

Spatiotemporal Analysis of Atmospheric Hazards in Arid and Hyper-Arid Regions: A Case Study of Yazd Province

M.R. Shirgholami^{1*}, H. Ajdari Yazdi²

1. Ph.D. of Climatology, Head of Applied Meteorology Development Group, Yazd Meteorological Office, Yazd, Iran.
 2. Statistics and data control expert, Yazd Meteorological Office, Yazd, Iran.
- * Corresponding Author: mrshirgholami@yahoo.com

Received date: 23/09/2024

Accepted date: 26/10/2024

 [10.22034/JDMAL.2024.2041781.1483](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2041781.1483)

Abstract

With the intensification of global warming, extreme weather events have become a critical global concern. However, the sensitivity of different geographical regions to climate change varies significantly. This study examines the temporal and spatial variations of extreme meteorological events in Yazd Province, Iran, using data from the province's meteorological stations over the period 2004–2023. Ten major meteorological hazards were identified and categorized into two groups: (1) phenomenon-based hazards and (2) temperature- and precipitation-based hazards. Spatial distribution maps of these hazards were generated and analyzed using GIS software, and temporal trends over the study period were assessed. Finally, by integrating all identified hazards, a comprehensive risk map was developed to evaluate the vulnerability of different areas to extreme weather events. The results indicate that the central and northern regions of Yazd Province are the most vulnerable, whereas the southern and western areas experience the lowest frequency of meteorological hazards. Among all examined locations, the Meybod synoptic station was identified as the most hazardous. Additionally, the findings reveal that temperature-related hazards exhibit more pronounced trends than other types of hazards. Specifically, the number of frost days and cold waves has declined, while the frequency of heat waves has increased significantly, particularly in recent years, underscoring the severe impact of global warming on Yazd Province. These findings provide valuable insights for disaster risk management and the prioritization of mitigation strategies based on regional vulnerability levels.

Keywords: Extreme Events; Atmospheric Hazards; Global Warming; Interpolation

How to cite this article

Shirgholami, M.R., Ajdari Yazdi, H. (2024). Analyzing the spatiotemporal distribution of atmospheric hazards in arid and hyper arid regions (case study: Yazd province). *Desert Management*, 12(4), 21-40. DOI: [10.22034/JDMAL.2024.2041781.1483](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2041781.1483)



Extended Abstract

Introduction

Greenhouse gas emissions from human activities have reached their highest historical levels and have had widespread effects on the climate system (18). The most immediate and evident consequence of climate change is global warming. Global warming has led to an increase in the frequency, intensity, duration, and spatial extent of extreme weather events. However, the rate of warming is not uniform across the globe. Some regions experience more pronounced climatic changes, while others are less affected (6). Additionally, as global warming continues, the frequency and intensity of climatic hazards are expected to rise in the future (46, 1). It should be noted that climate change can significantly impact various aspects of human life, including water resource management, agriculture, health, ecosystems, biodiversity, energy, and transportation (40, 7). These effects are further exacerbated by factors such as population growth and urbanization, leading to increased competition and demand for natural resources (46). Yazd Province has suffered considerable damage due to climate change, particularly in terms of water shortages and extreme heat. Climate change and extreme events, especially in arid and hyper-arid climates like Yazd Province, can have disastrous consequences due to their sensitive and fragile ecosystems (43). Therefore, understanding these changes is crucial for effectively addressing their future consequences. The purpose of the present research is to investigate the spatial and temporal distribution of climatic hazards in Yazd Province using meteorological station data.

Material and Methods

Yazd Province, covering an area of 73,756 km², is located in the central part of the Iranian Plateau and accounts for 4.5% of Iran's total area. The province lies between latitudes 29°48' to 33°30' north and longitudes 52°45' to 56°30' east (Fig. 1a). A small portion of the province consists of highlands, with only about 2% of its area situated at an altitude exceeding 2,500 meters (Fig. 1b). Meanwhile, more than 19% of Iran's desert areas are located within Yazd Province. For this research, data from meteorological stations in Yazd Province covering a 20-year period from 2004 to 2023 were analyzed. In the first stage, 10 significant and widespread climatic hazards were identified through data processing, including dust, dust storms, thunderstorms, fog, heavy snow, heavy rain, extreme rain, frost, heat waves, and cold waves. These hazards were subsequently categorized into two groups. The first category, phenomenon-based hazards, included dust, dust storms, thunderstorms, fog, and heavy snow. The frequency of these hazards was determined using SYNOP data from 10 synoptic stations in the study area, based on current weather codes (WW). The second category encompassed hazards such as heavy rain, extreme rain, frost, heat waves, and cold waves, whose frequency was calculated using temperature and precipitation data and appropriate formulas for each hazard (Table 1). At this stage, in addition to synoptic station data, information from 8 climatology stations and 59 rain stations was also utilized. After computing the annual frequency of each hazard, the inverse distance weighting (IDW) method was applied to generate spatial distribution maps.

Results

Among the investigated hazards, frost and dust were the most frequently occurring phenomena, while extreme events such as dust storms and heavy snow were the least frequent. The highest frequency of phenomenon-based hazards was observed in the central and northern regions of the study area, whereas the lowest frequency was recorded in the southern regions (Fig. 2 to Fig. 5). The only exception was heavy snow, which had the highest frequency in mountainous and high-altitude areas (Fig. 6). Additionally, the greatest number of frost days was recorded in the mountainous areas of Shirkooh (Fig. 9). The spatial distribution of extreme rain and heavy rain showed similar patterns, with both having their highest frequency in mountainous regions; however, extreme rain events were less frequent than heavy rain events (Fig. 7 and Fig. 8). The highest frequency of heat waves occurred in the southern and western regions of Yazd Province, while cold waves exhibited a non-uniform distribution across the province (Fig. 10 and Fig. 12). The results also indicate that temperature-related hazards have exhibited more significant trends compared to other hazards. Specifically, the number of frost days and cold waves has decreased, while heat waves have increased, particularly in recent years, highlighting the strong influence of global warming in Yazd Province (Fig. 11). Overall, the combined zoning of atmospheric hazards indicates that the highest frequency was recorded at the synoptic station of Meybod, whereas the least hazardous areas were associated with the stations in Herat, Abarkooh, and Mehriz (Fig. 13).

Discussion and Conclusion

Yazd Province, which has the lowest annual rainfall in Iran and an arid to hyper-arid climate, is among the most vulnerable regions to climate change. It is highly exposed to various extreme weather events and climate-related hazards. Therefore, understanding the spatial and temporal patterns of climate hazards is crucial. However, no comprehensive study has been conducted on climatic hazards in Yazd Province, and previous research has only assessed certain hazards on a case-by-case basis (10, 33). For instance, one study determined that the highest frequency of frost days among synoptic stations in Yazd Province between 2005 and 2011 was recorded at Garizat station, while the lowest was observed at Aqda station (10). Another study, using aerosol optical depth (AOD) data, indicated that the central and northern regions of Yazd

Province are the most affected by dust storms (34). Additionally, research based on MODIS snow cover data revealed a decreasing trend in snow-covered days in Shirkuh Mountain (35). A key distinction and advantage of the present study over previous research is its utilization of the maximum possible number of stations, including all available synoptic, climatological, and rain gauge stations, for analyzing each hazard. The findings of this study can assist policymakers and crisis management planners in developing preventive measures to mitigate the impacts of climate-related disasters. Furthermore, identifying the spatial and temporal distribution of extreme weather events and forecasting their future occurrence will be crucial for devising adaptation strategies to cope with extreme climatic conditions.

Keywords: Extreme Events; Atmospheric Hazards; Global Warming; Interpolation

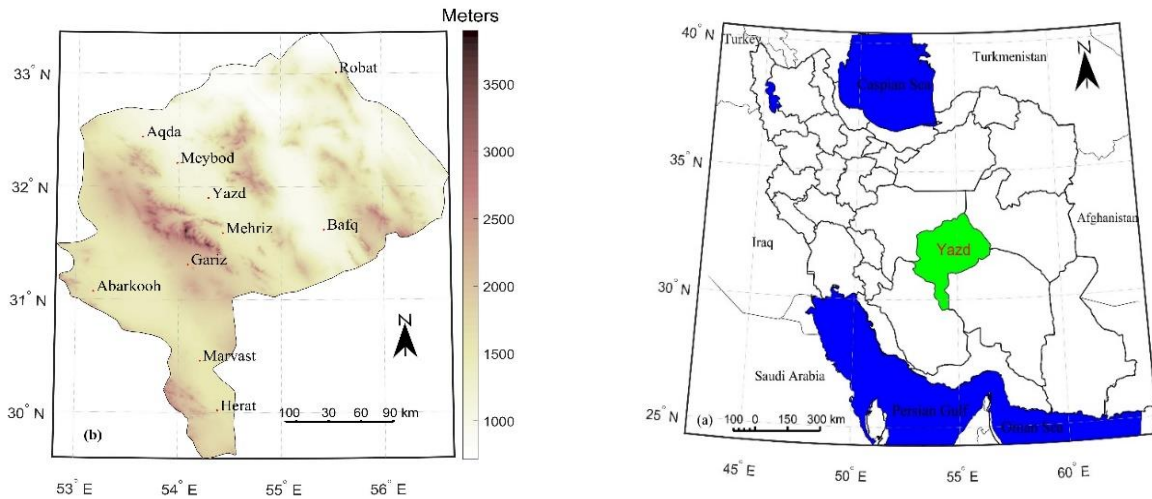


Fig 1. Location of the study area (a) the digital elevation model (DEM) (b)

Table 1. Studied Hazards and Methods for Calculating Their Frequency

row	Hazard	Method of calculating frequency
1	Dusty days	Codes 06 to 09
2	Dust storms	Codes 30 to 35
3	Thunderstorm	Codes 92 to 99
4	Fog	Codes 40 to 49
5	Heavy snow	Codes 73 to 75
6	Heavy precipitation	90th percentile of daily precipitation
7	Extreme precipitation	95th percentile of daily precipitation
8	Frost	$T_{min} \leq 0 \text{ }^\circ\text{C}$ from October to May
9	Heat waves	$T_{max} \geq 95\text{th percentile}$ for 3 or more days from June to September
10	Heat waves	$T_{min} \leq 5\text{th percentile}$ for 3 or more days from November to March

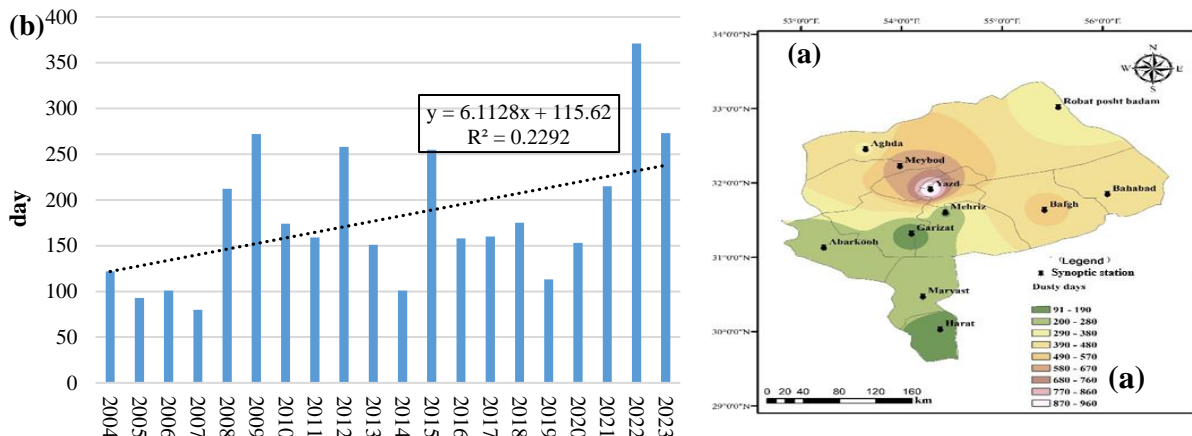


Fig 2. Distribution of dusty days in Yazd province from 2004 to 2023, shown spatially (a) and temporally (b)

