



Research Article

Analysis of the spatial and temporal distribution and changes of thunderstorms in southwestern Iran over the last three solar cycles

Hasan Lashkari^{1*} , Zainab Mohammadi¹, Mohammad Naji¹, Alireza Fadaei bash¹

1-Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, University of shahid beheshti, Tehran, Iran

Received: 12 Feb 2025 Accepted: 17 Nov 2025

Extended Abstract

Introduction

Natural phenomena, due to their inherent nature, while having beneficial effects, can also have destructive consequences. Natural hazards claim the lives of thousands of people every year in different parts of the world, and a high percentage of these casualties are the product of weather hazards. Among the types of weather hazards, we can mention thunderstorms, regional floods, etc. Thunderstorms are local and mesoscale weather systems that form in a limited area of 20 to 50 km and depend on the height of convective clouds, and in addition to lightning and strong winds, they are often accompanied by heavy rainfall. Iran, due to its special geographical location, has always faced fundamental challenges in the field of water resources. The southwest region of Iran, due to its mountainous location, large-scale climatic systems affecting the region, access to moisture sources in the warm southern seas, is prone to the formation of thunderstorms. This region includes the provinces of Khuzestan, Chaharmahal Bakhtiari and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, which are among the most important commercial, port, industrial and agricultural regions of Iran. Thunderstorms, in addition to the damage that can be caused to the region's infrastructure, agriculture, soil and vegetation in the event of torrential rains, air and sea transportation are also severely affected by phenomena related to thunderstorms, such as the occurrence of severe gusty winds and lightning. The results of previous research show that thunderstorms are influential and variable weather phenomena in different regions of the world and Iran. Due to the dispersion and significant effects of thunderstorms in different regions of Iran, statistical and spatial analysis of these phenomena on a monthly scale, especially in the south of the country, seems necessary. This analysis can help to better understand the temporal and spatial patterns of the occurrence of thunderstorms and be effective in planning natural hazard management and more accurate forecasting of weather conditions.

Materials and Methods

This research analyzed thunderstorm data from synoptic reports of the Iran Meteorological Organization over a long-term statistical period from 1986 to 2018. The study period was selected to coincide with three 11-year solar cycles (cycles 22 to 24). This timeframe, in addition to covering long-term and comprehensive climate changes, allows for the investigation of the potential effects of solar cycle variations on the occurrence and intensity of thunderstorms. Solar cycle 22 corresponds to the period from 1986 to 1996, cycle 23 from 1997 to 2007, and cycle 24 from 2008 to 2018. Solar flare data were obtained from the Royal Observatory of Belgium. The number of stations studied varied in each cycle (8 stations in cycle 22, 17 stations in cycle 23, and 26 stations in cycle 24). Thunderstorm data were organized monthly and annually in Excel software, and the frequency trend of this phenomenon was analyzed.

Citation: Lashkari, H. et al, 2026. Analysis of the spatial and temporal distribution and changes, *Res. Earth. Sci.* 16(4), (176-194) DOI: 10.48308/esrj.2026.238555.1256

* Corresponding author E-mail address: Lashkari@sbu.ac.ir



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Subsequently, in order to analyze and display the temporal-spatial changes of thunderstorms, the inverse distance weighting method was used. This analysis was performed on a monthly average basis and for each solar cycle. The inverse distance weighting method is based on Taylor's law or the first law of geography, which states that closer geographical units have a greater impact on each other. Finally, in order to display and analyze temporal-spatial changes, the inverse distance weighting (IDW) method was used by ArcMap software, which has the ability to estimate the distribution of data at points lacking information with minimal error. Spatial distribution maps were generated based on the monthly average of data in each solar cycle.

Results and Discussion

Based on the results, the Ahvaz station, with the highest number of occurrences (927 cases), had the most reports of thunderstorms. In general, in the northern areas of the province or towards the highlands and foothills, such as the Dezful and Masjed Soleiman stations, the number of thunderstorm occurrences has been increasing. In this period, 738 and 723 cases of thunderstorm potential were reported for each station, respectively. In contrast, the Abadan station, with 374 cases, had the lowest number of occurrences. In cycle 22, an inverse relationship was observed between the number of sunspots and the occurrence of thunderstorms, such that the most thunderstorms occurred in the final years of the cycle. This trend was repeated in cycle 23, and in 2007, coinciding with the lowest number of sunspots, the most thunderstorms (more than 320 cases) were reported. This pattern continued in cycle 24, with the most thunderstorms occurring at the beginning and end of the cycle. In summary, it can be said that the number of thunderstorms has an inverse relationship with the number of sunspots, and the final years of each cycle experienced the highest number of thunderstorms. The results show that in January, the storms in the second decade (1997-2007) had the highest frequency, and the spatial extent of this phenomenon is evident in the Dezful and Imamzadeh Jafar stations. In February, the most events were recorded in cycle 23, which indicates the possible influence of solar cycles on the temporal distribution of this phenomenon. In March, the peak of the storms was observed in cycle 23, with the Dezful and Yasuj stations recording the highest numbers. In cycle 24, although the distribution pattern is similar to cycle 23, the frequency of events has decreased. This analysis emphasizes that climatic fluctuations and solar cycles affect the spatial and temporal distribution of thunderstorms. In April, despite the decrease in rainfall in the southwest of the country, the dispersion of thunderstorms does not change significantly compared to winter, but their concentration increases in the northwest of the region. In May, the highest activity is seen in northern Khuzestan and Chaharmahal and Bakhtiari, especially in Shahrekord during cycle 22 and in Ahvaz and Dezful during cycles 23 and 24. In June, with the strengthening of the Arabian anticyclone and the reduction of the penetration of rainfall systems, thunderstorms decreased in the west, but increased in the east of the country under the influence of monsoon systems. In July, the most occurrences were recorded in the east of the region, especially Shahrekord (cycle 22), Yasuj (cycle 23), and eastern Chaharmahal and Bakhtiari and Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad (cycle 24). This increase is due to the penetration of monsoon systems. In August, the distribution pattern is similar to July, and the main centers are located in Shahrekord (cycle 22), Yasuj and Dogonbadan (cycle 23), and Sisakht (cycle 24). In September, the focus of occurrences remains in the east of the region, especially in Dogonbadan, Sisakht, Kuhrang, and Izeh. In October, thunderstorms, moving to the northwest and west, recorded the highest frequency in the Dezful, Ahvaz, and Kuhrang stations. In November, under the influence of winter systems, the highest occurrences were reported in Ahvaz (more than 48) and Dezful (43), and in cycle 24 the number of occurrences reached 685 cases. In December, thunderstorms were concentrated in Izeh, Ahvaz, and Yasuj, and the highest activity was observed in cycles 23 and 24.

Conclusion

From a temporal perspective, the analysis of thunderstorm frequency in solar cycles 22 to 24 indicates significant differences in the occurrence of this phenomenon between these cycles. The results show that the frequency of thunderstorms in solar cycle 22 was lower compared to the next two cycles (23 and 24). There is also an inverse relationship between the number of sunspots and the frequency of thunderstorms. So that in all three solar cycles, the lowest number of thunderstorms occurred in the middle of the cycle and the highest number of thunderstorm occurrences occurred in the early or late years of the cycle. In examining the temporal distribution, the highest number of occurrences was reported in the years of solar cycle 23, which indicates the significant impact of solar activity on the occurrence of this phenomenon. In total, in the 33-year statistical period, the highest occurrence was related to the year 2006 and the lowest occurrence of thunderstorms was reported in 1990. In terms of monthly distribution, the highest number of thunderstorms is related to April and November, and the lowest occurrence of thunderstorms is reported from September. The results show that the most thunderstorm activities in southwestern Iran occur in the spring and winter

seasons, while significant activities have also been recorded in the fall and summer seasons. However, thunderstorms can occur throughout the year. In fact, the seasonal distribution shows that in the spring, about 41% of the total reports of thunderstorms have been recorded, which is due to the increased atmospheric instability along with the temperature and humidity potential of the seas. In contrast, the summer season with only 8% of the occurrences shows the least thunderstorm activity, which is due to the edge of the summer pattern and the dynamic stabilities resulting from it. In the fall and winter seasons, 24 and 29 percent of the occurrences have been reported, respectively. Thunderstorms in the southwestern part of Iran due to the thermodynamic characteristics of the incoming systems from the south are an integral phenomenon of these systems. These systems are generally accompanied by destructive phenomena such as thunder, lightning and strong winds. Considering the increasing trend of this phenomenon in the last three solar cycles, the awareness of users and institutions affected by this phenomenon, such as pilots, drivers of land and sea transport fleets, and farmers, of the characteristics, signs, spatial ranges, and timing of this phenomenon is of great importance. This awareness includes knowing the wind speed, the height of the systems, and the ability of the storms to intensify the wind speed, which can be effective in planning flights and preventing possible dangers on road and sea transport and agricultural products and urban structures.

Keywords: Environmental Hazards, Interpolation, Spatial Analysis, Spatial Distribution, Sunspots.

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

حسن لشکری*^۱ , زینب محمدی^۱، محمد ناجی^۱، علیرضا فدایی باش^۱

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۲۴ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶

چکیده گسترده

مقدمه

وقوع پدیده‌های طبیعی به دلیل ماهیت خاص خود در عین داشتن اثرات مفید می‌توانند نتایج مخربی هم در پی داشته باشند. مخاطرات طبیعی هر ساله در نقاط مختلف جهان جان هزاران انسان را می‌گیرد و درصد بالایی از این تلفات محصول مخاطرات آب و هوایی بوده است. از انواع مخاطرات آب و هوایی می‌توان توفان‌های تندری، سیل منطقه‌ای و ... نام برد. 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 و علاوه بر آذرخش و بادهای شدید، اغلب با بارش‌های شدید نیز همراه هستند. ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود همواره با چالش‌های اساسی در زمینه تأمین منابع آبی مواجه بوده است. منطقه جنوب غرب ایران به دلیل دارا بودن موقعیتی کوهستانی، سامانه‌های اقلیمی بزرگ مقیاس مؤثر بر منطقه، دسترسی به منابع رطوبتی دریاها و گرم جنوبی مستعد شکل‌گیری توفان‌های تندری می‌باشد. این منطقه شامل استان‌های خوزستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از مهم‌ترین مناطق تجاری، بندرگاهی، صنعتی و کشاورزی کشور ایران است. توفان‌های تندری علاوه بر خسارت‌هایی که در وقوع بارش‌های سیل‌آسا می‌تواند به زیرساخت‌ها، کشاورزی، خاک و پوشش گیاهی منطقه وارد نماید، حمل و نقل هوایی و دریایی نیز به شدت از پدیده‌های مرتبط با توفان تندری همانند وقوع بادهای گاستی شدید و رعد و برق متأثر می‌گردد. نتایج پیشینه پژوهش‌ها نشان می‌دهند که توفان‌های تندری پدیده‌های جوی تأثیرگذار و متغیر در مناطق مختلف جهان و ایران هستند. 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 خطرات طبیعی و پیش‌بینی شرایط جوی دقیق‌تر مؤثر واقع شود.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، داده‌های مربوط به پدیده‌ی توفان‌های تندری از گزارش‌های دیدبانی سازمان هواشناسی کشور، به صورت ۲۴ ساعته و برای یک دوره‌ی آماری بلندمدت از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸، جمع‌آوری و تحلیل شد. دوره‌ی آماری این مطالعه به‌گونه‌ای انتخاب شده که با سه چرخه‌ی خورشیدی ۱۱ ساله (چرخه‌های ۲۲ تا ۲۴) مطابقت داشته باشد.

