



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

Home Page: <https://jhsci.ut.ac.ir>

Investigating extreme rainfall changes in southeast Iran and its relationship with Sudan low pressure

Abdolvahid Sabori¹ | Mohsen Hamidianpour^{2*} | Hamid Nazaripour³ |
Mohammadreza Poodineh⁴

1. Department of Physical Geography, Faculty of Geography and environmental planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. E-mail: abdolvahidsabuori1989@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. E-mail: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir
3. Assistant Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. E-mail: h.nazaripour@gep.usb.ac.ir
4. Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. E-mail: mr.poodineh@gep.usb.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received 25 June 2024
Revised 29 September 2024
Accepted 01 October 2024
Published 06 October 2024

Keywords:
Climate Change,
Cyclogenesis,
Event Events,
Sudan Low Pressure
Heavy Rains.
Hazards.

ABSTRACT

Extreme precipitation is one of the most important hazardous weather phenomena in southeastern Iran, leading to substantial economic and social impacts annually. This study aims to examine the temporal and spatial variations in extreme precipitation in the region and its correlation with Sudan low-pressure systems. To achieve this goal, data from the Aphrodite and CHIRPS for precipitation with spatial resolution (0.25° by 0.25°) and SLP (ER5) data with spatial resolution (0.75° by 0.75°) were used over a 40-year period (1979 to 2018). Extreme precipitation events were identified by examining the 90th and 95th percentiles. To locate low-pressure centers, criteria included having the lowest pressure relative to eight surrounding points, a pressure difference of 0.8 to 3.8 hPa between these points and the central pressure, which needed to be below 1008 hPa. Temporal and spatial variations were assessed using a modified Mann-Kendall nonparametric method along with Sen's slope estimator. The results of the first part showed that extreme precipitation had different spatial distributions across the region, with approximately 49% and 30% of network points showing significant positive trends according to the 90th and 95th percentiles, respectively. The remaining points exhibited no discernible trend, particularly in the central part where weather stations may be lacking. The findings from the synoptic analysis indicate that the alterations in precipitation boundaries in Sudan can be explained by the variations in the activity of low-pressure centers, so that in the second period, The Sudan low pressure had a relatively higher frequency. This means that the intensity of heavy rains is associated with the increase of extreme low pressure events in Sudan.

Cite this article: Sabouri, A.; Hamidianpour, M.; Nazaripour, H. & Poodineh, M. (2024). Investigating extreme rainfall changes in southeast Iran and its relationship with Sudan low pressure. *Environmental Hazards Management*, 11 (2), 159-174. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.378547.829>



© Abdolvahid Sabori, Mohsen Hamidianpour, Hamid Nazaripour, Mohammadreza Poodineh
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.378547.829>

Introduction

In the 21st century, humanity's reliance on fossil fuels to satisfy energy demands has resulted in a significant increase in greenhouse gas concentrations. (IPCC,2007 and IPCC, 2014). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has indicated that this rise in greenhouse gases is a primary driver of global warming. In this regard, numerous studies have highlighted alterations in

the characteristics of rainfall in Iran, (Mansouri Danshvar, 2019; Kaboli et al. 2021; Asakere and Ashrafi, 2023) particularly regarding its volume and intensity (Vaghafi et al. 2019; Jahanshahi et al. 2024). Notably, these changes are not confined to southeastern Iran (Dargahian et al., 2021). Extreme precipitation events represent a critical atmospheric hazard in this region, leading to substantial economic and social repercussions annually. This study aims to analyze the temporal and spatial variations of rainfall thresholds in southeastern Iran and explore their correlation with low-pressure systems originating from Sudan.

Data and Methodology

The forthcoming research employs a statistical-synoptic approach. It utilizes two types of data to better understand changes in precipitation in southeastern Iran and its connection to Sudanese low-pressure systems (specifically those affecting the Red Sea). The study incorporates APHRODITE and CHIRPS rainfall grid data with a spatial resolution of 0.25 x 0.25 degrees, alongside SLP grid data (ER5) at a resolution of 0.75 x 0.75 degrees, covering a statistical period of 40 years (1979 to 2018). Extreme precipitation events were identified by examining the 90th and 95th percentiles. To pinpoint low-pressure centers, specific criteria were applied: the point must have the lowest pressure point relative to eight surrounding points, exhibit a pressure difference of 0.8 to 3.8 hPa, and have a central pressure below 1008 hPa. Temporal and spatial changes were analyzed using the non-parametric modified Mann-Kendall method and the age slope technique.

Result and discussion

The upcoming study has two statistical and synoptic parts. What is debatable is that the trend of the amount of rainfall above the 90th percentile has increased in 29% of the network points and spatially in the north and southeast of Sistan and Baluchestan, northwest, center and southwest of Kerman and north and west of Hormozgan precipitation is positive and increasing. Also, while the amount of rainfall threshold above 95% in 30% of the network points has been increasing and spatially, apart from three points in Sistan and Baluchistan province, where the slope of their changes was negative, the amount of rainfall threshold was decreasing in the northwest, west and in the southwest of Kerman province, the amount of precipitation was increasing and this trend was significant at the level of 0.05. In addition to the topics mentioned in the synoptic section, the findings of the research are also shown. The maximum frequency of low pressure at zero hour (12 PM) is in March, April and December and the minimum frequency of low pressure is in November and February. In terms of location, the maximum frequency of low pressures is in the south and east of Sudan, east and north of Ethiopia, west and south of the Red Sea, and then in the Persian Gulf, Strait of Hormuz, Oman Sea and in the southeast of Iran (northeast of Kerman and north of Sistan and Baluchestan and the eastern border of this province) and the minimum frequency of low pressures was observed in Ethiopia, Saudi Arabia, Yemen and Oman.

The areas that had the maximum frequency of low pressure are actually the same areas where the Sudanese low pressures usually travel through that place and enter the southeast of Iran, and the areas where the maximum percentage of low pressure was observed are actually the main areas of cyclone generation in are the area level. At six o'clock, in terms of time, the maximum frequency of low pressures was observed in March and April, and the minimum frequency of low pressures was observed in the months of November, October and January. In terms of location, the maximum frequency of low pressure formation is in the south and east of Sudan, west and north of Ethiopia, west and south of the Red Sea and next in the Persian Gulf, Strait of Hormuz, Oman Sea and in the southeast of Iran (northeast of Kerman and north of Sistan and Baluchestan and the eastern border of this province) and the minimum frequency of low pressure was observed in Ethiopia, Saudi Arabia, Yemen and Oman. Also, the lowest frequency of formation of low pressure during the day and night is related to this hour. At this time, the maximum frequency of low pressure formation was observed in March, December and April and the minimum frequency of low pressure was observed in November and February. In terms of location, the maximum frequency of low pressures is in the south and east of Sudan, south, west and north of Ethiopia, west and south of the Red Sea and next in the north-west of Yemen and in the south-east of Iran (north east of Kerman, and north and Southeast Sistan and Baluchestan, and Hormozgan provinces) and the lowest percentage of low pressure was observed in

Ethiopia, Arabia, Persian Gulf. Also, the highest frequency of low pressure formation during the day and night was related to this hour. In terms of time, at 18:00, the maximum frequency of low pressure formation in this hour was observed in the months of March, December and April, and the minimum frequency of low pressure was observed in the months of November, October and January. In terms of location, the maximum frequency of low pressures was in the center of Africa, south and east of Sudan, south, west and north of Ethiopia, west and south of the Red Sea and then in the area of Oman Sea and Strait of Hormuz, southeast of Iran (northeast of Kerman and North of Sistan and Baluchestan) and the minimum frequency of low pressures is observed in the area of Ethiopia, Arabia, Persian Gulf.

It was also found that the frequency of low pressure during the day and night after 12 AM o'clock was related to this hour. By dividing the statistical period into two twenty-year periods and comparing the frequency of low pressure formation at zero hour, the frequency of low pressure in the second period increased compared to the first period, but at six hours, the frequency of low pressure in the second period was decreasing. At 12 AM o'clock, the frequency of formation of low pressures in the second period was also decreasing. It was also found that the frequency of low pressures at 18:00 in the second period declined.

Conclusion

The findings from the initial analysis indicated that precipitation in the region exhibits varied spatial distribution. According to the 90th and 95th percentiles, approximately 49% and 30% of the monitoring points demonstrated a positive and significant trend, while the remaining points showed no discernible trend. Typically, areas without trends were located in the central part of the study area, which occasionally lacks weather stations. The synoptic analysis revealed that changes in precipitation patterns can be explained by variations in low-pressure activity centers in Sudan. Specifically, during the second period, there was a notable increase in the frequency of low-pressure systems in Sudan, suggesting that the intensity of heavy rainfall is linked to a rise in extreme low-pressure events in that region.