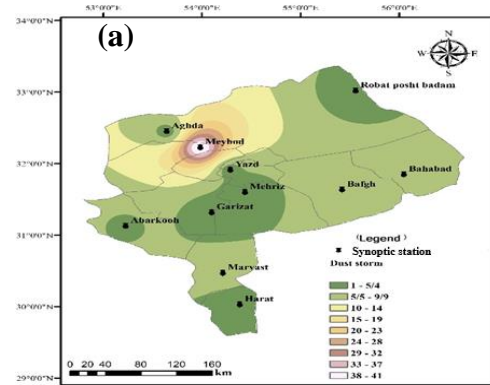
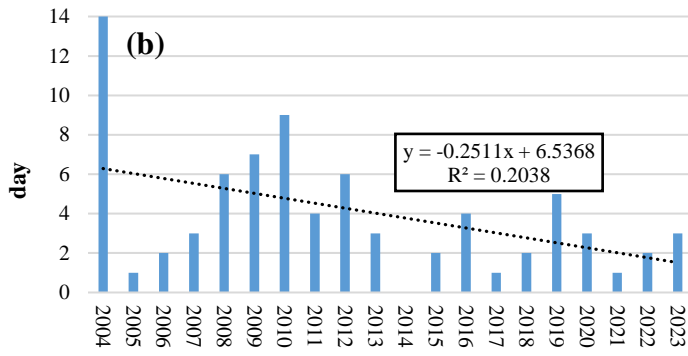


Fig 3. Distribution of dusty days in Yazd province from 2004 to 2023, shown spatially (a) and temporally (b)

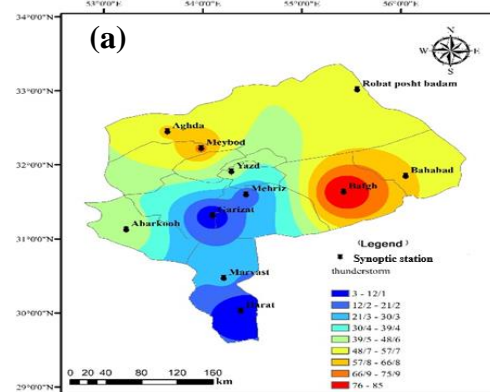
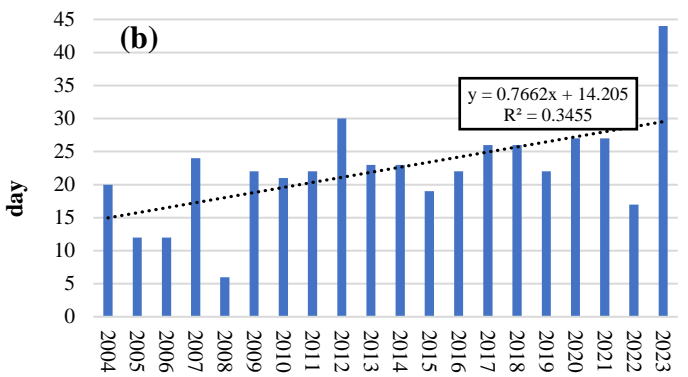


Fig 4. Distribution of thunderstorm days in Yazd province from 2004 to 2023: spatial (a) and temporal (b)

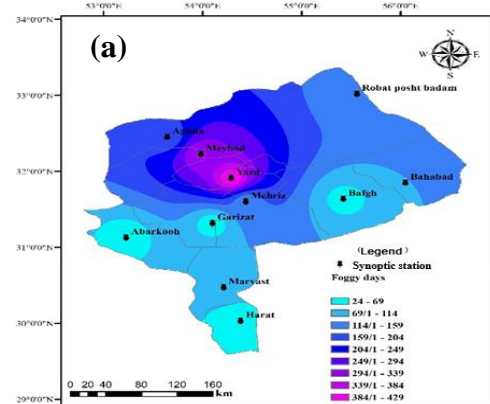
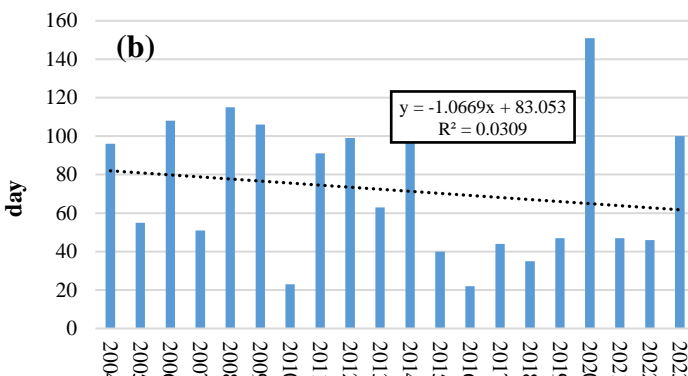


Fig 5. Spatial (a) and temporal (b) distribution of foggy days in Yazd province from 2004 to 2023

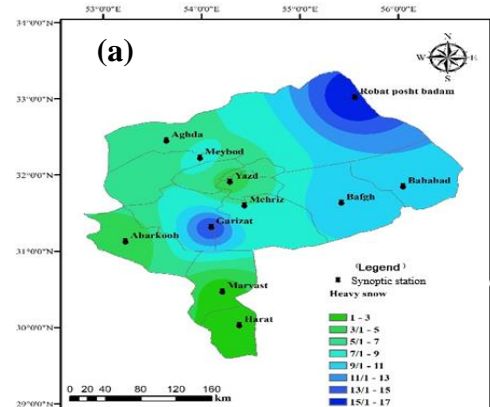
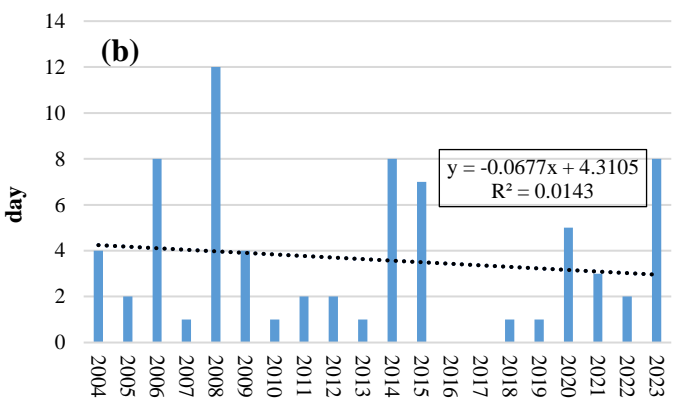


Fig 6. Distribution of heavy snow days in Yazd province from 2004 to 2023, shown spatially (a) and temporally (b)

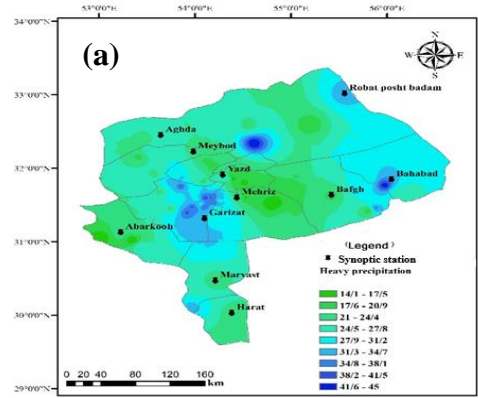
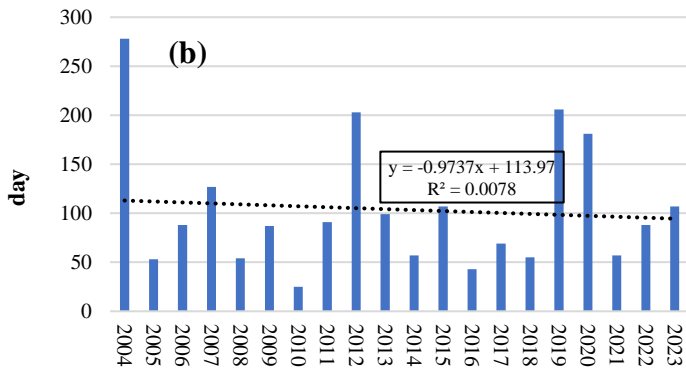


Fig 7. Distribution of heavy precipitation days in Yazd province from 2004 to 2023, displayed spatially (a) and temporally (b)

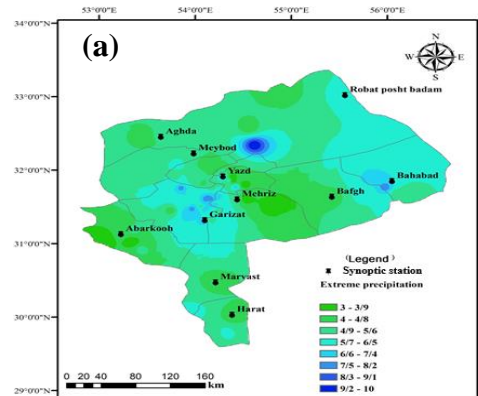
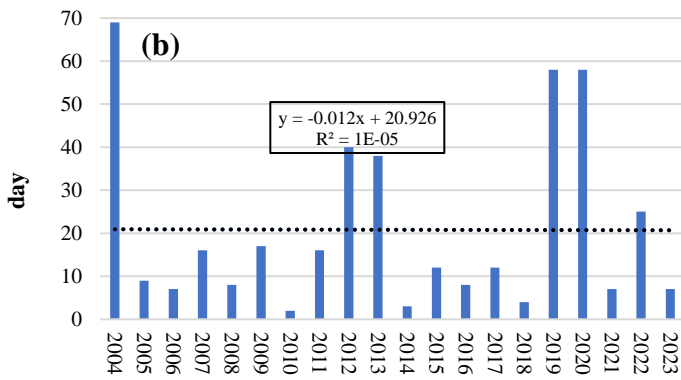


Fig 8. Spatial (a) and temporal (b) distribution of extreme precipitation days in Yazd province from 2004 to 2023

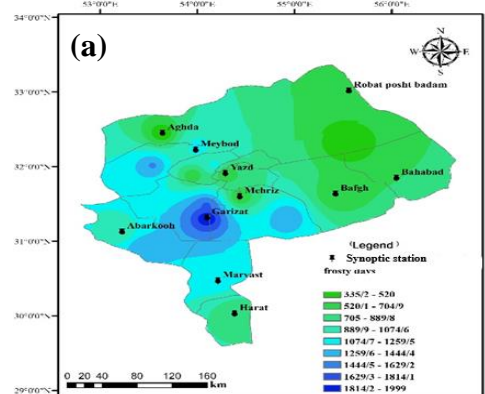
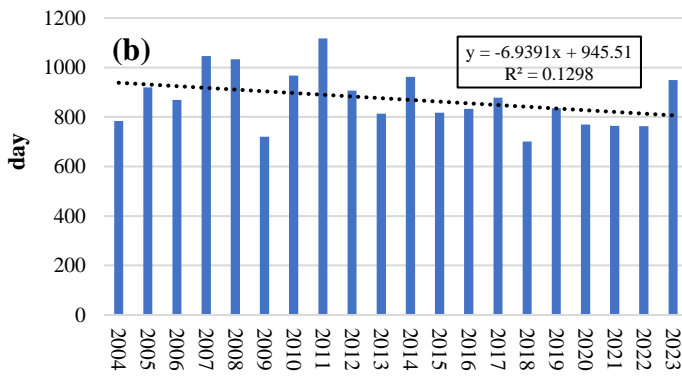


Fig 9. Distribution of frost days in Yazd province from 2004 to 2023: spatial (a) and temporal (b)

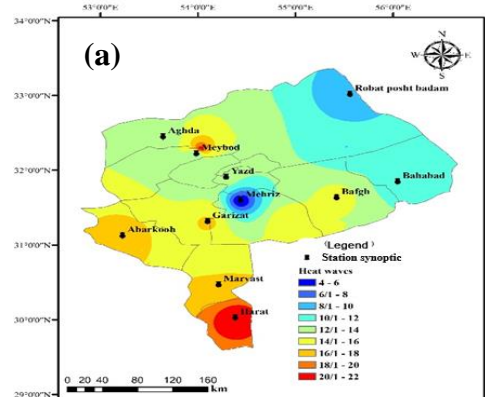
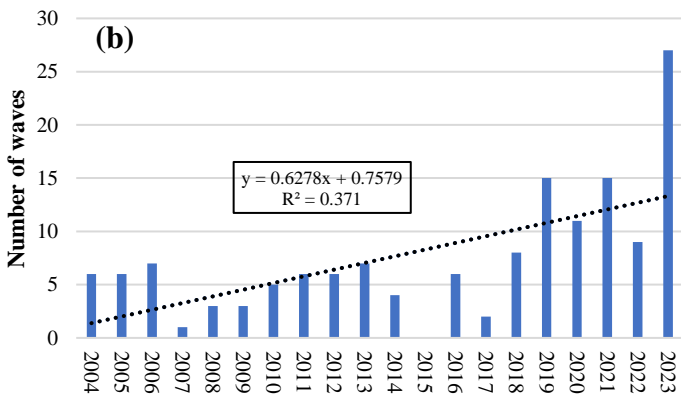