استناد: لشکری، ح. و همکاران، ۱۴۰۴. واکاوی پراکنش و تغییرات زمانی - مکانی توفان‌های تندری در جنوب غرب ایران، پژوهشهای

دانش زمین: ۱۶(۴)، (۱۹۴-۱۷۶)، DOI: 10.48308/esrj.2026.238555.1256

انتخاب این دوره‌ی زمانی، علاوه بر پوشش‌دهی بلندمدت و جامع تغییرات اقلیمی، امکان بررسی اثرات احتمالی تغییرات چرخه‌های خورشیدی بر وقوع و شدت توفان‌های تندری را فراهم می‌آورد. چرخه‌ی خورشیدی ۲۲ با بازه‌ی زمانی ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶، چرخه‌ی ۲۳ با دوره‌ی ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷، و چرخه‌ی ۲۴ با بازه‌ی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ انطباق دارد. داده‌های مربوط به تعداد لکه‌های خورشیدی از پایگاه Royal Observatory of Belgium اخذ شد. تعداد ایستگاه‌های مورد بررسی در هر چرخه متغیر بود (۸ ایستگاه در چرخه ۲۲، ۱۷ ایستگاه در چرخه ۲۳ و ۲۶ ایستگاه در چرخه ۲۴). داده‌های توفان‌های تندری به‌صورت ماهانه و سالانه در نرم‌افزار Excel سازمان‌دهی شده و روند فراوانی این پدیده تحلیل شد. در ادامه به‌منظور تحلیل و نمایش تغییرات زمانی- مکانی توفان‌های تندری، از روش وزن‌دهی معکوس فاصله استفاده شده است. این تحلیل به‌صورت میانگین ماهانه و برای هر چرخه خورشیدی انجام شده است. روش وزن‌دهی معکوس فاصله بر پایه قانون تیلور یا قانون اول جغرافیا عمل می‌کند، که بیان می‌دارد واحدهای جغرافیایی نزدیک‌تر تأثیر بیشتری بر یکدیگر دارند. در آخر جهت نمایش و تحلیل تغییرات زمانی- مکانی، روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) از نرم‌افزار ArcMap استفاده شد که توانایی تخمین توزیع داده‌ها در نقاط فاقد اطلاعات را با حداقل خطا دارد. نقشه‌های توزیع مکانی بر اساس میانگین ماهانه داده‌ها در هر چرخه خورشیدی تولید شدند.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج ارائه شده ایستگاه اهواز با بیشترین تعداد رخداد (۹۲۷ مورد) بیشترین گزارش توفان تندری را داشته است. در مجموع در نواحی شمالی استان یا به سمت ارتفاعات و پاپکوه‌ها مانند ایستگاه‌های دزفول و مسجد سلیمان، تعداد رخداد‌های توفان تندری افزایشی بوده است. در این دوره به ترتیب ایستگاهی ۷۳۸ و ۷۲۳ مورد توان تندری گزارش شده است. در مقابل، ایستگاه آبادان با ۳۷۴ مورد کمترین تعداد رخداد را به خود اختصاص داده است. در سیکل ۲۲، رابطه‌ی معکوس بین تعداد لکه‌های خورشیدی و وقوع توفان‌های تندری مشاهده شده است، به‌طوری که بیشترین توفان‌های تندری در سال‌های انتهایی سیکل رخ داده است. این روند در سیکل ۲۳ نیز تکرار شده و در سال ۲۰۰۷، هم‌زمان با کمترین تعداد لکه‌های خورشیدی، بیشترین توفان‌های تندری (بیش از ۳۲۰ مورد) گزارش شده است. در سیکل ۲۴ نیز این الگو ادامه داشته و بیشترین توفان‌های تندری در ابتدا و انتهای سیکل رخ داده است. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت تعداد توفان‌های تندری از جهت تقارن با تعداد لکه‌های خورشیدی ارتباطی عکس را طی می‌کنند و سال‌های انتهایی هر سیکل بالاترین تعداد توفان‌های تندری را تجربه کرده است. نتایج نشان می‌دهد که در ماه ژانویه، توفان‌ها در دهه دوم (۱۹۹۷-۲۰۰۷) بیشترین فراوانی را داشته و گسترش فضایی این پدیده در ایستگاه‌های دزفول و امام‌زاده جعفر مشهود است. در ماه فوریه، بیشترین رخدادها در چرخه ۲۳ ثبت شده که نشان‌دهنده تأثیر احتمالی چرخه‌های خورشیدی بر توزیع زمانی این پدیده است. در ماه مارس، اوج توفان‌ها در چرخه ۲۳ مشاهده شده، به‌طوری که ایستگاه‌های دزفول و یاسوج بیشترین تعداد را ثبت کرده‌اند. در چرخه ۲۴، اگرچه الگوی توزیع مشابه چرخه ۲۳ است، اما فراوانی رخدادها کاهش یافته است. این تحلیل تأکید می‌کند که نوسانات اقلیمی و چرخه‌های خورشیدی بر توزیع مکانی و زمانی توفان‌های تندری اثرگذارند. در آوریل، با وجود کاهش بارش در جنوب‌غرب کشور، پراکنندگی توفان‌های تندری تغییر محسوسی نسبت به زمستان ندارد، اما تمرکز آن‌ها در شمال‌غرب منطقه افزایش می‌یابد. در ماه می، بیشترین فعالیت در شمال خوزستان و چهارمحال و بختیاری دیده می‌شود، به‌ویژه در شهرکرد طی چرخه ۲۲ و در اهواز و دزفول طی چرخه‌های ۲۳ و ۲۴. در ژوئن، با تقویت واچرخند عربستان و کاهش نفوذ سامانه‌های بارشی، توفان‌های تندری در غرب کاهش یافته، اما تحت تأثیر سامانه‌های مونسونی در شرق کشور افزایش می‌یابد. در جولای، بیشترین رخدادها در شرق منطقه، به‌ویژه شهرکرد (چرخه ۲۲)، یاسوج (چرخه ۲۳) و شرق چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد (چرخه ۲۴) ثبت شده است. این افزایش ناشی از نفوذ سامانه‌های مونسونی است. در آگوست، الگوی پراکنش مشابه جولای است و هسته‌های اصلی در شهرکرد (چرخه ۲۲)، یاسوج و دوگنبدان (چرخه ۲۳) و سی‌سخت (چرخه ۲۴) قرار دارند. در سپتامبر، تمرکز رخدادها همچنان در شرق منطقه، به‌ویژه در دوگنبدان، سی‌سخت، کوهرنگ و ایذه باقی می‌ماند. در اکتبر، توفان‌های تندری با جابه‌جایی به شمال‌غرب و غرب، بیشترین فراوانی را در ایستگاه‌های دزفول، اهواز و کوهرنگ ثبت کرده‌اند. در نوامبر، تحت تأثیر سامانه‌های زمستانه، بیشترین رخدادها در اهواز (بیش از ۴۸) و دزفول (۴۳) گزارش شده و در چرخه ۲۴ تعداد رخدادها به ۶۸۵ مورد

رسیده است. در دسامبر، توفان‌های تندری در ایزده، اهواز و یاسوج متمرکز بوده و بیشترین فعالیت در چرخه‌های ۲۳ و ۲۴ مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری

از منظر زمانی، تحلیل فراوانی وقوع توفان‌های تندری در چرخه‌های خورشیدی ۲۲ تا ۲۴ بیانگر تفاوت‌های معناداری در میزان رخداد این پدیده بین چرخه‌های مذکور است. نتایج نشان می‌دهند که فراوانی توفان‌های تندری در چرخه خورشیدی ۲۲ نسبت به دو چرخه بعدی (۲۳ و ۲۴) کمتر بوده است. همچنین رابطه‌ای معکوس میان تعداد لکه‌های خورشیدی و فراوانی توفان‌های تندری وجود دارد. به طوری که در هر سه چرخه خورشیدی کمترین تعداد توفان‌های تندری در میانه سیکل و بالاترین تعداد رخداد توفان تندری در سال‌های ابتدایی یا انتهایی سیکل رخ داده است. در بررسی توزیع زمانی، بیشترین تعداد رخدادها در سال‌هایی از چرخه خورشیدی ۲۳ گزارش شده که بیانگر تأثیر قابل توجه فعالیت خورشیدی بر وقوع این پدیده است. در مجموع در دوره آماری ۳۳ ساله بالاترین رخداد مربوط به سال ۲۰۰۶ و کمترین رخداد توفان تندری در سال ۱۹۹۰ گزارش شده است. به لحاظ توزیع ماهانه بیشترین تعداد توفان تندری مربوط به ماه آوریل و نوامبر و کمترین رخداد توفان تندری از ماه سپتامبر گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت‌های توفان‌های تندری در جنوب غرب ایران در فصل بهار و زمستان رخ می‌دهد، در حالی که در فصل پاییز و تابستان نیز فعالیت‌های قابل توجهی به ثبت رسیده است. با این وجود، توفان‌های تندری می‌توانند در تمام طول سال اتفاق بیفتند. در واقع توزیع فصلی نشان می‌دهد که در فصل بهار حدود ۴۱ درصد از مجموع گزارش‌های توفان‌های تندری ثبت شده است که این امر به دلیل افزایش ناپایداری جوی همراه با دما و پتانسیل رطوبت فرستی دریاها می‌باشد. در مقابل، فصل تابستان با تنها ۸ درصد از رخدادها کمترین فعالیت توفانی را نشان می‌دهد که به دلیل لبه‌الگوی تابستانه و پایداری‌های دینامیک حاصل از آن می‌باشد. در فصل پاییز و زمستان به ترتیب ۲۴ و ۲۹ درصد از رخدادها گزارش شده است. توفان‌های تندری در بخش جنوب غربی ایران به دلیل ویژگی‌های ترمودینامیکی سامانه‌های ورودی از سمت جنوب پدیده‌ای لاینفک این سامانه‌ها می‌باشد. این سامانه‌ها عموماً همراه با پدیده‌های مخربی همچون رعد و برق، صاعقه و بادهای شدید همراه هستند. با توجه به روند رو به افزایش این پدیده در سه سیکل خورشیدی اخیر، آگاهی کاربران و نهادهای متأثر از این پدیده مانند خلبانان، رانندگان ناوگان حمل و نقل زمینی و دریایی و کشاورزان 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 بر حمل و نقل جاده‌ای و دریایی و محصولات کشاورزی و سازه‌های شهری مؤثر باشد.

