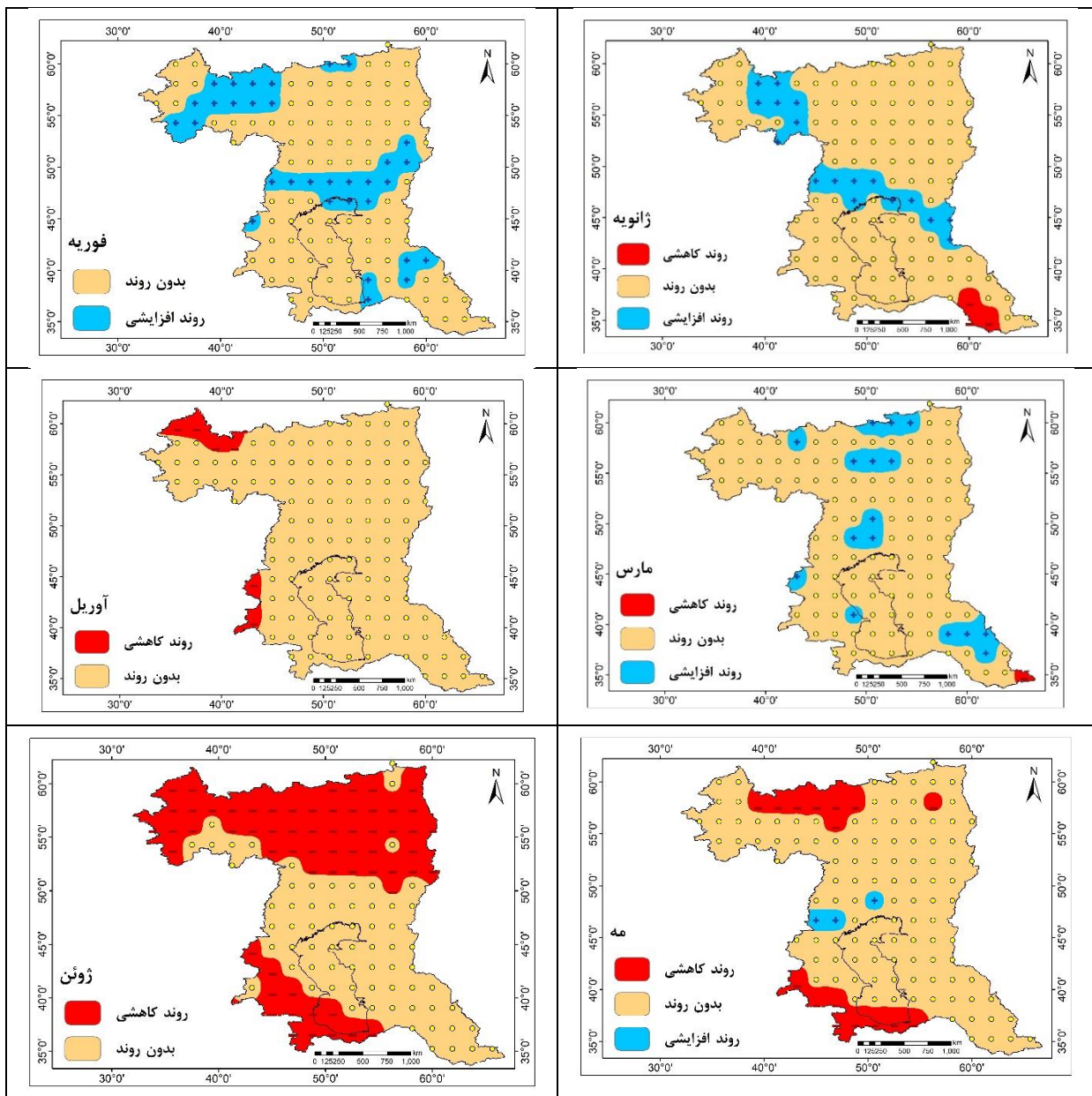


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه مورد مطالعه

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

بحث و یافته‌ها

روند بارش حوضه مورد مطالعه بررسی و نقشه‌های پهنه‌بندی آن در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است. در ماه ژانویه گوشه جنوب شرقی حوضه که در شمال شرق ایران و شمال غرب افغانستان قرار دارد از روند کاهشی بارش برخوردار بوده است. شمال غربی حوضه و مرکز حوضه که در کشورهای روسیه و قزاقستان قرار دارد نیز روند افزایشی بارش داشته اند. در ماه فوریه در قسمت‌هایی از شمال غرب، مرکز و جنوب شرق حوضه روند افزایشی بارش مشاهده شده است. در ماه مارس نیز در قسمت‌هایی از شمال، مرکز و جنوب شرق حوضه بارش روند افزایشی داشته است. در ماه آوریل قسمت اندکی از شمال غرب و غرب حوضه روند کاهشی بارش داشته و سایر قسمت‌های حوضه بدون روند بوده است. در ماه مه در قسمت‌هایی از شمال و جنوب حوضه روند کاهشی بارش و در قسمت‌های اندکی از مرکز حوضه روند افزایشی بارش مشاهده شده است. سایر قسمت‌های حوضه بدون روند بوده‌اند. طی ماه ژوئن نیمه شمالی حوضه واقع در کشور روسیه و جنوب غربی حوضه روند کاهشی بارش داشته و سایر قسمت‌های حوضه بدون روند بوده است.



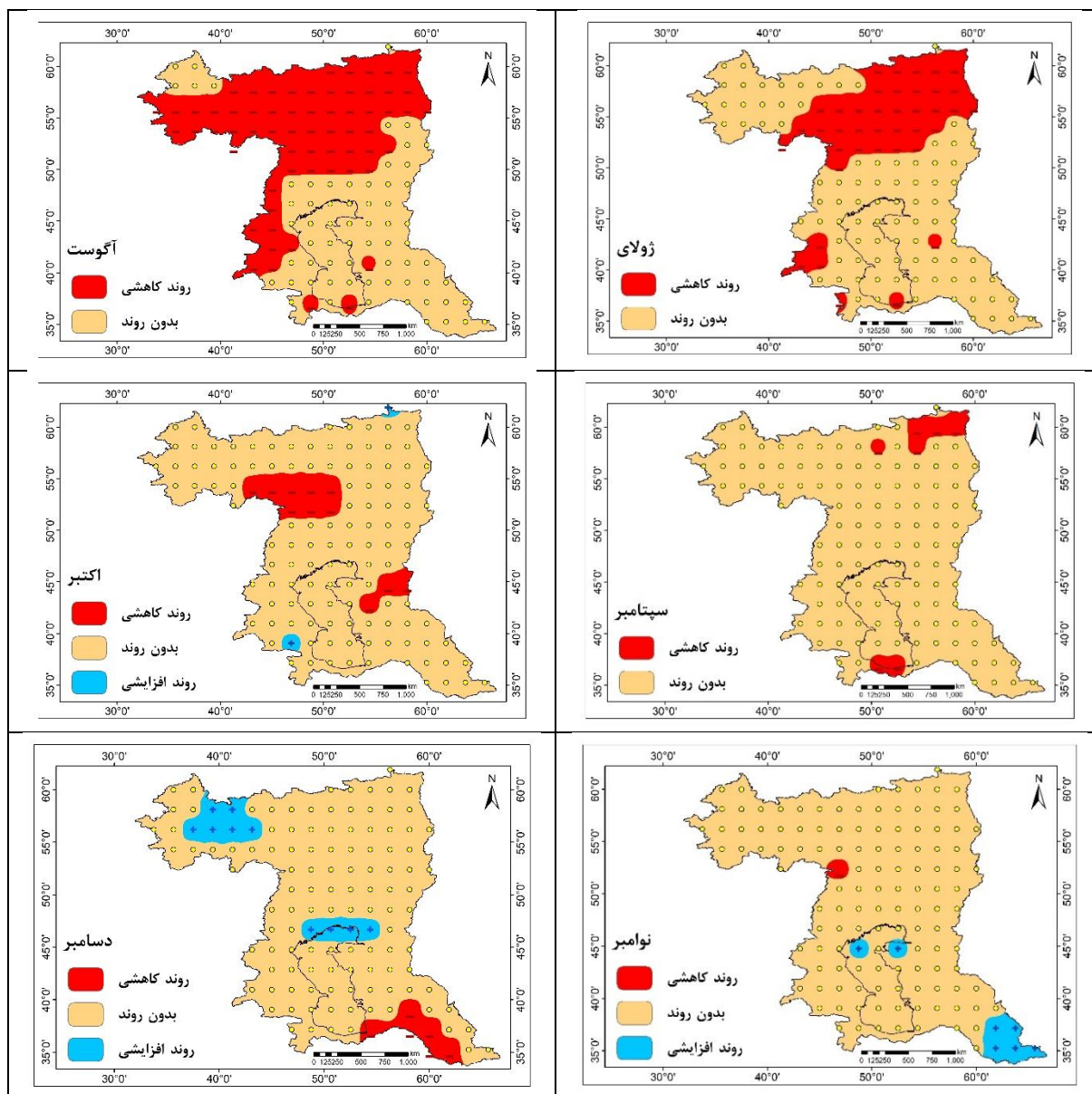
شکل ۲: پهنه بندی روند بارش حوضه مورد مطالعه طی ماه‌های ژانویه تا ژوئن

