

Analysis of Spatial and Temporal Changes of Extreme Precipitation in Isfahan Province

Nasrin Nikandish

Assistant Professor of Geography, Payam Noor University, Isfahan, Iran

✉ E-mail: niknasrin@pnu.ac.ir



How to Cite: Nikandish, N. (2026). Analysis of Spatial and Temporal Changes of Extreme Precipitation in Isfahan Province. *Geography and Development*, 23 (81), 175-194.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2025.49837.3679>

Received:

16 September 2024

Received in revised form:

25 May 2025

Accepted:

10 June 2025

Published online:

2 January 2026

ABSTRACT

This research used daily precipitation data from 22 synoptic stations from the time of their establishment until 2024 and the Ordinary Kriging model with the aim of spatially analyzing extreme precipitation in Isfahan province. To study temporal changes, daily precipitation data from selected stations in Kashan in the north of the province and Isfahan in the center of the province from 1972-2024 were used to compare three time periods, and from Khor & Biabanak in the east of the province, Golpayegan in the west of the province, and Shahreza in the south of the province from 1992-2024 were used to compare two time periods by applying the generalized extreme value distribution model. The model is fitted for four annual precipitation indices: annual extreme precipitation, ratio of extreme precipitation to annual precipitation, and ratio of extreme days to annual rainy days. The results showed that in Isfahan province, about 43 to 53 percent of the annual precipitation falls as extreme precipitation on 10 to 11 percent of the rainy days of the year. Annual precipitation is decreasing throughout the province, with the greatest decrease in the east and the least in the north of the province. The ratio of extreme precipitation to annual precipitation has decreased slightly in the west and south of the province, but there has been a significant decrease in the east of the province. In the north of the province, the ratio of extreme precipitation to annual precipitation has increased in the third period.

Keywords:

Extreme precipitation,
Isfahan province,
Spatial analysis,
Temporal analysis,
Generalized distribution
of extreme values.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

Isfahan province faces with severe water resource constraints with a long-term average annual rainfall of about 155 mm. Climate hazards are one of the major obstacles to the development of this province. Water resources management is one of the solutions to overcome these tensions. Precipitation is one of the important components of water management that should be carefully analyzed. Spatial and temporal analysis of extreme precipitation should be considered to prevent the risks arising from this phenomenon or reduce their effects as one of the components of the management tool. Zoning maps of extreme rainfall with different ranges are the result of spatial analysis interpolation. These maps can help managers and users to convert threats from this phenomenon into valuable opportunities. Determining the type of distribution and fitting appropriate curves is an important tool for analyzing the temporal changes of extreme precipitation. The generalized extreme value probability distribution is used to estimate extreme values based on maximum data (Pratio et al., 2019:3). Understanding the distribution of precipitation probability increases the management capacity of this natural resource and facilitates forecasting and planning based on it (Asakereh, 2010:52).

The aim of this research is to analyze the spatial and temporal changes in precipitation in Isfahan province.

Study Area of the Research-Isfahan province- is located in the central part of Iran, with an area of about 937,105 square kilometers between 43°30' and 27°34' north latitude and 36°49' and 31°55' east longitude.

2. Materials and Methods

Isfahan province is located in the central part of Iran, with an area of about 937,105 square kilometers between 27°34' and 43°30' north latitude and 31°55' and 36°49' east longitude. Isfahan Province is bordered by Semnan, Qom, and Markazi provinces to the north, Yazd province to the east, Fars, Kohgiluyeh & Boyer Ahmad provinces to the south, and Chaharmahal & Bakhtiari and Lorestan provinces to the west.

In this study have been used, daily precipitation statistics from 22 synoptic stations from the beginning of their establishment to 1403 AH to spatially analyze extreme precipitation in Isfahan Province. The daily rainfall data of the selected stations of the province have been used to investigate the temporal changes of rainfall at appropriate times according to the length of the statistical period. Kashan in the north of the province and Isfahan in the center of the province from 1972-1973 to 2023-2024 solar year have been used to compare three time periods, and Khor and Biabanak in the east of the province, Golpayegan in the west of the province and Shahreza in the south of the province from 1992-1993 to 2023-2024 statistics have been used to compare two time periods by applying the generalized extreme value distribution model.

3. Results and Discussion

The study of the annual and extreme precipitation maps of the province shows that in general, precipitation has a decreasing trend from west to east and south to north in terms of space. The long-term average annual precipitation and annual extreme precipitation in Isfahan province are about 155 and 54 mm, respectively. Extreme precipitation occurs most frequently in winter (45%), spring (32%), and autumn (23%), especially in March and April.

Annual rainfall is decreasing in the province, with the largest decrease in the east and the smallest in the north of the province. Extreme rainfall has increased in the north and center of the province. While it has decreased in the west, east, and south, with the decrease being most evident in the east. The ratio of extreme rainfall to annual rainfall has decreased somewhat in the west and south of the province, while it has decreased significantly in the east of the province. In the west of the province, extreme rainfall days have recently accounted for a higher percentage of rainy days. In the south of the province, the ratio of extreme days to rainy days has increased significantly, but in the east of the province, this ratio has decreased significantly.

4. Conclusion

Although the annual rainfall of the province is decreasing, the occurrence of 43 to 53 percent of the annual rainfall in 10 to 11 percent of the rainy days of the year in the form of extreme rainfall causes a significant portion of the rainfall to quickly turn into runoff, which may both increase the occurrence of weather hazards and cause an imbalance in water reserves in the province.

Without a doubt, these events are a serious threat to the development of Isfahan province. Isfahan province needs sustainable water and soil resources to maintain its dynamism and increasing progress, so these resources must be carefully examined and managed. Spatial and temporal monitoring of extreme precipitation is in line with achieving comprehensive development of the province.

Keywords: Extreme precipitation, Isfahan province, Spatial analysis, Temporal analysis, Generalized distribution of extreme values.

5. References

- Asakereh Hossein, Mazini Fereshteh. (2010). Analysis of the annual precipitation probability distribution of Golestan Province. Iranian Water Resources Research, Volume 6, Issue 1, Spring 2010
https://www.iwrr.ir/article_15789.html
- Asakereh Hossein, Hosseinjani Leila. (2019). Evaluation of regression models fitting some characteristics of high and widespread extreme precipitation in the Caspian region. Geography and Environmental Hazards, 8(1), 199-217.
https://geoeh.um.ac.ir/article_33211.html

- Alijani, Bahloul. (2011). Spatial Analysis of Daily Critical Temperatures and Precipitations in Iran. *Applied Research in Geographic Sciences (Geographical Sciences)*, 17(20), 9-30.
<https://jgs.khu.ac.ir/article-1-593-fa.htm>
- Azad Gholami Khosmekhi Fereydoun, Rezaei Parviz, Gandomkar Amir. (2010). Seasonal Analysis of the Occurrence of Days with Heavy Precipitation in the Talesh Basin - Anzali Wetland. *Natural Environmental Hazards*, 9(25), 17-40.
https://jneh.usb.ac.ir/article_5467.html
- Back, Á. J., & Bonfante, F. M. (2021). Evaluation of generalized extreme value and Gumbel distributions for estimating maximum daily rainfall. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, 56(4), 654-664.
<https://doi.org/10.5327/Z217694781015>
- Coronado-Hernández, Ó. E., Merlano-Sabalza, E., Díaz-Vergara, Z., & Coronado-Hernández, J. R. (2020). Selection of hydrological probability distributions for extreme rainfall events in the regions of Colombia. *Water*, 12(5), 1397.
<https://doi.org/10.3390/w12051397>
- Ghasemi-nejad, Saeideh, Soltani, Saeed, Sofyanian, Alireza. (2014). Drought Risk Assessment of Isfahan Province. *Soil and Water Sciences, Journal of Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources, Isfahan University of Technology* 18(68), 213-226.
<http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-2749-fa.html>
- Gentilucci, M., Rossi, A., Pelagagge, N., Aringoli, D., Barbieri, M., & Pambianchi, G. (2023). GEV Analysis of Extreme Rainfall: Comparing Different Time Intervals to Analyse Model Response in Terms of Return Levels in the Study Area of Central Italy. *Sustainability*, 15(15), 11656.
<https://doi.org/10.3390/su151511656>
- Ghorbani, Hamid. (2022). Fitting the best probability distribution to the maximum daily precipitation in the year (case study of Isfahan and Kashan synoptic stations). *Journal of Mathematics and Society*, 7(2), 9-18.
https://math-sci.ui.ac.ir/article_26991.html
- John, O. (2022). Evaluation of Rainfall Extreme Characteristics in Dodoma Urban, A Central Part of Tanzania. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(3), 165-177.
<https://doi.org/10.30897/ijgeo.1000458>
- Jahanbakhsh Asl, Saeed Sari Saraf Behrouzar, Asakere Hossein, Shirmohammadi Soheila. (2020). Analysis of the spatial-temporal changes of critical precipitation (high extremes) in western Iran during 2016–1965. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 7(1), 89-106,
<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2926-fa.html>
- Kodra, E., & Ganguly, A. R. (2014). Asymmetry of projected increases in extreme temperature distributions. *Scientific reports*, 4(1), 5884.
<https://www.nature.com/articles/srep05884>
- Lymperi, O. A., & Varouchakis, E. A. (2024). Modeling Extreme Precipitation Data in a Mining Area. *Mathematical Geosciences*, 1-33.
https://www.researchgate.net/publication/377857756_Modeling_Extreme_Precipitation_Data_in_a_Mining_Area
- Moccia, B., Mineo, C., Ridolfi, E., Russo, F., & Napolitano, F. (2021). Probability distributions of daily rainfall extremes in Lazio and Sicily, Italy, and design rainfall inferences. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 33, 100771.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100771>
- Mo, C., Ruan, Y., He, J., Jin, J., Liu, P., & Sun, G. (2019). Frequency analysis of precipitation extremes under climate change. *International Journal of Climatology*, 39(3), 1373-1387,
<https://doi.org/10.1002/joc.5887>
- Mo, C., Song, X., Ruan, Y., Lan, H., Lei, X., Xing, Z., & Sun, G. (2022). Climate change impact on extreme value and its frequency distribution function in a karst basin, Southwest China. *Journal of Water and Climate Change*, 13(3), 1354-1369.
<https://doi.org/10.2166/wcc.2022.415>

