





Satellite Monitoring of Wind chill Hazard and Its Impacts on Military activity in Iran

Hojatollah Pashapour   ¹ | Hasan Rezaei  ² | Behrooz Abad  ³

1. Associate Professor of Geography, Imam Ali (AS) Military University, Tehran, Iran.(Corresponding author)

2. Assistant Professor of Geography, Imam Ali (AS) Military University, Tehran, Iran

3. PhD, Climatology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Article Info:

Article type:

Research Article

Date:

Received: 2024.09.12

Received: 2024.12.04

Accepted: 2024.12.12

Keywords:

Hazard, Wind chill, ECMWF, Iran

Abstract: The wind chill index expresses the degree of real cooling sensation created in the human body, and if this cooling exceeds a threshold it will cause the occurrence of wind chill hazard. The aim of this research is satellite monitoring of wind chill hazard in Iran. In this first step, daily wind speed and air temperature data in the period 1994-2023 for 11,000 days with a spatial resolution of 0.25 by 0.25 degrees of arc were extracted from the ECMWF website. Then, the wind chill index was calculated separately for each day based on the American-Canadian formula. Based on this formula, 3 risk classes were defined for the Wind chill index. The first class was positive values of the Wind chill index, which were without risk. The second class was values between 0 and -9 of the Wind chill index, which were low risk, and the third class was values between -9 and -27 of the Wind chill index, which were named as medium risk. The findings showed that the risk of Wind chill in Iran only occurs in the months of November, December, January, February, and March. This is because in the rest of the year the weather does not cool much and consequently Wind chill will not occur. The findings also showed that due to the prevailing cold conditions at high altitudes, the greatest extent of the risk of Wind chill in the studied region also occurs in the Zagros and Alborz highlands.

Cite this article : Pashapour, H, Rezaei, F, Abad, B. (2024). Satellite Monitoring of Wind chill Hazard and Its Impacts on Military activity in Iran. *Climate Change and Climate Disasters*, 3(6), 261-287.

© The Author(s).

Homepage: cccd.znu.ac.ir

Publisher: University of Zanjan.



Extended Abstract

Introduction:

Wind chill index is recognized as one of the most significant climatic and meteorological hazards, particularly in mountainous and cold regions, exerting prominent and considerable effects on the life of natural and human habitats. This index represents the combination of two variables, wind and temperature, which intensifies the impact of cold, even in low-lying, elevated, and desert areas, making it noteworthy for this reason. Iran, given its unique and sensitive geopolitical position in the world and its proximity to a diverse range of countries, necessitates precise and effective geographical study and investigation. In this context, considering the topographical diversity across Iran on one hand, and the deployment of military forces in open spaces throughout the country on the other, monitoring and mapping the wind chill hazard for military purposes is absolutely needed and felt. To date, no specific research has examined the occurrence of wind chill and its effects on military activities in

Iran using credible satellite data with such geographical extent, which constitutes one of the advantages of the present study.

Methodology:

The aim of this research is the satellite monitoring and hazard mapping of wind chill in the geographical expanse of Iran, to ultimately identify the main locations of wind chill occurrence in Iran, both spatially and temporally. The data used in this research are satellite and network data, which possess coherence, integrity, and, most importantly, good spatio-temporal resolution, subsequently enhancing the richness and credibility of the work. In this regard, daily data of wind speed and air temperature for the period 1994-2023, spanning 11,000 days with a spatial resolution of 0.25 x 0.25 degrees, were extracted from the ECMWF website. Subsequently, based on the American-Canadian formula, the wind chill index was calculated separately for each day. After collecting the raw data, several processes were carried out. In the first step, using the `inpolygon` command in

MATLAB software, only the data within Iran, comprising 2480 pixels, were extracted. In the second step, using Equation 1, the wind speed was converted from meters per second to kilometers per hour.

(1)

$$V = v \times 3.6$$

where v is the wind speed in meters per second.

In the third step, based on Equation 2, the wind chill index (wch) was calculated:

(2)

$$\text{wch} = 1312 + 0.6215T - 11.37 * V^{0.16} + 0.3965 * T * V^{0.16}$$

where T is the air temperature in degrees Celsius and V is the wind speed at a height of 10 meters in kilometers per hour (Nelson et al., 2002; Ahrens, 2015).

In the fourth step, based on the wind chill index values, the type of wind chill hazard was classified across Iran.

In this study, wind chill values from 0 to -9 degrees Celsius were defined as low hazard, values from -9 to -27 degrees Celsius as medium hazard, and wind chill values above zero degrees Celsius as no hazard.

Results:

Weather is a significant aspect of human life, and its effects on living beings are evident to all. In some regions of Iran, the wind chill index can act as a hazard, causing economic, social, and environmental damages.

Therefore, in this study, the wind chill hazard across Iran during the period 1994 to 2024 was investigated using satellite data. The results indicated that the wind chill hazard in Iran occurs only during the months of Aban, Azar, Dey, Bahman, and Esfand (late autumn to early spring).

This is natural, as during the rest of the year, the weather is warm, and wind chill does not occur. Furthermore, the findings showed that due to extreme cold, the largest extent of wind chill hazard, particularly in Dey (January), occurs at high altitudes of the Alborz and Zagros mountain ranges. It is clear that

considering the various slopes in the mountains and their foothills, the phenomenon of wind chill occurs more frequently in the aforementioned geographical features. Consequently, given the higher occurrence of wind chill in the mountainous regions of Alborz and Zagros, any military operations in these areas, especially during the cold seasons, are accompanied by difficulties. However, in other high-altitude areas of Iran, such as the long mountain ranges of Khorasan and also the Hezar and Lalezar mountains in Kerman, the wind chill phenomenon occurs intermittently. Additionally, generally, the wind chill phenomenon occurs intermittently and to a limited extent in the cold seasons, even in low-lying and dry areas such as the Jazmourian basin in the southeast of the country; however, it does not pose a significant threat to military activities. The findings indicated that the wind chill hazard in Iran occurs only during the months of Aban, Azar, Dey, Bahman, and Esfand. This is natural, as during the rest of the year, the weather is not very cold, and

consequently, wind chill does not occur. An examination of the time series of the percentage of wind chill hazard area revealed that over the 11,000-day period, there were 22 extreme wind chill days, meaning on each of these 22 days, more than 70% of the country's area experienced wind chill hazard. The trend of the wind chill hazard time series in Iran, despite fluctuations over the years studied, has generally shown a decreasing trend, which can be explained by climate change and global warming, especially the increase in extreme winter temperatures in Iran. Furthermore, other findings indicated that more than 50% of these extreme wind chill hazard days were observed solely in January and February of 2008. The highest frequency of wind chill hazard occurrence in these two months clearly demonstrates that, in any case, when conducting military activities during these months, the potential for such occurrences must be examined so that military personnel do not face problems and crises during specific operations. Moreover, the spatial

distribution of wind chill hazard during the study period showed that the highest wind chill hazard occurred on February 5, 2008, across 80% of Iran's geographical area. This can be attributed to the intrusion of the cold and dry Siberian high-pressure system from the northeast of the country, which had a strong cooling effect, and this effect was further amplified by the presence of Iran's high mountain ranges, such as the Alborz and Zagros.

Conclusion:

In the present study, satellite data were used to investigate the spatio-temporal distribution of wind chill hazard across the geographical expanse of Iran during the period 1994-2024. The main findings of this research indicate that the highest wind chill values occurred in the major mountain ranges of the country (Alborz and Zagros). In terms of time, the months of January and February also had the highest frequency of the studied hazard occurrence.

Considering Iran's specific geographical and geopolitical location on the one hand, and its topographical diversity on the other, military affairs face particular challenges and sensitivities, which underscores the necessity for coherent and efficient scientific and research studies. In this regard, the present study has investigated the climatic hazard of wind chill, and its results are well-aligned with environmental realities. It is expected that researchers and specialists in military geography, after studying and informing military commanders about the results of this article, will delve into other aspects in subsequent studies, such as investigating the primary synoptic factors of the aforementioned occurrence and also comparing the temporal changes of wind chill hazard in different regions of the country.

