



Climatology Analysis of the Dust Storms in Kerman in Period (2000-2023)

Saeed Jahanbakhsh Asl^{1✉} Ali Mohammad Khorshiddoust² | Mahmood Khosravi³
Saeedeh Zaboli⁴

1. Corresponding author, Professor at the Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: s_jahan@tabrizu.ac.ir
2. Professor at the Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: khoshid@tabrizu.ac.ir
3. Professor, Department of Physical Geography (Climatology), University of Sistan and Baluchestan Zahedan, Zahedan, Iran E-mail Khosravi@Gep.usb.ac.ir
4. Ph.D.student at the Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail saeedeh.zaboli@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 25 April 2025

Revised: 11 August 2025

Accepted: 2 September 2025

Published: 10 May 2026

Keywords:

Climatology,
Dust Storms,
Kerman,
Mann-Kendall.

ABSTRACT

Objective: “Atmospheric dust, as a climatic phenomenon with environmental and human consequences, is of particular importance, especially in arid regions such as Iran. This study was conducted with the aim of performing a climatological analysis of dust storms in Kerman Province over the statistical period 2000–2023.

Methods:Data from 11 synoptic stations were examined, focusing on meteorological codes related to dust (6–9, 30–35, and 98) and parameters such as horizontal visibility and wind speed. For trend analysis, the Mann-Kendall test and Sen’s slope were used.

Results:The results showed that the highest frequency of dust storm days was associated with internal (63%) and external (37 %) sources, occurring in March (501 days) and May (382 days), respectively. The seasonal distribution indicates that the province is more affected by dust events in spring (38%) and summer (29%) than in other seasons. The hourly pattern also revealed peaks at 15:30 and 12:30 local time (24/4% and 20/8%, respectively), attributed to surface heating. Spatial dispersion further indicated an increase in days with external sources in the southeast (43%) and a decrease in the northwest (32%).

Trend analysis using the Mann-Kendall test revealed a significant decrease at the Bam and Shahrehabak stations (with a 99% confidence level) and a significant increase at the Sirjan and Rafsanjan stations (with a 95% confidence level).

Conclusions:These findings underscore the necessity for effective local resource management and enhanced cross-border cooperation to mitigate the impact of this phenomenon in Iran’s arid regions.

Cite this article: Jahanbakhsh Asl, S.; Khorshiddoust, A.M.; Khosravi, M. & Zaboli, S. (2026). Climatology Analysis of the Dust Storms in Kerman in Period (2000-2023). *Journal of Geography and Planning*, 30(96), 202-221. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.66982.3394>



© The Author(s).

Publisher: University of Tabriz.

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.66982.3394>

Introduction

Atmospheric dust is a meteorological phenomenon with negative environmental consequences that significantly impact human life and societies (Reed & Nugent, 2018). Due to its arid and semi-arid climate, sparse vegetation—particularly in its central regions—and the presence of vast deserts such as the Lut Desert and the Kavir Desert, Iran is highly prone to the occurrence of dust storms (Middleton, 2019).

Materials and Methods

This study aimed to analyze the climatology of dust storms in Kerman Province, focusing on their long-term spatial and temporal distribution patterns. For this purpose, data from 11 synoptic meteorological stations during the period 2000 to 2023 were utilized. Dust events were identified based on weather codes 06 to 09, 30 to 35, and 98.

The following climatic and statistical parameters were examined:

- Mean frequency of dusty days
- Monthly and seasonal distribution of dust occurrences
- Interannual and seasonal fluctuations in the number of dusty days
- Hourly frequency of dust events
- Seasonal distribution of dust-related weather codes
- Horizontal visibility across the region
- Temporal trends and rates of change in dust frequency

Results

The monthly frequency of locally-sourced dust events (codes 07–09, 30–35, and 98) revealed that March and May had the highest number of occurrences, while November recorded the lowest. In the case of externally-sourced dust events, the highest frequencies occurred in May and July, and the lowest in November and October. Overall, May had the highest and November the lowest total number of dust events. Importantly, no month in Kerman Province was entirely free of dust activity throughout the study period.

