Kharazmi University

Spatial Analysis Environmental Hazards

Online ISSN: 2588-5146
Homepage: https://khu.ac.ir

Analysis of Synoptic Patterns and Modeling of Dust Transport and Dispersion Pathways in Kerman Province

Saeedeh Zaboli [1] | Saeed Jahanbakhsh Asl [2]✉ | Ali Mohammad Khorshiddoust [3] | Mahmood Khosravi [4]

1. Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: saeedeh.zaboli@tabrizu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: s_jahan@tabrizu.ac.ir
3. Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz ,Iran. E-mail: khorshid@tabrizu.ac.ir
4. Department of Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. E-mail: Khosravi@Gep.usb.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 05 June 2025
Accepted 15 October 2025
Published online 07 January 2025

Keywords:
Cluster Analysis,
Factor Analysis,
Kerman,
Dust,
Synoptic Analysis.

ABSTRACT

Objective: Dust storms rank among the most significant natural hazards in the world's arid and semi-arid regions, inflicting irreparable damage across multiple sectors each year. Given the rising frequency of dust storms in Kerman Province and other desert and arid areas of Iran, it is imperative to undertake a study aimed at identifying the synoptic patterns that precipitate dust events and at determining their source regions as well as their transport and dispersion pathways.

Methods: In this research, the conditions and origins of dust storm formation over the 2000–2023 period were examined using synoptic and remote-sensing methods. The HYSPLIT model was applied to track airflow trajectories, and factor analysis together with cluster analysis were used to identify the synoptic patterns responsible for dust generation. Finally, the principal source regions of dust were delineated.

Results: The results revealed that 63% of the province's dust storms originate from domestic sources, whereas 37% originate from other areas. Three main atmospheric patterns were identified as drivers of dust activity in Kerman Province:

1. The co-advection of simultaneous low-pressure and high-pressure systems;
2. A lower-tropospheric cutoff low pressure in conjunction with the Siberian high;
3. A pressure-gradient regime featuring a core of elevated wind speeds.

Modeling of transport and dispersion pathways indicated that 60% of externally sourced dust is advected from the Arabian Peninsula, while 55% of dust emitted disperses southward, impacting the Makran coast and the Sea of Oman.

Conclusions: Analysis of source regions further showed that the desert areas of Saudi Arabia, Iraq, Syria, and Jordan, as well as those of North Africa, together with internal sources such as the dried Jazmourian wetland, the Lut Desert, the Hamun region, and the Tabas Desert, contribute most substantially to the dust events observed in Kerman Province.

Cite this article: Zaboli, S., Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A. M., & Khosravi, M. (2025). Analysis of Synoptic Patterns and Modeling of Dust Transport and Dispersion Pathways in Kerman Province. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 12 (4), 47-64. http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.4.5

© The Author(s)
Publisher: Kharazmi University
DOI: http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.4.5

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In recent decades, the increasing frequency and intensity of dust storms have raised serious concerns regarding their impacts on human health, agriculture, and the economy of various regions. Areas with arid and semi-arid climates are particularly vulnerable to dust storms; multiple factors, including atmospheric circulation patterns, ground surface conditions, and climate change, contribute to the occurrence and intensity of these events. Understanding the synoptic causes and tracking dust storms is essential for predicting and mitigating their consequences.

Based on studies conducted in Iran and worldwide, dust storms occur under specific synoptic conditions. By recognizing the patterns governing the arrangement of weather systems, one can discern the regularity in their occurrence, frequency, and intensity, thereby predicting the likelihood of such events and identifying the sources of dust generation to address the issue.

The study area is Kerman province, located in the southeastern part of the Iranian plateau, covering over 11% of the country's area, making it the largest province in Iran.

Methods

In this research, satellite images, synoptic maps, and data from 11 synoptic stations with a long statistical period (2000–2023) were utilized. From the hourly and daily data of synoptic stations in Kerman province, 30 widespread dust storm events during the statistical period of 2000–2023 were selected. Subsequently, synoptic and satellite analysis was conducted using NCEP/NCAR reanalysis data, which includes:

Sea-level pressure (SLP),

Geopotential height at 500 and 850 hPa levels,

Wind direction and speed at those levels.

After collecting and organizing the necessary data, statistical methods such as factor analysis and hierarchical clustering were employed to classify the synoptic patterns leading to dust storms in Kerman province. These patterns were then interpreted synoptically. To verify the accuracy of meteorological station reports, examine the spatial dimensions of areas affected by dust storms in Kerman province, track the transfer paths, and identify the locations where dust storms form, images from Terra and Aqua satellites equipped with the MODIS sensor were used. For modeling the transfer paths of dust and the height of emission, the HYSPLIT model was applied.

Results

Based on factor and cluster analysis, three dominant synoptic patterns for days with dust storms in Kerman province were identified:

1. First Pattern: Co-flow in low-pressure and high-pressure systems.
2. Second Pattern: Cut-off low, Siberian high.
3. Third Pattern: Pressure gradient, wind speed core.

Examination of the transfer paths of dust using the HYSPLIT model revealed that dust in the study area originates from desert regions of countries to the west and southwest, as well as North Africa. The largest share of dust transfer comes from the southwest, specifically the Arabian Peninsula, followed by deserts in Iraq, Syria, Jordan, and North Africa (Egypt, Libya, and Algeria).

Investigation of the emission height of dust transferred to the study area showed that most of this dust arrives at altitudes between 1,000 and 5,000 meters, with some cases exceeding 5,000

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

meters. The transfer paths of dust entering the region align with general atmospheric circulation patterns and regional winds. The classification of dust transfer sources to Kerman province by percentage is as follows:

- 60% from the Arabian Peninsula,
- 25% from desert areas in Iraq, Syria, and Jordan,
- 15% from North African deserts (Egypt, Libya, and Algeria).

To examine the emission paths of dust storms in Kerman province, the HYSPLIT model was used forward in time intervals of 24 to 72 hours during the studied statistical period. The results showed that dust storms spread in various directions, with the most frequent emission paths being to the south and then to the southeast, aligning with regional winds, particularly the 120-day winds. According to the cumulative percentage chart from the HYSPLIT model output:

- 55% of dust emission is in the southern path, affecting the Makran coast and the Sea of Oman,
- 25% in the southeastern paths, carrying dust to Sistan and Baluchestan, Pakistan, and even India,
- 12% in the southwestern paths, affecting Bandar Abbas, Yemen, Oman, the United Arab Emirates, and the Arabian Peninsula,
- 8% in the eastern path, mostly affecting Sistan and Baluchestan and parts of Afghanistan.

After monitoring satellite images and the transfer and emission paths of dust in Kerman province, a general map of potential dust-producing sources was prepared. Statistical examinations showed that:

- 37% of dust events have internal origins,
- 63% have external origins.

External sources include desert areas in Saudi Arabia, Iraq, Syria, Jordan, and North African deserts. Internal sources with the highest frequency are the dried Jazmurian wetland, Lut Desert, Hamoun area, and Tabas Desert. Reasons for this include unfavorable climatic conditions such as high temperature, evaporation, and wind speed, as well as low and degraded vegetation cover, low soil moisture, and the expansion of desert areas sensitive to wind erosion. These areas, covered with clay, sand, lakebed sediments, and dried riverbeds, have a high potential for dust production in the southern and southeastern parts of the country.

Conclusion

This research, utilizing synoptic analysis, MODIS sensor satellite images, and the HYSPLIT model, comprehensively examined the synoptic patterns, transfer and emission paths, and origins of dust storms in Kerman province during 2000–2023. The results identified three main synoptic patterns—namely, co-flow of low-pressure and high-pressure systems, cut-off low and Siberian high, and pressure gradient with wind speed core—as key drivers of dust storm occurrence. The primary external sources of dust are:
Arabian Peninsula (60%),
Iraq, Syria, and Jordan (25%),
North African deserts (15%),
while dominant internal sources include the dried Jazmurian wetland, Lut Desert, Hamoun area, and Tabas Desert. Dust emission predominantly occurs to the south (55%), affecting the Makran coast and the Sea of Oman, followed by the southeast (25%), southwest (12%), and east (8%).
These findings, consistent with studies by)Rostami & Hosseini ,2018; Yarmoradi ,2019), provide a deeper understanding of dust dynamics in Iran's arid and semi-arid regions and offer a scientific basis for managing this environmental hazard. Limitations of the study include the average spatial resolution of reanalysis data (2.5×2.5 degrees) and uncertainties in the

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

HYSPLIT model. Recommendations to mitigate dust effects include reviving the Jazmurian wetland, developing vegetation cover, and fostering regional cooperation with neighboring countries. Future research could utilize ERA5 data and advanced forecasting models to investigate the impact of climate change and long-term dust trends.

Keywords: Cluster Analysis, Factor Analysis, Kerman, Dust, Synoptic Analysis.

Author Contributions
All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement
“Not applicable”.

Acknowledgements
The esteemed reviewers are thanked for their structural and scientific comments.

Ethical considerations
The authors have observed ethical principles in conducting and publishing this scientific research, and this is confirmed by them.

Funding
This article has received no financial support.

Conflict of interest
The authors declare no conflict of interest.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

دانشگاه خوارزمی

تحلیل فضایی مخاطرات محیطی

شاپا الکترونیکی: ۵۱۴۶- ۲۵۸۸

Homepage: https://khu.ac.ir

واکاوی الگوهای همدیدی و مدل سازی مسیرهای انتقال و انتشار گردوغبار در استان کرمان

سعیده زابلی [۱] | سعید جهانبخش اصل [۲]✉ | علی محمد خورشید دوست [۳] | محمود خسروی [۴]

۱. گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: saeedeh.zaboli@tabrizu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: s_jahan@tabrizu.ac.ir

۳. گروه آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: khorshid@tabrizu.ac.ir

۴. گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: Khosravi@Gep.usb.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۳
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷

کلیدواژه‌ها:
تحلیل خوشه‌ای،
تحلیل عاملی،
کرمان،
گردوغبار،
واکاوی همدیدی.

هدف: توفان‌های گردوغبار یکی از بارزترین مخاطرات طبیعی مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که هر ساله خسارات جبران ناپذیری را به بخش‌های مختلف وارد می‌کند. به دلیل افزایش توفان‌های گردوغبار در استان کرمان و مناطق کویری و بیابانی کشور، انجام پژوهشی به منظور شناسایی الگوهای همدیدی منجر به گردوغبار و تعیین خاستگاه و انتقال و انتشار این پدیده ضروری است.

روش پژوهش: در این پژوهش شرایط و منشاء شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ با استفاده از روش‌های همدیدی و سنجش از دوری مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از مدل HYSPLIT برای ردیابی مسیر باد و از روش‌های تحلیل عاملی و خوشه‌ای برای شناسایی الگوهای همدیدی منجر به گردوغبار استفاده شد و در نهایت خاستگاه عمده گردوغبارهای استان کرمان تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ۶۳ درصد توفان‌های این استان منشاء داخلی و ۳۷ درصد منشاء خارج از کشور دارند و سه الگوی جوی در گردوغبارهای استان کرمان موثرند که شامل الگوی هم شارش دو سامانه کم‌فشار و پرفشار، الگوی کم ارتفاع بریده و پرفشار سیبری و الگوی گرادیان فشار و هسته سرعت باد هستند. مدل‌سازی مسیرهای انتقال و انتشار گردوغبار نیز نشان داد که بیشترین فراوانی گردوغبار خارجی با ۶۰ درصد از شبه جزیره عربستان به منطقه منتقل می‌شود و بیشترین میزان انتشار گردوغبار از استان کرمان نیز در مسیر جنوبی با ۵۵ درصد است که سواحل مکران و دریای عمان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

نتیجه‌گیری: بررسی خاستگاه گردوغبارها نیز نشان داد که مناطق بیابانی کشورهای عربستان سعودی، عراق، سوریه و اردن و بیابان‌های شمال آفریقا و همچنین منابع داخلی شامل تالاب خشکیده جازموریان، کویر لوت، منطقه هامون و صحرای طبس بیشترین سهم را در گردوغبارهای استان کرمان دارند.

