



University of Tehran Press

Environmental

Hazards

Management



Iranian Hazardology Association
Online ISSN: 2383-0530

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

Statistical Investigation of Emerging Dusts in Ardabil Plain: Climate Effects and Mitigation strategies

Bromand Salahi^{1*} | Mahnaz Saber²

1. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: salahi@uma.ac.ir

2. Postdoctoral Researcher in Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: mahnaz.saber@uma.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:

Received: 25 August 2025

Revised: 12 September 2025

Accepted: 14 September 2025

Published: 22 September 2025

Keywords:

Ardabil,
DCMD,
Dust Storm,
Local Center.

ABSTRACT

Objective: This study aims to examine the wind and emerging patterns of dust storms in the Ardabil plain over a 19-year period from 2000 to 2018. It focuses on conducting a statistical analysis, pinpointing local hotspots that contribute to the occurrence of these events, and offering practical solutions to mitigate their impacts.

Methods: This study utilized three-hour wind direction and speed data from the Ardabil synoptic station, along with current condition codes (06, 07, 08, 09, 30, 31, 32, 33, 34, and 35). In combination with the Dust Column Mass Density (DCMD) index, analysis of variance, and LSD tests, the research aimed to assess the influence of the local hotspot on the occurrence and intensification of dust events.

Findings: The analysis reveals that the annual dominant wind direction in the Ardabil plain is easterly, with a frequency of 12%, and an average wind speed of 3.8 m/s when calm conditions are included, rising to 6.3 m/s when calm periods are excluded. The peak wind speed was recorded in January. Trends in dust events indicate a notable increase in frequency over recent years, with the highest occurrences observed in 2011 and 2013, totaling 25 days. The greatest monthly average, 1.2 days, was recorded in March. Based on the dust storm rose, the annual pattern of dust entry into the Ardabil plain varies by season, originating from the southwest throughout the year, shifting to northeast during the warmer months of June through August, dual directions (southwest and northeast) in September, and remaining southwest for the rest of the year.

Conclusion: The findings highlighted the predominance of storms originating locally, as evidenced by the high frequency of code 07 occurrences (239 cases compared to 61 cases for code 06), elevated DCMD values in Ardabil relative to surrounding areas such as Sarein, Sarab, Mianeh, Meshkinshahr, Nir, and Khalkhal, and statistically significant analyses. The Aghbulaghe-Mustafa-Khan region was identified as the critical local epicenter. This area demonstrated a pivotal influence during the warmer months in particular. Proposed measures include managing the local center, establishing both natural and artificial windbreaks, implementing continuous air quality monitoring, and emphasizing the importance of regional collaboration.

Cite this article: Salahi, B., & Saber, M. (2025). Statistical Investigation of Emerging Dusts in Ardabil Plain: Climate Effects and Mitigation strategies. *Environmental Hazards Management*, 12 (2), 167-180. DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.399370.889>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.399370.889>

Introduction

The Ardabil Plain in northwest Iran has increasingly encountered the issue of dust storms in recent years. With a notable rise in their frequency and intensity over the past two decades, it has become essential to carry out an in-depth statistical evaluation of this phenomenon. Identifying key local

sources contributing to its occurrence and developing practical measures to mitigate its impact are vital steps toward addressing the problem effectively.

Method

The study employs a descriptive-analytical approach, analyzing three-hour wind direction and speed data from the Ardabil meteorological station alongside current condition codes related to dust phenomena over a 19-year statistical period (2000-2018). Dust Column Mass Density (DCMD) data were sourced from the MERRA database, supplemented by an evaluation of data from neighboring stations. To visualize and interpret the findings, storm-rose and wind-rose diagrams were created using WR plot software. Statistical analyses included T-tests and ANOVA, while differences between stations were assessed using the LSD mean comparison method. Graphs were generated and interpreted with the help of GraphPad Prism software.

Results

The analysis of annual dust storm frequency in the Ardabil plain indicates that the highest number of dust events occurred in 2011 and 2013. The DCMD index revealed that dust concentrations in Ardabil are notably higher compared to surrounding regions. This disparity is mainly linked to the influence of the local dust source in the Aghbulagh-Mustafa-Khan desert area, situated east of Ardabil. During the warmer months (June through August), wind directions shift toward the northeast, contributing to increased dust activity. Statistical tests further confirmed a significant difference in wind speed between normal and dusty days, with a P-value of less than 0.05. The findings emphasize that Ardabil's elevated dust levels primarily originate from a local source—a dry desert zone spanning approximately 6,880 hectares, located about 11 kilometers east of Ardabil city, near Ardabil Airport and Industrial Park No. 2.

Conclusions

The findings indicate that dust storms in the Ardabil plain largely originate from local sources. The primary hotspot for this activity is the Aghbolagh Mustafa Khan region, situated approximately 11 kilometers east of Ardabil. Evidence supporting this includes the identification of 239 local dust incidents categorized under code 07, the alignment between the direction of dust inflow during warmer months and the location of this local hotspot, a notable rise in dust levels in Ardabil compared to nearby stations, and the results of statistical analyses, all of which underscore the significance of the local source in driving these events. To address this issue, it is recommended to manage local dust centers by stabilizing quicksand and cultivating resilient plant species, while establishing both natural and artificial windbreaks around active areas. Additionally, regular air quality monitoring should be conducted, complemented by the development of an early warning system. Programs focused on sustainable land and water management should also be introduced, alongside initiatives to foster regional and international collaboration aimed at controlling cross-border dust sources.

References

- Farahbakhsh, M., Alijani, B. & Fattahi, E. (2015). Synoptic analysis of Iran dust storm hazard (July 30 to August 2, 2012). *Environmental Management Hazards*, 2(1), 5-20. (in Persian) <https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.53918>
- Ghadamkheir, M. S., Borna, R., Morshedi, J. & Ghorbanian, J. (2025). Revealing the role of changes in vegetation cover and soil moisture in the annual distribution of dust events in Khuzestan province. *Climate Change Research*, 5(17), 17-30. (in Persian) <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.422066.1168>
- Meng, H., Wang, F., Bai, G., & Li, H. (2025). A Study on Dust Storm Pollution and Source Identification in Northwestern China. *Toxics*, 13(1), 33. <https://doi.org/10.3390/toxics13010033>
- Tan, C., Liu, C., Li, T., Liu, X., Tang, M., & Zhao, T. (2025). Spatiotemporal Variations and Key Driving Factors of Dust Storms in China's Source Regions from 2000 to 2024. *Atmosphere* 16(5):589. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos16050589>
- Vatanparast Galeh Juq F, Salahi B, Zeinali B. (2025). Investigating the Role of the Madden-Julian Oscillation (MJO) on the Frequency of Dust Storms in Selected Stations of Khuzestan Province and Tracking the Paths of Dust Entering it. *jgs*. 25(77), 198-217. (in Persian) <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.18>

Author Contributions

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript. All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank the esteemed referees for their structural and scientific comments.

Ethical Considerations

The authors avoided data fabrication, falsification ,plagiarism, and misconduct.

Funding

This article was financially supported by the General Department of Environment of Ardabil Province.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.



شاپا الکترونیکی: ۴۱۶۸-۲۴۲۳

مدیریت مخاطرات محیطی

سایت نشریه: <https://jhsci.ut.ac.ir>



انتشارات دانشگاه تهران

کاوش آماری گردوغبارهای نوظهور دشت اردبیل: تأثیرات اقلیمی و راهکارهای مقابله

برومند صلاحی^{۱*} | مهناز صابر^۲

۱. نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: salahi@uma.ac.ir
۲. پژوهشگر پسادکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: mahnaz.saber@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

کلیدواژه:

اردبیل،

توفان گردوغبار،

کانون محلی،

DCMD.