Seasonally, spring recorded the highest and autumn the lowest number of local dust events. For external sources, dust events were most frequent in spring and summer, while autumn again had the lowest frequency. Hence, spring had the highest and autumn the lowest overall dust occurrence for both sources combined.

At Bam and Jiroft stations, external sources predominated, whereas in other stations, local sources were more dominant. The highest contribution from internal sources was observed at Shahr-e Babak, followed by Shahdad. On average, 63% of dust events originated from local sources, and 37% from external sources.

Hourly analysis showed that dust events occurred most frequently at 12:30 and 15:30 local time, and least frequently at 03:30 AM—likely due to the effects of surface heating and thermal convection in the afternoon hours. The most frequent codes were 07 to 09, indicating the lifting of dust or sand from the vicinity of the station. These were followed by code 06, representing dust transported from distant sources. Codes 30 to 35, related to mild to severe dust storms occurring at the station itself, accounted for about 1.5% of all events. The least frequent code was 98 (thunderstorms accompanied by dust), comprising 0.2% of occurrences, and was recorded only once in some stations during the study period.

From a spatial perspective, externally-sourced dust events increased from the northwest to the southeast, while locally-sourced events showed a decreasing pattern along the same axis.

Trend analysis using the Mann–Kendall test revealed a decreasing trend in dust frequency at the Bam, Shahr-e Babak, Zarand, and Jiroft stations, while an increasing trend was observed in the remaining stations. The negative trends in Bam (−2.93) and Shahr-e Babak (−2.87) were statistically significant at the 99% confidence level, indicating persistent climatic trends. The reductions at Zarand and Jiroft, however, were attributed to short-term climatic fluctuations. Based on Sen's slope estimator, the annual decrease in dusty days was 3.2 days per year in Bam and 0.5 days per year in Shahr-e Babak.

Conversely, statistically significant positive trends were identified in Sirjan (2.98 at the 99% level) and Rafsanjan (2.42 at the 95% level), indicating persistent increases in dust events. The highest rate of increase occurred in Rafsanjan (0.71 days/year), while the lowest rate was observed in Shahdad (0.001 days/year).

Conclusion

This study investigated the climatology of dust storms in Kerman Province during the period 2000–2023. Data from 11 synoptic weather stations, along with relevant weather codes (06–09, 30–35, 98), visibility data, and wind speed, were analyzed. The Mann–Kendall test and Sen’s slope estimator were applied to examine temporal trends.

Key findings include:

- 63% of dust events were locally sourced, while 37% originated from external sources.
- The peak dust months were March (501 days, internal) and May (382 days, external).
- Spring (38%) and summer (29%) showed the highest seasonal dust activity.
- The highest hourly frequencies were observed at 12:30 and 15:30, primarily due to surface heating.
- Spatial analysis revealed a southeastward increase in external dust and a decline in internal dust in the same direction.
- Significant decreasing trends were found at Bam and Shahr-e Babak, while significant increasing trends were observed in Sirjan and Rafsanjan.

These findings emphasize the need for local resource management and regional and transboundary cooperation to mitigate the impacts of dust storms in Iran’s arid regions.

Keywords: Climatology, Dust Storms, Kerman, Mann-Kendall.



واکاوی اقلیم شناختی گرد و غبار در استان کرمان در دوره (۲۰۰۰-۲۰۲۳)

سعید جهانبخش اصل^۱؛ علی محمد خورشید دوست^۲، محمود خسروی^۳، سعیده زابلی^۴

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

۲. استاد آب و هواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: khoshid@tabrizu.ac.ir

۳. استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. رایانامه: khosravi@gp.usb.ac.ir