Fig 10. Spatial (a) and temporal (b) distribution of heat waves in Yazd province from 2004 to 2023

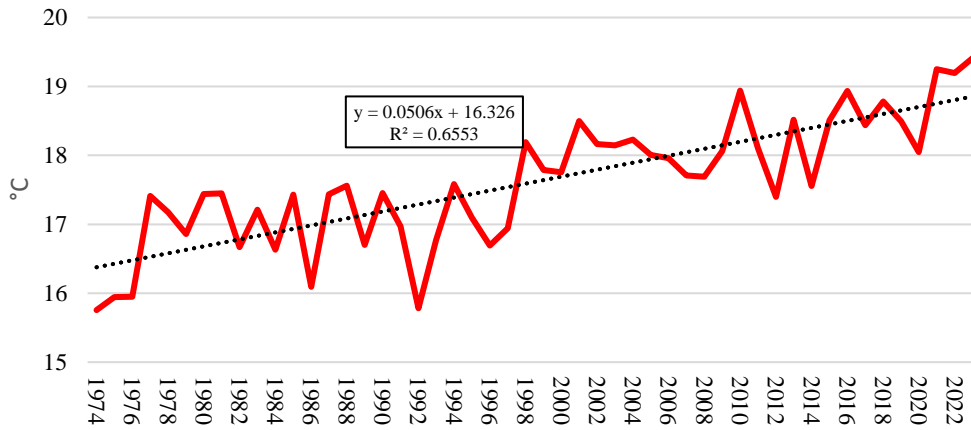


Fig 11. Mean annual temperature of Yazd province (2004 - 2023)

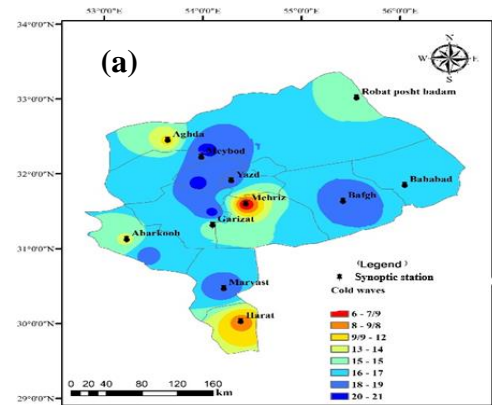
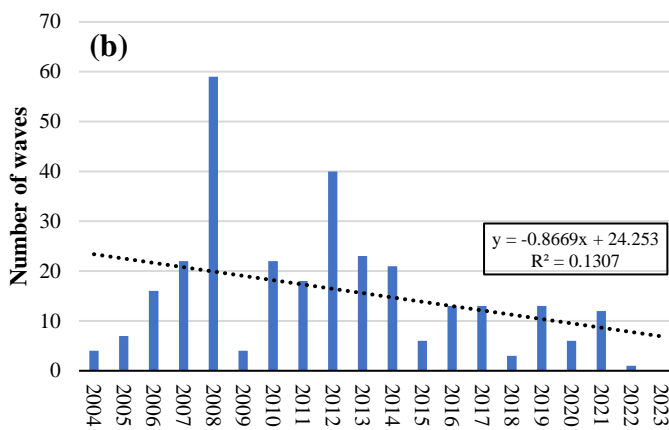


Fig 12. Distribution of cold waves in Yazd province from 2004 to 2023: spatial (a) and temporal (b)

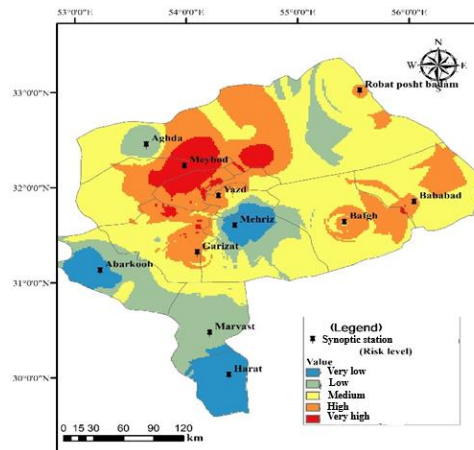


Fig 13. Spatial distribution of combined hazards in Yazd province from 2004 to 2023



واکاوی توزیع مکانی زمانی مخاطرات جوی در مناطق خشک و فراخشک (بررسی موردی: استان یزد)

محمد رضا شیرغلامی^{۱*}، حمید اژدری یزدی^۲

۱. دکتری آب و هواشناسی - رییس گروه توسعه هواشناسی کاربردی، اداره کل هواشناسی یزد، یزد، ایران.

۲. کارشناس نرم افزار کامپیوتر، کارشناس آمار و کنترل داده‌های هواشناسی، یزد، ایران.

* نویسنده مسئول: mrshirgholami@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۵

doi [10.22034/JDMAL.2024.2041781.1483](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2041781.1483)

چکیده

با توجه به گرمایش جهانی، رویدادهای فرین آب و هوایی به موضوع مهمی در سطح جهان تبدیل شده‌است. اگرچه مناطق مختلف جغرافیایی حساسیت‌های متفاوتی نسبت به تغییرات آب و هوایی دارند. بنابراین، تغییرات زمانی و مکانی رویدادهای فرین جوی در استان یزد بر اساس داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود در استان و در بازه زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۴ (۱۳۸۲-۱۴۰۲) مورد واکاوی قرار گرفت. در پژوهش حاضر ۱۰ مخاطره جوی اصلی استان شناسایی و به دو دسته مخاطرات پدیده محور و مخاطرات مبتنی بر دما و بارش طبقه‌بندی شد. پس از آن نقشه‌های توزیع مکانی این ۱۰ مخاطره در محیط GIS، تهیه و مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین روند تغییرات این رویدادهای فرین در طول دوره مذکور بررسی شد. در پایان با استفاده از ترکیب تمام مخاطرات، نقشه‌ای جامع از میزان خطرپذیری مناطق مختلف در برابر رویدادهای فرین جوی تهیه شد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که مناطق مرکزی و شمالی استان یزد از بیشترین میزان خطرپذیری برخوردار هستند در حالی که مناطق جنوبی و غربی دارای کمترین وقوع مخاطرات آب و هوایی بودند. از مجموع تمام مخاطرات مورد بررسی، ایستگاه همدیدی میبد پرمخاطره‌ترین ایستگاه شناخته شد. علاوه بر این، نتایج بررسی بیانگر آن است که مخاطرات مرتبط با دما از روندهای ملموس‌تری نسبت به دیگر مخاطرات برخوردار هستند. به‌گونه‌ای که تعداد روزهای یخبندان و تعداد موج‌های سرمای دارای روند کاهشی و موج گرما دارای روند افزایشی محسوسی به‌ویژه در سالیان اخیر بوده‌اند که این امر نشان‌دهنده تأثیر شدید پدیده گرمایش جهانی در استان یزد است. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در زمینه مدیریت بلایای جوی و اولویت‌بندی مناطق مختلف بر پایه میزان خطر و آسیب‌پذیری هر منطقه به‌کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: رویداد فرین؛ مخاطرات جوی؛ گرمایش جهانی؛ درون‌یابی

استناد به این مقاله

شیرغلامی، محمد رضا، اژدری یزدی، حمید. (۱۴۰۳). واکاوی توزیع مکانی زمانی مخاطرات جوی در مناطق خشک و فراخشک

(مطالعه موردی: استان یزد). مدیریت بیابان، ۱۲(۴)، ۴۰-۲۱. DOI: [10.22034/JDMAL.2024.2041781.1483](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2024.2041781.1483)



■ مقدمه

انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی در بیشترین سطح تاریخی خود قرار دارد و تأثیر گسترده‌ای بر سامانه اقلیم داشته است (۱۸). و از آنجا که گازهای گلخانه‌ای با تأثیر بر تعادل بین تابش ورودی خورشید و تابش مادون قرمز خروجی، بودجه انرژی زمین را افزایش می‌دهند، در نهایت منجر به گرمایش جهانی می‌شوند (۲۵). گرمایش جهانی موجب افزایش و گسترش رویدادهای فرین آب و هوایی از نظر شدت، فراوانی، مدت زمان و دامنه تأثیر آنها شده است. در بسیاری از نقاط جهان، شدت و فراوانی دماهای فرین بالا از سال ۱۹۵۰ افزایش یافته است. با این حال، تغییرات آب و هوایی در سراسر جهان یکسان عمل نمی‌کند زیرا سامانه اقلیم در مقیاس منطقه‌ای یا محلی متفاوت است. برخی از مناطق جهان، با افزایش شدت و فراوانی رخدادهای حدی، تغییرات چشم‌گیرتری را در آب و هوا تجربه می‌کنند، در حالی که دیگر مناطق ممکن است تغییرات کمتری را مشاهده کنند (۶). انتظار می‌رود که با ادامه گرمایش جهانی، فراوانی و شدت مخاطرات آب و هوایی در آینده نیز افزایش یابد. مدل‌های اقلیمی بخشی از افزایش پیش‌بینی شده در شدت و فراوانی بلایای طبیعی را به انتشارات انسانی و تغییرات در کاربری و پوشش زمین، مانند جنگل‌زدایی گسترده و شهرنشینی، نسبت می‌دهند (۱، ۴۶). به‌طور برجسته‌تر، احتمال رخدادهای فرین مرکب، رویدادهایی که در آن دو یا چند رویداد اقلیمی به‌طور همزمان یا متوالی با اثرات شدید رخ می‌دهند، در حال افزایش است. از جمله این رویدادها می‌توان به شرایط خشکسالی و موج گرمایی همزمان یا ترکیبی از موج طوفان و سیل ناشی از توفان در مناطق ساحلی اشاره کرد. خشکسالی، موج‌های گرمایی، آتش‌سوزی‌ها و سیل‌ها بیشتر از برهم کنش بین فرآیندهای فیزیکی مختلف ناشی می‌شوند که به‌طور مجزا ممکن است شدید تلقی نشوند، اما وقتی باهم ترکیب می‌شوند تأثیرهای قابل توجهی را به همراه دارند (۴۷). رویدادهای فرین دمایی از جمله مهم‌ترین بلایای طبیعی هستند و تأثیرهای اجتماعی-اقتصادی زیادی بر بشر دارند (۱۶). به‌طور کلی انتظار می‌رود که زیر تأثیر گرمایش جهانی رویدادهای فرین گرم افزایش و رویدادهای فرین سرد کاهش یابد، اگرچه این موضوع بدون ابهام نیست، و شواهدی دال بر

افزایش رویدادهای سرد در برخی مناطق دنیا وجود دارد (۳۱). ارزیابی تأثیر گرمایش جهانی در آینده حاکی از آن است که میانگین دمای سالانه جهانی بر اساس سناریو RCP8.5 تا سال ۲۰۲۶ نسبت به دوره ۱۸۶۱-۱۸۹۰ به مقدار 1.5°C و تا سال ۲۰۴۰، 2°C افزایش می‌یابد. افزایش دما همچنین فراوانی، شدت و مدت زمان امواج گرمایی و خشکسالی را افزایش داده است (۴۱، ۱۲). علاوه بر این پیش‌بینی می‌شود امواج گرمایی در قرن آینده نیز همچنان افزایش یابد (۱۱). پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی حاکی از این است که تعداد امواج گرمایی با هر یک درجه افزایش دما، در سراسر مناطق استوایی بیش از ۳۰ روز و در عرض‌های جغرافیایی متوسط و بالا، ۱۰ تا ۱۵ روز افزایش می‌یابد (۲۸). نتایج یک مطالعه در هند نشان می‌دهد که دو روز افزایش در مدت زمان موج گرما، احتمال مرگ و میر ناشی از گرمای شدید را بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۶ تا ۷۸٪ افزایش می‌دهد (۲۱).