Keywords: Hazard, Wind Chill, Iran, Satellite Data, Military Activity



پایش ماهواره‌ای مخاطره سوزباد و اثر آن بر فعالیت نظامی در ایران

حجت الله پاشاپور ^۱ | حسن رضایی ^۲ | بهروز آباد ^۳

۱. دانشیار جغرافیا، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران
۲. استادیار جغرافیا، دانشگاه افسری امام علی (ع)، تهران، ایران
۳. دکتری، آب‌وهواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۲

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۲

واژگان کلیدی:

مخاطره، سوزباد،
ECMWF، فعالیت
نظامی، ایران

چکیده: شاخص سوزباد بیان‌گر میزان احساس سرمای و وقوع واقعی ایجاد شده در بدن انسان است که اگر این سرمای از آستانه‌ای فراتر رود باعث رخداد مخاطره سوزباد خواهد شد. هدف این پژوهش، پایش ماهواره‌ای مخاطره سوزباد در ایران است. ابتدا داده‌های روزانه سرعت باد و دمای هوا در بازه زمانی ۲۰۲۳-۱۹۹۴ به مدت ۱۱۰۰۰ روز با تفکیک مکانی ۰/۲۵ در ۰/۲۵ درجه قوسی از تارنمای ECMWF استخراج شد. سپس بر اساس فرمول آمریکایی-کانادایی شاخص سوزباد در هر روز به صورت جداگانه محاسبه شد. بر اساس این فرمول ۳ کلاس ریسک‌پذیری برای شاخص سوزباد تعریف شد. کلاس اول مقادیر مثبت شاخص سوزباد که بدون مخاطره بود. کلاس دوم مقادیر بین ۰ تا ۹- شاخص سوزباد که کم مخاطره هستند و کلاس سوم مقادیر ۹- تا ۲۷- شاخص سوزباد به عنوان مخاطره متوسط نامگذاری شد. یافته‌ها نشان داد که مخاطره سوزباد در ایران تنها در ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند رخ می‌دهد؛ چرا که در بقیه ماه‌های سال هوا سرمای زیادی نداشته و متعاقب آن سوزباد نیز رخ نخواهد داد. همچنین، یافته‌ها نشان داد که به دلیل حاکمیت غالب شرایط سرمایی در ارتفاعات بلند، بیش‌ترین گستره مخاطره سوزباد در منطقه مورد مطالعه نیز در بلندی‌های زاگرس و البرز رخ می‌دهد.

استناد: پاشاپور، حجت‌الله، رضایی، حسن، آباد، بهروز. (۱۴۰۳). پایش ماهواره‌ای مخاطره سوزباد و اثر آن بر فعالیت نظامی در ایران. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۳(۶)، ۲۶۱-۲۸۷.

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان

Homepage: cccd.znu.ac.ir



۱. مقدمه

شاخص سوزباد^۱ معیاری است که شدت سرمای هوا را در اثر ترکیب دما و سرعت باد توصیف می‌کند. در واقع، این شاخص میزان سرمای را نشان می‌دهد که افراد در معرض باد تجربه می‌کنند و کاربرد اصلی آن در ارزیابی خطر سرمازدگی و هیپوترمی است (Osczevski and Bluestein, 2005). خاستگاه علمی شاخص سوزباد به پژوهش‌های سیپل و پاسل در دهه ۱۹۴۰ باز می‌گردد که با آزمایش‌های میدانی در شرایط قطبی میزان از دست رفتن گرما از یک استوانه آب منجمدشونده را اندازه‌گیری کردند (Siple and Passel, 1945). این کار منجر به شکل‌گیری اولین فرمول تجربی سوزباد شد. با این حال، به‌مرور انتقادات علمی در مورد اعتبار این روش مطرح گردید و سرانجام در سال ۲۰۰۱ سازمان

ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA) به همراه سازمان محیط زیست کلنادا فرمولی اصلاح‌شده و مبتنی بر مبنای انتقال حرارت و فیزیولوژی انسانی معرفی کردند. فرمول جدید شاخص سوزباد با در نظر گرفتن ارتفاع استاندارد باد، انتقال حرارت جابه‌جایی و مدت زمان بروز سرمازدگی، دقت بیشتری در بیان شرایط واقعی احساس سرما ارائه می‌دهد (Bluestein and Zecher, 1999). کاربردهای شاخص سوزباد متنوع است. در حوزه بهداشت عمومی و ایمنی، این شاخص مبنای صدور هشدارهای مربوط به سرمازدگی و کاهش دمای بدن قرار می‌گیرد (Danielsson, 1996). در زمینه طراحی شهری و رفاه انسانی، از این شاخص برای تحلیل آسایش حرارتی، تعیین نیاز به پوشش حفاظتی و

¹ Wind Chill Index.

گسترش مناطق شهری ساخته شده باعث افزایش دمای سوزباد و کاهش روزهای سوزباد شده است. همچنین نتایج نشان داد که وجود علفزار و جنگل به طور قابل توجهی دمای سوزباد را کاهش و سرعت باد و روزهای سوزباد را افزایش می‌دهد (Lin et al., 2019). باد به عنوان یکی از فاکتورهای مهم و اثرگذار بر وضعیت حرارتی انسان در محیط‌های سرد شناخته شده است. نتایج نشان داده که جهت باد بیش‌ترین تاثیر را بر روی پوست صورت انسان دارد؛ به طوری که پس از ۴۰ دقیقه قرارگیری در معرض آفتاب، تغییرات دمایی تا ۴/۵ درجه سلسیوس دچار نوسان می‌شود (Li et al., 2025). در پژوهشی با استفاده از داده‌های مشاهداتی و خروجی‌های مدل اقلیمی، ارتباط بین روزهای با سوزباد شدید و تغییرات اقلیمی در آلاسکا طی دهه‌های اخیر نشان داده شد. نتایج نشان داد که هم میانگین و هم

برنامه‌ریزی فعالیت‌های بیرونی استفاده شده است (Epstein and Moran, 2006). همچنین پژوهش‌های اقلیمی از این شاخص برای ارزیابی روندهای بلندمدت تغییر در شدت و فراوانی روزهای همراه با سوزباد در مناطق مختلف جهان بهره گرفته‌اند (Błażejczyk and Twardosz., 2009). در پژوهشی با استفاده از ۲۰۰۰ ایستگاه هواشناسی، اثرات شهرنشینی روی سوزباد زمستانی طی دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۴ بررسی شد. نتایج نشان داد که دمای سوزباد زمستانی در چین روند افزایشی برجسته‌تری نسبت به دمای هوا، یعنی به ترتیب ۰/۶۲۳ و ۰/۳۴۹ درجه سلسیوس در هر دهه، نشان می‌دهد. سرعت باد و روزهای سوزباد به ترتیب ۰/۱۴۹ متر بر ثانیه و ۱/۹۷ روز در هر دهه کاهش یافته‌اند. این روندها در مناطق پرجمعیت و بسیار شهری مانند دشت شمال چین چشم‌گیرتر است.

فراوانی روزهای با سوزباد خیلی شدید طی آینده کاهش خواهد یافت؛ یعنی به طور کلی خطر سوزباد در مناطق قطبی کم می شود، هرچند نواحی و فصل های خاص ممکن است الگوهای متفاوتی داشته باشند (Kim et al., 2025). در ایران مطالعات زیادی بر روی شاخص سوزباد انجام شده است. در پژوهشی شاخص سوزباد در شمال غرب و غرب کشور به چهار ناحیه کم شدت، شدید، خیلی شدید و فاقد سوزباد تقسیم شد (Heydari and Saeid Abadi, 2008). با استفاده از آمار دمای کمینه و سرعت وزش باد ایستگاه های همدید کشور طی دوره آماری ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۳ شاخص سوزباد پهنه بندی شد. نتایج نشان داد که آبان و فروردین را می توان به ترتیب به عنوان ماه های شروع و پایان سوز باد در ایران در نظر گرفت. برای روزهای آبان تا فروردین، میانگین کاهش دمای کمینه به واسطه وزش باد به میزان ۴ درجه سلسیوس در ماه بهمن احساس شده است. نقشه های پهنه بندی کشور که برای ماه های سرد سال (آبان تا فروردین) ترسیم شد مشخص نمود که تفاوت بین دمای کمینه و دمای احساسی (سوزباد) به خوبی معنی دار (سطح معناداری ۰/۵۱ تا ۰/۷۴) است. بیشترین فراوانی سوزباد مربوط به سال ۱۳۹۰ با ۱۸۰۸۸ مورد از ۳۳۰ ایستگاه و کمترین آن مربوط به سال ۱۳۷۴ با ۴۳۲۱ مورد از ۱۳۶ ایستگاه بوده است. نکته قابل توجه این که از سال پایه (۱۳۷۴) به بعد، فراوانی وقوع سوزباد بیش تر شده و تعداد روزهای سرد به واسطه وجود باد در شهرهای کشور رو به افزایش است. با بررسی فراوانی وقوع سوزباد در ماه های مورد مطالعه، بهمن ماه با ۴۷۲۱۹ مورد بیشترین و آبان ماه با ۱۷۷۲۸ مورد کمترین فراوانی وقوع را داشته اند (Ranjbar et al., 2016). در پژوهشی دیگر با استفاده از روش من-