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

طبق شکل (۳) در ماه ژولای مناطق شمال شرق حوضه و همچنین قسمت‌های اندکی از غرب حوضه روند کاهشی بارش داشته است. در ماه آگوست نیز نیمه شمالی حوضه و غرب حوضه از روند کاهشی بارش برخوردار بوده است. در ماه سپتامبر قسمت اندکی از شمال شرق و جنوب حوضه روند کاهشی داشته است. در ماه اکتبر روند افزایشی در قسمتی از شرق حوضه و شمال حوضه مشاهده شده و در قسمت اندکی از جنوب غرب نیز روند افزایشی بارش رخ داده است. در ماه نوامبر جنوب شرق حوضه و قسمت اندکی از مرکز حوضه از روند افزایشی برخوردار بوده است. محدوده کوچکی از شمال حوضه نیز روند کاهشی داشته است. در ماه دسامبر قسمتی از جنوب حوضه که در محدوده شمال شرق ایران قرار



دارد روند کاهشی بارش داشته است. قسمتی از مرکز حوضه که در محدوده شمال دریای خزر قرار دارد و قسمتی از شمال غرب حوضه نیز روند افزایشی بارش داشته است.



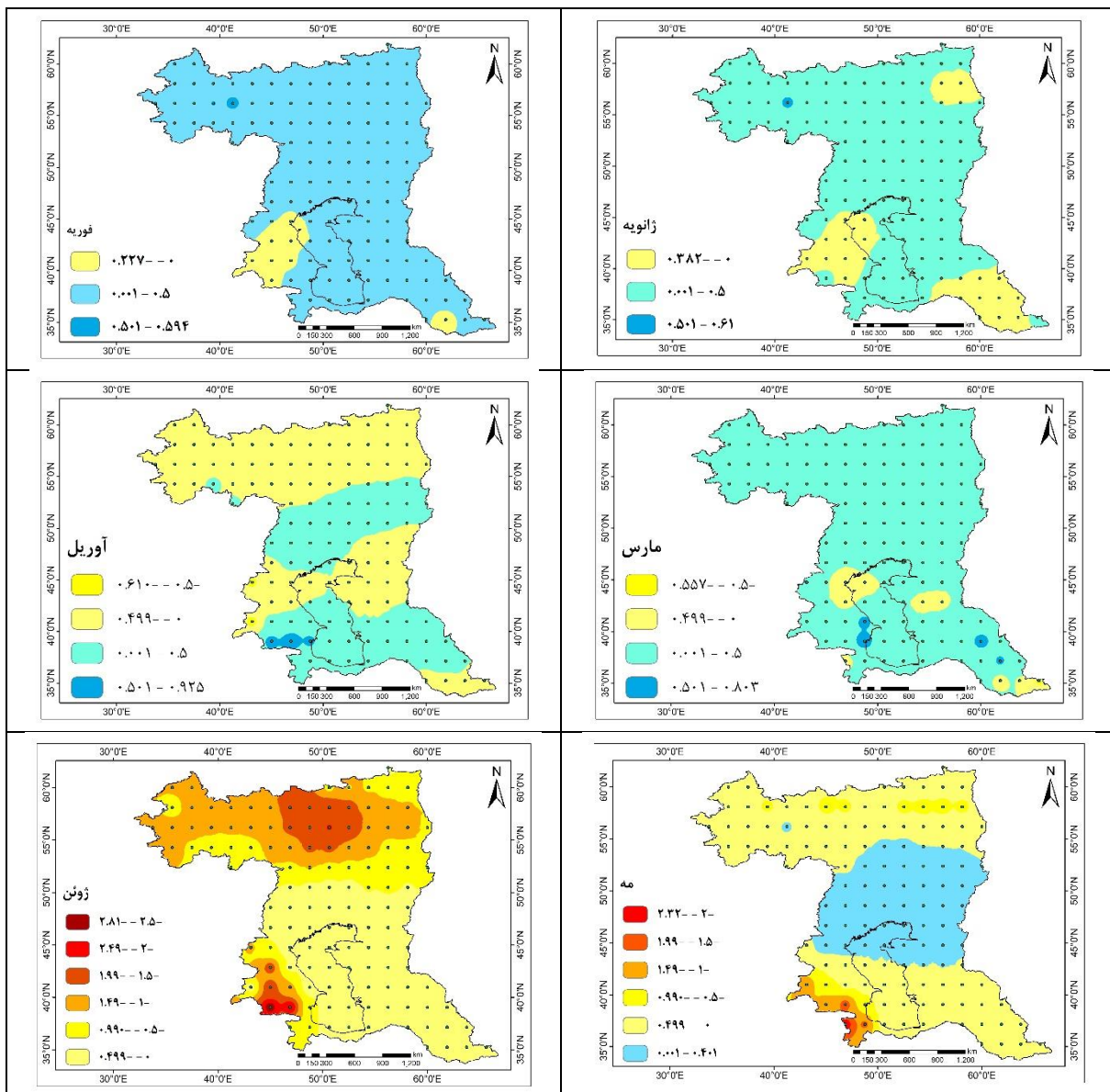
شکل ۳: پهنه‌بندی روند بارش حوضه مورد مطالعه طی ماه‌های ژوئیه تا دسامبر

مآخذ: نگارنگان، ۱۴۰۳

بررسی شیب بارش

باتوجه به شکل (۴) در ماه ژانویه در قسمتی از شمال شرق، غرب و جنوب شرق حوضه بارش بین ۰ تا ۰.۳۸ میلیمتر کاهش داشته است. در سایر قسمت‌های حوضه نیز بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۵ میلیمتر افزایش داشته است. در ماه فوریه غرب حوضه حدود ۰ تا ۰.۲۲ میلیمتر کاهش بارش داشته و سایر قسمت‌های حوضه بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۵ میلیمتر افزایش بارش داشته‌اند. طی ماه مارس در قسمت‌هایی از شرق و غرب دریای خزر بارش بین ۰ تا ۰.۴۹ میلیمتر کاهش داشته و در سایر قسمت‌های

حوضه بین ۰.۵ تا ۰.۸ میلیمتر افزایش داشته است. در ماه آوریل در شمال حوضه واقع در کشور روسیه و قسمت‌هایی از مرکز حوضه که در شمال دریای خزر قرار دارند بین ۰ تا ۰.۴۹ میلیمتر بارش کاهش داشته است. جنوب حوضه و قسمت‌هایی از مرکز حوضه نیز بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۵ میلیمتر بارش افزایش داشته است. طی ماه مه نیمه شمالی و نیمه جنوبی حوضه بارش تا ۰.۴۹ میلیمتر کاهش داشته است. در گوشه جنوب غربی حوضه نیز بین ۰.۵ تا ۲.۳۲ میلیمتر کاهش داشته است. مرکز حوضه نیز ۰.۰۰۱ تا ۰.۴ میلیمتر افزایش داشته است. در ماه ژوئن مرکز، جنوب و جنوب شرق تا ۰.۴۹ میلیمتر کاهش بارش داشته‌اند. نیمه شمالی حوضه و جنوب غرب حوضه نیز بین ۰.۵ تا ۲.۸۱ میلیمتر بارش کاهش داشته است.