هدف: هدف این پژوهش، بررسی باد و پدیده نوظهور توفان گردوغبار دشت اردبیل طی دوره ۱۹ ساله (۲۰۱۸-۲۰۰۰) با تمرکز بر تحلیل آماری، شناسایی کانون‌های محلی مؤثر در وقوع این رخداد و ارائه راهکارهای عملی برای کاهش آثار آن است.

روش پژوهش: در این پژوهش از داده‌های سه‌ساعته سمت و سرعت باد ایستگاه هواشناسی اردبیل و کدهای وضعیت حاضر (کدهای ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵) همراه با شاخص غلظت ستونی توده گردوغبار جوی (DCMD)، تحلیل واریانس و آزمون LSD برای شناسایی اثر کانون محلی در وقوع یا تشدید رخداد گردوغبار استفاده شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که باد غالب سالانه، شرقی (۱۲ درصد فراوانی) و میانگین سرعت باد، ۳/۸ متر بر ثانیه (با احتساب بادهای آرام) و ۶/۳ متر بر ثانیه (بدون احتساب بادهای آرام) است. بیشینه سرعت باد در ژانویه رخ داد. بررسی رخداد گردوغبار در دشت اردبیل بیانگر روند افزایش فراوانی این پدیده است که بیشینه آن در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ (۲۵ روز) ثبت شده است. بیشترین میانگین ماهانه (۱/۲ روز) مربوط به مارس است. مطابق گل‌توفان گردوغبار، جهت ورود گردوغبار به دشت اردبیل در مقیاس سالانه، جنوب غربی، در ماه‌های گرم (ژوئن تا اوت)، شمال شرقی، در سپتامبر، دوگانه (جنوب غربی و شمال شرقی) و در بقیه ماه‌ها اغلب جنوب غربی است.

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از غلبه منشأ محلی توفان‌ها بود که با فراوانی زیاد کد ۰۷ (۲۳۹ مورد در مقابل ۶۱ مورد کد ۰۶)، مقادیر بیشتر DCMD در اردبیل نسبت به مناطق همجوار (سرعین، سراب، میانه، مشکین‌شهر، نیر و خلخال) و نتایج آماری معنادار تأیید شد. کانون محلی مؤثر، منطقه آغبالغ مصطفی خان شناسایی شد. کانون محلی آغبالغ مصطفی خان به‌ویژه در ماه‌های گرم اثر مهمی داشت. راهکارهای پیشنهادی شامل مدیریت کانون محلی، ایجاد بادشکن طبیعی و مصنوعی، پایش مستمر کیفیت هوا و ضرورت توجه به همکاری‌های منطقه‌ای است.

استناد: صلاحی، برومند و صابر، مهناز (۱۴۰۴) کاوش آماری گردوغبارهای نوظهور دشت اردبیل: تأثیرات اقلیمی و راهکارهای مقابله. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱۲ (۲)، ۱۶۷-۱۸۰.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.399370.889>

© نویسندگان ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jhsci.2025.399370.889>



مقدمه

تمرکز جمعیت در مناطق شهری موجب افزایش غلظت آلاینده‌های هوا می‌شود و تأثیرات نامطلوبی بر سلامت ساکنان این مناطق دارد (قرآنی اعظم، ریاحی زنجانی و بلالی مود، ۲۰۱۶؛ WHO, 2021؛ کاتورانی، احمدی و داداشی رودباری، ۱۴۰۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد که اثرهای بالقوه آلودگی هوا بر سلامت انسان شامل افزایش مرگ‌ومیر، افزایش مراجعه به بیمارستان و اختلال در عملکرد فیزیولوژی بدن به‌ویژه سیستم‌های تنفسی و قلبی-عروقی است. گردوغبار مجموعه‌ای از ذرات غبار با منشأ طبیعی یا انسانی است (UNEP, 2022) که از شایع‌ترین آلاینده‌های هوا به شمار می‌روند (فیث و اتکیسون، ۱۹۷۲). بیابان‌های وسیع در نقاط خشک جهان، کانون‌های اصلی تولید گردوغبارند. این توفان‌ها اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان رخ می‌دهند و مقادیر زیادی از ذرات ریز را به جو منتقل می‌کنند (اوهارا، کلارک و الاتراش، ۲۰۰۶).

پدیده گردوغبار هم در مقیاس محلی و هم فرامنطقه‌ای توجه پژوهشگران را جلب کرده است. گائو، هان و ونگ (۲۰۱۲) تأثیرات ناهنجاری‌های آب‌وهوایی بر افزایش رخداد توفان‌های گردوغباری هانشداک شمال چین را بررسی کردند. ایندواتو، اورلواسکای و اورلواسکای (۲۰۱۲) ثابت کردند که روند کاهشی معنی‌دار در وقوع توفان‌های دهه‌های اخیر آسیای مرکزی رخ داده است. شریف، خان و شیبیا (۲۰۱۵) به بررسی توزیع مکانی-زمانی ویژگی‌های آئروسول و ابر در منطقه سند پرداختند. بیلال، نیکول و نظیر (۲۰۱۶) با اعتبارسنجی محصولات آئروسولی Aqua-MODIS در پاکستان، دقت این داده‌ها را برای پیش گردوغبار تأیید کرده‌اند. ساری صراف، رسولی و محمدی (۲۰۱۶) نشان دادند که تعداد روزهای گردوغباری از شمال به جنوب و از شرق به غرب ایران افزایش می‌یابد. آتیا و جونز (۲۰۲۴) منشأ گردوغبار توفان گردوغبار شدید در ۱۶ می ۲۰۲۲ بغداد را مناطق بیابانی سوریه و شمال غرب عراق دانستند. تان، لیو و لی (۲۰۲۵) عوامل کلان مؤثر بر توفان‌های گردوغبار دو کانون اصلی گردوغبار شرق آسیا را تحلیل کردند. منگ، ونگ و بای (۲۰۲۵) نشان دادند که ذرات PM10 نقش غالب در توفان گردوغبار آوریل ۲۰۲۳ لائزو داشت. عزیزاده، فلاحت‌کار و افضل‌ی (۲۰۲۵) نشان دادند که توفان‌های گردوغبار محلی از تبدیل تالاب‌ها به کشاورزی و کشاورزی به مراتع، به‌ویژه در منطقه جنوب غربی (جنوب تالاب هورالعظیم) و منطقه جنوبی (شمال تالاب شادگان) سرچشمه گرفته‌اند.