References

- [1].Asakereh, H., & Ashrafi, S. (2023). An investigation into trends in frequency and proportion of different durations of various types of extreme precipitation in Iran. *Meteorological Applications*: 30(1). DOI: 10.1002/met.2117.
- [2].Ashraf Vaghefi, S., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. (2019). The future of extreme climate in Iran. *Sci Rep*, 9, 1464. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38071-8>
- [3].Dargahian, F., Doostkamian, M., & Sadeghi, M. (2021). Temporal and spatial variations Iran's extreme rainfall in different periods and its relation to global warming. *Water Resources Engineering*, 14(49), 30-47. doi: 10.30495/wej.2021.22164.2172.
- [4].IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Pachauri RK, and Meyer LA (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- [5].IPCC. (2007). Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.
- [6].Jahanshahi, A, Booi, M.B., Patil, S.D., & Gupta, H. (2024). An ensemble-based projection of future hydro-climatic extremes in Iran, *Journal of Hydrology*, 642. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131892>.
- [7].Kaboli, S., Hekmatzadeh, A.A., Darabi, H., & Torabi Haghighi, A. (2021). Variation in physical characteristics of rainfall in Iran, determined using daily rainfall concentration index and monthly rainfall percentage index. *Theor Appl Climatol*, 144, 507–520. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03553-9>.
- [8].Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M. & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environ Syst Res* 8, 7. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3>.



بررسی تغییرات بارش‌های حدی جنوب شرق ایران و ارتباط آن با کم‌فشار سودان

عبدالوحید صبوری^۱ | محسن حمیدیان پور^{۲*} | حمید نظری پور^۳ | محمدرضا پودینه^۴

۱. گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: abdolvahidsabuori1989@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: mhamidianpour@gep.usb.ac.ir
۳. استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: h.nazaripour@gep.usb.ac.ir
۴. دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: mr.poodineh@gep.usb.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

کلیدواژه:

بارش‌های سنگین،

تغییر اقلیم،

رویدادهای فرین،

سیکلون‌زایی،

کم‌فشار سودان،

مخاطرات.

بارش‌های حدی از مهم‌ترین پدیده‌های مخاطره‌آمیز جوی در جنوب شرق ایران است و همه‌ساله خسارات اقتصادی و اجتماعی زیادی را در پی دارد. هدف این پژوهش، شناسایی تغییرات زمانی و فضایی بارش‌های حدی در این منطقه و ارتباط آن با کم‌فشار سودان است. برای دستیابی به این هدف از داده‌های شبکه‌ای آفرودیت و CHIRPS برای بارش با تفکیک فضایی (۰/۲۵ در ۰/۲۵) درجه قوسی و داده‌های شبکه‌ای SLP (ER5) با قدرت تفکیک فضایی (۰/۷۵ در ۰/۷۵) درجه قوسی به‌منظور بررسی سینوپتیک طی دوره آماری ۴۰ ساله (۱۹۷۹ تا ۲۰۱۸) استفاده شد. آشکارسازی بارش‌های حدی با در نظر گرفتن صدک‌های ۹۰ و ۹۵ انجام گرفت. برای شناسایی مراکز کم‌فشار با در نظر گرفتن شروطی شامل داشتن کمترین فشار نسبت به هشت نقطه اطراف، داشتن تفاضل ۰/۸ تا ۳/۸ هکتوپاسکال بین نقاط و اینکه فشار مرکزی آن نقطه کمتر از ۱۰۰۸ هکتوپاسکال باشد اقدام شد تغییرات زمانی و فضایی با استفاده از روش ناپارامتریک من-کندال اصلاح‌شده و شیب سن تحلیل شد. نتایج بخش اول نشان داد که بارش‌های فرین در سطح منطقه، توزیع فضایی متفاوتی نشان می‌دهند و براساس صدک ۹۰ و ۹۵ به‌ترتیب حدود ۴۹ و ۳۰ درصد از نقاط شبکه دارای روند مثبت و معنی‌دار و دیگر نقاط شبکه فاقد روند بودند. به‌طور معمول بخش‌های فاقد روند در بخش میانی منطقه که گاه فاقد ایستگاه هواشناسی است رخ داده است. نتایج بخش سینوپتیک بیانگر این است که تغییرات بارش‌های حدی مبتنی بر تغییرات مراکز فعالیت کم‌فشار سودان توجیه‌پذیر است. به‌طوری که در دوره دوم کم‌فشار سودان دارای بسامد به‌نسبت بیشتری است. بدین معنا که شدت بارش‌های حدی با افزایش رخدادهای شدید کم‌فشار سودان همراه است.

استناد: صبوری، عبدالوحید؛ حمیدیان پور، محسن؛ نظری پور، حمید و پودینه، محمدرضا (۱۴۰۳). بررسی تغییرات بارش‌های حدی جنوب شرق ایران و ارتباط آن با کم‌فشار سودان. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۱ (۲)، ۱۷۴-۱۵۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.378547.829>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© عبدالوحید صبوری، محسن حمیدیان پور، حمید نظری پور، محمدرضا پودینه