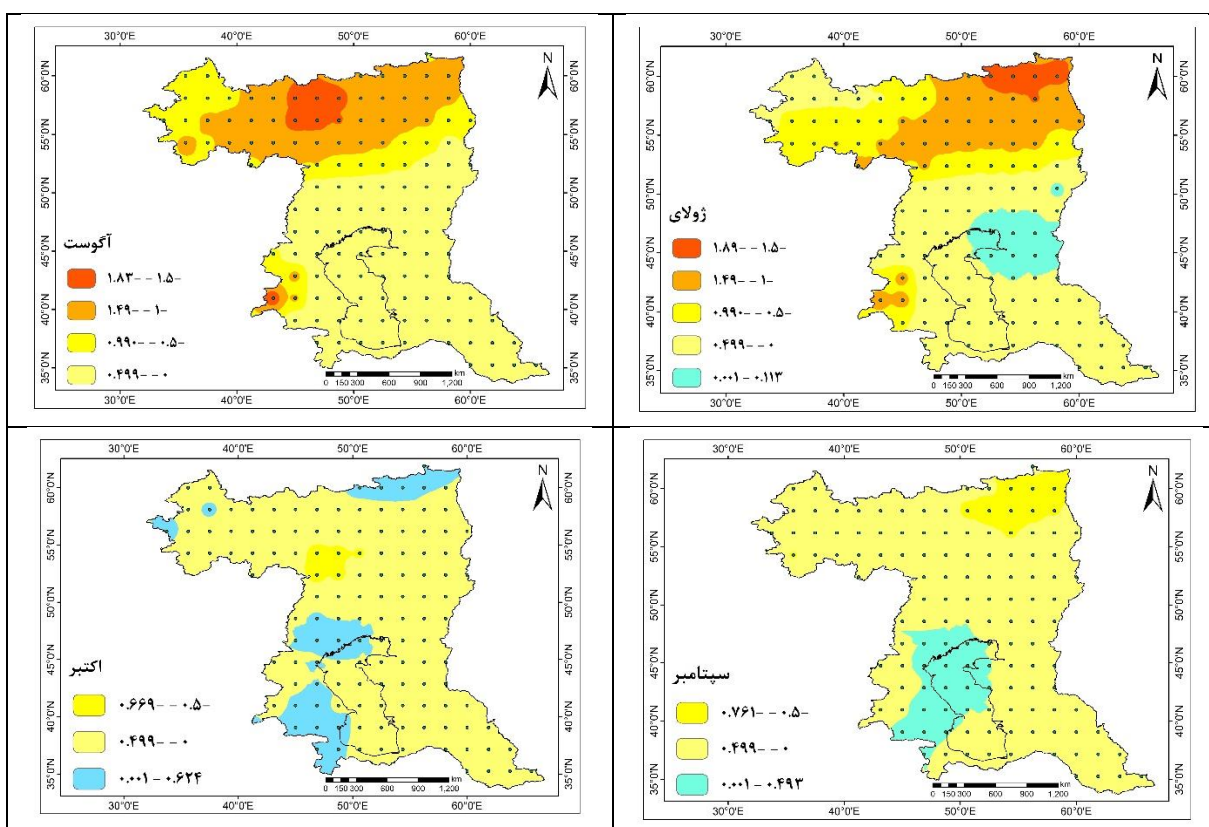


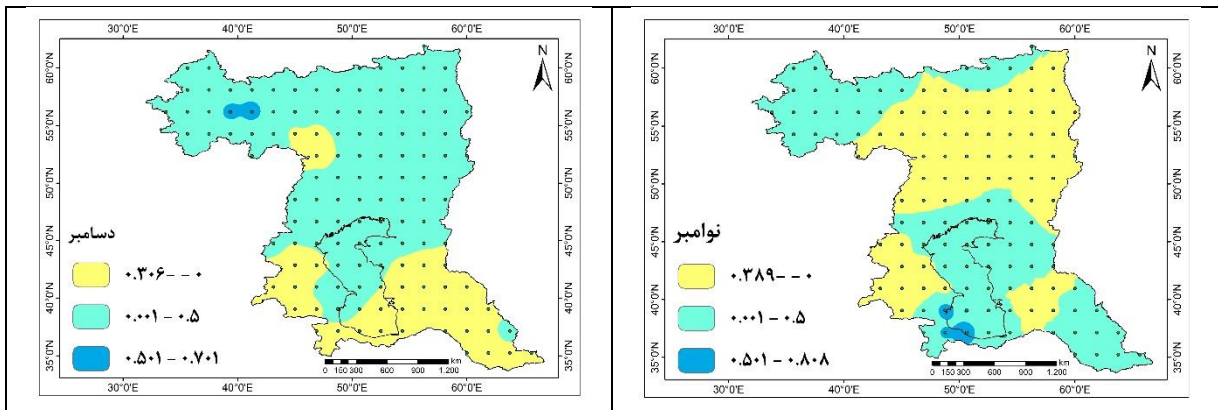
شکل ۴: پهنه‌بندی شیب بارش حوضه مورد مطالعه طی ماه‌های ژانویه تا ژوئن

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳



طبق شکل (۵) در ماه ژولای شرق حوضه بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۱ میلیمتر افزایش بارش داشته است. نیمه شمالی حوضه نیز بین ۰.۵ تا ۱.۸۹ کاهش بارش را تجربه کرده است. قسمتی از غرب حوضه نیز کاهش بارش مشاهده شده است. در سایر قسمت‌های حوضه نیز تا ۰.۴۹ میلیمتر بارش کاهش داشته است. در ماه آگوست نیمه شمالی حوضه و قسمتی از غرب حوضه بین ۰.۵ تا ۱.۸۳ بارش کاهش داشته است. در سایر قسمت‌های حوضه تا ۰.۴۹ میلیمتر کاهش بارش رخ داده است. طی ماه سپتامبر در گوشه شمال شرقی حوضه بین ۰.۵ تا ۰.۷۶ میلیمتر کاهش بارش مشاهده شده است. قسمتی از مرکز حوضه به سمت جنوب غربی حوضه بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۴ میلیمتر افزایش بارش و سایر قسمت‌های حوضه نیز بین ۰.۵ تا ۰.۷ میلیمتر کاهش بارش داشته است. در ماه اکتبر قسمت اندکی از شمال شرق حوضه و قسمت‌هایی از غرب و جنوب غرب حوضه بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۶ میلیمتر بارش افزایش داشته است. سایر قسمت‌های حوضه نیز کاهش بارش رخ داده است. در ماه دسامبر جنوب غرب و جنوب شرق حوضه بین ۰ تا ۰.۳ میلیمتر کاهش بارش داشته اند. سایر قسمت‌های حوضه نیز از افزایش بارش برخوردار بوده اند که مقدار آن بین ۰.۰۰۱ تا ۰.۷ بوده است.

