



Analysis of the Spatial and Temporal Distribution and Changes of Thunderstorms in Southern Iran over the Last Three Solar Cycles

Hassan Lashkari¹ , Zainab Mohammadi² , Mohammad Naji³ , Alireza Fadaei Bash⁴

1. (Corresponding Author) Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: h-Lashkari@sbu.ac.ir

2. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: z_mohammadi@sbu.ac.ir

3. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: mo_naji@sbu.ac.ir

4. Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Email: aseemoniha@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article History:

Received:

5 August 2024

Received in revised form:

19 October 2024

Accepted:

25 November 2024

Available online:

26 December 2024

Keywords:

Interpolation,
Thunderstorm,
Spatial Analysis,
Southern Iran,
Solar Cycle.

ABSTRACT

Thunderstorms, one of the most common and characteristic phenomena of convective systems, can cause severe damage and psychological impacts on individuals. In this study, thunderstorm-related codes from synoptic meteorological stations with complete records during each solar cycle were extracted from the dataset of the Iranian Meteorological Organization over a 33-year statistical period, corresponding to solar cycles 22, 23, and 24 (1986–2018). The Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method was applied to illustrate the spatiotemporal variations of thunderstorms. The findings indicate that the frequency of thunderstorm events does not follow a regular pattern across solar cycles 22 to 24, with the highest occurrence observed during cycle 23. Overall, during the 33 years, 1997 recorded the highest number of thunderstorms, while the lowest occurred in 1990. In terms of spatial distribution, during the cold seasons, when Sudanese low-pressure systems are the dominant atmospheric pattern, the highest concentration of thunderstorm events was recorded at Bushehr station, with a decreasing trend toward the east and north. In contrast, the lowest frequencies were observed at Siri Island and Bandar Lengeh stations. The peak occurrences were reported in December and January, particularly at Bushehr during the cold months, whereas during summer, due to the influence of monsoon systems, a notable eastward shift in thunderstorm hotspots was evident, especially at Bandar Abbas, Lar, and Hajjiabad stations.

Cite this article: Lashkari, H., Mohammadi, Z., Naji, M., & Fadaei Bash, A. (2024). Analysis of the Spatial and Temporal Distribution and Changes of Thunderstorms in Southern Iran over the Last Three Solar Cycles. *Physical Geography Research Quarterly*, 56 (4), 89-106.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2025.387701.1007864>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

Extended Abstract

Introduction

Natural hazards claim thousands of lives worldwide each year, with a significant portion of these fatalities attributed to weather-related hazards. Thunderstorms, regional floods, and other severe weather events are examples of such hazards. Thunderstorms are localized, mesoscale weather systems that develop within a limited area of 20 to 50 kilometers and depend on the height of convective clouds. Rainfall associated with thunderstorms and accompanying weather systems, coupled with lightning, are complex and composite atmospheric phenomena. Due to their unique dynamic and structural characteristics, these events typically negatively impact the natural environment, infrastructure, civil structures, transportation systems, and social activities. With its topographic features, large-scale climate systems influencing the region, and access to moisture sources from the southern warm seas, Southern Iran is susceptible to thunderstorm formation. This study uses station data to analyze the spatial variations in thunderstorm frequency over three solar cycles (22, 23, and 24). The relationship between thunderstorm frequency and solar cycles is of particular interest, as variations in solar radiation can influence atmospheric and climatic processes. Analyzing these changes contributes to a better understanding of the temporal and spatial patterns of thunderstorm occurrences and identifying high-risk areas. Moreover, these studies can provide a solid foundation for disaster risk management planning and more accurate weather forecasts in affected regions.

Methodology

For this study, data on thunderstorm occurrences was collected from 24-hour observational reports provided by the Iranian Meteorological Organization, covering a long-term period from 1986 to 2018. The study period was specifically selected to align with three 11-year solar cycles (Cycles 22, 23, and 24). This long-term and comprehensive dataset allows for examining the potential impacts of solar cycle variations on thunderstorm occurrence and intensity. Solar Cycle 22 spans from 1986 to 1996, Cycle 23 from 1997 to 2007, and

Cycle 24 from 2008 to 2018. Therefore, in addition to analyzing the temporal and spatial variations of thunderstorms within each solar cycle, this research also compares these variations across different cycles. In the next step, the data obtained from the Iranian Meteorological Organization's database was organized and sorted in Excel based on stations and corresponding regions. For more accurate analysis, days with recorded thunderstorm occurrences in 6-hourly observational reports were extracted for each station and month of the year. Subsequently, the frequency of thunderstorm occurrences was calculated for each year within the 33-year study period (1986-2018). The Inverse Distance Weighting (IDW) method was employed to analyze and visualize the spatiotemporal variations of thunderstorms. This analysis was conducted on a monthly average basis for each solar cycle. In this phase, thunderstorm data and the stations' geographical coordinates were entered into ArcMap software. Subsequently, using the IDW method, spatial distribution maps of the data were generated, and the resulting outputs were prepared for spatial analysis and the examination of spatiotemporal patterns.

Results and discussion

The primary findings of this research can be summarized as follows. In terms of temporal distribution, the frequency of thunderstorm occurrences did not follow a consistent pattern from Solar Cycle 22 to 24. Solar Cycle 23 exhibited the highest frequency of thunderstorms compared to the preceding and succeeding cycles. The analysis of temporal distribution revealed that the highest number of occurrences was reported during the years of Solar Cycle 24, indicating a significant influence of solar activity on this phenomenon. For instance, within this cycle, the peak frequency was recorded in 2009 (the beginning of the cycle), while the lowest was in 2016 (towards the end of the cycle). Overall, during the 33-year study period, the highest number of thunderstorms occurred in 1997 and the lowest in 1990.

In terms of monthly distribution, the highest frequency of thunderstorms was observed in December and January, while the lowest occurred in September. Regarding spatial

distribution, the thunderstorm hotspot was located over the Bushehr station during colder months when Sudanese systems dominate. This hotspot exhibited a decreasing trend towards the east and north. Another hotspot was observed over Bandar Abbas and Shiraz stations in February and April. The spatial distribution pattern in the early spring months resembled that of the cold months. However, in the final month of spring and throughout summer, the spatial pattern of thunderstorm occurrences changed significantly, with hotspots shifting eastward to stations such as Lar and Bandar Abbas. This phenomenon indicates the undeniable impact of topographic conditions on the intensification of incoming systems over the region.

Conclusion

Due to their unique dynamic and structural characteristics, thunderstorms cause widespread devastation to the environment, infrastructure, transportation systems, and social activities. Beyond inducing psychological distress among affected populations, these phenomena pose significant challenges to aviation and maritime operations. Neglecting the impacts of thunderstorms can lead to fatal accidents for passengers, pilots, and crew members of both air and sea vessels. With its distinctive topography, influence of large-scale climate systems, and proximity to the warm southern seas, Southern Iran provides a conducive environment for thunderstorm formation. The findings of this study reveal that November experiences the highest frequency of reported thunderstorms in Southern Iran. Bushher Airport meteorological station records the most frequent occurrences during this month and is identified as one of the primary entry points for storm systems from the southwest into the country's coastline. Furthermore, an increase in thunderstorm activity is observed around Bandar Abbas in March. Results indicate that the peak thunderstorm activity in Southern Iran occurs during the autumn season, although significant activity is also recorded in spring. Nevertheless, thunderstorms can occur throughout the year. A detailed analysis of monthly and seasonal frequencies reveals that May, April,

June, and October exhibit the highest occurrence rates.

Funding

There is no funding support.

Authors' Contribution

All of the authors approved the content of the manuscript and agreed on all aspects of the work.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to all the scientific consultants of this paper.

واکاوی پراکنش و تغییرات زمانی - مکانی توفان‌های تندری در جنوب ایران در سه چرخه خورشیدی اخیر

حسن لشکری^۱✉، زینب محمدی^۲، محمد ناجی^۳، علی‌رضا فدایی‌باش^۴

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: h-Lashkari@sbu.ac.ir

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: z_mohammadi@sbu.ac.ir

۳- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: mo_naji@sbu.ac.ir

۴- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: aseemoniha@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۵/۱۵

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۳/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۹/۰۵

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۱۰/۰۸

واژگان کلیدی:

توفان تندری،

چرخه خورشیدی،

تحلیل فضایی،

درون‌یابی،

جنوب ایران.

توفان‌های تندری، به‌عنوان یکی از پدیده‌های متداول و شاخص سامانه‌های همرفتی، موجب خسارت‌های شدید و آثار روانی بر افراد می‌شوند. بدین منظور، ابتدا کدهای مربوط به پدیده توفان تندری در دوره آماری ۳۳ ساله که متناظر با سیکل‌های ۲۲، ۲۳ و ۲۴ خورشیدی (۲۰۱۸-۱۹۸۶) بودند از داده‌های سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه‌های سینوپتیک که در هر چرخه اقلیمی دارای آماره کامل بوده‌اند، استخراج گردید. در ادامه به‌منظور نمایش تغییرات زمانی-مکانی توفان‌های تندری، از روش IDW استفاده شد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که از چرخه خورشیدی ۲۲ الی ۲۴، فراوانی رخداد توفان‌های تندری از الگوی منظمی پیروی نمی‌کند و چرخه ۲۳ بالاترین رخدادها را داشته است. در مجموع در دوره آماری ۳۳ ساله بالاترین رخداد مربوط به سال ۱۹۹۷ و کمترین رخداد توفان تندری در سال ۱۹۹۰ گزارش شده است. از لحاظ پراکنش مکانی توفان‌های تندری در فصول سرد سال که سامانه‌های سودانی پدیده غالب این دوره از سال می‌باشد هسته پر رخداد توفان‌های تندری بر روی ایستگاه بوشهر قرار دارد. این هسته پر رخداد به سمت شرق و شمال روندی کاهشی دارد. درحالی‌که ایستگاه‌های جزیره سیری و بندرلنگه کمترین میزان را داشته‌اند. بیشترین رخداد در ماه‌های دسامبر و ژانویه و از نظر مکانی در ماه‌های سرد بر ایستگاه بوشهر متمرکز است درحالی‌که در تابستان جابجایی هسته‌ها به سمت شرق، به‌ویژه در ایستگاه‌های بندرعباس، لار و حاجی‌آباد، به دلیل فعالیت سامانه‌های مونسونی، قابل توجه بود.

استناد: لشکری، حسن؛ محمدی، زینب؛ ناجی، محمد و فدایی‌باش، علی‌رضا. (۱۴۰۳). واکاوی پراکنش و تغییرات زمانی - مکانی توفان‌های تندری در جنوب ایران در سه چرخه خورشیدی اخیر. *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۶ (۳)، ۱۰۶-۸۹.