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2024.378547.829>



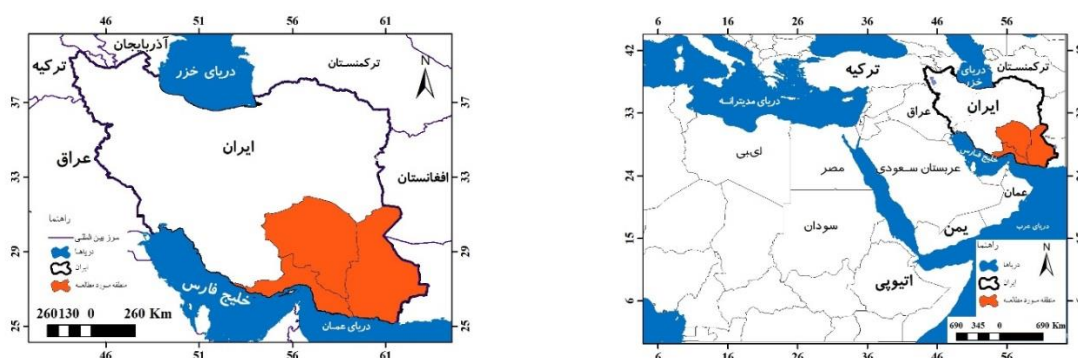
مقدمه

در قرن بیست‌ویکم، استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی برای تأمین نیازهای انرژی، سبب افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش کره زمین شده است. به گزارش مرکز هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، افزایش محتوای این گازها، گرمایش کره زمین را در پی داشته است. [۴۵، ۴۶]. اقلیم سیستم پیچیده و واکنش‌پذیری است که در آن تغییرات در هر بخش ممکن است به تأثیرات زنجیره‌ای در بخش‌های دیگر منجر شود [۲۸]. در همین زمینه پژوهشگران زیادی بیان داشته‌اند که ویژگی‌های بارش‌های ایران به لحاظ اندازه، تمرکز و غیره دچار تغییر شده است [۵۱، ۴۷، ۳۴] و حتی برخی معتقدند که در نتیجه گرمایش جهانی، بارش‌های فرین ایران در حال افزایش است [۳۳، ۴۳]. البته این ویژگی جدای از جنوب شرق ایران نیست [۵]. عناصر اقلیمی هر مکان متأثر از مجموعه‌ای از عوامل محلی (سطحی) و جوی (اتمسفری) هستند، عوامل محلی به‌طور تقریبی ثابت‌اند، ولی عوامل جوی متغیر و تحت تأثیر و کنترل حرکات جو (گردش اتمسفری) و سیستم‌های فشار هستند که با تغییرات زمانی و مکانی خود ویژگی‌ها و عناصری مثل (رطوبت، فشار، دما و غیره) را تغییر می‌دهند [۱۳]. یکی از این عناصر که متأثر از این شرایط و از نظر مکانی و زمانی و فراوانی و شدت دارای تغییرپذیری زیادی است، بارش است که عوامل مختلفی مانند منشأ بارش، دوری و نزدیکی به منابع رطوبتی، نوع سامانه‌های عبوری و ورودی به منطقه و غیره در این تغییرپذیری نقش دارند. در منطقه جنوب شرق ایران نیز با توجه به منابع رطوبتی و نوع سامانه‌های ورودی و تأثیرگذار بر آن، بارش تغییرپذیری شدیدی دارد، زیرا این منطقه با توجه به موقعیت جغرافیایی ویژه و قرارگیری در منطقه جنب‌حاره، متأثر از برهم‌کنش الگوها و سیستم‌های بزرگ‌مقیاس اتمسفری (گردش عمومی جو) مثل پرفشار جنب حاره، پرفشار سبیری، کم‌فشار گنگ و فرود دریای سرخ (کم‌فشار سودان) است [۴]. ویژگی‌های ذکرشده و توپوگرافی منطقه سبب تنوع توزیع، شدت و فراوانی بارش شده است. در بعضی از سال‌ها در دوره سرد سال و همچنین در تابستان در این منطقه بارش‌های فرین و شدیدی می‌بارد که سبب سیلاب‌های مخرب و خسارت‌های جانی و مالی فراوان برای ساکنان منطقه می‌شوند. از جمله سامانه‌های عبوری و تأثیرگذار بر تغییرات بارشی منطقه جنوب شرق ایران می‌توان از سامانه کم‌فشار سودان (فرود دریای سرخ) نام برد که با تشکیل مرکزی کم‌فشار روی شمال و شرق آفریقا (سودان-اتیوپی) و فرودی در تراز میانی جو روی شمال آفریقا و دریای سرخ، می‌تواند سامانه‌ای چرخندی روی شرق مدیترانه و شرق دریای سرخ تشکیل دهد که با حرکت و گسترش به سمت شرق، از طریق عربستان و عبور از روی خلیج فارس، غرب، جنوب غرب و جنوب شرق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در مواردی موجب ریزش‌های جوی شدید همراه با سیلاب‌های مهلک در منطقه جنوب شرق ایران می‌شود. از گذشته تا کنون بسیاری از پژوهشگران بر این سامانه تمرکز داشته‌اند [۵۸، ۵۵، ۵۰، ۴۹، ۴۸، ۴۲، ۴۱، ۳۵، ۲۶، ۱۶، ۱۰]. این سامانه با توجه به نحوه تشکیل و تقویت، گاهی سبب بارش‌های شدید خاورمیانه [۳۸، ۳۶] و همچنین جنوب غرب ایران [۵۰، ۴۹] و دیگر نقاط ایران [۳۲، ۳۰، ۲۱، ۱۶، ۳] می‌شود. تشدید ناوهای عمیق در شرق دریای مدیترانه و نفوذ آن روی شمال شرق آفریقا به‌ویژه سودان، سبب خواهد شد که کم‌فشارهای حرارتی روی این منطقه دینامیک شده و به سمت ایران هدایت شوند. یعنی کم‌فشار سودان توسط ترازهای میانی جو کنترل می‌شود [۵۷، ۵۴] که با توجه به کسب رطوبت از دریاها و سیلاب‌های مختلف همچون مدیترانه، دریای سرخ، خلیج فارس و همچنین اقیانوس هند و دریای عرب به‌شدت تشدید و سبب بارش‌های شدید در ایران خواهد شد [۲۱]. یکی از سامانه‌های مؤثر بر هدایت کم‌فشار سودان به سمت ایران پرفشار عربستان [۵۰، ۴۹] است که اگر این سامانه به سمت شرق خود هدایت شود، فضای لازم را برای گسترش سامانه کم‌فشار سودان از ناحیه جنوب به نواحی جنوب شرقی ایران می‌سازد [۲۱] و سبب بارش‌های شدید در منطقه می‌شود. یعنی چیدمان جوی یا ساختاربندی سامانه‌هایی همچون پرفشار سبیری، پرفشار عربستان، پرفشارهای جبل الطارق، کم‌فشارهای مدیترانه‌ای و کم‌فشارهای سودان در طول دوره سرد سال سبب بارش‌های شدید در جنوب شرق ایران می‌شود. بارش‌های نیمه اول مهر ۱۳۹۸ و بارش‌های شدید ۱۹ تا ۲۱ دی ۱۳۹۸ و سیلاب‌های ناشی از آنها نمونه‌هایی از این بارش‌های سنگین با نفوذپذیری سامانه‌های سودانی و غیره است. از طرفی براساس برخی پژوهش‌ها [۳۶، ۱۶] مشخص شده است که فعالیت و فراوانی رخداد فرود دریای سرخ (کم‌فشار سودان) در طول زمان رو به افزایش بوده است. به‌طوری‌که رخداد آن از

۸ مورد در سال ۱۹۶۶ به ۱۰۹ مورد در سال ۲۰۰۰ رسیده است. این نتایج در برخی پژوهش‌ها تأیید شده است [۳۹، ۴۰، ۴۸]. البته باید یادآور شد که فراوانی رخداد فرود دریای سرخ در طول فصل پاییز کاهش یافته است. نتایج پژوهشی نشان داد که کم‌فشار سودان با توجه به افزایش مقدار میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل در دو سطح مورد پژوهش (۱۰۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال) در همه دوره‌های پژوهش، به‌جز دوره اول (۱۹۵۱ تا ۱۹۶۰) دارای نرخ فزاینده‌ای است که نشان‌دهنده تضعیف کم‌فشار سودان است [۴۴]. اما در همین زمینه برخی از پژوهشگران اعتقاد دارند که فراوانی و شدت کم‌فشار سودان افزایش نشان می‌دهد و حدود ۵۷ درصد بارش‌های اخیر جنوب غرب ایران را به این سامانه مرتبط می‌دانند [۵۲، ۵۰، ۲۳]. همان‌طور که مشاهده شد نتایج متفاوتی از تغییرات سامانه کم‌فشار سودان توسط پژوهشگران حاصل شده است و این امر نمایانگر عدم قطعیت علم و نوسان‌پذیری زیاد اقلیم است؛ از این‌رو چنین نتایجی دور از انتظار نیست. بررسی رفتار گردش‌های اتمسفری طی سری زمانی طولانی، آگاهی‌مان را درباره رفتار و نحوه تغییرات دستگاه‌های بزرگ‌مقیاس اقلیم و از آن مهم‌تر مخاطرات محیطی افزایش می‌دهد [۱۲]. نکته پرسش‌برانگیز این است که آیا بارش‌های فرین (حدی) در جنوب شرق ایران کاهش دارند یا افزایش و علت آن چیست و نیز اینکه آیا افزایش یا کاهش بارش‌های فرین در جنوب شرق ایران می‌تواند متأثر از تغییر مسیر زبانه کم‌فشار سودان (فرود دریای سرخ) به سمت جنوب شرق ایران باشد یا خیر؟ به بیان دیگر آیا احتمال دارد که تغییرات بارش‌های شدید به سبب تقویت بیشتر این سامانه باشد؟ یا فراوانی نفوذ این سامانه در منطقه نسبت به سال‌های گذشته افزایش یافته است یا خیر؟

روش‌شناسی و داده‌ها

این پژوهش به صورت آماری-سینوپتیک انجام گرفت. بدین ترتیب که برای دستیابی به شناخت مفید از تغییرات بارش‌های فرین در جنوب شرق ایران و ارتباط آن با کم‌فشارهای سودانی (فرود دریای سرخ) از دو نوع داده استفاده شد. برای بررسی زمانی و مکانی تغییرات بارش‌های حدی در جنوب شرق ایران و تعیین دقیق روند بارش‌های حدی از داده‌های شبکه‌ای آفرودیت و CHIRPS با قدرت تفکیک فضایی (۰/۲۵ در ۰/۲۵) درجه قوسی در دامن زمانی ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۷ و ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۲ استفاده شد. داده‌های آفرودیت تا سال ۲۰۰۷ است، بنابراین با توجه به همبستگی خوب آن با داده‌های چریپس [۵۶] برای تکمیل آن از این داده‌ها نیز استفاده شده است. به‌کارگیری داده‌های آفرودیت در ایران پیشینه طولانی دارد [۵۳، ۱۸، ۱۱]. برای بررسی و شناسایی مراکز کم‌فشار سودان و فراوانی شکل‌گیری و روند تغییرات آن و ارتباطش با تغییر روند بارش‌های حدی در جنوب شرق ایران از داده‌های فشار سطح دریا (SLP) در ساعت‌های صفر، ۶، ۱۲ و ۱۸ گریونویچ با قدرت تفکیک فضایی (۰/۷۵ در ۰/۷۵) درجه قوسی در محدوده مکانی صفر درجه تا ۴۵ درجه شمالی و صفر درجه غربی تا ۶۵ درجه شرقی (شکل ۱) از ژانویه ۱۹۵۱ تا دسامبر ۲۰۲۲ استفاده شد. این داده‌ها از پایگاه داده‌های مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF-ER5) استخراج شد و به کار رفت. دلیل انتخاب این محدوده، شناسایی پدیده‌های سینوپتیک (همدید) و وضعیت فشار تراز دریا برای شناسایی مراکز فشاری (کم‌فشار سودان) در محدوده مورد نظر و آگاهی بیشتر درباره این سامانه و محل تشکیل مراکز کم‌فشار و مسیر و چگونگی حرکت آنها و اثرگذاری آن بر منطقه پژوهش بوده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه پژوهش و محدوده مدنظر برای شناسایی مراکز کم‌فشار (چرخندزایی)

تعیین آستانه‌های بارش

صدک‌ها^۱

صدک‌ها مقادیری هستند که دامنه تغییرات داده‌ها را به ۱۰۰ قسمت مساوی تقسیم می‌کنند. صدک (۱۰۰p) ام داده‌ای است از مجموعه داده‌ها که اگر به ترتیب صعودی مرتب شوند، (۱۰۰p) درصد داده‌ها از آن کوچک‌تر و [(۱۰۰(۱-p)] درصد داده‌ها از آن بزرگ‌تر خواهند بود [۱۵].

$$\text{Percentile} = N * P \quad (۱)$$

N برابر تعداد داده‌ها، P برابر با صدک مورد نظر است، در این پژوهش N برابر صدک ۹۰ و ۹۵ (آستانه بارش بیشینه) است.