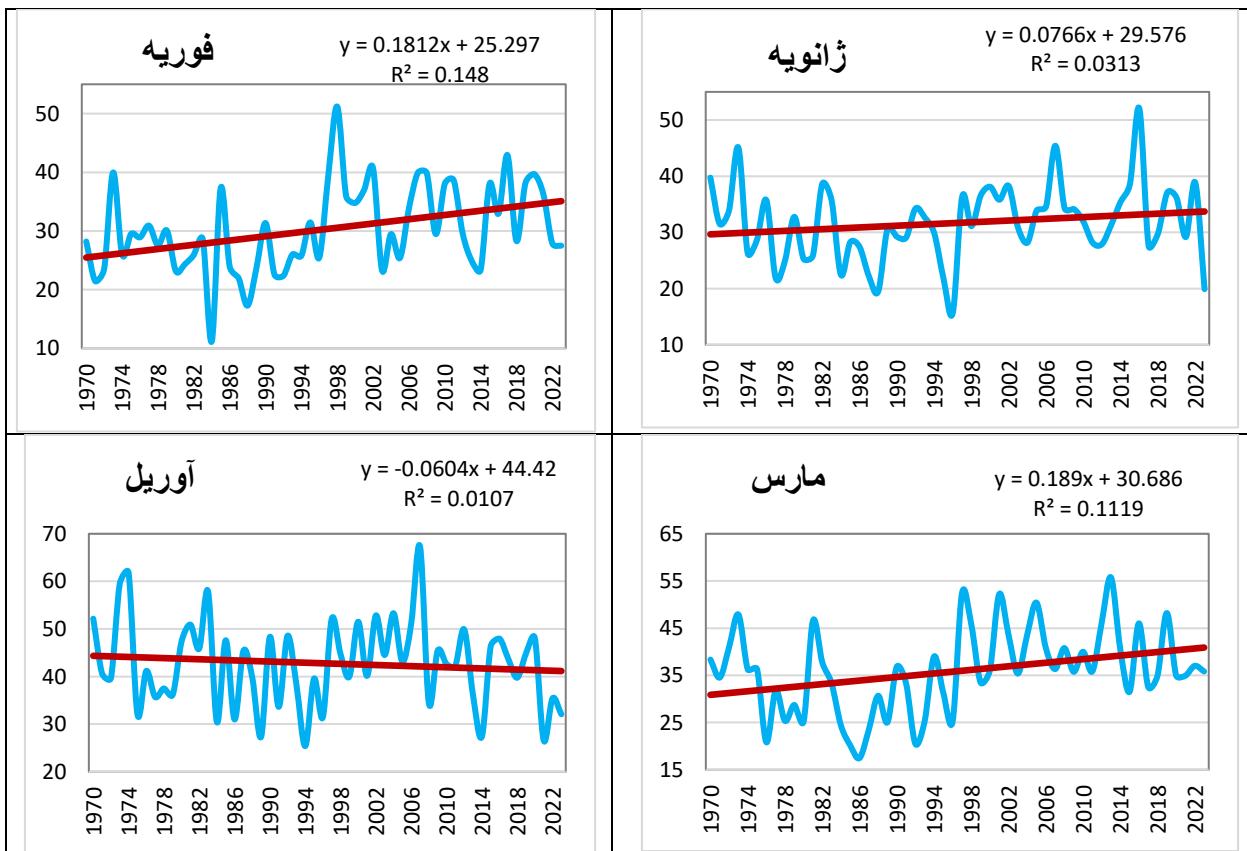


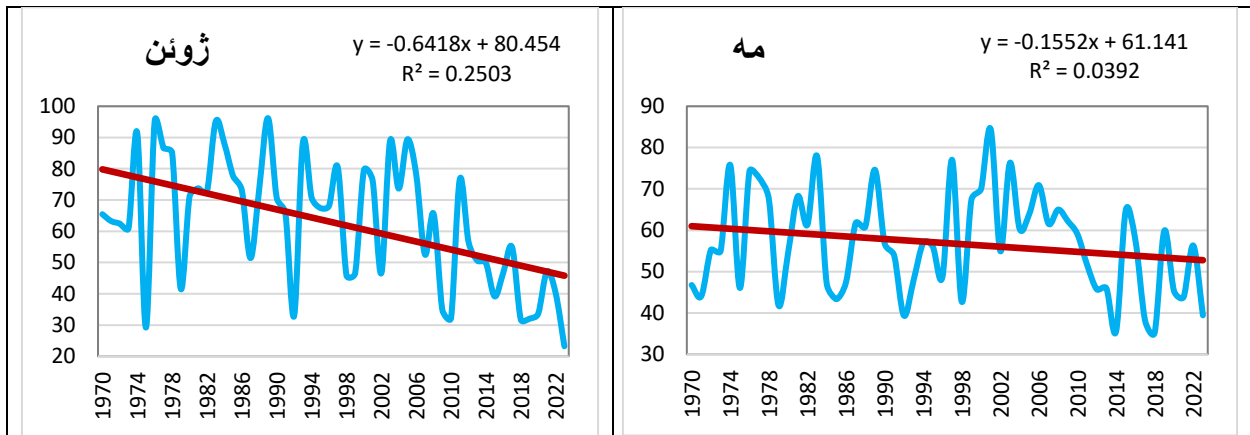


شکل ۵: پهنه‌بندی شیب بارش حوضه مورد مطالعه طی ماه‌های ژولای تا دسامبر

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

بررسی سری‌زمانی بارش در شکل (۶) نشان‌دهنده آن است که نمودارهای ترسیم شده در ماه‌های فوریه، مارس و ژوئن معنادار بوده‌اند. در ماه‌های فوریه و مارس بارش به میزان حدود ۱۰ میلیمتر افزایش داشته است. در ماه ژوئن بارش رو به کاهش بوده است. در این ماه بارش به میزان ۳۴.۵ میلیمتر طی دوره مورد مطالعه همراه با کاهش بوده است.

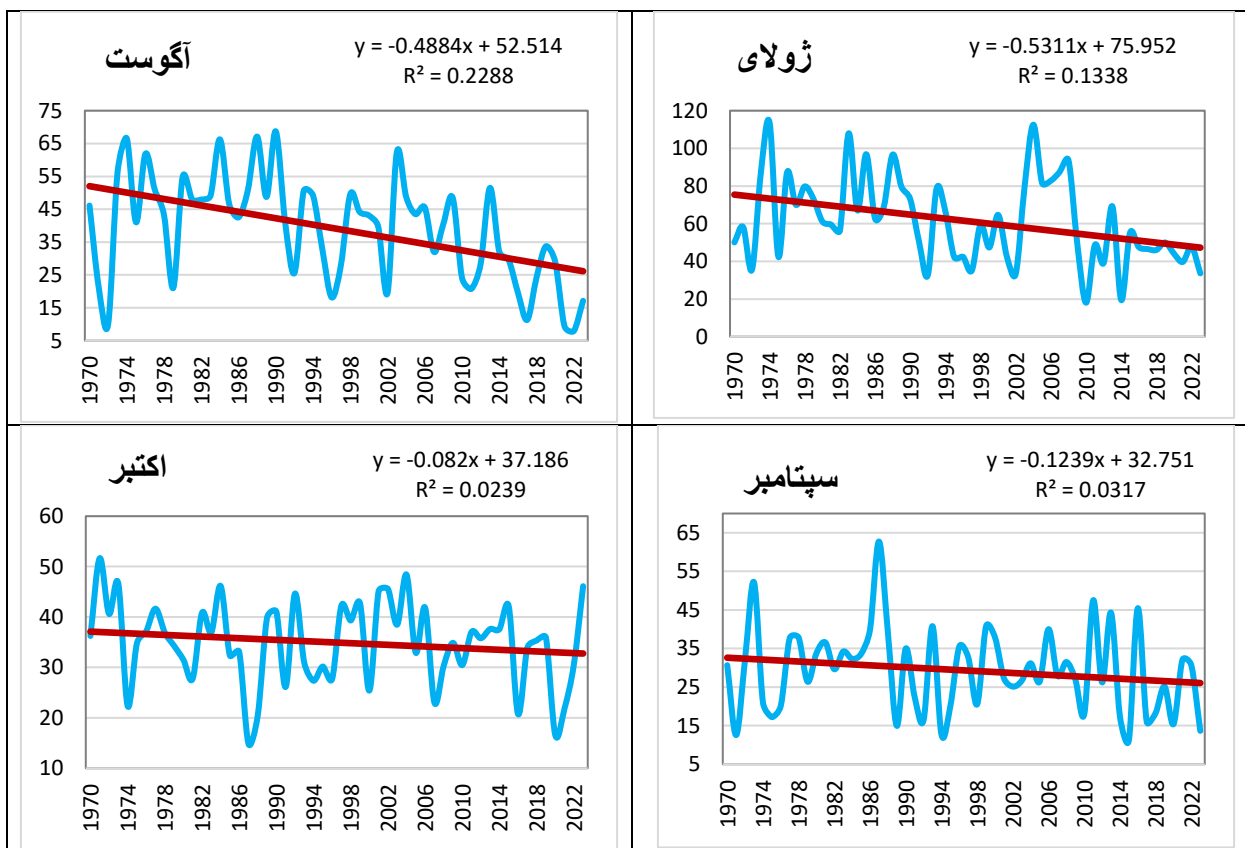


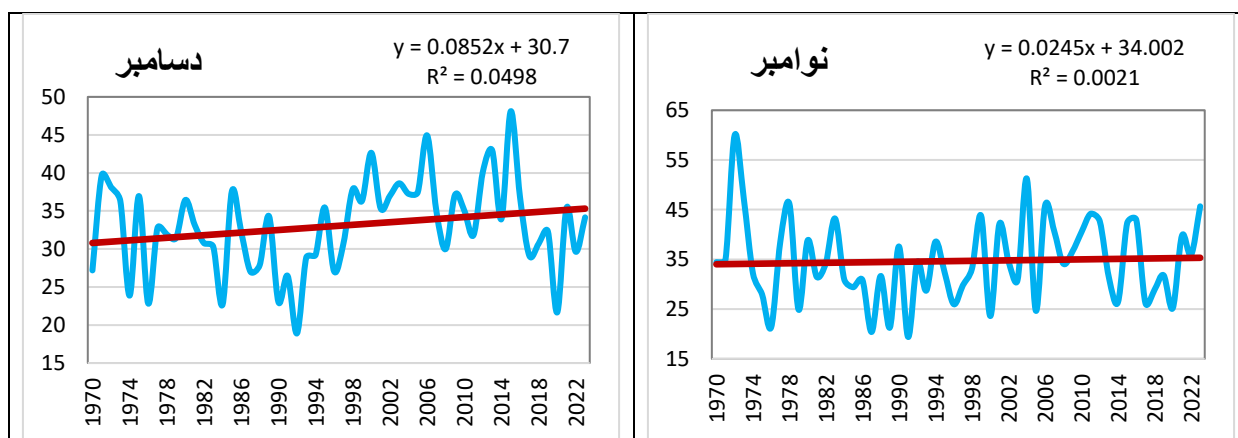


شکل ۶: نمودارهای سری‌زمانی بارش حوضه مورد مطالعه طی ماه‌های ژانویه تا ژوئن

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

باتوجه به شکل (۷) نمودارهای سری‌زمانی بارش در ماه‌های ژوئیه، آگوست و در مقیاس سالانه معنادار بوده اند. بارش ماه ژوئیه نشان‌دهنده آن است که میزان بارش حدود ۲۸.۵ میلیمتر کاهش داشته است. در ماه آگوست نیز بارش حدود ۲۶ میلیمتر کاهش داشته است.