کندال، تغییرات سوزبادهای دشت زرینه اوباتوو طی دوره ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۹ بررسی شد. نتایج نشان داد که در کل میزان دمای فصل زمستان منطقه افزایش یافته و متعاقب آن‌ها میزان سردی سوزبادهای فراوانی وقوع آن‌ها تغییر کرده است؛ به طوری که دمای سرمایش سوزبادهای روند کاهشی داشته و در سال ۱۳۸۶ جهش معناداری را تجربه کرده است. از اواسط سال ۱۳۸۰ نیز فراوانی سالانه طبقه اول سوزبادهای دارای روند کاهشی بوده و چند جهش معنی‌دار را نشان داده و حالت نرمال بلندمدت خود را از دست داده است (Parvin, 2022). در پژوهشی ارتباط بین شاخص سوزباد و پرفشار سیبری در استان‌های مجاور رشته‌کوه البرز طی دوره ۱۹۸۶-۲۰۱۶ بررسی شد. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های جنوب رشته‌کوه البرز سوزباد با تعداد و شدت بیش‌تری رخ می‌دهد. ایستگاه‌های قزوین و آبدلی در جنوب به ترتیب با میانگین سالانه ۱۶ و ۱۵ روز، بیش‌ترین و ایستگاه‌های بابلسر و انزلی در شمال به ترتیب با میانگین سالانه ۰/۵۸ و ۱/۱ روز کم‌ترین فراوانی سوزباد را دارند. بیش‌ترین تعداد روزهای سوزباد شدید (شاخص کمتر از ۱۰-) نیز در ایستگاه‌های آبدلی و قزوین (به ترتیب ۵/۳۹ و ۳/۶۵ روز در سال) رخ داده است. در حالی که ایستگاه‌های شمالی اساساً سوزباد شدید را تجربه نکرده‌اند. در مقیاس ماهانه، بیش‌ترین فراوانی رخداد پدیده مربوط به ماه‌های ژانویه و فوریه است. تلفیق داده‌های ایستگاهی با داده‌های فشار نشان داد که از بین ۳۰ رخداد منتخب، پرفشار سیبری فقط در ۴ رخداد عامل وقوع سوزباد بوده است. در بقیه رخداد‌های مورد مطالعه، عواملی مانند تشکیل ناوه، نفوذ زبانه‌های پرفشار از سمت دریای مدیترانه و دریای سیاه، و یا ترکیب عوامل (پرفشار سیبری، تشکیل

ناوه و پرفشار مهاجر) باعث وقوع سوزباد شده است؛ اما نقش ناه پرننگ تر بوده است (Ghiasi Ghorveh et al., 2023). در پژوهشی دیگر با استفاده از شاخص سوزباد، ارزیابی زمانی و مکانی مناطق مناسب استان خراسان رضوی جهت فعالیت‌های نظامی مورد واکاوی قرار گرفت. براساس نتایج، در روز ماه‌های فروردین و اردیبهشت، در شب ماه‌های تیر و مرداد و در شبانه روزی ماه‌های اردیبهشت و شهریور بهترین زمان‌ها جهت انجام امور نظامی هستند. به لحاظ مکانی، نواحی مرکز، جنوب و جنوب شرق استان خراسان رضوی در دوره بیش‌تری از سال دارای شرایط مطلوب فعالیت نظامی هستند (Rezaei et al., 2023). برای شناسایی و انتخاب بهترین شاخص اقلیم گردشگری جهت تعیین زمان مناسب و توسعه فعالیت‌های گردشگری در منطقه حفاظت‌شده حرا داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک قشم برای سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۲۱ تهیه شد. سپس به بررسی شاخص‌های اقلیم آسایش از جمله اقلیم گردشگری، اقلیم تعطیلات، بیکر، استلندارد دمای مؤثر، فشار عصبی، ترجونگ و ماهانی پرداخته شد. مطابق نتایج در شاخص اقلیم گردشگری بهترین زمان آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین، و در اقلیم تعطیلات آذر، دی، بهمن و اسفند می‌باشد. در شاخص بیکر نیز آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین، شرایط محیط برای فعالیت‌های گردشگری مناسب است. در شاخص دمای استاندارد مؤثر آذر، دی، بهمن و اسفند مناسب‌ترین ماه‌ها شناسایی شد. همچنین در شاخص فشار عصبی، مطلوب‌ترین زمان مهر و اسفند می‌باشد و در شاخص ترجونگ دی، بهمن و اسفند بهترین ماه‌ها انتخاب شدند. در نهایت در شاخص ماهانی آذر، دی و بهمن از مطلوبیت بیش‌تری برخوردارند. به‌طور کلی

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با تفکیک زمانی و مکانی مناسب می‌تواند اطلاعات مفید و معتبری را ارائه دهد. لذا لزوم انجام این مطالعه با داده‌های ماهواره‌ای و در سطح ملی احساس گردید. این موضوع از آن جهت حائز اهمیت است که با توجه به وزش بادهای سرد در کشور و نیز افت شدید دما در فصول سرد و در نتیجه وقوع سوزباد، لزوم شناخت دقیق و درست این شاخص به منظور کمک به برنامه‌ریزان و مردم امری مهم به شمار می‌رود.

۲. داده‌ها و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

آشنایی به موقعیت جغرافیایی هر کشور کلید درک بسیاری از مسائل جغرافیایی آن کشور است. بدین جهت سرزمین ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع مابین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ایران

رتبه‌بندی شاخص‌های اقلیمی نشان داد که شاخص اقلیم گردشگری دارای جامعیت بیش‌تر و با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، از نتایج واقعی‌تری برخوردار است. در بین شاخص‌ها همچنین، به ترتیب بیش‌ترین رتبه به شاخص‌های تریگونگ، اقلیم تعطیلات، ماهانی، دمای استاندارد مؤثر، بیکر و فشار عصبی اختصاص یافت (Sobhani and Danekar, 2023).

۱.۱. اهمیت و ضرورت تحقیق

با مرور منابع داخلی دریافتیم که اولاً این مطالعات در مقیاس محلی و در محدوده یک یا چند استان انجام شده است. ثانیاً همه این تحقیقات با داده‌های ایستگاهی انجام شده است. با توجه به فقدان ایستگاه‌های هواشناسی در بعضی مناطق از جمله نواحی بیابانی دور دست و کوهستان‌های مرتفع و همچنین پراکنش جغرافیایی نامناسب ایستگاه‌های مذکور،

از لحاظ آب و هوایی یکی از منحصر به فردترین کشورهای جهان محسوب می‌شود و در برخی نواحی آن چهار فصل به خوبی نمایان است. میانگین سالانه بارش ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر است اما بارش دریافتی مناطق کویری از ۵۰ میلی‌متر هم کم‌تر است. در حالی که در برخی نقاط سواحل دریای خزر بارش سالانه به ۱۸۰۰ میلی‌متر هم می‌رسد. از سوی دیگر ایران از نظر دمایی نیز بسیار متنوع است. دلیل این تنوع دمایی، همسایگی خشکی ایران با دو توده بزرگ آب در شمال و جنوب، گستردگی در عرض جغرافیایی و تنوع ناهمواری است. میانگین دمای ایران ۱۸ درجه سلسیوس است که نسبت به میانگین جهانی ۳ درجه سلسیوس بزرگ‌تر است. در نتیجه ایران گذشته از فقر بارش، از گرمای بالایی نیز برخوردار است (Asakereh, 2007; Masoodian, 2011). از کل مساحت ایران بطور میانگین تنها ۲ درصد آن پوشیده از برف است و فراوانی روزهای برف‌پوشان در ایران کم‌تر از ۲۰ روز در سال است (Keikhosravi Kiany, 2016). بنابراین تنوع، ویژگی ذاتی آب و هوای ایران است و هیچ کدام از عناصر آب و هوایی تصویر همگنی نمی‌دهد.