واژگان کلیدی: تحلیل فضایی، توزیع مکانی، لکه‌های خورشیدی، مخاطرات محیطی، درون‌یابی.

مقدمه

وقوع پدیده‌های طبیعی به دلیل ماهیت خاص خود در عین داشتن اثرات مفید می‌توانند نتایج مخربی هم در پی داشته باشند (Azizy et al, 2017). مخاطرات طبیعی هر ساله در نقاط مختلف جهان جان هزاران انسان را می‌گیرد و درصد بالایی از این تلفات محصول مخاطرات آب و هوایی بوده است. از انواع مخاطرات آب و هوایی می‌توان توفان‌های تندری، سیل منطقه‌ای و... نام برد (Lashkari et al, 2016). توفان‌های تندری و پدیده‌های ناشی از آن همچون تگرگ باد شدید، صاعقه، بارش سنگین و سیل‌آسا از مهم‌ترین

مخاطرات اقلیم شناختی هستند که بخش وسیعی از تحقیقات آب و هواشناسی دنیا را به خود اختصاص داده‌اند (Ghavidal Rahimi et al, 2014). 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 و علاوه بر آذرخش و بادهای شدید، اغلب با بارش‌های شدید نیز همراه هستند (Adelekan, 1998; Barry and Hall-McKim, 2014). در واقع این توفان‌ها جزء پدیده‌های مخرب اقلیمی محسوب می‌شود که همه ساله خسارت جبران ناپذیری به تأسیسات،

جوی و پیش‌بینی‌های هواشناسی دقیق‌تر در مناطق تحت تأثیر قرار گیرند. توفان‌های تندی به‌عنوان پدیده‌های جوی مهم و تأثیرگذار، همواره مورد توجه پژوهشگران علوم جوی و اقلیمی بوده است. دای در تحلیل تغییرات روزانه فراوانی وقوع انواع مختلف بارش و توفان‌های تندی در سطح جهانی طی سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۷، به این نتیجه رسید که بارش‌های رگباری و توفان‌های تندی غالباً در ساعات بعدازظهر و در مناطق خشک و نیمه‌خشک در تمام فصول سال بیشتر مشاهده می‌شوند (Dai, 2001). تافرر و همکاران رشد و گسترش توفان‌های تندی 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 بادها در اروپای مرکزی دارد (Tafferner et al, 2008). لوگینوف و همکاران، تغییرات توفان‌های تندی و ویژگی‌های شکل‌گیری آن‌ها را در کشور بلاروس مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که وقوع این پدیده در مناطق کوهستانی به‌طور قابل توجهی بیشتر از سایر مناطق است (Loginov et al, 2010). پینو و همکاران در مطالعه‌ای تغییرات بلند مدت روزهای رعد و برق در جنوب شرقی برزیل انجام دادند. نتایج نشان‌داد فعالیت توفان‌های تندی در این مناطق افزایش داشته و با رخداد النینو و لانینا در ارتباط است (Pinto et al, 2013). گالانکی و همکاران توفان‌های تندی براساس مشاهدات ابرها و رخداد رعد و برق در مدیترانه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که شرایط توپوگرافی محلی و چرخه روزانه تابش خورشید در رخداد توفان‌های تندی منطقه نقش اساسی‌تری را برعهده دارند (Galanaki et al, 2018). تازارک و همکاران، نشان دادند زمانی که یک توفان تندی توسعه پیدا کند احتمال شدید شدن آن در آمریکا بیشتر از اروپا است (Taszarek et al, 2020). پیتزوتی و همکاران در پژوهشی به بررسی وقوع توفان‌های تندی در شمال اروپا با بهره‌گیری از شاخص‌های ترمودینامیکی پرداختند (Pizzuti, 2020). در ایران نیز لشکری و همکاران (Lashkari et al, 2016) به تحلیل توفان تندی استان کهگیلویه پرداختند. نتایج نشان داد که عامل به وجود آورنده این تندرها، سامانه‌های سودانی بوده که به دلیل برخورداری از پتانسیل رطوبت‌پذیری بالا و دریافت رطوبت فراوان از دریا‌های گرم عرب و عمان و دریای سرخ

مزارع و منازل وارد می‌کند (Lashkari and Aghaei, 2021; Masoumpour Samakosh et al, 2013). ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود همواره با چالش‌های اساسی در زمینه تأمین منابع آبی مواجه بوده است (Masoumpour Samakosh and Fajad, 2016). این کشور، که بخش عمده‌ای از آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار دارد، به‌طور چشمگیری به منابع آبی ناشی از بارش‌ها وابسته است (Asakere and Razmi, 2011). در واقع بارش‌های ناشی از توفان‌های تندی و سامانه‌های جوی همراه با رعدوبرق از جمله پدیده‌های جوی پیچیده و ترکیبی محسوب می‌شوند (Gerami et al, 2022). این پدیده به دلیل ویژگی‌های دینامیکی و ساختاری خاص خود، معمولاً اثرات تخریبی گسترده‌ای بر محیط طبیعی، زیرساخت‌ها، سازه‌های عمرانی، سامانه‌های حمل‌ونقل و فعالیت‌های اجتماعی بر جای می‌گذارند (Fadaeibash, 2024). منطقه جنوب غرب ایران به دلیل دارا بودن موقعیتی کوهستانی، سامانه‌های اقلیمی بزرگ مقیاس مؤثر بر منطقه، دسترسی به منابع رطوبتی دریا‌های گرم جنوبی مستعد شکل‌گیری توفان‌های تندی می‌باشد (Lashkari and Hojjati, 2012). این منطقه شامل استان‌های خوزستان، چهارمحال بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد، از مهم‌ترین مناطق تجاری، بندرگاهی، صنعتی و کشاورزی کشور ایران است. توفان‌های تندی علاوه بر خسارت‌هایی که در وقوع بارش‌های سیل‌آسا می‌تواند به زیرساخت‌ها، کشاورزی، خاک و پوشش گیاهی منطقه وارد نماید، حمل و نقل هوایی و دریایی نیز به شدت از پدیده‌های مرتبط با توفان تندی همانند وقوع بادهای گاستی شدید و رعد و برق متأثر می‌گردد. لذا در این پژوهش، تلاش می‌شود با استفاده از داده‌های ایستگاهی به تحلیل آماری و بررسی تغییرات مکانی فراوانی توفان‌های تندی در طی سه چرخه خورشیدی^۱ ۲۲، ۲۳ و ۲۴ پرداخته شود. در واقع بررسی ارتباط بین فراوانی توفان‌های تندی و چرخه‌های خورشیدی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا تغییرات در تابش خورشیدی می‌تواند بر فرآیندهای جوی و اقلیمی تأثیر بگذارد. تحلیل این تغییرات به درک بهتر الگوهای زمانی و مکانی رخداد توفان‌های تندی و شناسایی مناطق پرخطر کمک می‌کند. همچنین، این مطالعات می‌توانند مبنای مناسبی برای برنامه‌ریزی‌های مدیریت مخاطرات

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 (Falak et al, 2019) 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. دانانیانی و همکاران (Dananiani et al, 2023) 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. با این حال فراوانی این پدیده در شمال غرب، جنوب غرب و جنوب شرق ایران بیش از سایر بخش‌های دیگر است.

از نظر زمانی نیز در هر ماه از سال بخشی(هایی) از ایران به عنوان کانون بیشینه رخداد توفان‌های تندری است. به عنوان مثال در زمستان مناطق جنوب غرب، جنوب و جنوب شرق ایران کانون اصلی رخداد این پدیده بوده است. 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 خطرات طبیعی و پیش‌بینی شرایط جوی دقیق‌تر مؤثر واقع شود.

از انرژی پتانسیل بالایی برخوردار هستند. در مطالعه‌ای دیگر لشکری و همکاران (Lashkari et al, 2024) به واکاوی پراکنش توفان‌های تندری جنوب ایران در سه چرخه خورشیدی اخیر پرداختند. نتایج نشان داد که از چرخه خورشیدی ۲۲ الی ۲۴ فراوانی رخداد توفان‌های تندری از الگوی منظمی پیروی نمی‌کند و چرخه ۲۳ بالاترین رخداد را داشته است. عزیزی و همکاران (Azizi et al, 2017) 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 (Faraji et al 2017) به واکاوی همدیدی 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 می‌باشند. قسمت‌های غربی و شرقی استان کم‌ترین میانگین تندر را داشته‌اند و پایین‌ترین ضریب تغییرات را نیز دارا می‌باشند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al 2016) 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 (Masoom et al 2016) به واکاوی آماری - همدیدی 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 قابل توجهی در ساعت مختلف مشاهده نمی‌شود و امکان رخداد آن در تمامی ساعت‌ها به‌ویژه ساعات صبح محلی وجود دارد. برنا (Borna, 2018) به بررسی آماری - همدیدی توفان‌های تندری استان خوزستان پرداخت.

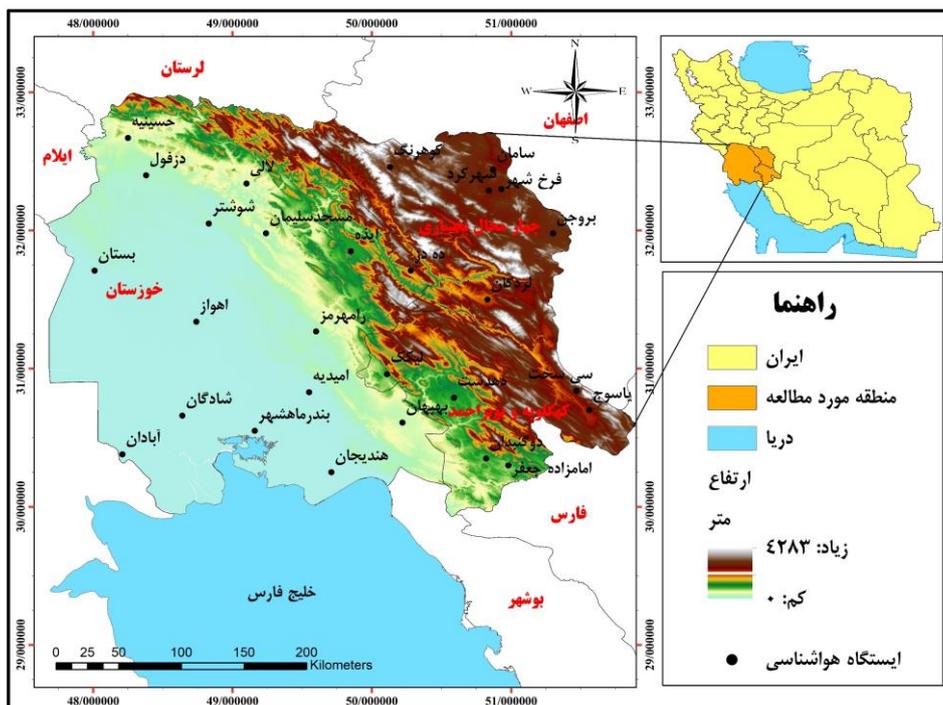
نتایج نشان داد که از نظر شدت و فراوانی، بیشترین رویداد توفان‌های تندری در مناطق شمال و شمال شرق استان و کمترین آن در مناطق جنوب غربی می‌باشد. مجرد و همکاران (Majerd et al, 2019) به تحلیل زمانی - مکانی

تنوع جمعیتی، دارای ویژگی‌های متنوع توپوگرافی است که آن را از نظر اقلیمی و محیطی به یک منطقه منحصربه‌فرد تبدیل می‌کند. اختلاف ارتفاع در این پهنه به ۴۲۸۳ متر می‌رسد که از نواحی کم‌ارتفاع حاشیه خلیج فارس تا ارتفاعات مرتفع زاگرس مرکزی را شامل می‌شود. شرایط اقلیمی این منطقه به شدت تحت تأثیر ارتفاعات زاگرس و جریان‌های جوی مختلف است که به ایجاد تنوع در الگوهای بارشی و دمایی منجر شده است. اقلیم این ناحیه تحت تأثیر سه توده هوایی عمده قرار دارد. توده هوای مرطوب مدیترانه‌ای، سامانه کم‌فشار سودانی، و سامانه پرفشار عربستان. هر یک از این توده‌های هوایی با ویژگی‌های منحصربه‌فرد دمایی و رطوبتی، نقش مهمی در شکل‌دهی الگوهای جوی منطقه ایفا می‌کنند (Alijani, 2003; Lashkari, 2003; Mohammadi and Lashkari, 2018).