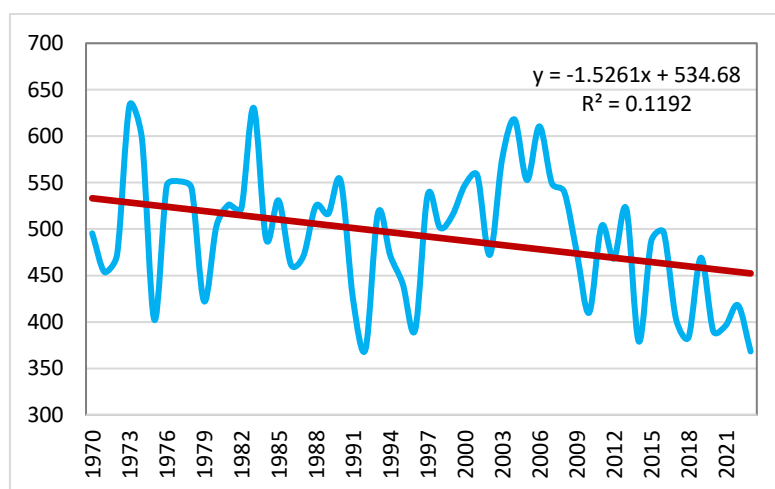




شکل ۷: نمودارهای سری زمانی بارش حوضه مورد مطالعه طی ماه‌های ژوئیه تا دسامبر

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

در شکل (۸) سری زمانی بارش سالانه ارائه شده و نشان‌دهنده آن است که طی این دوره بارش ۸۲ میلیمتر کاهش داشته است.



شکل ۸: نمودار سری زمانی بارش سالانه حوضه مورد مطالعه

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

همبستگی بین بارش و الگوهای پیوندازدور انجام و نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. طبق این نتایج بارش حوضه خزر با الگوی EA.WR بیش از سایر الگوها همبستگی نشان داده است. شاخص مذکور در ماه‌های ژانویه، فوریه، ژوئن، آگوست، سپتامبر و اکتبر با بارش حوضه همبستگی مستقیم داشته است. الگوهای TNA، AMO، AMM، NTA و AMOS نیز در ماه‌های فوریه، مارس، ژوئن و دسامبر با بارش همبستگی داشته‌اند. همبستگی‌های رخ داده در ماه‌های فوریه، مارس و دسامبر از نوع مستقیم و در ماه ژوئن معکوس بوده است. لازم به ذکر است الگوی AMOS در ماه آگوست نیز همبستگی معکوس با بارش حوضه نشان داده است. الگوهای AO، NOI، SOI، NAO و NCP در هیچ



ماهی با بارش حوضه همبستگی نداشته‌اند. در ماه‌های آوریل، مه، ژولای و نوامبر نیز هیچ یک از الگوهای مورد مطالعه با بارش حوضه همبستگی نشان نداده‌اند.

جدول ۲: همبستگی بین الگوهای پیوندازدور و بارش حوضه دریای خزر

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
۰/۳۱*	۰/۳۵**	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۳۱*	۰/۱	۰/۲۸*	۰/۴۸**	۰/۶۴**	۰/۱۹	۰/۱۴	EA.WR
۰/۰۲	۰/۰۰۷	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۱۲	NAO
۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۱	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۳	۰/۰۰۲	SOI
۰/۰۷	۰/۴**	۰/۴**	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۲۷*	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱	۰/۰۱	۰/۱۹	۰/۳*	TNA
۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۵	NOI
۰/۲۳	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۰۱	AO
۰/۱۶	۰/۴۷**	۰/۴۵**	۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۳*	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۳۳*	AMO
۰/۰۰۵	۰/۳*	۰/۲۹*	۰/۲۴	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۳۱*	AMM
۰/۱۳	۰/۳۴*	۰/۴**	۰/۲۲	۰/۰۰۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۳۵*	NTA
۰/۲۷	۰/۴۳**	۰/۴۴**	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۲۸*	۰/۲۴	۰/۳۳*	۰/۰۶	۰/۰۰۱	۰/۱۱	۰/۴۳**	AMOS
۰/۲	۰/۰۰۲	۰/۱۲	۰/۲۴	۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۰۷	NCP

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

در جدول (۳) با نام تحلیل واریانس، تحلیل مربوط به واریانس برای مدل رگرسیونی صورت گرفته است. در ماه‌های فوریه، مارس، سپتامبر و اکتبر به دلیل کوچکتر بودن مقدار Sig از ۰.۰۵ نتیجه گرفته می‌شود که مدل رگرسیونی بین بارش و الگوهای پیوندازدور مناسب می‌باشد. در سایر ماه‌ها با توجه به مقدار Sig که بزرگتر از ۰.۰۵ می‌باشد نتیجه گرفته می‌شود که مدل رگرسیونی بین بارش و الگوهای پیوندازدور مناسب نخواهد بود. ضریب تعیین بدست آمده نشان می‌دهد که الگوهای پیوندازدور در ماه ژانویه ۳۲ درصد، در ماه فوریه ۵۸.۰۴ درصد، در ماه مارس ۴۰.۵ درصد، در ماه آوریل ۱۶.۶ درصد، در ماه مه ۱۲.۸ درصد، در ماه ژوئن ۲۷.۹ درصد، در ماه ژولای ۹.۲ درصد، در ماه اگوست ۲۲.۲ درصد، در ماه سپتامبر ۵۱ درصد، در ماه اکتبر ۴۸ درصد، در ماه نوامبر ۲۴.۸ درصد و در ماه دسامبر ۳۱.۹ درصد از تغییرات بارش حوضه مورد مطالعه را تبیین می‌کند.

جدول ۳: تحلیل واریانس مدل رگرسیونی بر روی سری زمانی بارش با الگوهای پیوندازدور

ماه	ضریب همبستگی	ضریب تعیین	آماره فیشر (F)	Sig.
ژانویه	۰/۵۶	۰/۳۲	۱/۵۸	۰/۱۴
فوریه	۰/۷۶	۰/۵۸	۴/۵۹	۰
مارس	۰/۶۳	۰/۴	۲/۲۳	۰/۰۳
آوریل	۰/۴	۰/۱۶	۰/۶۵	۰/۷۷



۰/۹	۰/۴۸	۰/۱۲	۰/۳۵	مه
۰/۲۸	۱/۲۶	۰/۲۷	۰/۵۲	ژوئن
۰/۹۷	۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۳	ژولای
۰/۵۱	۰/۹۳	۰/۲۲	۰/۴۷	آگوست
۰/۰۰۳	۳/۴۲	۰/۵۱	۰/۷۱	سپتامبر
۰/۰۰۶	۳/۰۲	۰/۴۸	۰/۶۹	اکتبر
۰/۴	۱/۰۸	۰/۲۴	۰/۴۹	نوامبر
۰/۱۶	۱/۵۳	۰/۳۱	۰/۵۶	دسامبر

مآخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

در جدول (۴)، برآورد ضرایب و خصوصیات مربوط به آزمون آن‌ها در ماه ژانویه دیده می‌شود. هر ضریبی که دارای بتای بزرگتری باشد، در مدل رگرسیونی از اهمیت بیشتری نیز برخوردار است. میزان تأثیر الگوهای پیوندازدور بر بارش براساس ضریب بتای استاندارد سنجیده می‌شود. به این ترتیب مشخص می‌شود که در ماه ژانویه الگوی پیوندازدور NOI با مقدار بتای ۰.۴۳ بهترین متغیر برای پیش‌گویی متغیر وابسته (بارش) است. در ماه فوریه الگوی SOI، در ماه‌های مارس تا دسامبر نیز الگوی NCP بهترین متغیر برای پیش‌گویی بارش می‌باشد. در ماه فوریه الگوهای SOI، NOI، AMM، NTA، AMOS و NCP به دلیل اینکه مقدار Sig بدست آمده آنها از ۰.۰۵ کوچکتر می‌باشد لذا تأثیر آنها بر بارش معنادار می‌باشد. در سایر ماه‌ها تنها Sig الگوی NCP از ۰.۰۵ کوچکتر بوده و لذا می‌توان بیان نمود که تنها تأثیر این الگو بر بارش حوضه مورد مطالعه معنادار بوده است.