ایران همواره در معرض توفان‌های گردوغبار در مقیاس محلی و منطقه‌ای است. تغییرات کاربری اراضی و دوره‌های طولانی خشکسالی اثر بسزایی در تشدید این پدیده داشته‌اند (قمشبین، ولی و رنجبر فردویی، ۲۰۲۲؛ کرمی، قصابی و مرادی، ۱۴۰۳؛ کاتورانی، احمدی و داداشی رودباری، ۱۴۰۳). یاراحمدی، نصیری و خوش‌کیش (۱۳۹۲) توفان‌های گردوغبار را در ۲۳ ایستگاه غرب ایران در دامنه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹ بررسی کردند. اصغری سراسکانرود و زینالی (۱۳۹۳) الگوهای فصلی توفان‌های گردوغباری ایران را تحلیل کردند. فرحبخش، علیجانی و فتاحی (۱۳۹۴) نشان دادند که تشکیل هسته توفان در شرق سوریه و عراق تحت تأثیر سامانه کم‌فشار دینامیکی و ناوه ۵۰۰ هکتوپاسکال بوده است. قدم‌خیر، برنا و مرشدی (۱۴۰۳) با استفاده از داده‌های گردوغبار (۲۰۲۰-۲۰۱۰)، شاخص NDVI ماهانه از سنجنده MODIS و داده‌های رطوبت خاک از سنجنده SMAP ارتباط تغییرات پوشش گیاهی و رطوبت خاک با رخداد‌های گردوغبار در استان خوزستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در دوره اوج گردوغبار (می تا اوت) میانگین رطوبت خاک به کمتر از ۱۰ درصد و شاخص NDVI به کمتر ۰/۱۸ کاهش می‌یابد. محمدپور، خورشیددوست و احمدی (۱۴۰۳) دریافتند که توزیع فضایی روزهای غبارآلود از شمال به جنوب نیمه غربی ایران افزایش یافته است. کرمی، قصابی و مرادی (۱۴۰۳) به تحلیل سامانه‌های مؤثر بر رخداد همزمان بارش و گردوغبار در غرب آسیا پرداختند. وطن‌پرست، صلاحی و زینالی (۱۴۰۴) به بررسی تأثیر نوسان مادن-جولیان بر توفان‌های گردوغبار استان خوزستان پرداختند. در ایران پدیده گردوغبار در مناطق وسیعی سبب نگرانی‌های زیادی شده است. دشت اردبیل در شمال غرب ایران در سال‌های اخیر درگیر توفان‌های گردوغباری است که در نگاه اول، غیرممکن به نظر می‌رسد؛ ولی شواهد و قرائن حاکی از آن است که پدیده گردوغبار در اردبیل در سال‌های اخیر به‌طور محسوسی رو به افزایش بوده است. وزش بادهای شدید و خشکسالی‌های اخیر سبب ایجاد یک کانون گردوغبار محلی نوظهور به‌خصوص در منطقه آغبلاغ مصطفی‌خان شده که مشکلات متعددی را برای ساکنان منطقه ایجاد کرده است. هدف این پژوهش بررسی همین موضوع است.

روشن‌شناسی و داده‌ها

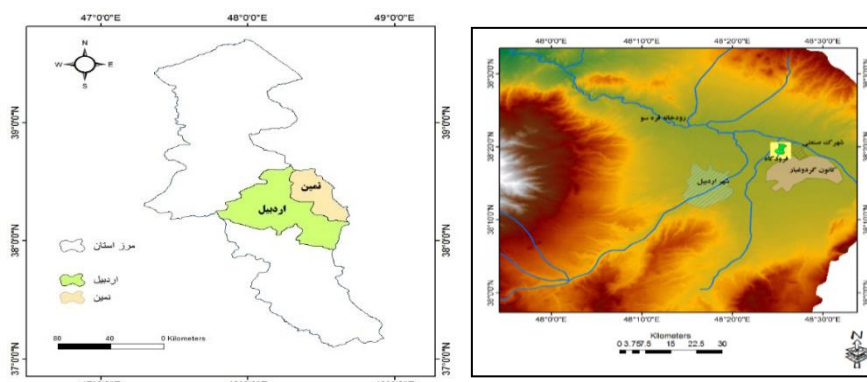
به‌منظور بررسی ویژگی‌های باد در محدوده پژوهش، داده‌های سمت و سرعت باد در مقیاس زمانی سه‌ساعته (سینوپ) طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ از ایستگاه هواشناسی اردبیل اخذ و بررسی شد. به‌منظور شناسایی وقوع بادهای دشت اردبیل و باد غالب در منطقه، از نرم‌افزار Wind rose plot برای ترسیم نمودار گلباد استفاده شد. برای استخراج رخداد گردوغبار دشت اردبیل، داده‌های هواشناسی و کد وضعیت حاضر به‌صورت سه‌ساعته ایستگاه اردبیل از یک تا ۱۰۰ و کدهای مربوط به گردوغبار جوی (جدول ۱) برای داده‌های دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۸ استخراج و نمودارهای آن در محیط گرافیکی نرم‌افزار Graph pad Prism 6 ترسیم شد. پس از استخراج روزهای گردوغبار محلی در دشت اردبیل، گل‌توفان برای این روزها در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه نیز ترسیم شد. به‌منظور ارزیابی اختلاف آماری سرعت باد در روزهای گردوغباری و روزهای عادی از آزمون مقایسه میانگین تی-استیودنت استفاده شد. به‌منظور شناسایی غلظت گردوغبار جوی در دشت اردبیل طی روزهای گردوغباری و اثر کانون بیابانی گردوغبار در شرق شهر اردبیل بر غلظت گردوغبار جوی محدوده مدنظر و اتمسفر شهر اردبیل، از شاخص غلظت ستونی توده گردوغبار جوی (DCMD^۱) و عمق اپتیکی نور (AOD^۲) استفاده شد. از آزمون‌های ANOVA و LSD برای مقایسه آماری و اثبات معناداری تفاوت غلظت گردوغبار در ایستگاه اردبیل استفاده شد. وجه افتراق و نوآوری اصلی این پژوهش، تلفیق و تحلیل همزمان چند روش برای تفکیک و اثبات منشأ محلی گردوغبار است.

جدول ۱. کدهای وضعیت جوی مربوط به گردوغبار

کد	وضعیت جوی	کد	وضعیت جوی
۰۶	گردوخاک معلق در هوا (فرامحلی)	۳۱	توفان ماسه یا گردوخاک سبک تا متوسط- در ساعت گذشته تغییری نکرده
۰۷	گردوخاک با منشأ محلی	۳۲	توفان ماسه یا گردوخاک - در ساعت گذشته تشدید شده
۰۸	گردباد	۳۳	توفان ماسه یا گردوخاک شدید- در ساعت گذشته تضعیف شده
۰۹	توفان گردوخاک	۳۴	توفان ماسه یا گردوخاک شدید- در ساعت گذشته تغییری نکرده
۳۰	توفان ماسه یا گردوخاک سبک تا متوسط- در ساعت گذشته تضعیف شده	۳۵	توفان ماسه یا گردوخاک شدید- در ساعت گذشته تشدید شده

محدوده پژوهش

شهرستان اردبیل مرکز سیاسی و اداری استان اردبیل است. مساحت این شهرستان ۲۲۱۱ کیلومتر مربع است و براساس سرشماری سال ۱۳۹۵، ۶۰۵۹۹۲ نفر در آن ساکن‌اند. شهرستان اردبیل شامل ۴ شهر، ۳ بخش و ۱۰ دهستان است و در موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. شهرستان نمین نیز در شرق استان اردبیل و در کنار جاده اردبیل به گیلان قرار گرفته است. این شهرستان از شرق به استان گیلان، از شرق و شمال شرق به جمهوری آذربایجان، از جنوب غرب و غرب به شهرستان اردبیل و از شمال غرب به شهرستان مشکین‌شهر محدود می‌شود (شکل ۱).