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

چکیده

اطلاعات مقاله

گرد و غبار جوی به عنوان یک پدیده اقلیمی با پیامدهای زیست محیطی و انسانی، به‌ویژه در مناطق خشک مانند ایران، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مطالعه با هدف تحلیل اقلیم‌شناسی طوفان‌های گردوغبار استان کرمان طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۳ انجام شد. داده‌های ۱۱ ایستگاه سینوپتیک با تمرکز بر کدهای هواشناسی مرتبط با گردوغبار (۰۶ تا ۰۹، ۳۰-۳۵، ۹۸) و پارامترهای دید افقی و سرعت باد مورد بررسی قرار گرفت. از آزمون‌های من-کندال و شیب سن نیز برای تحلیل روند تغییرات گردوغبار استفاده شد. نتایج نشان دادند که بیشترین فراوانی روزهای گردوغبار با منشأ داخلی (۶۳ درصد) و خارجی (۳۷ درصد) به ترتیب در ماه‌های مارس (۵۰۱ روز) و مه (۳۸۲ روز) رخ داده است. توزیع فصلی بیانگر تأثیرپذیری بیشتر استان در فصل‌های بهار (۳۸ درصد) و تابستان (۲۹ درصد) در رخدادهای گردوغبار دارد. الگوی ساعتی نیز حاکی از اوج رخدادها در ساعات ۱۵:۳۰ و ۱۲:۳۰ محلی (۲۴/۴ درصد و ۲۰/۸ درصد) به دلیل گرمایش سطحی است. پراکنش مکانی، افزایش روزهای با منشأ خارجی در جنوب شرق (۴۳ درصد) و کاهش در شمال غرب (۳۲ درصد) را نشان داد. تحلیل روند آماره من کندال، کاهش معنی دار در ایستگاه‌های بم و شهرابک در سطح اطمینان ۹۹ درصد افزایش در سیرجان و رفسنجان با سطح اطمینان ۹۵ درصد را آشکار ساخت. یافته‌ها بر ضرورت مدیریت منابع محلی و همکاری‌های فرامرزی برای کاهش اثرات این پدیده در مناطق خشک ایران تأکید دارد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:

اقلیم‌شناسی،

کرمان،

گردوغبار،

من-کندال.

استناد: جهانبخش اصل، سعید؛ خورشید دوست، علی محمد؛ خسروی، محمود و زابلی، سعیده (۱۴۰۴). واکاوی اقلیم شناختی گرد و غبار در استان کرمان در دوره

(۲۰۰۰-۲۰۲۳). جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۳۰ (۹۶)، ۲۰۲-۲۲۱.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.66982.3394>



مقدمه

گرد و غبار جوی یک پدیده هواشناسی است که اثرات و پیامدهای زیست محیطی نامطلوبی به همراه داشته و بر زندگی انسان‌ها و جوامع تأثیر منفی می‌گذارد. گرد و غبار جرم‌هایی از ذرات جامد کوچک است که در جو معلق بوده و ممکن است دید افقی را به ۱-۲ کیلومتر یا کمتر کاهش دهد (رید و نوگنت^۱، ۲۰۱۸). در واقع گرد و غبار یک پدیده طبیعی است که در اثر وزیدن بادهای شدید در نواحی خشک و نیمه‌خشک که منجر به معلق شدن ذرات ریز خاک در فضا می‌شود، به وجود می‌آید. این ذرات بسیار کوچک و سبک اغلب از جنس سیلت، رس، ماسه و شن هستند که به وسیله باد جابه‌جا و به مناطق مختلف منتقل می‌شوند. ارزیابی اثرات این ذرات معلق بر اقلیم و محیط زیست هنوز با عدم قطعیت‌های زیادی همراه است و نیاز به درک بهتر تغییرات زمانی و مکانی این اثرات احساس می‌شود (ژو و همکاران^۲، ۲۰۲۰). اندازه ذرات گرد و غبار می‌تواند از چند نانومتر تا ۱۰۰ میکرون متغیر باشد (راشکی و همکاران، ۲۰۱۲). این ذرات می‌توانند به بالای تروپوسفر صعود کرده و به صورت افقی برای مسافت‌های طولانی (۴۰۰۰ کیلومتر از منبع انتشار) منتقل شوند و به دلیل اندازه کوچک خود ممکن است برای چند هفته در جو باقی بمانند. بنابراین، اثرات گرد و غبار محدود به مکانی که طوفان‌ها ذرات را از سطح زمین به جو بلند می‌کنند نیست، بلکه اثرات آن می‌تواند تا چندین کیلومتر دور از منبع قابل ردیابی باشد که اهمیت جهانی این پدیده‌ها را نشان می‌دهد (کوک و همکاران^۳، ۲۰۱۲؛ زولجودی و همکاران، ۲۰۱۳). ایران با وجود دارا بودن اقلیم خشک و نیمه خشک و پوشش گیاهی پراکنده به ویژه در مناطق مرکز ایران و با وجود بیابان‌های لوت و کویر مستعد رخداد طوفان‌های گرد و غبار است. تالاب‌های جازموریان، گاوخونی و هامون در شرایط خشکسالی، تحت تأثیر بادهای منطقه‌ای قرار گرفته و به عنوان منابع اصلی گرد و غبار عمل می‌کنند (میدلتون^۴، ۲۰۱۹).