منطقه‌ی مورد مطالعه

عرصه جغرافیایی تحقیق

پهنه مطالعاتی این پژوهش شامل استان‌های خوزستان، چهارمحال و بختیاری، و کهگیلویه و بویراحمد است. این منطقه جغرافیایی بخشی از جنوب غربی ایران را در بر می‌گیرد و از ارتفاعات زاگرس مرکزی تا سواحل خلیج فارس گسترش یافته است (شکل ۱). این سه استان در مجموع مساحتی معادل ۹۶،۴۹۸ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهند و از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۹۲ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۹۸ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۸۸ دقیقه شرقی قرار دارند. بر اساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن (Statistical Center of Iran, 2016)، جمعیت ساکن در این سه استان برابر با ۶،۳۷۱،۳۲۴ نفر گزارش شده است. این منطقه علاوه بر



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1: Location of the study area

دوره‌ی آماری این مطالعه به‌گونه‌ای انتخاب شده که با سه چرخه‌ی خورشیدی ۱۱ ساله (چرخه‌های ۲۲ تا ۲۴) مطابقت داشته باشد. انتخاب این دوره‌ی زمانی، علاوه بر پوشش‌دهی بلندمدت و جامع تغییرات اقلیمی، امکان بررسی اثرات احتمالی تغییرات چرخه‌های خورشیدی بر

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، داده‌های مربوط به پدیده‌ی توفان‌های تندی از گزارش‌های دیدبانی سازمان هواشناسی کشور، به‌صورت ۲۴ ساعته و برای یک دوره‌ی آماری بلندمدت از سال ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸، جمع‌آوری و تحلیل شد.

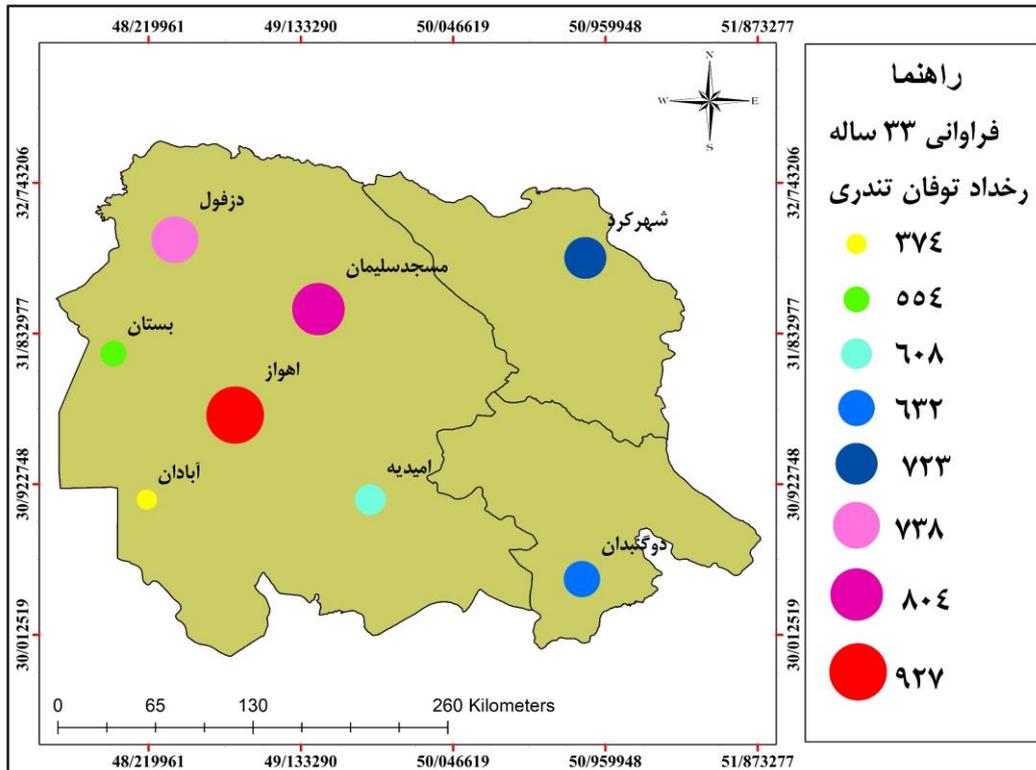
استفاده می‌کند (Ding et al, 2018). دلیل انتخاب این روش، توانایی آن در تخمین فراوانی توفان‌های تندری در نقاط فاقد داده، با حداقل میزان خطا است (میرشفیعی و همکاران، ۱۴۰۳). در این مرحله، داده‌های مربوط به توفان‌های تندری به همراه مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها وارد نرم‌افزار ArcMap شدند. سپس با استفاده از روش IDW، نقشه‌های توزیع مکانی داده‌ها تولید و خروجی‌های حاصل برای انجام تحلیل‌های فضایی و بررسی الگوهای زمانی- مکانی آماده شدند.

بحث و نتایج

در این بخش، ابتدا فراوانی وقوع توفان‌های تندری در ارتباط با چرخه‌های خورشیدی مورد تحلیل قرار گرفته است. این تحلیل با هدف شناسایی روندها و الگوهای احتمالی در تغییرات فراوانی این پدیده در طول دوره‌های مختلف چرخه خورشیدی انجام شده است. در ادامه، توزیع مکانی این توفان‌ها به صورت ماهانه بررسی و تحلیل شده است تا الگوهای فضایی و زمانی مرتبط با توفان‌های تندری شناسایی شود. هدف از این مرحله، تفسیر تأثیرات مکانی و اقلیمی این پدیده‌ها و درک بهتر از پویایی‌های آن‌ها در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف است.

پراکنش فراوانی توفان‌های تندری طی بازه زمانی ۳۳ ساله
شکل ۲ توزیع فراوانی رخداد توفان‌های تندری را در ایستگاه‌های منتخب طی بازه زمانی ۳۳ ساله (۱۹۸۶ الی ۲۰۱۸) نشان می‌دهد. این ایستگاه‌ها، در هر چرخه ۱۱ ساله، دارای آمار کامل بوده‌اند. بر اساس نتایج ارائه شده ایستگاه اهواز با بیشترین تعداد رخداد (۹۲۷ مورد) بیشترین گزارش توفان تندری را داشته است. در مجموع در نواحی شمالی استان یا به سمت ارتفاعات و پدیده‌ها مانند ایستگاه‌های دزفول و مسجد سلیمان، تعداد رخدادهای توفان تندری افزایشی بوده است. در این دوره به ترتیب ایستگاهی ۷۳۸ و ۷۲۳ مورد توفان تندری گزارش شده است. در مقابل، ایستگاه آبادان با ۳۷۴ مورد کمترین تعداد رخداد را به خود اختصاص داده است. این تفاوت‌های مکانی در رخداد توفان‌های تندری بیانگر آن است که رخداد توفان‌های تندری علاوه بر شرایط همدیدی بشدت از عوامل محلی و توپوگرافیک تاثیر می‌پذیرد.

وقوع و شدت توفان‌های تندری را فراهم می‌آورد. چرخه‌ی خورشیدی ۲۲ با بازه‌ی زمانی ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۶، چرخه‌ی ۲۳ با دوره‌ی ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷، و چرخه‌ی ۲۴ با بازه‌ی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ انطباق دارد. لازم به ذکر است که داده‌های مربوط به تعداد لکه‌های خورشیدی از پایگاه^۲ Royal Observatory of Belgium اخذ شد. با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش تحلیل الگوهای آماری و فضایی توفان‌های تندری در مناطق جنوب غربی ایران است، به منظور 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، ۸ ایستگاه، در دوره دوم، ۱۷ ایستگاه و در دوره سوم، ۲۶ 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. به منظور 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 دوره‌ی 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 تحلیل و نمایش تغییرات زمانی- مکانی توفان‌های تندری، از روش وزن‌دهی معکوس فاصله^۳ (IDW) استفاده شده است. این تحلیل به صورت میانگین ماهانه و برای هر چرخه خورشیدی انجام شده است. روش وزن‌دهی 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



شکل ۲: فراوانی رخداد توفان تندری طی بازه زمانی ۳۳ ساله (۱۹۸۶ الی ۲۰۱۸)

Fig. 2: Frequency of thunderstorm occurrence during a 33-year period (1986-2018)