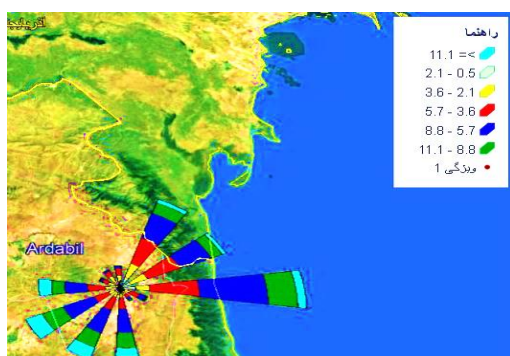


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان اردبیل و نمین و کانون محلی گردوغبار در دشت اردبیل

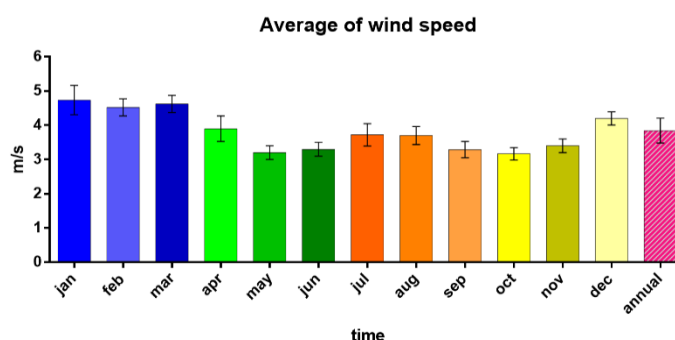
1. Dust Column Mass Density
2. Aerosol Optical Depth

یافته‌های پژوهش

میانگین سرعت باد سالانه در دشت اردبیل با محاسبه بادهای آرام، $3/8$ و بدون محاسبه بادهای آرام، $6/34$ متر بر ثانیه است (شکل ۲). حداکثر سرعت باد در فصل زمستان که سردترین ماه‌های سال نیز است اتفاق افتاده و در ماه‌های ژانویه، مارس و فوریه سرعت باد به ترتیب $4/7$ ، $4/6$ و $4/5$ متر بر ثانیه است. گسترش سیستم پرفشار سبیری و عبور آن از دریای خزر و سپس کوه‌های 2000 متری تالش و وزش آن در دشت اردبیل و از طرف دیگر، فعالیت موج بادهای غربی سبب افزایش شیو فشار و دما و همچنین ناپایداری سطحی در دشت اردبیل می‌شود که این شرایط وقوع تندبادها و افزایش میانگین سرعت باد را در پی دارد. با گرمایش هوا و خروج موج بادهای غربی از منطقه، سرعت باد نیز در دشت اردبیل فروکش می‌کند و میانگین سرعت باد در ماه‌های می، ژوئن تا نوامبر کمتر از میانگین سرعت باد سالانه ($3/8$ متر بر ثانیه) است که بیانگر کاهش تندبادها و میانگین سرعت باد در نیمه گرم سال در دشت اردبیل است. شکل ۳ گلباد سالانه را نشان می‌دهد. باد غالب در دشت اردبیل، باد شرقی است که 12 درصد از کل بادهای در طول سال، از این سمت می‌وزد. منشأ این بادهای از سبیری است که با عبور از دریای خزر و کوه‌های تالش (البرز غربی) وارد دشت اردبیل می‌شود. کمترین فراوانی طبقات جهت باد در دشت اردبیل نیز در جهات شمالی، جنوبی و جنوب غربی است که کمتر از 2 درصد طبقات جهت باد را شامل می‌شوند. بادهای با سرعت $8/8-5/7$ متر بر ثانیه با $17/8$ درصد، بیشترین فراوانی سرعت باد را در طول سال دارند.



شکل ۳. گلباد سالانه دشت اردبیل

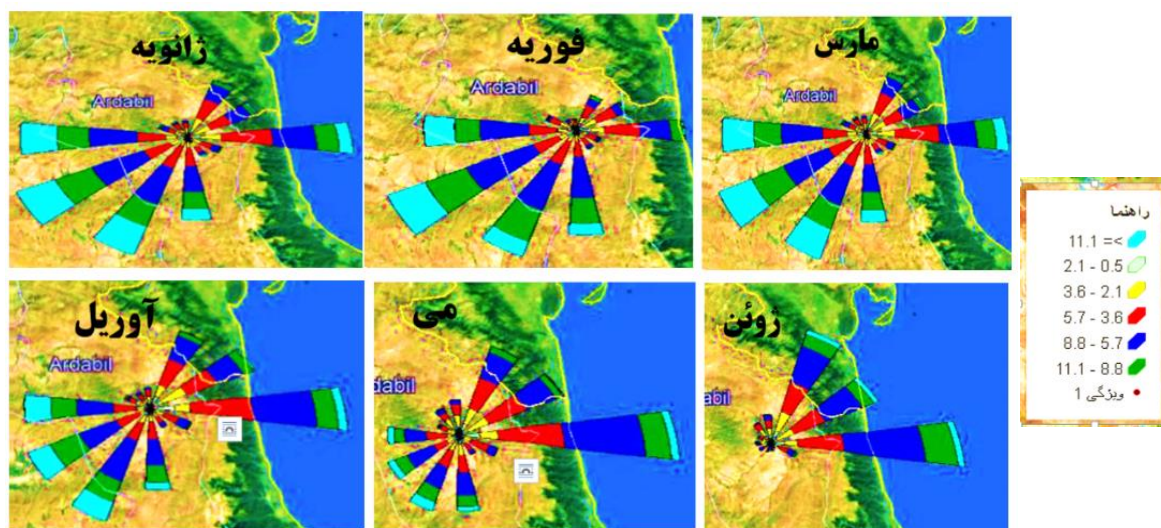


شکل ۲. نمودار میانگین سرعت باد ماهانه و سالانه دشت اردبیل

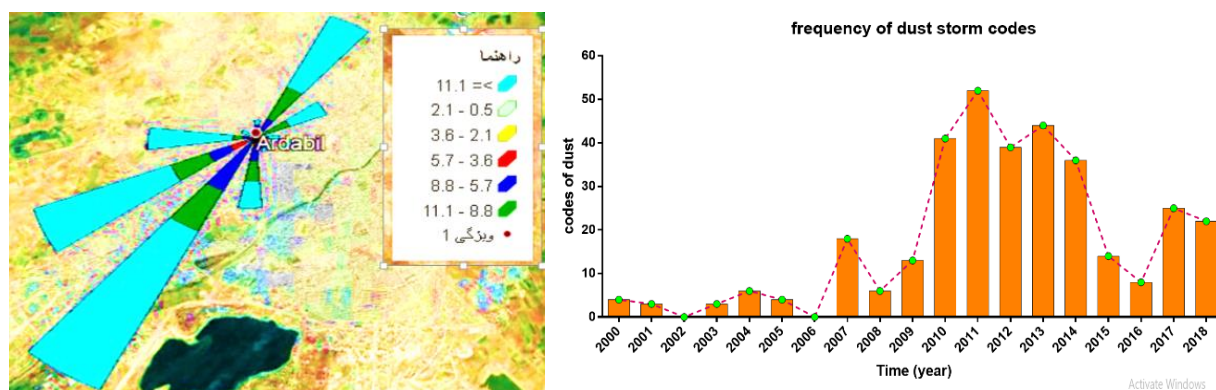
براساس شکل ۴، باد غالب ژانویه در اردبیل، جنوبی و جنوب غربی است که روی هم رفته بادهای با جهت‌های S، SSW و WSW حدود $38/4$ درصد از فراوانی بادهای در ماه ژانویه را به خود اختصاص داده‌اند. در فوریه، باد غالب در دشت اردبیل جنوب غربی است که حدود $13/8$ درصد از فراوانی جهت باد را به خود اختصاص داده است. باد شمالی، جنوب شرقی و شمال غربی با وزش در کمتر از 2 درصد مواقع کمترین درصد از بادهای را شامل می‌شود. بررسی سمت و سرعت باد دشت اردبیل در مارس نشان می‌دهد که الگوهای جوی متفاوتی بر اتمسفر منطقه حاکم است. در ژانویه و فوریه به دلیل نفوذ سامانه مدیترانه‌ای و بادهای غربی، بیشتر بادهای غربی حاکم است، اما در اسفندماه (مارس) فعالیت پرفشار سبیری در جهت سرعت باد دشت اردبیل اثرگذار بوده و بادهای از دو جهت شرقی و غربی غالب است. بررسی جهت باد در آوریل نشان می‌دهد که باد غالب شرقی است که حدود $11/6$ درصد از بادهای را شامل می‌شود. باد غالب در ماه می، شرقی است. در ماه ژوئن دمای هوا نسبت به ماه‌های قبل افزایش می‌یابد. الگوهای جوی در اتمسفر منطقه تغییر می‌کند و بادهای غربی به عرض‌های جغرافیایی بالاتر کشیده شده و سیستم‌های فشار سطحی به‌ویژه پرفشار سرد دریای خزر در منطقه غالب می‌شود.