استناد: زابلی، سعیده؛ جهانبخش اصل، سعید؛ خورشید دوست، علی‌محمد؛ و خسروی، محمود (۱۴۰۴). واکاوی الگوهای همدیدی و مدل سازی مسیرهای انتقال و انتشار گردوغبار در استان کرمان. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۱۲ (۴)، ۴۷-۶۴. http//doi.org/10.66224/jsaeh.12.4.5

ناشر: دانشگاه خوارزمی

© نویسندگان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

مقدمه

توفان‌های گرد و غبار یکی از ویژگی‌های مهم اقلیم‌های خشک و نیمه خشک هستند که هر ساله خسارات جبران ناپذیری را به بخش‌های مختلف وارد می‌کنند. کشور ایران نیز به عنوان منطقه‌ای خشک و نیمه خشک از گردوغبارهای داخلی و همچنین مناطق شرق سوریه، عراق، بیابان‌های شبه جزیره عربستان و جنوب شرقی ایران تأثیر می‌پذیرد. رویدادهای توفان گرد و غبار اغلب مقادیر زیادی را تا مناطق دوردست منتقل می‌کنند و تاثیرات متعددی بر مناطق تحت نفوذ دارند (گودی و میدلتون[1]، ۲۰۰۶ و نیپرتز و استوت[2]، ۲۰۱۴). با بررسی رسوبات کف اقیانوس‌ها، توفان‌های گردوغبار سابقه ۷۰ میلیون ساله را نشان می‌دهند. هنگامی که سرعت باد در بیابان‌ها از ۸ متر بر ثانیه فراتر می‌رود و با توجه به عوامل سطحی مانند رطوبت خاک، پوشش گیاهی، اندازه دانه‌ها و ناهمواری زمین، ذرات وارد اتمسفر شده و گردوغبار ایجاد می‌شود. نبود پوشش گیاهی در مناطق مستعد، موجب گرمایش هوا و صعود آن به سمت بالا شده و برخورد این جریان با بادهای پرسرعت تروپوسفری، چرخشی رو به پایین ایجاد می‌کند که در تماس با زمین، توفانهای گردوغباری شکل می‌گیرد. (ندافی و همکاران، ۱۳۸۷؛ شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹). توفان‌های گرد و غبار پدیده‌های جوی هستند که به طور قابل توجهی بر محیط زیست و جامعه در مناطق خشک و نیمه خشک تأثیر می‌گذارند (گودی[3]، ۲۰۱۴) . این رویدادها با حمل و نقل مقادیر زیادی ذرات معلق در هوا، که می‌تواند مسافت‌های طولانی را طی کند، مشخص می‌شوند (میدلتون و گودی[4]، ۲۰۰۱)، افزایش فراوانی و شدت گرد و غبار در دهه‌های اخیر نگرانی‌های جدی را در مورد اثرات آنها بر سلامت انسان، کشاورزی و اقتصاد مناطق ایجاد کرده است (کارنیلی[5] و همکاران، ۲۰۰۹). مناطق دارای اقلیم خشک و نیمه خشک، در برابر توفان‌های گرد و غبار آسیب‌پذیر هستند (راشکی[6] و همکاران،۲۰۱۳). عوامل متعددی در ایجاد و شدت این رویدادها نقش دارند، از جمله الگوهای گردش جوی، شرایط سطح زمین و تغییرات آب و هوایی (پروسپرو[7] و همکاران، ۲۰۰۲). گرد و غبار صحرایی همچنین دامنه‌ای از خطرات را برای جامعه بشری با انتقال و رسوب خود ایجاد می‌کند (میدلتون[8]،۲۰۱۷)، و تاثیرات اجتماعی–اقتصادی توفان‌های گرد و غبار می‌توانند به عنوان فاجعه طبقه‌بندی شوند بر اساس اصطلاحاتی که توسط دفتر سازمان ملل متحد برای کاهش خطر فاجعه (UNDRR) اتخاذ شده، که فاجعه را به عنوان «اختلال جدی در عملکرد یک جامعه یا جامعه در هر مقیاس به دلیل رویدادهای خطرناک که با شرایط قرارگیری، آسیب‌پذیری و ظرفیت تعامل دارند، منجر به یک یا چند مورد از موارد زیر می‌شود: ضررها و تاثیرات انسانی، مادی، اقتصادی و محیطی» تعریف می‌کند (یوان‌دی‌آرآر[9]،۲۰۲۱). لذا درک علل همدیدی و رهگیری توفان‌های گرد و غبار برای پیش‌بینی و کاهش پیامدهای آن‌ها ضروری است.

استان کرمان از نظر اقلیمی جزو اقلیم نیمه‌خشک بیابانی گرم است بنابراین همه فعل‌وانفعالات پیچیده طبیعی مربوط به آب و هوای خشک و شدید کویری را دارد. دوری از دریا و وزش بادهای گرم و خشک از سمت کویر، باعث بارش کم در این استان و ضعف پوشش گیاهی شده است. علاوه بر این، بین فصول سرد و گرم و حتی در شب و روز درجه حرارت هوا اختلاف شدیدی را نشان می‌دهد و موجب جابه‌جا شدن هوا از نقاط مرتفع کوهستانی به مناطق پست و ایجاد نقاط نامنظم همراه با تغییرات زیاد درجه حرارت و رخداد گردوغبار می‌شود. به علت وزش این بادها و حرکت ماسه‌ها به سمت مزارع و باغات، هر ساله خسارت زیادی به کشاورزان منطقه وارد می‌شود (زمانی و همکاران، ۱۳۹۸). این توفان‌ها علاوه بر کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش سطح سلامت، افزایش وقوع تصادفات، صدمه به زیرساخت‌ها و تبعات اقتصادی و اجتماعی زیادی را به دنبال دارند و سبب تغییر در الگوهای

[1] - Goudie & Middleton
[2] - Knippertz& Stuut
[3] - Goudie
[4] - Middleton & Goudie
[5] - Karnieli
[6] - Rashki
[7] - Prospero
[8] - Middleton
[9] - UNDRR

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

کاربری اراضی نیز می‌شوند (فنگ[1] و همکاران، ۲۰۲۲). بر اساس مطالعات صورت گرفته توفان‌ها گردوغبار در شرایط همدیدی خاصی اتفاق می‌افتند که در صورت شناخت الگوهای حاکم بر آرایش سامانه‌ها می‌توان نظام‌مندی حاکم در وقوع، فراوانی و شدت آن‌ها را به دست آورد و درنتیجه احتمال وقوع آن را پیش‌بینی کرد و با شناسایی منشأ و منابع تولید گردوغبار می‌توان به چاره‌جویی این مسئله پرداخت. لذا با توجه به اهمیت موضوع و همچنین اهمیت منطقه مورد مطالعه در این پژوهش ضمن شناسایی الگوهای همدیدی منجر به گردوغبار به ردیابی و منشاء یابی توفان‌های گردوغبار در استان کرمان پرداخته شد.

پیشینه پژوهش

۱. پیشینه تجربی

مطالعات زیادی در ارتباط با تحلیل همدیدی گردوغبار در ایران و جهان انجام شده است در این راستا ذوالفقاری (۱۳۸۴) با تحلیل همدیدی سیستم‌های گردوغبار در غرب ایران مشخص نمود که پرفشار آزور همراه با سیستم‌های مهاجر بادهای غربی مهم‌ترین عوامل همدیدی تأثیرگذار بر سیستم‌های گردوغبار منطقه به شمار می‌روند و فرودها و سیکلون‌های مهاجر زمانی به منطقه نفوذ می‌کنند که پرفشار جنب‌حاره‌ای آزور حضور نداشته و یا ضعیف شده باشند، اما زمانی که پرفشار آزور تقویت می‌شود فروبارهای حرارتی در سطح زمین ایجاد می‌شوند که نقش زیادی در ایجاد گردوغبارهای محلی دارند. ملکوتی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه همدیدی و عددی انتقال و شناسایی چشمه توفان‌های گردوغبار سنگین در منطقه خاورمیانه با استفاده از مدل‌های WRF-Chem و HYSPLIT و داده‌های سنجنده مودیس در طی روزهای ۱۳ تا ۱۷ تیر ۱۳۸۸ مشخص نمودند که در صورتی بیشینه غلظت گردوغبار در تراز پایین اتفاق می‌افتد که در ناحیه منشأ غبار، گرادیان فشاری افقی قابل قبولی با همرفت قوی در توده هوای مستقر در سامانه‌های چرخندی همراه باشد. عبور یک چرخند جبهه‌ای قوی از روی خاورمیانه باعث ایجاد یک برش باد سطحی قوی شده و گردوغبار را از روی دشت آبرفتی دجله و فرات بلند کرده و وارد جوّ کرده است. همچنین نتایج مدل HYSPLIT نشان داد که مناطق کویری و خشک مرکز عراق و سوریه منشأ این توفان‌ها می‌باشند. ولی و همکاران (۱۳۹۳)، با تحلیل اقلیمی و ردیابی توفان‌های گردوغبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران با استفاده از مدل HYSPLIT و نقشه‌های جوّی سطوح بالا نشان دادند که توده‌ی گردوغبار از مناطق شمال غرب عراق و شرق سوریه سرچشمه گرفته و با جهت شمال غربی و جنوب شرقی وارد ایران شده است. همچنین نتایج پایگاه گردش جوّ میانی وجود مرکز کم‌فشار قوی در شرق ایران و پرفشار در شمال آفریقا را تایید کرد که سبب ایجاد بادهای غربی و ورود گردوغبارهای حداکثری به منطقه شده است. صحت کاشانی و همکاران (۱۳۹۴) به تحلیل همدیدی و الگوی فشاری رخدادهای گرد و غبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران پرداختند. نتایج نشان از استقرار سامانه کم فشار مدیترانه‌ای در مناطق غرب و جنوب غرب ایران به همراه تأثیر سامانه پر ارتفاع جنب حاره‌ای روی کشور دارد. در الگوی گرد و غبار تابستانه جنوب غرب کشور تحت تأثیر زبانه‌های سامانه کم فشار حرارتی عربستان و پاکستان می‌باشد و در الگوی پاییزه ناوه موجود بر روی دریای سیاه و شمال مدیترانه فعال گشته، زبانه‌های آن بیابان‌های خاورمیانه را متاثر ساخته و ناپایداری در این مناطق را در پی داشته است. حسین‌حمزه و همکاران (۱۳۹۵) برای تحلیل پدیده گردوغبار در جنوب غرب ایران از نقشه‌های همدیدی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل HYSPLIT و WRF-Chem برای تحلیل گردوغبار استفاده کردند. نتایج نشان داد که مناطق بیابانی کشور سوریه به‌عنوان کانون شکل‌گیری گردوغبار شناسایی شدند. همچنین خروجی‌های مدل نیز بیانگر روند افزایشی گردوغبار بوده است. رستمی و حسینی (۱۳۹۷) به واکاوی و ردیابی پدیده گردوغبار در جنوب و جنوب شرق ایران با استفاده از مدل HYSPLIT و اصول سنجش‌ازدور پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که دریاچه خشک شده هامون، بیابان‌های افغانستان، حاشیه‌ها جنوبی و شرقی لوت، بیابان ربع الخالی، مناطق مرکزی و شمال شرقی عربستان و جنوب عراق، منابع اصلی و مولد گردوغبار منطقه بوده و مسیر شمال- شمال غربی و شمال غربی - جنوب شرقی و در موارد محدودی غربی- شرقی مسیرهای اصلی ورود این پدیده به منطقه هستند. احدی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی فراوانی و میزان روند پدیده گردوغبار در مقیاس ساعتی، ماهانه، فصلی و سالانه طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۹۵ در استان خوزستان پرداختند. نتایج نشان داد ۷۸/۵۷ درصد رویدادهای گردوغباری بین