<https://doi.org/10.22059/JPHGR.2025.387701.1007864>

مقدمه

مخاطرات طبیعی هرساله در نقاط مختلف جهان جان هزاران انسان را می‌گیرد و درصد بالایی از این تلفات محصول مخاطرات آب‌وهوایی بوده است. از انواع مخاطرات آب‌وهوایی می‌توان توفان‌های تندری، سیل منطقه‌ای و... را نام برد (لشکری و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۳۶). توفان‌های تندری، سامانه‌های آب‌وهوایی محلی و متوسط مقیاسی هستند که در یک منطقه محدود ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر شکل گرفته و به ارتفاع ابرهای جوششی بستگی دارند (Adelekan., 1998: 1273). این توفان‌ها علاوه بر آذرخش و بادهای شدید، اغلب با بارش‌های شدید نیز همراه هستند (Barry & Hall-McKim., 2014: 138). درواقع توفان تندری جزء پدیده‌های مخرب اقلیمی محسوب می‌شود که همه‌ساله خسارت جبران‌ناپذیری را به‌صورت تگرگ، بارش‌های سیل‌آسا و رعدوبرق به تأسیسات، مزارع و منازل وارد می‌کند (لشکری و آقاسی، ۱۳۹۲: ۲۱۵؛ معصوم پور سماکوش و همکاران، ۱۴۰۱: ۱۴۸).

ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود همواره با چالش‌های اساسی در زمینه تأمین منابع آبی مواجه بوده است (معصوم پور سماکوش و فجاد، ۱۳۹۴: ۲۲۸). این کشور، که بخش عمده‌ای از آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، به‌طور چشمگیری به منابع آبی ناشی از بارش‌ها وابسته است (عساکره و رزمی، ۱۳۹۰: ۱۳۸). درواقع بارش‌های ناشی از توفان‌های تندری و سامانه‌های جوی همراه با رعدوبرق از جمله پدیده‌های جوی پیچیده و ترکیبی محسوب می‌شوند (گرامی و همکاران، ۱۴۰۱: ۹۷). این پدیده به دلیل ویژگی‌های ترمودینامیکی و ساختاری خاص خود، معمولاً اثرات تخریبی گسترده‌ای بر محیط طبیعی، زیرساخت‌ها، سازه‌های عمرانی، سامانه‌های حمل‌ونقل و فعالیت‌های اجتماعی بر جای می‌گذارند (فدایی‌باش، ۱۴۰۳: ۳). این پدیده علاوه بر آثار روانی منفی بر روی ساکنین این مناطق، آثار بسیار مهمی در حمل‌ونقل هوایی و دریایی دارد که عدم توجه به آن می‌تواند خطرات مرگباری برای مسافران و خدمه و خلبانان و خدمه کشتی‌ها داشته باشد.

منطقه جنوب ایران با توجه به ویژگی‌های توپوگرافی، سامانه‌های اقلیمی بزرگ‌مقیاس مؤثر بر منطقه، دسترسی به منابع رطوبتی دریا‌های گرم جنوبی مستعد شکل‌گیری توفان‌های تندری می‌باشد (لشکری و حجتی، ۱۳۹۱: ۱۴). این منطقه از مهم‌ترین مناطق تجاری، بندرگاهی و صنعتی کشور ایران است. از سوی دیگر، چرخه‌های خورشیدی در حفاصل‌های زمانی ۱۰ تا ۱۱ ساله، نوساناتی در فعالیت‌های مغناطیسی و تابشی خورشید ایجاد می‌کنند که بر سیستم‌های اقلیمی و جوی زمین اثر می‌گذارند (عزیزی، ۱۳۸۳: ۶۸). ارتباط احتمالی میان چرخه‌های خورشیدی و وقوع توفان‌های تندری همچنان به‌عنوان یک پرسش علمی حل‌نشده باقی‌مانده است. شواهد تجربی در این زمینه متناقض بوده و نتایج پژوهش‌های مختلف تفاوت‌های قابل‌توجهی را نشان می‌دهند. برخی مطالعات از وجود همبستگی ضعیفی میان افزایش فعالیت خورشیدی و فراوانی وقوع رعدوبرق حکایت دارند، درحالی‌که تحقیقات دیگر، شواهد معناداری برای تأیید این رابطه ارائه نکرده‌اند. (Pustil'nik & Din., 2004:335؛ Ansari., 2007:780).

لذا در این پژوهش با توجه به این خلأ دانشی، تلاش می‌شود با استفاده از داده‌های ایستگاهی به تحلیل آماری و بررسی تغییرات مکانی-زمانی فراوانی توفان‌های تندری، و همچنین همخوانی آن در سه چرخه خورشیدی^۱ ۲۲، ۲۳ و ۲۴ پرداخته شود. تحلیل این تغییرات به درک بهتر الگوهای زمانی و مکانی رخداد توفان‌های تندری و شناسایی مناطق پرخطر کمک می‌کند.

توفان‌های تندری به‌عنوان پدیده‌های جوی مهم و تأثیرگذار، همواره موردتوجه پژوهشگران علوم جوی و اقلیمی بوده

است. دای در تحلیل تغییرات روزانه فراوانی وقوع انواع مختلف بارش و توفان‌های تندری در سطح جهانی طی سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷، به این نتیجه رسید که بارش‌های رگباری و توفان‌های تندری غالباً در ساعات بعدازظهر و در مناطق خشک و نیمه‌خشک در تمام فصول سال بیشتر مشاهده می‌شوند (Dai., 2001: 1092). تافرر و همکاران رشد و گسترش توفان‌های تندری شدید در حوضه آبریز بالای دانوب را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که تکوین سریع این توفان‌ها در محل تشکیل، تأثیر زیادی در بارش‌های سنگین و سرعت بالای بادهای اروپای مرکزی دارد (Tafferner et al., 2008: 211). لوگینوف و همکاران، تغییرات توفان‌های تندری و ویژگی‌های شکل‌گیری آن‌ها را در کشور بلاروس مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وقوع این پدیده در مناطق کوهستانی به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از سایر مناطق است (Loginov et al., 2010: 175). پینو و همکاران در مطالعه‌ای تغییرات بلندمدت روزهای رعدوبرق در جنوب شرقی برزیل انجام دادند. نتایج نشان داد فعالیت توفان‌های تندری در این مناطق افزایش داشته و با رخداد النینو و لانینا در ارتباط است (Pinto et al., 2013: 5231). گالانکی و همکاران، توفان‌های تندری بر اساس مشاهدات ابرها و رخداد رعدوبرق در مدیریتانه را بررسی کردند. نتایج نشان داد، شرایط توپوگرافی محلی و چرخه روزانه تابش خورشید در رخداد توفان‌های تندری منطقه نقش اساسی‌تری را بر عهده دارند (Galanaki et al., 2018: 136). تازارک و همکاران، نشان دادند زمانی که یک توفان تندری توسعه پیدا کند احتمال شدید شدن آن در آمریکا بیشتر از اروپا است (Taszarek et al., 2020: 10239). پیتزوتی و همکاران در پژوهشی به بررسی وقوع توفان‌های تندری در شمال اروپا با بهره‌گیری از شاخص‌های ترمودینامیکی پرداختند (Pizzuti., 2020: 20065).

در ایران نیز لشکری و همکاران (۱۳۹۵) به تحلیل توفان تندری استان کهگیلویه پرداختند. نتایج نشان داد که عامل به وجود آورنده این تندرهای، سامانه‌های سودانی بوده که به دلیل برخورداری از پتانسیل رطوبت پذیری بالا و دریافت رطوبت فراوان از دریا‌های گرم عرب و عمان و دریای سرخ از انرژی پتانسیل بالایی برخوردار هستند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۶) به تحلیل فضایی توفان‌های تندری در گستره کشور ایران طی سال‌های ۱۹۹۱ الی ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین توفان‌های تندری سالانه در شمال غرب ایران رخ می‌دهد و کمترین میزان آن بر نواحی مرکزی و شرقی کشور منطبق است. فرجی و همکاران (۱۳۹۴) به واکاوی همیدی الگوهای زمانی و مکانی بارش‌های در استان زنجان پرداختند. نتایج نشان داد میانگین فراوانی بارش تندری مربوط به قسمت‌های شمال شرقی، مرکزی و جنوب و جنوب شرقی استان بوده است و بیشترین ضریب تغییرات نیز منطبق بر این نواحی می‌باشد. قسمت‌های غربی و شرقی استان کمترین میانگین تندر را داشته‌اند و پایین‌ترین ضریب تغییرات را نیز دارا می‌باشند. محمدی و همکاران (۱۳۹۵) به تحلیل توفان‌های تندری با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر ایستگاه سینوپتیک اهواز طی بازه زمانی ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۳ پرداختند و دو الگوی تأثیرگذار بر این بارش‌ها را شناسایی کردند. معصوم و همکاران (۱۳۹۵) به واکاوی آماری - همیدی توفان‌های تندری سواحل جنوبی ایران پرداختند. نتایج نشان داد روند مکانی این پدیده از غرب به شرق کاهش می‌یابد و پتانسیل رخداد آن در استان بوشهر بیش از هرمزگان است. از نظر زمانی، بیشترین رخداد این پدیده در پاییز با ۴۵ و زمستان با ۴۳ درصد ثبت شده است. در مقیاس ساعتی تفاوت قابل‌توجهی در ساعت مختلف مشاهده نمی‌شود و امکان رخداد آن در تمامی ساعت‌ها به‌ویژه ساعات صبح محلی وجود دارد. برنا (۱۳۹۷) به بررسی آماری - همیدی توفان‌های تندری استان خوزستان پرداخت. نتایج نشان داد که از نظر شدت و فراوانی، بیشترین رویداد توفان‌های تندری در مناطق شمال و شمال شرق استان و کمترین آن در مناطق جنوب غربی می‌باشد. مجرد و همکاران (۱۳۹۸) به تحلیل زمانی - مکانی توفان‌های تندری در ایران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین توفان‌های تندری در شمال غرب و غرب کشور حوالی ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، خوی، خرم‌آباد و نیز جنوب کشور حوالی ایستگاه بوشهر رخ می‌دهد. فلک و همکاران (۱۳۹۹) به تحلیل زمانی و

مکانی توفان‌های تندری جنوب غربی ایران پرداختند. نتایج تحلیل سالانه نشان داد، فراوانی توفان‌های تندری ایستگاه دزفول با ۴۷۹ پدیده بیشترین و رامهرمز با تعداد ۲۵۲ رخداد کمترین را در ایستگاه‌ها ثبت کرده است. همچنین در تحلیل فصلی، بهار بیشترین توفان با عدد ۱۳۷ و تابستان با ۱۰ فراوانی کمترین توفان را به خود اختصاص داده است. دانایانی و همکاران (۱۴۰۲) توفان‌های تندری در ایران را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که توفان‌های تندری از نظر مکانی در تمام گستره ایران رخ می‌دهند. باین حال فراوانی این پدیده در شمال غرب، جنوب غرب و جنوب شرق ایران بیش از سایر بخش‌های دیگر است. خسروی و رستمی جلیلیان (۱۳۹۳)، ارتباط بارش ایران با چرخه لکه‌های خورشیدی در ایران را بررسی کردند. نتایج نشان داد هر چه از عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر به سمت عرض‌های بالا می‌رویم، ارتباط بین چرخه لکه‌های خورشیدی و بارش از مقادیر منفی به سمت مقادیر مثبت می‌رود، در نتیجه در عرض‌های پایین تغییرپذیری ۶۶ ساله بارش و تعداد لکه‌های خورشیدی رفتار معکوس و در عرض‌های بالا رفتار مشابه پیدا می‌کند. نتایج پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهند که توفان‌های تندری پدیده‌های جوی تأثیرگذار و متغیر در مناطق مختلف جهان و ایران هستند. این پدیده‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی همچون شرایط توپوگرافی، تابش خورشید، و سامانه‌های جوی خاص قرار دارند. در ایران، مطالعات مختلف نشان داده‌اند که بیشترین توفان‌های تندری در مناطق شمال غرب، جنوب غرب، و جنوب کشور به وقوع می‌پیوندد، و فصل‌های پاییز و زمستان بیشترین فراوانی را در رخداد‌های این پدیده دارند. با توجه به پراکندگی و تأثیرات قابل توجه توفان‌های تندری در مناطق مختلف ایران، تحلیل آماری و فضایی ماهانه این پدیده‌ها، به‌ویژه در جنوب کشور، ضروری به نظر می‌رسد. این تحلیل می‌تواند به درک بهتر الگوهای زمانی و مکانی رخداد توفان‌ها کمک کرده و در برنامه‌ریزی‌های مدیریت مخاطرات طبیعی و پیش‌بینی شرایط جوی دقیق‌تر، مؤثر واقع شود.