آزمون ناپارامتریک من - کندال اصلاح‌شده

در این آزمون که توسط حامد و راثو در سال ۱۹۹۸ ارائه شده، اثرهای ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری زمانی حذف می‌شود [۱]. برای این کار نخست آزمون ضریب خودهمبستگی مرتبه K ام (r_k) بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (۲)$$

که در آن $k = 1, 2, \dots, n/4$ است. اگر

$$\frac{1 - 1/\sqrt{645(n-k-1)}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1 + 1/\sqrt{645(n-k-1)}}{n-k} \quad (۳)$$

باشد، در سطح ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شود و روند از همان روش من - کندال تشخیص داده می‌شود، اما اگر ضریب خودهمبستگی مرتبه k ام غیرمستقل و معنی‌دار فرض شود، ابتدا واریانس اصلاح و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{var}(S)^* = \text{var}(s) \frac{n}{n_*} \quad (۴)$$

$$\frac{n}{n_*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (۵)$$

در این رابطه r_i ضرایب همبستگی با تأخیر i است که از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

تخمین شیب تغییرات با روش تخمینگر سن

تخمین شیب خط روند توسط سن در سال ۱۹۶۸ برای تشخیص روند در یک سری زمانی داده‌ها ارائه شد. این روش نوعی روش ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهده‌های یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری داده‌ها با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌کند. در این روش برای هر دو جفت داده متوالی یک شیب محاسبه می‌شود که شیب‌های محاسبه‌شده یک سری زمانی تشکیل می‌دهند که میانه آنها شیب خط روند را می‌دهد.

$$\beta = \text{median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad \forall j > i \quad (۶)$$

در این رابطه β : برآوردگر شیب خط روند، X_j مقدار مشاهده z ام، X_L مقدار مشاهده L ام است و z یک واحد زمانی بعد از L است. مقادیر مثبت یا منفی β نشان‌دهنده روند افزایشی یا کاهشی در سری داده‌هاست [۱۷].

شناسایی مراکز و کم‌فشار سودان

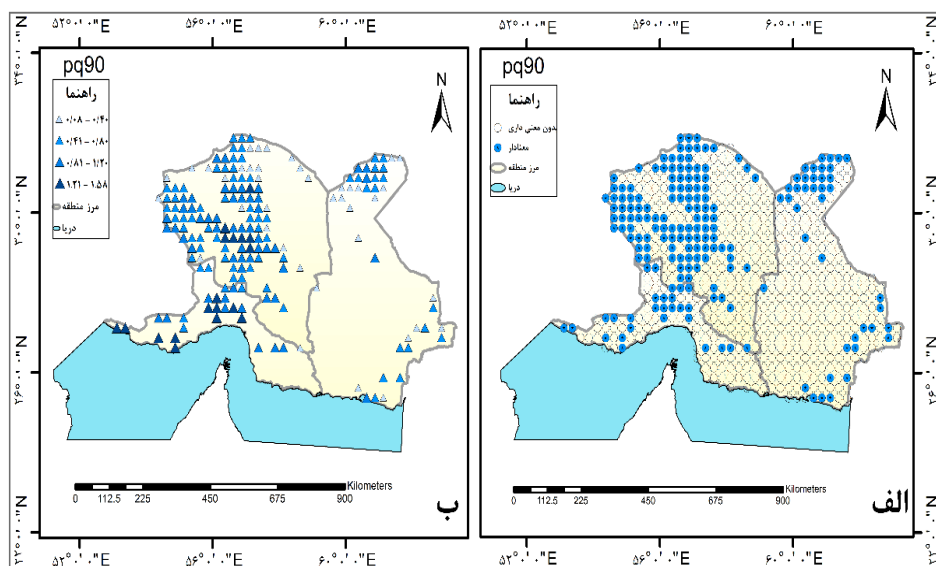
به‌منظور شناسایی مراکز کم‌فشار به‌ویژه مرکز کم‌فشار سودان در محدوده صفر درجه تا ۴۵ درجه شمالی و صفر درجه غربی تا ۶۵ درجه شرقی به روش زیر اقدام شد: در این بخش از داده فشار سطح دریا (SLP) برای شناسایی مراکز کم‌فشارها استفاده شد.

استفاده از داده‌های SLP تنها بر این واقعیت استوار است که داده‌های ترازهای بالایی، ساختار مسیره‌های شناسایی شده را چندان تغییر نمی‌دهد. پس از جمع‌آوری داده‌های SLP به منظور شناسایی مراکز کم‌فشار، در نرم‌افزار متلب برنامه‌نویسی شد و مراکز شناسایی شد که دارای شروط زیر بودند؛ ۱. فشار مرکزی یک نقطه نسبت به نقاط هم‌فشار خود کمترین باشد؛ ۲. اختلاف فشار بین نقاط اطراف در حدود ۰/۸ تا ۳/۸ هکتوپاسکال باشد؛ ۳. فشار مرکزی این نقطه کمتر از ۱۰۰۸ هکتوپاسکال باشد. این روش ترکیب روش‌های هندسون و همکاران (۲۰۰۴) و تریگو و همکاران (۲۰۰۲) است که برای سامانه‌های شرق مدیترانه از آن استفاده شده است [۳۷]. بدین ترتیب کم‌فشارهایی شناسایی می‌شوند که دارای ویژگی‌های کم‌فشار سودان هستند.

یافته‌های پژوهش و بحث

تحلیل فضایی- زمانی تغییرات بارش‌های حدی (صدک ۹۰)

شکل ۳- الف مربوط به تغییرات زمانی- مکانی بارش‌های بیشتر از صدک ۹۰ است در این شکل مناطق دارای روند با دوایر رنگی نمایش داده شده‌اند. مبتنی بر این شکل حدود ۲۹ درصد از نقاط شبکه دارای روند مثبت و معنی‌دار (سطح ۹۵ درصد) و حدود ۷۱ درصد نقاط فاقد روند معنی‌داری بودند. این موضوع به لحاظ اقلیمی دارای تفسیر ویژه‌ای است. به عبارتی، درست است که این نقاط هیچ روندی نشان نمی‌دهند، ولی روند منفی نیز ندارند. زیرا روند منفی یعنی از فراوانی رخداد پدیده‌های فرین کاسته شده است و مثبت به معنای افزایش رخداد رویدادهای فرین و بدون روند به صورت خنثی یا به بیانی ادامه روند قبل است. این مناطق با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک آن متأثر از رویدادهای فرین بارش همیشه بوده است. پراکنش فضایی نقاط شبکه‌ای دارای روند مثبت بیشتر شامل بخش‌های غربی منطقه از جمله بخش‌های زیادی از استان‌های کرمان و هرمزگان است. افزون‌بر این روند مثبت در بخش‌های شمالی منطقه شامل دشت سیستان و تا حدودی به صورت بسیار پراکنده در بخش‌های جنوب شرقی بلوچستان جنوبی (حوضه آبخیز) مشاهده می‌شود. توضیح بیشتر اینکه میزان شیب تغییرات بارش حدی (شکل ۲- ب) بین ۰/۰۸ تا ۱/۵۸ متغیر است. معنی‌داری این مقادیر همان‌طور که بیان شد در سطح تراز ۹۵ درصد ارزیابی شده است.