[1] - Feng

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

ساعات ۹/۳۰-۱۵/۳۰به وقت محلی همزمان با گرمایش زیاد زمین، خشکی خاک و اختلاف فشار محلی اتفاق افتاده است. محاسبه روند در همه ساعات روز روند افزایشی و معنادار را نشان داده است که بیشترین افزایش مربوط به ساعت ۱۲/۳۰ و ۹/۳۰ شب می باشد. ۴۹ درصد روزهای گردوغباری به ترتیب مربوط به ماه‌های ژوییه، ژوئن و می می‌باشد همچنین ۷۳ درصد روزهای گردوغباری در فصول بهار و تابستان رخ داده است که مرتبط با افزایش دما و خشکی منابع آب و خاک در استان خوزستان است. دمی‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی مسیرهای انتشار گرد و غبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل HYSPLIT پرداختند. بر اساس نتایج، مناطق شرقی استان هرمزگان، تالاب جازموریان، شرق سیستان و بلوچستان، مناطق غربی افغانستان و پاکستان و نیز مناطق مرکزی و جنوبی عربستان از مهمترین کانون‌های تولید گرد و غبار در منطقه شناخته شدند. بررسی مدل HYSPLIT نیز بیانگر وجود سه مسیر کلی ورود و ایجاد توفان‌های گرد و غبار به منطقه می‌باشد که شامل مناطق جنوب غربی کشور، مسیر جنوبی- شمالی و مسیر شمالی و شمال‌غربی است. حسینی و همکاران (۱۴۰۳) شرایط و منشاء شکل‌گیری رخدادهای گردوخاک در استان کردستان را با استفاده از روش‌های ترکیبی آماری- همدیدی و ماهواره‌ای مورد بررسی قرار دادند. بر اساس واکاوی همدیدی در بیشتر موارد استقرار یک سامانه کم‌فشار بر روی عراق و سوریه و تقویت شرایط ناپایداری در سطح بیابان‌های این مناطق و همچنین قرارگیری منطقه موردمطالعه در جلوی ناوه عمیق، زمینه انتقال گردوخاک به جو منطقه را فراهم می‌آورد. بر اساس نتایج پدیده گردوخاک در استان کردستان از ۳ چشمه اصلی شامل رسوبات کف رودخانه‌ها و هورهای خشک‌شده در نواحی مرکزی و جنوبی عراق و بیابان‌های سوریه، اردن و شمال شبه‌جزیره عربستان منشاء می‌گیرد. راشکی و همکاران(۲۰۱۵) به بررسی فصلی وقوع توفان‌های گردوخاک منطقه سیستان در طول تابستان با استفاده از مشاهدات ماهواره مودیس و مدل HYSPLIT پرداختند. نتایج نشان داد که حمل ذرات در ارتفاعات کمتر از دو کیلومتر زمانی که به سواحل دریای عرب نزدیک می‌شوند در جهت خلاف عقربه‌های ساعت در ابتدا به سمت جنوب و سپس به سمت شرق و شمال شرق حرکت می‌کنند علت این امر توپوگرافی محلی و شکل‌گیری سیستم‌های کم فشار حرارتی بر روی زمین‌های خشک است. جین و همکاران (۲۰۱۸) در مشاهدات درازمدت ماهواره‌ای و توزیع آئروسل بر روی دریای عرب نشان دادند که یک ناهمگونی فصلی و سالانه در طی فصل تابستان بر روی دریای عرب وجود دارد که ناشی از تغییرات قابل‌ملاحظه در چرخه گردوغبار (انتشار، انتقال، جمع‌آوری و ته‌نشست) مناطق مجاور است که با پدیده‌های هواشناسی و تغییرات سالانه الگوهای گردش جوی ارتباط قوی دارند. بادنهیمر[1] و همکاران (۲۰۱۹) ویژگی‌های ۵۳ توفان گردوغبار شرق مدیترانه با تأکید بر مناطق منشأ طی دوره آماری ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ را مورد بررسی قرار دادند. آنالیز داده‌های ایستگاهی، تصاویر ماهواره‌ای و غلظت اپتیکی ذرات نشان داد که غلظت ذرات، طول دوره و بادهای سطحی قوی در مناطق منشأ غربی(شمال آفریقا بخصوص بیابان صحرا) بیشتر از مناطق منشأ شرقی(شبه‌جزیره عربستان) است. این در حالی است که ارتفاع لایه گردوغبار در مناطق شرقی بیشتر از غربی به دست آمد. گردش سینوپتیکی غالب در توفان‌های گردوغبار مناطق غربی، هسته سرد سیکلون در فصل زمستان بوده در حالی که در مناطق شرقی تراف دریای سرخ طی فصل پاییز پدیده غالب است. اصغری و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی الگوی اتمسفر و شبیه سازی انتشار توفان‌های شن در شرق و جنوب شرقی ایران پرداختند. نتایج نشان داد گرادیان فشار شدید، عبور از جبهه سرد، جت سطح پایین، وزش باد در مناطق خشک تالاب خشک هامون و فرارفت هوای سرد در منطقه مسطح کویر لوت از عوامل مهم در تشکیل و انتشار توفان در شرق کشور است. الخالدی و همکاران (۲۰۲۱) به تحلیل همدیدی توفان‌های گردوغبار در عراق پرداختند. بر اساس نتایج بیابان‌های شرق سوریه، ربع‌الخالی و منطقه بین النهرین از منابع اصلی گرد و غبار در عراق هستند. معدنچی و همکاران (۱۴۰۳) به ارزیابی داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای در آشکارسازی بررسی وضعیت رخداد پدیده گرد و غبار در استان کرمان از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ پرداختند. نتایج نشان داد ایستگاه سیرجان بیشترین وقوع گرد و غبار با منشا محلی و منطقه‌ای را دارد. ایستگاه بم نیز بیشترین فراوانی سالانه را دارا می باشد و کمترین وقوع، شهر بابک با ۲ روز گرد و غباری می باشد. همچنین رنجبر فردوئی و ابراهیمی خوسفی (۱۴۰۳) به تحلیل سهم گردوغبارهای داخلی و خارجی و تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها در استان کرمان در دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۰ پرداختند. نتایج نشان دادند متوسط سهم رویدادهای

[1] - Bodenheimer

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

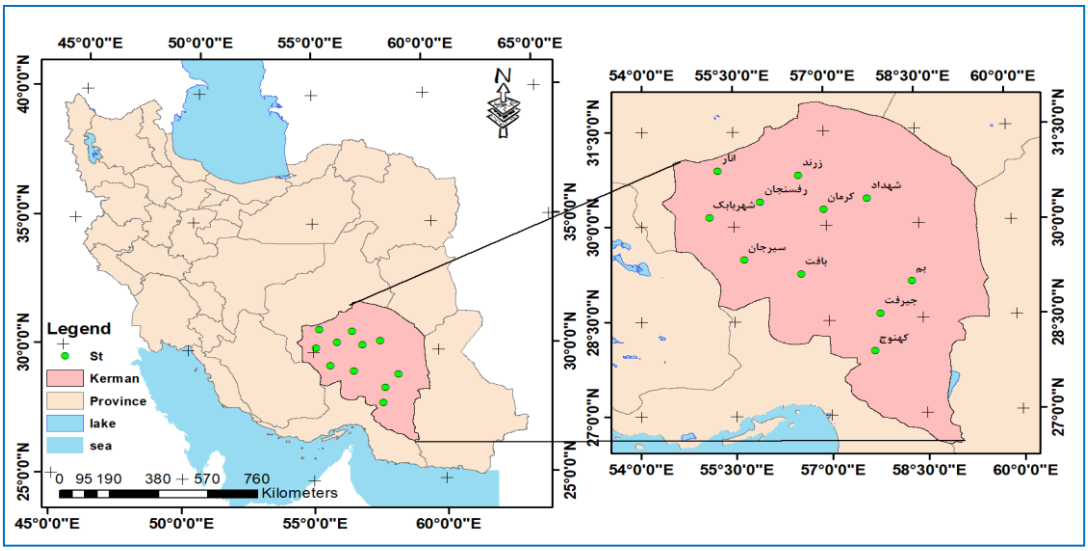
داخلی و خارجی در استان کرمان به ترتیب ۶۰/۶ درصد و ۳۹/۴ درصد است. الگوی پراکنش مکانی گردوغبارها نیز نشان داده است که بم و جیرفت به‌عنوان حساس‌ترین مناطق به فرسایش بادی در سال‌های گذشته بوده‌اند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد که در سال‌های اخیر محققان با استفاده از روش‌های همدیدی و شاخص‌های مختلف سنجش از دوری، شناسایی مناطق گردوغبار را در تحقیقات خود موردتوجه قرار داده‌اند و نواحی مختلفی را در سرتاسر جهان به‌عنوان منبع اصلی گردوخاک معرفی کرده‌اند. بر اساس مطالعات انجام شده بیشتر منابع گردوخاک و به‌ویژه بزرگ‌ترین منابع در نیمکره شمالی واقع شده‌اند و عمدتاً در یک گستره‌ای از کمربند گردوخاک از سواحل شمال غربی آفریقا، سراسر شرق مدیترانه و آسیای مرکزی به جنوب چین می‌رسد. بر اساس مطالعات داخلی کشور ایران نیز به دلیل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان، وجود بیابان‌های وسیع در نواحی مرکزی کشور و همچنین همسایگی با بیابان‌های کشورهای همجوار مانند عراق، سوریه و عربستان موجب وقوع و همچنین افزایش پدیده گردوخاک در نواحی مختلف کشور از جمله استان کرمان شده است و باعث شده است اگرچه بر اساس بررسی پیشینه پژوهش پدیده گردوغبار موضوع جدیدی در مناطق مرکزی و جنوب شرقی کشور از جمله استان کرمان نیست و سابقه نسبتاً طولانی دارد اما افزایش تعداد روزهای همراه با گردوغبار و همچنین افزایش غلظت آن بر اساس آمار و مطالعات باعث افزایش نگرانی عمومی شده است و بیانگر نیاز به مطالعات جامع در زمینه تعیین چشمه‌های گردوغبار و مسیرهای انتقال و انتشار آن در استان کرمان در افزایش این پدیده و در نهایت یافتن راهی برای مقابله با این پدیده ناخوشایند است. بنابراین با توجه به اینکه در مطالعات قبلی کمتر و یا به صورت جامع به این موضوع پرداخته نشده است پژوهش در این زمینه ضرورت می‌یابد. این توفان‌ها در شرایط همدیدی خاصی اتفاق می‌افتند که در صورت شناخت الگو یا الگوهای حاکم بر آرایش سامانه‌ها می‌توان نظام‌مندی حاکم در وقوع، فراوانی و شدت توفان‌های گردوغبار را به دست آورد و درنتیجه احتمال وقوع آن را پیش‌بینی کرد و با شناسایی منشأ و منابع تولید گردوغبار می‌توان به چاره‌جویی این مسئله در منطقه مورد مطالعه پرداخت.

روش‌شناسی پژوهش

۱. قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

استان کرمان با مساحتی معادل ۱۸۲۷۲۶ کیلومترمربع در جنوب شرقی فلات ایران واقع شده است. این استان بیش از ۱۱ درصد از مساحت کشور را به خود اختصاص داده است و پهناورترین استان کشور محسوب می‌شود. در این پژوهش جهت بررسی و منشایابی توفان‌های گردوغبار در استان کرمان از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های همدیدی و همچنین داده‌های هواشناسی ۱۱ ایستگاه همدیدی با دوره آماری بلندمدت (۲۰۲۳-۲۰۰۰) استفاده شد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی در شکل (۱) ارائه شده است.



[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورد بررسی

۲.داده‌ها و روش کار

طبق دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی، روز همراه با گردوغبار به روزی گفته می‌شود که حداقل در یکی از ۸ سینوپ گزارش شده از ایستگاه هواشناسی یکی از کدهای مربوط به گردوغبار (شامل کدهای ۰۶ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) در گروه هوای حاضرِ سینوپ گزارش شده باشد (سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۷۴). بر این اساس معیار انتخاب توفان‌های گردوغبار در این پژوهش، کاهش دید افقی به زیر ۱۰۰۰ متر حداقل در ۵۰ درصد از ایستگاه‌های منطقه؛ تداوم زمانی حداقل یک روزه پدیده در استان و وجود گستره توفان در تصاویر ماهواره‌ای لحاظ گردید. به دلیل عدم دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مدل HYSPLITE قبل از سال ۲۰۰۰، توفان‌های گردوغبار شناسایی شده به عنوان نمونه مطالعاتی، از سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ انتخاب شدند. با این رویکرد با بررسی داده‌های ساعتی ایستگاه‌های هواشناسی، توفان‌های گردوغبار، شناسایی شده و تاریخ رخداد آن‌ها استخراج شد و در نهایت ۳۰ مورد رخداد توفان گردوغبار فراگیر در طول دوره مذکور تعیین شدند و بررسی‌های همدیدی و ماهواره‌ای و اجرای مدل‌های انتقال و انتشار برای هر کدام از آن‌ها انجام شد.