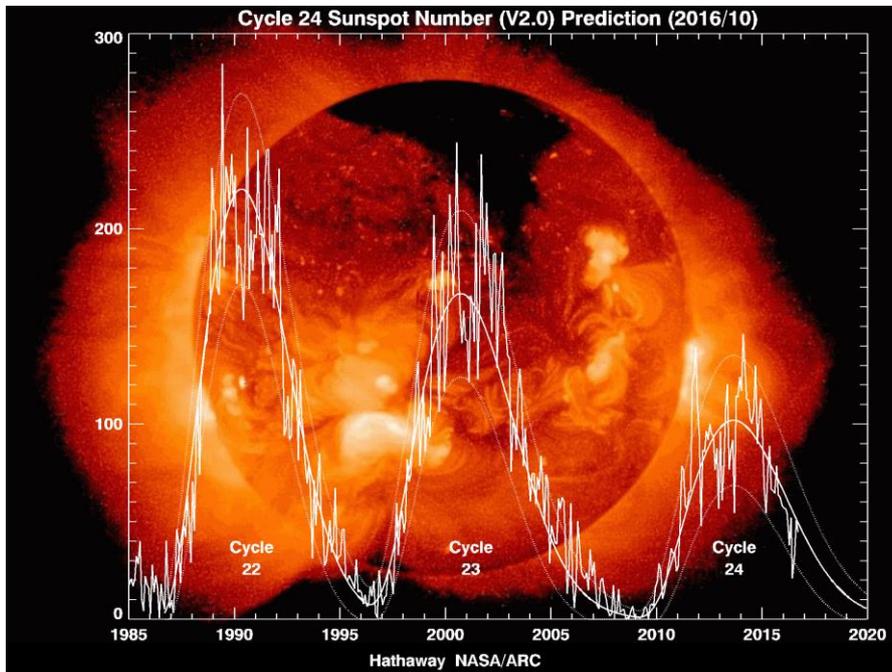
میانی افزایش یافته است. در حالی که تعداد توفان‌های تندری گزارش شده از ۷۸ عدد در ابتدای سیکل به ۲۴ عدد در اواسط سیکل کاهش یافته است. در سال‌های انتهایی سیکل همچنان تعداد توفان‌های تندری روندی افزایشی داشته است، به طوری که در سال ماقبل انتهایی سیکل تعداد توفان‌های تندری گزارش شده به بیش از ۲۶۰ عدد رسیده است. چنین الگویی در سیکل ۲۳ نیز قابل مشاهده است. با وجود این که این سیکل نسبت به سیکل ۲۲ از لحاظ قله لکه‌های خورشیدی کوتاه قدرتمندتر می‌باشد، ولی الگوی پراکنش لکه‌ها و توفان‌های تندری شباهت زیادی با الگوی سیکل ۲۲ دارد. در این سیکل نیز کمترین تعداد توفان‌های تندری گزارش شده در میانه سیکل قرار دارد. ولی تعداد توفان‌های تندری گزارش شده در بخش دوم سیکل افزایش بسیار چشمگیری را نشان می‌دهد. به طوری که در سال ۲۰۰۷ که تعداد لکه‌های خورشیدی به کمترین مقدار خود سیر نموده است، تعداد توفان‌های تندری گزارش شده در بالاترین مقدار خود قرار دارد. به طوری که تعداد آن‌ها به بیش از ۳۲۰ عدد رسیده است که بالاترین تعداد گزارش شده در دوره آماری ۳۳ ساله از منطقه جنوب غرب می‌باشد. در چرخه ۲۴، با وجود این که کوچکترین سیکل

پراکنش چرخه ای توفان های تندری

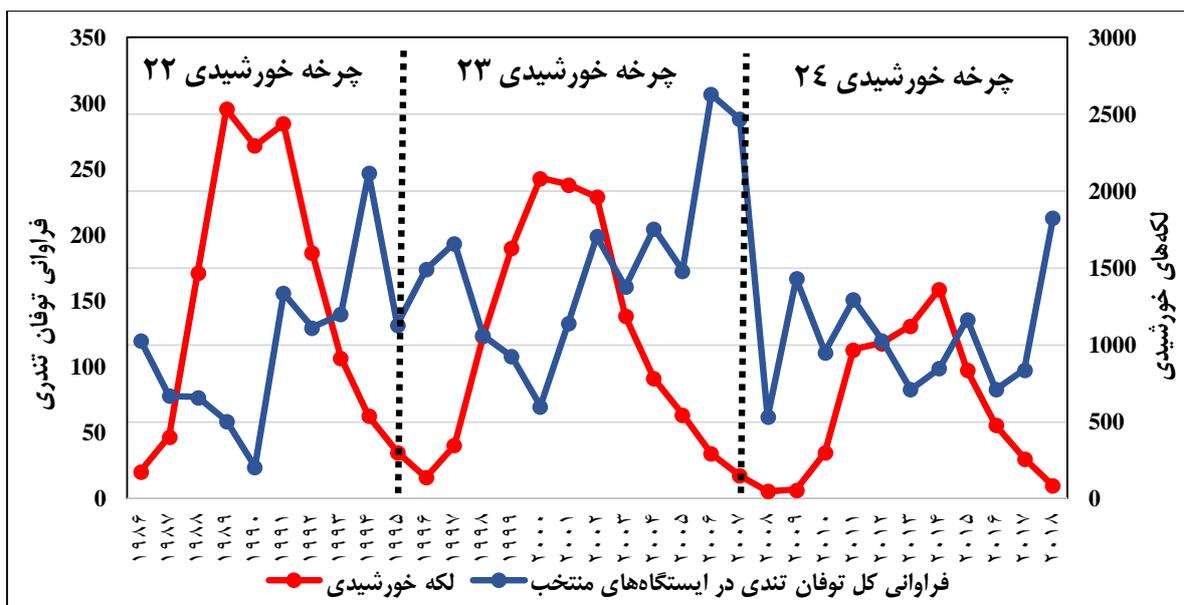
شکل ۳ الگوی پراکنش تعداد لکه‌های خورشیدی را در سه سیکل خورشیدی اخیر (۲۲ تا ۲۴ خورشیدی) را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود با وجود انضباط تقریباً ۱۱ ساله در سیکل‌ها تعداد لکه‌های خورشیدی در میانه، ابتدا و انتهای سیکل‌ها شباهت زیادی با هم ندارند. از سیکل ۲۲ به تدریج سیکل‌ها به لحاظ تعداد لکه‌های خورشیدی کوتاه قدرتمندتر شده‌اند. سیکل ۲۴ کوتاه قدرتمندترین سیکل در دوره یک‌صد ساله اخیر بوده است. شکل ۴، تقارن توزیع سالانه فراوانی کل رخداد‌های توفان تندری در ایستگاه‌های منتخب طی بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ را در ارتباط با تعداد لکه‌های خورشیدی نشان می‌دهد. این تحلیل بر اساس داده‌های ثبت شده در هفت ایستگاه: شامل آبادان، اهواز، بستان، دوگنبدان، مسجد سلیمان، امیدیه و شهرکرد انجام شده است. در سیکل ۲۲ رابطه کاملاً معکوسی بین تعداد لکه‌های خورشیدی و فراوانی وقوع توفان‌های تندری دیده می‌شود. بالاترین رخداد توفان تندری در سال‌های انتهایی سیکل گزارش شده است. این سیکل از قوی‌ترین سیکل‌های چند دهه اخیر بوده است به طوری که تعداد لکه‌ها از ۲۵۰ لکه ابتدای سیکل به بیش از ۲۵۰۰ لکه در سال‌های

می‌توان گفت تعداد توفان‌های تندری از جهت تقارن با تعداد لکه‌های خورشیدی ارتباطی عکس را طی می‌کنند و سال‌های انتهایی هر سیکل بالاترین تعداد توفان‌های تندری را تجربه کرده است.

خورشیدی به لحاظ تعداد لکه‌های خورشیدی است، اما همچنان نظم کاهشی تعداد توفان‌های تندری در میانه سیکل هر چند با جلو افتادگی یک ساله تکرار شده است. در این سیکل نیز بالاترین تعداد توفان‌های تندری در ابتدا و انتهای سیکل رخ داده است. در یک جمع‌بندی کلی



شکل ۳: الگوی فراوانی تعداد لکه‌های خورشیدی در سه چرخه خورشیدی، اخیر ۱۹۸۶ الی ۲۰۱۸ (منبع: NASA Solar Physics Division)
Fig. 3: The frequency pattern of sunspot numbers in the three most recent solar cycles, 1986-2018 (Source: NASA Solar Physics Division)

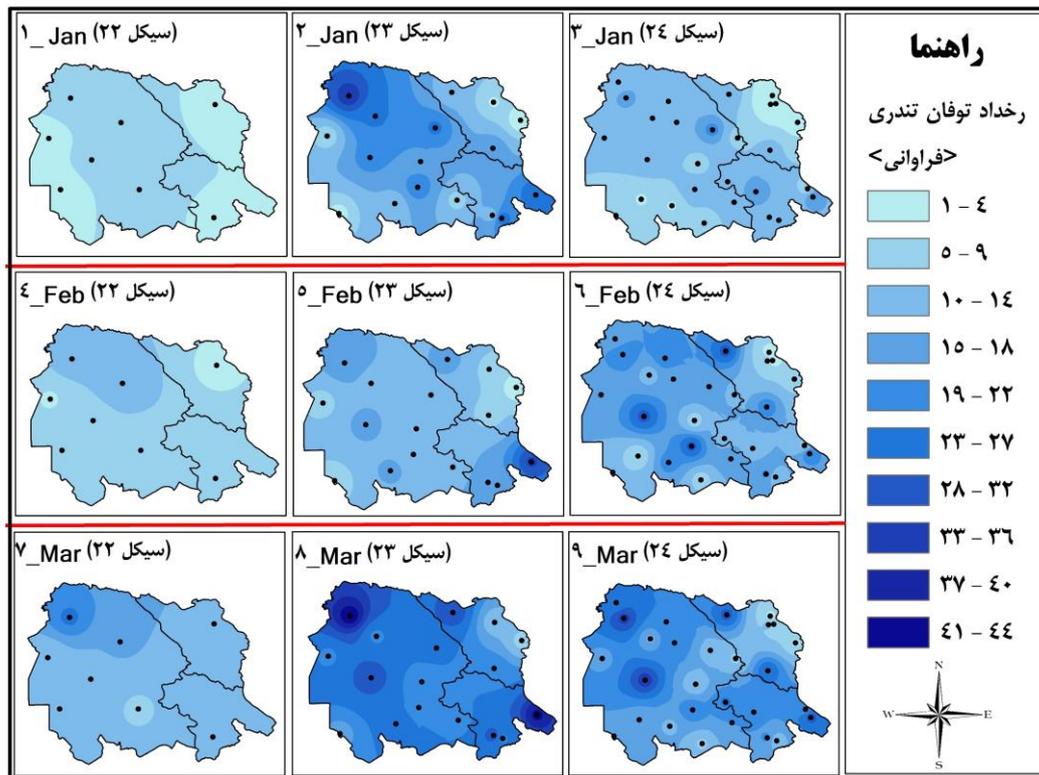


شکل ۴: روند تغییرات فراوانی توفان تندری طی بازه زمانی ۱۹۸۶ الی ۲۰۱۸ و تعداد لکه‌های خورشیدی (سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴)
Fig. 4: Trend of changes in the frequency of severe storms during the period 1986 to 2018 and the number of sunspots (solar cycles 22, 23, 24)