یکی دیگر از پیامدهای گرمایش جهانی، رخداد بارش‌های فرین می‌باشد. درک ویژگی‌های مکانی رویدادهای بارشی فرین به دلیل تأثیرات اجتماعی قابل توجه آن‌ها و همچنین به دلیل تغییر ویژگی‌های آن‌ها با افزایش دما در دهه‌های اخیر بسیار حائز اهمیت است (۳۹). واکاوی بارش‌های فرین در مناطق خشک و مرطوب جهان بیانگر آن است که میانگین بارش‌های فرین روزانه در هر دو رژیم خشک و مرطوب افزایش معنی‌داری را هم در مقادیر دیدبانی و هم در شبیه‌سازی‌های مدل در شش دهه گذشته نشان می‌دهد (۸). پیش‌بینی‌های اقلیمی برای ادامه قرن جاری نیز نشان می‌دهد که تشدید بارش‌های فرین روزانه ادامه خواهد داشت و به نوبه خود، رویدادهای بارش شدیدتر خطر سیل و رانش زمین ناشی از بارندگی را تشدید می‌کند (۱۳). از طرف دیگر، همزمان با افزایش بارش‌های فرین، شدت خشکسالی نیز طی چند دهه گذشته افزایش یافته است و سناریوهای اقلیمی آینده حاکی از افزایش فراوانی خشکسالی‌های شدید، حتی در زیست‌بوم‌های مرطوب است (۲۶، ۲۷). مخاطره جوی دیگری که به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک از فراوانی بالایی برخوردار است، طوفان شن و گرد و غبار می‌باشد. این پدیده به شدت به تغییرات آب و هوایی وابسته بوده و عوامل مرتبط با تغییرات اقلیمی مانند تشدید خشکسالی‌ها، رخداد بیشتر فرسایش

کشاورزی، سلامت انسان، تقاضا و تولید انرژی، حمل و نقل، زیست‌بوم و تنوع زیستی داشته باشد (۷، ۴۰). این تأثیرات احتمالاً توسط عوامل دیگری مانند رشد سریع جمعیت منطقه‌ای و شهرنشینی تشدید می‌شود که به ناچار تقاضا و رقابت برای منابع طبیعی را افزایش می‌دهد (۴۶). استان یزد نیز طی سه دهه گذشته روند شتابان شهرنشینی، صنعتی‌شدن و به تبع آن مهاجرت داشته‌است. از این‌رو پیش‌بینی می‌شود استان یزد آسیب‌های بسیار زیادی را از پیامدهای تغییرات آب و هوایی، به ویژه گرمای شدید و کمبود منابع آب متحمل شود. بنابراین تغییرات آب و هوایی به ویژه در اقلیم‌های خشک و فراخشک مانند استان یزد به دلیل زیست‌بوم حساس و شکننده می‌تواند پیامدهای فاجعه باری را به دنبال داشته باشد (۴۳). در نتیجه، شناخت این تغییرات جهت مواجهه با پیامدهای آن در آینده و اتخاذ تصمیم‌های مناسب بسیار راهگشا خواهد بود. تاکنون پژوهش‌های جامعی در مورد بررسی مخاطرات اقلیمی در استان یزد صورت نگرفته است و تنها برخی از مخاطرات، به صورت موردی ارزیابی شده است (۱۰، ۱۳). براین اساس هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی توزیع مکانی و زمانی مخاطرات اقلیمی در استان یزد با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی واقع در ناحیه مورد مطالعه می‌باشد. وجه تمایز و برتری پژوهش حاضر نسبت به مطالعات پیشین، استفاده از بیشترین ایستگاه‌های ممکن در بررسی هر مخاطره می‌باشد. انتظار می‌رود پژوهش حاضر درک تغییرات آب و هوایی و نیز مخاطرات آب و هوایی مرتبط با آن را در استان یزد و مناطق مرکزی ایران بسط و گسترش دهد، که این امر می‌تواند به توسعه راهکارهای سازگاری به منظور کاهش اثرات مخاطرات آب و هوایی کمک کند.

■ مواد و روش

منطقه مورد بررسی

استان یزد در مرکز ایران و در عرض $29^{\circ}36'$ تا $33^{\circ}24'$ شمالی و طول $52^{\circ}45'$ تا $56^{\circ}42'$ شرقی قرار گرفته است (شکل ۱ الف). استان یزد با 73756 km^2 وسعت، هشتمین استان پهناور کشور و با 1252200 نفر جمعیت، بر اساس آمار رسمی سال ۱۴۰۰، بیست و چهارمین استان پرجمعیت کشور می‌باشد. استان یزد با میانگین بارش سالانه 86 mm

بادی و رویدادهای فرین آب و هوایی باعث افزایش شدت و فراوانی آن می‌شود (۴۲). بررسی‌های متعددی بیانگر تشدید توفان‌های گرد و غبار در مناطق مختلف جهان، از جمله دشت‌های ایران، عراق و شبه جزیره عربستان، طی دو دهه گذشته می‌باشد (۴۲، ۴۵). فراوانی رویدادهای گرد و غبار در عراق از ۷۵ روز به ۲۰۰ روز در سال بین سال‌های ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۶ افزایش یافته است که به سبب افزایش دما به میزان 2°C و نیز کاهش بارش است (۳).

در مجموع، بررسی نشان می‌دهد که مخاطرات اقلیمی ناشی از رویدادهای فرین در حال تشدید هستند. نتایج پژوهشی در شمال‌غرب چین بیان می‌کند که منطقه مورد بررسی، تغییرات آب و هوایی قابل توجهی را تجربه می‌کند که با افزایش اثرات مخاطره‌های اقلیمی ناشی از تغییرات فرین‌های آب و هوایی همراه است. یافته‌های پژوهش همچنین حاکی از آن است که بیشتر منطقه مورد بررسی، زیر تأثیر تشدید موج‌های گرمایی و طوفان باران به دلیل افزایش چشمگیر دما و شدت بارش می‌باشد (۶). واکاوی مخاطرات جوی در منطقه شمال‌غرب ایران نیز بیانگر آن است که بخش‌های شرق، جنوب‌شرق، مرکز و غرب این منطقه از جهت فراوانی رخداد، پرمخاطره‌ترین مناطق هستند. در حالی که بخش‌های شمال‌شرقی منطقه از کمترین میزان خطرپذیری برخوردارند. همچنین پدیده‌های کولاک، گرد و غبار و طوفان تندی به ترتیب پراهمیت‌ترین مخاطرات منطقه شمال‌غرب ایران می‌باشند و بیشترین فراوانی را به خود اختصاص می‌دهند (۴۴). همچنین واکاوی مخاطرات اقلیمی موثر بر فعالیت‌های نظامی در نیمه جنوبی ایران نشان‌دهنده آن است که مخاطرات آب و هوایی در نیمه جنوبی ایران از توزیع یکنواخت برخوردار نیست. به گونه‌ای که بیشترین رخداد توفان گرد و غبار مربوط به شمال سیستان و بلوچستان است، در حالی که بیشترین بارش سنگین در غرب ناحیه مورد مطالعه رخ داده است. علاوه بر این، مهمترین مخاطره اقلیمی موثر بر فعالیت‌های نظامی در نیمه جنوبی ایران، تنش گرمایی می‌باشد (۲۳).

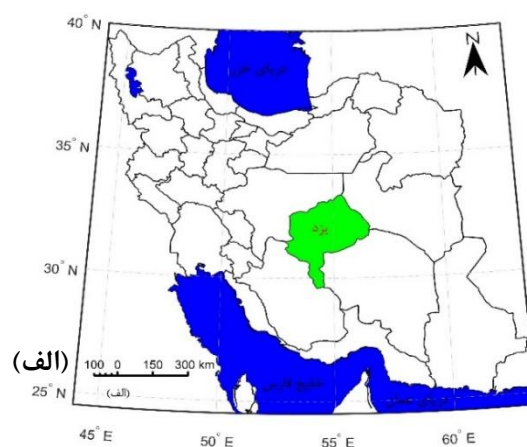
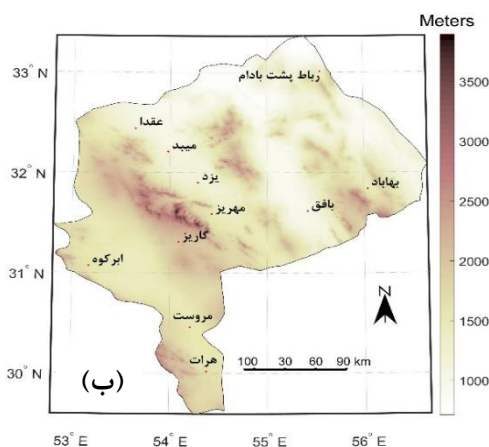
باید توجه داشت که تغییرات قابل‌ملاحظه در شرایط محیطی و اقلیمی می‌تواند تأثیرات شدیدی بر انواع بخش‌ها و فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی از جمله مدیریت منابع آب و

برای محاسبه فراوانی مخاطرات دسته اول از داده‌های سه ساعته ۱۰ ایستگاه همدیدی استان یزد و بر اساس کد هوای حاضر استفاده شد. بر این اساس داده‌های مربوط به ساعت‌های ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲ و ۱۵ بررسی و رخدادهای تکراری در هر روز حذف شد. فراوانی مخاطرات دسته دوم بر اساس داده‌های دما و بارش و بر اساس رابطه متناسب با هر مخاطره محاسبه شد. در این مرحله علاوه بر داده‌های ایستگاه‌های همدیدی، از داده‌های ۸ ایستگاه اقلیم‌شناسی و ۵۹ ایستگاه باران‌سنجی نیز استفاده شد. از مجموع روزهای دارای بارندگی، روزهایی که مقدار بارش مساوی یا بیشتر از صدک ۹۵ و صدک ۹۹ باشد به ترتیب به عنوان روزهای با بارش شدید و بارش فرین تعریف می‌شوند (۹، ۲۲). برای محاسبه فراوانی یخبندان، تعداد روزهایی که در فصل سرد سال، ماه‌های اکتبر تا می، دارای دماهای کمینه روزانه صفر درجه و کمتر از صفر درجه سلسیوس بودند، شمارش شد. برای محاسبه تعداد موج‌های گرمایی و سرمایایی یکی از شاخص‌های رایج، شاخص صدک می‌باشد. دوره‌هایی با دمای بیشتر (کمتر) از یک آستانه از پیش تعیین شده که سه یا چند روز متوالی طول می‌کشد، به عنوان موج گرمایی (سرمایی) تعریف می‌شود (۳۰، ۱۷). در پژوهش حاضر برای برآورد تعداد موج‌های گرمایی، شاخص صدک ۹۵ برای هر ایستگاه و برای ماه‌های گرم سال، ماه‌های جون، جولای، آگوست و سپتامبر (۱۲ خرداد تا ۹ مهر)، به صورت جداگانه محاسبه و دوره‌هایی که دمای بیشینه ایستگاه حداقل سه روز متوالی مساوی یا بیشتر از صدک ۹۵ بود، به عنوان یک موج گرمایی شمارش شد.

کم‌بارش‌ترین استان کشور محسوب شده و از نظر اقلیمی، دارای اقلیم خشک و فراخشک می‌باشد. از علل خشکی استان یزد می‌توان به بارش کم و تبخیر بسیار زیاد اشاره کرد. تنها کمتر از ۲٪ از پهنه استان دارای ارتفاع بیش از ۲۵۰۰m می‌باشد (شکل ۱ب) این در حالی است که بیش از ۱۹٪ از عرصه‌های بیابانی کشور در استان یزد واقع شده است (۳۶، ۱۵).