شکل ۲. توزیع فضایی- زمانی روند (الف) و شیب تغییرات (ب) بارش مبتنی بر صدک ۹۰

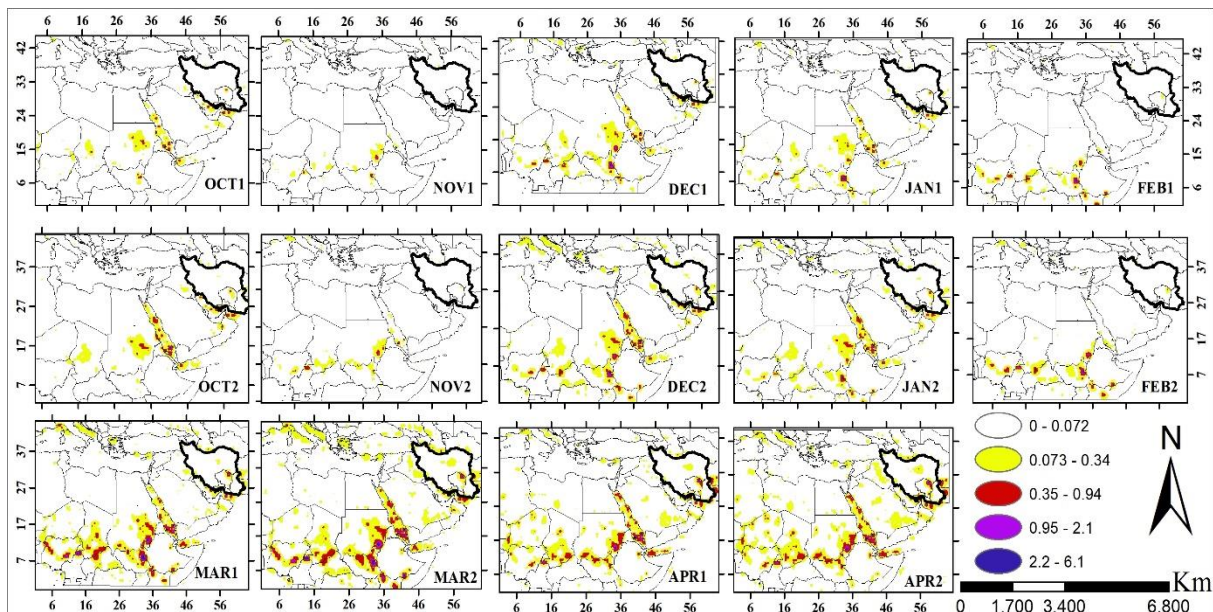
تحلیل فضایی- زمانی تغییرات بارش‌های حدی (صدک ۹۵)

برای تبیین بهتر تغییرات بارش‌های حدی افزون‌بر آستانه ۹۰ درصد از آستانه ۹۵ درصد که از شدت بیشتر برخوردار بوده و نمایانگر مطلوب‌تری برای بارش‌های فرین است نیز استفاده شده است. شکل ۳ الف نمایانگر این موضوع است. برپایه این شکل، حدود ۳۰ درصد ایستگاه‌های روند معنی‌داری مثبت را تقریباً مشابه صدک ۹۰ درصد نشان می‌دهد. شیب تغییرات آن در شکل ۴ نشان داده شده است و میزان تغییرات آن بین ۰/۳۵- تا ۲/۵۶ دارای نوسان است، همانند شکل تغییرات مبتنی بر آستانه ۹۰

مشاهده می‌شوند [۳۲]. این سامانه‌ها پس از عبور از عربستان و خلیج فارس سبب ایجاد بارش در ایران می‌شوند [۳۱، ۲] که این مهم براساس شروط تعیین‌شده به‌خوبی نمایش داده شده است. براساس مقایسه‌های انجام‌گرفته طی ماه‌های فعالیت نتایج نشان داد که در ساعت صفر فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ماه‌های اکتبر، ژانویه، فوریه و آوریل در دوره دوم افزایش یافته و در ماه دسامبر ثابت بوده و تغییر نکرده است (جدول ۱).

جدول ۱. وضعیت تغییرات مراکز سیکلون‌زایی کم‌فشار سودان طی دو دوره آماری تحت پژوهش در ساعت صفر

ماه	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل
وضعیت	↑	↔	↔	↑	↑	↓	↑
	↑ = روند افزایشی، ↓ = روند کاهشی و ↔ = فاقد روند						



شکل ۴. نقشه‌های درصد فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ساعت صفر

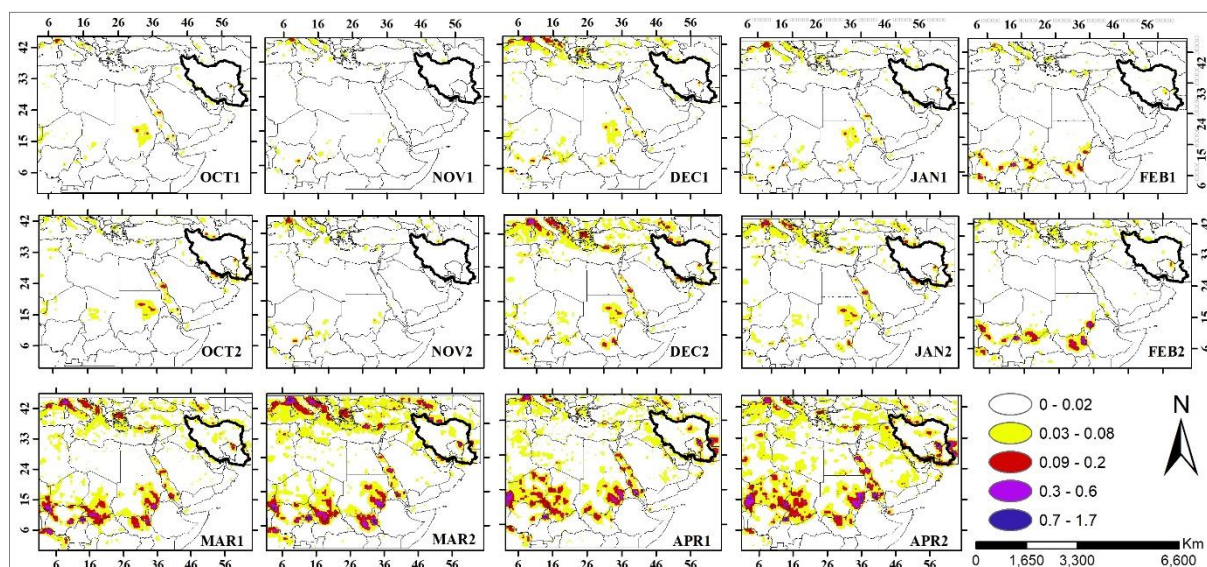
تحلیل زمانی - فضایی فراوانی کم‌فشار در ساعت ۶

با مقایسه فراوانی کم‌فشار در ساعت ۶ (شکل ۵) در ماه اکتبر در دو دوره، فراوانی کم‌فشار در این ماه در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش داشته است. مقایسه درصد فراوانی کم‌فشار در ماه نوامبر نشان می‌دهد که فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. در ماه دسامبر درصد فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهشی بوده، اما در ماه ژانویه فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است. در ماه فوریه فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش را نشان می‌دهد، اما در ماه مارس که بیشینه شکل‌گیری کم‌فشار در دوره اول در آن مشاهده می‌شود، فراوانی کم‌فشار در این ماه نیز در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. در ماه آوریل که بعد از ماه مارس دارای بیشینه درصد فراوانی کم‌فشار است، فراوانی کم‌فشار در دوره دوم در این ماه نیز نسبت به دوره اول کاهش یافته است. مقایسه ماه‌های انتخابی در ساعت ۶ در دو دوره نشان می‌دهد که فراوانی کم‌فشار در ماه‌های اکتبر و ژانویه در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش نشان می‌دهد و در ماه‌های نوامبر، دسامبر، فوریه، مارس و آوریل درصد فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است و بیشینه فراوانی کم‌فشار در ساعت ۶ در ماه‌های مارس و آوریل و کمینه فراوانی کم‌فشار در ماه‌های نوامبر و ژانویه مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج مقایسه ماه‌های انتخابی در دو دوره از نظر فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ساعت ۶ که فقط دو ماه اکتبر و ژانویه روند افزایشی داشتند و در ماه‌های دیگر فراوانی کم‌فشار کاهشی بوده است، می‌توان گفت که در ساعت ۶ فراوانی کم‌فشارها در دوره دوم رو به کاهش بوده است (جدول ۲).