شکل ۵ نشان می‌دهد که اوج وقوع پدیده گردوغبار در دشت اردبیل، در سال‌های 2010 تا 2014 بوده که هر ساله بیش از 35 بار کد گردوغبار گزارش شده و بیشینه آن در سال 2011 بوده که 52 بار گردوغبار گزارش شده است. در مقیاس ماهانه نیز بیشینه روزهای گردوغباری در ماه مارس بوده که 23 روز گردوغبار (به‌طور متوسط $1/2$ روز) گزارش شده است. مطابق شکل ۶ گردوغبار اغلب از سمت جنوب غربی وارد دشت اردبیل می‌شود. گردوغبار هیچ‌گاه از سمت شمال غربی وارد دشت اردبیل

نمی‌شود و بادهای شمالی نیز اندکی از گردوغبار را به همراه می‌آورند؛ اما در مواقع تشدید فراوانی گردوغبار، مسیر گردوغبارهای غربی و شمال شرقی نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۴. گلباد ماه ژانویه تا ژوئن دشت اردبیل



شکل ۵. فراوانی کدهای گردوغبار در برداشت‌های سه‌ساعته در دشت اردبیل

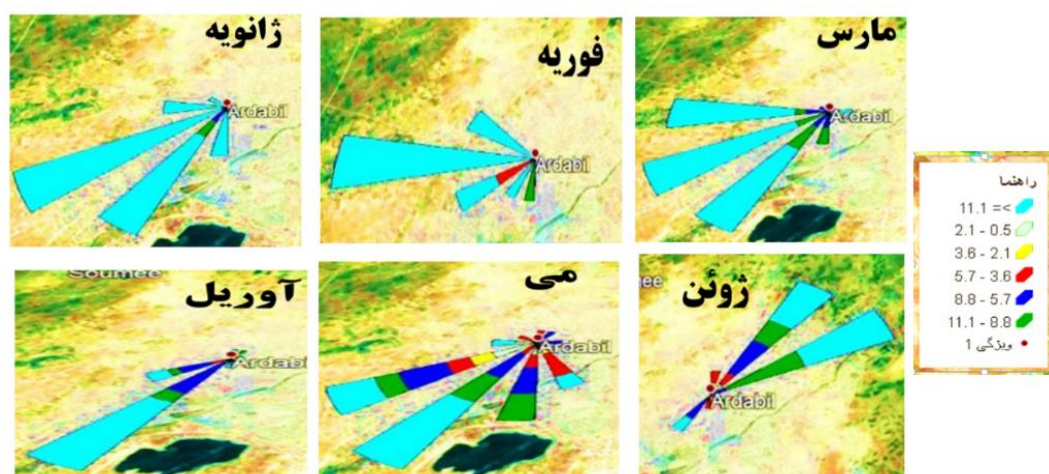
شکل ۶. گل‌توفان سالانه دشت اردبیل

بر اساس شکل ۷، گردوغبار در ژانویه از سمت جنوب غربی، جنوبی و غربی، در فوریه اغلب از سمت غرب و در مارس از سمت غرب و جنوب غربی وارد دشت اردبیل شده است. جهت باد غالب در روزهای گردوغباری آوریل جنوب غربی بوده و بیش از ۶۰ درصد گردوغبارها از این سمت وارد دشت اردبیل شده‌اند. در ماه می گردوغبار اغلب از سمت جنوب غربی وارد دشت اردبیل شده و حدود ۴۶ درصد از فراوانی جهت باد را به خود اختصاص داده است. در ژوئن بادهای غالب در روزهای گردوغباری نسبت به ماه‌های گذشته کاملاً تغییر کرده و باد غالب گردوغباری در این ماه شمال شرقی است.

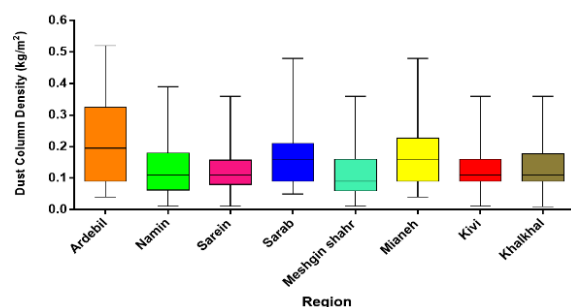
از مقایسه میانگین سرعت باد در روزهای عادی و گردوغباری (شکل ۸) می‌توان دریافت که اختلاف این دو محسوس و زیاد است، به‌طوری‌که میانگین سرعت باد در روزهای عادی ۳/۸ متر بر ثانیه (خط چین مشکی) و در روزهای گردوغباری بیش از ۱۲ متر بر ثانیه است. بیشترین مقدار این اختلاف سرعت روزهای عادی و گردوغباری (بیش از ۱۰ متر بر ثانیه) مربوط به ژانویه و فوریه است. کمترین تفاضل سرعت باد نیز در ماه‌های می و ژوئن (اردیبهشت و خردادماه) است.

نتایج مدل‌سازی آماری تفاوت سرعت باد در روزهای عادی و روزهای گردوغباری از آزمون تی-آستیدنت دوطرفه (جدول ۲) نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین سرعت باد روزهای عادی و روزهای همراه با پدیده گردوغبار در دشت اردبیل وجود دارد و مقدار P-value مؤید این اختلاف معنی‌دار است. همچنین آماره T-value نیز مبین آن است که اختلاف این دو متغیر زیاد

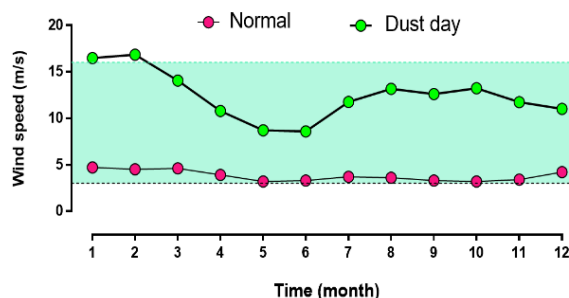
است؛ بنابراین، اختلاف آماری و نمودار میانگین سرعت باد در شکل ۹ حاکی از آن است که در روزهای گردوغباری سرعت باد به حد توفان رسیده است.