روش پژوهش

برای انجام این پژوهش، داده‌های مربوط به پدیده توفان‌های تندری از گزارش‌های دیدبانی سازمان هواشناسی کشور، برای یک دوره آماری بلندمدت از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸، جمع‌آوری و تحلیل شد. دوره آماری این مطالعه به‌گونه‌ای انتخاب شده که با سه چرخه خورشیدی ۱۱ ساله (چرخه‌های ۲۲ تا ۲۴) مطابقت داشته باشد. انتخاب این دوره زمانی، علاوه بر پوشش دهی بلندمدت و جامع تغییرات اقلیمی، امکان بررسی اثرات احتمالی تغییرات چرخه‌های خورشیدی بر وقوع و شدت توفان‌های تندری را فراهم می‌آورد. چرخه خورشیدی شماره ۲۲ در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶ رخ داده و بیشینه فعالیت آن در سال ۱۹۸۹ مشاهده شده است. چرخه خورشیدی ۲۳ طی دوره ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ ادامه داشته و بیشینه فعالیت آن در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ ثبت شده است. همچنین، چرخه خورشیدی ۲۴ در فاصله زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ جریان داشته و بیشینه فعالیت خورشیدی آن بین سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۴ به وقوع پیوسته است. با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش تحلیل الگوهای آماری و فضایی توفان‌های تندری در مناطق جنوبی ایران است، به‌منظور بهره‌گیری حداکثری از داده‌های ایستگاه‌های دیدبانی و تعیین گستره اثر این پدیده، تنها ایستگاه‌هایی که در هر دوره دارای داده‌های کامل بودند، در محاسبات لحاظ شدند. بر همین اساس، تعداد ایستگاه‌های مورد استفاده در هر دوره ممکن است با دوره‌های دیگر متفاوت باشد. در دوره اول، ۱۰ ایستگاه، در دوره دوم، ۱۶ ایستگاه و در دوره سوم، ۳۰ ایستگاه با داده‌های کامل شناسایی و در تحلیل وارد شدند. لذا در این تحقیق علاوه بر این که تغییرات زمانی و مکانی توفان‌ها در هر چرخه خورشیدی بررسی و تحلیل شده است تغییرات زمانی و مکانی بین چرخه‌ها نیز مورد مقایسه قرار گرفته است. در گام بعدی، اطلاعات دریافت شده از پایگاه داده سازمان هواشناسی کشور بر اساس ایستگاه‌ها و مناطق مربوطه، در نرم‌افزار Excel سازمان‌دهی و مرتب‌سازی شد. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر، روزهایی که وقوع توفان تندری در گزارش‌های دیدبانی ۶ ساعته ثبت شده بود،

به تفکیک هر ایستگاه و در هر ماه از سال استخراج گردید. سپس فراوانی وقوع توفان‌های تندری در هر سال از دوره آماری ۳۳ ساله (۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸) محاسبه شد. این محاسبات با هدف تحلیل روند تغییرات زمانی و فراوانی این پدیده انجام گرفت. همچنین فراوانی وقوع توفان تندری در هر ایستگاه طی این بازه زمانی در اکسل محاسبه و ترسیم شد.

در ادامه به منظور گسترش داده‌ها در سطح و نمایش تغییرات زمانی-مکانی توفان‌های تندری، از روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW^۱) استفاده شده است. این تحلیل به صورت میانگین ماهانه و برای هر چرخه خورشیدی انجام شده است. روش وزن دهی معکوس فاصله بر پایه قانون تیلور یا قانون اول جغرافیا عمل می‌کند، که بیان می‌دارد واحدهای جغرافیایی نزدیک‌تر تأثیر بیشتری بر یکدیگر دارند. این روش، صرف‌نظر از موقعیت و آرایش نقاط، صرفاً از ترکیب خطی معکوس فاصله داده‌های موجود استفاده می‌کند (Ding et al., 2018: 25). دلیل انتخاب این روش، توانایی آن در تخمین فراوانی توفان‌های تندری در نقاط فاقد داده، با حداقل میزان خطا است (میرشفیعی و همکاران، ۱۴۰۳: ۱۲۵). در این مرحله، داده‌های مربوط به توفان‌های تندری به همراه مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها وارد نرم‌افزار ArcMap شدند. سپس با استفاده از روش IDW، نقشه‌های توزیع مکانی داده‌ها تولید و خروجی‌های حاصل برای انجام تحلیل‌های فضایی و بررسی الگوهای زمانی-مکانی آماده شدند.

روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW)

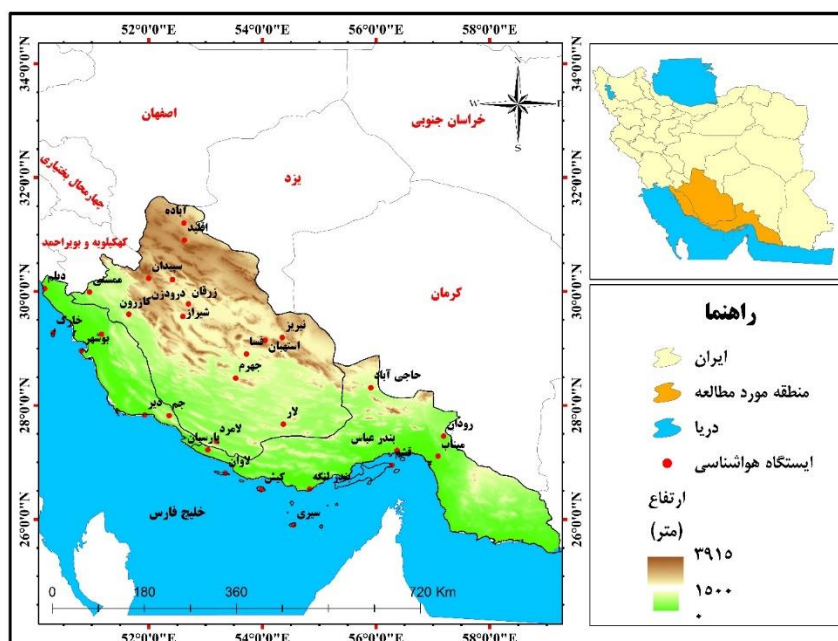
در این روش، از داده‌های اندازه‌گیری شده در نقاط پیرامونی برای پیش‌بینی مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده استفاده می‌شود. اساس این روش بر این فرض استوار است که پدیده‌های مکانی که به یکدیگر نزدیک‌تر هستند، شباهت بیشتری نسبت به پدیده‌های دورتر دارند. به منظور تخمین مقدار در یک نقطه مجهول، از رویکرد شاخص وزنی عکس فاصله بهره گرفته می‌شود. در این روش، مقادیر موجود در نقاط نزدیک‌تر به نقطه موردنظر، وزن بیشتری در فرآیند برآورد دریافت می‌کنند، درحالی‌که تأثیر نقاط دورتر کمتر در نظر گرفته می‌شود. این ویژگی بر اساس اصل همبستگی مکانی عمل می‌کند که بیانگر کاهش تدریجی شباهت مقادیر با افزایش فاصله است (شمسی‌پور، ۱۳۹۲). مقدار عامل وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن λ_i وزن ایستگاه i ام، D_i فاصله ایستگاه تا نقطه مجهول و α توان وزن دهی می‌باشد (متصدی زرنندی و نصیری، ۱۳۹۹):

$$\lambda_i = (D_i - \alpha) / \sum_{i=1}^n D_i - \alpha \quad (\text{رابطه ۱})$$

محدوده مورد مطالعه

پهنه مورد مطالعه در این پژوهش شامل استان‌های هرمزگان، فارس و بوشهر است. این منطقه جغرافیایی، بخش‌های متنوعی از جنوب ایران را در برمی‌گیرد که شامل ارتفاعات زاگرس جنوبی و سواحل گسترده خلیج فارس می‌شود (شکل ۱). این سه استان در مجموع مساحتی معادل ۲۱۶,۳۱۸ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهند و از منظر موقعیت جغرافیایی، در محدوده‌ای با عرض‌های جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۶۶ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی واقع شده‌اند. طبق آخرین سرشماری نفوس و مسکن این سه استان دارای ۷,۷۹۱,۰۸۹ نفر جمعیت ساکن می‌باشند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). ارتفاعات استان‌های فارس، بوشهر و هرمزگان دامنه‌ای قابل توجه از تنوع ارتفاعی را به نمایش می‌گذارند که این اختلاف ارتفاع به حدود ۳۹۱۵ متر می‌رسد. این ویژگی توپوگرافیک

نشان‌دهنده حضور ساختارهای زمین‌شناسی و جغرافیایی منحصربه‌فرد در این منطقه است. این محدوده بخشی از کمربند کوهستانی زاگرس جنوبی است که به‌عنوان یکی از مهم‌ترین واحدهای زمین‌ساختی ایران، نقشی اساسی در ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، اقلیم محلی، و الگوهای زیست‌محیطی آن ایفا می‌کند. توده‌های هوایی مؤثر بر اقلیم این منطقه عبارت‌اند از توده هوای مرطوب مدیترانه‌ای، سامانه کم‌فشار سودانی، سامانه پرفشار عربستان، جریان‌های موسمی و سامانه پرفشار سیبری. هر یک از این توده‌های هوایی با ویژگی‌های دمایی و رطوبتی خاص خود نقش مهمی در الگوهای جوی منطقه ایفا می‌کنند (علیچانی، ۱۳۸۲: ۴۵؛ لشکری، ۱۳۸۲: ۱؛ محمدی و لشکری، ۱۳۹۷: ۴۹۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش

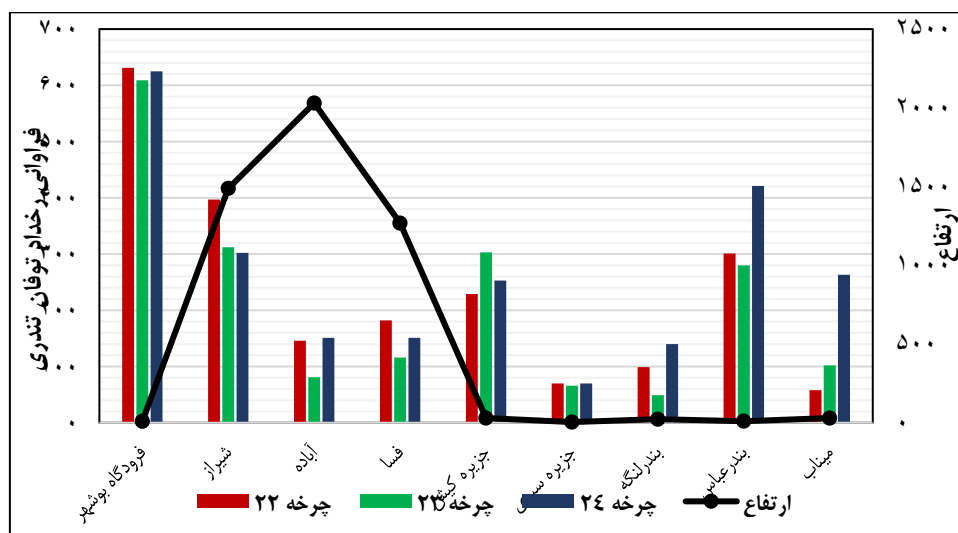
یافته‌ها

در این بخش، ابتدا فراوانی رخداد توفان‌های تندری در قالب چرخه‌های خورشیدی تحلیل شده است. این تحلیل با هدف شناسایی روندها و الگوهای احتمالی در تغییرات فراوانی این پدیده در طول چرخه‌های مختلف خورشیدی صورت می‌گیرد. در مرحله بعد، توزیع مکانی این توفان‌ها به‌صورت ماهانه بررسی و تحلیل شده است. این تحلیل به‌منظور شناسایی الگوهای فضایی و زمانی توفان‌های تندری و تفسیر تأثیرات مکانی و اقلیمی آن‌ها انجام می‌شود.