روش پژوهش

برای انجام پژوهش حاضر از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استان یزد در بازه زمانی ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲) استفاده شد. در ابتدا با پردازش داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، مهمترین و فراگیرترین فرین‌های جوی و مخاطره اقلیمی استان یزد شناسایی شد. رویداد فرین به رویداد نادر و نابهنجاری اطلاق می‌شود که در دنباله توزیع فراوانی و دور از نقطه میانگین توزیع واقع شده است (۲). پس از بررسی‌های لازم، ۱۰ مخاطره مهم و اولویت‌دار استان یزد شناسایی شد که پدیده‌های توفان گرد و غبار، گرد و غبار، توفان تندی، مه، برف سنگین، بارش شدید، بارش فرین، یخبندان، موج‌های گرمایی و امواج سرمایایی را شامل می‌شود. در مرحله بعد مخاطرات مشخص شده به دو دسته تقسیم‌بندی شدند: دسته اول) مخاطرات پدیده محور مانند: گرد و غبار، توفان گرد و غبار، توفان تندی، مه و برف سنگین؛ و دسته دوم مخاطرات و فرین‌های جوی شامل بارش شدید، بارش فرین، یخبندان، موج‌های گرمایی و سرمایایی بودند.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (الف) همراه با مدل رقومی ارتفاع (DEM) (ب)

ساله، بیشترین فراوانی گرد و غبار از ایستگاه‌های یزد، میبد و بافق به ترتیب با ۹۵۶، ۶۴۱ و ۴۹۷ روز و کمترین فراوانی نیز از ایستگاه همدیدی هرات در جنوب استان با ۹۱ روز و پس از آن گاریز واقع در دامنه شیرکوه با ۱۰۸ روز ثبت شد. با توجه به نزدیکی ایستگاه‌هایی مانند یزد و میبد به منابع گرد و غباری، این دو شهر از مناطق بسیار مستعد وقوع مخاطره گرد و غبار هستند. تعداد روزهای توام با گرد و غبار نیز دارای روند صعودی به مقدار بیش از ۶ روز در سال می‌باشد (شکل ۲ب). بیشترین فراوانی توفان گرد و غبار در بازه زمانی مورد مطالعه مربوط به ایستگاه میبد با ۴۱ روز و کمترین فراوانی مربوط به ایستگاه‌های هرات و گاریز با ۲ روز می‌باشد. هنگامی که سرعت باد بیش از ۱۵m/s و دید افقی کمتر از ۱km باشد، این پدیده در هواشناسی به عنوان توفان گردوغبار شناخته می‌شود. با توجه به شکل ۳ب، مشخص می‌شود که روزهای همراه با وقوع توفان گرد و غبار دارای روندی کاهشی است. علاوه بر این تعداد روزهای توام با طوفان در سال‌های مختلف بسیار متفاوت است و از ۱۴ روز در سال ۲۰۰۴ تا بدون طوفان در سال ۲۰۱۴ متغیر است. بیشترین فراوانی طوفان تندی در طول دوره مطالعه در ایستگاه‌های یزد و میبد به تعداد ۸۵ و ۶۸ روز و کمترین فراوانی نیز در ایستگاه‌های هرات و گاریز به میزان ۳ و ۵ روز ثبت شده است (شکل ۴الف). بیشترین فراوانی توفان تندی مربوط به نیمه‌شمالی استان یزد و شهرهای یزد و میبد می‌باشد.

همچنین برای محاسبه تعداد امواج سرمای، دماهای کمینه ماه‌های سرد سال، ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس (۱۱ آبان تا ۱۱ فروردین)، که برابر یا کمتر از صدک ۵ بود و ۳ روز یا بیشتر تداوم داشته باشد، به عنوان یک موج سرمای در نظر گرفته شد. کدهای مربوط به مخاطره‌های پدیده محور و نیز روش محاسبه فراوانی مخاطرات مبتنی بر دما و بارش در جدول ۱ ارائه شده است. پس از محاسبه فراوانی هر یک از مخاطرات جوی در مقیاس سالانه، با توجه به اینکه مقادیر به‌دست آمده مربوط به ایستگاه‌های مختلف به صورت نقطه‌ای بود، به منظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی فراوانی، داده‌های نقطه‌ای به داده‌های سطحی تعمیم داده شد. در پژوهش حاضر به دلیل محدود بودن تعداد ایستگاه‌ها، روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) برای درون‌یابی داده‌ها انتخاب شد (۱۹). وزن‌دهی در روش IDW^۱، مبتنی بر فاصله جفت نمونه‌ها است. بر این اساس به نمونه‌های نزدیک‌تر به نقطه مجهول وزن بیشتری در مقایسه با نمونه‌های دورتر اختصاص می‌یابد (۳۲، ۲۴).

■ نتایج

توزیع مکانی و زمانی روزهای توام با وقوع گرد و غبار در استان یزد در شکل ۲ نمایش داده شده است. بیشترین فراوانی روزهای گرد و غباری در مناطق مرکزی و شمالی استان یزد مشاهده می‌شود (شکل ۲الف). در طول دوره ۲۰

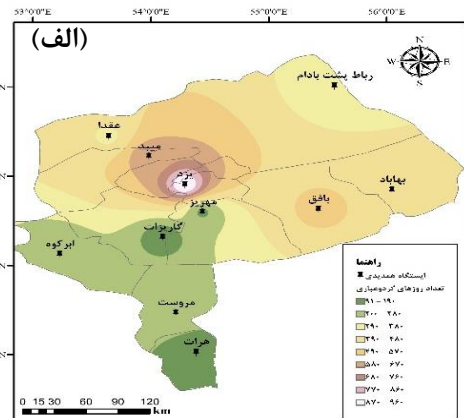
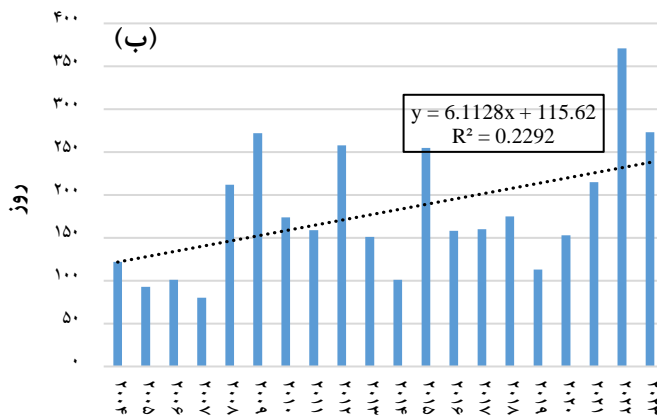
جدول ۱. مخاطرات مورد مطالعه و روش محاسبه فراوانی هر یک

ردیف	مخاطره	روش محاسبه فراوانی
۱	روزهای توام با گرد و غبار	کدهای ۰۶ تا ۰۹
۲	توفان گرد و غبار	کدهای ۳۰ تا ۳۵
۳	توفان تندی	کدهای ۹۲ تا ۹۹
۴	مه	کدهای ۴۰ تا ۴۹
۵	برف سنگین	کدهای ۷۳ تا ۷۵
۶	بارش شدید	صدک ۹۰ بارش‌های روزانه هر ایستگاه
۷	بارش فرین	صدک ۹۵ بارش‌های روزانه هر ایستگاه
۸	یخبندان	دماهای کمینه \geq صفر درجه سلسیوس از ماه اکتبر تا می
۹	موج‌های گرمایی	دمای بیشینه \leq صدک ۹۵ با تداوم ۳ روز یا بیشتر طی ماه‌های ژوئن تا سپتامبر
۱۰	امواج سرمای	دمای کمینه \geq صدک ۵ با تداوم ۳ روز یا بیشتر طی ماه‌های نوامبر تا مارس

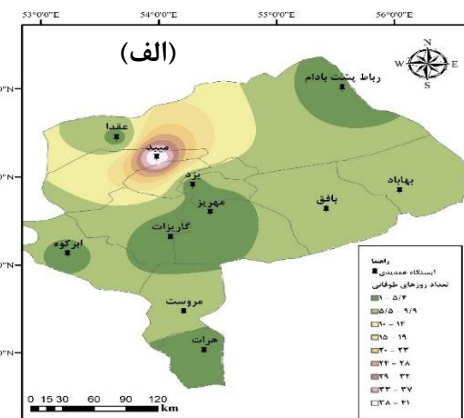
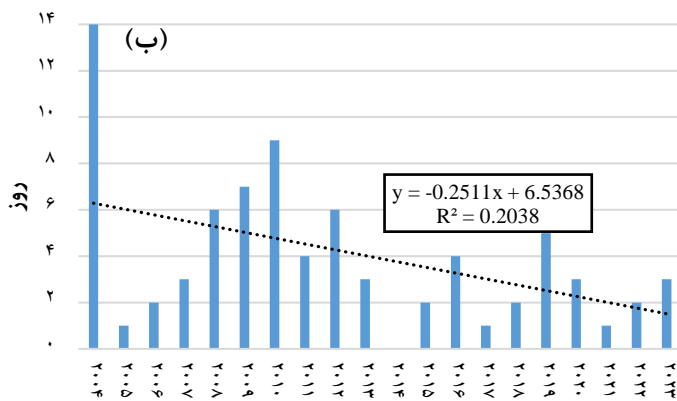
^۱ Inverse distance weighting

مجموع فراوانی پدیده مه در نیمه شمالی استان به طور محسوسی بیش از نیمه جنوبی آن می‌باشد. لازم به ذکر است که زمانی در ایستگاه هواشناسی کدهای مربوط به پدیده مه گزارش می‌شود که رطوبت نسبی هوا نزدیک به ۱۰۰٪ و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰m باشد. علاوه بر این طی ۲۰ سال اخیر، فراوانی پدیده مه در سطح استان یزد دارای روند کاهشی به مقدار یک روز در سال بوده است (شکل ۵ب).

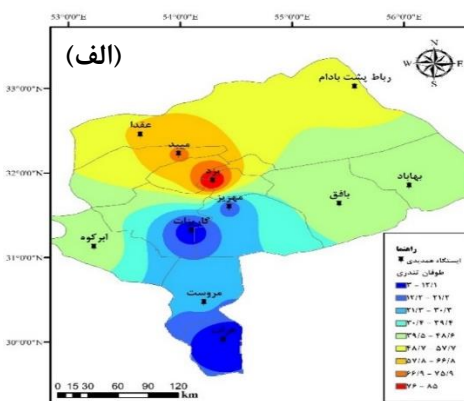
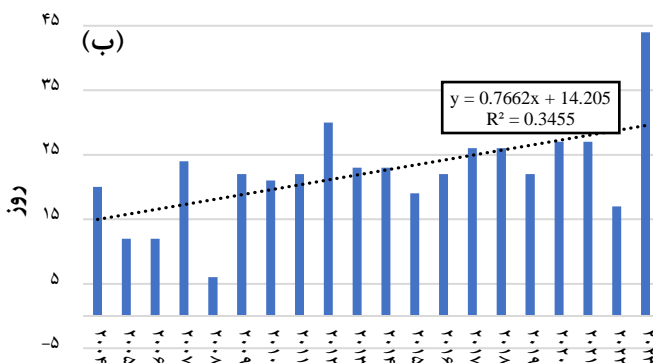
همچنین توزیع زمانی تعداد روزهای همراه با گرد و غبار، حاکی از وجود روند افزایشی در فراوانی توفان‌های تندری طی ۲۰ سال گذشته می‌باشد (شکل ۴ب). ضمن اینکه تعداد توفان‌های تندری از ۶ روز تا ۴۴ روز در سال متغیر است. بیشترین فراوانی روزهای همراه با مه‌آلودگی در بازه زمانی مورد مطالعه مربوط به ایستگاه‌های یزد و میبد به ترتیب با ۴۲۹ و ۳۴۴ روز و کمترین آن هم مربوط به ایستگاه هرات، ابرکوه و گاریز به ترتیب با ۲۴، ۳۶ و ۳۹ روز می‌باشد (شکل ۵الف).