جدول ۴: ضرایب رگرسیونی بارش با الگوهای پیوندازدور

الگوهای پیوندازدور		ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		مه		ژوئن	
Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا
۰	۱۲/۶۱	۰	۱۵/۹۱	۰	۱۶	۰	۱۶/۷۹	۰	۱۶	۰	۱۵/۹۱	۰	۱۲/۶۱
۰/۷۳	۰/۳۳	۰/۳	۱/۰۵	۰/۸۵	۰/۱۹	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۰۰۲	۳/۳۲	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۷۳	۰/۳۳
۰/۸۱	۰/۲۳	۰/۱۵	۱/۴۶	۰/۷۶	۰/۲۹	۰/۴۶	۰/۷۴	۰/۰۶	۱/۹	۰/۰۵	۰/۴۷	۰/۸۱	۰/۲۳



۰/۴	۰/۸۳	۰/۵۳	۰/۶۲	۰/۵۲	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۴	۰/۱۸	۱/۳۵	۰/۹۹	۰/۰۰۳	NAO
۰/۲۶	۱/۱۳	۰/۴۹	۰/۶۹	۰/۵	۰/۶۶	۰/۳۸	۰/۸۷	۰/۰۰۸	۲/۷۹	۰/۸۵	۰/۱۲	SOI
۰/۹۵	۰/۰۶	۰/۹۸	۰/۰۱	۰/۷۱	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۸۹	۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۸۳	۰/۰۴	TNA
۰/۸	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۱۷	۰/۸۶	۰/۱۷	۰/۰۱	۲/۴۹	۰/۰۶	۰/۴۳	NOI
۰/۹۴	۰/۰۷	۰/۲۳	۱/۲۱	۰/۴۴	۰/۷۷	۰/۷۱	۰/۳۷	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۶۸	۰/۱۶	AO
۰/۰۲	۲/۲۶	۰/۴۷	۰/۷۲	۰/۲	۱/۲۸	۰/۹۴	۰/۰۷	۰/۴۲	۰/۸۱	۰/۳۸	۰/۳۳	AMO
۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۸۴	۰/۲	۰/۹۶	۰/۰۴	۰/۴۶	۰/۷۳	۰/۰۳	۲/۱۴	۰/۷۶	۰/۱۷	AMM
۰/۸	۰/۲۴	۰/۹۸	۰/۰۱	۰/۸۲	۰/۲۲	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۰۴	۲/۱	۰/۱۱	۰/۳۹	NTA
۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۳۴	۰/۹۵	۰/۴۳	۰/۷۸	۰/۱۲	۱/۵۵	۰/۰۰۸	۲/۸	۰/۵۲	۰/۲۱	AMOS
۰	۱۲/۶۱	۰	۱۵/۹۱	۰	۱۶	۰	۱۶/۷۹	۰	۲۱/۴	۰		NCP
دسامبر		نوامبر		اکتبر		سپتامبر		اگوست		ژولای		الگوهای
Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا	Sig.	بتا	پیوندازدور
۰	۱۶/۴۷	۰	۱۰/۰۳	۰	۱۳/۹۳	۰	۹/۰۵	۰	۶/۶۳	۰	۷/۶۵	(Constant)
۰/۴۴	۰/۷۷	۰/۵۳	۰/۶۲	۰	۴/۱۹	۰/۰۰۱	۳/۴۹	۰/۴	۰/۸۵	۰/۶۲	۰/۴۹	Pre
۰/۱۳	۱/۵۱	۰/۷۴	۰/۳۲	۰/۷۹	۰/۲۶	۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۶۴	۰/۴۶	EA.WR
۰/۹۳	۰/۰۸	۰/۹۳	۰/۰۸	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۷۲	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۹۱	۰/۸۲	۰/۲۱	NAO
۰/۳۳	۰/۹۸	۰/۰۹	۱/۷۳	۰/۸۳	۰/۲	۰/۳۲	۰/۹۹	۰/۷۲	۰/۳۶	۰/۷۹	۰/۲۶	SOI
۰/۴۳	۰/۷۹	۰/۸۹	۰/۱۳	۰/۷۵	۰/۳۱	۰/۰۷	۱/۸۶	۰/۸۷	۰/۱۵	۰/۷۱	۰/۳۶	TNA
۰/۰۷	۱/۸۶	۰/۳	۱/۰۵	۰/۶۷	۰/۴۲	۰/۵۸	۰/۵۵	۰/۹۵	۰/۰۶	۰/۶۸	۰/۴۱	NOI
۰/۸	۰/۲۴	۰/۲۲	۱/۲۲	۰/۸۴	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۹۲	۰/۵۹	۰/۵۴	۰/۸۸	۰/۱۴	AO
۰/۹	۰/۱۲	۰/۹۳	۰/۰۸	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۳۹	۰/۸۶	۰/۷۱	۰/۳۶	۰/۵۸	۰/۵۵	AMO
۰/۵۳	۰/۶۲	۰/۰۵	۱/۹۶	۰/۶۳	۰/۴۸	۰/۳۶	۰/۹۱	۰/۶۵	۰/۴۵	۰/۹۳	۰/۰۷	AMM
۰/۴۶	۰/۷۴	۰/۷۹	۰/۲۶	۰/۸	۰/۲۴	۰/۹۶	۰/۰۴	۰/۱۱	۱/۶	۰/۴۸	۰/۷	NTA
۰/۵	۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۱۱	۱/۶	۰/۶۷	۰/۴۲	۰/۲۸	۱/۰۸	۰/۶۴	۰/۴۶	AMOS
۰	۱۶/۴۷	۰	۱۰/۰۳	۰	۱۳/۹۳	۰	۹/۰۵	۰	۶/۶۳	۰	۷/۶۵	NCP

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳



نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی روند بارش نشان‌دهنده آن است که در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر، دسامبر و به مقدار بسیار کمی مه و اکتبر روند افزایشی بارش مشاهده شده است؛ ولی در سایر ماه‌ها تنها روند کاهشی بارش رخ داده است. در این بین در ماه فوریه بیش از سایر ماه‌های نامبرده افزایش بارش مشاهده شده است. در ماه‌هایی که افزایش بارش رخ داده بیشتر در قسمت‌های شمالی حوضه واقع در کشور روسیه مشاهده شده است. روندهای کاهشی بارش نیز در ماه‌های ژوئن و آگوست بیش از سایر ماه‌ها رخ داده است. نکته قابل توجه این که روندهای کاهشی بارش نیز در شمال حوضه واقع در کشور روسیه بیش از سایر قسمت‌های حوضه مشاهده شده است. در پژوهش علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۳) و پیرنیا (۱۳۹۴) نیز روند بارش دریای خزر کاهشی نشان‌دهنده و با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. نتایج بررسی شیب بارش نشان داد در ماه‌های ژوئن، ژولای و آگوست بارش کاهش داشته و در مناطق شمالی حوضه مقدار کاهش بیشتر بوده است. در ماه‌های سرد سال به خصوص آوریل، نوامبر و دسامبر نیز مقدار اندکی افزایش بارش مشاهده شده است. بررسی سری‌زمانی بارش نشان‌دهنده آن است که در ماه‌های فوریه و مارس بارش به میزان حدود ۱۰ میلیمتر افزایش داشته است. در ماه‌های ژوئن، ژولای و آگوست نیز بین حدود ۲۶ تا ۳۴.۵ میلیمتر کاهش داشته است. در مقیاس سالانه نیز به مقدار ۸۲ میلیمتر کاهش داشته است. تغییرات سایر ماه‌ها نیز معنادار نبوده است. همبستگی بارش و الگوهای پیوندازدور نشان‌دهنده آن است که از نظر زمانی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، ژوئن، آگوست، سپتامبر، اکتبر و دسامبر بین بارش و الگوهای پیوندازدور همبستگی مشاهده شده است. در این بین در ماه فوریه، مارس، ژوئن و دسامبر بیش از سایر ماه‌ها همبستگی‌ها رخ داده است. در ماه‌های آوریل، مه، ژولای و نوامبر نیز هیچ یک از الگوهای پیوندازدور با بارش حوضه همبستگی نداشته است. در بین الگوهای پیوندازدور الگوی EA.WR بیش از سایر الگوها با بارش حوضه همبستگی نشان داده است. پس از آن الگوهای AMO، TNA و AMOS قرار دارند. الگوهای SOI، NAO، AO، NOI و NCP نیز در هیچ ماهی با بارش حوضه همبستگی نداشته‌اند. عزیزیان و عسگری (۱۳۹۱) بیان کردند که بین بارش حوضه خزر و الگوی AO در بعضی ماه‌ها همبستگی وجود دارد که در این پژوهش چنین نتیجه‌ای دیده نشد و با پژوهش آنها همخوانی ندارد. در مجموع می‌توان بیان نمود که از نظر زمانی در ماه فوریه بیشترین همبستگی بین الگوهای پیوندازدور و بارش مشاهده شده و از نظر نوع الگو، الگوی EA.WR نیز بیشترین همبستگی را با بارش حوضه داشته است. طبق ضریب تعیین به‌دست‌آمده در ماه‌های فوریه و سپتامبر به ترتیب ۵۸/۴ و ۵۱/۱ درصد از تغییرات بارش حوضه توسط الگوهای پیوندازدور تبیین می‌شود که بیشترین مقدار در بین ماه‌های سال است. نتایج رگرسیون خطی نیز نشان‌دهنده آن است که الگوی NCP بیش از سایر الگوها بر بارش حوضه دریای خزر تأثیرگذار بوده است.