تحلیل آماری توفان‌های تندری

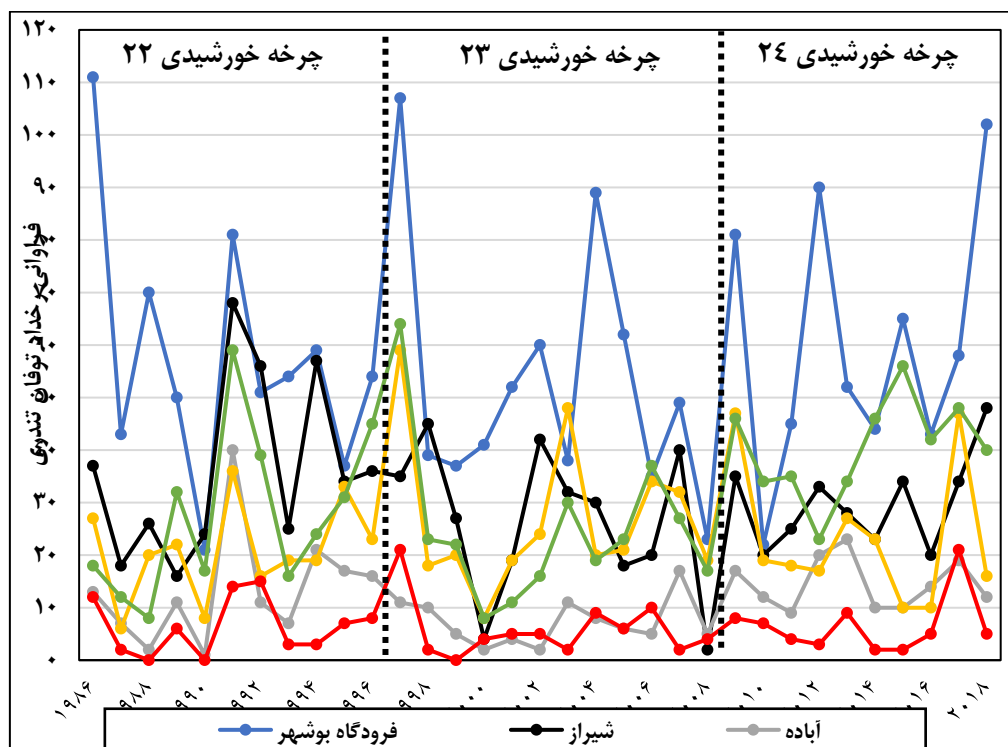
شکل ۲ توزیع فراوانی رخداد توفان‌های تندری را در ایستگاه‌های منتخب طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳ و ۲۴ نشان می‌دهد. این ایستگاه‌ها، که دارای داده‌های ثبت‌شده در بازه زمانی ۳۳ ساله هستند، به‌عنوان نماینده‌ای از الگوهای زمانی و مکانی توفان‌های تندری انتخاب شده‌اند. بر اساس نتایج ارائه‌شده، ایستگاه فرودگاه بوشهر با ثبت بیش از ۶۰۰ رخداد توفان در هر چرخه بیشترین تعداد توفان‌های تندری را در بازه مورد مطالعه به خود اختصاص داده است. در مقابل، ایستگاه‌های جزیره سیری و بندرلنگه به ترتیب، کمترین تعداد توفان‌های تندری را ثبت کرده‌اند. از منظر زمانی، تحلیل فراوانی رخداد توفان‌های تندری در چرخه‌های خورشیدی ۲۲ تا ۲۴ نشان می‌دهد که این پدیده الگوی مشخص و قابل پیش‌بینی‌ای را دنبال نمی‌کند. به‌عبارت‌دیگر، تغییرات فراوانی وقوع توفان‌ها در این بازه زمانی فاقد روندی منظم یا همگن بوده و نوسانات قابل‌توجهی بین چرخه‌های مذکور مشاهده می‌شود. از طرفی شواهد نشان می‌دهد که در ایستگاه‌های

کوهپایه‌ای مانند فسا، آباده و شیراز با افزایش ارتفاع تغییرات قابل توجه‌ای در فراوانی توفان تندی مشاهده نمی‌شود. این تفاوت‌های مکانی در رخداد توفان‌های تندری بیانگر آن است که رخداد توفان‌های تندری علاوه بر شرایط همدیدی بشدت از عوامل محلی و ترمودینامیکی تأثیر می‌پذیرد.



شکل ۲. فراوانی رخداد توفان تندی طی سه سیکل خورشیدی ۲۲، ۲۳ و ۲۴

شکل ۳ تغییرات فراوانی رخداد توفان‌های تندری را در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸، به صورت سالانه و در ارتباط با سه چرخه آخر فعالیت خورشیدی نمایش می‌دهد. به منظور کاهش پیچیدگی و جلوگیری از ازدحام در نمودار، با در نظر گرفتن گستره جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، شش ایستگاه منتخب با پراکندگی مناسب به عنوان نمایندگان آماری برای انجام این تحلیل انتخاب شده‌اند. در بررسی سه چرخه خورشیدی، ایستگاه بوشهر بالاترین فراوانی توفان‌های تندری را در منطقه ثبت کرده است. در مقابل، کمترین میزان وقوع این پدیده در ایستگاه‌های جزیره سیری (در جنوب) و ایستگاه آباده در شمال استان فارس، گزارش شده است. در چرخه خورشیدی ۲۲، از نظر توزیع سالانه، بیشترین تعداد توفان‌های تندری با ۳۵۶ مورد در سال ۱۹۹۱ و کمترین تعداد با ۹۰ مورد در سال ۱۹۹۰ ثبت شده است. در چرخه خورشیدی ۲۳، بیشترین رخداد این پدیده با ۵۹۵ مورد در سال ۱۹۹۷ و کمترین تعداد با ۱۵۳ مورد در سال ۲۰۰۰ مشاهده شده است. همچنین، در چرخه خورشیدی ۲۴، بیشترین تعداد توفان‌های تندری با ۷۷۲ مورد در سال ۲۰۰۹ و کمترین رخداد با ۳۷۰ مورد در سال ۲۰۱۶ گزارش شده است. از نظر نصف‌النهاری، روند تعداد توفان‌های تندری از غرب به شرق منطقه مطالعاتی کاهش یافته و سپس در ایستگاه بندرعباس دوباره افزایش نشان داده است.

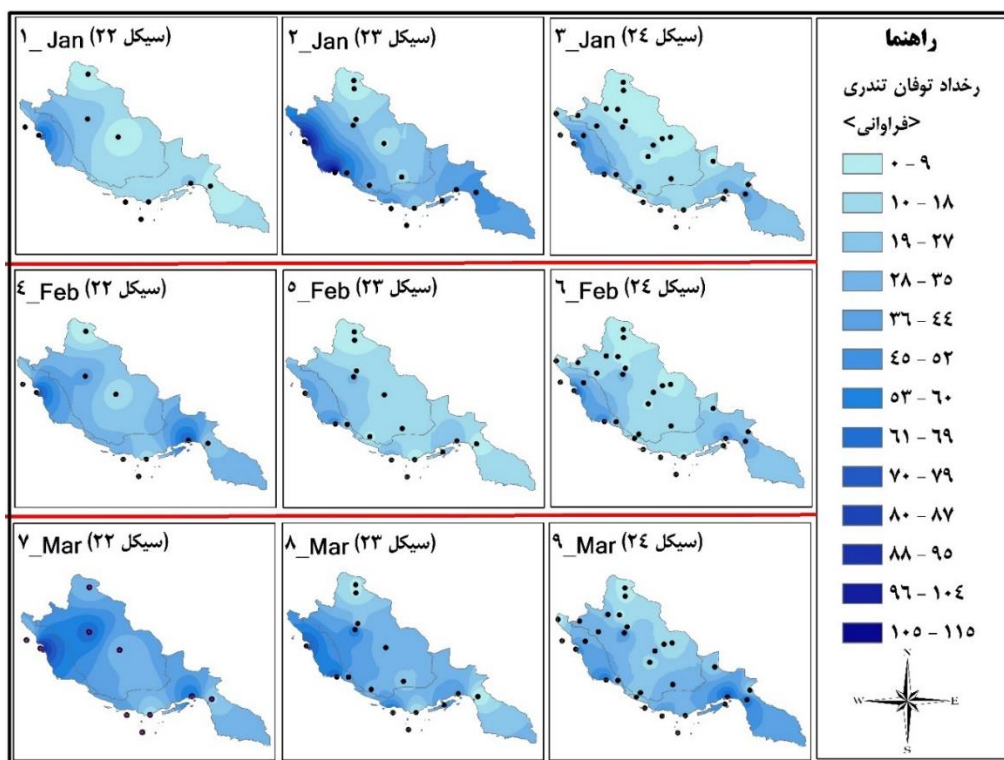


شکل ۳. روند تغییرات فراوانی تندی طوفان طی بازه زمانی ۱۹۸۶ الی ۲۰۱۸ (سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴)

پراکنش رخداد توفان تندی طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۱۸۹۶-۲۰۱۸)