جدول ۲. وضعیت تغییرات مراکز سیکلون‌زایی کم‌فشار سودان طی دو دوره آماری در ساعت ۶

ماه	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل
وضعیت	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓

↑ = روند افزایشی، ↓ = روند کاهشی و ↔ = فاقد روند



شکل ۵. نقشه‌های فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ساعت ۶

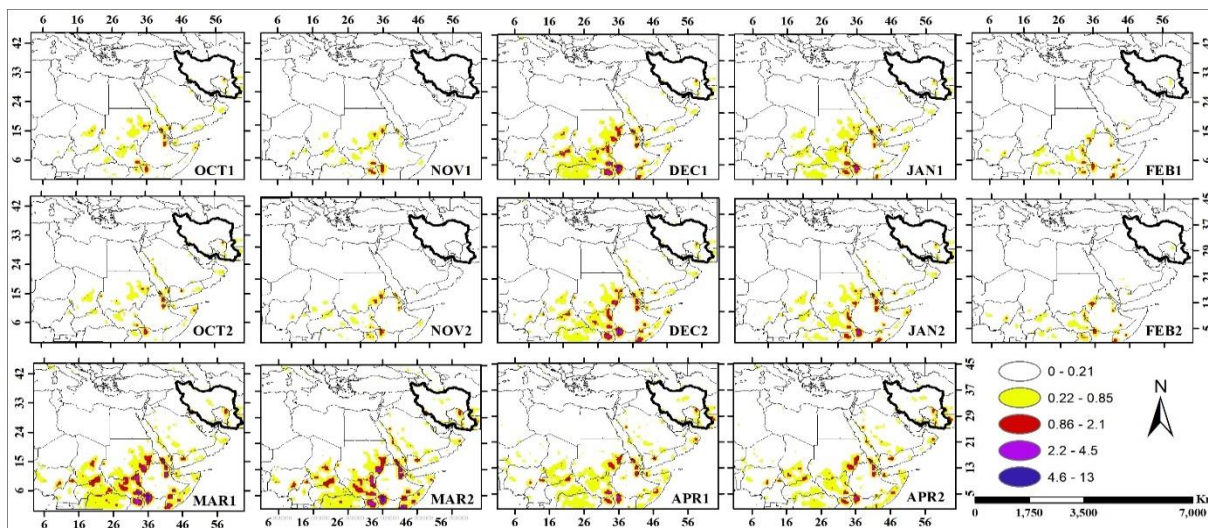
تحلیل زمانی- فضایی فراوانی کم‌فشار در ساعت ۱۲

براساس مقایسه فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ساعت ۱۲ (شکل ۶) در ماه اکتبر در دو دوره، درصد فراوانی کم‌فشار در این ماه در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش داشته است. همچنین مقایسه درصد فراوانی کم‌فشار در ماه نوامبر نشان می‌دهد که فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول در این ماه نیز کاهشی بوده است. در ماه دسامبر که بعد از ماه مارس دارای بیشینه شکل‌گیری کم‌فشار بوده نیز فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش داشته است. در ماه ژانویه مثل ماه‌های گذشته فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش نشان می‌دهد؛ اما در ماه فوریه فراوانی کم‌فشار برعکس ماه‌های قبل در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش نشان می‌دهد. در ماه مارس که بیشینه تشکیل کم‌فشار در دو دوره در آن مشاهده می‌شود. فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. در ماه آوریل نیز درصد فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. مقایسه ماه‌های انتخابی در ساعت ۱۲ در دو دوره نشان می‌دهد که درصد فراوانی کم‌فشار در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، مارس و آوریل در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش نشان می‌دهد و فقط در ماه فوریه، فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است و بیشینه فراوانی کم‌فشار در ساعت ۱۲ مربوط به ماه‌های مارس و دسامبر و کمینه فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ماه‌های نوامبر و فوریه مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج مقایسه درصد فراوانی کم‌فشارها در دو دوره در ساعت ۱۲، می‌توان گفت فراوانی شکل‌گیری کم‌فشارها در این ساعت در دوره دوم رو به کاهش بوده است (جدول ۳).

جدول ۳. وضعیت تغییرات مراکز سیکلون‌زایی کم‌فشار سودان طی دو دوره آماری در ساعت ۱۲

ماه	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل
وضعیت	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓

↑ = روند افزایشی، ↓ = روند کاهشی و ↔ = فاقد روند



شکل ۶. نقشه‌های فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ساعت ۱۲

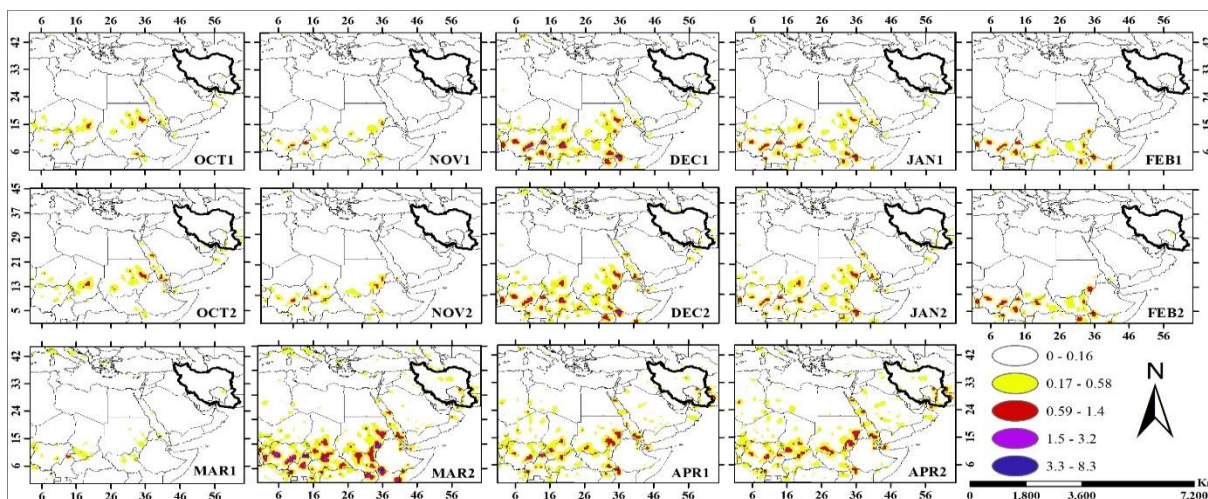
تحلیل زمانی - فضایی فراوانی کم‌فشار در ساعت ۱۸

برپایه مقایسه فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ساعت ۱۸ (شکل ۷) در ماه اکتبر در دو دوره، درصد فراوانی کم‌فشار در این ماه در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش داشته است. در ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه نیز درصد فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول رو به کاهش بوده است. در ماه مارس که بیشینه شکل‌گیری کم‌فشار در دو دوره در آن مشاهده می‌شود، فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. اما در ماه آوریل فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است. مقایسه ماه‌های انتخابی در ساعت ۱۸ در دو دوره نشان می‌دهد که درصد فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ماه‌های اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش را نشان می‌دهد و فقط در ماه آوریل، فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است. بیشینه فراوانی کم‌فشار در ساعت ۱۸ در دوره اول در ماه‌های مارس و دسامبر و دوره دوم در ماه‌های مارس و آوریل و کمینه فراوانی کم‌فشار در ماه‌های اکتبر و نوامبر مشاهده می‌شود. با توجه به مقایسه فراوانی کم‌فشارها در دو دوره در ساعت ۱۸ می‌توان گفت شکل‌گیری کم‌فشارها طی این ساعت نیز در دوره دوم کاهش یافته است (جدول ۴).

جدول ۴. وضعیت تغییرات مراکز سیکلون‌زایی کم‌فشار سودان طی دو دوره آماری در ساعت ۱۸

ماه	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل
وضعیت	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑

↑ = روند افزایشی، ↓ = روند کاهشی و ↔ = فاقد روند



شکل ۷. نقشه‌های فراوانی شکل‌گیری کم‌فشار در ساعت ۱۸

در پایان این بخش نیاز به توضیح است که اگرچه گاه فراوانی سامانه‌های کم‌فشار سودان در برخی از ماه‌ها کاهش یافته است، ممکن است شدت آنها و همچنین تغییرات الگوهای جوی در مواقعی که فعال‌اند افزایش یابد. این بدان معناست که سامانه‌های کم‌فشار موجود می‌توانند بارش‌های شدیدتری را به‌همراه داشته باشند. افزایش شدت ممکن است ناشی از تغییرات دما، رطوبت و الگوهای جوی باشد.