- Mirmoridi, Atefeh, Dariush Yarahmadi and Hamid Mirhashemi. (2021). Investigation of spatio-temporal variability of annual precipitation and maximum daily precipitation in western Iran. *Physical Geography Research*, 53(3), 335-349.
https://jphgr.ut.ac.ir/article_83618.html
- Masoudian, Seyyed Abolfazl. (2023). Meteorological study of spring 2019 flood rainfall in western Iran. *Natural Environment Hazards*, 12(37), 101-116.
https://jneh.usb.ac.ir/article_7233.html
- Mohammadi Jawzdani, Somayeh, Maleknejad, Hossein and Dolati, Ali. (2020). the effect of hydro-climatic homogeneous regions on determining the best probability distribution for maximum daily rainfall. *Quarterly Journal of Water Resources Engineering*, 12(40), 105-114
https://wej.marvdasht.iau.ir/article_3454.html
- Moeiri, Masoud and Entezari, Mojgan. (2008). Floods and a review of floods in Isfahan Province, *Studies on Planning of Human Settlements*, 3(6), 110-124.
<https://sanad.iau.ir/Journal/jshsp/Article/1032735>
- Ng, J. L., Yap, S. Y., Huang, Y. F., Noh, N. M., Al-Mansob, R. A., & Razman, R. (2020). Investigation of the best-fit probability distribution for annual maximum rainfall in Kelantan River Basin. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 476, No. 1, p. 012118). IOP Publishing.
<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012118>
- Pratiwi, N., Iswahyudi, C., & Safitri, R. I. (2019, May). Generalized extreme value distribution for value at risk analysis on gold price. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1217, No. 1, p. 012090). IOP Publishing.
<https://iopscience.iop.org/article>
- Razi Ghalavand, Mahin; Farajzadeh Asl, Manouchehr; Qavidel Rahimi, Yousef. (2013). Analysis of the instability of extreme precipitation in relation to temperature. *Climatological Research*, 2013(56), 95-112
https://clima.irimo.ir/issue_24931_27584.html
- Rieder, H. E. (2014). *Extreme Value Theory: A primer*. Lamont-Doherty Earth Observatory,
https://www.ldeo.columbia.edu/~amfiore/eescG9910_f14_ppts/Rieder_EVTPrimer.pdf
- Regueira, A. D. O., & Wanderley, H. S. (2022). Changes in rainfall rates and increased number of extreme rainfall events in Rio de Janeiro city. *Natural Hazards*, 114(3), 3833-3847.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11069-022-05545-y>
- Ragulina, G., & Reitan, T. (2017). Generalized extreme value shape parameter and its nature for extreme precipitation using long time series and the Bayesian approach. *Hydrological Sciences Journal*, 62(6), 863-879.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1260134>
- Salama, A. M., Gado, T. A., & Zeidan, B. A. (2018). On selection of probability distributions for annual extreme rainfall series in Egypt, Twenty-first International Water Technology Conference, IWTC21.
<https://www.semanticscholar.org/paper>
- Tanprayoon E, Tonggumnead U, Aryuyuen S. (2023). A new extension of generalized extreme value distribution: Extreme value analysis and return level estimation of the rainfall data. *Trends in Sciences*. 2023, 20(1): 4034.
<https://tis.wu.ac.th/index.php/tis/article/view/4034>
- Warren, R. A., Jakob, C., Hitchcock, S. M., & White, B. A. (2021). Heavy versus extreme rainfall events in southeast Australia. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147(739), 3201-3226.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.4124>



تحلیل تغییرات مکانی و زمانی بارش فرین استان اصفهان

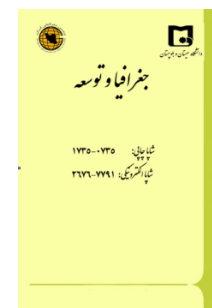
دکتر نسرين نیک‌اندیش

مقاله پژوهشی

چکیده

در این پژوهش به منظور تحلیل مکانی بارش‌های فرین استان اصفهان از داده‌های بارش روزانه ۲۲ ایستگاه همدید از بدو تأسیس تا سال ۱۴۰۳ و مدل کریجینگ معمولی استفاده شده است. برای بررسی تغییرات زمانی از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب کاشان در شمال استان و اصفهان در مرکز استان از سال ۱۴۰۳-۱۳۵۱ برای مقایسه سه دوره زمانی و از خور و بیابانک در شرق، گلپایگان در غرب و شهرضا در جنوب استان از ۱۴۰۳-۱۳۷۱ برای مقایسه دو دوره زمانی با کاربست مدل توزیع مقادیر فرین تعمیم‌یافته، استفاده شده است. مدل برای چهار شاخص بارش سالانه، بارش فرین سالانه، نسبت بارش فرین به بارش سالانه و نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی سالانه برآزش داده شد. نتایج نشان داد که در استان اصفهان حدود ۴۳ تا ۵۳ درصد از بارش سالانه در ۱۰ تا ۱۱ درصد روزهای بارانی سال به صورت فرین نازل می‌شوند. بارش سالانه در سطح استان رو به کاهش است و بیشترین کاهش در شرق و کمترین آن در شمال استان وجود دارد. نسبت بارش‌های فرین به بارش سالانه در غرب و جنوب استان تا حدودی کاهش یافته است اما در شرق استان کاهش چشمگیر یافته است. شمال استان نسبت بارش فرین به بارش سالانه در دوره سوم افزایش داشته اما روزهای بارش فرین سهم کمتری از روزهای بارانی را دارند. مرکز استان هم نسبت بارش‌های فرین به بارش سالانه و هم نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی افزایش یافته است. در غرب استان در دوره اخیر روزهای بارش‌های فرین درصد بیشتری از روزهای بارانی را شامل می‌شود. در جنوب استان نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی به مقدار زیادی افزایش یافته است اما در شرق استان نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی کاهش یافته است. برای مدیریت بحران آب و کاهش خطر خیزش ریزگردها به ویژه در شرق و مرکز استان، بررسی و مدیریت بارش‌های فرین ضروری است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۸۱، زمستان ۱۴۰۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۶/۲۶
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۴/۳/۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۲۰
صفحات: ۱۷۵-۱۹۴



واژه‌های کلیدی:

بارش‌های فرین، استان اصفهان، تحلیل مکانی، تحلیل زمانی، توزیع تعمیم‌یافته مقادیر فرین.

مقدمه

استان اصفهان با میانگین بلندمدت بارش سالانه حدود ۱۵۵ میلی‌متر و کاهش جریان‌های آبی، با چالش محدودیت شدید منابع آب روبه‌رو می‌باشد. همچنین این استان با مخاطرات آب‌وهوایی زیادی، نظیر سیل، خشکسالی، خیزش ریزگردها، زمین‌لغزه‌ها، نشست زمین و کاهش سطح آب‌های زیر زمینی مواجه است. بررسی برخی از محققان نشان می‌دهد در یک دوره ۷۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۰۱) از ۵۲ مورد سیل شدید در کشور ۱۲ مورد در استان اصفهان رخ داده است (معیری، ۱۳۸۷: ۱۱۷). برخی اذعان نمودند که بخش زیادی از استان در طبقه ریسک بالا و خیلی‌بالای خشکسالی قرار دارد (قاسمی‌نژاد، ۱۳۹۳: ۲۲۳). از آنجایی که استان اصفهان همواره به‌عنوان یکی از قطب‌های اقتصادی و صنعتی مهم کشور مطرح بوده است، برای حفظ جایگاه خود باید آب و مخاطرات مربوط به آن را مدیریت نماید. بارش یکی از مؤلفه‌های مهم مدیریت آب می‌باشد که باید مورد واکاوی دقیق قرار گیرد. تحلیل فضایی و زمانی بارش‌های فرین به‌عنوان یکی از ابزارهای مدیریت برای پیشگیری از مخاطرات ناشی از این پدیده و یا کاهش اثرات سوء آن‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. نقشه‌های پهنه‌بندی بارش‌های فرین با دامنه‌های مختلف که حاصل درون‌یابی تحلیل‌های فضایی است، می‌تواند به مدیران و کاربران کمک کند تا با استفاده از آن‌ها بتوانند

تهدیدهای ناشی از این پدیده را به فرصت‌های با ارزش تبدیل کنند. علاوه بر این تعیین نوع توزیع و برآزش منحنی‌های مناسب برای بارش‌های فرین، ابزاری مناسب برای واکاوی تغییرات زمانی بارش‌های فرین می‌باشد. توزیع‌های احتمال براساس متغیرهای تصادفی تعیین می‌شوند و برخی از ویژگی‌های آن‌ها را با فرانسج‌های خود آشکارسازی می‌کنند. یکی از توزیع‌های احتمال که اغلب برای تحلیل مقادیر فرین متغیرهای اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد، توزیع احتمال مقادیر حدی تعمیم‌یافته^۱ است. این توزیع برای برآورد مقادیر فرین براساس داده‌های بیشینه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pratiwi et al.:2019:3) و دارای سه فرانسج مکان، مقیاس و شکل می‌باشد که با استفاده از آن‌ها می‌توان اطلاعات بیشتری در مورد تغییرپذیری داده‌ها، دوره‌های بازگشت و احتمال وقوع فرین‌ها و مقایسه آن‌ها در دوره‌های زمانی مختلف به دست آورد. فرانسج مکان که سنج میانگین است، تغییر یک توزیع را در یک جهت معین در محور افقی نشان می‌دهد. تغییر مقدار آن بر دنباله توزیع اثر گذاشته و سبب جابه‌جایی رخدادهای فرین می‌شود. فرانسج مقیاس که سنج پراکندگی می‌باشد، به تغییر در عرض توزیع‌ها؛ یعنی تغییرپذیری آن‌ها اشاره دارد و فرانسج شکل رفتار دنباله‌های انتهای توزیع را نشان می‌دهد (Kordra et al, 20114: 2) در مجموع شناخت توزیع احتمال بارش، توان مدیریتی این منبع طبیعی را فزونی بخشیده و امکان پیش‌بینی و برنامه‌ریزی مبتنی بر آن‌ها آسان‌تر می‌سازد (عساکره، ۱۳۸۹: ۵۲). هدف این پژوهش، تحلیل تغییرات مکانی و زمانی بارش‌های فرین استان اصفهان است.