در این بخش، توزیع زمانی رخداد توفان‌های تندی به صورت ماهانه و در چارچوب سه چرخه خورشیدی مورد بررسی، تحلیل و مقایسه قرار می‌گیرد. هدف از این تحلیل، شناسایی الگوهای فصلی و ماهانه وقوع توفان‌های تندی در هر چرخه خورشیدی و ارزیابی تغییرات احتمالی در فراوانی و توزیع زمانی این پدیده است. شکل ۴ پراکنش توفان‌های تندی را در سه چرخه اقلیمی در سه ماه فصل زمستان (ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس) نشان می‌دهد. در دوره سه دهه‌ای ماه ژانویه هسته اصلی رخداد توفان‌های تندی همواره بر استان بوشهر متمرکز بوده است. در دهه اول (۱۹۸۶-۱۹۹۶)، بیشترین تعداد توفان با بیش از ۵۰ مورد در ایستگاه بوشهر ثبت شده و به تدریج بافاصله گرفتن از این منطقه به سمت شمال و شرق، تعداد توفان‌ها به کمتر از ۱۵ مورد کاهش می‌یابد. در دهه دوم (۱۹۹۷-۲۰۰۷)، الگوی پراکنش مشابه دهه اول است، اما با ظهور یک هسته ثانویه در ایستگاه بندرعباس. این روند در دهه سوم (۲۰۰۸-۲۰۱۸) نیز حفظ شده است، به طوری که استان بوشهر همچنان بالاترین تعداد رخداد را داشته و ایستگاه بندرعباس به عنوان هسته ثانویه شناسایی می‌شود. کاهش تدریجی توفان‌ها از هسته‌های اصلی و ثانویه به سمت شمال و شرق منطقه مشهود است. با وجود تمرکز رخداد توفان‌های تندی در ایستگاه بوشهر، تعداد این رخدادها در سه دهه تغییرات قابل توجهی داشته است. در دهه اول، حداکثر تعداد ثبت شده ۶۹ رخداد بوده که در دهه دوم به ۱۱۴ رخداد افزایش یافته است. در دهه سوم، این تعداد مجدداً کاهش یافته و به ۷۰ رخداد رسیده است. روند حداقل رخدادها نیز مشابه این الگو است. بیشترین تعداد توفان‌های تندی در ماه ژانویه، طی چرخه خورشیدی ۲۳ (۱۹۹۷-۲۰۰۷) ثبت شده است. در ماه فوریه، برخلاف الگوی ژانویه، دو هسته پرتراکم توفان‌های تندی در استان‌های بوشهر و هرمزگان، با تمرکز بر ایستگاه‌های بوشهر و بندرعباس، مشاهده می‌شود. این الگو در هر سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳ و ۲۴ تکرار شده است. تعداد رخدادها در ایستگاه بوشهر همواره بیشتر از بندرعباس بوده است. بین چرخه‌های ۲۲ و ۲۳، تعداد رخدادها در ایستگاه بوشهر از ۷۶ به ۵۰ مورد کاهش یافته است، اما در چرخه ۲۴ این تعداد

به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته و به ۸۰ رخداد رسیده است، که نشان‌دهنده رشد فراوانی توفان‌ها در سراسر پهنه جنوبی کشور است. تحلیل الگوی پراکنش توفان‌های تندری در ماه مارس طی سه چرخه اقلیمی نشان می‌دهد که الگوی کلی مشابه ماه‌های ژانویه و فوریه حفظ شده است. ایستگاه‌های بوشهر و بندرعباس همچنان به‌عنوان هسته‌های اصلی رخداد توفان‌های تندری شناسایی می‌شوند. با این حال، گستره این هسته‌ها در هر سه چرخه نسبت به دو ماه قبل افزایش یافته است، به‌ویژه در چرخه‌های ۲۲ و ۲۳ که اتصال بین دو هسته بوشهر و بندرعباس به‌وضوح دیده می‌شود. تفاوت اصلی در این ماه، افزایش چشمگیر رخداد توفان‌ها در محدوده ایستگاه بندرعباس است که در چرخه ۲۴ به اوج خود رسیده است.

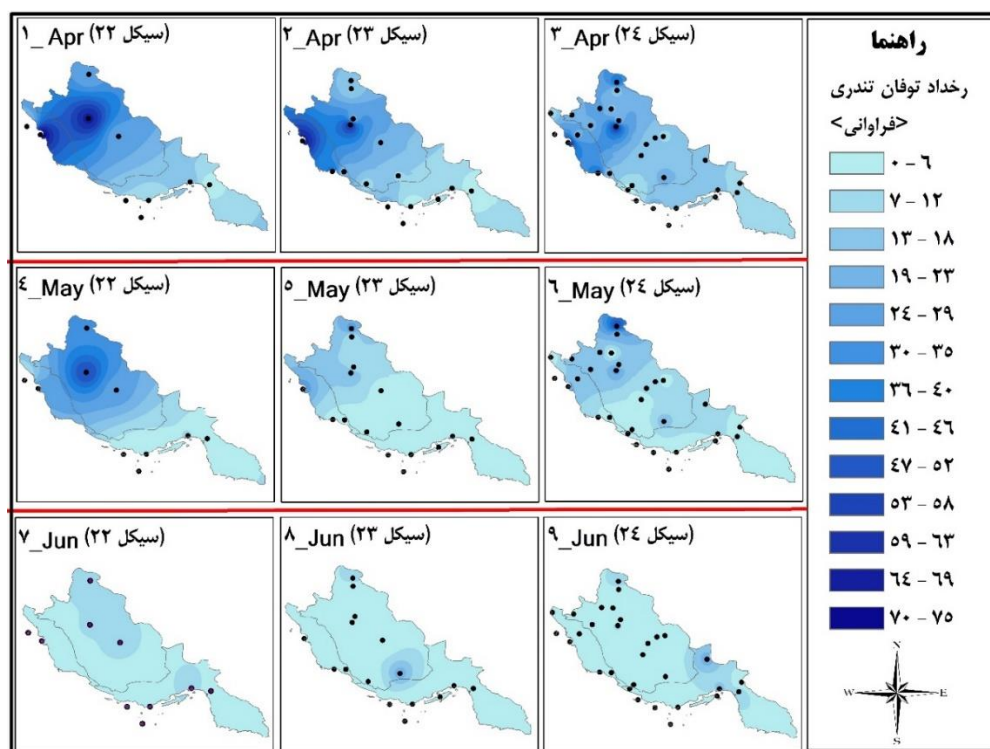


شکل ۴. پراکنش رخداد توفان تندری در ماه ژانویه، فوریه و مارس طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۲۰۱۸-۲۰۹۶)

شکل ۵ پراکنش توفان‌های تندری را در سه چرخه اقلیمی در ماه آوریل، می و ژوئن نشان می‌دهد. در ماه آوریل، علی‌رغم کاهش چشمگیر میزان بارش‌ها در مناطق جنوبی کشور نسبت به سه ماهه زمستان، فراوانی وقوع توفان‌های تندری تغییر چندانی نسبت به این بازه زمانی ندارد. این موضوع به‌وضوح در نقشه‌های پراکنش توفان‌های تندری در هر سه چرخه اقلیمی قابل‌مشاهده است. نکته اساسی و متمایزکننده ماه آوریل نسبت به ماه‌های زمستان، حذف هسته فعالیت توفان‌های تندری از محدوده ایستگاه بندرعباس و مناطق اطراف آن در تمامی چرخه‌های اقلیمی است. این در حالی است که ایستگاه بوشهر و نواحی پیرامونی آن همچنان به‌عنوان ناحیه‌ای فعال در رخداد توفان‌های تندری باقی‌مانده و بیشترین فراوانی رخداد این پدیده را نشان می‌دهد. در ماه می، الگوی پراکنش توفان‌های تندری همچنان بیشترین تمرکز را در پهنه استان‌های بوشهر و فارس نشان می‌دهد. با این حال، هسته اصلی فعالیت در این ماه به محدوده ایستگاه شیراز منتقل شده است. ایستگاه شیراز با ثبت بیش از ۵۰ گزارش توفان تندری، فاصله قابل‌توجهی از سایر ایستگاه‌ها داشته و به‌عنوان منطقه‌ای با بیشترین فراوانی رخداد این پدیده در سیکل ۲۲ شناخته می‌شود. در سیکل ۲۳ هسته پر رخداد توفان تندری به پهنه‌های غربی منطقه مطالعاتی منتقل شده و دو پهنه اطراف ایستگاه‌های بوشهر و آباده بالاترین رخداد را گزارش

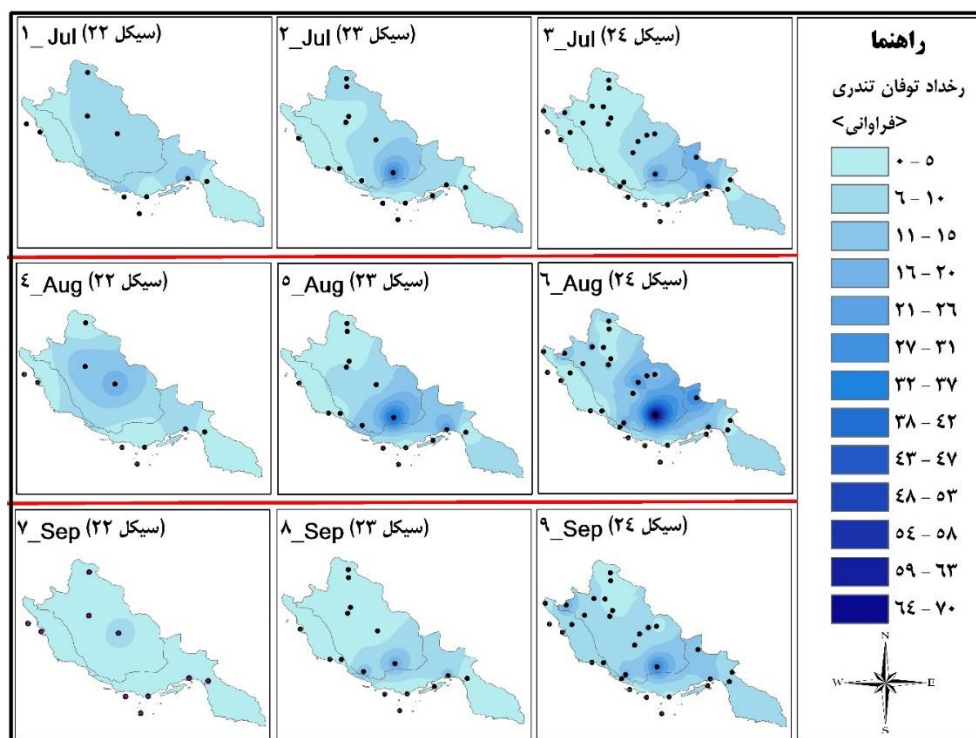
کرده‌اند. در این ماه نیز پهنه استان هرمزگان و بخش شرقی استان فارس کمترین رخداد را تجربه کرده‌اند. در سیکل ۲۳، تغییر چشمگیری در توزیع مکانی توفان‌های تندری مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که هسته پر رخداد این پدیده به پهنه‌های غربی منطقه مطالعاتی انتقال یافته است. در این دوره، ایستگاه‌های بوشهر و آباده و مناطق پیرامونی آن‌ها، بالاترین فراوانی وقوع توفان تندری را ثبت کرده‌اند. در مقابل، پهنه استان هرمزگان و بخش شرقی استان فارس در این بازه زمانی کمترین میزان فعالیت توفان‌های تندری را تجربه کرده‌اند. در ماه ژوئن، تعداد رخداد‌های توفان‌های تندری به‌طور چشمگیری نسبت به ماه‌های پیشین کاهش یافته است، به‌طوری‌که در بیشترین میزان ثبت‌شده، تعداد رخدادها به بیش از ۲۰ مورد نیز نرسیده است. این کاهش چشمگیر را می‌توان در سه سیکل زمانی مورد تحلیل قرار داد. در سیکل اول، بیشترین رخداد‌های توفان تندری از ایستگاه‌های بندرعباس و آباده گزارش شده است. در سیکل دوم، بیشترین فراوانی رخدادها در ایستگاه لار مشاهده شده، درحالی‌که در سیکل سوم، ایستگاه‌های بندرعباس و حاجی‌آباد بیشترین رخداد را گزارش کرده‌اند. علت کاهش قابل توجه تعداد رخداد‌های توفان‌های تندری در ماه ژوئن را می‌توان به کاهش سامانه‌های بارشی ورودی به منطقه نسبت داد. این کاهش عمدتاً به دلیل جابه‌جایی شمال سوی واچرخند عربستان رخ می‌دهد که در این بازه زمانی الگوی تابستانه را بر منطقه حاکم می‌سازد. در این شرایط، سامانه‌های بارشی که عموماً منشأ تکوین و تقویت توفان‌های تندری هستند، فرصت ورود و فعالیت در منطقه را نمی‌یابند. علاوه بر این، جابجایی جغرافیایی رخداد‌های توفان‌های تندری به سمت غرب منطقه مطالعاتی نیز معنادار می‌باشد. این جابجایی به دلیل کاهش شدید فعالیت سامانه‌های بارشی در غرب منطقه می‌باشد. در بخش شرقی منطقه مطالعاتی، ورود سامانه‌های مونسونی^۱ که عمدتاً از سمت جنوب شرقی و از اقیانوس هند منشأ می‌گیرند، باعث ایجاد شرایطی متفاوت شده و توفان‌های تندری در این بخش از کشور به میزان چشمگیری افزایش یافته است. در مجموع، تغییرات الگوی جوی منطقه تحت تأثیر حرکت واچرخند^۲ عربستان و شروع فعالیت سامانه‌های مونسونی در جنوب شرق کشور، عامل اصلی کاهش چشمگیر رخداد‌های توفان‌های تندری در غرب و تغییر مکان جغرافیایی آن‌ها به سمت شرق در ماه ژوئن می‌باشد.