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های گسترده‌ای بر روی طوفان‌های گردوغبار انجام شده است. نتایج تحقیق خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که سامانه پرفشار آژور از طریق ایجاد کم فشارهای حرارتی در سطح زمین، بیشترین نقش را در پراکندگی فراوانی روزهای گرد و غباری در غرب کشور دارد. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳) به شناسایی و آشکار سازی طوفان فراگیر ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ ایران با استفاده از سنجنده مودیس پرداختند. نتایج ارزیابی تصاویر ماهواره‌ای حاکی از آن است که طوفان‌های گرد و غباری غرب ایران منشأ خارجی داشته و منابع عمده آن صحرای سوریه، عربستان، شمال آفریقا و بسترهای خشک دریاچه‌ای عراق هستند. محمدپور و همکاران (۱۴۰۲) به ارزیابی داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای در تحلیل گرد و غبارهای نیمه غربی ایران پرداختند. نتایج نشان دادند که تعداد روزهای گردوغباری از شمال به سمت جنوب افزایش یافته و هسته بیشینه رخداد پدیده گرد و غبار در بخش جنوبی منطقه، بر روی اهواز، امیدیه و بوشهر قرار دارد که منشأ آن مناطق بیابانی در عراق، سوریه و عربستان بوده و بیشینه گرد و غبار در استان‌های فارس و بوشهر قرار دارد. معدنچی و همکاران (۱۴۰۳) به ارزیابی داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای در آشکارسازی بررسی وضعیت رخداد پدیده گرد و غبار در استان کرمان در دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ پرداختند. نتایج نشان داد ایستگاه سیرجان بیشترین وقوع گرد و غبار با منشأ محلی و منطقه ای را دارد و کمترین وقوع مربوط به شهر بابک با ۲ روز گرد و غباری می‌باشد. جهانبخش اصل و همکاران (۱۴۰۳) توزیع زمانی و مکانی فصلی گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران را بر اساس داده‌های ایستگاهی و سنجش از دور بررسی کردند، پی بردند که تغییرات فصل گردوغبار منطقه دارای دو فاز حداکثری بهاره و تابستانه بوده و گردوغبار با ارتفاع و عرض جغرافیایی رابطه معکوس دارد نیز کانون های اصلی تولید و انتشار گرد و غبار چهار منطقه شامل سواحل مکران، بستر خشک شده دریاچه‌های هامون و جازموریان،

1. Reed and Nugent

2. Zhou et al.

3. Kok et al.

4. Middleton

دشت لوت و منطقه مرزی ایران، افغانستان و پاکستان هستند. حسینی و همکاران (۱۴۰۳) شرایط و منشأ شکل‌گیری رخدادهای گردوخاک در استان کردستان را با استفاده از روش‌های تحلیل ترکیبی آماری-همدیدی و ماهواره‌ای مورد بررسی قرار دادند. بر اساس واکاوی آماری فصول بهار با ۴۰٪ و تابستان با ۲۷٪ از بیشترین تعداد روزهای همراه با پدیده گردوخاک برخوردارند.