۲.۲. داده‌ها

در این پژوهش برای محاسبه شاخص سوزباد، نخست داده‌های سرعت باد و دمای هوا با تفکیک مکانی ۰/۲۵*۰/۲۵ درجه قوسی و تفکیک زمانی روزانه طی دوره ۱۹۹۴/۰۱/۰۱ تا ۲۰۲۳/۱۲/۳۱ میلادی به مدت ۱۱۰۰۰ روز از تارنمای پایگاه داده مرکز پیش بینی میان مدت اتحادیه اروپا (ECMWF) استخراج شد. ECMWF یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های داده واکاوی در جهان می‌باشد که مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار دارد (Dee et al., 2011). طبق تحقیقات گسترده‌ای که در این زمینه انجام شده، میزان خطای این منبع

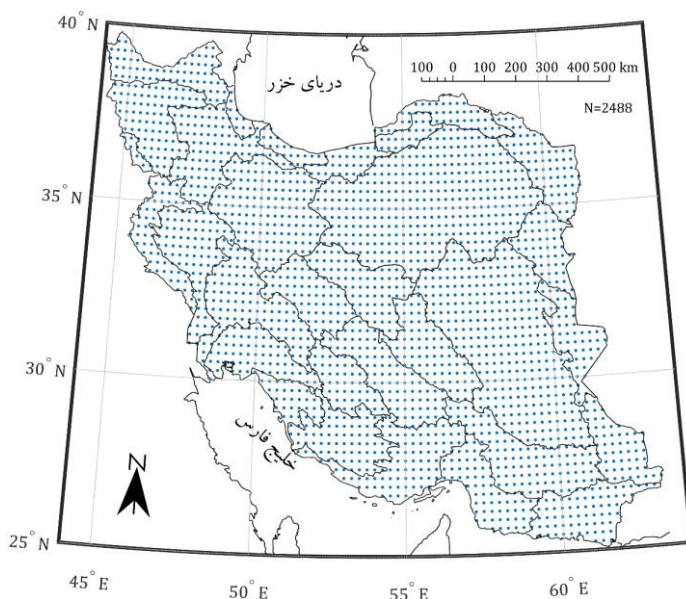
می‌شود. به عبارت بهتر با این کار مدل بهینه شده تا پیش بینی‌های آن خطای کمتری داشته باشد. داده‌های پایگاه ECMWF به طور کاربردی از سال ۱۹۷۹ با پوشش سراسری از ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی، تفکیک مکانی ۰/۱۲۵، ۰/۲۵، ۰/۴، ۰/۵ تا ۳ درجه و در مقیاس زمانی ساعتی، روزانه و ماهانه در دسترس می‌باشد.

ERA5 آخرین مجموعه داده‌های باز تحلیل هواشناسی می‌باشد که پارامترهای جوی، سطح زمین و اقیانوسی را همراه با عدم قطعیت آن‌ها از سال ۱۹۷۹ تاکنون در اختیار کاربران قرار می‌دهد. پارامترهای جوی و عدم قطعیت این مجموعه داده بر یک شبکه ۳۰ کیلومتری و ارتفاع ۸۰ کیلومتری پوشش داده شده است. به روزرسانی مجموعه داده و دقت این پارامترها به ترتیب هر ۵ روز و هر سه ماه منتشر می‌شود. ERA5 به دلیل افزایش

اطلاعاتی در مقایسه با داده‌های زمینی در بسیاری از نقاط جهان اندک و قابل چشم پوشی است و به همین علت می‌توان از آنها در کنار داده‌های زمینی و حتی در حکم جایگزینی برای داده‌های زمینی در مناطق بدون ایستگاه استفاده نمود (Katiraie- Boroujerdy et al., 2013; Raziei and Sotoudeh, 2017). داده‌های باز تحلیل شده از ترکیب نتایج پیش‌بینی‌های کوتاه مدت مدل‌های پیش‌بینی عددی وضع هوا با داده‌های مشاهداتی زمینی به دست می‌آید. پیش‌بینی‌های مدل عددی که حدس اولیه نامیده می‌شود بر اساس داده‌های ورودی مدل و رابط ریاضی تعریف شده برای مدل به دست می‌آید (Balsamo et al, 2015). از آنجایی که پیش‌بینی مدل‌های عددی مذکور همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است، این پیش‌بینی اولیه با داده‌های مشاهداتی زمینی که مرکز پیش‌بینی می‌رسد کنترل

تداخل سنجی راداری (Hu and Mallorquí, 2019; Benoit et al., 2019) استفاده کرد. این مجموعه داده بر یک شبکه منظم گاوسی کاهش یافته با تفکیک مکانی 0.25° درجه و زمانی ۳ ساعته بر 37° سطح فشار از تارنمای کوپرنیکوس^۱ قابل استخراج است.

تفکیک افقی، خروجی سه ساعته، بهبود دقت و نمایش بهتر جزئیات در سطح مدل جایگزین ERA-Interim شده است. از این مجموعه داده علاوه بر محاسبات تغییرات جرم می توان در محاسبه تأخیر تروپوسفری در راستای زینت (Jiang et al., 2020) و بهبود مدل های جوی جهانی و تصحیح تأخیر جوی در تصاویر



شکل ۱: موقعیت پیکسل های 0.25° درجه ای در ایران، منبع: نگارندگان

¹. Copernicus

جدول ۱: مقایسه مشخصات دو مجموعه داده ERA5 و ERA-Interim (Hersbach, 2016)

ERA5	ERA-ENTERIM	
۱۹۷۹ تاکنون	۱۹۷۹ تا ۲۰۱۹	بازه زمانی
تقریباً آبی	۲۰۰۶ تا ۲۰۱۸	بازه تولید
۳۱ کیلومتر، ۱۳۷ سطح تا ۱ پاسکال	۷۹ کیلومتر، ۶۰ سطح تا ۱۰ پاسکال	تفکیک مکانی
داده گواری به روش کالمن گروهی (EDA) با تفکیک ۶۳ کیلومتری	-	بر آورد عدم قطعیت
تحلیل، پیش بینی و EDA ۳ ساعته	تحلیل ۶ ساعته و پیش‌بینی ۳ ساعته	برونداد

۳.۲. روش‌ها

$11.37 V^{0.16} + 0.39657V^{0.16}$
 T دمای هوا بر حسب درجه سلسیوس و V سرعت باد در ارتفاع ۱۰-متری بر حسب کیلومتر بر ساعت می‌باشد (et Nelson, 2015; Ahrens, 2002; al., 2002). در گام چهارم بر اساس مقدار شاخص سوزباد نوع مخاطره سوزباد در گستره ایران طبقه‌بندی گردید (جدول ۲). در این پژوهش بر اساس جدول ۲ مقادیر سوزباد ۰ تا ۹- درجه سلسیوس بعنوان مخاطره کم، مقادیر سوزباد ۹- تا ۲۷- درجه سلسیوس بعنوان مخاطره متوسط و مقادیر سوزباد بالای صفر درجه سلسیوس بدون مخاطره تعریف شد..

پس از گردآوری داده‌های خام چندین پردازش انجام شد. در گام اول به کمک دستور inpolygon در نرم‌افزار متلب تنها داده‌های درون ایران که شامل ۲۴۸۰ پیکسل بود، استخراج گردید. در گام دوم به کمک رابطه ۱ سرعت باد از متر بر ثانیه به کیلومتر بر ساعت تبدیل شد.