1. monsoon
2. Anticyclone



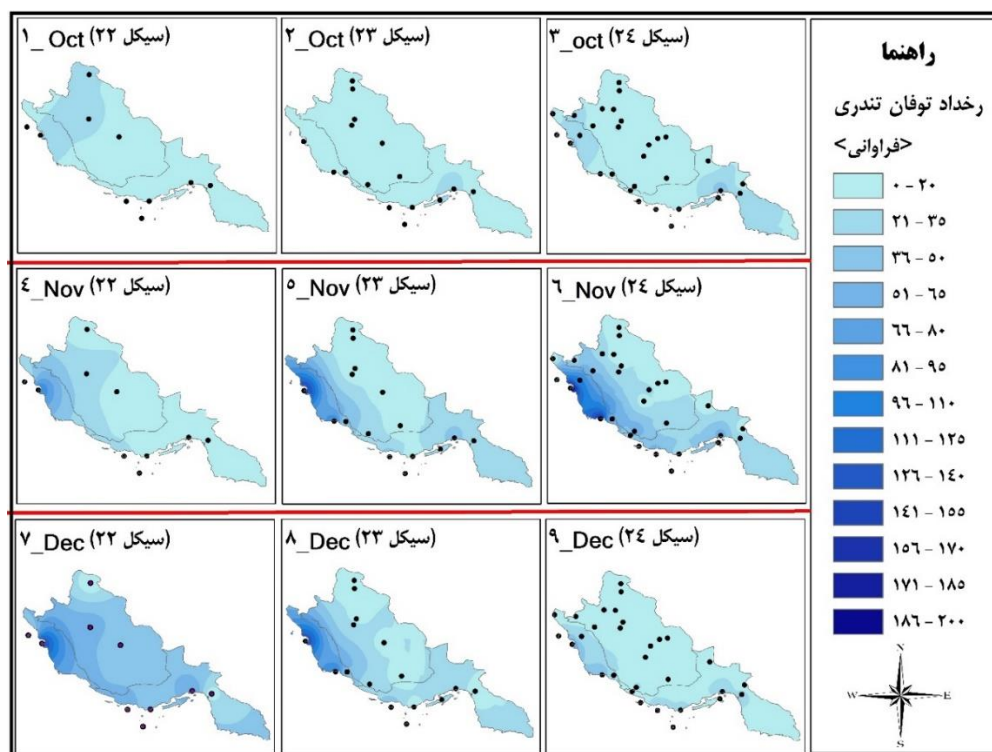
شکل ۵. پراکنش رخداد توفان تندری در ماه آپریل، می و ژوئن طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۲۰۱۸-۱۸۹۶)

شکل ۶ پراکنش توفان‌های تندری را در سه چرخه اقلیمی در ماه جولای، آگوست و سپتامبر نشان می‌دهد. در ماه جولای، به دنبال حاکمیت الگوی تابستانه در منطقه، رخدادهای توفان تندری عمدتاً از بخش شرقی منطقه مطالعاتی گزارش شده است. در سیکل ۲۲ خورشیدی، بیشترین رخدادها در ایستگاه‌های بندرعباس و جزیره کیش ثبت شده‌اند. در سیکل ۲۳، این هسته در محدوده لار متمرکز بوده و در سیکل ۲۴، بیشترین رخدادها از ایستگاه‌های لار، بندرعباس و حاجی‌آباد گزارش شده است. درحالی‌که در سایر بخش‌های منطقه، تعداد رخدادهای توفان تندری کاهش قابل توجهی داشته، در بخش‌های شرقی منطقه مطالعاتی، افزایش چشمگیری نسبت به ماه قبل مشاهده می‌شود. این افزایش به دلیل تقویت و ورود سامانه‌های مونسونی به این بخش از منطقه در ماه جولای می‌باشد. در ماه آگوست، تعداد رخدادهای توفان‌های تندری در سیکل اول نسبت به سایر سیکل‌ها کمتر بوده و دو هسته پرتکرار، به مرکزیت ایستگاه فسا مشاهده می‌شود. ولی تعداد رخدادها به ۲۰ مورد نیز نمی‌رسد. این هسته در استان فارس و عمدتاً در ایستگاه‌های فسا و شیراز متمرکز بوده است. در سیکل‌های ۲۳ و ۲۴، تعداد رخدادها به‌طور چشمگیری افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که در سیکل ۲۳، ایستگاه لار حدود ۴۰ رخداد و در سیکل ۲۴، بیش از ۶۰ رخداد را ثبت کرده است. در هر دو سیکل، ایستگاه لار بالاترین تعداد رخدادهای توفان تندری را گزارش کرده است. در ماه سپتامبر، الگوی پراکنش توفان‌های تندری شباهت زیادی به الگوی ماه اوت دارد. در سیکل اول، بیشترین رخدادها در ایستگاه فسا ثبت شده، اما در سیکل‌های بعدی هسته فعالیت به ایستگاه‌های بندرعباس و لار منتقل شده است. تعداد گزارش‌های توفان تندری در این ماه نسبت به اوت کاهش محسوسی نشان می‌دهد، به‌ویژه در سیکل ۲۲ که بیشترین تعداد رخداد به کمتر از ۱۰ مورد رسیده است. در سیکل‌های ۲۳ و ۲۴ نیز بالاترین تعداد گزارش‌ها به ترتیب ۳۰ و ۳۳ مورد ثبت شده است.



شکل ۶. پراکنش رخداد توفان تندری در ماه جولای، آگوست و سپتامبر طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۱۹۶۴-۲۰۱۸)

شکل ۷ پراکنش توفان‌های تندری را در سه چرخه اقلیمی در سه ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر نشان می‌دهد. در ماه اکتبر، پهنه‌های رخداد توفان‌های تندری در سه سیکل الگوهای متفاوتی نشان می‌دهند. در سیکل ۲۲، بیشترین رخدادها به محدوده ایستگاه‌های بوشهر و شیراز منتقل شده و الگوی بارشی به شرایط دوره‌های مرطوب بازگشته است. برخلاف ماه‌های تابستان که هسته اصلی رخدادها در شرق منطقه مطالعاتی بود، در این ماه به غرب جابجا شده و شروع زودهنگام بارش‌ها را نشان می‌دهد. در این دوره، بیش از ۳۰ توفان تندری در ایستگاه بوشهر ثبت شده است. در سیکل ۲۳، همچنان تمرکز رخدادها بر بخش شرقی منطقه مطالعاتی قرار دارد که بیانگر تداوم فعالیت سامانه‌های مونسونی است. در سیکل ۲۴، ترکیبی از ویژگی‌های سیکل‌های قبلی مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که دو هسته پر رخداد در ایستگاه‌های بندرعباس و بوشهر شکل گرفته‌اند. در ماه نوامبر، الگوی زمستانه در هر سه سیکل غالب شده است. ورود سامانه‌های زمستانه از سمت جنوب، با مشاء حاره‌ای و ترمودینامیک قوی، باعث وقوع توفان‌های تندری در نواحی ساحلی شده است. بیشترین رخدادها از ایستگاه بوشهر گزارش شده است، به‌طوری‌که فراوانی آن در سیکل ۲۲ بیش از ۸۰ مورد، در سیکل ۲۳ بیش از ۱۲۰ مورد و در سیکل ۲۴ به بیش از ۱۶۰ مورد رسیده است. این پدیده بیانگر ورود سامانه‌ها به منطقه از سمت جنوب و با ویژگی ترمودینامیک خاص می‌باشد که در مدخل ورودی به ساحل توفان‌های تندری را ایجاد کرده است. در ماه دسامبر، مشابه نوامبر، هسته اصلی رخداد توفان‌های تندری در محدوده ایستگاه بوشهر متمرکز بوده است. بیشترین تعداد رخدادها در سیکل‌های ۲۲ و ۲۳ ثبت شده، به‌طوری‌که مجموع گزارش‌ها از ۱۲۰ مورد فراتر رفته است. ولی در سیکل ۲۴، تعداد رخدادها کاهش چشمگیری نشان می‌دهد.



شکل ۷. پراکنش رخداد توفان تندری در ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۱۸۹۶-۲۰۱۸)

بحث

یافته‌های اصلی این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد. به لحاظ زمانی از چرخه خورشیدی ۲۲ به چرخه ۲۴ فراوانی رخداد توفان‌ها از نظم مشخصی پیروی نمی‌کنند. بلکه چرخه ۲۳ بالاترین رخداد توفان‌های تندری را نسبت به دو چرخه قبل و بعد خود نشان می‌دهد. در بررسی توزیع زمانی، بیشترین تعداد رخدادها در سال‌هایی از چرخه خورشیدی ۲۴ گزارش شده که بیانگر تأثیر قابل توجه فعالیت خورشیدی بر وقوع این پدیده است. برای مثال، در این چرخه بیشترین رخدادها در سال ۲۰۰۹ (ابتدای چرخه) و کمترین آن‌ها در سال ۲۰۱۶ (نزدیک سال‌های انتهایی چرخه) ثبت شده است. در مجموع در دوره آماری ۳۳ ساله بالاترین رخداد مربوط به سال ۱۹۹۷ و کمترین رخداد توفان تندری در سال ۱۹۹۰ گزارش شده است. به لحاظ توزیع ماهانه بیشترین تعداد رخداد توفان تندری مربوط به ماه دسامبر و ژانویه و کمترین رخداد توفان تندری از ماه سپتامبر گزارش شده است.