پراکنش چرخه‌های توفان تندری در فصل زمستان

در این بخش، پراکنش زمانی رخداد توفان‌های تندری 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 تندری در هر چرخه خورشیدی و ارزیابی تغییرات احتمالی در فراوانی و توزیع زمانی این پدیده است. شکل ۵ پراکنش توفان‌های تندری را در سه چرخه اقلیمی در سه ماه فصل زمستان (ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس) نشان می‌دهد. بررسی تغییرات مکانی و زمانی فراوانی توفان‌های تندری در ماه ژانویه طی یک دوره سه دهه‌ای (۱۹۸۶-۲۰۱۸) نشان‌دهنده الگوهای متغیر پراکنش و شدت این پدیده است. در دهه نخست (۱۹۸۶-۱۹۹۶)، بیشترین تعداد توفان‌ها در ایستگاه دزفول با ثبت ۸ مورد مشاهده شده است. در این دوره، با فاصله گرفتن از نواحی مرکزی به سمت شرق و غرب، کاهش تدریجی در تعداد توفان‌ها ثبت شده است. در دهه دوم (۱۹۹۷-۲۰۰۷)، الگوی پراکنش تغییرات قابل توجهی داشته و بیشترین تعداد توفان با ۳۶ مورد همچنان در ایستگاه دزفول ثبت شده است. علاوه بر این، یک هسته ثانویه از توفان‌ها در ایستگاه امام‌زاده جعفر شکل گرفته است که نشان‌دهنده گسترش فضایی این پدیده است. در دهه سوم (۲۰۰۸-۲۰۱۸)، الگوی فراوانی مشابه با دهه اول است، به طوری که هسته اصلی توفان‌ها در ایستگاه‌های دزفول، ایذه و یاسوج متمرکز بوده و با فاصله گرفتن از این نواحی مرکزی به سمت شرق و غرب، کاهش تدریجی در تعداد توفان‌ها مشهود است. تجزیه و تحلیل فراوانی توفان‌ها در سه دهه نشان می‌دهد که این رخدادها تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده‌اند. در دهه اول، مجموعاً ۳۹ رخداد توفان ثبت شده است که در دهه دوم با افزایش چشمگیر به ۱۱۱ رخداد رسیده است. با این حال، در دهه سوم، فراوانی مجدداً کاهش یافته و به ۷۸ رخداد رسیده است. بیشترین تعداد توفان‌های تندری در ماه فوریه طی چرخه خورشیدی ۲۳ (۱۹۹۷-۲۰۰۷) به ثبت رسیده که بیانگر تأثیر احتمالی چرخه‌های خورشیدی بر الگوی وقوع

این پدیده جوی است. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که عوامل دینامیکی جو، نوسانات اقلیمی، و تأثیر چرخه‌های خورشیدی نقش مهمی در تغییرات زمانی و مکانی فراوانی توفان‌های تندری ایفا می‌کنند. تحلیل تغییرات مکانی و زمانی فراوانی توفان‌های تندری در ماه فوریه طی سه دهه (۱۹۸۶-۲۰۱۸) نشان‌دهنده الگوهای متغیر در پراکنش جغرافیایی و شدت وقوع این پدیده است. در دهه نخست (۱۹۸۶-۱۹۹۶)، یک هسته با فراوانی بالا در شمال‌غرب استان خوزستان مشاهده می‌شود که بیشترین رخدادها در ایستگاه‌های دزفول و مسجدسلیمان ثبت شده‌اند. در دهه دوم (۱۹۹۷-۲۰۰۷)، الگوی پراکنش تغییر یافته و بیشترین تعداد توفان در استان کهگیلویه و بویراحمد، به‌ویژه در ایستگاه یاسوج، با ۳۳ رخداد به ثبت رسیده است. همچنین، هسته‌های ثانویه این توفان‌ها در ایستگاه‌های دزفول و اهواز در استان خوزستان شناسایی شده‌اند. در دهه سوم (۲۰۰۸-۲۰۱۸)، بیشترین تعداد رخدادها در دو منطقه اصلی دیده می‌شود. ایستگاه کوهرنگ در استان چهارمحال و بختیاری و ایستگاه‌های اهواز و امیدیه در استان خوزستان، که هر یک ۲۹ مورد توفان تندری را ثبت کرده‌اند. در ماه مارس، برخلاف ماه‌های ژانویه و فوریه، فراوانی توفان‌های تندری افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که در چرخه خورشیدی ۲۲، تمرکز اصلی توفان‌های تندری در شمال‌غرب منطقه بوده و ایستگاه دزفول با ثبت ۲۳ رخداد، بیشترین تعداد گزارش‌ها را به خود اختصاص داده است. در چرخه خورشیدی ۲۳، پراکندگی توفان‌ها گسترش یافته و ایستگاه‌های دزفول و یاسوج به ترتیب با ۴۳ و ۴۱ رخداد، بیشترین تعداد گزارش توفان‌های تندری را داشته‌اند. در این چرخه، مجموعاً بیش از ۳۹۹ مورد توفان تندری در ماه مارس ثبت شده است که نشان‌دهنده اوج فراوانی این پدیده در دوره زمستان است. در چرخه خورشیدی ۲۴، الگوی توزیع توفان‌های تندری شباهت زیادی به چرخه ۲۳ دارد، اما با این تفاوت که فراوانی رخدادها کاهش یافته است.



شکل ۵: پراکنش رخداد توفان تندری در ماه ژانویه، فوریه و مارس طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۲۰۱۸-۱۸۹۶)

Fig. 5: Distribution of severe storm events in the months of January, February, and March during three solar cycles

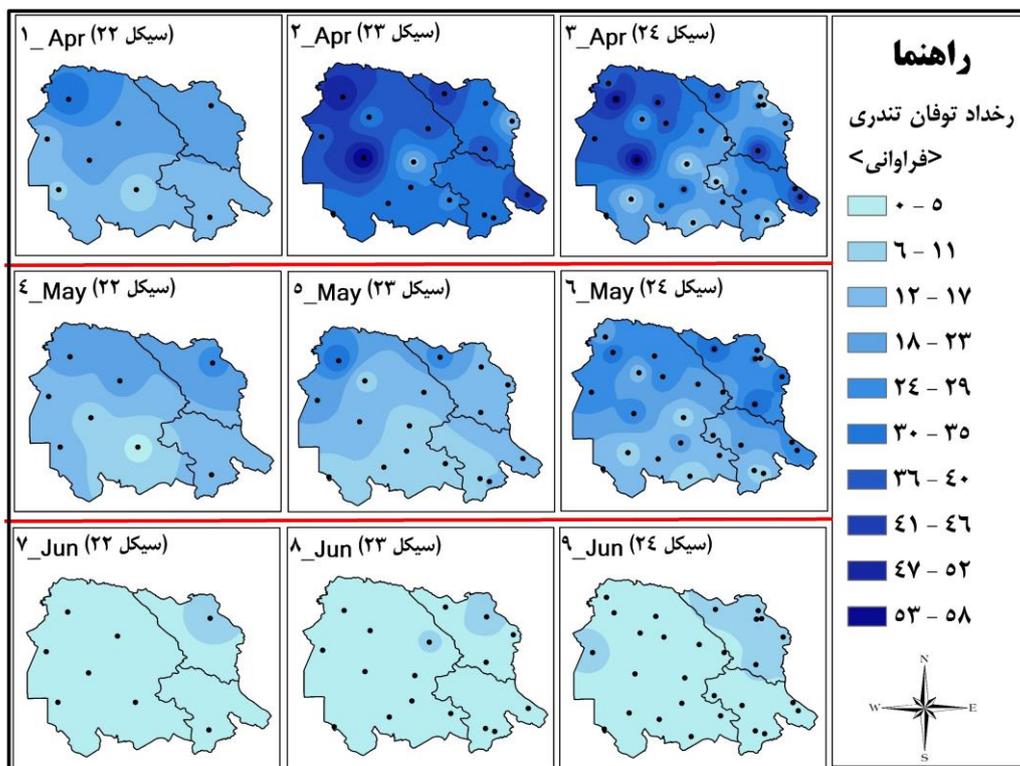
دوم قرار دارند. در چرخه ۲۳ نیز پراکنندگی مشابهی مشاهده می‌شود، اما هسته اصلی وقوع توفان‌های تندری به ایستگاه‌های اهواز و دزفول منتقل شده است. در این دوره، ایستگاه اهواز با ثبت ۵۸ گزارش در صدر قرار دارد و ایستگاه دزفول با ۵۲ گزارش در رتبه دوم جای گرفته‌اند. در چرخه ۲۴، تغییرات قابل توجهی در مکان‌گزینی هسته‌های اصلی رخداد توفان‌های تندری مشاهده می‌شود. در این دوره، ایستگاه اهواز با ثبت ۵۶ گزارش در جایگاه نخست و ایستگاه‌های دزفول با ۵۴ گزارش در جایگاه دوم قرار گرفته‌اند. این تغییرات نشان‌دهنده جابجایی جغرافیایی کانون‌های توفان‌های تندری به سمت شمال شرق و شرق منطقه مطالعاتی است. در ماه می، فراوانی رخداد‌های توفان‌های تندری به‌طور محسوسی نسبت به ماه‌های قبل کاهش یافته است، به‌طوری که حداکثر تعداد ثبت شده از این رخدادها از ۳۶ مورد تجاوز نمی‌کند. این کاهش قابل توجه در سه سیکل زمانی بررسی شده است. در سیکل نخست، بیشترین تعداد توفان‌های تندری در ایستگاه شهرکرد ثبت شده است. در سیکل دوم، تمرکز رخدادها به ایستگاه‌های شهرکرد و ایذه منتقل شده و این دو ایستگاه بیشترین فراوانی را نشان داده‌اند. در سیکل سوم،

پراکنش چرخه‌ای توفان تندری در فصل بهار

شکل ۶ توزیع مکانی توفان‌های تندری را در ماه‌های آوریل، می، و ژوئن طی سه چرخه اقلیمی به تصویر می‌کشد. در ماه آوریل، با وجود کاهش قابل توجه میزان بارش در مناطق جنوب‌غربی کشور در مقایسه با فصل زمستان، فراوانی وقوع توفان‌های تندری تغییر محسوسی نسبت به سه‌ماهه زمستان نشان نمی‌دهد. این الگو به‌وضوح در نقشه‌های پراکنش توفان‌های تندری در هر سه چرخه اقلیمی مشهود است. ویژگی متمایز و برجسته ماه آوریل، در مقایسه با ماه‌های زمستانی، تمرکز بیشتر فعالیت توفان‌های تندری در محدوده شمال‌غرب منطقه است. این پدیده در تمامی چرخه‌های اقلیمی مشاهده می‌شود. الگوی پراکنش توفان‌های تندری در ماه می نشان‌دهنده بیشترین تمرکز در مناطق شمالی استان خوزستان و چهارمحال و بختیاری است. بررسی داده‌های چرخه ۲۲ (۱۹۸۶-۱۹۹۶) حاکی از آن است که این دو استان کانون‌های اصلی وقوع توفان‌های تندری بوده‌اند، به‌طوری که هسته اصلی این رخدادها در ایستگاه شهرکرد متمرکز شده است. ایستگاه شهرکرد با ثبت ۳۵ گزارش در جایگاه نخست و ایستگاه‌های مسجدسلیمان و دزفول هرکدام با ۲۳ گزارش در جایگاه

معنادار می‌باشد. این جابجایی به دلیل کاهش شدید فعالیت سامانه‌های بارشی در غرب منطقه می‌باشد. در بخش شرقی منطقه مطالعاتی، ورود سامانه‌های مونسونی^۴ 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 واپرخند^۵ 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.