نتیجه‌گیری

پژوهش پیش رو دارای دو بخش آماری و سینوپتیک است. نتایج بخش اول نشان داد که روند مقدار بارش حدی بالاتر از صدک ۹۰ در ۲۹ درصد از نقاط شبکه افزایش یافته است و به لحاظ مکانی در مناطق شمال و جنوب شرق سیستان و بلوچستان، شمال غرب، مرکز و جنوب غرب کرمان و شمال و غرب هرمزگان مقدار بارش حدی مثبت و رو به افزایش است. همچنین مقدار بارش حدی بالاتر از ۹۵ در ۳۰ درصد از نقاط شبکه دارای روند افزایشی بوده است و به لحاظ مکانی به غیر از سه نقطه در استان سیستان و بلوچستان که شیب تغییرات آنها منفی و مقدار بارش حدی در آنها کاهشی بود، در مناطق شمال غرب، غرب و جنوب غرب استان کرمان مقدار بارش حدی در حال افزایش بود و این روند در سطح ۰/۰۵ معنادار بود. نتایج بررسی تغییرات مکانی-زمانی بارش در منطقه نشان می‌دهد که فعالیت کم‌فشار سودان تأثیر زیادی بر الگوهای بارش دارد. با تحلیل داده‌ها در دو دوره زمانی مشخص شد که فراوانی تشکیل کم‌فشارها در ماه‌های مختلف نوسان‌های خاصی دارد. به‌ویژه بیشترین بسامد کم‌فشارها در ماه‌های مارس و آوریل مشاهده می‌شود، درحالی که کمترین فراوانی مربوط به ماه اکتبر است. در ساعت صفر، افزایش فراوانی شکل‌گیری کم‌فشارها در دوره دوم نسبت به دوره اول، به‌ویژه در ماه‌های اکتبر، ژانویه، فوریه و آوریل، نشان‌دهنده تأثیر مثبت این سامانه بر بارش‌هاست. در ساعت ۶، اگرچه در برخی ماه‌ها مانند اکتبر و ژانویه افزایش فراوانی دیده می‌شود، به‌طور کلی روند کاهشی در بقیه ماه‌ها مشهود است. درباره تغییرات در ساعت ۱۲، در ماه فوریه برخلاف ماه‌های دیگر فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول افزایش یافته است. تحلیل زمانی-فضایی فراوانی کم‌فشار در ساعت ۱۸ نشان می‌دهد که در ماه‌های مختلف، به‌ویژه اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس، درصد فراوانی کم‌فشار در دوره دوم نسبت به دوره اول کاهش یافته است. این کاهش در همه ماه‌های مذکور ادامه داشته و تنها در ماه آوریل، افزایش فراوانی کم‌فشار دیده می‌شود. بیشینه فراوانی کم‌فشار در ساعت ۱۸ در دوره اول به ماه‌های مارس و دسامبر و در دوره دوم به ماه‌های مارس و آوریل اختصاص دارد. همچنین کمینه فراوانی کم‌فشار در ماه‌های اکتبر و نوامبر مشاهده می‌شود. در مجموع، مقایسه‌ها نشان می‌دهد که شکل‌گیری کم‌فشارها در این ساعت نیز در دوره دوم کاهش یافته است.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در گروه جغرافیای طبیعی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی دانشگاه سیستان و بلوچستان انجام گرفت که بدین وسیله از اعضای آن گروه و دانشکده تشکر می‌شود.

منابع و مآخذ

- [۱]. ترابی بوده، حسن؛ و امامقلی زاده، صمد (۱۳۹۴). تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال حوضه رودخانه دز با استفاده از روش TFPW-MK. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۲(۳): ۳۹-۵۵.
- [۲]. تقی‌زاده، حبیب (۱۳۶۶). بررسی سیل پاییز ۱۳۶۵ از نظر هواشناسی، رشد آموزش زمین‌شناسی، ۶: ۵۱-۵۶.
- [۳]. حمیدیان‌پور، محسن؛ علیجانی، بهلول؛ و صادقی، علیرضا (۱۳۸۹). شناسایی الگوهای هم‌مدیدی بارش‌های شدید شمال شرق ایران. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱(۱): ۱-۱۶.
- [۴]. خسروی، محمود؛ شجاع، فائزه؛ و پاکباز، هاجر (۱۳۹۸). بررسی منابع تأمین رطوبت رویدادهای بارشی تابستانه جنوب شرقی ایران. مهندسی منابع آب، ۱۲(۴۱): ۱۲۷-۱۴۴.
- [۵]. درگاهیان، فاطمه؛ دوستکامیان، مهدی؛ و صادقی، مرضیه (۱۴۰۰). بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش‌های حدی ایران طی دوره‌های مختلف و ارتباط آن با گرمایش جهانی. فصلنامه علمی مهندسی منابع آب، ۱۴(۴۹): ۳۰-۴۷.
- [۶]. راهی‌زهی، حسین؛ خسروی، محمود؛ و حمیدیان‌پور، محسن (۱۴۰۰). تغییرات زمانی- فضایی غلظت هواویزه در استان سیستان و بلوچستان (۲۰۱۸-۲۰۰۰)، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱(۱۸): ۷۹-۹۲.
- [۷]. روحبخش سیگارودی، حسین‌علی؛ کریم‌پور، مصطفی؛ قائمی، هوشنگ؛ مرادی، محمد؛ و آزادی، مجید (۱۳۹۷). بررسی بی‌هنگامی‌های میانگین دمای کمینه و بیشینه ایران در دوره گرم سال به‌منظور شناسایی دوره گرم و سرد. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۷(۳): ۱۶۱-۱۸۷.
- [۸]. سلیقه، محمد (۱۳۹۵). آب‌وهواشناسی سینوپتیک، تهران: سمت.
- [۹]. سلیمانی‌زاده، محمدجواد؛ و مرادی، محمد (۱۳۹۹). بررسی هم‌مدیدی بارش‌های فرین در شهر تهران، جغرافیا و روابط انسانی، ۳(۳): ۶۴-۷۹.
- [۱۰]. صیاد، وحیده؛ علیجانی، بهلول؛ و حجازی‌زاده، زهرا (۱۴۰۳). اقلیم‌شناسی کم‌فشار سودان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱(۲): ۱۷-۴۰.
- [۱۱]. عزیزی، قاسم؛ صفرراد، طاهر؛ محمدی، حسین؛ و فرجی سبکبار، حسنعلی (۱۳۹۵). ارزیابی و مقایسه داده‌های بازکاوی‌شده بارش جهت استفاده در ایران، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴۸(۱): ۳۳-۴۹.
- [۱۲]. علی‌پور، یوسف؛ و زال‌نژاد، کاوه (۱۳۹۶). روند تغییرات فشار سطح دریا در ایران با رویکرد مخاطرات اقلیمی. مدیریت مخاطرات محیطی، ۴(۴): ۳۸۳-۴۰۱.
- [۱۳]. علیجانی، بهلول (۱۳۷۲). آب‌وهوای ایران، انتشارات پیام نور، تهران.
- [۱۴]. غیور، حسنعلی؛ و خسروی، محمود (۱۳۸۰). تأثیر پدیده انسو بر نابهنجاری‌های بارش تابستانی و پاییزی منطقه جنوب شرق ایران، تحقیقات جغرافیایی، ۱۶(۳): ۱۴۱-۱۷۴.
- [۱۵]. قائدی، سهراب؛ موحدی، سعید؛ مسعودیان، سید ابوالفضل؛ و رحیمی، داریوش (۱۳۹۰). تأثیر فرود دریای سرخ بر بارش ایران، پژوهش‌نامه جغرافیایی، ۱(۱): ۶۳-۷۸.
- [۱۶]. قائدی، سهراب؛ موحدی، سعید؛ و مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۱). رابطه فرود دریای سرخ با بارش‌های سنگین ایران، جغرافیا و پایداری محیط، ۲(۱): ۱-۱۸.
- [۱۷]. قربانی، خلیل (۱۳۹۳). الگوی فصلی و مکانی تغییر اقلیم دمای هوا در ایران، پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، ۲۱(۵).
- [۱۸]. کاشکی، عبدالرضا؛ و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۶). واکاوی روزهای بارانی ایران مبتنی بر برون‌داد پایگاه داده- بارش آفرودیت. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴۹(۳): ۵۰۳-۵۲۱.
- [۱۹]. لشکری، حسن (۱۳۷۵). الگوی سینوپتیکی بارش‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۲۰]. لشکری، حسن (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه‌های کم‌فشار سودانی ورودی به ایران، مدرس علوم انسانی، ۶(۲) (پیاپی ۲۵): ۱۳۳-۱۵۶.
- [۲۱]. لشکری، حسن (۱۳۸۲). مکانیسم تکوین، تقویت و توسعه مرکز کم‌فشار سودان و نقش آن بر روی بارش‌های جنوب و جنوب غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیایی، ۳۵(۴۶): ۱-۱۸.
- [۲۲]. لشکری، حسن (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیکی دو نمونه از الگوی بارش‌های زمستانه جنوب شرق ایران، مدرس علوم انسانی، ۹(۱) (پیاپی ۳۸): ۱۶۹-۱۹۶.
- [۲۳]. لشکری، حسن؛ و محمدی، فهیمه (۱۳۹۸). بررسی تغییرات بارش سامانه کم‌فشار سودان طی روند تاریخی در منطقه جنوب غرب ایران، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۵۱(۲): ۳۷۳-۳۸۷.