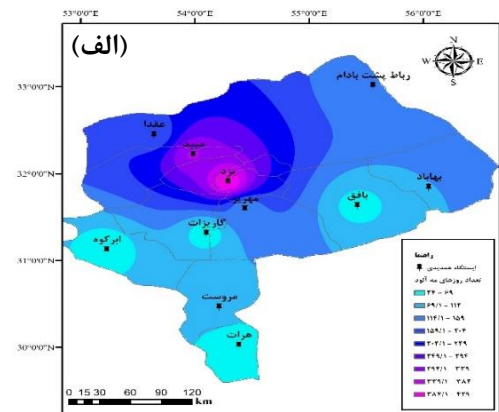
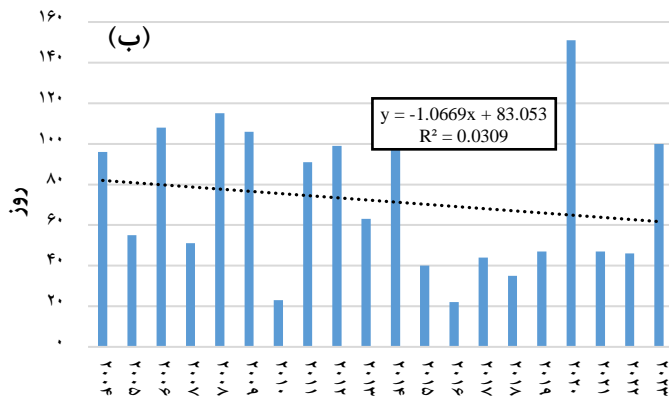
شکل ۲. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد روزهای توام با گرد و غبار در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



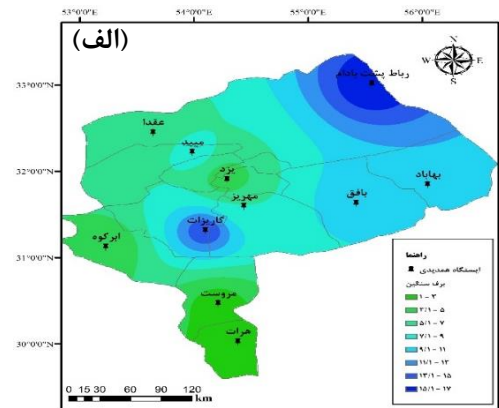
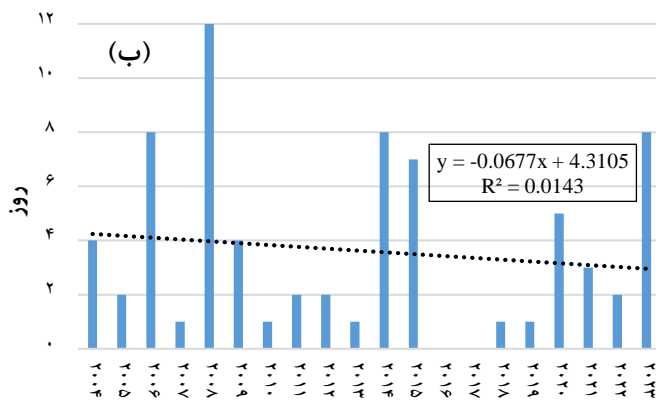
شکل ۳. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد روزهای توام با توفان گردوغبار در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



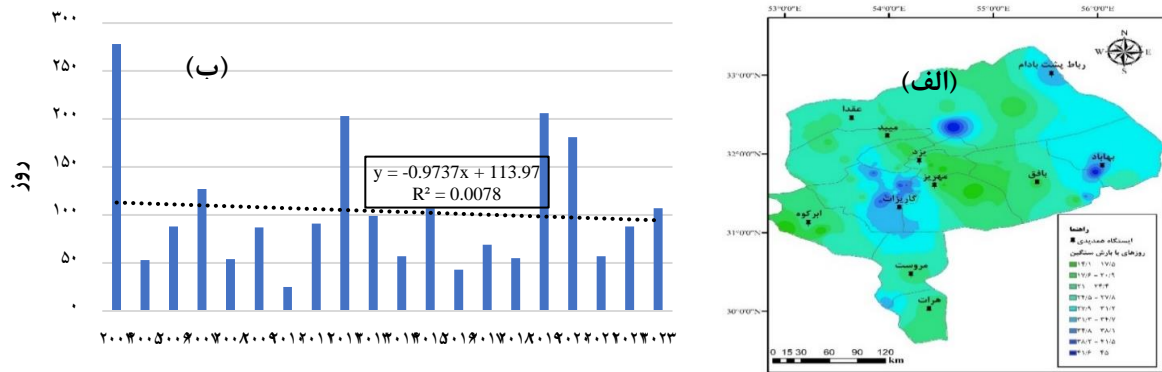
شکل ۴. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد روزهای همراه با توفان تندری در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲) می‌باشد. بیشترین تعداد روزهای همراه با بارش سنگین برف در استان محدود است. بیشترین تعداد روز همراه با برف سنگین از ایستگاه‌های رباط‌پشت‌بادام و گاریزات به ترتیب با ۱۷ و ۱۵ روز گزارش شده است (شکل ۴الف). درحالی‌که کمترین فراوانی این پدیده مربوط به مناطق جنوبی یعنی ایستگاه‌های هرات و مروست به ترتیب با ۱ و ۲ روز می‌باشد. همچنین روزهای همراه با رخداد بارش سنگین برف در منطقه مورد مطالعه دارای روند کاهشی به میزان یک روز در سال می‌باشد (شکل ۴ب). بیشترین فراوانی بارش شدید در مناطق کوهستانی و مرتفع استان یزد ثبت شده‌است (شکل ۴الف). در بازه زمانی مورد بررسی، بیشترین وقوع بارش شدید از ایستگاه‌های باران‌سنجی مزرعه آقای خرائق، همیجان بهاباد و ده‌بالا به ترتیب با ۴۴، ۴۵ و ۴۲ روز و کمترین فراوانی نیز از ایستگاه‌های مهردشت ابرکوه و مهدی‌آباد یزد با ۱۴ روز گزارش شده است. الگوی توزیع مکانی بارش‌های فرین یا حدی در استان یزد، تا حدود زیادی مشابه الگوی بارش‌های شدید می‌باشد. با این تفاوت که فراوانی آن کمتر از فراوانی بارش‌های شدید



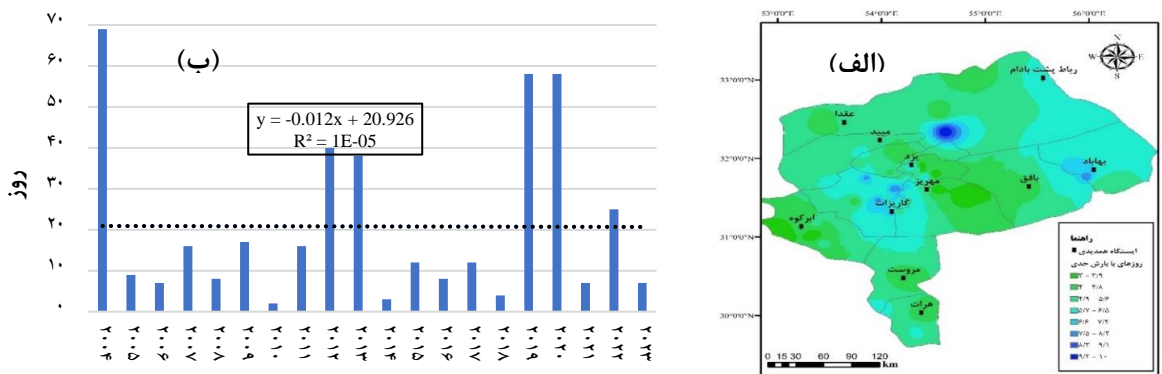
شکل ۵. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد روزهای همراه با پدیده مه در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



شکل ۶. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد روزهای همراه با برف سنگین در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



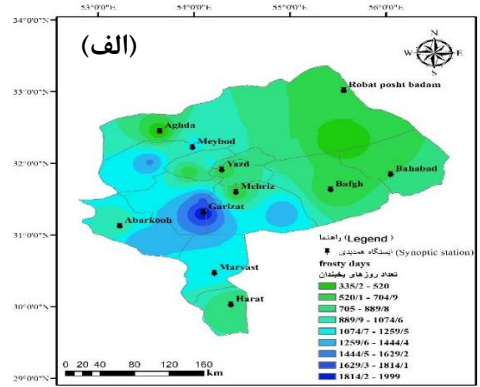
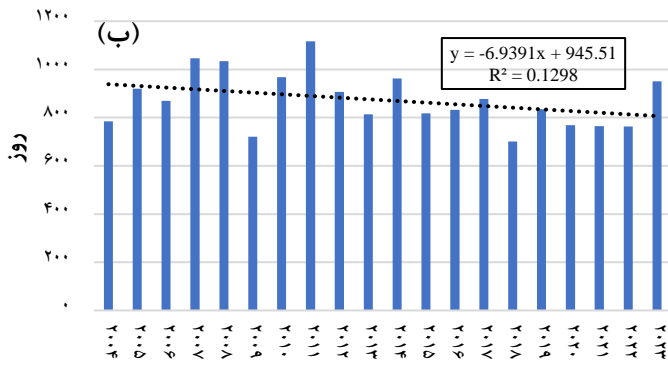
شکل ۷. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد روزهای همراه با بارش شدید در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



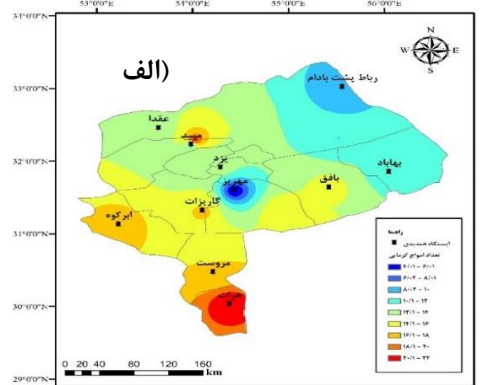
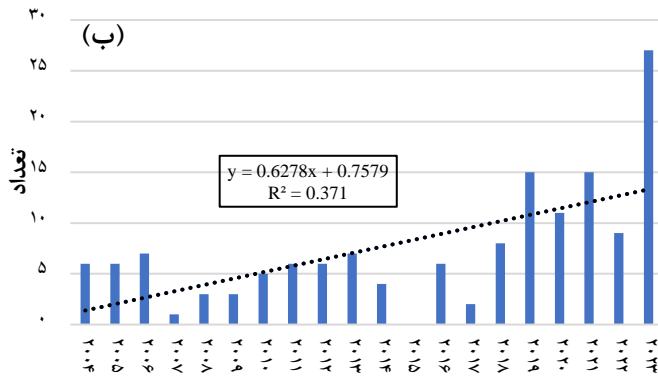
شکل ۸. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد روزهای همراه با بارش فرین در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)

مهریز کمترین تعداد موج‌های گرمایی و همچنین امواج سرمایایی را به خود اختصاص داد و این نشان‌دهنده تغییرات و نوسانات کمتر دمای شب و روز در این ایستگاه نسبت به سایر ایستگاه‌ها می‌باشد. امواج سرمایایی به‌ویژه در دو سال انتهایی بازه مورد مطالعه کاهش قابل‌ملاحظه‌ای داشته است (شکل ۱۲). در سال ۲۰۲۳ در هیچ کدام از ایستگاه‌های استان، موج سرمایایی به ثبت نرسید. روند این شکل کاملاً مخالف روند شکل ۱۰ می‌باشد. توزیع مکانی ترکیبی از ۱۰ مخاطره جوی مورد استفاده در پژوهش حاضر، در شکل ۱۳ به تصویر کشیده شده است. پر مخاطره‌ترین مناطق استان یزد مربوط به برخی از ایستگاه‌های واقع در نیمه شمالی استان است در حالی که مناطق جنوبی و غربی، کمترین فراوانی مخاطرات جوی را به خود اختصاص داده‌اند. ایستگاه میبد از لحاظ فراوانی وقوع در دسته با خطر خیلی زیاد قرار گرفته و پر مخاطره‌ترین ایستگاه استان یزد محسوب می‌شود. ایستگاه‌های یزد، گاریزات، بهاباد و رباط پشت بادام در رتبه بعدی و در طبقه با مخاطره زیاد است. از طرفی ایستگاه‌های هرات، ابرکوه و مهریز کمترین وقوع مخاطرات جوی را در طول دوره مورد مطالعه تجربه کرده‌اند.