از لحاظ پراکنش مکانی توفان‌های تندری در فصول سرد سال که سامانه‌های سودانی پدیده غالب این دوره از سال می‌باشد هسته پر رخداد توفان‌های تندری بر روی ایستگاه بوشهر قرار دارد. این هسته پر رخداد به سمت شرق و شمال روندی کاهشی دارد. در ماه‌های فوریه و آوریل هسته پر رخداد دیگری بر روی ایستگاه‌های بندرعباس و شیراز به چشم می‌خورد. در ماه‌های اولیه فصل بهار الگوی پراکنش مکانی بمانند ماه‌های دوره سرد سال می‌باشد. ولی در ماه انتهایی فصل بهار و فصل تابستان الگوی مکانی پراکنش رخداد توفان‌های تندری کاملاً تغییر پیدا کرده و هسته‌های پر رخداد توفان تندری به شرق منطقه مطالعاتی جابجا شده و بالاترین رخدادها از ایستگاه‌هایی مانند لار و بندرعباس گزارش می‌شود. این پدیده بیانگر اثر غیرقابل انکار شرایط توپوگرافی بر تشدید فعالیت سامانه‌های ورودی بر روی منطقه می‌باشد. بر اساس مطالعات لشکری (۱۳۸۱) سامانه‌های سودانی در حالت عملکرد مستقیم از سه مسیر اصلی وارد ایران می‌شوند. دو مسیر از سه مسیر ورودی در این منطقه مطالعاتی قرار دارند. مسیر بوشهر و تنگه هرمز و بندرعباس دو مسیر اصلی ورود سامانه سودانی در

دوره سرد سال می‌باشند. در مقابل، ایستگاه‌های جزیره سیری و بندرلنگه کمترین رخداد توان‌های تندری را گزارش کرده‌اند. همان‌طور که بیان شد در فصل تابستان و اوایل بهار، توفان‌های تندری در این ایستگاه‌ها کاهش چشمگیری داشته و به کمترین مقدار خود می‌رسند. در مقابل فراوانی رخدادها به بخش شرقی منطقه مطالعاتی منتقل می‌شود. از دوره اعتدالین به بعد و اچرخند دینامیکی عربستان جابجایی شمال سوی خود را شروع کرده و شرایط تابستانه بر روی منطقه حاکم می‌شود. این در حالی است که با گسترش شمال سوی سامانه‌های موسمی از اوایل خرداد زمینه ورود سامانه‌های موسمی به بخش جنوب شرقی کشور ایران و بخش‌های جنوب شرقی استان‌های فارس و هرمزگان راهم می‌شود.

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با یافته‌های حاصل از مطالعات متعدد دیگر نیز تأیید می‌شود. به‌عنوان نمونه، معصوم پور و همکاران (۱۳۹۵) نشان دادند روند مکانی توفان‌های تندری در جنوب کشور از غرب به شرق کاهش می‌یابد و پتانسیل رخداد آن در استان بوشهر بیش از هرمزگان است. از نظر زمانی. همچنین بیشترین رخداد این پدیده در پاییز با ۴۵ و زمستان با ۴۳ درصد ثبت شده است. فلک و همکاران (۱۳۹۹) طی مطالعه خود در تحلیل فصلی توفان تندری در جنوب کشور، نشان دادند فصل بهار بیشترین توفان با عدد ۱۳۷ و تابستان با ۱۰ فراوانی کمترین توفان را به خود اختصاص داده است. دانانی و همکاران (۱۴۰۲) توفان‌های تندری در ایران را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. بخشی از نتایج این پژوهش نشان داد که در زمستان مناطق جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق ایران کانون اصلی رخداد توفان تندری بوده است. مطالعات فوق‌الذکر نشان‌دهنده نقش برجسته الگوهای اقلیمی منطقه‌ای و فصلی در توزیع توفان‌های تندری در جنوب ایران است. همخوانی این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر، اعتبار بیشتری به روندها و تحلیل‌های مکانی-زمانی ارائه‌شده در این مطالعه می‌بخشد.

نتیجه‌گیری

توفان‌های تندری به دلیل ویژگی‌های ترمودینامیکی و ساختاری منحصر به فرد خود، اثرات مخرب گسترده‌ای بر محیط‌زیست، زیرساخت‌های عمرانی، سامانه‌های حمل‌ونقل، و فعالیت‌های اجتماعی برجای می‌گذارند. این پدیده علاوه بر ایجاد تنش‌های روانی در ساکنین مناطق تحت تأثیر، چالش‌های جدی در حوزه حمل‌ونقل هوایی و دریایی به وجود می‌آورد. بی‌توجهی به اثرات این پدیده می‌تواند منجر به وقوع حوادث مرگبار برای مسافران، خلبانان، و خدمه ناوگان‌های هوایی و دریایی شود. جنوب ایران به دلیل شرایط توپوگرافی خاص، تأثیرپذیری از سامانه‌های اقلیمی بزرگ مقیاس، و دسترسی به منابع رطوبتی دریاهای گرم جنوبی، محیطی مستعد برای شکل‌گیری توفان‌های تندری است. این منطقه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین قطب‌های تجاری، بندرگاهی، صنعتی، و کشاورزی کشور، به‌شدت از وقوع این پدیده‌ها آسیب می‌بیند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که در منطقه جنوب ایران، ماه نوامبر شاهد بیشترین گزارش وقوع توفان‌های تندری است. در این ماه، ایستگاه هواشناسی فرودگاه بوشهر بیشترین تعداد گزارش‌ها را ثبت کرده و به‌عنوان یکی از نقاط اصلی ورود سامانه‌های توفانی از جنوب غرب به سواحل کشور شناخته می‌شود. همچنین در ماه مارس، افزایش رخداد توفان‌های تندری در محدوده بندرعباس مشاهده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت‌های توفان‌های تندری در جنوب ایران در فصل پاییز و زمستان رخ می‌دهد، درحالی‌که در فصل بهار و تابستان نیز فعالیت‌های قابل‌توجهی به ثبت رسیده است. باین‌وجود، توفان‌های تندری می‌توانند در تمام طول سال اتفاق بیفتند. بررسی فراوانی ماهانه و فصلی این پدیده نشان می‌دهد که ماه‌های مه، آوریل، ژوئن و اکتبر بیشترین رخدادها را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، اوج وقوع توفان‌ها اغلب در ساعات بعدازظهر ثبت شده است. توزیع فصلی نشان می‌دهد که در فصل بهار (مارس، آوریل، می) حدود ۳۰ درصد از مجموع گزارش‌های توفان‌های تندری ثبت شده که این امر به دلیل افزایش ناپایداری جوی همراه با دما و رطوبت بالا است. در مقابل، فصل تابستان (ژوئن، جولای، آگوست) با تنها ۹ درصد از رخدادها کمترین فعالیت توفانی را نشان می‌دهد.

که به شرایط جوی پایدارتر این فصل نسبت داده می‌شود. در فصل پاییز (سپتامبر، اکتبر، نوامبر) و زمستان (دسامبر، ژانویه، فوریه) به ترتیب ۳۵ و ۲۶ درصد از رخدادها گزارش شده است.

با توجه به افزایش احتمال رخداد توفان‌های تندری در این بازه‌های زمانی، آگاهی خلبانان از ویژگی‌ها، نشانه‌ها، محدوده‌های مکانی، و زمان‌بندی این پدیده اهمیت زیادی دارد. این آگاهی شامل شناخت سرعت باد، ارتفاع سامانه‌ها، و توانایی توفان‌ها در تشدید سرعت باد است که می‌تواند در برنامه‌ریزی پروازها و جلوگیری از خطرات احتمالی مؤثر باشد.

حامی مالی

این اثر حامی مالی نداشته است.

سهم نویسندگان در پژوهش

نویسندگان در تمام مراحل و بخش‌های انجام پژوهش سهم برابر داشتند.

تضاد و منافع

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

تقدیر و تشکر

نویسندگان از همه کسانی که در انجام این پژوهش به ما یاری رساندند، به‌ویژه کسانی که کار ارزیابی کیفیت مقالات را انجام دادند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع

- برنا، رضا. (۱۳۹۷). بررسی آماری - همدیدی توفان‌های تندری استان خوزستان. *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۲۲(۳)، ۲۵-۱.
- خسروی، محمود و رستمی جلیلیان، شیما. (۱۳۹۳). بررسی ارتباط بارش و دمای ایران با چرخه لکه‌های خورشیدی با استفاده از پالایش موجک. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۳۹۳(۱۹)، ۵۲-۳۹.
- دانایانی، پوپک؛ سوره، احسان و محمدی، بختیار. (۱۴۰۲). بررسی توفان‌های تندری در ایران. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۰(۲)، ۹۲-۱۱۴. Doi: 10.61186/jsaeh.10.2.97
- عزیزی، قاسم؛ گرامی، محمد صالح و شریفی، لیلا. (۱۳۹۶). تحلیل فضایی توفان‌های تندری در گستره کشور ایران. *تشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۷(۴۷)، ۲۴۳-۲۵۹. Doi: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3
- عزیزی، قاسم. (۱۳۸۳). *تغییر اقلیم*. چاپ اول، انتشارات قومس.
- عساکره، حسین؛ رزمی، رباب. (۱۳۹۰). اقلیم‌شناسی بارش شمال غرب ایران. *تشریه جغرافیا و توسعه*، ۹(۲۵)، ۱۳۷-۱۵۸. doi: 10.22111/gdij.2011.514
- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۲). *آب‌وهوای ایران*. چاپ یازدهم. انتشارات دانشگاه پیام نور.
- فرجی، عبدالله؛ دوستکامیان، مهدی و صفری، زهرا. (۱۳۹۴). واکاوی همدیدی الگوهای زمانی و مکانی بارش‌های تندری (مطالعه موردی: استان زنجان)، *جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۴(۱۴)، ۶۶-۴۱.
- فلک، عسل؛ برنا، رضا و اسدیان، فریده. (۱۳۹۹). تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های تندری جنوب غربی ایران. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، ۳(۹۷)، ۱۰۳-۹۰.
- فدایی‌باش، علیرضا. (۱۴۰۳). تحلیل همدیدی و ترمودینامیکی توفان‌های تندری در جنوب و جنوب غرب ایران در ۳ دهه اخیر