در این زمینه، تحقیقاتی در داخل و خارج کشور انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: لیمپری و واروچاکیس (۲۰۲۴)^۲ به دنبال وقوع بارش‌های شدید در یونان با تحقیقی تحت عنوان: "مدل‌سازی بارش‌های فرین در یک منطقه معدنی کوچک" سعی کردند که تحلیل آماری کاملی از ویژگی‌های بارش‌های فرین برای منطقه معدنی واقع در شمال شرقی شبه‌جزیره چالکیدیکی ارائه دهند. آن‌ها از داده‌های بارش روزانه سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۲۱ چهار ایستگاه هواشناسی استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که توزیع تعمیم‌یافته پارتو مناسب‌ترین توزیع می‌باشد.

جنتیلوسی و همکاران (۲۰۲۳)^۴ در تحقیق خود تحت عنوان: "تحلیل بارش‌های فرین بر اساس توزیع مقادیر تعمیم‌یافته: مقایسه فواصل زمانی بر اساس پاسخ‌های مدل در دوره‌های بازگشت بارش در ایتالیای مرکزی" از مدل مقادیر فرین تعمیم یافته با رویکرد بیشینه بلوک استفاده کردند. آن‌ها ۱۳۱ سری زمانی بارندگی از دامنه‌های آدریاتیک را در دو دوره زمانی ۷۰ ساله (۱۹۵۱-۲۰۲۰) و ۳۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۲۰) با هم مقایسه کردند. آن‌ها پیشنهاد کردند بارش‌های فرین در دوره‌های کوتاه تحلیل شوند زیرا تغییر اقلیم باعث می‌شوند سری‌های زمانی طولانی کمتر واقعی باشند.

تان‌پرایون و همکاران (۲۰۲۳)^۵ در تحقیق خود تحت عنوان: "افزونه جدید توزیع مقادیر فرین تعمیم‌یافته: تحلیل مقادیر فرین و برآورد دوره‌های بازگشت بارش"، افزونه جدیدی به نام GO-GEV را برای بارش‌های فرین استان لویپوری در کشور تایلند مورد استفاده قرار داده‌اند. این افزونه بهتر از مدل GEV توزیع داده‌های بارش‌های فرین را توضیح می‌دهد.

1. Generalized extreme value distribution
2. Location, Scale and Shape
3. Lymperi A & Varouchakish
4. Gentilucci et al
5. Tanprayoon et al

جوهان (۲۰۲۲)^۱ ویژگی‌های بارش‌های فرین شهر دودوما با اقلیم نیمه‌خشک را با استفاده از آمار ۲۰ ساله و براساس شاخص‌های تغییرپذیری، توزیع‌های احتمالاتی و دوره‌های بازگشت، بررسی کرد. بررسی این محقق نشان داد که براساس شاخص بارش روزانه، شدت بارش در روزهای مرطوب سال کاملاً متفاوت می‌باشد.

مو و همکاران (۲۰۲۲)^۲ در تحقیق خود اثرات تغییرات آب‌وهوا بر مقدار فرین دما و بارش و تابع توزیع فراوانی آن‌ها را در حوضه چنگبی^۳ در جنوب غربی چین بررسی کردند. آن‌ها برای تحقیق‌شان داده‌های ۵۵ سال (۲۰۱۷-۱۹۶۳) را با مدل‌های توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته و توزیع پارتو تعمیم‌یافته^۴ تحلیل کردند. نتایج نشان داد بارش‌های فرین روند نزولی داشته و روند دماهای فرین واضح نمی‌باشند.

رگوئرا و واندل (۲۰۲۲)^۵ تغییرات میزان بارندگی و افزایش تعداد رخدادهای فرین را در شهر ریودوژانیرو در یک دوره ۲۰ ساله از ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۷ بررسی کردند. تحقیق آن‌ها نشان داد که میزان بارش در ده سال اول افزایش و پس از آن کاهش یافته است.

باک و بون فانت (۲۰۲۱)^۶ در تحقیق خود در برزیل به منظور تعیین بهترین توزیع احتمالاتی برای برآورد بارش روزانه بیشینه، دو توزیع گامبل و توزیع حدی تعمیم‌یافته را ارزیابی و مقایسه کردند. ۲۲۴ سری از بارش بیشینه سالانه را با طول دوره آماری ۱۲ تا ۹۰ سال در سانتا کاترینای^۷ برزیل، تحلیل کردند. بررسی آن‌ها نشان داد توزیع حدی تعمیم‌یافته با اکثر ایستگاه‌ها بهترین تطابق را دارد.

موکیا و همکاران (۲۰۲۱)^۸ شش توزیع احتمالاتی را در مورد بارش‌های فرین در دو منطقه لاتزیو در مرکز و سیسیلی در جنوب ایتالیا، بررسی کردند. نتایج نشان داد برای نمونه‌های بیشینه سالانه توزیع فرچت و برای نمونه‌های اوج‌های بالاتر از یک آستانه، توزیع پارتو نوع ۲ بیشترین کاربرد را دارند.

کورونادو هرناندز و همکاران (۲۰۲۰)^۹ تحقیقی را با عنوان: "انتخاب توزیع‌های احتمالی هیدرولوژیکی برای بارش‌های فرین در کلمبیا" انجام دادند. نتایج نشان داد توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته با روند داده‌ها در سراسر کشور بهترین تطابق را دارد.

نگ و همکاران (۲۰۲۰)^{۱۰} در تحقیق خود با عنوان: "بررسی بهترین توزیع احتمال برای بارش‌های بیشینه سالانه در حوضه کلانتان در مالزی"، بیشینه بارش سالانه در دوره زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۴ را با مدل‌های توزیع گاما، گامبل، مقادیر حدی تعمیم‌یافته و لوگ پیرسون^۲، تحلیل کردند. توزیع مقادیر حدی تعمیم‌یافته به جز در یک ایستگاه، برای بقیه ایستگاه‌ها بهترین برازش را نشان داد.

مو و همکاران (۲۰۱۹)^{۱۱} با تأکید بر این که یکی از داده‌های ضروری برای طراحی سازه‌های آبی مهم، داده‌های مربوط به بارش‌های فرین می‌باشند که تحت تأثیر تغییر اقلیم قراردارند، به بررسی فراوانی بارش‌های فرین تحت شرایط تغییر اقلیم پرداخته‌اند. محققان سری زمانی ۵۳ ساله (۲۰۱۴-۱۹۶۳) داده‌های بارش ثبت‌شده در ۸ ایستگاه باران‌سنجی در حوضه رودخانه «چنگبی» در جنوب چین را تحلیل کردند. نتایج نشان می‌دهد که سری‌های بارندگی

1. John

2. Mo, C et al

3. Chengbi

4. Generalized Pareto Distribution

5. de Oliveira Regueira, & Wanderley

6. Back, A. J., & Bonfante, F. M

7. Santa Catarina

8. Moccia, B et al

9. Coronado-Hernández, Ó. E et al

10. Ng, J. L et al

11. Mo, C et al

در سال ۱۹۹۳ جهش یافته و کل مجموعه داده‌ها را می‌توان به دو بخش ۱۹۶۳-۱۹۹۲ و ۱۹۹۳-۲۰۱۴ تقسیم کرد. علاوه بر این، مدل توزیع پارتو تعمیم‌یافته از مدل توزیع مقادیر فرین بهتر عمل کرده است. سلاما و همکاران (۲۰۱۸)^۱ برای انتخاب توزیع احتمالاتی مناسب برای سری‌های بارش فرین سالانه، شش توزیع احتمال، نرمال، لاگ-نرمال، گامبل، پیرسون نوع ۳، لاگ-پیرسون نوع ۳ و مقدار فرین تعمیم‌یافته را بر داده‌های بیشینه بارش سالانه ۳۰ ایستگاه واقع در مصر اعمال کردند. نتایج نشان داد که توزیع‌های لاگ-نرمال و لاگ-پیرسون نوع ۳ بهترین مدل‌ها برای توصیف توزیع بیشینه بارندگی سالانه و روزانه در اکثر ایستگاه‌های مصر هستند. رازی قلاوند و همکاران (۱۴۰۲) با اذعان به اینکه افزایش شدت و فراوانی بارش‌های حدی در سال‌های اخیر، احتمال تاثیر تغییر اقلیم و افزایش دما بر نایستایی و تغییر در فراوانی وقوع این بارش‌ها را افزایش داده است، اثر افزایش دما بر نایستایی بارش‌های حدی در کشور را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که از جنوب به شمال کشور، جز در چند ایستگاه محدود، با افزایش عرض جغرافیایی، همزمان با افزایش دما شدت و فراوانی بارش‌های حدی نیز افزایش پیدا می‌کند.

مسعودیان (۱۴۰۲) رخداد بارش‌های سنگین بهار ۱۳۹۸ که سبب وقوع سیل در حوضه‌های کرخه و کارون بزرگ شده‌اند را از دیدگاه آب‌وهواشناختی بررسی کرده‌است. این محقق به کمک پایگاه داده بارش اسفزاری، میانگین بلندمدت بارش را به‌روش کریجینگ تعیین کرده و با بارش سال ۱۳۹۸ که با داده‌های ۴۵۷ ایستگاه تهیه شده است، مقایسه کرد. از این بررسی نتیجه گرفته شد که بارش سنگین و موقعیت هسته بارش، مهمترین نقش را در رخداد سیلاب داشته‌اند.