(۱)

$$V = v \times 3.6$$

سرعت باد بر حسب متر بر ثانی در گام سوم بر اساس رابطه ۲ شاخص سوزباد (wch) محاسبه گردید:

(۲)

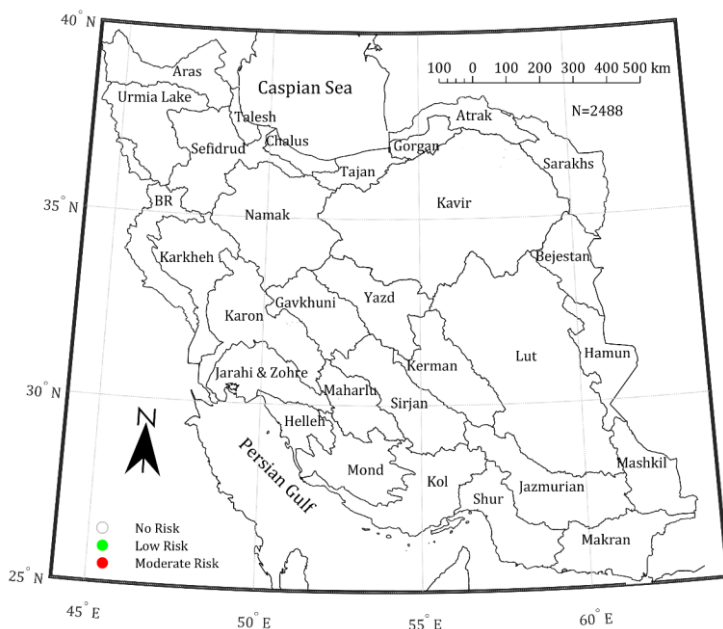
$$wch = 1312 + 0.6215T -$$

جدول ۲: طبقه‌بندی شاخص سوزباد و مخاطره آن (Bluestein and Zecher, 1999)

ردیف	شاخص سوزباد(سرمایش بادی)	احتمال خطر سرمزدگی	شرایط راحتی و آسایش بدن انسان	نحوه مقابله با شرایط پیش آمده و توصیه های ایمنی
۱.	۰ تا ۹-	کم	شروع احساس عدم راحتی	پوشیدن لباس مناسب و کافی
۲.	۱۰- تا ۲۷-	متوسط	احساس عدم راحتی و خطر وقوع هیپوترما اگر انسان به مدت طولانی در معرض هوای آزاد قرار گیرد.	پوشیدن چند لایه لباس مناسب با یک پوشش بیرونی ضد باد و استفاده از کلاه
۳.	۲۸- تا ۳۹-	زیاد- در صورتی که بدن در مدت ۱۰ الی ۳۰ دقیقه در معرض هوای آزاد قرار گیرد.	شروع سرمزدگی اعضای انتهایی بدن (مانند انگشتان، بینی و گوش ها)	پوشیدن چند لایه لباس مناسب با یک پوشش بیرونی ضد باد همراه با کلاه. همچنین کلیه اعضای بدن در معرض هوا باید پوشیده باشد.
۴.	۴۰- تا ۴۷-	خیلی زیاد- در صورتی که بدن به مدت ۱۰ الی ۵ دقیقه در معرض هوای آزاد قرار گیرد.	سرمزدگی و بی حس شدن اعضای انتهایی بدن (مانند انگشتان، بینی و گوش ها)	پوشیدن چند لایه لباس گرم با یک پوشش بیرونی ضد باد همراه با کلاه. کلیه اعضای بدن در معرض هوا باید پوشیده باشد و بدن را باید فعال نگه داشت.
۵.	۴۸- و پایین تر	خیلی شدید- در صورتی که بدن به مدت ۲ الی ۵ دقیقه در معرض هوای آزاد قرار گیرد.	خطر قطعی سرمزدگی اعضای بدن و وقوع حتمی هیپوترمای انسانی	در این شرایط باید خیلی احتیاط کرد. پوشیدن چند لایه لباس گرم پشمی با یک پوشش بیرونی ضد باد و همراه با کلاه. کلیه اعضای بدن در معرض هوا باید پوشیده باشد و همچنین اجتناب از حضور در فضای آزاد.

۳. یافته‌ها و نتایج

با توجه به این که نتایج این پژوهش در مقیاس زمانی ماهانه بوده و شاخص سوزباد در فصول سرد سال رخ می‌دهد؛ بنابراین شش ماه سرد سال (اکتبر، نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه و دسامبر) به تفکیک بررسی شده است. در شکل ۲ آب و هواشناسی مخاطره سوزباد در ماه اکتبر (مهر ماه) طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۴ میلادی نشان داده شده است. در این ماه هر چند هوا به طور کامل رو به اعتدال گراییده است اما با توجه به عدم نفوذ توده‌های هوای سرد به گستره جغرافیایی کشور، هیچ‌گونه ریسکی برای رخداد پدیده سوزباد مشاهده نشده است. بنابراین در مهرماه برای انجام فعالیت‌های نظامی، مخاطره سوزباد هیچ‌گونه مشکلی را ایجاد نمی‌کند.



شکل ۲: آب‌وهواشناسی مخاطره سوزباد در ماه اکتبر (مهرماه)، منبع: نگارندگان

در شکل ۳ آب‌وهواشناسی مخاطره سوزباد در ماه نوامبر (آبان ماه) طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۴ میلادی نشان داده شده است. در این ماه با توجه شروع تدریجی دوره سرد سال و نفوذ توده‌های هوای سرد به گستره سرزمینی کشور، در بلندترین نقاط کشور مانند ارتفاعات البرز مرکزی، شمال غرب و همچنین زاگرس مرکزی، رخداد پدیده سوزباد مشاهده می‌شود. البته، مخاطره با ریسک پایین و محدود به برخی ارتفاعات است که با رنگ سبز نشان داده شده است. برای ریسک مذکور احتمال سرمازدگی کم می‌باشد با این وجود؛ باید شرایط خاص اقلیم کوهستان‌ها به خصوص ویژگی‌های اقلیم محلی و تنوع ارتفاعی و شیب‌های تند کوه‌ها که می‌تواند سبب افزایش سرعت وزش بادهای مقطعی و متعاقب آن تشدید ناگهانی مخاطره سوزباد شود را باید در نظر گرفت. در شرایط اضطرار به انجام عملیات

نظامی لازم، شرایط فیزیکی نیروهای نظامی با توجه وضعیت فیزیولوژیکی آنان مورد بررسی قرار گیرد و در صورت نیاز افراد ضعیف و لاغر اندام لباس گرم کافی بپوشند. به طور کلی همان‌طور که در نقشه نیز مشاهده شد در ماه مورد بررسی بجز معدود ارتفاعات بلند کشور، در سایر مناطق کشور به لحاظ مخاطره سوزباد در انجام امور نظامی مشکل خاصی وجود ندارد.

در شکل ۴ آب‌وهواشناسی مخاطره سوزباد در ماه دسامبر (آذر ماه) طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۴ میلادی نشان داده شده است. در این ماه افزایش چشمگیری در رخداد سوزباد نسبت به ماه قبل مشاهده می‌شود. به طوری که در غالب بلندی‌های البرز و زاگرس ریسک کم رخداد سوزباد وجود دارد. با توجه به قرارگیری ماه مذکور در نزدیکی اوج زمستان و شروع تدریجی تأثیرات سامانه‌های فصل سرد سال، امری

رخداد سوزباد با رنگ سرخ مشاهده می‌شود که با توجه به بلندی چشم‌گیر این ارتفاعات (دماوند تقریباً ۵۶۷۱ متر) و عرض جغرافیایی بالا و متعاقباً تأثیرپذیری بیش‌تر از توده‌های ورودی سرد از عرض‌های جغرافیایی بالا، قابل توجه می‌باشد. با توجه به رخداد مخاطره سوزباد در سطح متوسط در ماه مذکور، بنابراین شرایط در این ماه متفاوت است و باید موارد لازم در صورت کار یا فعالیت نظامی در فضای باز یا ارتفاعات رعایت شود تا نیروهای انسانی دچار مشکل و آسیب سرمایه‌ی ناشی از مخاطره سوزباد نشوند. در وضعیت رخداد مخاطره سوزباد با سطح متوسط که همراه با شروع عدم راحتی و خارج شدن از آسایش اقلیمی است لازم نیروهای نظامی لباس‌ها و پوشش‌های حفاظتی گرمایی و مقاوم به سوزباد را بپوشند و مخصوصاً از ضربه‌گیر باد و کلاه استفاده کنند تا آثار سوزباد را کاهش دهند. بنابراین در آذرماه،