۲-۱. واکاوی همدیدی و ماهواره‌ای

در این پژوهش برای واکاوی همدیدی از داده‌های بازکاوی شده NCEP/NCAR استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل فشار سطح دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیلی ترازهای ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکالی و سمت و سرعت باد در سطوح مذکور می‌باشند. داده‌های NCEP/NCAR دارای اطلاعات هواشناسی در سطوح استاندارد از ۱۰۰۰ هکتوپاسکالی تا ۱۰ هکتوپاسکالی در فواصل زمانی ۶ ساعته (سینوپ‌های اصلی) و با قدرت تفکیک ۲/۵ درجه طول و عرض جغرافیایی می‌باشند. با استفاده از داده‌های فوق و ترسیم نقشه‌های همدیدی و الگوهای باد با به استفاده از نرم‌افزار GRADS؛ الگوهای بادی و سامانه‌های همدیدی مؤثر در رخداد توفان‌های گردوغبار به دست آمد. روش کار بدین صورت است که بعد از مشخص کردن توفان‌های گردوغبار فراگیر با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی تلاش شد با بررسی نقشه‌های همدیدی؛ عامل همدیدی ایجاد و شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار در مناطق منشأ گردوغبار شناسایی شود. پس از جمع‌آوری و تنظیم داده‌های مورد نیاز، روش‌های آماری تحلیل عاملی و خوشه‌بندی سلسله مراتبی وارد جهت طبقه‌بندی الگوهای همدیدی منجر به گردوغبار در استان کرمان مورد استفاده قرار گرفت. سپس به تفسیر همدیدی الگوهای مذکور پرداخته شد. به منظور تحلیل عاملی و خوشه‌ای داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال برای شبکه نقاط در محدوده جغرافیایی ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی و ۱۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی برای روزهای همراه با گردوغبار انتخاب شد. از آنجا که فاصله تلاقی داده‌های NCEP/NCAR از هم ۲/۵ × ۲/۵ درجه جغرافیایی است. ماتریسی از شبکه نقاط مذکور به ابعاد ۲۵ ردیف در ۲۹ ستون با مجموع ۷۲۵ برای ۳۰ روز منتخب گردوغباری، مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت.

همچنین در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی صحت گزارشات ایستگاه‌های هواشناسی، بررسی ابعاد مکانی مناطق تحت سیطره پدیده گردوغبار در استان کرمان، مسیر انتقال و نهایتاً شناسایی مکان شکل‌گیری توفان‌های گردوغبار استفاده شد. اطلاعات فوق در مطالعه و تشخیص شرایط همدیدی مؤثر در شکل‌گیری و انتقال گردوغبار بسیار مفید هستند. بر این اساس در این تحقیق از داده‌های سنجنده مودیس (ماهواره تِرا و آکوا) برای بررسی نحوه شکل‌گیری و انتقال گردوغبار و همچنین انتشار گردوغبار در استان کرمان استفاده شد. سنجنده مودیس به دلیل دار بودن توان تفکیک مکانی، زمانی و طیفی مناسب، ابزار بسیار کارآمد جهت تشخیص گردوغبار است (شهریسوند و همکاران،۱۳۹۳). همچنین جهت تعیین چشمه‌ها و خاستگاه‌های عمده توفان-های گردوغبار در استان کرمان، از تصاویر ماهواره‌ای باند مرئی به صورت روزانه طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ استفاده شد. در این راستا، تمامی روزهایی که توفان‌های گردوغبار به صورت واضح در تصاویر ماهواره‌ای مشخص بودند، محل تقریبی آن محدوده به صورت طول و عرض جغرافیایی ثبت شد. پس از بررسی تمامی تصاویر به این شکل، نقاط مختلف جغرافیایی به دست آمد. هر یک از این نقاط نشان‌دهنده وجود محل شکل‌گیری هسته گردوغبار در یک روز توفانی بودند. تمامی این نقاط به همراه طول و عرض جغرافیایی در مدل HYSPLIT انجام گرفت.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

۲-۲. مدل‌سازی مسیرهای انتقال و انتشار گردوغبار

یکی از روش‌های شناسایی کانون‌های گردوغبار علاوه بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از مدل مسیریاب HYSPLIT است که با تقریب خوبی قادر به تشخیص منابع تولید گردوغبار است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۱). در مدل HYSPLIT با روش لاگرانژی، پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن با گام‌های زمانی دلخواه به سمت زمان‌های گذشته و یا به سمت زمان آینده امکان‌پذیر است. در این پژوهش از مدل HYSPLIT برای مدل‌سازی مسیر انتقال گردوغبار و ارتفاع انتشار، استفاده شد. ابتدا مدل برای شبیه‌سازی به اطلاعاتی همچون موقعیت جغرافیایی، ارتفاع ایستگاه، مدت‌زمان اجرای مدل، داده‌های شبکه‌ای همدیدی در ترازهای مختلف جو و نهایتاً سری فرامین داخلی نیاز دارد. مهم‌ترین بخش اطلاعات ورودی مدل، داده‌های شبکه‌ای همدیدی است که در این مطالعه از «سیستم داده‌گواری جهانی» معروف به GDAS[1] با قدرت تفکیک مکانی ۰/۵×۰/۵ درجه عرض و طول جغرافیایی استفاده شد. اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی و ارتفاع نقطه مورد نظر از اطلاعات موقعیتی ایستگاه‌های هواشناسی مورد نظر اخذ شد. پس از تنظیم مختصات ایستگاه‌های مدنظر و انتخاب نوع داده‌های همدیدی، روش مدل‌سازی برای توفان‌های گردوغبار انتخاب گردید. روش‌های این مدل به دو صورت پیشرو[2] و یا پسگرد[3] است. با لحاظ اهداف موردنظر از اجرای این مدل که همانا شبیه‌سازی مسیرهای انتشار و منشاءیابی گردوغبارهای انتقال‌یافته و شکل‌گرفته در خود منطقه مورد مطالعه است. برای توفان‌های گردوغبار محلی و مناطق متأثر از توفان‌های احتمالی حاصل از منطقه، از روش پیشرو و برای گردوغبارهای انتقال‌یافته به منطقه مورد مطالعه از روش پسگرد استفاده گردید. سپس زمان برای ۲۴ تا ۷۲ ساعت با گام‌های زمانی ۶ ساعته تنظیم شد. در نهایت خط سیر حرکت توده‌های هوا بر اساس نتایج همدیدی و ماهواره‌ای برای ارتفاعات مختلف شبیه‌سازی شد. لازم به ذکر است که این مدل بر روی ۳۰ مورد توفان گردوغبار منتخب با مبدأ قرار دادن موقعیت نسبی ایستگاه‌هایی که گردوغبار در آنجا شکل‌گرفته بود، اجرا شد.

یافته‌های پژوهش

به منظور شناسایی الگوهای همدیدی طی روزهای همراه با گردوغبار، داده‌های ارتفاعی تراز ۵۰۰ و ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا و سمت و سرعت باد برای شبکه نقاط در محدوده جغرافیایی ۱۰ تا ۶۰ درجه عرض شمالی و ۱۰ تا ۷۰ درجه طول شرقی برای روزهای همراه با گردوغبار انتخاب شد. از آنجا که فاصله تلاقی داده‌های NCEP از هم ۲/۵ × ۲/۵ درجه جغرافیایی است. ماتریسی از شبکه نقاط مذکور به ابعاد ۲۵ ردیف در ۲۹ ستون با مجموع ۷۲۵ برای ۳۰ روز منتخب گردوغباری، مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. پس از جمع‌آوری و تنظیم داده‌های ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال به‌صورت آرایه (S-mode) و قبل از انجام تحلیل عاملی، ابتدا اعتبارسنجی انجام تحلیل عاملی برای ۷۲۵ متغیر مذکور آزمون شد. جدول (۱) نتایج اعتبارسنجی را برای ماتریس داده‌های مذکور نشان می‌دهد. از آنجا که مقدار آماره KMO برابر ۰/۹۳ شد و نزدیک به یک است انجام تحلیل عاملی بر روی متغیرهای مورد بررسی مناسب تشخیص داده شد و مورد تأیید قرار گرفت.

جدول ۱. مقادیر آماره آزمون KMO جهت اعتبارسنجی تحلیل عاملی

اندازه‌گیری کفایت نمونه‌گیری کایزر- مایر- اولکین		۰/۹۳۵
آزمون بارتلت	ضریب کای دو	۱۱۵۳۴۵/۰۲۴
	درجه آزادی	۷۲۴
	سطح معنی‌داری	۰/۰۰۰

پس از اعمال تحلیل عاملی بر روی ماتریس کوواریانس داده‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال روزهای همراه با گردوغبار، ۹ عامل که در مجموع، ۹۵ درصد از کل واریانس داده‌ها را تبیین می‌کردند استخراج شدند (جدول ۲) و مابقی عامل‌هایی را که ارزش ویژه آن‌ها کمتر از یک بود و نتوانسته بودند بیشتر از یک درصد کل واریانس داده‌ها را تبیین کنند، کنار گذاشته شدند. لذا با توجه به

[1] - Global Data Assimilation System
[2] - Backward
[3] - Forward

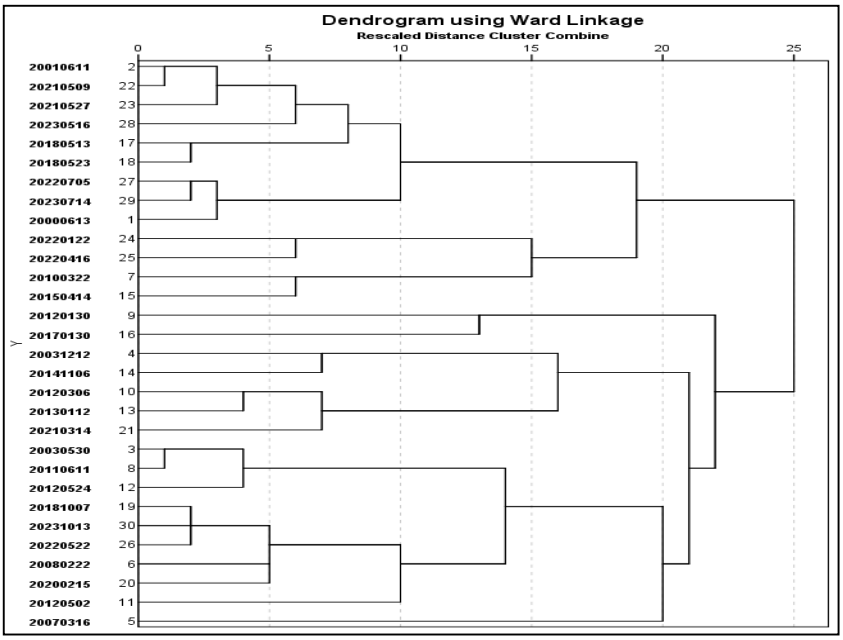
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

این‌که عامل اول توانست به‌تنهایی ۶۲/۷ درصد کل واریانس داده‌ها را تبیین کند و بررسی اجمالی جدول ماتریس همبستگی بین عامل‌های استخراج‌شده هم حاکی از عدم وجود وابستگی بین آن‌ها بود و عامل‌ها از همدیگر استقلال کامل داشتند، مدل مذکور پذیرفته شد. با توجه به این‌که، مهم‌ترین ویژگی روش تحلیل عاملی این است که بتواند رابطه بین متغیرهای اولیه و عامل‌های ایجادشده را به‌صورت واضح و ساده بیان کند و عامل‌های ایجادشده ازنظر اقلیم‌شناسی همدیدی قابل توجیه و بهتر تفسیر شوند، عامل‌های مذکور به روش چرخش متعامد (واریماکس) دوران داده شدند که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. مقدار ویژه، درصد واریانس و واریانس تجمعی هر یک از عامل‌ها