قربانی (۱۴۰۱) با هدف یافتن بهترین توزیع احتمالاتی برای بیشینه بارش روزانه در سال، از داده‌های ایستگاه‌های همدید اصفهان با دوره (۲۰۱۰-۱۹۵۱) و کاشان برای دوره (۲۰۱۰-۱۹۶۶) استفاده کرد. در مجموع، توزیع‌های نرمال معکوس و لوگ نرمال به‌عنوان بهترین توزیع به‌ترتیب برای ایستگاه اصفهان و کاشان انتخاب شدند. میرمردی و همکاران (۱۴۰۰) با هدف بررسی تغییرپذیری فضایی-زمانی بارش سالانه و بیشینه بارش روزانه در منطقه غرب ایران از داده‌های بارش شش ایستگاه سینوپتیک که از آمار بلندمدت برخوردار بودند، استفاده کردند. نتایج نشان داد روند نایکنواختی در سری زمانی بارش‌های سالانه ایستگاه‌های خرم‌آباد و همدان وجود دارد اما در ایستگاه‌های کرمانشاه، دزفول، اهواز و آبادان، روند مشخص شده در همه طبقات کاهشی و یکنواخت بود.

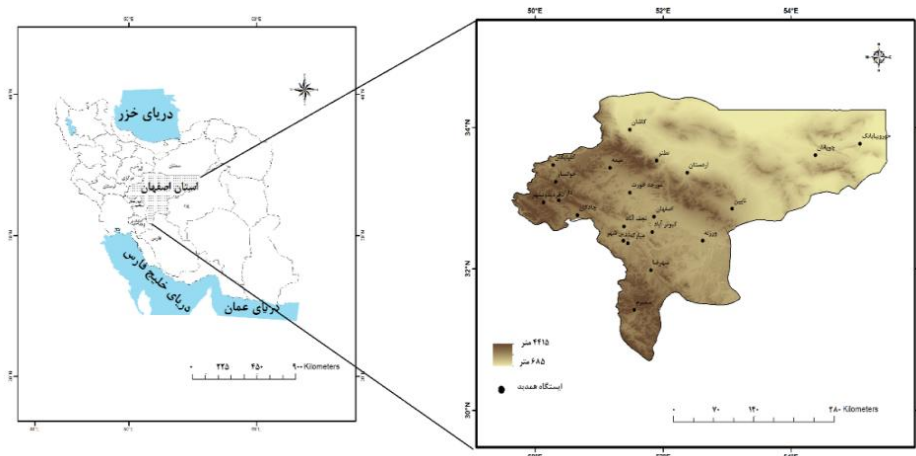
جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی در مورد بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۶۵ با هدف بررسی تغییرات زمانی-مکانی بارش‌های فرین و مشخص ساختن سهم این بارش‌ها از بارش سالانه در پهنه غرب ایران انجام دادند. این داده‌ها به‌روش کریجینگ میان‌یابی شد. برای شناسایی روزهای بارشی فرین، آستانه صدک ۹۵ به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش عرض جغرافیایی از مجموع بارش‌های فرین و از نسبت سهم آن‌ها از بارش سالانه کاسته می‌شود. روند سهم بارش‌های فرین از مجموع بارش سالانه، مشخص ساخت در حدود ۶۰ درصد از منطقه، نسبت این بارش‌ها در حال افزایش و در نزدیک به ۴۰ درصد رو به کاهش می‌باشد. آزادغلامی خسمخی و همکاران (۱۳۹۹) رخداد روزهای همراه با بارش سنگین را در حوضه تالش-تالاب انزلی بررسی کردند. بارش روزانه ۳۰ میلی‌متر و بیش‌تر را از ۲۰ ایستگاه باران‌سنجی و همدید در یک دوره ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۶) گردآوری و واکاوی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که عمدتاً روند تغییرات افزایشی است و توزیع پواسون ارزیابی مناسبی از رخدادهای بارش در این ناحیه ارائه می‌دهد.

عساکره و حسینجانی (۱۳۹۸) در پژوهش خود به واکاوی روند، فراوانی و متوسط شدت بارش‌های فرین بالا و فراگیر حاصل از آستانه صدک ۹۵-۹۹ و ۹۰-۹۵ (بارش شدید) و ۹۹ و بیشتر (بارش خیلی شدید) ناحیه خزری پرداختند. نتایج نشان داد که الگوهای رگرسیونی توانایی توجیه روند تغییرات بارش‌های فرین را نداشته‌اند؛ بنابراین دو گروه روش‌های ارزیابی دیگر، شامل تحلیل مشاهدات بر مبنای احتمال و مطالعه مشاهدات از طریق روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را توصیه کردند. محمدی جوزدانی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیقی تأثیر مناطق همگن هیدرواقليمی بر تعیین بهترین توزیع احتمالاتی برای بارش‌های بیشینه روزانه در کل ایران را بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ایزی فیت مناسب‌ترین توزیع را انتخاب کردند. نتایج نشان داد توزیع پنج پارامتری ویکبای^۱ در اغلب مناطق کشور نسبت به بقیه برتری داشته و برآوردهای این روش به واقعیت نزدیک‌تر است. همچنین توزیع سه پارامتری مقادیر حدی تعمیم‌یافته در رده بعدی قرار گرفت.

داده‌ها و روش مطالعه

معرفی منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۵,۹۳۷ کیلومترمربع بین ۳۰°۴۳' تا ۳۴°۲۷' عرض شمالی و ۴۹°۳۶' تا ۵۵°۳۱' طول شرقی در قسمت مرکزی ایران قرار گرفته است و از شمال به استان‌های سمنان، قم و مرکزی، از شرق به استان یزد، از جنوب به استان‌های فارس و کهگیلویه و بویراحمد و از غرب به استان‌های چهارمحال و بختیاری و لرستان محدود می‌شود (شکل ۱). کمترین ارتفاع استان در حدود ۷۰۷ متر در شرقی‌ترین قسمت استان در خور و بیابانک و مرتفع‌ترین قسمت استان قله شاهان کوه با ۴۰۴۰ متر ارتفاع در غرب استان در فریدون‌شهر قرار دارد. این استان به علت گستردگی زیاد، دارای نواحی بیابانی، کوهستانی و جلگه‌ای است.



شکل ۱: موقعیت سیاسی - اداری قلمرو پژوهش

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

روش مطالعه

در این پژوهش پس از ارزیابی و اعتبارسنجی داده‌های بارش روزانه، در گام اول، به منظور تحلیل مکانی بارش‌های فرین استان اصفهان از آمار بارش روزانه ۲۲ ایستگاه همدید از بدو تأسیس تا سال ۱۴۰۳ شمسی و روش کریجینگ معمولی، مدل کروی با توجه به کمترین میزان خطا استفاده شده است. در گام دوم، برای تحلیل تغییرات زمانی بارش در مقاطع زمانی با توجه به طول دوره آماری، از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب استان، کاشان در شمال و اصفهان در مرکز استان از سال ۱۳۵۱-۱۳۵۲ تا ۱۴۰۲-۱۴۰۳ شمسی برای مقایسه سه دوره زمانی و از خور و بیابانک در شرق، گلپایگان در غرب و شهرضا در جنوب استان از آمار ۱۳۷۱-۱۳۷۲ تا ۱۴۰۲-۱۴۰۳ برای مقایسه دو دوره زمانی با کاربری مدل توزیع مقادیر فرین تعمیم‌یافته استفاده شده است. در گام سوم، مدل برای چهار شاخص بارش سالانه، بارش فرین سالانه، نسبت بارش فرین به بارش سالانه و نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی سالانه برآزش داده شده است. نیکویی برآزش مدل‌ها با آزمون‌های آندرسون دارلینگ، χ^2 و کولموگروف-اسمیرنوف تأیید شد.

بارش‌های فرین در این تحقیق بارش‌های بیش از صدک ۹۰ در نظر گرفته شده است. همچنین بارش‌های صدک ۹۵ و ۹۹ محاسبه شد. صدک ۹۵ نمایه بارش بسیار سنگین^۱ و صدک ۹۹ نمایه بارش ابر سنگین^۲ است (Warren & Jakob, 2021: 3203). با توجه به ماهیت خشک اقلیم ایران، روزهای بالای صدک ۹۵ چندان زیاد نیست؛ بنابراین از صدک ۹۰ نیز استفاده می‌شود (علیجانی، ۱۳۹۰: ۸). این آستانه‌ها برای ایستگاه‌های مختلف استان متفاوت می‌باشد. در این پژوهش بارش‌های بین صدک ۹۰ و صدک ۹۵ "بارش سنگین"، بین صدک ۹۵ و صدک ۹۹ "بارش بسیار سنگین" و بیش از صدک ۹۹ "بارش ابر سنگین" نامیده شدند.

برای برآورد تابع تجمعی توزیع احتمال مقادیر حدی تعمیم یافته از فرمول‌های ۱ و ۲ و تابع چگالی احتمال توزیع از فرمول‌های ۳ تا ۵ استفاده شده است. براساس فرانسج شکل، توزیع GEV^۳ به سه نوع توزیع تقسیم می‌شود. اگر فرانسج شکل صفر باشد توزیع گامبل با دم باریک EV1، اگر بزرگتر از صفر باشد توزیع فرچت با دم سنگین EV2، اگر کوچکتر از صفر باشد، توزیع ویبول با دم کوتاه EV3 است (Ragulina et al, 2017: 865)

$$F(x) = \{\exp(-(1 + kz)^{-\frac{1}{k}})\} \quad K \neq 0 \quad (1)$$

$$F(x) = \{\exp(-\exp(-z))\} \quad k = 0 \quad (2)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-(1 + kz)^{-\frac{1}{k}}) (1 + kz)^{-1-\frac{1}{k}} \quad K \neq 0 \quad (3)$$

$$F(x) = \frac{1}{\sigma} \exp(-z - \exp(-z)) \quad k = 0 \quad (4)$$

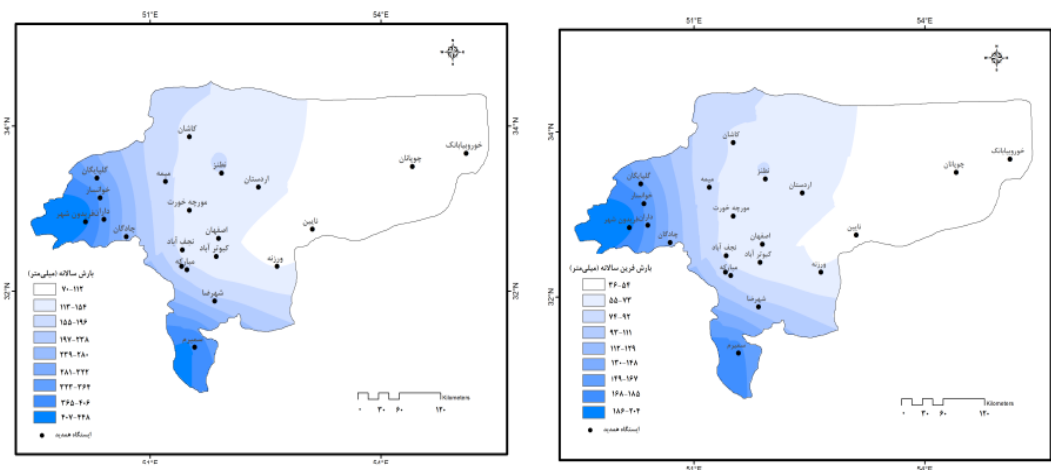
$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (5)$$