طبیعی و قابل توجه است. همچنین، علاوه بر مناطق نامبرده، در ارتفاعات شمال شرق و همچنین به طور محدودی در بلندی‌های هزار و جبال‌بارز در کرمان نیز ریسک درجه کم سوزباد وجود دارد. در مورد علل رخداد مخاطره سوزباد در مناطق مذکور، برای ارتفاعات خراسان یکی نفوذ بیش‌تر و سریع‌تر توده‌های سرد سیبری و دیگری عرض جغرافیایی شمالی‌تر آن‌ها را می‌توان بیان کرد. اما در در مورد بلندی‌های کرمان که برعکس در عرض‌های جغرافیایی جنوبی واقع شده‌اند عامل اصلی رخداد سوزباد را می‌توان در درجه اول ارتفاع قابل توجه آن-ها (تقریباً ۴۴۰۰ متر) دانست که اثر سرمایه‌ی قابل توجهی را ایجاد می‌کنند. در درجه بعدی، نفوذ مقطعی توده‌های سرد زمستانی و ماندگاری آن‌ها نیز اثرگذار می‌باشد. نکته جالب و مهم در این ماه این است که در نقاط محدودی در بلندی‌های البرز مرکزی و غربی ریسک متوسط برای

سوزباد به طور مقطعی رخ می‌دهد. نکته قابل توجه در این ماه، افزایش گسترده‌ی تحت پوشش ریسک سطح متوسط مخاطره سوزباد است که علاوه بر البرز مرکزی و غربی، این بار در ارتفاعات زاگرس مرکزی (چهارمحال و بختیاری) نیز در نقشه‌ها ظاهر شده است. علل اصلی رخداد مخاطره سوزباد در زاگرس مرکزی را می‌توان یکی بلندی قابل توجه ارتفاعات مذکور و همچنین دیگری تأثیرپذیری قابل توجه آن از توده‌های ورودی غربی دانست که با توجه ریزش برف فراوان در این منطقه، متعاقب آن اثر سرمایشی قابل توجهی نیز ایجاد می‌شود که به احتمال ریسک مخاطره سوزباد را نیز بالا می‌برد. علاوه بر این‌ها؛ پدیده سوزباد در فصول سرد سال حتی در مناطق پست و خشک نظیر حوضه آبریز جازموریان در جنوب شرق کشور نیز به طور مقطعی و محدود رخ می‌دهد. با توجه به اوج شدت و گستردگی سالانه مخاطره

در شکل ۵ آب‌وهواشناسی مخاطره سوزباد در ماه ژانویه (دی ماه) طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۴ میلادی نشان داده شده است. در این ماه ریسک سوزباد در بالاترین مقدار خود از ۱۲ ماه سالانه قرار دارد. همان‌طور که مشخص است بیشینه ریسک سوزباد در ماه مذکور بر روی بلندی‌های البرز، زاگرس و همچنین ارتفاعات مرزی شمال غرب کشور قرار دارد. روشن است که با توجه به تنوع شیب‌های مختلف در کوهستان‌ها و دامنه‌های آن‌ها، پدیده سوزباد در عوارض جغرافیایی مذکور به صورت فراوان‌تری به وقوع می‌پیوندد. بنابراین، با توجه به رخداد بیش‌تر پدیده سوزباد در مناطق کوهستانی البرز و زاگرس، اجرای هرگونه عملیات نظامی نیز در مناطق مذکور به خصوص در فصول سرد سال با دشواری‌هایی همراه است. البته در سایر نواحی مرتفع ایران نظیر رشته کوه‌های بلند خراسان و همچنین هزار و لاله زار کرمان نیز پدیده

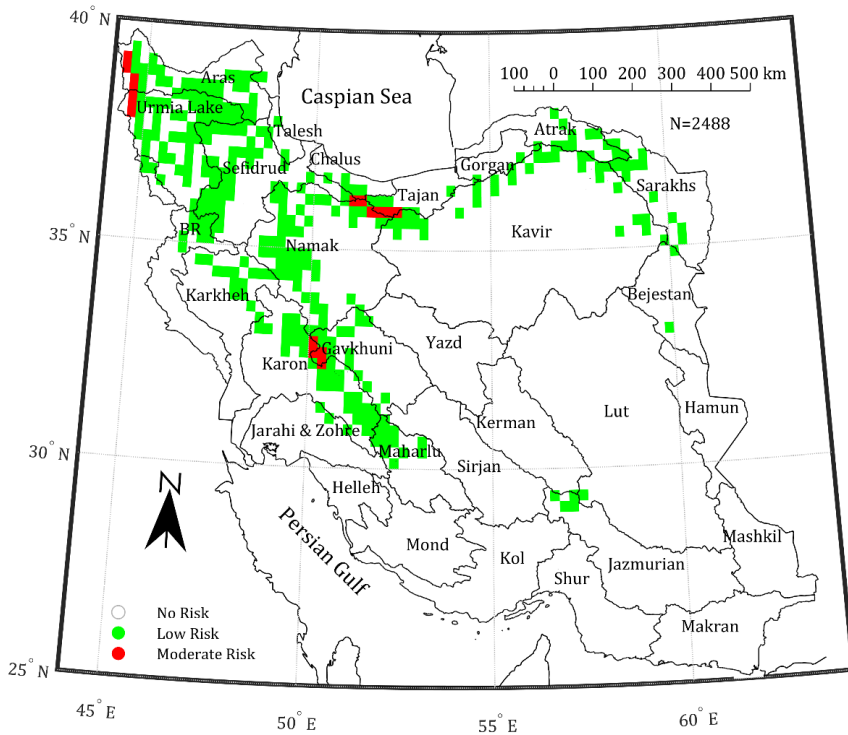
نیروهای نظامی ایجاد نشود. اما در سایر مناطق کشور، به خصوص نیمه جنوبی و همچنین بخش‌های غالب شرق کشور تقریباً شرایط آسایش حرارتی برقرار است و مخاطره مذکور در دسرساز نمی‌شود.

در شکل ۷ آب‌وهواشناسی مخاطره سوزباد در ماه مارس (اسفند ماه) طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۴ میلادی نشان داده شده است. همان‌طور که آشکار است تغییرات چشم-گیری در قلمرو و شدت پدیده مذکور رخ داده است. به گونه‌ای که دیگر خبری از مناطق با ریسک متوسط نیست. مناطق دارای ریسک پایین نیز صرفاً محدود به بلندی‌های البرز و زاگرس می‌باشد. در توجیه کاهش شدت و گستره‌ی سطوح ریسک در ماه مذکور، علت اصلی را می‌توان کاهش تدریجی ورود سامانه‌های آب و هوایی دوره‌ی سرد سال دانست که با کاهش اثرگذاری آن‌ها، متعاقب آن شرایط آسایش حرارتی برقرار می‌شود. البته با