عامل ها	مقادیر ویژه اولیه			مجموع مجذور عامل‌های اکتشافی		
	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی	مجموع	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۴۳۲۷۶۳۸/۷۶۱	۶۲/۷۰۴	۶۲/۷۰۴	۴۳۲۷۶۳۸/۷۶۱	۶۲/۷۰۴	۶۲/۷۰۴
۲	۷۱۴۵۰۷/۶۷۸	۱۰/۳۵۳	۷۳/۰۵۶	۷۱۴۵۰۷/۶۷۸	۱۰/۳۵۳	۷۳/۰۵۶
۳	۴۷۳۶۷۷/۴۸۹	۶/۸۶۳	۷۹/۹۲۰	۴۷۳۶۷۷/۴۸۹	۶/۸۶۳	۷۹/۹۲۰
۴	۳۴۱۲۸۶/۳۹۲	۴/۹۴۵	۸۴/۸۶۵	۳۴۱۲۸۶/۳۹۲	۴/۹۴۵	۸۴/۸۶۵
۵	۲۰۵۵۱۱/۳۴۷	۲/۹۷۸	۸۷/۸۴۲	۲۰۵۵۱۱/۳۴۷	۲/۹۷۸	۸۷/۸۴۲
۶	۱۸۹۶۳۳/۹۹۶	۲/۷۴۸	۹۰/۵۹۰	۱۸۹۶۳۳/۹۹۶	۲/۷۴۸	۹۰/۵۹۰
۷	۱۱۸۱۷۰/۵۵۵	۱/۷۱۲	۹۲/۳۰۲	۱۱۸۱۷۰/۵۵۵	۱/۷۱۲	۹۲/۳۰۲
۸	۱۰۶۰۵۸/۸۵۰	۱/۵۳۷	۹۳/۸۳۹	۱۰۶۰۵۸/۸۵۰	۱/۵۳۷	۹۳/۸۳۹
۹	۸۱۶۵۴/۶۲۸	۱/۱۸۳	۹۵/۰۲۲	۸۱۶۵۴/۶۲۸	۱/۱۸۳	۹۵/۰۲۲
۱۰	۶۸۸۱۲/۴۰۶	۰/۹۹۷	۹۶/۰۱۹	۶۸۸۱۲/۴۰۶	۰/۹۹۷	۹۶/۰۱۹

در ادامه، پس از انجام تحلیل خوشه‌ای به روش سلسله مراتبی وارد بر روی نمرات عاملی ازآنجا که میزان مربع فواصل اقلیدسی خوشه‌های ادغام‌شده از عدد ۲۲ به بعد افزایش ناگهانی پیدا کرده و سبب کاهش شباهت الگوهای همدیدی نماینده روزهای همراه با گردوغبار واقع در خوشه‌ها می‌گردد، لذا ادغام خوشه‌ها در فاصله مذکور متوقف شد و کل روزهای همراه با گردوخاک مورد مطالعه در سه الگو طبقه‌بندی شدند. شکل (۲) نمودار درختی ادغام خوشه‌ها را همراه با خط افقی محدودکننده خوشه‌ها در مربع فاصله اقلیدسی ۲۲ نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که، بر اساس خط مذکور ادغام خوشه با سه خوشه نهایی متوقف شده است.



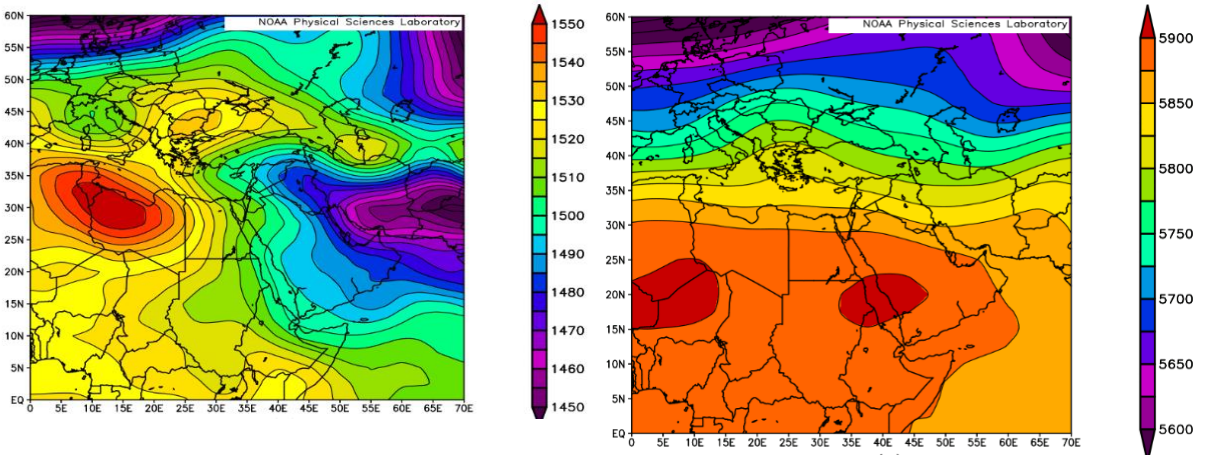
شکل۲. خوشه‌بندی روزهای منتخب همراه با گردوغبار در استان کرمان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

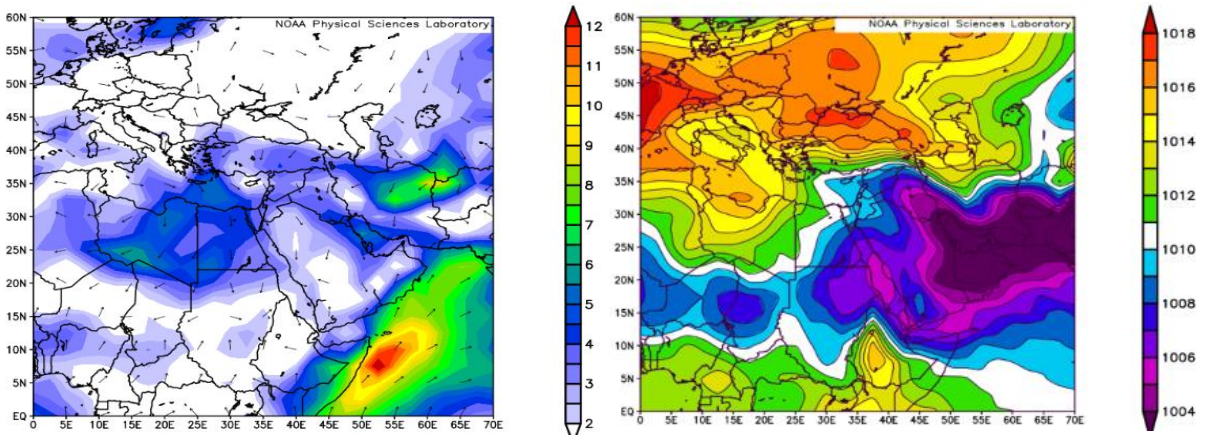
در مجموع براساس تحلیل عاملی و خوشه‌ای، سه الگوی همدیدی حاکم بر روزه‌های همراه با گردوغبار در استان کرمان شناسایی و تعیین شد که در ادامه به تفسیر همدیدی آنها به تفکیک الگوهای استخراج شده پرداخته می‌شود.

۱. الگوی اول (هم شارش دو سامانه کم‌فشار و پرفشار)

بررسی نقشه ترکیبی ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در الگوی اول نشان می‌دهد که پرارتفاع جنب‌حاره‌ای آزور در منطقه حاکم است به گونه‌ای که سلول مرکزی آن با ارتفاع ۵۹۰۰ ژئوپتانسیل‌متر بر روی عربستان شمال آفریقا بسته شده است و قسمت شرقی زبانه آن با ارتفاع ۵۸۵۰ ژئوپتانسیل متر منطقه مورد مطالعه را در برگرفته است. وجود این شرایط و جریانات نزولی بر روی منطقه موجب تشکیل کم‌فشارهای حرارتی از طریق فرایند گرمایش آدیاباتیک در سطح زمین شده است و شرایط را برای گردوغبار در منطقه مورد مطالعه فراهم می‌کند (شکل ۳ الف). ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال به دلیل نزدیکی به سطح زمین تحت تأثیر این لایه بوده و به‌نوعی نمایشگر ویژگی‌های تعدیل‌شده سطح زمین است. در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال این الگو، یک مرکز کم ارتفاع با پربند ۱۴۵۰ متر بر روی پاکستان شکل گرفته که زبانه‌های آن بر روی منطقه مورد مطالعه کشیده شده است. همچنین در این الگو یک مرکز پر ارتفاع با پربند ۱۵۵۰ متر بر روی شمال شرق آفریقا قرار دارد که باعث انتقال هوای گرم همراه با گردوغبار از نواحی شمال شرقی آفریقا، عراق و عربستان به جنوب و جنوب شرق کشور شده است (شکل ۳ ب). بررسی نقشه همدیدی فشار سطح دریا در این الگوی نشان می‌دهد که یک سلول کم‌فشار بسته با فشار مرکزی ۱۰۰۴ هکتوپاسکال بر روی پاکستان و جنوب و جنوب شرق کشور شکل گرفته است که زبانه‌های آن نیز بر روی خلیج فارس و شبیه جزیره عربستان گسترش یافته است. همچنین یک سلول پرفشار در شمال ترکیه با فشار مرکزی ۱۰۱۸ هکتوپاسکال مستقر است زبانه پرفشار با خط هم‌فشار ۱۰۱۳ هکتوپاسکال شمال کشور را در بر گرفته است. برخورد این دو سامانه در نواحی مرکزی کشور موجب تشدید شیب فشاری و دمایی شده است به طوری‌که اختلاف فشار بین مناطق شمالی و جنوبی کشور برابر با ۹ هکتوپاسکال است (شکل ۳ ج). بر اثر گرادیان فشار و دما جریان باد در جنوب ترکمنستان ایجاد شده و به سمت جنوب شرق منطقه در محدوده کم‌فشار حرارتی سیستان بر سرعت وزش آن افزوده شده است. این باد در اثر گذر از بیابان‌های شرقی و مرکزی ایران موجب توفان گردوخاک شده است و به طور قطع در ترازهای فوقانی به دلیل کاهش عامل اصطکاک بر سرعت باد در مناطق مذکور افزوده خواهد شد سرعت باد به گونه‌ای است که موجب بلند شدن ذرات گردوخاک در مرزهای شرقی و بستر خشک هامون می‌شود (شکل ۳ د).



[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

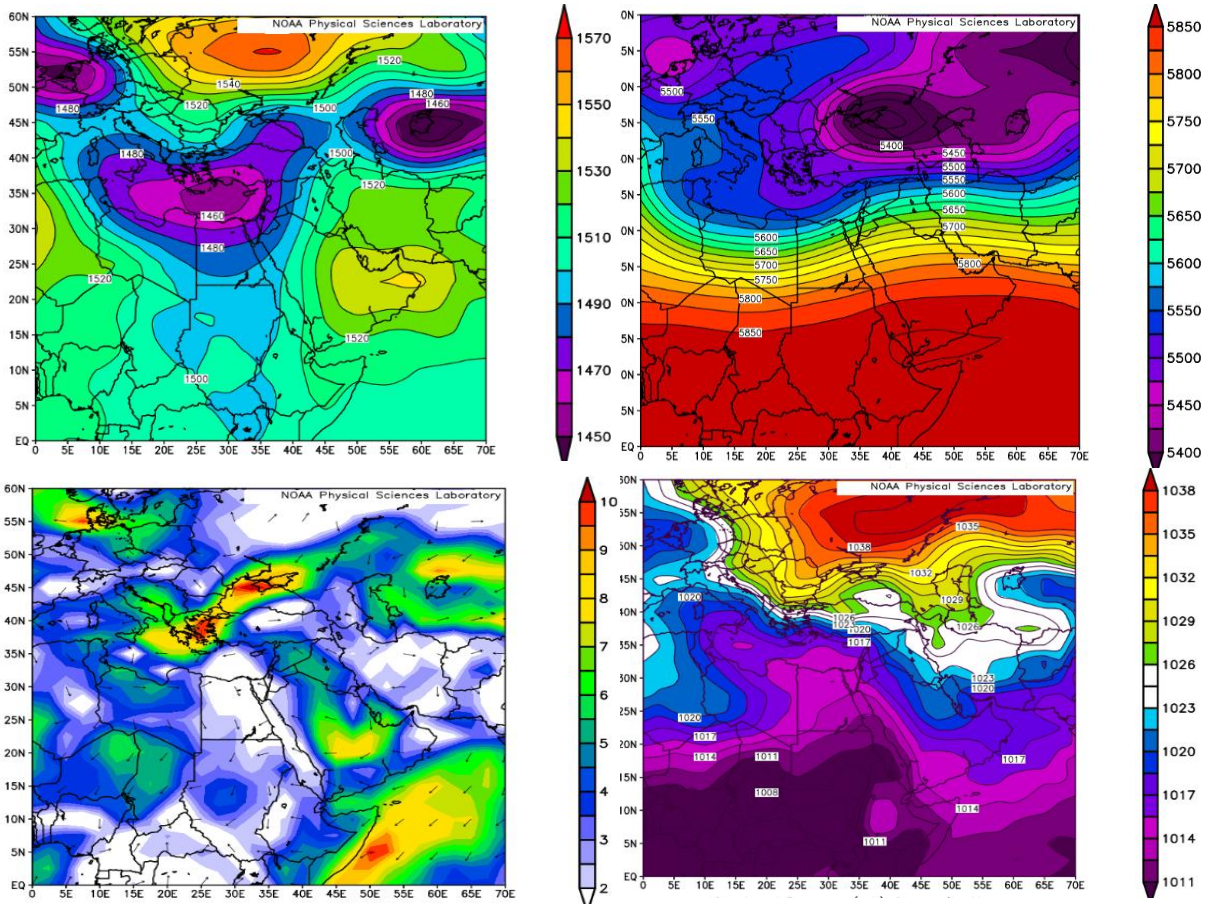


شکل ۳. نقشه‌های همدید ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا، سمت و سرعت باد در الگوی همدیدی اول منجر به گردوغبار در استان کرمان