K فرانسج شکل، μ فرانسج مکان، $\sigma > 0$ فرانسج مقیاس (Rieder, H. E, 2014: 3)

نتایج و بحث

تحلیل تغییرات مکانی بارش فرین

میانگین درازمدت بارش سالانه و بارش فرین سالانه استان اصفهان به ترتیب حدود ۱۵۸ و ۷۵ میلی‌متر می‌باشد. زمان بارش از پاییز تا اواسط بهار می‌باشد. بارش‌های فرین از نظر فراوانی به ترتیب در فصول زمستان (۴۵٪)، بهار (۳۲٪) و پاییز (۲۳٪) و به‌ویژه در ماه‌های اسفند و فروردین نازل می‌شوند. بررسی نقشه بارش سالانه و فرین استان نشان می‌دهد به‌طور کلی از نظر فضایی بارش روند نزولی غربی-شرقی و جنوبی-شمالی دارد (شکل ۲). این روند بیش از هر چیز حاصل آرایش ناهمواری‌های استان می‌باشد. اندرکنش متنوع و متفاوت ارتفاعات زاگرس در نوار غربی استان و نواحی بادپناهی در سطح وسیعی از استان با مراکز فشار، پهنه‌های بارش و بوم سازگان متنوعی را ایجاد کرده است.



شکل ۲: نقشه پهنه‌های بارش سالانه و بارش فرین سالانه در استان اصفهان

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

بخش‌هایی از جنوب غرب، غرب و جنوب استان در سیطره رشته‌کوه‌های موازی و منظم، با جهت غالب شمال غربی-جنوب شرقی زاگرس قرار دارد. پرباران‌ترین پهنه با بیش از ۵۰۰ میلی‌متر با پر تعدادترین روزهای بارانی حدود ۷۰ روز در سال در مرتفع‌ترین پهنه این ناحیه کوهستانی واقع شده‌اند. دو ایستگاه همدید فریدون‌شهر و سمیرم در این محدوده واقع شده‌اند. در این پهنه بیش از ۴۵ درصد از بارش سالانه در حدود ۱۰ درصد از روزهای بارانی به صورت فرین نازل می‌شود. بیش از ۸۰ درصد بارش‌های فرین آن به صورت بسیار سنگین و سنگین می‌باشد. بر سطح دامنه‌های ارتفاعات زاگرس که ایستگاه‌های همدید گلپایگان، خوانسار، داران، چادگان و شهرضا واقع هستند، پهنه‌های بارشی ۱۹۳-۳۹۸ میلی‌متر شکل گرفته‌اند. خوانسار پرباران‌ترین و پرتعدادترین روزهای بارانی و شهرضا کم‌باران‌ترین و کم‌تعدادترین روزهای بارانی این پهنه هستند. با این حال شهرضا بیش‌ازنیمی از بارش سالانه خود را به صورت فرین دریافت کرده و درصد بارش ابرسنگین در آن بیش از سایر ایستگاه‌های این محدوده است. بارش‌های فرین این پهنه بیشتر به صورت بسیار سنگین نازل می‌شوند.

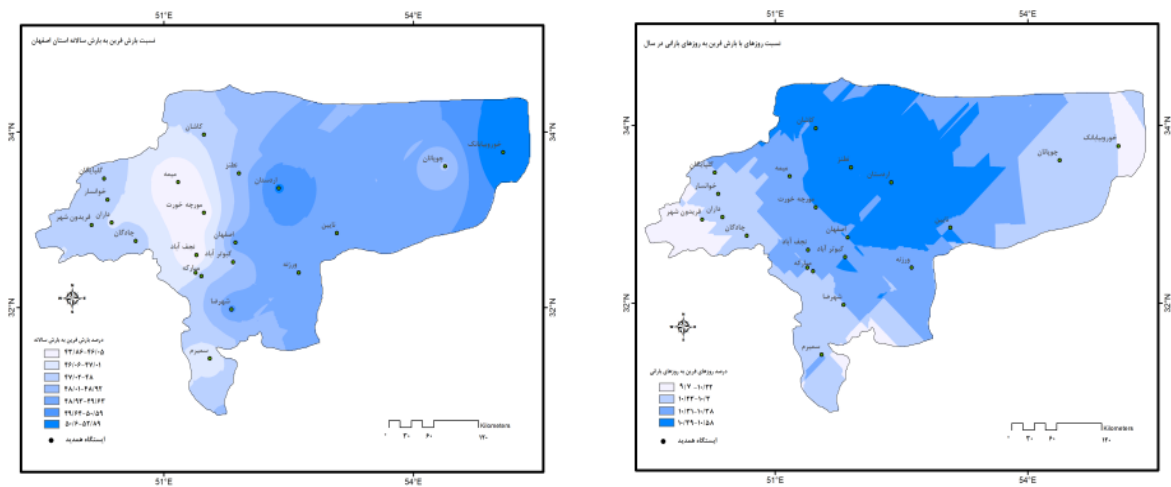
در پایکوه‌های زاگرس و ارتفاعات مرکزی، پهنه‌های کم‌بارش‌تر شکل می‌گیرند. این پهنه بارشی با ۳۲-۱۹۳ میلی‌متر شهرهای اصفهان، مبارکه، زرین‌شهر، نجف‌آباد، مورچه‌خورت، میمه، کاشان، نطنز و اردستان را در بردارد. گرچه توده‌های هوا پس از گذر از ارتفاعات زاگرس بخش بزرگی از رطوبت خود را از دست می‌دهند اما ممکن است در

برخورد با ناهمواری‌های داخلی که بخشی از رشته آتشفشانی کشور است، در ایجاد بارش شهرهایی مانند: کاشان، نطنز و اردستان تأثیر بگذارد. در این پهنه ۴۳ تا ۵۰ درصد بارش‌های سالانه در حدود ۱۰ درصد روزهای بارانی به صورت فرین نازل می‌شوند. در این پهنه بارش فرین بیشتر به صورت بارش بسیار سنگین نازل شده و درصد رخداد بارش ابرسنگین این پهنه از سایر پهنه‌ها بیشتر می‌باشد. به جز نطنز که بارش فرین در آن بیشتر به صورت بارش سنگین نازل می‌شود. نوار شرقی، شمال شرقی و جنوب شرق استان که شهرستان‌هایی مانند: خور و بیابانک، نایین، ورزنه، کبوترآباد در آن قرار دارند، با دامنه بارش ۱۰۲-۶۵ میلی‌متر قسمت‌های کم‌باران استان را تشکیل می‌دهند. بیشترین نسبت بارش‌های فرین به بارش سالانه بیش از ۵۳ درصد در خور و بیابانک و کمترین نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی با ۹/۷ درصد در این ایستگاه قرار دارد (شکل ۳). این قسمت از استان بیشترین بارش فرین خود را به صورت بارش بسیار سنگین دریافت کرده و وقوع بارش ابرسنگین در خور و بیابانک با ۲۳ درصد بیشترین احتمال رخداد در سطح استان را دارد (جدول ۱).

جدول ۱: فراسنج‌های بارش‌های فرین ایستگاه‌های همید استان اصفهان

ایستگاه	بارش سالانه (میلی‌متر)	روزهای بارانی	نسبت بارش فرین به بارش سال (درصد)	نسبت انواع بارش فرین به کل بارش فرین (درصد)		
				سنگین	بسیار سنگین	ابرسنگین
فردیدون شهر	۵۳۹/۲	۶۹/۷	۴۷/۹	۹/۹	۳۸/۲	۱۷
سمیرم	۴۸۸	۵۶/۸	۴۵/۷	۱۰/۴۹	۴۰/۹	۱۸/۳
گلپایگان	۲۵۱	۵۵/۸	۴۸/۳	۱۰/۵۸	۴۰/۳	۱۷/۱
خوانسار	۳۹۸	۹۶/۶	۴۷/۲	۹/۹۸	۳۹/۱	۱۸/۳
داران	۳۲۴/۴	۵۷/۹	۴۶/۷	۱۰/۵۸	۴۰/۶	۱۸/۴
چادگان	۲۵۶	۵۱/۴	۴۸/۱	۹/۹۴	۳۳/۷	۱۷/۵
شهرضا	۱۴۳/۴	۴۱/۴	۵۰/۲	۹/۹۷	۳۶/۱	۱۹/۲
اصفهان	۱۲۹/۴	۴۱/۹	۵۰/۱	۱۰/۳۰	۳۶/۴	۲۱/۵
مبارکه	۱۳۰/۷	۴۰/۱	۴۸/۱	۱۰/۴۴	۳۷/۶	۱۹/۸
زرین شهر	۱۵۱/۴	۴۰/۶	۴۶/۲	۱۰/۱۰	۳۴/۱	۲۰
نجف‌آباد	۱۴۰/۳	۳۹	۴۴/۴	۱۰	۴۰	۱۸/۷
مورچه خورت	۱۱۴/۹	۳۷/۱	۴۴/۸	۱۰/۹۱	۴۰/۶	۱۸/۹
میمه	۱۴۳/۴	۴۳/۹	۴۳/۶	۹/۹۳	۴۰/۴	۱۹
کاشان	۱۳۰/۵	۳۹/۸	۴۷/۲	۱۰/۴۲	۳۸/۹	۲۰/۴
نطنز	۱۸۵/۱	۵۰/۴	۴۸/۸	۱۰/۹۷	۴۱/۳	۲۰/۲
اردستان	۱۳۰/۲	۳۹/۹	۵۱/۲	۱۰/۶۴	۳۶/۶	۲۰/۶
چوپانان	۶۴/۶	۲۶/۸	۴۷/۳	۱۰/۱۴	۳۶/۵	۱۷/۴
خور و بیابانک	۷۴/۵	۳۳/۳	۵۳/۱	۹/۷۳	۳۳/۲	۲۳/۹
نایین	۹۱/۷	۳۶/۸	۴۹/۱	۱۰/۷	۳۸	۱۷/۱
ورزنه	۷۷/۳	۳۳/۲	۴۹/۶	۹/۸۷	۳۵/۱	۱۸
کبوتر آباد	۱۱۰/۵	۳۷/۸	۴۷/۶	۱۰/۸۱	۴۱/۸	۱۷/۶