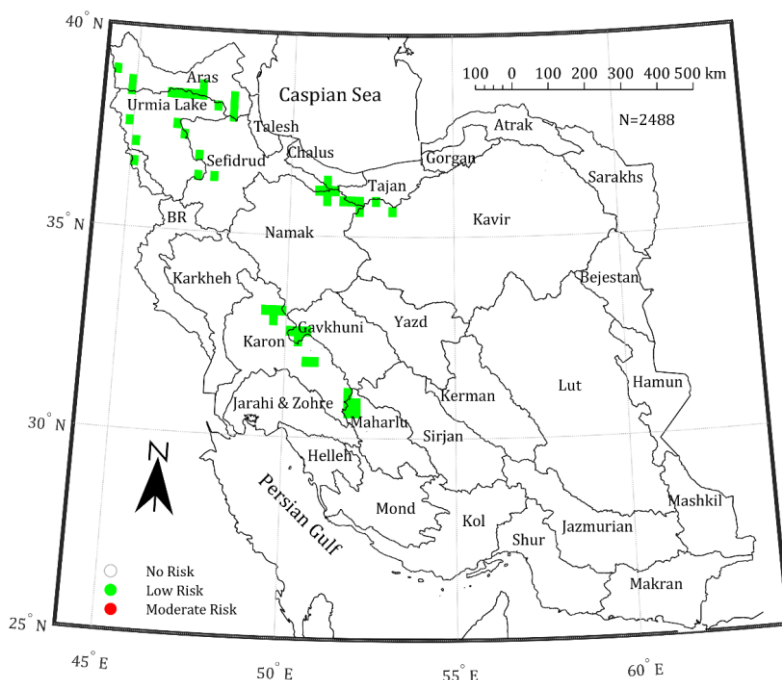
کاهش تدریجی اثرگذاری سامانه‌های آب-وهوایی دوره سرد سال در بخش‌های جنوبی و شرقی کشور را بیان کرد. با این وجود؛ با توجه به اینکه بهمن ماه یکی از سردترین ماه‌های اقلیمی کشور بعد از دی ماه بوده، بنابراین باید همواره امکان رخداد مخاطره سوزباد قوی در آن وجود دارد؛ مخصوصاً با موضوع تغییرات اقلیمی که پیش‌بینی‌ها را پیچیده و سخت کرده، به خوبی مطلب اخیر روشن می‌شود. به طور کلی، با توجه به دور شدن تدریجی از فصل سرد سال و نفوذ کم‌تر توده‌های هوای سرد به گستره جغرافیایی کشور، کاهش قابل توجه رخداد مورد بررسی، قابل توجیه می‌باشد. از نظر رخداد سوزباد، انجام فعالیت‌های نظامی در ماه مذکور، در امتداد رشته کوه‌های البرز و زاگرس و نقاط محدودی در بلندی‌های کرمان همچنان با محدودیت مواجه است و لازم است تدابیر لازم ایمنی و حفاظتی رعایت شود تا مشکلی برای

توجه به قرارگیری اسفندماه در تقویم زمانی و اقلیمی زمستان، در محدود مواردی احتمال رخداد مخاطره سوزباد در این ماه نیز وجود دارد که باید آن را در نظر گرفت. به طور کلی، برای انجام امور نظامی در این

موقع از سال نیز، با توجه به برقراری نسبی آسایش اقلیمی در غالب گستره‌ی سرزمینی کشور، بجز نقاط نامبرده در بالا، پدیده سوزباد اختلال خاصی را ایجاد نمی‌کند.



شکل ۶: آب‌وهواشناسی مخاطره سوزباد در ماه فوریه (دی ماه)، منبع: نگارندگان

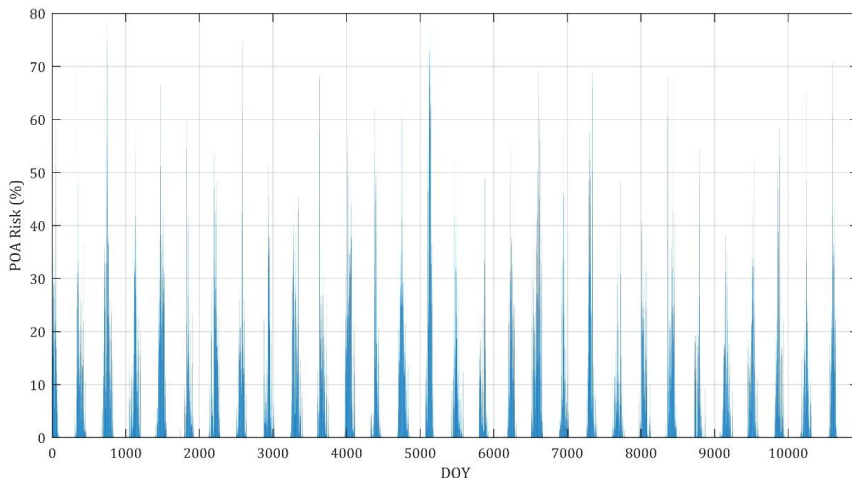


شکل ۷: آب‌وهواشناسی مخاطره سوزباد در ماه مارس (اسفند ماه)، منبع: نگارندگان

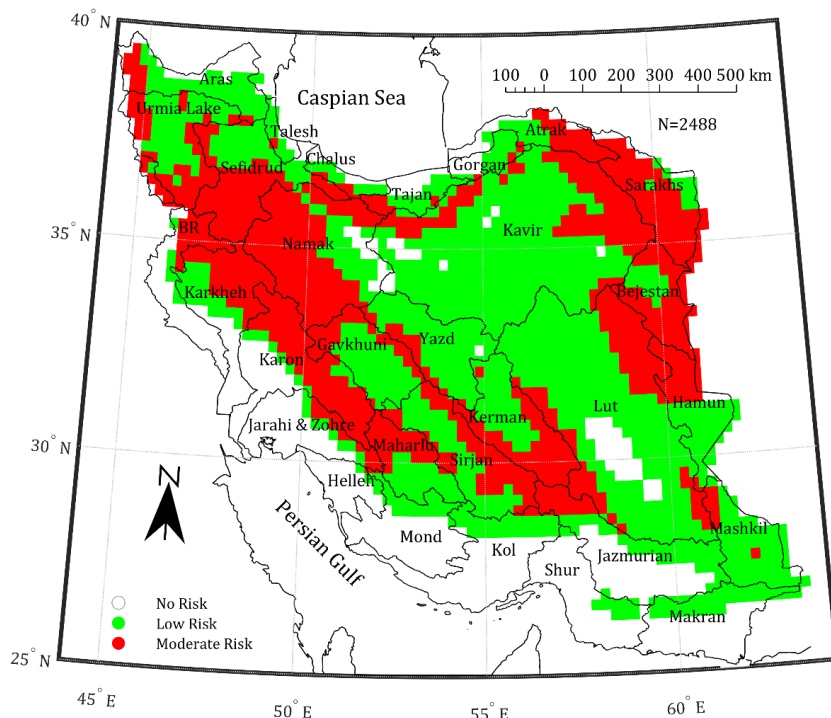
سوزباد رخ داده است؛ یعنی در هریک از این ۲۲ روز، بیش از ۷۰ درصد گستره کشور مخاطره سوزباد اتفاق افتاده است. همچنین، براساس شکل مذکور، روند سری زمانی مخاطره سوزباد در ایران با وجود نوسان در سال‌های مورد بررسی اما به طور کلی با روند کاهشی مواجه شده است که با توجه به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی مخصوصاً افزایش دمای فرین زمستان‌های

در شکل ۸ درصد فراوانی مخاطره سوزباد در گستره ایران طی دوره ۱۹۹۴-۲۰۲۳ نشان داده شده است. در این پژوهش روزهایی که هر دو مخاطره کم و مخاطره متوسط با هم بیش از ۷۰ درصد گستره کشور را در بر گرفته‌اند، به عنوان روز فرین در نظر گرفته شده است. بررسی سری زمانی درصد گستره مخاطره سوزباد نشان داد که در بازه ۱۱۰۰۰ روزه، ۲۲ روز فرین

ایران قابل توجه می‌باشد. علاوه بر این‌ها؛
 دیگر یافته‌ها نشان دادند که بیش از ۵۰ درصد این روزهای فرین مخاطره سوزباد تنها در ژانویه و فوریه ۲۰۰۸ مشاهده شده است. بالاترین فراوانی رخداد مخاطره سوزباد در دو ماه ژانویه و فوریه به خوبی بیان‌گر این نکته است که در هر صورت انجام هرگونه فعالیت نظامی در ماه‌های مذکور، حتما شرایط احتمالی رخداد مذکور مورد بررسی قرار گیرد تا عوامل نظامی در هنگام عملیات‌های خاص دچار مشکل و بحران نشوند. همچنین، بررسی توزیع فضایی مخاطره سوزباد در طی دوره‌ی مورد مطالعه نشان داد بالاترین مخاطره سوزباد در ۵ فوریه ۲۰۰۸ در ۸۰ درصد گستره رخ داده است که علت آن را می‌توان به نفوذ پرفشار سرد و خشک سیبری از شمال شرق کشور نسبت داد که قدرت سرمایشی شدیدی داشته و با توجه به وجود بلندی‌های مرتفع ایران مانند رشته کوه‌های البرز و زاگرس، اثر آن تقویت نیز شده است (شکل ۹).



شکل ۸: سری زمانی درصد گستره مخاطره سوزباد در ایران طی دوره ۱۹۹۴-۲۰۲۳ (محور افقی (DOY) روزهای سری زمانی و محور عمودی (POA Risk) درصد گستره ریسک سوزباد)، منبع: نگارندگان.