۲. الگوی دوم (کم ارتفاع بریده، پرفشار سیبری)

نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال در این الگو، یک مرکز کم ارتفاع با پربنده ۵۴۰۰ متر بر روی شمال ترکیه که باعث تشکیل یک ناوه عمیق به محوریت شمال کشور ترکیه تا شمال شرق آفریقا می‌شود را نشان می‌دهد. عمق این ناوه از ۴۵ درجه عرض شمالی تا ۱۵ درجه عرض شمالی است و طول‌موج آن نیز از ۱۵ درجه طول شرقی تا ۵۰ درجه طول شرقی است که باعث شده منطقه موردمطالعه ما در جلو این ناوه قرار بگیرد و باعث گسیل گردوخاک از بیابان‌های جنوب عراق و شمال آفریقا و عربستان و انتقال آن به سمت جنوب غرب کشور و منطقه موردمطالعه شده است (شکل ۴ الف). در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال نیز دو مرکز کم ارتفاع با پربنده ۱۴۶۰ متر یکی بر شمال شرق آفریقا و دیگری بر روی ترکمنستان شکل گرفته است. در این الگو یک مرکز پر ارتفاع با پربنده ۱۵۵۰ متر بر روی خلیج فارس و یک پر ارتفاع دیگر با پربنده ۱۵۷۰ متر بر روی سیبری قرار دارد. در این الگو زبانه‌های پرارتفاع بر روی منطقه مورد مطالعه قرار دارد که باعث پایداری و تداوم گرما در منطقه می‌شود (شکل ۴ ب). با توجه به الگوهای همدیدی تراز سطح دریا یک پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۳۸ هکتوپاسکال بر روی سیبری قرار دارد و زبانه‌های آن تا نواحی جنوبی کشور کشیده شده است و باعث شیو فشاری از شمال به جنوب کشور شده است. به بیانی دیگر جنوب کشور از شرایط کم‌فشاری نسبت به شمال کشور برخوردار است. وجود پرفشار مذکور و چرخش ساعت‌گرد آن موجب فرارفت هوای سرد بر روی منطقه و در نتیجه گرادیان شدید فشار و دما بین مناطق شمالی و جنوبی کشور می‌شود. زبانه ۱۰۲۰ هکتوپاسکال پرفشار مذکور بر روی منطقه مورد مطالعه قرار دارد (شکل ۴ ج). جهت باد با توجه به پرفشار مذکور نیز شمالی و شمال شرقی است و همچنین با توجه به اختلاف فشار ۸ هکتوپاسکالی بین شمال شرق و جنوب شرق ایران موجب وزش بادهایی با سرعت بین ۳ تا ۵ متر بر ثانیه در منطقه شده است که شرایط برای ماندگاری گردوخاک در آسمان منطقه موردمطالعه را فراهم می‌آورد (شکل ۴ د).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

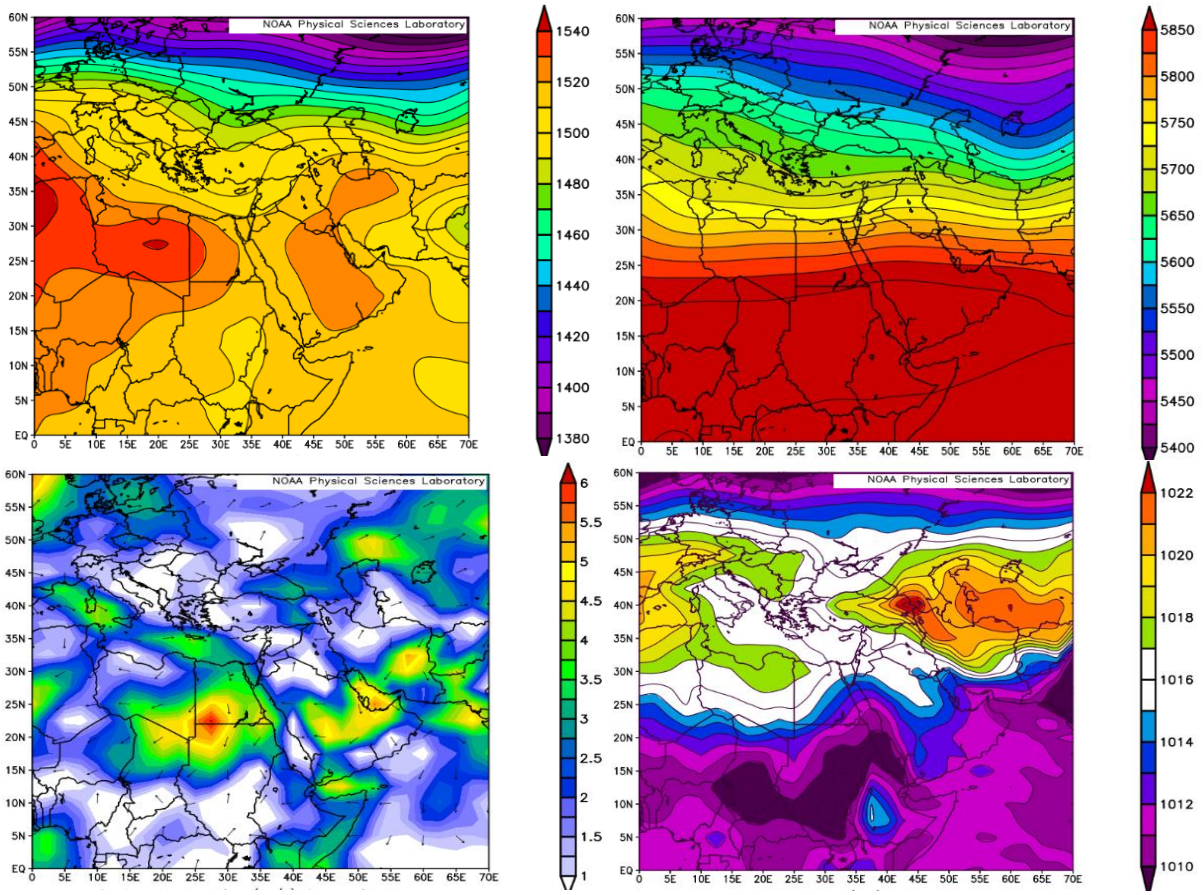


شکل ۴. نقشه‌های همدید ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا، سمت و سرعت باد در الگوی همدیدی دوم منجر به گردوغبار در استان کرمان

۳. الگوی سوم (گرادیان فشار، هسته سرعت باد)

در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال الگوی سوم، یک ناوه کم عمیق با محوریت شمال ترکمنستان تا جنوب پاکستان گسترده شده است این شرایط باعث قرارگیری جریانات موازی در کشور و منطقه مورد مطالعه شده است که درنتیجه آن صعود گردوخاک از روی بیابان‌های شمال شرق آفریقا، شبه جزیره عربستان و جنوب عراق و همچنین بیابان‌های داخلی و ورود آن به منطقه موردمطالعه را فراهم می‌آورد (شکل ۵ الف). در نقشه ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال یک مرکز پر ارتفاع با منحنی هم‌ارتفاع ۱۵۲۰ متر بر روی جنوب غرب کشور و شرق عربستان و یک مرکز کم ارتفاع بر روی پاکستان با پربنده ۱۴۸۰ متر شکل گرفته است که زبانه‌های آن بر روی منطقه مورد مطالعه کشیده شده است (شکل ۵ ب). در نقشه تراز سطح دریای این الگو یک مرکز پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۲۲ هکتوپاسکال بر روی شمال غرب کشور و یک پرفشار دیگر با فشار مرکزی ۱۰۲۰ بر روی شمال شرق شکل گرفته است که زبانه‌های آن‌ها تا جنوب کشور کشیده شده است و باعث تغییرات شیو فشار به سمت منطقه مورد مطالعه شده است. فشردگی خطوط هم‌فشار در نواحی جنوبی کشور نیز بیانگر گرادیان شدید فشاری می‌باشد (شکل ۵ ج). نقشه بردار باد در سطح زمین نیز جهت شمال شرقی باد به تبعیت از گرادیان فشاری منطقه و همچنین تشکیل هسته سرعت بیش از ۵ متر بر ثانیه بر روی منطقه هامون را نشان می‌دهد که موجب گسیل گردوغبار به منطقه مورد مطالعه می‌شود (شکل ۵ د).

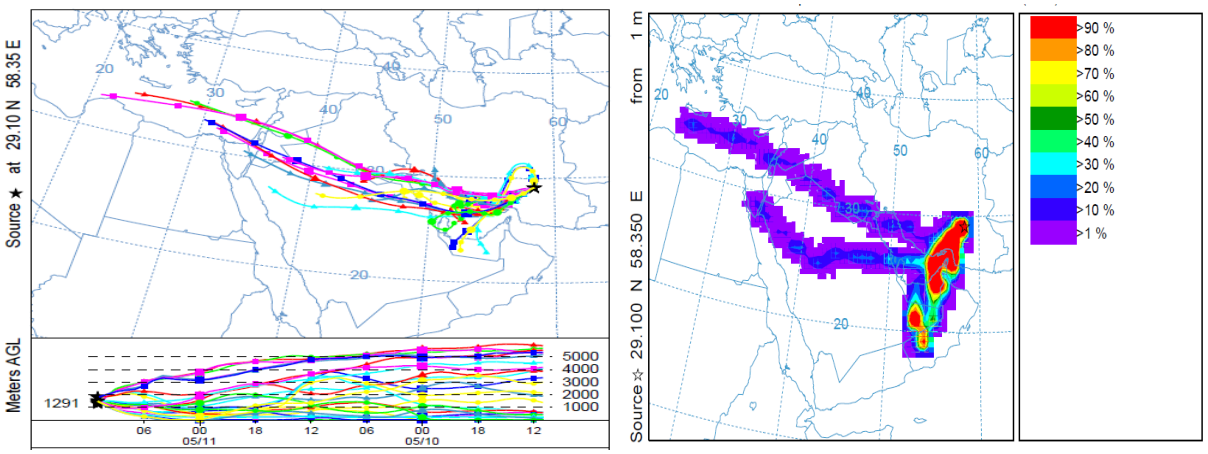
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]



شکل ۵. نقشه‌های همدید ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال، تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال، فشار سطح دریا، سمت و سرعت باد در الگوی همدیدی سوم منجر به گردوغبار در استان کرمان