شکل ۷. گل توفان ژانویه تا ژوئن دشت اردبیل طی سالهای ۲۰۰۰-۲۰۱۸



شکل ۹. نمودار جعبه‌ای میانگین شاخص گردوغباری DCMD در شمال غرب ایران



شکل ۸. اختلاف میانگین سرعت باد در روزهای عادی و روزهای همراه با گردوغبار در دشت اردبیل

جدول ۲. اختلاف آماری سرعت باد ماه‌های سال در دشت اردبیل با آزمون تی-استیودنت

متغیر	میانگین سرعت باد ماهانه (m/s)	انحراف معیار	میانگین مربعات خطا	P-value	T-value
روزهای عادی	۳/۸	۰/۵۶۷	۰/۱۶۴	۰/۰۰۰	-۱۳/۳۰
روزهای گردوغباری	۱۲/۴	۰/۵۹۰	۰/۷۴۸		
اختلاف آماری	۸/۶	۰/۲۴۰	۰/۶۴۷		

به‌منظور شناسایی اثر کانون بیابانی گردوغبار محلی در شرق اردبیل بر غلظت گردوغبار جوی محدوده مدنظر و اتمسفر شهر اردبیل، از شاخص DCMD استفاده شد (شکل ۹). نتایج نشان می‌دهد که در روزهای گردوغباری در شمال غربی فلات ایران، بیشینه میانگین شاخص DCMD حدود ۰/۲۱ کیلوگرم بر متر مربع در اتمسفر اردبیل است. پس از آن منطقه شهرستان میانه با میانگین ۰/۱۸ کیلوگرم بر مترمربع در رتبه دوم قرار دارد. کمینه غلظت گردوغبار جوی و شاخص DCMD نیز در شهرستان کیوی است که میانگین آن ۰/۱۱ کیلوگرم بر مترمربع محاسبه شد. اگرچه براساس نمودار یادشده می‌توان اختلاف بین شهرستان‌ها را در غلظت گردوغبار جوی مشاهده کرد، اما به‌منظور شناسایی و ارزیابی مقایسه میانگین و اختلاف آماری غلظت

گردوغبار جوی و شاخص DCMD برای روزهای گردوغباری شمال غربی ایران، از تحلیل واریانس یکطرفه استفاده و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شد.

جدول ۳. تحلیل واریانس و آماره F برای شاخص غلظت گردوغباری DCMD

مجموع مربعات	درجه آزادی	مربع میانگین	F	Sig.
۰/۶۶۷	۷	۰/۰۹۵	۹/۴۱	۰/۰۰۰
۵/۷۴۷	۵۶۸	۰/۰۱۰		
۶/۴۱۴	۵۷۵			
بین گروه‌ها				
درون گروه‌ها				
کل				

تحلیل واریانس یکطرفه نشان می‌دهد که اختلاف درون گروهی از اختلاف بین گروهی بیشتر است. همچنین آماره F عدد بزرگی داشته و از صفر فاصله دارد و همچنین اختلاف معناداری ۰/۰۵ در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید شد. نتایج تحلیل واریانس یکطرفه نشان داد که مقدار sig در این آزمون ۰/۰۰۰ بوده و از ۰/۰۵ کوچک‌تر است و بدین ترتیب فرض قبول اختلاف آماری بین متغیرها اثبات می‌شود. جدول ANOVA این اختلاف را اثبات می‌کند، اما در جدولی دیگر باید مشخص کرد که این اختلاف بین کدامیک از شهرستان‌ها بوده است؛ بنابراین از جدول ۴، به‌منظور دستیابی به این هدف استفاده شد. جدول آزمون مقایسه میانگین LSD نشان می‌دهد که غلظت گردوغبار جوی (شاخص DCMD) در اتمسفر منطقه اردبیل از همه بیشتر است و با ایستگاه‌های سراب، سرعین، نمین، مشکین‌شهر، کیوی و خلخال اختلاف معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارد، اما اختلاف آماری بین اتمسفر اردبیل و میانه وجود ندارد، اگرچه براساس نتایج حاصل از شکل ۹، غلظت گردوغبار جوی در اتمسفر دشت اردبیل بیشتر از غلظت گردوغبار در اتمسفر شهرستان میانه بود، اما آزمون مقایسه میانگین نشان داد که اختلاف آنها در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار نیست.

جدول ۴. نتایج آزمون مقایسه میانگین LSD در غلظت گردوغبار (DCMD index)

متغیر (I)	متغیر (J)	تفاضل میانگین (I-J)	خطای استاندارد	Sig.	فاصله اطمینان ۹۵٪ حد پایین	حد بالا
	نمین	۰/۰۸۴۵۴*	۰/۰۱۶۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۵۱۶	۰/۱۱۷۵
	سرعین	۰/۰۹۲۶۱*	۰/۰۱۶۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۵۹۷	۰/۱۲۵۵
	سراب	۰/۰۳۵۸۳*	۰/۰۱۶۷۶	۰/۰۳۳	۰/۰۰۲۹	۰/۰۶۸۸
اردبیل	مشکین‌شهر	۰/۰۹۴۰۰*	۰/۰۱۶۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۶۱۱	۰/۱۲۶۹
	میانه	۰/۰۳۰۶*	۰/۰۱۶۷۶	۰/۰۶۸	-۰/۰۰۲۲	۰/۰۶۳۶
	کیوی	۰/۰۹۷۶۳*	۰/۰۱۶۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۶۴۷	۰/۱۳۰۶
	خلخال	۰/۰۶۵۹۷*	۰/۰۱۶۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۳۳۰	۰/۰۹۸۹

از طرف دیگر، غلظت گردوغبار در دشت اردبیل بیشتر از دیگر شهرستان‌های اردبیل و سراب در استان آذربایجان شرقی است و اختلاف آنها نیز در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد معنادار است که بیانگر اثر کانون محلی گردوغبار در غلظت گردوغبار جوی اتمسفر دشت اردبیل است. با وقوع پدیده گردوغبار فرامحلی در استان‌های غربی کشور و انتقال آن به استان اردبیل و دیگر بخش‌های فلات ایران، غلظت گردوغبار با افزایش طی مسافت، کاهش می‌یابد؛ اما کانون محلی گردوغبار در دشت اردبیل، اگرچه در مقیاس سینوپتیکی اتمسفر به چشم نمی‌آید، مقایسه شاخص DCMD بین مناطق اطراف با اردبیل، بیانگر غلظت بیشتر گردوغبار جوی در اردبیل نسبت به مناطق دیگر است. این خود نشان‌دهنده تأثیر کانون محلی گردوغبار در افزایش غلظت گردوغبار در اردبیل است.

بحث

گسترش سیستم پرفشار سبیری و عبور آن از دریای خزر و سپس کوه‌های ۲۰۰۰ متری تالش و وزش آن در دشت اردبیل و نیز فعالیت موج بادهای غربی، سبب افزایش شیو فشار و دما و همچنین ناپایداری سطحی در دشت اردبیل می‌شود که وقوع تندبادها و افزایش میانگین سرعت باد را در پی دارد. در مقابل، با گرمایش هوا و در نیمه گرم سال به دلیل خروج سیستم‌های فشار (غربی) از منطقه، گردان و شیو فشاری کاهش یافته و در پی آن، از میانگین سرعت باد در دشت اردبیل نیز کاسته شده است و میانگین سرعت باد در ماه‌های می، ژوئن تا نوامبر، کمتر از میانگین سرعت باد سالانه (۳/۸ متر بر ثانیه) بوده که بیانگر کاهش تندبادها و میانگین سرعت باد در نیمه گرم سال در دشت اردبیل است. از این یافته‌ها می‌توان استنباط کرد که سرعت باد در دشت اردبیل زیاد است. میانگین سرعت باد در صورت حذف بادهای آرام به ۶/۳۴ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد که حاکی از آن است که بادهای قوی اثر مهمی در الگوی باد منطقه دارند. حداکثر سرعت باد در فصل زمستان (ماه‌های ژانویه، مارس و فوریه) مشاهده شده است که نشان‌دهنده تأثیر سیستم‌های فشار قوی مانند پرفشار سبیری بر منطقه است (هژبرپور، محمدی و اکبرنیا، ۱۳۹۴). گسترش سیستم پرفشار سبیری و عبور آن از دریای خزر و کوه‌های تالش، سبب ایجاد شیو فشار و دما می‌شود که سبب افزایش سرعت باد و ناپایداری جوی در دشت اردبیل می‌شود. کوه‌های تالش به عنوان مانع طبیعی، تأثیر مهمی در هدایت و تشدید بادهای در دشت اردبیل دارند. شرایط جوی ناپایدار و شیو فشار و دما، موجب وقوع تندبادها و افزایش میانگین سرعت باد در منطقه می‌شود.