مأخذ: نگارنده براساس تحلیل آماری داده‌های روزانه بارش بدو تأسیس تا سال ۱۴۰۳



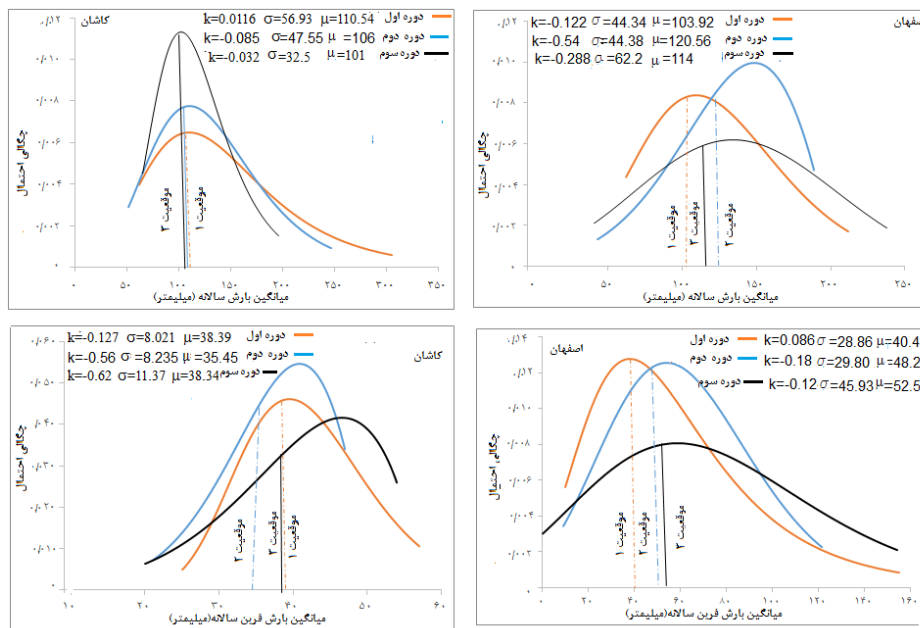
شکل ۳: نسبت بارش‌های فرین به بارش سالانه و روزهای فرین به روزهای بارانی

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

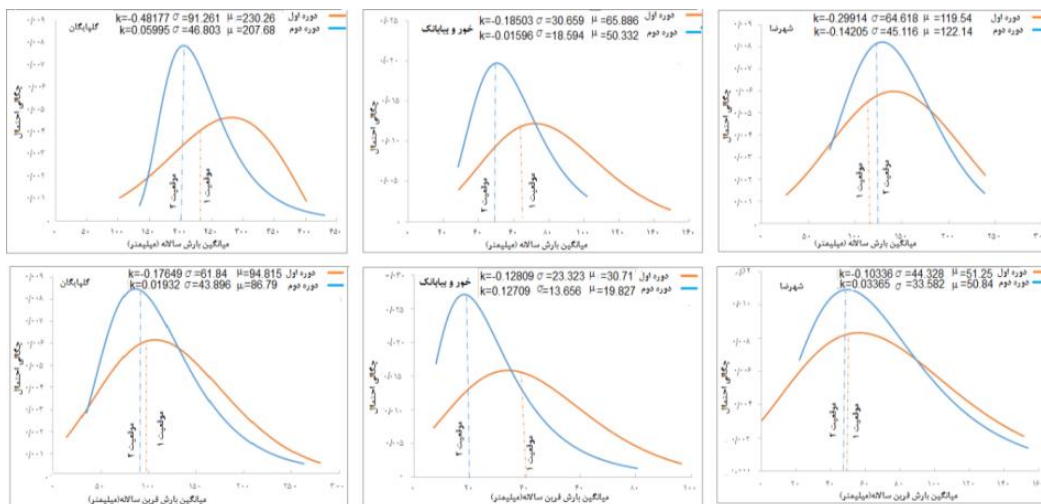
تحلیل تغییرات زمانی بارش سالانه و بارش فرین

نتایج حاصل از برآورد فراسنج‌های مدل توزیع احتمال، در شکل‌های ۴ تا ۷ ارائه شده‌است. در شمال استان در ایستگاه کاشان با توجه به فراسنج شکل بارش سالانه، دنباله بالایی از دوره اول به دوره سوم کوتاه‌تر و ضخیم‌تر شده است. فراسنج موقعیت نیز با همین روند کاهش پیدا کرده و از شدت پراکندگی داده‌ها کاسته شده‌است؛ بنابراین کاشان در گذر زمان بارش‌های سالانه با شدت کمتر و فراوانی بیشتر را تجربه کرده‌است و میانگین نیز در حدود ۴ میلی‌متر کاهش یافته‌است. در مرکز استان در اصفهان در دوره اول دنباله بالایی کشیده و باریک و دنباله پایینی کوتاه و ضخیم بوده و داده‌ها به سمت راست چولگی داشته و انباشتگی داده‌ها به سمت چپ است؛ بنابراین در دوره اول اصفهان بیش از دو دوره دیگر سال‌های کم‌بارش را تجربه کرده است. در دوره دوم دنباله بالایی کوتاه و ضخیم و دنباله پایینی کشیده‌است. این دوره با داشتن بیشترین میزان فراسنج موقعیت (۱۲۰ میلی‌متر) سال‌های با بارش بیشتری را تجربه کرده است. در دوره اخیر فراسنج موقعیت کاهش، میزان واریانس افزایش یافته و دنباله بالایی و پایینی، کشیدگی و ضخامت مشابهی دارند؛ یعنی سال‌های با بارش بالا و پایین بیشتر از دوره قبل تجربه کرده است. با وجود کاهش بارش سالانه در دو ایستگاه کاشان و اصفهان، میزان بارش فرین سالانه به‌ویژه در ایستگاه کاشان نسبت به دوره قبل افزایش یافته‌است (شکل ۴).

در غرب استان در ایستگاه گلپایگان، میانگین بارش سالانه نسبت به دوره اول در حدود ۲۰ میلی‌متر کاهش یافته است. کاهش بارش در شرق استان محسوس‌تر می‌باشد. در دوره اخیر در ایستگاه خور و بیابانک دنباله بالایی به‌طور محسوسی کوتاه و دنباله پایینی هم کوتاه و هم ضخیم‌تر شده است. در این دوره کمترین بارش سالانه ۲۴ میلی‌متر در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ رخ داده است. همچنین میانگین آن نسبت به دوره قبل ۱۵ میلی‌متر کاهش یافته است. در جنوب استان در ایستگاه شهرضا دنباله بالایی در هر دو دوره کوتاه و ضخیم می‌باشد. در دوره اخیر میانگین بارش سالانه نسبت به دوره قبلی ۳ میلی‌متر افزایش داشته است (شکل ۵).



شکل ۴: منحنی‌های تابع چگالی احتمال فرین بارش سالانه و بارش فرین سالانه کاشان و اصفهان تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴



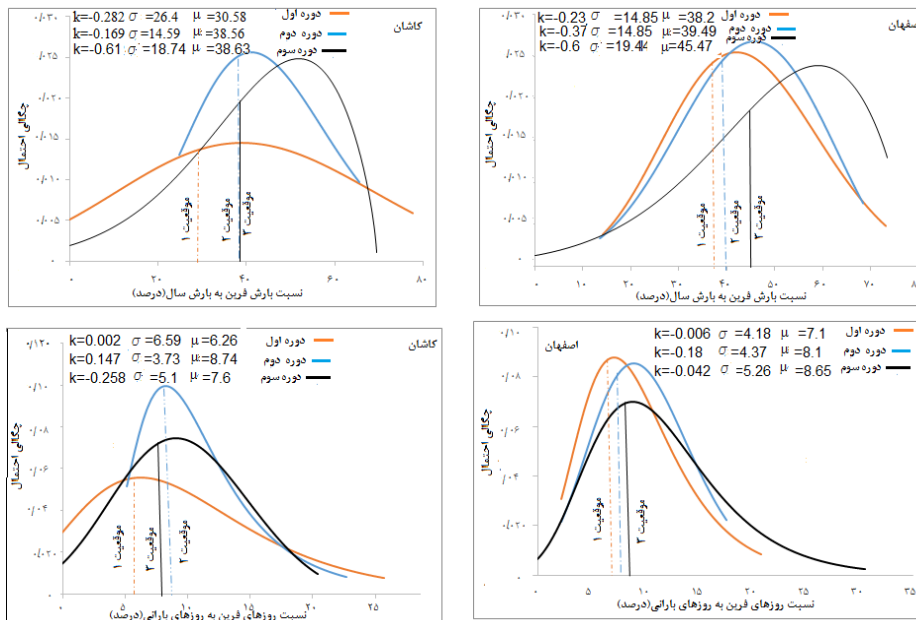
شکل ۵: منحنی‌های تابع چگالی احتمال فرین بارش سالانه و بارش فرین سالانه گلپایگان، خوز و بیابانک و شهرضا تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

با توجه به فراسنج موقعیت، بارش فرین سالانه در ایستگاه گلپایگان در دوره دوم به میزان ۸ میلی‌متر کاهش یافته و با توجه به فراسنج شکل فراوانی بارش‌های فرین با مقادیر پایین افزایش یافته‌است. کاهش میانگین در ایستگاه خوز و بیابانک شدت بیشتری دارد به طوری که میانگین بارش فرین سالانه دوره دوم ۲۰ میلی‌متر کاهش یافته و فراوانی آن‌ها کم شده است. در ایستگاه شهرضا در دوره دوم بارش فرین سالانه کاهش کمی داشته است. در این دوره بارش‌های فرین با مقادیر بالا فراوانی کمتری دارند و بارش‌های فرین با مقادیر پایین مقدار و فراوانی بیشتری دارند (شکل ۵).