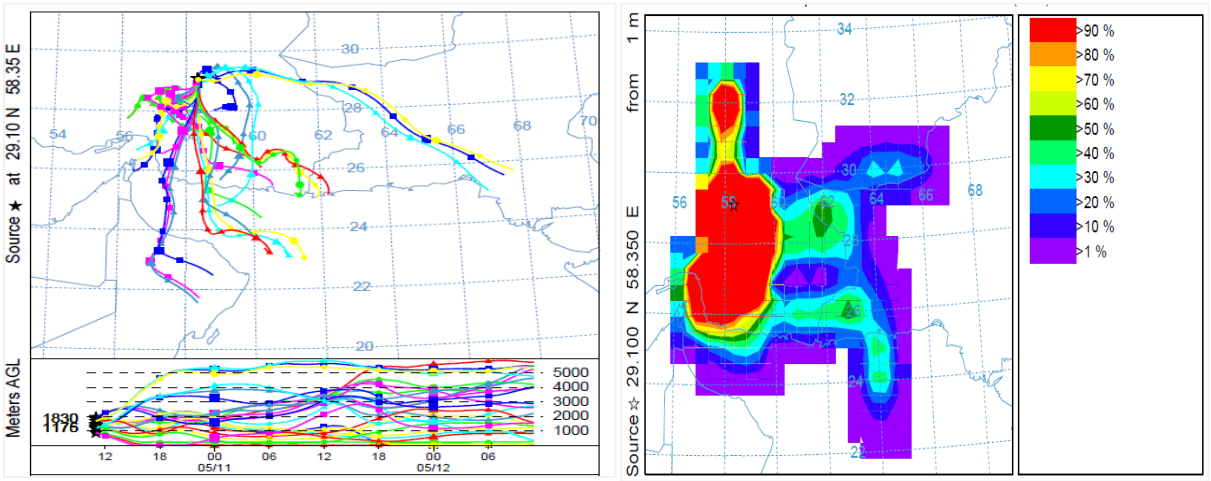
به منظور بررسی مسیرهای انتقال گردوغبار به استان کرمان از مدل HYSPLIT استفاده شد. بدین منظور از کد ۰۶ برای شناسایی توفان‌های گردوغبار وارد شده به استان کرمان استفاده شد و با اجرای مدل HYSPLIT به صورت پسگرد نقشه مسیرهای انتقال گردوغبار به منطقه مورد مطالعه مشخص شد (شکل ۶). نتایج حاصل نشان داد گردوغبار منطقه مورد مطالعه از مناطق بیابانی کشورهای واقع در غرب و جنوب غرب کشور و همچنین شمال آفریقا وارد می‌شود. بر اساس نتایج بیشترین سهم انتقال گردوغبار از مسیر جنوب غرب یعنی از شبه جزیره عربستان می‌باشد. بیابان‌های عراق، سوریه، اردن و همچنین بیابان‌های شمال آفریقا (مصر، لیبی و الجزایر) در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بررسی ارتفاع گردوغبارهای انتقال یافته به منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که بیشتر این گردوغبارها از ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر به منطقه می‌رسند و در برخی موارد نیز با بالای ۵۰۰۰ متر می‌رسند. همانطور که از شکل (۶) مشخص است مسیرهای انتقال گردوغبار وارد شده به منطقه مورد مطالعه با الگوهای گردش عمومی جوّ و بادهای منطقه‌ای مطابقت دارد. نتایج طبقه‌بندی منابع انتقال گردوغبار به استان کرمان بر حسب درصد نشان داد که بیشترین فراوانی گردوغبار با ۶۰ درصد از شبه جزیره عربستان به منطقه منتقل می‌شود. سپس مناطق بیابانی عراق، سوریه و اردن با میزان ۲۵ درصد در رتبه دوم قرار دارند و بیابان‌های شمال آفریقا (مصر، لیبی و الجزایر) به میزان ۱۵ درصد در رتبه سوم قرار می‌گیرند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]



شکل ۶. مسیرهای انتقال گردوغبار به استان کرمان بر اساس مدل HYSPLIT

جهت بررسی مسیرهای انتشار توفان‌های گردوغبار در استان کرمان از مدل HYSPLIT بصورت پیشرو در بازه‌های زمانی ۲۴ تا ۷۲ ساعت در طول دوره آماری مورد بررسی استفاده شد. نتایج نشان داد که توفان‌های گردوغبار استان کرمان در جهت‌های مختلفی انتشار می‌یابند و بر اساس نقشه حاصل بیشترین فراوانی مسیرهای انتشار به سمت جنوب و سپس جنوب شرق است که انطباق مناسبی نیز با جهت بادهای منطقه به ویژه بادهای ۱۲۰ روزه در منطقه دارد. بر اساس نمودار درصد تجمیع نتایج حاصل از خروجی مدل HYSPLIT، بیشترین میزان انتشار گردوغبار در مسیر جنوبی با ۵۵ درصد است که سواحل مکران و دریای عمان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مسیرهای انتشار گردوغبار در جهت جنوب شرقی نیز در ردیف دوم با میزان ۲۵ درصد است که گردوغبار را به سیستان و بلوچستان، پاکستان و حتی هندوستان می‌رسانند. مسیرهای جنوب غربی در ردیف سوم با ۱۲ درصد که بندرعباس، یمن، عمان، امارات متحده و شبه جزیره عربستان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. مسیر شرقی با ۸ درصد در ردیف چهارم قرار می‌گیرد که اغلب سیستان و بلوچستان و مناطقی از افغانستان را تحت تأثیر قرار می‌دهند (شکل ۷).

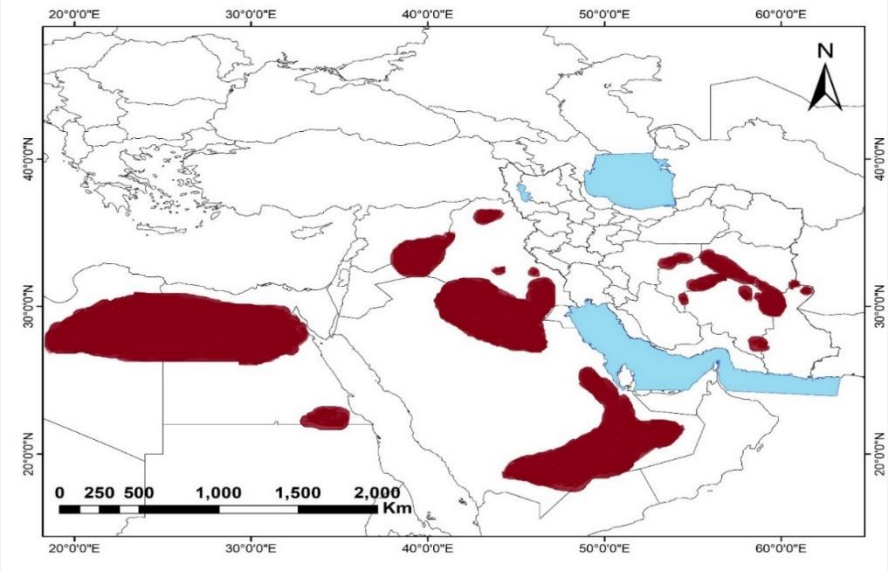


شکل ۷. مسیرهای انتشار گردوغبار در استان کرمان بر اساس مدل HYSPLIT

پس از پایش تصاویر ماهواره‌ای و مسیرهای انتقال و انتشار گردوغبار در استان کرمان، نقشه کلی چشمه‌های بالقوه تولید گردوغبار در استان کرمان تهیه شد. بر اساس بررسی‌های آماری در استان کرمان سهم رویدادهای گردوغبار با منشا داخلی ۳۷ درصد و سهم رویدادهای با منشا خارجی ۶۳ درصد است. نتایج حاصل از بررسی منابع با منشاء خارجی نشان داد که مناطق بیابانی کشورهای عربستان سعودی، عراق، سوریه و اردن و بیابان‌های شمال آفریقا بیشترین سهم را در انتقال گردوغبار به منطقه مورد مطالعه دارند. بررسی منابع با منشاء داخلی نیز نشان داد که بیشترین فراوانی گردوغبار در منطقه مورد مطالعه مربوط به تالاب خشکیده جازموریان، کویر لوت، منطقه هامون و صحرای طبس است. علت این امر علاوه بر نامساعد بودن شرایط اقلیمی این

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

نواحی همچون بالا بودن دما، تبخیر و تعرق و سرعت باد، به دلیل پوشش گیاهی کم و تخریب‌شده، پایین بودن رطوبت سطح زمین و گسترش عرصه‌های بیابانی و حساس به فرسایش بادی در منطقه است. لذا این مناطق با توجه به اینکه پوشیده از رس، ماسه، رسوبات کف دریاچه‌ها و رودخانه‌های خشک شده هستند پتانسیل بالایی در تولید گردوغبار در نواحی جنوبی و جنوب شرقی کشور دارند (شکل ۸).



شکل ۸. مناطق منشاء و چشمه‌های بالقوه داخلی و خارجی تولید گردوغبار در استان کرمان

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش با بهره‌گیری از تحلیل همدیدی، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، و مدل HYSPLIT، به بررسی جامع الگوهای همدیدی، مسیرهای انتقال و انتشار، و منشأ توفان‌های گردوغبار در استان کرمان طی دوره ۲۰۰۰–۲۰۲۳ پرداخت. نتایج نشان داد که سه الگوی همدیدی اصلی، شامل هم‌شارش سامانه‌های کم‌فشار و پرفشار، کم‌ارتفاع بریده و پرفشار سیبری، و گرادیان فشار با هسته سرعت باد، نقش کلیدی در وقوع گردوغبار دارند. شبه‌جزیره عربستان (۶۰درصد)، عراق، سوریه و اردن (۲۵درصد)، و بیابان‌های شمال آفریقا (۱۵درصد) مهم‌ترین منابع خارجی گردوغبار هستند، در حالی که تالاب خشک‌شده جازموریان، کویر لوت، منطقه هامون، و صحرای طبس چشمه‌های داخلی غالب‌اند. انتشار گردوغبار عمدتاً به سمت جنوب (۵۵درصد)، با تأثیر بر سواحل مکران و دریای عمان، و سپس به سمت جنوب شرق (۲۵درصد)، جنوب غرب (۱۲درصد)، و شرق (۸درصد) رخ می‌دهد. این یافته‌ها، که با مطالعات رستمی و حسینی (۱۳۹۷) و یارمرادی (۱۳۹۸) هم‌خوانی دارد، درک عمیق‌تری از دینامیک گردوغبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران ارائه می‌دهد و مبنایی علمی برای مدیریت این مخاطره زیست‌محیطی فراهم می‌آورد.

محدودیت‌های مطالعه شامل تفکیک مکانی متوسط داده‌های بازکاوی (۲/۵×۲/۵ درجه) و عدم قطعیت‌های مدل HYSPLIT است. برای کاهش اثرات گردوغبار، احیای تالاب جازموریان، توسعه پوشش گیاهی، و همکاری منطقه‌ای با کشورهای همسایه توصیه می‌شود. تحقیقات آینده می‌توانند با استفاده از داده‌های ERA5 و مدل‌های پیش‌بینی پیشرفته، تأثیر تغییرات اقلیمی و روندهای بلندمدت گردوغبار را بررسی کنند.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان در انجام و انتشار این پژوهش علمی، اصول اخلاقی را رعایت کرده‌اند و این امر مورد تأیید آنهاست.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در جمع‌آوری داده‌ها، تهیه گزارش پژوهش و تحلیل داده‌ها مشارکت داشتند.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر از حمایت مالی هیچ سازمان و یا موسسه‌ای برخوردار نبوده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

منابع

ابراهیمی خوسفی، زهره و رنجبر فردوئی، ابوالفضل (۱۴۰۳). تحلیل تغییرات مکانی و زمانی عمق اپتیکی هواویزهای غبار مناطق مختلف استان کرمان در ۲۳ سال گذشته. *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۱۴ (۳)، ۱۲۲-۱۰۳.

احدی، پریسا؛ خالدی، شهریار و احمدی، محمود (۱۴۰۰). پایش آماری پدیده‌ی گردوغبار در استان خوزستان با رویکرد ساعتی. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۱ (۶۰)، ۲۵۹-۲۷۷.

حسین حمزه، نسیم؛ فتاحی، ابراهیم؛ ذوالجودی، مجتبی؛ غفاریان، پروین و رنجبر، عباس (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی و دینامیکی پدیده گردوغبار و شبیه‌سازی آن در جنوب غرب ایران در تابستان ۱۳۸۴. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۳(۱)، ۹۱-۱۰۲.