امروزه حوضه‌های دریایی بر اثر تأثیر گرمایش جهانی بر اکوسیستم دستخوش تغییر شده‌اند و آب‌شدن یخ‌های قطبی سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها را افزایش داده و شهرهای ساحلی را با مشکل پیشروی آب مواجه کرده است. اما دریای خزر یک حوضه دریایی آزاد نیست و لذا پیامد گرمایش جهانی در این پهنه آبی متفاوت از دریاهای آزاد است. کاهش بارش و افزایش دما اثراتی از جمله افزایش تبخیر و کاهش میزان آب ورودی را به دنبال دارد که در نتیجه عقب‌نشینی در حوضه

دریا رخ می‌دهد. در واقع یکی از اثرات اولیه تغییر اقلیم بر این دریا همین عقب‌نشینی آب است که سطح وسیعی از رسوبات را در معرض وزش باد قرار می‌دهد. البته به واسطه عمق زیاد دریا در مناطق جنوبی آن، بیشتر این عقب‌نشینی در نواحی شمالی دریا از قسمت روسیه و آذربایجان اتفاق می‌افتد. در مجموع می‌توان بیان نمود گرمایش جهانی که تقریباً در اکثر نقاط جهان در حال رخ‌دادن است در حوضه دریای مازندران نیز به وقوع پیوسته و شواهدی از وقوع گرمایش جهانی در این حوضه مشاهده شده است. از جمله این شواهد می‌توان روندهای افزایشی دما در این حوضه را نام برد که در پژوهش علی‌محمدی و همکاران (۱۴۰۳) نیز به آن اشاره شده است. از دیگر شواهد گرمایش جهانی در این حوضه کاهش بارش در این حوضه است که در نقشه‌های پهنه‌بندی روند بارش به‌خوبی آشکار است. همان‌گونه که در این نقشه‌ها مشاهده می‌شود در اکثر ماه‌ها بارش از روند کاهشی برخوردار بوده و روندهای افزایشی به میزان خیلی ناچیزی در بعضی ماه‌ها مشاهده شده است. به‌طور کلی در نقشه‌های پهنه‌بندی روند بارش نیز پهنه روند کاهشی از وسعت بیشتری نسبت به روند افزایشی برخوردار است. شناخت تغییرات بارش و ارتباط آن با الگوهای پیوندازدور می‌تواند در پیشبرد برنامه‌ها و عملیات مدیریتی هواشناسی و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

راهکارهای لازم به‌منظور سازگاری با پیامدهای ناشی از افزایش دما و کاهش بارش و همچنین تغییرات تراز آب دریای خزر در حوضه مورد مطالعه بررسی و اجرایی شود.

عملیات آبخیزداری در حوضه مورد مطالعه بررسی و اصلاحات لازم در رابطه با آن صورت پذیرد.

با توجه به افزایش دما و کاهش بارش در حوضه مورد مطالعه و اثرات نامطلوبی که بر کشاورزی حوضه دارد؛ پیشنهاد می‌شود الگوی کشت حوضه نیز متناسب با تغییرات رخ‌داده در اقلیم حوضه تغییر یابد و محصولاتی که به آب کمتری نیاز دارند و با دمای بالا سازگاری بیشتری دارند و به آب کمتری نیاز دارند کشت شود.

منابع و مأخذ

- ۱) اسکندری، رقیه، اسمعلی عوری، اباذر، مصطفی‌زاده، رئوف و چوبه، سپیده (۱۴۰۳). ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های حدی اقلیمی بارندگی در بخش مرکزی استان اردبیل. *مطالعات علوم محیط‌زیست*، ۹(۱)، ۱۱۳۳-۱۱۱۹.
- ۲) برون، اشرف، ظهوریان پردل، منیژه، لشکری، حسن، شکیب، علیرضا، و محمدی، زینب (۱۴۰۴). شناسایی امواج گرمایی استان خوزستان و تحلیل هم‌دیدگی نقش پرفشار عربستان در ایجاد آن‌ها، *اندیشه‌های نو در علوم جغرافیایی*، ۸(۳)، ۲۰۱.
- ۳) پیرنیا، عبدالله، حبیب‌نژاد روشن، محمود و سلیمانی، کریم (۱۳۹۴). بررسی تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره شمالی. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۶(۱۱)، ۱۰۰۹۰.
- ۴) دوستان، رضا (۱۳۹۷). دورپیوند جهانی و دورپیوندهای منطقه ای ایران، فیزیک زمین و فضا، ۴۴ (۳)، ۶۴۰-۶۲۵.
- ۵) زینالی، بتول، جلالی عنصرودی، طاهره و مصطفوی، حمیرا (۱۴۰۲). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه ناشی از بارش در حوضه آبریز شیرامین. *مطالعات علوم محیط‌زیست*، ۸(۲)، ۶۶۰۲۶۵۸۹.
- ۶) حجازی‌زاده، زهرا، اکبری، مهری و جمشیدی عینی، زرین (۱۴۰۳). بررسی تاثیر الگوهای پیوندازدور نوسانات اطلس شمالی و انسو بر بارش سواحل جنوبی دریای خزر. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۴ (۷۴)، ۳۷۲۴.
- ۷) حیدری، شهاب، صلاحی، برومند، زینالی، بتول و پورقاسمی، الهامه (۱۴۰۳). پیش‌بینی بارش برخی ایستگاه‌های استان لرستان در دو دهه آینده با استفاده از مدل LARSWG. *مطالعات علوم محیط زیست*، ۹(۱)، ۷۹۷۶۷۹۶۳.
- ۸) خان‌سالاری، سکینه، محمدی، سیده عاطفه، قصابی، زهرا و صالحی، حسن (۱۴۰۳). پیش‌نگری تغییرات مقدار بارش فرین با دوره بازگشت‌های مختلف در ایران بر اساس رویکرد همادی ده مدل CMIP6 در آینده نزدیک. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۳(۳)، ۲۴۶۲۱۴.
- ۹) خوش‌اخلاق، فرامرز، قنبری، نوذر و معصوم پور سماکوش، جعفر (۱۳۸۷). مطالعه اثرات نوسان اطلس شمالی بر رژیم بارش و دمای سواحل جنوبی دریای خزر. *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۶۶، (۵۷/۷۰).
- ۱۰) ساری صراف، بهروز، رستم‌زاده، هاشم و محمدی، نبی (۱۴۰۳). پیش‌نگری بارش با استفاده از مدل‌های CMIP6 تا پایان قرن ۲۱ در شمال غرب ایران. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۳(۱)، ۱۹۴-۱۷۳.
- ۱۱) ساجد، علی، گندمکار، امیر، و باقری بداغ‌آبادی، محسن (۱۴۰۴). تحلیل روند تغییرات هیدروکلیماتولوژی حوضه آبریز رودخانه آجی‌چای (تلخه‌رود)، *اندیشه‌های نو در علوم جغرافیایی*، ۸(۳)، ۱۳۱۱۱۱.