شکل ۹: مخاطره سوزباد در گستره ایران در ۵ فوریه ۲۰۰۸، منبع: نگارندگان

۴. نتیجه‌گیری

این رو در این پژوهش با استفاده از داده-های ماهواره‌ای مخاطره سوزباد در گستره ایران طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۴ بررسی گردید. نتایج نشان داد که مخاطره سوزباد در ایران تنها در ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن و اسفند رخ می‌دهد. این موضوع طبیعی است چرا که در بقیه ماه‌های سال

آب و هوا یکی از جنبه‌های مهم زندگی انسان است که اثر آن بر زندگی موجودات بر همگان روشن است. در برخی مناطق ایران شاخص سوزباد می‌تواند بعنوان یک مخاطره عمل کند و خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به بار بیاورد. از

هوا گرم بوده و سوزباد رخ نخواهد داد. همچنین یافته‌ها نشان داد که به دلیل سرما بیش‌ترین گستره مخاطره سوزباد بویژه در دی ماه و در ارتفاعات زاگرس و البرز رخ می‌دهد. روشن است که با توجه به تنوع شیب‌های مختلف در کوهستان‌ها و دامنه‌های آن‌ها، پدیده سوزباد در عوارض جغرافیایی مذکور به صورت فراوان‌تری به وقوع می‌پیوندد. بنابراین، با توجه به رخداد بیش‌تر پدیده سوزباد در مناطق کوهستانی البرز و زاگرس، اجرای هرگونه عملیات نظامی نیز در مناطق مذکور به خصوص در فصول سرد سال با دشواری‌هایی همراه است. البته در سایر نواحی مرتفع ایران نظیر رشته کوه‌های بلند خراسان و همچنین هزار و لاله زار کرمان نیز پدیده سوزباد به طور مقطعی رخ می‌دهد. علاوه بر این؛ به طور کلی پدیده سوزباد در فصول سرد سال حتی در مناطق پست و خشک نظیر حوضه آبریز جازموریان در جنوب شرق کشور نیز به طور مقطعی و محدود رخ می‌دهد؛ اما آن‌چنان خطری جهت فعالیت‌های نظامی ندارد. نتایج این تحقیق با بخشی از نتایج پژوهش (Pashapour and Esmaeili Mahmoudabadi, 2025) مطابقت دارد؛ چرا که یافته‌های آن‌ها حاکی از عدم مطلوبیت اقلیم نظامی در سواحل جنوبی کشور در دوره‌ی گرم سال (بهار و تابستان) و برعکس، مطلوبیت اقلیم نظامی سواحل مذکور در دوره‌ی سرد سال (پاییز و زمستان) است که کاملاً با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین، بخش دیگری از یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج تحقیق (Ranjbar et al., 2016) هماهنگی دارد که در هر دو پژوهش زمان آغاز و پایان مخاطره سوزباد ماه‌های آبان و فروردین بوده است که این مورد بر اعتبار نتایج کار پیش رو صحنه می‌گذارد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه / رساله نبوده است.

References

- Ahrens, C. D. (2015). *Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment*. Cengage Learning Canada Inc.
- Asakereh, H. (2007). Spatio-temporal changes of Iran inland precipitation during recent decades. *Geography and Development*, 5(10), 145-164.
- Balsamo, G., Albergel, C., Beljaars, A., Boussetta, S., Brun, E., Cloke, H., & Vitart, F. (2015). ERA-Interim/Land: a global land surface reanalysis data set. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(1), 389-407.
- Benoit, A., Jolivet, R., & Pinel-Puységur, B. (2019). Correction of tropospheric effects in SAR interferometry: a comparison of ERA-Interim, ERA-5 and HRES Global Atmospheric Models.
- Błażejczyk, K., & Twardosz, R. (2009). Long-term changes of bioclimatic conditions in Cracow (Poland). In *The Polish climate in the European context: An historical overview* (pp. 235-246). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Bluestein, M., & Zecher, J. (1999). A new approach to an accurate wind chill factor. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(9), 1893-1900.
- Danielsson, U. (1996). Windchill and the risk of tissue freezing. *Journal of Applied Physiology*, 81(6), 2666-2673.

- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., & Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the royal meteorological society*, 137(656), 553-597.
- Epstein, Y., & Moran, D. S. (2006). Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial health*, 44(3), 388-398.
- Ghiasi Ghorveh, S., Mojarrad, F., & Koshki, S. (2023). Study of Wind Chill Index and its Relation with Siberian High Pressure in Adjacent Provinces of Alborz Mountains. *Geographic Space*, 22(80), 151-170.
- Hersbach, H. (2016). ERA5 reanalysis is in production. *ECMWF newsletter*, 147(7), 5.
- Heydari, H., & Saeid Abadi, R. (2008). Regionalization of Windchill in Northwest and West of Iran. *GEOGRAPHICAL RESEARCH QUARTERLY*, 40(1), 93-107.
- Hu, Z., & Mallorquí, J. J. (2019). An accurate method to correct atmospheric phase delay for insar with the era5 global atmospheric model. *Remote Sensing*, 11(17), 1969. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form>
- Jiang, C., Xu, T., Wang, S., Nie, W., & Sun, Z. (2020). Evaluation of zenith tropospheric delay derived from ERA5 data over China using GNSS observations. *Remote Sensing*, 12(4), 663.
- Katiraie-Boroujerdy, P. S., Nasrollahi, N., Hsu, K. L., & Sorooshian, S. (2013). Evaluation of satellite-based precipitation estimation over Iran. *Journal of arid environments*, 97, 205-219.
- Keikhosravi Kiany M. S. (2016) Climatology of snow cover in

- Iran using remote sensing data (Doctoral dissertation, PhD thesis, Department of Physical Geography, University of Isfahan).
- Kim, T., Villarini, G., Prein, A. F., Done, J. M., Johnson, D. R., & Wang, C. (2025). Climate change reduces the wind chill hazard across Alaska. *Communications earth & environment*, 6(1), 195.
 - Li, C., Wu, J., Zhang, Y., Xu, C., & Tao, Z. (2025). Effects of wind direction on human physiological responses and thermal perception during extreme cold exposure (-15° C). *Building and Environment*, 113412.
 - Lin, L., Luo, M., Chan, T. O., Ge, E., Liu, X., Zhao, Y., & Liao, W. (2019). Effects of urbanization on winter wind chill conditions over China. *Science of the Total Environment*, 688, 389-397.
 - Masoodian, S. A. (2011). Climate of Iran. *Toos Publication, Iran*.
 - Nelson, C. A., Tew, M., Phetteplace, G., Schwerdt, R., Maarouf, A., Oszczewski, R., & Browne, K. (2002). 6B. 2 JOINT DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION BY THE UNITED STATES AND CANADA OF A NEW WIND CHILL TEMPERATURE (WCT) INDEX.
 - Oszczewski, R., & Bluestein, M. (2005). The new wind chill equivalent temperature chart. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86(10), 1453-1458.
 - Parvin, N. (2022). Investigation of Wind Chills changes in Zarrineh plain during the last three decades using Man-Kendall method. *Physical Geography Research*, 53(4), 557-572.
 - Pashapour, H., & Esmaeili Mahmoudabadi, A. (2025). Evaluation of thermal and cold stresses and its impact on military activities in the southern

- coast of Iran. *Journal of Climate Research*, 1403(60), 125-137.
- Ranjbar, S., Kamali, G. A., Ataei, H., & Gandomkar, A. (2016). Determination of Wind Chill index based on the climatic data in Iran, *Journal of Physical Geography*, 9(33), 67-81.
- Razi, T. and Sotoudeh, F. (2017). Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(1), 133-147.
- Rezaei, H., Motamedirad, M., & Behniyafar, A. (2023). Evaluation of thermal stress on military activity in Khorasan Razavi province based on Suzbad index. *Journal of Climate Research*, 1401(52), 77-88.
- Siple, P. A., & Passel, C. F. (1945). Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 89(1), 177-199.
- Sobhani, P., & Daneshkar, A. (2023). Identification and Selection of the Best Tourism Comfort Climate Index in Mangrove Forest Habitats Case Study: Mangrove Protected Area. *Physical Geography Research*, 55(2), 1-23.