- (۱۹۸۶_۲۰۱۸)، *پایان‌نامه کارشناسی/ارشد*، استاد راهنما حسن لشکری، رشته آب‌وهواشناسی سینوپتیک، دانشگاه شهید بهشتی. گرامی، محمدصالح؛ کریمی، مصطفی؛ عزیزی، قاسم و رفعتی، سمیه. (۱۴۰۱). تحلیل همدیدی بارش‌های همراه با طوفان تندری فراگیر بهاره در شمال غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۴(۱)، ۹۵-۱۱۰. doi: 10.22059/jphgr.2022.334160.1007659
- لشکری، حسن. (۱۳۸۱). مسیریابی سامانه‌های کم‌فشار سودانی ورودی به ایران. *آمایش فضا و ژئوماتیک*، ۶(۲)، ۱۳۳-۱۵۶.
- لشکری، حسن؛ یارمرادی، زهر و موسوی، حسن. (۱۳۹۵). تحلیل آماری و سینوپتیکی توفان‌های تندری استان کهگیلویه و بویر احمد. *فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۵(۱۸)، ۱۵۱-۱۳۵.
- لشکری، حسن و آقاسی، نوشین. (۱۳۹۲). تحلیل سینوپتیکی توفان‌های تندری تبریز در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۶). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۷(۴۵)، ۲۰۳-۲۳۴.
- لشکری، حسن و حجتی، زهرا. (۱۳۹۱). تحلیل سینوپتیکی-دینامیکی توفان‌های تندری در جنوب غرب کشور. *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۲۱(۸۲)، ۱۴-۲۱.
- 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.
- معصوم پور سماکوش، جعفر؛ میری، مرتضی و رحیمی، مجتبی. (۱۳۹۵). واکاوی آماری - همدیدی توفان‌های تندری سواحل جنوبی ایران. *فیزیک زمین و فضا*، ۴۲(۳)، ۶۹۷-۷۰۸. doi: 10.22059/jesphys.2016.58912
- معصوم پور سماکوش، جعفر؛ طاهری، فاطمه؛ کوشکی، سمیرا و تازارک، ماتیوز. (۱۴۰۱). تأثیر سامانه‌های سینوپتیکی بزرگ‌مقیاس بر وقوع فراگیر توفان تندری غرب و شمال غرب ایران. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۱۴۰۱(۵۱)، ۱۴۷-۱۶۲.
- معصوم پور سماکوش، جعفر و فجاد، احمد. (۱۳۹۴). واکاوی آماری - ترمودینامیکی طوفان‌های تندری ایران. *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۱۳(۲)، ۲۲۷-۲۴۸. doi: 10.22067/geography.v13i2.49915
- محمدی، حسین؛ خزایی، مهدی؛ ماهوتچی، محمدحسن و عباسی، اسماعیل. (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی توفان‌های تندری مخرب اهواز. *مدیریت مخاطرات محیطی*، ۳(۲)، ۱۵۵-۱۷۰. doi: 10.22059/jhsci.2016.60744
- محمدی، زینب و لشکری، حسن. (۱۳۹۷). نقش جابه‌جایی مکانی پرفشار عربستان و رود باد جنب‌حاره‌ای در الگوهای همدیدی و ترمودینامیکی ترسالی‌های شدید جنوب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵۰(۳)، ۴۹۱-۵۰۹. doi: 10.22059/jphgr.2018.249422.1007165
- مجرد، فیروز؛ معصوم پور، جعفر؛ کوشکی، سمیرا و میری، مرتضی. (۱۳۹۸). تحلیل زمانی - مکانی توفان‌های تندری در ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۹(۳۲)، ۲۱۳-۲۳۲. doi: 10.30488/gps.2019.91873
- مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). *داده‌ها و اطلاعات آماری*، برگرفته از: www.amar.org.ir
- میرشفیعی، علی‌اکبر؛ بازگیر، سعید و عزیزی، قاسم. (۱۴۰۳). ارزیابی آماره‌های اندازه‌گیری دقت مدل و استفاده صحیح از آن‌ها (مطالعه موردی: درون‌یابی بارش در استان فارس). *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۱(۲)، ۱۱۷-۱۳۶. Doi: 10.61186/jsaeh.11.2.117

References

- Adelekan, I. O. (1998). Spatio-temporal variations in thunderstorm rainfall over Nigeria. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 18(11), 1273-1284. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0088\(199809\)18:11<1273::AID-JOC298>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0088(199809)18:11<1273::AID-JOC298>3.0.CO;2-4)
- Alijani, B. (2003). *Climate of Iran*. (11th ed.). Payame Noor University Press. [In Persian]
- Ansari, M. R. K., Raza, S. M., & Quamar, J. (2007). Role of Solar Phenomena in Large-Scale Terrestrial Meteorology. In *2007 3rd International Conference on Recent Advances in Space Technologies* (pp. 780-787). IEEE. doi: 10.1109/RAST.2007.4284099.
- Asakereh, H., & Razmi, R. (2011). Climate analysis of precipitation in northwest Iran. *Geography and Development*, 9(25), 137-158. <https://doi.org/10.22111/gdj.2011.514> [In Persian]
- Azizi, Q. (2004). *Climate change*. (1st ed.). Qoomes Publications. [In Persian]
- Azizi, Q., Garami, M. S., & Sharifi, L. (2017). Spatial analysis of thunderstorm events across

- Iran. *Journal of Applied Research in Geographic Sciences*, 17(47), 243-259. Doi: 20.1001.1.22287736.1396.17.47.11.3 [In Persian]
- Barry, R. G., & Hall-McKim, E. A. (2014). *Essentials of the Earth's climate system*. Cambridge University Press.
- Borna, R. (2018). Statistical-synoptic analysis of thunderstorms in Khuzestan Province. *Spatial Planning and Geomatics*, 22(3), 1-25. [In Persian]
- Dai, A. (2001). Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and interannual variations. *Journal of climate*, 14(6), 1092-1111. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1092:GPATFP>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1092:GPATFP>2.0.CO;2)
- Danayani, P., Sooreh, E., & Mohammadi, B. (2024). A study of thunderstorms in Iran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 10(2), 92-114. <https://doi.org/10.61186/jsaeh.10.2.97> [In Persian]
- Ding, Q., Wang, Y., & Zhuang, D. (2018). Comparison of the common spatial interpolation methods used to analyze potentially toxic elements surrounding mining regions. *Journal of environmental management*, 212, 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.074>
- Fadaei-Bash, A. (2024). Synoptic and thermodynamic analysis of thunderstorm systems in southern and southwestern Iran over the past three decades (1986–2018) (*Master's thesis*, Supervisor: H. Lashkari). Department of Synoptic Climatology, Shahid Beheshti University [In Persian]
- Falak, A., Borna, R., & Asadian, F. (2020). Spatiotemporal analysis of thunderstorms in southwestern Iran. *Geographical Journal of Sazeman*, 3(97), 90–103. [In Persian]
- Faraji, A., Doostkamian, M., & Safari, Z. (2015). Synoptic analysis of the temporal and spatial patterns of thunderstorm rainfall (Case study: Zanjan Province). *Geography and Environmental Studies*, 4(14), 41-66. [In Persian]
- Galanaki, E., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Flaounas, E., & Argiriou, A. (2018). Thunderstorm climatology in the Mediterranean using cloud-to-ground lightning observations. *Atmospheric Research*, 207, 136-144. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.03.004>
- gerami, M. S., Karimi, M., Azizi, G., & rafati, S. (2022). synoptic analysis of precipitation and Widespread spring thunderstorm in North - West Iran. *Physical Geography Research*, 54(1), 95-110. doi: 10.22059/jphgr.2022.334160.1007659 [In Persian]
- Iran Statistics Center. (2016). *Statistical data and information*. Retrieved from www.amar.org.ir [In Persian]
- Khosravi, M. and Rostami Jalilian, S. (2014). The relationship between precipitation and temperature of IRAN with the sunspot cycle using wavelet filtering. *Journal of Climate Research*, 1393(19), 39-52. [In Persian]
- Lashkari, H. (2002). Routing of Sudanese low-pressure systems entering Iran. *Spatial Planning and Geomatics*, 6(2), 133-156. [In Persian]
- Lashkari, H. (2003). The mechanism of formation, intensification, and development of the Sudan low-pressure center and its role in the precipitation of southern and southwestern Iran. *Geographical Researches*, 35(46), 1-18. [In Persian]
- Lashkari, H., & Aghasi, N. (2013). Synoptic analysis of thunderstorm events in Tabriz during the period (1996-2005). *Geography and Planning*, 17(45), 203-234. [In Persian]
- Lashkari, H., & Hojjati, Z. (2012). Synoptic-dynamic analysis of thunderstorm storms in the southwest of the country. *Sepehr Geographical Information Quarterly*, 21(82), 14-21 [In Persian]
- Lashkari, H., Yarmoradi, Z., & Mousavi, H. (2016). Statistical and synoptic analysis of thunderstorm events in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. *Quarterly Journal of Geography and Environmental Studies*, 5(18), 135–151. [In Persian]
- Loginov, V. F., Volchek, A. A., & Shpoka, I. N. (2010). Estimation of the role of various factors in the thunderstorm formation on the territory of Belarus. *Russian meteorology and Hydrology*, 35, 175-181. <https://doi.org/10.3103/S1068373910030039>
- masoompour samakosh, J. (2016). Statistical-synoptic analysis of thunderstorm in the Southern Coast of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 42(3), 697-708. doi: 10.22059/jesphys.2016.58912 [In Persian]
- Masoompour Samakosh, J., & Fajad, A. (2016). Thermodynamic-statistical Analysis of

- Thunderstorms in Iran. *Journal of Geography and Regional Development*, 13(2), 227-248. doi: 10.22067/geography.v13i2.49915 [In Persian]
- Masoompour Samakosh, J., Taheri, F., Koushki, S., & Tazark, M. (2022). The impact of large-scale synoptic systems on the widespread occurrence of thunderstorms in western and northwestern Iran. *Climatology Research*, 2022(51), 147-162. [In Persian]
- Mirshafiee, A. A., Bazgir, S., & Azizi, Q. (2024). Evaluation of accuracy measurement statistics and their proper use (Case study: Precipitation interpolation in Fars province). *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 11(2), 117-136. <https://doi.org/10.61186/jsaeh.11.2.117> [In Persian]
- Mohammadi, H., Khazaei, M., Mahoutchi, M. H., & Abasi, E. (2016). Synoptic analysis of thermodynamics destructive thunderstorms Ahvaz. *Environmental Management Hazards*, 3(2), 155-170. doi: 10.22059/jhsci.2016.60744 [In Persian]
- Mohammadi, Z., & Lashkari, H. (2018). Effects of Spatial Movement of Arabia Subtropical High Pressure and Subtropical Jet on Synoptic and Thermodynamic Patterns of Intense Wet Years in the South and South West Iran. *Physical Geography Research*, 50(3), 491-509. doi: 10.22059/jphgr.2018.249422.1007165 [In Persian]
- Mojarrad, F., Masompour, J., Koshki, S., & Miri, M. (2019). Temporal-Spatial Analysis of Thunderstorms in Iran. *Geographical Planning of Space*, 9(32), 213-232. doi: 10.30488/gps.2019.91873 [In Persian]
- Pinto Jr, O., Pinto, I. R. C. A., & Ferro, M. A. S. (2013). A study of the long-term variability of thunderstorm days in southeast Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(11), 5231-5246. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50282>
- Pizzuti, A., Soula, S., Mlynarczyk, J., Bennett, A., & Fullekrug, M. (2020, March). Analysis of sprite events during small-scale winter thunderstorms in northern Europe. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 20065). <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-20065>
- Pustil'nik, L. A., & Din, G. Y. (2004). Influence of solar activity on the state of the wheat market in medieval England. *Solar physics*, 223, 335-356. <https://doi.org/10.1007/s11207-004-5356-5>
- Tafferner, A., Forster, C., Hagen, M., Keil, C., Zinner, T., & Volkert, H. (2008). Development and propagation of severe thunderstorms in the Upper Danube catchment area: Towards an integrated nowcasting and forecasting system using real-time data and high-resolution simulations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 101, 211-227. <https://doi.org/10.1007/s00703-008-0322-7>
- Taszarek, M., Allen, J. T., Groenemeijer, P., Edwards, R., Brooks, H. E., Chmielewski, V., & Enno, S. E. (2020). Severe convective storms across Europe and the United States. Part I: Climatology of lightning, large hail, severe wind, and tornadoes. *Journal of Climate*, 33(23), 10239-10261. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0345.1>