- ۱۲) صابری لویه، فردین، علیجانی، بهلول و خالدی، شهریار (۱۳۹۸). برآورد تغییرات آب‌وهوایی آینده در ساحل جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل آب‌وهوایی منطقه‌ای. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۶(۱)، ۱۱۱۳۸.
- ۱۳) صلاحی، برومند و بهروزی، محمود (۱۴۰۱). بررسی ارتباط الگوی پیوندازدور دریای شمال - خزر با بارش‌های ایران (مطالعه موردی: استان اردبیل). *پژوهش‌های دانش‌زمین*، ۱۳(۲)، ۲۰۱.
- ۱۴) علوی نیا، حسن و زارعی، مهدی (۱۴۰۰). آنالیز روند تغییر اقلیم با استفاده از شاخص‌های حدی داده‌های بلندمدت بارش و دما در جنوب‌شرق ایران. *فصلنامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۱۱(۴۴)، ۱۶۱.
- ۱۵) عزیزیان، ته‌مین، عسگری، احمد (۱۳۹۱). مطالعه اثر نمایه‌ی AO بر پرفشار سبیری و اثرهای احتمالی آن بر بارش منطقه ساحلی جنوب دریای خزر. *پژوهش‌های علوم و فنون دریایی*، ۳(۷)، ۲۷۱۳.
- ۱۶) علی محمدی، مهریار، قلی‌نژاد، ارسلان، نجاری کهنوج، هادی، محمدی، علی، ذاق آبادی، احمد. (۱۴۰۳). بررسی عوامل جوی تأثیرگذار در نوسانات سطح تراز آب دریای کاسپین از سال ۱۹۹۲ الی ۲۰۲۲، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۵۸(۵۸)، ۱۵۷۱۴۱.
- ۱۷) عسگری، احمد و رحیم‌زاده، فاطمه (۱۳۸۵). مطالعه تغییرپذیری بارش دهه‌های اخیر ایران، *پژوهش‌های جغرافیایی ایران*، ۵۸، ۸۰۶۷.
- ۱۸) فلاحت‌پیشه، ایمان، یوسفی، یدالله و رورده، همت اله (۱۴۰۲). ارتباط شاخص‌های پیوندازدور با ناهنجاری‌های دمایی، بارشی و باد استان مازندران در نیمه دوم سال (اکتبر تا مارس)، *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۴۰۲(۵۴)، ۱۳۳۱۴۸.
- ۱۹) فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۲). تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه مطالعه موردی: رودخانه ششپیر، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۴(۱)، ۱۷-۳۲.
- ۲۰) فخیمی، سئودا، زینالی، بتول و صلاحی، برومند. (۱۴۰۳). پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر بارش استان آذربایجان شرقی، *مطالعات علوم محیط زیست*، ۹(۴)، ۹۵۷۶-۹۵۶۰.
- ۲۱) قدرتی، زینب، صلاحی، برومند و صابر، مهناز (۱۴۰۳). ارزیابی روند تغییرات فراوانی روزهای بارش همرفتی در شمال‌غرب ایران به روش من - کندال و شیب سن، *مطالعات علوم محیط‌زیست*، ۹(۴)، ۹۵۸-۹۹۵.
- ۲۲) قویدل‌رحیمی یوسف، فرج‌زاده اصل، منوچهر و حاتمی زرنه، داریوش (۱۳۹۵). نقش اثرات الگوی پیوندازدور دریای شمال - خزر در نوسان‌پذیری دماهای بیشینه ایران، *تشریح جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۰(۵۶)، ۲۳۹۲۵۵.
- ۲۳) کتیری، مریم، گودرزی، مسعود، جانباز قبادی، غلامرضا و متولی، صدرالدین (۱۳۹۹). چشم انداز آینده تغییرات دما و بارش در سواحل جنوبی دریای خزر، *جغرافیای طبیعی*، ۱۳(۴۷)، ۵۱۳۵.
- ۲۴) گندمکار، امیر و خادم‌الحسینی، احمد (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات بارش در زابل، *مجله آمایش محیط*، ۶، ۷۷۶۵.



- ۲۵) میر موسوی سیدحسین، دوستکامیان مهدی و ستوده، فاطمه (۱۳۹۵). بررسی و تحلیل الگوی فضایی تغییرات درون دهه‌ای بارش‌های سنگین و فوق سنگین ایران، *جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، ۲۷(۳)، ۸۶۶۷.
- ۲۶) معنوی‌پور، کبری، زینالی، بتول و صلاحی، برومند (۱۴۰۳). بررسی ارتباط بین بارش‌های سنگین غرب کشور ایران با رودخانه جوی، *مطالعات علوم محیط‌زیست*، ۹(۲)، ۸۳۲۲-۸۳۳۲.
- ۲۷) میرهاشمی، حمید و حسونند، زیبا (۱۴۰۱). تأثیر الگوهای پیوندازدور بر بارش‌های ماهانه ایستگاه‌های شهر خرم‌آباد و کرمانشاه. *مدل‌سازی و مدیریت آب‌ونخاک*، ۳(۴)، ۱۳۳-۱۵۱.
- ۲۸) نبی بید هندی، غلامرضا، محمدنژاد، شاهین و عبادتی، فاطمه (۱۳۸۷). مفاهیم و پیامدهای تغییر آب و هوا با مروری بر پروتکل کیوتو، تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- 29) Branstator, G., (2002). Circumglobal teleconnections, the jet stream waveguide, and the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate*, v. 15(14), p. 18931910.
- 30) Çağlar, F., Yetemen, O., Pan Chun, K., & Lutfi Sen, O. (2023). The merit of the North SeaCaspian pattern in explaining climate variability in the EuroMediterranean region. *International Journal of Climatology*, 43(10).
- 31) Kutiel, H., Y, Benarochy, (2001). North SeaCaspian pattern (NCP)an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean. *Theoretical and Applied Climatology*, 69 (1), 3967.
- 32) Kliengchuay, W., Mingkhwan, R., & Kiangkoo, N. (2024). Analyzing temperature, humidity, and precipitation trends in six regions of Thailand using innovative trend analysis. *Sci Rep*, 14, 7800 (2024).
- 33) Karagiannidis, A., F., Karacostas, T., Maheras, P. & Makrogiannis, T. (2012). Climatological aspects of extreme precipitation in Europe, related to midlatitude cyclonic systems. *Theor. Appl. Climatol.*, No. 107, pp. 165174.
- 34) Khamidov, S., Li, Z., Nasirova, M., Pulatov, B., & Pulatov, A. (2023). Assessment of temperature and precipitation trends in Kashkadarya, Uzbekistan. *E3S Web of Conferences*, 365, 01005.
- 35) Mohammadrezaei, M., Soltani, S., & Modarres, R. (2020). Evaluating the effect of oceanatmospheric indices on drought in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 140, 219–230.
- 36) Plewa, K., Perz, A., & Wrzesin'ski, D. (2019). Links between Teleconnection Patterns and Water Level Regime of Selected Polish Lakes. *Water*, 11, 1330; doi:10.3390/w11071330.
- 37) Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., Piovano, E. L., & Depetris, P. J. (2006). Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quaternary International*, 158(1), 127139.
- 38) Park, Ch., Choi, J., Son, S., Kim, D., Yeh, S., Kug, J. (2023). SubSeasonal Variability of ENSO Teleconnections in Western North America and Its Prediction Skill. *JGR: Atmospheres*, 128, 6.
- 39) Salnikov, V.; Talanov, Y.; Polyakova, S.; Assylbekova, A.; Kauazov, A.; Bultekov, N.; Musralinova, G.; Kissebayev, D.; & Beldeubayev, Y. (2023). An Assessment of the Present Trends in Temperature and Precipitation Extremes in Kazakhstan. *Climate*, 11, 33.

- 40) Ratna, Satyaban B., Osborn, Timothy J., Joshi, Manoj., Yang, Bao., & Wang, J. (2019). Identifying teleconnections and multidecadal variability of East Asian surface temperature during the last millennium in CMIP5 simulations. *Clim. Past*, 15, 1825–1844.
- 41) Serrano, A., Mateos, V.L., & Garcia, J.A. (1999): Trend Analysis of Monthly Precipitation Over the Iberian Peninsula for the Period 1921-1995. *phys. Chem. EARTH(B)*, 24(12), 8590.
- 42) Sari Saraf, B., Rostamzadeh, H., & Mohammadi, N. (2014). Precipitation forecasting using CMIP6 models until the end of the 21st century in northwestern Iran. *Geography and Environmental Hazards*, 13(1), 194-173.
- 43) Satyaban B. Ratna, Timothy J. Osborn, Manoj Joshi, Bao Yang, and Jianglin Wang (2019). Identifying teleconnections and multidecadal variability of East Asian surface temperature during the last millennium in CMIP5 simulations, *Clim. Past*, 15, 1825–1844.
- 44) Takeuchi, Z.X.Xu.K., & Ishidaira. H. (2003). Monitoring Trend Step Changes in Precipitation in Japanese Precipitation. *Journal of hydrology*. 279, 144-150.
- 45) Tan, X., Gan, T.Y., & Shao, D. (2017). Effects of persistence and large-scale climate anomalies on trends and change points in extreme precipitation of Canada. *Journal of Hydrology*, 550, 453-465
- 46) Yatagai, A., Krishnamurti, T.N., Kumar, V., Mishra, A.K., & Simon, A. (2014). Use of APHRODITE Rain Gauge–Based Precipitation and TRMM 3B43 Products for Improving Asian Monsoon Seasonal Precipitation Forecasts by the Superensemble Method. *Journal of Climate*, 27(3): 1062-1069.
- 47) Wallace JM, Gutzler DS. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Monthly Weather Review*, 109: 784–812.
- 48) Wigley, T.M.L. (2000). Stabilization of CO₂ concentration levels. (In) *The Carbon Cycle*, (eds. T.M.L. Wigley and D.S. Schimel), Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 258–276.