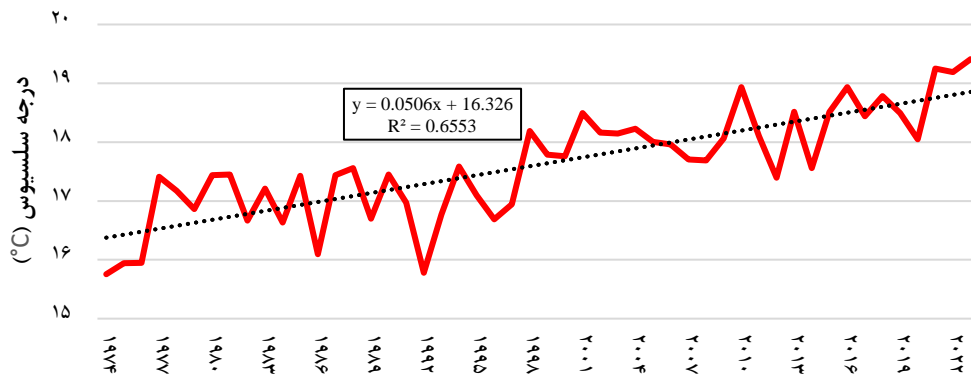
همچنین تعداد روزهای یخبندان استان یزد روندی کاهشی داشته‌است و به‌ازای هر سال ۷ روز از تعداد آن کاسته شده است (شکل ۹). توزیع مکانی موج‌های گرمایی حاکی از آن است که بیشترین فراوانی موج‌های گرمایی مربوط به مناطق جنوبی و غربی استان است (شکل ۱۰). طی بازه زمانی مورد مطالعه، ایستگاه‌های همدیدی هرات و مهریز به ترتیب با ۲۲ و ۴ مورد موج گرمایی به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی این پدیده را به خود اختصاص داده‌اند. توزیع زمانی موج‌های گرمایی، نشان‌دهنده روند افزایشی قابل‌ملاحظه در تعداد موج‌های گرمایی به ویژه طی ۵ سال اخیر است (شکل ۱۰). بیشترین فراوانی مربوط به سال ۲۰۲۳ می‌باشد و این ناشی از افزایش بی‌سابقه دما در این سال است. مطابق آمار نیم قرن گذشته، گرمترین سال استان یزد در سال ۲۰۲۳ به ثبت رسیده است (شکل ۱۱). موج‌های سرمایایی دارای توزیع یکنواختی در سطح استان نیست. بیشترین فراوانی امواج سرمایایی از ایستگاه اقلیم‌شناسی اردکان با ۲۱ مورد و کمترین فراوانی نیز از ایستگاه همدیدی مهریز با ۶ مورد گزارش شده است (شکل ۱۲). ایستگاه



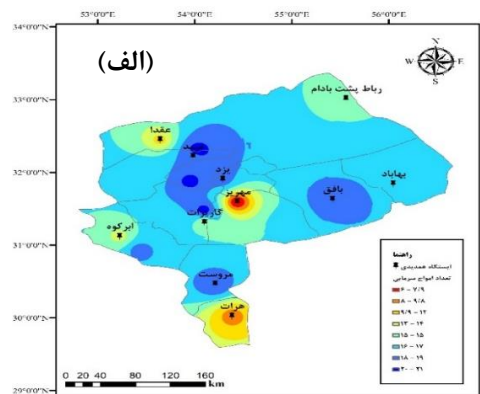
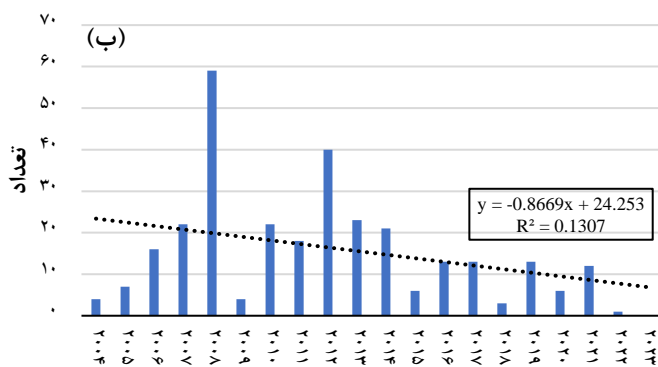
شکل ۹. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد روزهای همراه با یخبندان در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



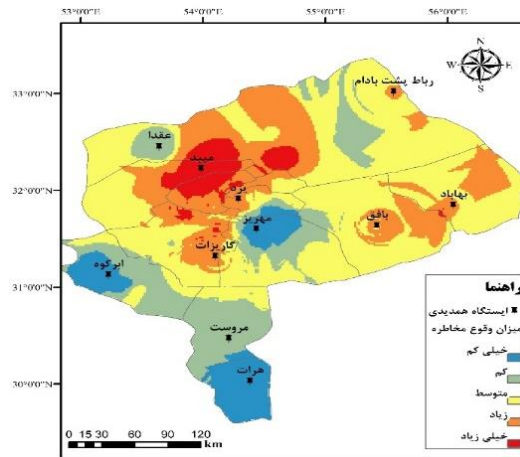
شکل ۱۰. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد موج‌های گرمایی در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



شکل ۱۱. میانگین دمای سالانه استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



شکل ۱۲. توزیع مکانی (الف) و زمانی (ب) تعداد امواج سرمایه‌گذاری در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)



شکل ۱۳. توزیع مکانی ترکیبی از تمام مخاطرات در استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)

■ بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به پدیده گرمایش جهانی، در سال‌های اخیر آب و هوای جهان به طور مداوم گرم‌تر شده است و رویدادهای فرین اقلیمی به طور مکرر رخ داده است. این امر منجر به روند صعودی آشکار در وقوع بلایا و مخاطرات جوی و افزایش خسارات اجتماعی و اقتصادی شده است (۳۸،۲۰). استان یزد به سبب دارا بودن اقلیم خشک و فراخشک و نیز برخوردار بودن از کم‌ترین بارش سالانه در بین استان‌های ایران، یکی از آسیب‌پذیرترین مناطق در برابر تغییرات آب و هوایی محسوب می‌شود و هر ساله در معرض انواع رویدادهای فرین آب‌وهوایی و مخاطرات ناشی از آب و هوا است. درک تغییرات مکانی و زمانی مخاطرات اقلیمی، گامی اساسی در جهت اجرای اقدامات موثر برای سازگاری با اقلیم و توسعه پایدار است. در بررسی حاضر با شناسایی ۱۰ مخاطره اصلی استان یزد، روند تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها طی ۲۰ سال گذشته، بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۲۳ (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲)، مورد بررسی قرار گرفته است. در بین مخاطرات مورد بررسی و در بازه زمانی مورد بررسی، بیشترین فراوانی وقوع مربوط به پدیده‌های یخبندان و گرد و غبار است. در حالی که پدیده‌های فرین توفان گرد و غبار و برف سنگین کمترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. در پژوهشی مشابه پس از شناسایی و بررسی ۱۳ مخاطره اصلی در منطقه شمال شرق ایران مشخص شد که مخاطرات یخبندان، سوزباد و روزهای همراه با گرد و غبار بیشترین فراوانی را دارا هستند (۲۲). همچنین بررسی ۸

مخاطره اصلی در استان‌های غربی ایران نشان داد که استان همدان از کولاک و یخبندان، استان کردستان از تگرگ و برف و استان کرمانشاه از توفان تندی و بارش سنگین بیشترین آسیب را متحمل شده‌اند (۵). بیشترین فراوانی مخاطرات پدیده محور در استان یزد مربوط به مناطق مرکزی و شمالی و کمترین فراوانی نیز مربوط به مناطق جنوبی منطقه مورد مطالعه بود. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعه (۳۴) مطابقت دارد. طبق این بررسی و بر اساس داده‌های عمق نوری هواویز (AOD^1)، مناطق مرکزی و شمالی استان یزد بیشترین تأثیرپذیری را از توفان گردوغبار دارند. مناطق بیابانی استان‌های اصفهان، سمنان و دشت کویر و مناطق بیابانی داخلی، مانند کویر کاشان و اراضی بیابانی استان‌های قم و مرکزی که در مسیر طوفان واقع شده‌اند، به عنوان کانون‌ها و چشمه‌های داخلی گرد و غبار برای استان یزد محسوب می‌شوند (۳۴). با توجه به نزدیکی ایستگاه‌هایی مانند یزد و میبد به این چشمه‌ها، این دو شهر از مناطق بسیار مستعد وقوع مخاطره گرد و غبار هستند. نتایج پژوهش حاضر در زمینه طوفان‌های تندی با بررسی‌های (۱۴، ۲۹) همخوانی دارد. این مطالعات نشان می‌دهد که مراکز شهری آلوده، اغلب رعد و برق بیشتری را تجربه می‌کنند و این ناشی از غلظت بیشتر هواویزها در این مناطق است. ابرهای غنی از هواویز، باعث همرفت شدیدتر می‌شوند که این موضوع منجر به ساختار عمودی توسعه‌یافته‌تر و ایجاد طوفان تندی می‌شود. شهرهای یزد و میبد پرجمعیت‌ترین شهرهای استان یزد و از مراکز اصلی

¹ Aerosol optical depth

در استان یزد می‌باشد. علاوه بر آن روند کاهش امواج سرمایی شدیدتر از روند افزایش موج‌های گرمایی می‌باشد که ناشی از افزایش شدیدتر دمای کمینه روزانه نسبت به دمای بیشینه است (۳۷). همچنین مخاطره گردوغبار نیز که به شدت متاثر از افزایش دما و خشکسالی است، دارای روند افزایشی بود. در مجموع پهنه‌بندی ترکیبی مخاطرات نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی وقوع مخاطرات جوی مربوط به ایستگاه همدیدی میبد است. در حالی که کم‌مخاطره‌ترین مناطق ایستگاه‌های هرات، ابرکوه و مهریز می‌باشند. در پژوهشی مشابه در شمال شرق ایران، مناطق کوهستانی واقع در شمال خراسان پر مخاطره‌ترین و مناطق واقع در غرب و جنوب غرب کم‌مخاطره‌ترین مناطق شناسایی شدند (۲۲). همچنین در شمال غرب ایران نیز نواحی واقع در شرق، جنوب شرق، مرکز و غرب منطقه مورد مطالعه از بیشترین خطرپذیری برخوردار بودند (۴۴).

یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند به سیاست‌گذاران و همچنین برنامه‌ریزان بخش مدیریت بحران کمک کند تا با شناخت مناطق پرخطر، در توسعه اقدامات پیشگیرانه برای مقابله با بلاها و کاهش اثرات آن‌ها نقش موثرتری ایفا کنند. علاوه بر این شناسایی توزیع مکانی و زمانی رویدادهای فرین آب‌وهوایی و پیش‌بینی آن‌ها برای آینده، در یافتن راهبردهای سازگاری به منظور کاهش بلایای مرتبط با آب و هوای فرین بسیار مهم و حیاتی خواهد بود. براین پایه پیشنهاد می‌شود پایگاه داده مخاطرات طبیعی به منظور جمع‌آوری داده‌های مفید در مورد فراوانی، شدت، مدت زمان، میزان تلفات و خسارات و منطقه تحت پوشش انواع مخاطرات جوی در سطح ملی و منطقه‌ای ایجاد شود.

■ سپاسگزاری

از اداره کل هواشناسی استان یزد جهت در اختیار گذاشتن داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استان و نیز حمایت از انجام پژوهش حاضر تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

■ References

1. AghaKouchak, A., Chiang, F., Huning, L. S., Love, C. A., Mallakpour, I., Mazdiyasn, O., ... & Sadegh, M. (2020). Climate extremes and compound hazards in a warming world. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 48(1), 519-548. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-071719-055228>

استقرار صنایع هستند. بنابراین غلظت بیشتر ذرات هواویز در این مناطق، تعداد بیشتر روزهای همراه با طوفان تندری در این مناطق را توجیه می‌کند. اما بیشترین رخداد برف سنگین در مناطق کوهستانی و مرتفع مشاهده شد. با توجه به موقعیت جغرافیایی استان یزد در مرکز ایران، تنها در حدود ۱/۸٪ از وسعت آن که دارای ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ m است و پوشش برف تقریباً محدود به ارتفاعات شیرکوه است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج مطالعه (۳۵) مطابقت دارد. بر اساس این بررسی و بر مبنای داده‌های پوشش برف سنجنده مودیس، روند کاهش روزهای برف‌پوشان بر ارتفاعات شیرکوه حاکم است. همچنین بیشترین تعداد روزهای یخبندان نیز در مناطق کوهستانی واقع در ارتفاعات شیرکوه ثبت شده است. پژوهش دیگری در این زمینه نشان داد که بیشترین فراوانی روزهای یخبندان در بین ایستگاه‌های همدیدی استان یزد و در بازه زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۰ مربوط به ایستگاه گاریزات و کمترین آن مربوط به ایستگاه عقدا است (۱۰).