در ایستگاه کاشان از نظر نسبت بارش‌های فرین به بارش سالانه، در دوره اول پراکندگی داده‌ها بیشتر است.

دنباله بالایی و پایینی ضخیم و کشیده می‌باشد. فراسنج موقعیت این دوره بر ۳۱ درصد قرار دارد. این فراسنج در دوره دوم و سوم به سمت راست جابه‌جا شده است. در این دو دوره توزیع چوله به چپ بوده و بر مقادیر ۴۰-۵۰ درصد متمرکز می‌باشد؛ یعنی نسبت بارش‌های فرین به بارش‌های سالانه افزایش یافته است. در ایستگاه اصفهان نسبت بارش‌های فرین دوره اول و دوم تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهند. فراسنج موقعیت نزدیک به هم می‌باشد. در دوره سوم فراسنج موقعیت افزایش چشمگیر پیدا کرده و به سمت راست توزیع جابه‌جا شده است. توزیع چوله به راست و تمرکز داده بر ۶۰-۷۰ درصد می‌باشد؛ بنابراین نسبت بارش‌های فرین مرکز استان نسبت به بارش‌های سالانه آن افزایش یافته است (شکل ۶).

در ایستگاه کاشان از نظر نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی در دوره اول توزیع چوله به راست است و فراسنج موقعیت کمترین میزان را دارد. تمرکز توزیع بر مقدار ۵-۶ درصد می‌باشد. در دوره دوم فراسنج موقعیت نسبت به دو دوره دیگر بیشترین مقدار خود را دارد. دنباله پایینی این دوره کوتاه می‌باشد و از فراوانی درصد‌های کم به شدت کاسته شده است. تمرکز توزیع بر ۱۰-۹ درصد می‌باشد. در دوره اخیر فراسنج موقعیت به سمت چپ جابه‌جا شده و تمرکز داده‌ها بر ۸-۶ درصد می‌باشد و از نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی کاسته شده است؛ بنابراین شمال استان گرچه نسبت بارش فرین به بارش سالانه در دوره سوم افزایش داشته اما روزهای بارش فرین سهم کمتری از روزهای بارانی را دارند. در اصفهان از نظر نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی در دوره اول توزیع چوله به راست است و تمرکز توزیع بر ۷-۶ درصد است. در دوره دوم دنباله بالا و پایین هر دو کوتاه می‌باشد و تمرکز توزیع بر ۸-۷ درصد می‌باشد. در دوره سوم دنباله بالایی کشیده و باریک می‌باشد. فراسنج موقعیت از دوره اول تا دوره سوم به تدریج افزایش یافته است؛ بنابراین در مرکز استان هم سهم بارش‌های فرین در بارش سالانه و هم نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی افزایش یافته است (شکل ۶).



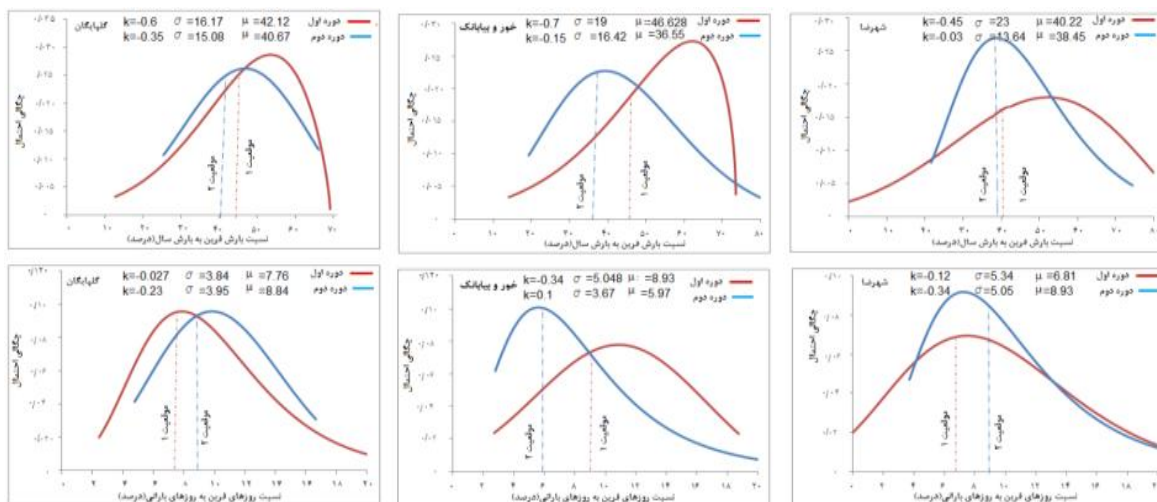
شکل ۶: منحنی‌های تابع چگالی احتمال نسبت بارش‌های فرین سالانه و نسبت روزهای فرین

به روزهای بارانی سالانه در ایستگاه‌های کاشان و اصفهان

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

در ایستگاه گلپایگان در مورد مقایسه نسبت بارش فرین به بارش سالانه در دو دوره، فراسنج شکل نشان می‌دهد هر دو توزیع چوله به چپ می‌باشد و بارش‌های فرینی که درصد بیشتری از بارش سالانه را شامل می‌شوند، فراوانی بیشتری دارند. در دوره اخیر سهم بارش‌های فرین در بارش‌های سال کاهش یافته است. در شرق استان ایستگاه خور و بیابانک تفاوت چشمگیری در نسبت بارش فرین به بارش سالانه بین دو دوره وجود دارد. در دوره اول درصدهای پایین با فراوانی کم‌تر رخ داده‌اند. در دوره دوم درصدهای بالا با فراوانی کم‌تر رخ داده‌اند. فراسنج موقعیت به سمت درصدهای پایین‌تر جابه‌جا شده است. در جنوب استان در ایستگاه شهرضا در دوره اول درصدهای بیشتر نسبت بارش فرین به بارش سالانه فراوانی بیشتری دارند در حالی که نسبت بارش فرین به بارش سالانه در دوره اخیر کاهش یافته است.

در ایستگاه گلپایگان از نظر مقایسه در دوره اخیر روزهای بارش‌های فرین درصد بیشتری از روزهای بارانی را شامل می‌شود. در ایستگاه خور و بیابانک در دوره اخیر نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. در جنوب استان در ایستگاه شهرضا نکته قابل توجه در دوره دوم جابه‌جایی فراسنج موقعیت به سمت راست می‌باشد؛ بنابراین در دوره اخیر در جنوب استان نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی به مقدار زیادی افزایش یافته است (شکل ۷).



شکل ۷: منحنی‌های تابع چگالی احتمال فرین نسبت بارش‌های فرین سالانه به بارش سالانه و نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی در ایستگاه‌های گلپایگان، خور و بیابانک و شهرضا

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

نتیجه‌گیری

در گستره استان اصفهان حدود ۴۳ تا ۵۳ درصد از بارش سالانه در ۱۰ تا ۱۱ درصد روزهای بارانی سال به صورت فرین نازل می‌شوند. در شرق استان بیش‌ازنیمی از بارش‌ها در مدت زمان کوتاه ممکن است به صورت رواناب جاری شوند که اگر تحت مدیریت قرار نگیرند، به مخاطره‌ای هیدرواقليمی تبدیل می‌شوند. از آن جایی که یکی از مخاطرات اثرگذار بر شرایط زیست‌محیطی به‌ویژه در شرق استان ریزگردها می‌باشد، می‌توان با سامانه‌های زهکشی مناسب آب را از معابر به‌سوی لایه‌های زیرزمینی و بسترهای کم‌آب یا خشک‌شده‌ای که کانون ریزگردها است،

هدایت نمود، در این صورت هم آب‌های زیرزمینی تقویت می‌شود و هم از خطر خیزش ریزگردها کاسته می‌شود. مناطقی که در ارتفاعات غربی، جنوب غربی و جنوب قرار دارند ۴۸ درصد بارش خود را در ۱۰ درصد از روزهای بارانی به صورت فرین دریافت می‌کند. به سمت پایکوه‌ها با وجودی که از درصد بارش فرین کاسته می‌شود اما درصد روزهای بارش فرین افزایش می‌یابد. تحت چنین شرایطی وقوع ناهنجاری‌های محیطی نظیر سیل‌های ناگهانی و فرسایش خاک دور از انتظار نمی‌باشد. تحلیل تغییرات زمانی بارش‌های فرین نتایج زیر را نشان می‌دهد:

بارش سالانه در سطح استان رو به کاهش است و بیشترین کاهش در شرق و کمترین آن در شمال استان وجود دارد.

در شمال و مرکز استان بارش فرین نسبت به دوره قبل افزایش یافته است در حالی که در غرب، شرق و جنوب کاهش داشته و در شرق کاهش آن کاملاً مشهود است.

شمال استان گرچه نسبت بارش فرین در بارش سالانه در دوره سوم افزایش داشته اما روزهای بارش فرین سهم کمتری از روزهای بارانی را دارند. مرکز استان هم سهم بارش‌های فرین به بارش سالانه و هم نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی افزایش یافته است.

نسبت بارش‌های فرین به بارش سالانه در غرب و جنوب استان تا حدودی کاهش یافته است در حالی که در شرق استان کاهش چشمگیر یافته است.

در غرب استان در دوره اخیر روزهای بارش‌های فرین درصد بیشتری از روزهای بارانی را شامل می‌شود. در جنوب استان نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی به مقدار زیادی افزایش یافته است اما در شرق استان نسبت روزهای فرین به روزهای بارانی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است.