- [۲۴]. لشکری، حسن؛ و کیخسروی، قاسم (۱۳۸۹). تحلیل سینوپتیکی توفان گونو و اثرات آن بر جنوب شرق ایران، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۱(۳۹)، ۲۰-۱.
- [۲۵]. لشکری، حسن؛ و خزایی، مهدی (۱۳۹۳). تحلیل سینوپتیکی بارش‌های سنگین استان سیستان و بلوچستان، *اطلاعات جغرافیایی*، ۲۳(۹۰ و ۹۱)، ۷۹-۷۰.
- [۲۶]. محمدی، فهیمه (۱۳۹۹). تحلیل هم‌دید تقویت کم‌فشار سودان در روند تاریخی و تعیین قلمرو نفوذ آن در ایران. رساله دکتری اقلیم‌شناسی، استاد راهنما: حسن لشکری. دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین.
- [۲۷]. مرادی، حمیدرضا (۱۳۸۳). پیش‌بینی سیلاب‌ها براساس موقعیت سامانه‌های هم‌دید در شمال شرقی ایران، *تحقیقات جغرافیایی* (۷۵)، ۷۰-۵۴.
- [۲۸]. مسعودیان، سید ابوالفضل؛ و کاویانی، محمدرضا (۱۳۸۷). *آب‌وهوای ایران*، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- [۲۹]. مفیدی، عباس (۱۳۸۳). اقلیم‌شناسی سینوپتیکی بارش‌های سیل‌زا با منشأ منطقه دریای سرخ در خاورمیانه، *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۹(۴ پیاپی ۷۵)، ۹۳-۷۱.
- [۳۰]. مفیدی، عباس؛ و زرین، آذر (۱۳۸۴-الف). بررسی سینوپتیکی تأثیر سامانه‌های کم‌فشار سودانی در وقوع بارش‌های سیل‌زا در ایران، *تحقیقات جغرافیایی*، ۲۰(۲ پیاپی ۷۷)، ۱۱۳-۱۳۶.
- [۳۱]. مفیدی، عباس؛ و زرین، آذر (۱۳۸۴-ب). تحلیل سینوپتیکی ماهیت سامانه‌های کم‌فشار سودانی (مطالعه موردی: توفان دسامبر ۲۰۰۱)، *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، ۲(۶)، ۴۸-۲۴.
- [32]. Ansari, S. (2003). Synoptic investigation of flooding systems in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Basin, MSc in Natural Geography, Tarbiat Moallem University.
- [33]. Ashraf Vaghefi, S., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F., Sheikholeslami, J., Ahmadi, A., Yang, H., & Abbaspour, K. (2019). The future of extreme climate in Iran. *Sci Rep*, 9, 1464. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-38071-8>
- [34]. Asakereh, H., & Ashrafi, S. (2023). An investigation into trends in frequency and proportion of different durations of various types of extreme precipitation in Iran. *Meteorological Applications*: 30(1). DOI: 10.1002/met.2117.
- [35]. Ashbel, D. (1938). Great Floods in Sinai Peninsula, Palestine, Syria and the Syrian desert, and the Influence of the Red Sea on Their Formation, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, (64), 635-639.
- [36]. Alpert, P., Osetinsky I., Ziv B., & Shafir H. (2004). Semi-objective classification for daily synoptic systems: application to the eastern Mediterranean climate change, *international journal of climatology*, (24), 1001 -1011.
- [37]. Almazroui, M., Awad, M., Islam, M., & Al-Khalaf, A.K. (2014). A climatological study: wet season cyclone tracks in the East Mediterranean region, *Theor Appl Climatol*, (120), 351-365.
- [38]. Almazroui, M., Raju, PVS, Yusef, A., Hussein, MAA., & Omar, M (2018) Simulation of extreme rainfall event of November 2009 over Jeddah, Saudi Arabia: *the explicit role of topography and surface heating*. *Theor Appl Climatol*, 132:89-101. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2080-2>.
- [39]. Awad, A.M., & Mashat, AWS. (2018). Climatology of the autumn Red Sea trough, *Theor Appl Climatol*, (135), 1545 -1558.
- [40]. Awad, A.M., & Almazroui, M. (2016). Climatology of the winter Red Sea Trough, *Atmospheric Research*, (182), 20 -29.
- [41]. Elfandy, M.G. (1950). Effects to Topography and Other Factors on the Movement of Lows in the Middle East and Sudan, *Bull, American Meteorology Society*, number 10, 31, PP.375-38.
- [42]. Elfandy, M.G. (1948). The effect of Sudan monsoon low on the development of thundery conditions in Egypt, Palestine and Syria. *Q J R Meteorol Soc*, 74, 31-38.
- [43]. Jahanshahi, A, Boojj, M.B., Patil, S.D., & Gupta, H. (2024). An ensemble-based projection of future hydro-climatic extremes in Iran, *Journal of Hydrology*, V. 642. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131892>.
- [44]. Hejazizadeh, Z.B., Alijani, B., Saligheh, M. & Sayad V. (2021). Analyzing the trend and extent of Sudan low pressure and its impact on precipitation in western and southwestern Iran. *Arab J Geosci*, 14, 295. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06452-5>.
- [45]. IPCC. (2007). Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.: Cambridge University Press.

- [46]. IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Pachauri RK, and Meyer LA (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- [47]. Kaboli, S., Hekmatzadeh, A.A., Darabi, H., & Torabi Haghghi, A. (2021). Variation in physical characteristics of rainfall in Iran, determined using daily rainfall concentration index and monthly rainfall percentage index. *Theor Appl Climatol*, 144, 507–520. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03553-9>
- [48]. Labban, A.H., Mashat, A.W.S., & Awad A.M. (2020). Main atmospheric regimes of the long winter Red Sea trough, *Arabian Journal of Geosciences*, (13), 171-183.
- [49]. Lashkari, H., & Mohammadi, Z. (2018). Study on the role of annual movements of Arabian subtropical high pressure in the late start of precipitation in southern and southwesern Iran, *Theoretical and Applied Climatology*, (137), 1-8.
- [50]. Lashkari, H., & Mohamadi, f. (2019). Determination of long-term changes in the rainfall penetration domain of Sudan low in Iran during the period 1976–2017, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, (203).
- [51]. Mansouri Daneshvar, M.R., Ebrahimi, M. & Nejadsoleymani, H. (2019). An overview of climate change in Iran: facts and statistics. *Environ Syst Res* 8, 7. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0135-3>.
- [52]. Mohammadi, F., & Lashkari, H. (2020). Determination of long-term changes in the rainfall penetration domain of Sudan low in Iran during the period 1976–2017. *J Atmos Sol Terr Phys*, (203), 1–9.
- [53]. Nasrabadi, E., Masoodian, Sa., & Asakereh, H. (2013). Comparison of Gridded Precipitation Time Series Data in APHRODITE and Asfazari Databases within Iran's Territory, *Atmospheric and Climate Sciences*, number 3, 235-248.
- [54]. Saaroni, H., Ziv, B., Bitan, A., & Alpert, P. (1998). Easterly wind storms over Israel. *Theoretical and Applied Climatology*, (59), 61-77.
- [55]. Sayad, V., Hejazi zadeh, Z.b., Alijani, B., & Saligheh, M. (2021). Dynamic effects of Sudanese system on moisture feeding in Iran. *Theor Appl Climatol* 146, 821–831. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03768-w>.
- [56]. Tan, X., Ma, Z., He, K., Han, X., Ji, Q., & He, Y. (2021). Evaluations on gridded precipitation products spanning more than half a century over the Tibetan Plateau and its surroundings, *Journal of Hydrology*, 582, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124455>.
- [57]. Tsvieli, Y., & Zangvil, A. (2005). Synoptic Climatological Analysis of Wet and Dry Red Sea Troughs over Israel, *International Journal Climatology*, (25), 1997 - 2015.
- [58]. Vries, A.J., Tyrlis, E., Edry, D., Krichak, SO., Steil, B., & Lelieveld, J. (2013). Extreme precipitation events in the Middle East: dynamics of the Active Red Sea Trough, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, (13), 7087-7108.