ایستگاه‌های واقع در استان چهارمحال و بختیاری، همراه با ایستگاه بستان، بیشترین رخدادهای توفان تندری را ثبت کرده‌اند. کاهش قابل توجه تعداد رخدادهای توفان‌های تندری در ماه ژوئن را می‌توان به کاهش نفوذ سامانه‌های بارشی به منطقه نسبت داد. این کاهش عمدتاً ناشی از جابه‌جایی شمال‌سو و تقویت واپرخند عربستان است که در این بازه زمانی الگوی تابستانه را بر منطقه تحمیل می‌کند. در چنین شرایطی، سامانه‌های بارشی که به‌عنوان عامل اصلی تکوین و تقویت توفان‌های تندری شناخته می‌شوند، فرصت ورود و فعالیت در منطقه را از دست می‌دهند. علاوه بر این، جابجایی جغرافیایی رخدادهای توفان‌های تندری به سمت غرب منطقه مطالعاتی نیز



شکل ۶: پراکنش رخداد توفان تندی در ماه آپریل، می و ژوئن طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۲۰۱۸-۱۸۹۶)

Fig. 6: Distribution of severe storm events in April, May, and June during solar cycles 22, 23, and 24 (2018-1896)

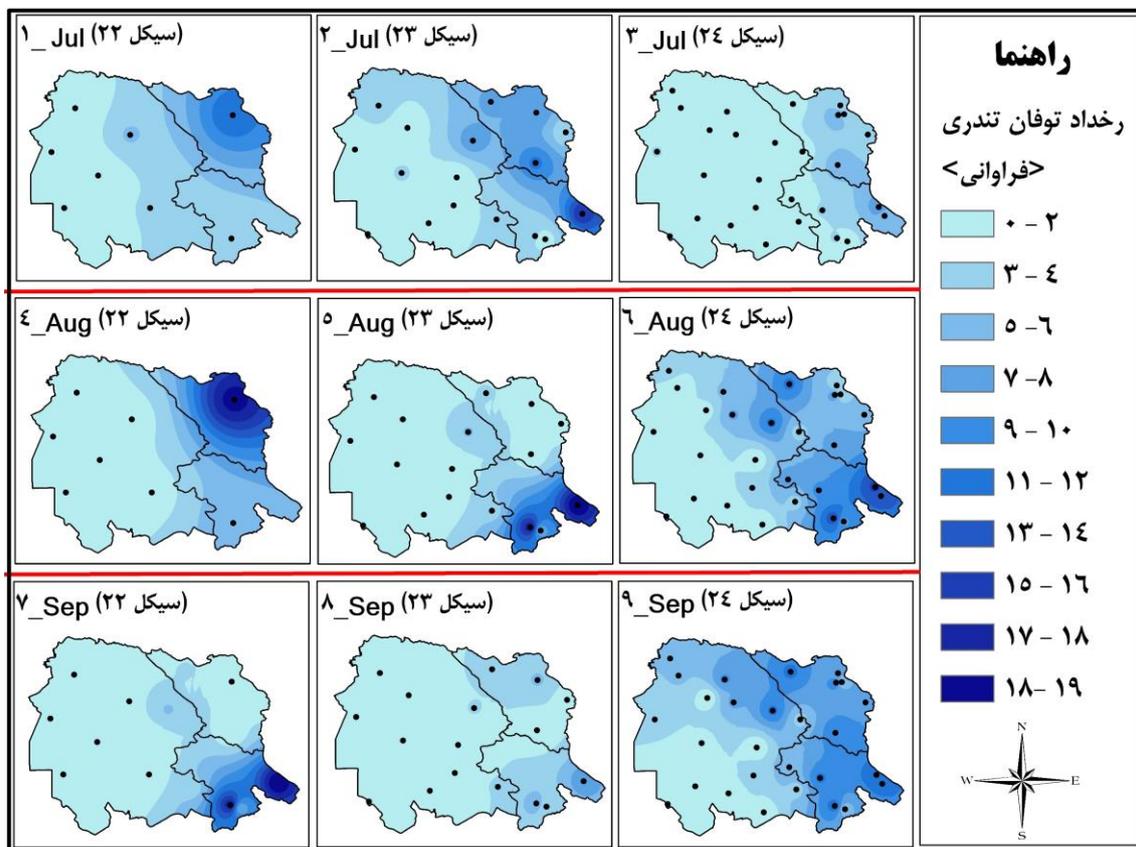
است، در حالی که با حرکت به سمت غرب منطقه، از تعداد این رخدادهای کاسته شده است. در چرخه ۲۳، هسته اصلی توفان‌های تندری به محدوده یاسوج منتقل شده است، و در چرخه ۲۴، بیشترین رخدادهای ایستگاه‌های شرقی چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد گزارش شده‌اند. در این چرخه، در سایر بخش‌های منطقه، تعداد رخدادهای توفان‌های تندری کاهش قابل توجهی را نشان

پراکنش چرخه‌ای توفان تندری در فصل تابستان

شکل ۷ پراکنش توفان‌های تندری را در سه چرخه اقلیمی و در ماه‌های جولای، آگوست، و سپتامبر نشان می‌دهد. در ماه جولای، تحت تأثیر حاکمیت الگوی تابستانه در منطقه، رخدادهای توفان‌های تندری عمدتاً از بخش شرقی منطقه مطالعاتی گزارش شده‌اند. در چرخه ۲۲ خورشیدی، بیشترین فراوانی رخدادهای ایستگاه شهرکرد ثبت شده

الگوی تابستانه، در جنوب شرقی منطقه مطالعاتی و در ایستگاه سی سخت با ۱۲ گزارش ثبت شده است. در ماه سپتامبر، تمرکز توفان‌های تندری همچنان بر شرق منطقه مطالعاتی باقی می‌ماند. در چرخه ۲۲، بیشترین رخدادها در ایستگاه دوگنبدان ثبت شده است. در چرخه ۲۳ نیز هسته فعالیت در همین منطقه قرار دارد، اما با کاهش فراوانی. در چرخه ۲۴، هسته‌های پررخداد در استان کهگیلویه و بویراحمد و در ایستگاه‌های سی سخت و دوگنبدان مشاهده می‌شود که هرکدام با ۱۱ گزارش توفان تندری ثبت شده‌اند. همچنین، ایستگاه‌های کوه‌رنگ و ایذه هرکدام ۱۰ گزارش توفان تندری را ثبت کرده‌اند.

می‌دهد. با این حال، بخش‌های شرقی منطقه مطالعاتی افزایش چشمگیری در فراوانی این رخدادها نسبت به ماه قبل داشته‌اند. این افزایش را می‌توان به تقویت و نفوذ سامانه‌های مونسونی به بخش شرقی منطقه در ماه جولای نسبت داد. در ماه آگوست، الگوی پراکنش توفان‌های تندری شباهت قابل توجهی به الگوی مشاهده شده در ماه جولای دارد. در چرخه ۲۲ خورشیدی، تعداد رخداد‌های توفان‌های تندری در هسته پررخداد، با مرکزیت ایستگاه شهرکرد، کمتر از ۲۰ گزارش ثبت شده است. در چرخه ۲۳، هسته اصلی فعالیت به ایستگاه‌های یاسوج و دوگنبدان منتقل شده است. در چرخه ۲۴، بیشترین رخدادها، مطابق با



شکل ۷: پراکنش رخداد توفان تندری در ماه جولای، آگوست و سپتامبر طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۱۸۹۶-۲۰۱۸)

Fig. 7: Distribution of severe storm events in July, August, and September during solar cycles 22, 23, and 24 (2018-1896)

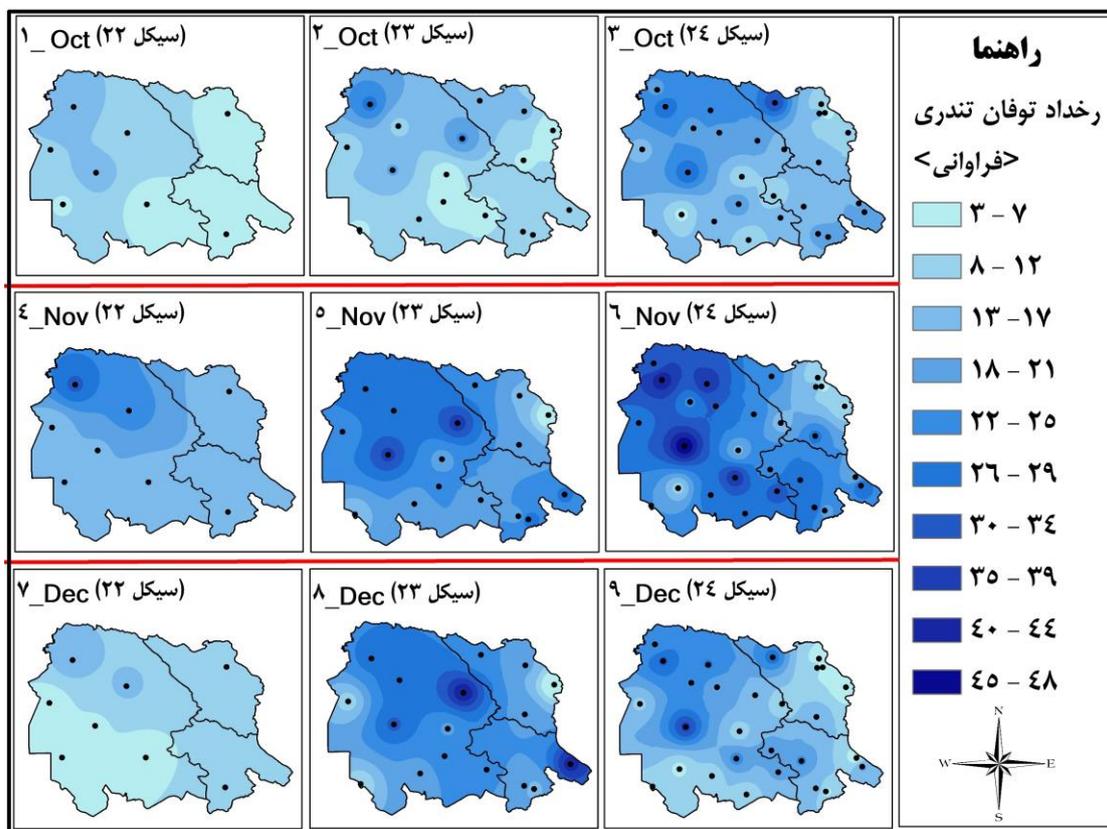
تندری بار دیگر به شرایط دوره بارشی بازگشته و بیشترین گزارش‌ها از ایستگاه‌های دزفول و اهواز ثبت شده است. برخلاف ماه‌های تابستان که هسته اصلی رخدادها در بخش‌های شمال شرقی و جنوب شرقی منطقه مطالعاتی قرار داشت، در این ماه به سمت شمال غرب و غرب منطقه جابجا شده‌اند. به‌طور خاص، ایستگاه‌های دزفول و اهواز در

پراکنش چرخه‌ای توفان تندری در فصل پاییز

شکل ۸ توزیع فضایی و زمانی توفان‌های تندری را در سه چرخه اقلیمی طی ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر نشان می‌دهد. در ماه اکتبر، الگوی پراکنش توفان‌های تندری در هر سه چرخه تنوع قابل توجهی از نظر فراوانی و مکان رخداد دارد. در این ماه، پهنه‌های اصلی رخداد توفان‌های

در این ماه از ایستگاه‌های اهواز با بیش از ۴۸ و دزفول با ۴۳ گزارش ثبت شده است. این الگو نشان‌دهنده ورود سامانه‌های جوی از سمت شمال غرب و غرب به منطقه است. در چرخه ۲۴، تعداد کل رخداد‌های توفان تندری در این ماه به بیش از ۶۸۵ مورد افزایش یافته است. در ماه دسامبر، مشابه الگوی ماه نوامبر، هسته اصلی توفان‌های تندری در ایستگاه‌های ایذه، اهواز و یاسوج متمرکز بوده است. بیشترین تعداد رخدادها در چرخه‌های ۲۳ و ۲۴ گزارش شده است، که بر نقش الگوهای هم‌مدیدی و سامانه‌های جوی ورودی در وقوع این پدیده تأکید دارد.