حسینی، سید اسعد؛ رهنما، مهدی؛ باقری، حمید؛ پناهی، علی؛ چاره‌خواه، بهرام؛ قمری، خه‌بات؛ خدام، نوشین؛ نوری، فائزه و صحت، ساویز (۱۴۰۳). واکاوی همدیدی و ماهواره‌ای گردوخاک در استان کردستان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۵، ۱۵-۳۰.

دمی‌زاده، محمود؛ مهدوی، رسول؛ نوروزی، علی‌اکبر؛ غلامی، حمید و ارشک، حلی‌ساز (۱۴۰۰). بررسی مسیرهای انتشار گردوغبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل HYSPLIT. *مهندسی و مدیریت آبخیز*، ۱۳(۲)، ۴۳۱-۴۴۴.

ذوالفقاری، حسن و عابدزاده، حیدر (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیک سامانه‌های گردوغبار در غرب ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۶، ۱۷۳-۱۸۸.

رستمی، دانا و حسینی، سید اسعد (۱۳۹۷). واکاوی و ردیابی پدیده گردوغبار در جنوب و جنوب شرق ایران با استفاده از مدل HYSPLIT و اصول سنجش‌ازدور. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵(۳)، ۱۰۳-۱۱۹.

زمانی، سمیرا؛ محمودآبادی، مجید؛ یزدان‌پناه، نجمه و فرپور، محمدهادی (۱۳۹۸). تحلیل فرسایندگی بادهای ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمان با استفاده از گل‌باد، گل‌توفان و گل‌ماسه. *مجله مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۹(۲)، ۲۳-۴۳.

شاهسونی، عباس؛ یاراحمدی، مریم؛ حقیقی‌فرد، نعمت‌اله؛ نعیم‌آبادی، ابوالفضل؛ محمودیان، محمدحسن؛ صاکی، حامد؛ صولت، محمدحسین؛ سلیمانی، زهرا و ندافی، کاظم (۱۳۸۹). اثرات توفان‌های گردوغبار بر سلامت و محیطزیست. مجله *دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی*، ۲(۴)، ۴۶-۵۶.

شهریسوند، محسن؛ آخوندزاده هنزایی، مهدی و حسین‌سوری، امیرحسین (۱۳۹۳). شناسایی گردوغبار در تصاویر ماهواره‌ای MODIS با استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم‌گیری. نشریه علمی پژوهشی *علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۴(۳)، ۱۳۱-۱۴۴.

صحت کاشانی، ساویز؛ وظیفه‌دوست، مجید؛ کمالی، غلامعلی و علی‌اکبری بیدختی، عباسعلی (۱۳۹۴). تحلیل همدیدی و الگوی فشاری رخدادهای گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*، ۲۱، ۹-۲۰.

علیجانی، بهلول (۱۳۸۳). *آب و هوای ایران*. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.

لشکری، حسن و کیخسروی، قاسم (۱۳۸۷). تحلیل آماری و سینوپتیکی توفان‌های گردوغبار استان خراسان. مجله *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۶۵، ۱۲-۲۰.

معدنچی، پیمان؛ سعیدیان، حمزه و دمی زاده، محمود (۱۴۰۳). ارزیابی داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی پدیده گرد وغبار مناطق بیابانی (مطالعه موردی: استان کرمان). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۳ (۴)، ۳۱۳-۲۹۱.

ملکوتی، حسین؛ باباحسینی، سمیرا؛ نوحه‌گر، احمد؛ آزادی، مجید و محمدپور، محمدرضا (۱۳۹۲). مطالعه همدیدی و عددی نشر، انتقال و شناسایی چشمه یک توفان گردوغبار سنگین در منطقه خاورمیانه. مجله *پژوهش‌های فرسایش بادی*، ۳(۱۲)، ۶۹-۸۰.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

ندافی، کاظم؛ احرامپوش، محمدحسن؛ جعفری، نبی‌زاده، ر؛ و یونسیان، م (۱۳۸۷). بررسی کل ذرات معلق و ترکیب مواد تشکیل‌دهنده شهرستان مرکزی استان یزد. مجله *دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی شهید صدوقی*.

ولی، عباسعلی؛ خاموشی، سجاد؛ موسوی، سید حجت؛ پناهی، فاطمه و تمسکی، احسان (۱۳۹۳). تحلیل اقلیمی و ردیابی توفان‌های گردوغبار فراگیر در جنوب و مرکز ایران. مجله *محیط‌شناسی*، ۴(۴)، ۹۶۱-۹۷۲.

یارمرادی، زهرا (۱۳۹۸). پایش و مدلسازی رخداد توفان‌های گردوخاک شرق ایران، *رساله دکتری، دانشگاه لرستان*.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

References

Ahadi, P., Khaledi, S., & Ahmadi, M. (2021). Statistical monitoring of dust phenomenon in Khuzestan province with hourly approach. *Applied Research in Geographical Sciences*, 21(60), 259-277. [In Persian] http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.60.259

Alijani, B. (2004). Climate of Iran. Tehran. *Publication of Payamnour University*. [In Persian].

AlKhalidi, J., Bakr, D., & Abdullah, A. (2021). Synoptic Analysis of Dust Storm in Iraq. *Environment Asia*, 14(1), 13-22.

Asghari, M., Meshkatee, A., Ranjbar Saadat Abadi, A., & Moradi, M. (2021). Investigation of atmospheric pattern and simulation of the frontal sandstorm emission over eastern and southeastern Iran (case study 23 & 24 April 2019). *Pollution*, 7(1), 73-85.

Bodenheimer, S., Lensky, I. M., & Dayan, U. (2019). Characterization of Eastern Mediterranean dust storms by area of origin: North Africa vs. Arabian Peninsula. *Journal Name*, 198, 158-165.

Damizadeh, M., Mahdavi, R., Noroozi, A. A., Gholami, H. & Hollisaz, A. (2021). Assessment of dust storm emission in Hormozgan Province using HYSPLIT. *Watershed Engineering and Management*, 13(2), 431-444. [In Persian] https://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.342768.1789

Ebrahimi-Khusfi Z., & Ranjbar, A. (2024). Analysis of the spatial and temporal changes of the dust aerosols optical depth across different regions of Kerman province in the last 23 years. 2024. *E.E.R*; 14 (3), 102-122 [In Persian]. http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-839-en.html

Feng, I., Tong, D., Gill, T. E., Van Pelt, R. S., & Webb, N. (2022). The economic costs of wind erosion in the United States. In AGU Fall Meeting Abstracts (NH44B-05).

Goudie, A. S. (2014). Desert dust and human health disorders. *Environment Internationa*l, 63(3), 101-113.

Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). Desert dust in the global system. *Springer Science & Business Media.*

Hamzeh-Hossein, N., Fattahi, E., Zoljoodi, M., Ghafarian, P., & Ranjbar, A. (2016). Synoptic-dynamic analysis of dust storm and its simulation in southwest of Iran in summer 2005. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3(1), 91-102. [In Persian]. https://doi.org/10.18869/acadpub.jsaeh.3.1.91

Hosseini, S. A., Rahnama, M., Bagheri, H., Panahi, A., Charekhah, B., Ghamari, K., Khodam, N., Nouri, F., & Sehat, S. (2025). Synoptic satellite analysis of dust in Kurdistan province. *Geography and Environmental Hazards*, 15, 15-30. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/geoeh.2025.85624.1434

Jin, Q., Jiangfeng, W., Bing, P., Zong-Liang, Y., & Prasad Parajuli, S. (2018). High summertime aerosol loadings over the Arabian Sea and their transport pathways. *Journal of Geophysical Research*, 123, 10,568-10,590.

Karnieli, A., Gill, T. E., & Ben-Dor, E. (2009). Dust storms of the Middle East—An overview. *Journal of Arid Environments*, 73(11), 1083-1088.

Knippertz, P., & Stuut, J. B. W. (2014). Mineral dust: A key player in the Earth system. Springer Science & Business Media.

Lashkari, H., & Keykhosravi, Gh. (2008). Statistical synoptic analysis of dust storms in Khorasan province(1993-2005). *Physical geography research quarterly* 65, 17-33. [In Persian]

Madanchi, P., Saeediyan, H. & Damizadeh, M. (2024). Evaluation of Meteorological Data and Satellite Images in Identifying Dust Phenomenon in Desert Areas (Case Study: Kerman Province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4), 291-313. [In Persian] https://doi.org/10.22067/geoeh.2024.87528.1476

Malekoty, H., Baba Husseini, S., Noahgar, A., Azadi, M., & MR, M. (2012). Numerical and Synoptic Study of Emission. Transport and Identify Potential Sources of a Severe Dust Storm Over Middle East, *Environmental Erosion Research*, 3(4), 69-80. [In Persian]

Middleton, N. J. (2017). Desert dust hazards: A global review. *Aeolian research*, 24, 53-63.

Middleton, N. J., & Goudie, A. S. (2001). Dust storms in the Middle East. *Journal of Arid Environments*, 48(3), 391-401.

Nadafi, K., Ahramposh, M. H., Jafari, N., Nabizadeh, R., & Younesian, M. (2008). Complete Evaluation of Suspended Air Particles and Their Composition in the Central Area of Yazd City. *Journal of Shahid Sadoughi University of Medical Sciences.* 16(1), 21-25. [In Persian]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]

Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., & Gill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. Reviews of Geophysics, 40(1), 1002.

Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Francois, P., Kosmopoulos, P. G., & Legrand, M. (2015). Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16, 35-48.

Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Rango, A., & Okin, G. S. (2013). Dust storms and related aerosol characteristics over Sistan region using satellite data. *Atmospheric Environment*, 79, 305-316.

Rostami, D. & Hosseini, S, A. (2018). Analysis and Tracking Dust Phenomenon in South and Southeast of Iran by using HYSPLIT Model and the Principles of Remote Sensing. *JOURNAL OF SPATIAL ANALYSIS ENVIRONMENTAL HAZARTS*, 5(3), 103-119. [In Persian]

Sehatkashani, S., VazifeDoust, M., Kamali, G. & Bidokhti, A. A. (2015). Synoptic Analysis and Pressure Patterns of Dust events in the West and South West of Iran. *Journal of Climate Research*, 1394(21), 9-20. [In Persian].

Shahrisvand, M., Akhoondzadeh Hanzaei, M., & Hosseinsouri, A. H. (2015). Comparison of Support Vector Machine, Artificial Neural Network and Decision Tree Classifiers for Dust Detection in Modis Imagery. *Scientific and Research Journal of Geomatics Science and Technology*, 4(3), 131-144. [In Persian]. http://jgst.issgeac.ir/article-1-284-en.html

Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Jafarzade Haghighifard, N., Naimabadie, A., Mahmoudian, M., Saki H, et al. (2011). Dust Storms: Environmental and Health impacts. North Khorasan University of Medical Sciences; 2 (4), 45-56. [In Persian] https://doi.org/10.29252/jnkums.2.4.45

UNDRR. (2021). Disaster. Retrieved September 24, 2021, from https://www.undrr.org/terminology/disaster

Vali, A. A., Khamooshi, S., Mousavi, S.H. , Panahi, F. & Tamassoki, E. (2014). Climatic Analysis and Routing of Comprehensive Dust Storms in the South and Center of Iran. Journal of Environmental Studies, 40(4), 961-972. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jes.2014.53012

Wang, Y., Stein, A. F., Draxler, R. R., de la Rosa, J. D., & Zhang, X. (2011). Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric Environmen*t, 45, 6368-6381. http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.08.035

Yarmoradi, Z. (2019). Monitoring and modeling of dust storm events in eastern Iran, Doctoral dissertation, Lorestan University. [In Persian]

Zamani, S., Mahmoodabadi, M., Yazdanpanah, N. & Farpoor, M. H. (2019). Analysis of wind erosivity at synoptic stations of Kerman province using wind rose, storm rose and sand rose. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 9(2), 23-43. [In Persian]. https://doi.org/10.22069/ejsms.2019.14813.1810

Zoualfaghari, H., & Abedzadeh, H. (2006).A Synoptic analysis of dust systems at the west part of Iran. *Geography and Development*, 3(6), 173-188. [In Persian]

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.24237892.1404.12.4.3.6]
[DOI: 10.66224/jsaeh.12.4.5]