نتیجه‌گیری

بررسی سرعت باد در روزهای گردوغباری نشان داد که بیش از ۵۰ درصد رخدادهای سرعت بیش از ۱۱ متر بر ثانیه دارد که بیانگر ماهیت تندبادی این پدیده در منطقه است. الگوهای فصلی ورود گردوغبار تأیید می‌کنند که بیشتر توفان‌های گردوغبار در دشت اردبیل منشأ محلی دارند. کانون اصلی این گردوغبارهای محلی، منطقه آغبلاغ مصطفی‌خان است که منطقه‌ای خشک و بیابانی به مساحت حدود ۶۸۸۰ هکتار در ۱۱ کیلومتری شرق اردبیل است. اگرچه جهت باد می‌تواند جنوب غربی باشد، کانون محلی آغبلاغ مصطفی‌خان هم به منزله منشأ اولیه در ماه‌های گرم و هم به صورت عامل تشدیدکننده در بقیه مواقع سال عمل می‌کند. اثر کانون محلی منطقه آغبلاغ مصطفی‌خان در افزایش غلظت ستونی گردوغبار از طریق مقایسه غلظت ستونی گردوغبار در روزهای گردوغباری، تحلیل واریانس و آزمون مقایسه میانگین LSD برای اردبیل و مناطق همسایه اردبیل آشکار شد. نتایج گویای اثر کانون محلی در افزایش غلظت گردوغبار جوی دشت اردبیل است. یافته‌های این پژوهش از نظر تأثیر سیستم‌های جوی و تغییرات فصلی باد با پژوهش‌های پیشین (سبحانی و عالی جهان، ۱۴۰۳) همخوانی دارد. درحالی که این پژوهش بر تأثیر کانون محلی آغبلاغ مصطفی‌خان تأکید دارد، پژوهش هژبرپور، محمدی و اکبرنیا (۱۳۹۴) منشأ اصلی گردوغبار اردبیل را مناطق بیابانی عراق و شرق سوریه دانسته است. این تفاوت ممکن است ناشی از تفاوت در دوره‌های پژوهشی یا روش‌شناسی ترکیبی (DCMD و LSD) باشد. ترکیب یافته‌ها نشان می‌دهد که مدیریت گردوغبار در اردبیل نیازمند رویکردی دوگانه است: کنترل کانون‌های محلی و همکاری‌های منطقه‌ای برای کاهش اثرهای منابع فرامرزی.

با توجه به یافته‌های پژوهش، تأثیرات اقلیمی توفان‌های گردوغبار در دشت اردبیل و منطقه آغبلاغ مصطفی‌خان می‌تواند سبب تشدید آلودگی هوا و کاهش کیفیت زندگی، کاهش کیفیت هوا و تشدید مشکلات تنفسی و سلامت برای ساکنان منطقه، تأثیر مخرب بر اکوسیستم‌های طبیعی و منابع آب، انباشت شن‌های روان و تلماسه‌ها و تخریب زمین‌های کشاورزی و مراتع و تخریب زیرساخت‌ها، مسدود شدن جاده‌ها، تشدید فرسایش بادی، افزایش دمای منطقه و کاهش رطوبت خاک، مهاجرت ساکنان و کاهش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی و مراتع شود. راهکارهای مدیریتی و پایشی زیر برای مقابله با کاهش تبعات منفی این پدیده چالشی در دشت اردبیل پیشنهاد می‌شود: الف) مدیریت کانون‌های گردوغبار (تثبیت شن‌های روان و کاشت گیاهان مقاوم در مناطق بیابانی؛ ب) ایجاد بادشکن‌های طبیعی و مصنوعی (برای کاهش سرعت باد و جلوگیری از انتقال ذرات خاک)؛ ج) پایش مستمر کیفیت هوا (استفاده از داده‌های آماری و سنجش‌های محیطی برای پیش‌بینی و مدیریت بحران‌ها)؛ د) همکاری‌های منطقه‌ای (هماهنگی با کشورهای همسایه برای کاهش منشأ فرامحلی گردوغبارها).

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در اجرا و انتشار این پژوهش علمی رعایت کرده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: طراحی پژوهش، تحلیل داده‌ها. نویسنده دوم: جمع‌آوری داده‌ها و تهیه گزارش پژوهش.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

پژوهش حاضر با حمایت مالی اداره کل محیط زیست استان اردبیل انجام گرفت.

هماندجویی

هماندی این مقاله ۲/۲۷ درصد است

سپاسگزاری

از داوران محترم بابت بیان نظرهای ساختاری و علمی تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