چرخه ۲۲، ۱۵ رخداد توفان تندری را گزارش کرده‌اند. در چرخه ۲۳، الگوی چرخه ۲۲ تکرار شده، اما تعداد رخدادها افزایش یافته است. در این چرخه، ایستگاه دزفول با ۲۷ و ایستگاه ایذه با ۲۲ رخداد توفان تندری در صدر قرار دارند. در چرخه ۲۴، بیشترین فراوانی در ایستگاه کوه‌رنگ با ۳۵ و اهواز با ۳۰ گزارش توفان تندری مشاهده شده است. در ماه نوامبر، حاکمیت الگوی زمستانه در هر سه چرخه به‌وضوح قابل مشاهده است. نفوذ سامانه‌های زمستانه همراه با شرایط ترمودینامیکی قوی، وقوع توفان‌های تندری در این نواحی را تسهیل کرده است. بیشترین تعداد رخدادها



شکل ۸: پراکنش رخداد توفان تندی در ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر طی سه چرخه خورشیدی ۲۲، ۲۳، ۲۴ (۲۰۱۸-۱۸۹۶)

Fig. 8: Distribution of severe storm events in October, November, and December during solar cycles 22, 23, and 24 (2018-1896)

کمتر بوده است. همچنین رابطه‌ای معکوس میان تعداد لکه‌های خورشیدی و فراوانی توفان‌های تندری وجود دارد. به طوری که در هر سه چرخه خورشیدی کمترین تعداد توفان‌های تندری در میانه سیکل و بالاترین تعداد رخداد توفان تندری در سال‌های ابتدایی یا انتهایی سیکل رخ داده است. در بررسی توزیع زمانی، بیشترین تعداد رخدادها در سال‌هایی از چرخه خورشیدی ۲۳ گزارش شده که بیانگر

نتیجه‌گیری

یافته‌های اصلی این تحقیق را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد. از منظر زمانی، تحلیل فراوانی وقوع توفان‌های تندری در چرخه‌های خورشیدی ۲۲ تا ۲۴ بیانگر تفاوت‌های معناداری در میزان رخداد این پدیده بین چرخه‌های مذکور است. نتایج نشان می‌دهند که فراوانی توفان‌های تندری در چرخه خورشیدی ۲۲ نسبت به دو چرخه بعدی (۲۳ و ۲۴)

از آن می‌باشد. در فصل پاییز و زمستان به ترتیب ۲۴ و ۲۹ درصد از رخدادها گزارش شده است. توفان‌های تندری در بخش جنوب غربی ایران بدلیل ویژگی‌های ترمودینامیکی سامانه‌های ورودی از سمت جنوب پدیده‌ای لاینفک این سامانه‌ها می‌باشد. این سامانه‌ها عموماً همراه با پدیده‌های مخربی همچون رعد و برق، صاعقه و بادهای شدید همراه هستند. با توجه به روند رو به افزایش این پدیده در سه سیکل خورشیدی اخیر، آگاهی کاربران و نهادهای متأثر از این پدیده مانند خلبانان، رانندگان ناوگان حمل و نقل زمینی و دریایی و کشاورزان 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 بر حمل و نقل جاده‌ای و دریایی و محصولات کشاورزی و سازه‌های شهری مؤثر باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از هیچ سازمان یا ارگانی کمک مالی دریافت نکرده‌اند.

تأثیر قابل توجه فعالیت خورشیدی بر وقوع این پدیده است. برای مثال، در این چرخه بیشترین رخدادها در سال ۲۰۰۶ (انتهای چرخه) و کمترین آن‌ها در سال ۲۰۰۰ (نزدیک سال‌های ابتدایی چرخه) ثبت شده است. در مجموع در دوره آماری ۳۳ ساله بالاترین رخداد مربوط به سال ۲۰۰۶ و کمترین رخداد توفان تندری در سال ۱۹۹۰ گزارش شده است. به لحاظ توزیع ماهانه بیشترین تعداد توفان تندری مربوط به ماه آوریل و نوامبر و کمترین رخداد توفان تندری از ماه سپتامبر گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین فعالیت‌های توفان‌های تندری در جنوب غرب ایران در فصل بهار و زمستان رخ می‌دهد، درحالی که در فصل پاییز و تابستان نیز فعالیت‌های قابل توجهی به ثبت رسیده است. با این وجود، توفان‌های تندری می‌توانند در تمام طول سال اتفاق بیفتند. در واقع توزیع فصلی نشان می‌دهد که در فصل بهار حدود ۴۱ درصد از مجموع گزارش‌های توفان‌های تندری ثبت شده است که این امر به دلیل افزایش ناپایداری جوی همراه با دما و پتانسیل رطوبت فرستی دریاها می‌باشد. در مقابل، فصل تابستان با تنها ۸ درصد از رخدادها کمترین فعالیت توفانی را نشان می‌دهد که بدلیل لبه‌الگوی تابستانه و پایداری‌های دینامیک حاصل

پانویس

- 1-Solar cycle
- 3-Inverse Distance Weighted
- 4-Monsoon

- 2-www.sidc.be
- 5-Anticyclone

References

- Adelekan, I.O., 1998. Spatio-temporal variations in thunderstorm rainfall over Nigeria. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 18(11), p. 1273-1284
- Azizi, Q., Garami, M.S. and Sharifi, L., 2017. Spatial analysis of thunderstorm events across Iran. *Journal of Applied Research in Geographic Sciences*, v. 17(47), p. 243-259 (In Persian).
- Alijani, B., 2003. *Climate of Iran* (11th ed.). Payame Noor University Press. (In Persian).
- Asakereh, H. and Razmi, R., 2011. Climate analysis of precipitation in northwest Iran. *Geography and Development*, v. 9(25), p. 137-158 (In Persian).
- Barry, R.G. and Hall-McKim, E.A., 2014. *Essentials of the Earth's climate system*. Cambridge University Press.
- Dai, A., 2001. Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part I: Seasonal and

interannual variations. *Journal of climate*, v. 14(6), p. 1092-1111.

Ding, Q., Wang, Y. and Zhuang, D., 2018. Comparison of the common spatial interpolation methods used to analyze potentially toxic elements surrounding mining regions. *Journal of environmental management*, v. 212, p. 23-31.

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]

Ghavidel Rahimi, Y., Baghbanan, P. and Farajzadeh Asl, M., 2014. Spatial analysis of the risk of spring thunderstorms in Iran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, v. 1(3), p. 59-70 (In Persian).

Galanaki, E., Lagouvardos, K., Kotroni, V., Flaounas, E. and Argiriou, A., 2018. Thunderstorm

climatology in the Mediterranean using cloud-to-ground lightning observations. *Atmospheric Research*, v. 207, p. 136-144.

Gerami, M.S., Karimi, M., Azizi, G. and rafati, S., 2022. synoptic analysis of precipitation and Widespread spring thunderstorm in North - West Iran. *Physical Geography Research*, v. 54(1), p. 95-110 (In Persian).

Iran Statistics Center., 2016. Statistical data and information. Retrieved from www.amar.org.ir (In Persian).

Loginov, V.F., Volchek, A.A. and Shpoka, I.N., 2010. Estimation of the role of various factors in the thunderstorm formation on the territory of Belarus. *Russian meteorology and Hydrology*, v. 35, p. 175-181.

Lashkari, H., Yarmoradi, Z. and Mousavi, H., 2016. Statistical and synoptic analysis of thunderstorm events in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. *Quarterly Journal of Geography and Environmental Studies*, v. 5(18), p. 135-151 (In Persian).

Lashkari, H. and Aghasi, N., 2013. Synoptic analysis of thunderstorm events in Tabriz during the period (1996-2005). *Geography and Planning*, v. 17(45), p. 203-234 (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*, v. 35(46), p. 1-18. [In Persian]

Lashkari, H., Mohammadi, Z., Naji, M. and 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*, v. 56(4), p. 89-106. doi: 10.22059/jphgr.2025.387701.1007864 (In Persian).

Lashkari, H. and Hojjati, Z., 2012. Synoptic-dynamic analysis of thunderstorm storms in the southwest of the country. *Sepehr Geographical Information Quarterly*, v. 21(82), p. 14-21 (In Persian).

Masoompour Samakosh, J., Taheri, F., Koushki, S. and Tazark, M., 2022. The impact of large-scale

synoptic systems on the widespread occurrence of thunderstorms in western and northwestern Iran. *Climatology Research*, v. (51), p. 147-162 (In Persian).

Masoompour Samakosh, J. and Fajad, A., 2016. Thermodynamic-statistical Analysis of Thunderstorms in Iran. *Journal of Geography and Regional Development*, v. 13(2), p. 227-248 (In Persian).

Mohammadi, Z. and 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*, v. 50(3), p. 491-509 (In Persian).

Mirshafiee, A.A., Bazgir, S. and Azizi, Q., 2024. Evaluation of accuracy measurement statistics and their proper use (Case study: Precipitation interpolation in Fars province). *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, v. 11(2), p. 117-136 (In Persian).

Pinto Jr, O., Pinto, I.R.C.A. and Ferro, M.A.S., 2013. A study of the long-term variability of thunderstorm days in southeast Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 118(11), p. 5231-5246.

Pizzuti, A., Soula, S., Mlynarczyk, J., Bennett, A. and Fullekrug, M., 2020. Analysis of sprite events during small-scale winter thunderstorms in northern Europe. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 20065.

Tafferner, A., Forster, C., Hagen, M., Keil, C., Zinner, T. and 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*, v. 101, p. 211-227.

Taszarek, M., Allen, J.T., Groenemeijer, P., Edwards, R., Brooks, H.E., Chmielewski, V. and 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*, v. 33(23), p. 10239-10261.