الگوی توزیع مکانی بارش‌های فرین و بارش‌های شدید تقریباً شبیه به یکدیگر می‌باشد و بیشترین فراوانی آنها مربوط به مناطق کوهستانی و مرتفع است. با این تفاوت که فراوانی بارش‌های فرین کمتر از فراوانی بارش‌های شدید است. این در حالی است که واکاوی توزیع مکانی بارش با استفاده از داده‌های پایگاه اسفزاری بیانگر آن است بیشترین مقادیر بارش فرین سالانه مربوط به مناطق جنوبی استان یزد می‌باشد (۳۳). بنابراین با نتایج پژوهش حاضر که مبتنی بر داده‌های دیدبانی شده در ایستگاه‌های هواشناسی استان یزد است همخوانی ندارد. بیشترین فراوانی موج‌های گرمایی نیز مربوط به مناطق جنوبی و غربی استان بود در حالی که امواج سرمایی دارای توزیع یکنواختی در سطح استان نیست. توزیع زمانی مخاطرات نیز نشان‌دهنده آن است که فرین‌های دمایی روند قابل توجه‌تری نسبت به دیگر مخاطرات داشتند. این روند در چند سال پایانی دوره مورد بررسی، قابل ملاحظه‌تر بود که این موضوع ناشی از تشدید آهنگ گرمایش

2. Asakereh, H., & Shahbaee Kotenaee, A. (2023). Analysis of the temporal-spatial trend of frequency of daily extremes precipitation in Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 27(2), 209-222. DOI: 10.47176/jwss.27.2.37215 [In Persian]
3. Awadh, S. M. (2023). Impact of North African sand and dust storms on the Middle East using Iraq as an example: Causes, sources, and mitigation. *Atmosphere*, 14(1), 180. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos14010180>
4. Baghbanan, P., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2020). Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 132, 885-898. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00703-020-00728-3>
5. Chehreara, T., Hajivandpaydari, S., & Haji Mohamadi, H. (2024). Zoning of atmospheric hazards in western Iran. *Journal of Climate Research*, 1403(57), 229-245. [In Persian]
6. Chi, H., Wu, Y., Zheng, H., Zhang, B., Sun, Z., Yan, J., ... & Guo, L. (2023). Spatial patterns of climate change and associated climate hazards in Northwest China. *Scientific Reports*, 13(1), 10418. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37349-w>
7. Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J. P., Iglesias, A., ... & Xoplaki, E. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8(11), 972-980. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
8. Donat, M. G., Lowry, A. L., Alexander, L. V., O’Gorman, P. A., & Maher, N. (2016). More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions. *Nature Climate Change*, 6(5), 508-513. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2941>
9. Dong, S., Sun, Y., Li, C., Zhang, X., Min, S. K., & Kim, Y. H. (2021). Attribution of extreme precipitation with updated observations and CMIP6 simulations. *Climate*, 34(3), 871-881. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-1017.1>
10. Fatemi, M. (2021). Spatial analysis of temporal and spatial distribution of the start and end of frost period In Yazd province. *Geography and Planning*, 25(76), 203-214. DOI: 10.22034/gp.2021.40227.2634 [In Persian]
11. Fischer, E. M., & Knutti, R. (2015). Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*, 5(6), 560-564. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate2617>
12. Gao, J., Liu, L., & Wu, S. (2020). Hazards of extreme events in China under different global warming targets. *Big Earth Data*, 4(2), 153-174. DOI: <https://doi.org/10.1080/20964471.2020.1769254>
13. Gariano, S.L. & Guzzetti, F. (2016). Landslides in a changing climate. *Earth-Science Reviews*, 162, 227-252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.08.011>
14. Harel, M., & Price, C. (2020). Thunderstorm trends over Africa. *Climate*, 33(7), 2741-2755. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0781.1>
15. Iraj, F., Memarian, M. H., Joghataei, M., & Malamiri, H. R. G. (2021). Determining the source of dust storms with use of coupling WRF and HYSPLIT models: A case study of Yazd province in central desert of Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 93, 101197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.-2020.101197>
16. Li, D., Zhou, T., Zou, L., Zhang, W., & Zhang, L. (2018). Extreme high-temperature events over East Asia in 1.5° C and 2° C warmer futures: analysis of NCAR CESM low-warming experiments. *Geophysical Research Letters*, 45(3), 1541-1550. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017GL076753>
17. López-Bueno, J. A., Alonso, P., Navas-Martín, M. Á., Mirón, I. J., Belda, F., Díaz, J., & Linares, C. (2024). Determination of heat wave definition temperatures in Spain at an isoclimatic level: time trend of heat wave duration and intensity across the decade 2009–2018. *Environmental Sciences Europe*, 36(1), 83. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00917-6>

18. Luintel, N., Ma, W., Ma, Y., Wang, B., & Subba, S. (2019). Spatial and temporal variation of daytime and nighttime MODIS land surface temperature across Nepal. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 12(5), 305-312. DOI: 10.1080/16742834.2019.1625701
19. Masoudi, M. (2021). Estimation of the spatial climate comfort distribution using tourism climate index (TCI) and inverse distance weighting (IDW)(case study: Fars Province, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 14(5), 363. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06605-6>
20. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., ... & Zhou, B. (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution Of Working Group I to The Sixth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2(1), 2391. DOI:10.1017/9781009157896.
21. Mazdiyasi, O., AghaKouchak, A., Davis, S. J., Madadgar, S., Mehran, A., Ragno, E., ... & Niknejad, M. (2017). Increasing probability of mortality during Indian heat waves. *Science Advances*, 3(6), e1700066. DOI:10.1126/sciadv.1700066
22. Mofidi, A., Hosseinzadeh, S., & Mohammadyarian, M. (2013). Atmospheric hazards zonation in the northeastern of Iran. *Geography and Environmental Hazards*, 2(2), 1-16. DOI: 10.22067/geo.v0i0.23110. [In Persian]
23. Mohammadi, M., Naserzadeh, M. H., Alijani, B., & Saligheh, M. (2023). Spatial analysis of Climate Hazards affecting the military activities in the Southern Half of Iran. *Military Science and Tactics*, 19(63), 5-31. DOI: 10.22034/qjmst.2022.546435.1647 [In Persian]
24. Mohammadzadeh, M., & Mohammadtorab, F. (2015). A new algorithm for developing inverse- distance weighting interpolation method in Hararan region. *Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering*, 5(9), 39-50. DOI: 10.17383/S2251-6565(15)940914-X [In Persian]
25. Mora, C., Spirandelli, D., Franklin, E. C., Lynham, J., Kantar, M. B., Miles, W., ... & Hunter, C. L. (2018). Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions. *Nature Climate Change*, 8(12), 1062-1071. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0315-6>
26. Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & van Ypersele, J. P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). Ipcc.
27. Panisset, J. S., Libonati, R., & Gouveia, C. M. P. (2018). Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005. *Climatol*, 38, 1096-1104. DOI: 10.1002/joc.5224
28. Perkins-Kirkpatrick, S. E., & Gibson, P. B. (2017). Changes in regional heatwave characteristics as a function of increasing global temperature. *Scientific Reports*, 7(1), 12256. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12520-2>
29. 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. DOI: <https://doi.org/10.1002/jgrd.50282>
30. Saha, M. V., Davis, R. E., & Hondula, D. M. (2014). Mortality displacement as a function of heat event strength in 7 US cities. *American Journal of Epidemiology*, 179(4), 467-474. DOI: <https://doi.org/10.1093/aje/kwt264>
31. Sheridan, S. C., & Lee, C. C. (2018). Temporal trends in absolute and relative extreme temperature events across North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(21), 11-889. DOI: <https://doi.org/10.1029/2018JD029150>
32. Shirgholami, M. (2023). Investigation of spatiotemporal variations in the tourism comfort climate of yazd province by comparing the Tourism Climate Index (TCI) and the Holiday Climate Index (HCI). *Journal of Climate Research*, 1401(52), 207-222. [In Persian]

33. Shirgholami, M., & Masoodian, S. A. (2023). Analysis of Spatiotemporal Variations and Trends of Precipitation in Yazd Province by Asfezari Database During 1349 to 1394. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(35), 95-114. DOI: 10.22111/jneh.2022.40681.1862.
34. Shirgholami, M. R. (2023). Identifying trajectories and sources of dust events in Yazd province using HYSPLIT model and remote sensing data. *Arid Biome*, 13(2), 35-52. DOI: 10.29252/aridbiom.2024.-20805.1969 [In Persian]
35. Shirgholami, M. R., Masoodian, S. A., & Montazeri, M. (2023). Investigation of environmental changes in arid and semi-arid regions based on MODIS LST data (case study: Yazd province, central Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 16(9), 514. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-023-11629-1>
36. Shirgholami, M., & Masoodian, S. A. (2022). Assessment of spatial and temporal variations of land surface temperature (LST) due to elevation changes in Yazd Province, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(16), 1372. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09943-1>
37. Sun, X., Wang, C., & Ren, G. (2021). Changes in the diurnal temperature range over East Asia from 1901 to 2018 and its relationship with precipitation. *Climatic Change*, 166(3), 44. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03120-1>
38. Tong, S., Li, X., Zhang, J., Bao, Y., Bao, Y., Na, L., & Si, A. (2019). Spatial and temporal variability in extreme temperature and precipitation events in Inner Mongolia (China) during 1960–2017. *Science of the Total Environment*, 649, 75-89. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.262>
39. Touma, D., Michalak, A. M., Swain, D. L., & Diffenbaugh, N. S. (2018). Characterizing the spatial scales of extreme daily precipitation in the United States. *Climate*, 31(19), 8023-8037. DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-18-0019.1>
40. Waha, K., Krümmenauer, L., Adams, S., Aich, V., Baarsch, F., Coumou, D., ... & Schleussner, C. F. (2017). Climate change impacts in the Middle East and Northern Africa (MENA) region and their implications for vulnerable population groups. *Regional Environmental Change*, 17, 1623-1638. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1144-2>
41. Westerling, A. L. (2016). Increasing western US forest wildfire activity: sensitivity to changes in the timing of spring. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 371(1696), 20150178. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0178>
42. Wu, Y., Wen, B., Li, S., & Guo, Y. (2021). Sand and dust storms in Asia: a call for global cooperation on climate change. *The Lancet Planetary Health*, 5(6), e329-e330. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00082-6](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00082-6)
43. Yuan, G., Zhang, L., Liang, J., Cao, X., Guo, Q., & Yang, Z. (2017). Impacts of initial soil moisture and vegetation on the diurnal temperature range in arid and semiarid regions in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(21), 11-568.. DOI: <https://doi.org/10.1002/2017JD026790>
44. Zeinali B, Khalili S, Eiyini S. (2019). Zoning atmospheric Hazards in North West of Iran. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 19(53), 177-193. DOI: 10.29252/jgs.19.53.177 [In Persian]
45. Zhang, S., Xu, H., Lan, J., Goldsmith, Y., Torfstein, A., Zhang, G., ... & Enzel, Y. (2021). Dust storms in northern China during the last 500 years. *Science China Earth Sciences*, 64(5), 813-824. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11430-020-9730-2>
46. Zittis, G., Almazroui, M., Alpert, P., Ciais, P., Cramer, W., Dahdal, Y., ... & Lelieveld, J. (2022). Climate change and weather extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East. *Reviews of geophysics*, 60(3), e2021RG000762. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>
47. Zscheischler, J., Westra, S., Van Den Hurk, B. J., Seneviratne, S. I., Ward, P. J., Pitman, A., ... & Zhang, X. (2018). Future climate risk from compound events. *Nature Climate Change*, 8(6), 469-477. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0156-3>