- [۱] اصغری سراسکانرود، صیاد؛ و زینالی، بتول (۱۳۹۳). تحلیل و پهنه‌بندی فراوانی فصلی توفان‌های گردوغباری ایران به‌منظور کاهش مخاطرات. مدیریت مخاطرات محیطی، ۱(۲)، ۲۳۹-۲۱۷. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2014.53122>
- [۲] سبحانی، بهروز؛ و عالی جهان، مهدی (۱۴۰۳). استخراج و تحلیل الگوهای سینوپتیک و پایش منشأ و مسیر عبور توفان‌های گردوغبار مطالعه موردی: استان اردبیل، ایران. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۴(۷۳)، ۱۱۵-۱۳۶. <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.73.137>
- [۳] فرحبخش، ملودی؛ علیجانی، بهلول؛ و فتاحی، ابراهیم (۱۳۹۴). تحلیل سینوپتیکی مخاطره گردوغبار (۱۰ تا ۱۲ مرداد ۱۳۹۲) در ایران. مدیریت مخاطرات محیطی، ۲(۱): ۲۰-۵. <https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.53918>
- [۴] قدم‌خیز، محمدصادق؛ برنا، رضا؛ مرشدی، جعفر؛ و قربانیان، جبرائیل (۱۴۰۳). آشکارسازی نقش تغییرات پوشش گیاهی و رطوبت خاک در توزیع درون سالی رخدادهای گردوغبار استان خوزستان. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۱۷، ۳۰-۱۸. <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.422066.1168>
- [۵] کاتورانی، شلیز؛ احمدی، محمود؛ و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۳). بررسی پراکنش فضایی و روند ذرات گردوغبار در غرب آسیا و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۵(۸)، ۱۴۳۲-۱۴۱۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374563.669685>
- [۶] کرمی، سارا؛ قصابی، زهرا؛ و مرادی، محمد (۱۴۰۳). تحلیل سامانه‌های مؤثر بر رخداد هم‌زمان بارش و گردوخاک در غرب آسیا (۵ تا ۱۰ ماه مه ۲۰۲۴). نیوار، ۴۸(۱۲۶-۱۲۷)، ۱۶۸-۱۵۱. <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.461752.1294>
- [۷] محمدپور، کاوه؛ خورشیددوست، علی‌محمد؛ و احمدی، گونا (۱۴۰۳). ارزیابی داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای در تحلیل گردوغبارهای نیمه غربی ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱۱(۲)، ۱۶-۱. <http://dx.doi.org/10.61186/jsaeh.11.2.1>
- [۸] وطن‌پرست قلعه‌چوق، فاطمه؛ صلاحی، برومند؛ و زینالی، بتول (۱۴۰۴). بررسی نقش نوسان مادن-جولیان بر فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار استان خوزستان و ردیابی مسیرهای ورود گردوغبار به آن. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۵(۷۷)، ۲۱۷-۱۹۸. <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.18>
- [۹] هژبپور، قاسم؛ محمدی، سیاوش؛ اکبرنیا، علی؛ و احدی، مهیا (۱۳۹۴). تحلیل سینوپتیکی و آماری پدیده گردوغبار شهر اردبیل، پنجمین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران.
- [۱۰] یاراحمدی، داریوش؛ نصیری، بهروز؛ خوش‌کیش، اسدالله؛ و نیکبخت، حاتم (۱۳۹۳). تأثیر نوسانات آب‌وهوایی بر رخداد پدیده گردوغبار (مطالعه موردی: گردوغبارهای غرب جنوب غرب ایران). مهندسی اکوسیستم بیابان، ۳(۵)، ۲۸-۱۹.
- [11] Alizadeh, F., Falahatkar, S., Afzali, A., Mousavi, S. M. (2025). Detection of internal dust storm centers and their transport and dispersion modelling in southwestern Iran. *Acta Geophys.* 73, 4813-4829. <https://doi.org/10.1007/s11600-025-01557-x>
- [12] Asghari Saeskanrood, S. and Zeinali, B. (2014). Analyzing and Mapping of Dust Storms Seasonal Frequency over Iran for Hazards Reduction. *Environmental Management Hazards*, 1(2), 217-239. (in Persion) <https://doi.org/10.22059/jhsci.2014.53122>
- [13] Attiya, A. A., Jones, B. G. (2024). A Huge Dust Storm Influenced Air Quality on 16 May 2022 in Baghdad City, Iraq; Tracked Using Remote Sensing Techniques and Meteorological Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1371(2):022036. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1371/2/022036>
- [14] Bilal, M., Nichol, J. E., Nazeer, M. (2016). Validation of Aqua-MODIS C051 and C006 operational aerosol products using AERONET measurements over Pakistan. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(5), 2074-2080. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2015.2481460>
- [15] Faith, W., Atkisson, A. Jr. (1972). Meteorology (pp. 30-59) in *Air Pollution*, Wiley Interscience, NY.
- [16] Farahbakhsh, M., Alijani, B. & Fattahi, E. (2015). Synoptic analysis of Iran dust storm hazard (July 30 to August 2, 2012). *Environmental Management Hazards*, 2(1), 5-20. (in Persion) <https://doi.org/10.22059/jhsci.2015.53918>
- [17] Gao, T., Han, J., Wang, Y., Pei, H., & Lu, S. (2012). Impacts of climate abnormality on remarkable dust storm increase of the Hunshdak Sandy Lands in northern China during 2001-2008. *Meteorological Applications*, 19(3), 265-278. <https://doi.org/10.1002/met.251>
- [18] Ghadamkheir, M. S., Borna, R., Morshedi, J. & Ghorbanian, J. (2025). Revealing the role of changes in vegetation cover and soil moisture in the annual distribution of dust events in Khuzestan province. *Climate Change Research*, 5(17), 17-30. (in Persion) <https://doi.org/10.30488/ccr.2024.422066.1168>

- [19] Ghomeshion, M., Vali, A. A., Ranjbar Fordoei, A., Mousavi, H. (2022). Investigating the effect of land cover on dust spatial distribution in Southern Khuzestan province. *ECOPERSIA*. 3(10), 179-189. <https://ecopersia.modares.ac.ir/article-24-57777-en.html>
- [20] Ghorani-Azam A, Riahi-Zanjani B, Balali-Mood M. (2016). Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran. *Journal of Research in Medical Sciences*, 21(1):65, <http://dx.doi.org/10.4103/1735-1995.189646>
- [21] Hejabarpour, G., Mohammadi, S., Akbarnia, A., & Ahadi, M. Synoptic and statistical analysis of dust phenomenon in Ardabil city, Fifth Regional Climate Change Conference, February 25, 2015, Tehran. (in Persion)
- [22] Indoitu, R., Orlovsky, L., & Orlovsky, N. (2012). Dust storms in Central Asia: Spatial and temporal variations. *Journal of Arid Environments*, 85(6), 62-70. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.03.018>
- [23] Karami, S., Ghassabi, Z., Moradi, M. (2024). Analysis of Systems Affecting the Simultaneous Events of Precipitation and Dust Over West Asia (May 5-10, 2024). *Nivar*, 48(126-127), 151-168. (in Persion) <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.461752.1294>
- [24] Katorani, S., Ahmadi, M. and Dadashi-Roudbari, A. (2024). Examination of the spatial dispersion and trend of Dust Optical Depth (DOD) in West Asia and its relation with land use change. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 55(8), 1415-1432. (in Persion) <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374563.669685>
- [25] Meng, H., Wang, F., Bai, G., & Li, H. (2025). A Study on Dust Storm Pollution and Source Identification in Northwestern China. *Toxics*, 13(1), 33. <https://doi.org/10.3390/toxics13010033>
- [26] Mohammadpour, K., Khorshid-Doust, A. M., & Ahmadi, G. (2024). Assessment of ground-based dataset and satellite remotely sensed images for analyzing of dust over western Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 11 (2): 1-16. (in Persion) <http://dx.doi.org/10.61186/jsaeh.11.2.1>
- [27] O'Hara, S. L., Clarke, M. L., Elatrash, M. S. (2006). Field measurements of desert dust deposition in Libya. *Atmospheric Environment*, 40(21), 3881-3897. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.02.020>
- [28] Sari Sarraf, B. S., Rasouli, A. A., Mohammadi, G. H., Sadr, A. H. (2016). Long-term trends of seasonal dusty day characteristics-West Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(10)- 563. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-016-2589-1>
- [29] Sharif, F., Khan, A., Sheeba, A. (2015). Spatiotemporal distribution of Aerosol and Cloud properties over Sindh using MODIS satellite data and a HYSPLIT Model. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(2), 657-672.
- [30] Sobhani B, Aalijahan M. (2024). The extraction of synoptic patterns, and monitoring the origin and pathway of dust storms; Case study: Ardabil province, Iran. *jgs*. 24(73), 137-162. (in Persion) <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.24.73.137>
- [31] Tan, C., Liu, C., Li, T., Liu, X., Tang, M., & Zhao, T. (2025). Spatiotemporal Variations and Key Driving Factors of Dust Storms in China's Source Regions from 2000 to 2024. *Atmosphere* 16(5):589. <http://dx.doi.org/10.3390/atmos16050589>
- [32] UNEP. (2022). Global Assessment of Sand and Dust Storms. United Nations Environment Programme.
- [33] Vatanparast Galeh Juq F, Salahi B, Zeinali B. (2025). Investigating the Role of the Madden-Julian Oscillation (MJO) on the Frequency of Dust Storms in Selected Stations of Khuzestan Province and Tracking the Paths of Dust Entering it. *jgs*. 25(77), 198-217. (in Persion) <http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.18>
- [34] WHO. (2021). Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. World Health Organization.
- [35] Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A., & Nikbakht, H. (2014). Climate change and dusty days in the west and southwest of Iran. *Desert Ecosystem Engineering*, 3(5), 19-28. (in Persion)