گرچه بارش سالانه استان رو به کاهش است اما رخداد ۴۳ تا ۵۳ درصد از بارش سالانه در ۱۰ تا ۱۱ درصد روزهای بارانی سال به صورت بارش فرین باعث می‌شود بخش مهمی از بارش‌ها به سرعت تبدیل به رواناب شوند که ممکن است هم وقوع مخاطرات آب‌وهوایی را افزایش دهند و هم سبب ناترازی ذخایر آبی در سطح استان شوند. بدون تردید این پیشامدها تهدید جدی برای توسعه استان اصفهان محسوب می‌شوند. استان اصفهان برای حفظ پویایی و پیشرفت روزافزون به منابع آب‌و خاک پایدار نیاز دارد؛ بنابراین منابع مذکور باید به دقت بررسی و تحت مدیریت قرار گیرند. بدون شک پایش فضایی و مکانی بارش‌های فرین در راستای دستیابی به توسعه جامع استان می‌باشد. روند فراسنج‌های بارش سالانه و بارش فرین تحت تأثیر شرایط محلی در سطح استان متفاوت است و با نتیجه تحقیق دکتر عساکره و مسعودیان انطباق دارد. محققان مزبور در آشکارسازی روند بلندمدت بارش سالانه ایران زمین، نشان داده‌اند که روند بارش سالانه در ۸۰/۹ درصد مساحت کشور کاهشی می‌باشد که ۳۳/۵ درصد پهنه‌های توأم با روند کاهشی از دیدگاه معنی‌داری آماری تحت تأثیر عوامل محلی می‌باشد و استان اصفهان یکی از این پهنه‌ها است.

منابع

آزادغلامی خسمخی، فریدون؛ پرویز رضائی؛ امیر گندمکار (۱۳۹۹). واکاوی فصلی رخداد روزهای همراه با بارش سنگین در حوضه تالش-تالاب انزلی. مخاطرات محیط طبیعی، ۹(۲۵) صفحات ۴۰-۱۷.

https://jneh.usb.ac.ir/article_5467.html

جهانبخش اصل، سعید؛ بهروز ساری صراف؛ حسین عساکره؛ سهیلا شیرمحمدی (۱۳۹۹). واکاوی تغییرات زمانی- مکانی بارش‌های بحرانی (فرین بالا) در غرب ایران طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۶۵، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۷(۱). صفحات ۱۰۶-۸۹.

<https://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2926-fa.html>

رازی قلاوند، مهین؛ منوچهر فرج‌زاده‌اصل؛ یوسف قویدل رحیمی (۱۴۰۲). تحلیل نایستایی بارش‌های حدی در رابطه با دما، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی. ۲(۵۶). صفحات ۱۱۲-۹۵.

https://clima.irimo.ir/article_203209.html

عساکره، حسین؛ فرشته مازینی (۱۳۸۹). تحلیل توزیع احتمال بارش سالانه استان گلستان، تحقیقات منابع آب ایران. سال ششم، شماره ۱. بهار ۱۳۸۹.

https://www.iwrr.ir/article_15789.html

عساکره، حسین؛ لیلا حسینجانی (۱۳۹۸). ارزیابی الگوهای رگرسیونی برازنده بر برخی ویژگی‌های بارش‌های فرین بالا و فراگیر ناحیه خزری، جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۸(۱). صفحات ۲۱۷-۱۹۹.

https://geoeh.um.ac.ir/article_33211.html

علیجانی، بهلول (۱۳۹۰). تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی (علوم جغرافیایی). ۱۷(۲۰). صفحات ۳۰-۹.

<https://jgs.khu.ac.ir/article-1-593-fa.htm>

قاسمی‌نژاد، سعیده؛ سعید سلطانی؛ علیرضا سفیانیان (۱۳۹۳). ارزیابی ریسک خشکسالی استان اصفهان، علوم آب و خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۸(۶۸). صفحات ۲۲۶-۲۱۳.

<http://jstnar.iut.ac.ir/article-۱-۲۷۸۹-fa.html>

قربانی، حمید (۱۴۰۱). برازش بهترین توزیع احتمالاتی به بیشینه بارش روزانه در سال (مطالعه موردی ایستگاه‌های همدیدی اصفهان و کاشان)، نشریه ریاضی و جامعه. ۷(۲). صفحات ۱۸-۹.

https://math-sci.ui.ac.ir/article_26991.html

میرمردی، عاطفه؛ داریوش یاراحمدی؛ حمید میرهاشمی (۱۴۰۰). بررسی تغییرپذیری فضایی- زمانی بارش سالانه و بیشینه بارش روزانه در غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۵۳(۳). صفحات ۳۴۹-۳۳۵.

https://jphgr.ut.ac.ir/article_83618.html

مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۴۰۲). بررسی آب و هواشناختی بارش‌های سیل‌زای بهار ۱۳۹۸ در غرب ایران، مخاطرات محیط طبیعی. ۱۲(۳۷). صفحات ۱۱۶-۱۰۱.

https://jneh.usb.ac.ir/article_7233.html

محمدی جوزدانی، سمیه؛ حسین ملکی نژاد؛ علی دولتی (۱۳۹۸). تاثیر مناطق همگن هیدرو- اقلیمی بر تعیین بهترین توزیع احتمالاتی برای بارش‌های حداکثر روزانه، فصلنامه علمی مهندسی منابع آب. ۱۲(۴۰). صفحات ۱۱۴-۱۰۵.

https://wej.marvdasht.iau.ir/article_3454.html

معیری، مسعود؛ مژگان انتظاری (۱۳۸۷). سیلاب و مروری بر سیلاب‌های استان اصفهان، مطالعات برنامه‌ریزی سگونتگاه‌های انسانی. ۳(۶). صفحات ۱۲۴-۱۱۰.

<https://sanad.iau.ir/Journal/jshsp/Article/۱۰۳۲۷۳۵>

References

Back, Á. J., & Bonfante, F. M. (2021). Evaluation of generalized extreme value and Gumbel distributions for estimating maximum daily rainfall. *Brazilian Journal of Environmental Sciences*, 56(4), 654-664.

<https://doi.org/10.5327/Z217694781015>

Coronado-Hernández, Ó. E., Merlano-Sabalza, E., Díaz-Vergara, Z., & Coronado-Hernández, J. R. (2020). Selection of hydrological probability distributions for extreme rainfall events in the regions of Colombia. *Water*, 12(5), 1397.

<https://doi.org/10.3390/w12051397>

Gentilucci, M., Rossi, A., Pelagagge, N., Aringoli, D., Barbieri, M., & Pambianchi, G. (2023). GEV Analysis of Extreme Rainfall: Comparing Different Time Intervals to Analyse Model Response in Terms of Return Levels in the Study Area of Central Italy. *Sustainability*, 15(15), 11656.

<https://doi.org/10.3390/su151511656>

John, O. (2022). Evaluation of Rainfall Extreme Characteristics in Dodoma Urban, A Central Part of Tanzania. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(3), 165-177.

<https://doi.org/10.30897/ijegeo.1000458>

Kodra, E., & Ganguly, A. R. (2014). Asymmetry of projected increases in extreme temperature distributions. *Scientific reports*, 4(1), 5884.

<https://www.nature.com/articles/srep05884>

Lymperi, O. A., & Varouchakis, E. A. (2024). Modeling Extreme Precipitation Data in a Mining Area. *Mathematical Geosciences*, 1-33.

https://www.researchgate.net/publication/377857756_Modeling_Extreme_Precipitation_Data_in_a_Mining_Area

Moccia, B., Mineo, C., Ridolfi, E., Russo, F., & Napolitano, F. (2021). Probability distributions of daily rainfall extremes in Lazio and Sicily, Italy, and design rainfall inferences. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 33, 100771.

<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100771>

Mo, C., Ruan, Y., He, J., Jin, J., Liu, P., & Sun, G. (2019). Frequency analysis of precipitation extremes under climate change. *International Journal of Climatology*, 39(3), 1373-1387.

<https://doi.org/10.1002/joc.5887>

Mo, C., Song, X., Ruan, Y., Lan, H., Lei, X., Xing, Z., & Sun, G. (2022). Climate change impact on extreme value and its frequency distribution function in a karst basin, Southwest China. *Journal of Water and Climate Change*, 13(3), 1354-1369.

<https://doi.org/10.2166/wcc.2022.415>

- Ng, J. L., Yap, S. Y., Huang, Y. F., Noh, N. M., Al-Mansob, R. A., & Razman, R. (2020). Investigation of the best-fit probability distribution for annual maximum rainfall in Kelantan River Basin. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 476, No. 1, 012118). IOP Publishing.
<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/476/1/012118>
- Rieder, H. E. (2014). Extreme Value Theory: A primer. Lamont-Doherty Earth Observatory,
https://www.ldeo.columbia.edu/~amfiore/eescG9910_f14_ppts/Rieder_EVTPrimer.pdf
- Regueira, A. D. O., & Wanderley, H. S. (2022). Changes in rainfall rates and increased number of extreme rainfall events in Rio de Janeiro city. *Natural Hazards*, 114(3), 3833-3847.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11069-022-05545-y>
- Ragulina, G., & Reitan, T. (2017). Generalized extreme value shape parameter and its nature for extreme precipitation using long time series and the Bayesian approach. *Hydrological Sciences Journal*, 62(6), 863-879.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1260134>
- Salama, A. M., Gado, T. A., & Zeidan, B. A. (2018). On selection of probability distributions for annual extreme rainfall series in Egypt, Twenty-first International Water Technology Conference, IWTC21.
<https://www.semanticscholar.org/paper>
- Pratiwi, N., Iswahyudi, C., & Safitri, R. I. (2019). Generalized extreme value distribution for value at risk analysis on gold price. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1217, No. 1, 012090). IOP Publishing.
<https://iopscience.iop.org/article>
- Tanprayoon E, Tonggunnead U, Aryuyuen S. (2023). A new extension of generalized extreme value distribution: Extreme value analysis and return level estimation of the rainfall data. *Trends in Sciences*. 2023, 20(1): 4034.
<https://tis.wu.ac.th/index.php/tis/article/view/4034>
- Warren, R. A., Jakob, C., Hitchcock, S. M., & White, B. A. (2021). Heavy versus extreme rainfall events in southeast Australia. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147(739), 3201-3226.
<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qj.4124>