گائو و همکاران^۱ (۲۰۱۲) تأثیرات ناهنجارهای آب‌وهوا را روی طوفان‌های گردوغباری منطقه هانشداک در چین شمالی طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند که خشکی عاملی تأثیرگذار در فراوانی طوفان‌های گردوغباری هانشداک است. کمبود بارش محلی، دمای بالاتر و تبخیر شدید، شرایط سطحی منطقه را وخیم‌تر کرده و موجب افزایش چشمگیر طوفان‌های گردوغبار در طی دوره مذکور شده است. میانگین سرعت باد در مقایسه با اقلیم ۳۰ سال قبل، ۰/۳ متر بر ثانیه کاهش یافته است که نشان می‌دهد حتی با وجود بادهای نسبتاً ضعیف، گردوغبارها عمدتاً ناشی از انحطاط شرایط سطحی هانشداک رخ می‌دهند. اورولوسکی و همکاران^۲ (۲۰۱۳) با استفاده از اطلاعات ۱۴۴ ایستگاه قزاقستان و ۲۹ ایستگاه ازبکستان و ترکمنستان طی دوره ۱۹۳۶ تا ۱۹۷۲، طوفان‌های شدید گردوخاک در آسیای مرکزی را مطالعه کرده‌اند. آن‌ها طوفان‌های شدید را با شرایط طول زمانی ۱۲-۳ ساعت، سرعت باد ۱۴-۱۰ متر بر ثانیه و دیدی افقی ۵۰۰-۱۰۰۰ متر معرفی کرده‌اند. طوفان‌های بسیار شدید منطقه نیز دید افقی کمتر از ۵۰ متر را تجربه کرده‌اند. ساری‌صراف و همکاران (۲۰۱۵) روند سالانه طولانی مدت روزهای غباری در غرب ایران را با استفاده از داده‌های ۲۷ ایستگاه هواشناسی طی دوره ۱۹۵۱ تا ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دادند که میانگین تعداد روزهای همراه با گردوغبار در منطقه از ۲ تا ۱۰۶ روز متغیر است و فراوانی رخداد از جنوب به شمال و از غرب به شرق کاهش یافته است. بیشترین فراوانی رخداد روزهای غبار در سال ۲۰۰۹ در ایستگاه دزفول مشاهده شده است. همچنین نتایج تحلیل‌های آماری نشان دادند که در استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه، همدان و کردستان روند افزایشی معنی‌داری وجود دارد. بیشترین برآورد روزهای گردوغبار در استان‌های ایلام، کرمانشاه و همدان یافت شده است. بادنیهمر و همکاران^۳ (۲۰۱۹) ویژگی‌های ۵۳ طوفان گردوغبار شرق مدیترانه با تأکید بر مناطق منشأ طی دوره آماری ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ را مورد بررسی قرار دادند. تحلیل 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 به ویژه بیابان صحرا) بیش از مناطق منشأ شرقی (شبه جزیره عربستان) است. این در حالی است که ارتفاع لایه گردوغبار در مناطق شرقی نسبت به مناطق غربی بیشتر است. گردش سینوپتیکی غالب در طوفان‌های 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. خشک شدن تالاب‌های بیابانی مانند هامون به‌عنوان یک عامل حیاتی در تولید گرد و غبار با مدل‌های یادگیری ماشین شناسایی گردید (سلاجقه و نامدار، ۲۰۲۱). پژوهش راشکی و همکاران (۲۰۲۳) نشان داد که خشک شدن منابع آبی، مانند دریاچه هامون، به‌طور قابل‌توجهی فراوانی و شدت طوفان‌های گرد و غبار را افزایش می‌دهد، روند تغییرات بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۶ این رخداد را تأیید کرد. جریان‌های گرد و غبار بیابانی از ایران، مشاهده‌شده در ژانویه ۲۰۲۵، از بسترهای خشک دریاچه مانند هامون جازموریان و مناطق خشک مانند بیابان‌های لوت و سیستان سرچشمه گرفته‌اند، که با پراکندگی بر فراز دریای عمان نقش چشمگیر مناطق خشک ایران به‌عنوان منابع گرد و غبار را تأیید می‌کنند (رصدخانه زمین ناسا^۴، ۲۰۲۵)، که با بارش کم و نرخ تبخیر بالا تشدید می‌شود.

پژوهش‌هایی با تمرکز بر پراکنش فصلی نشان‌دهنده فراوانی بیشتر گرد و غبار در فصل‌های بهار و تابستان دارد. علیزاده چوباری و نجفی (۲۰۱۸) با استفاده از الگوریتم دیپ بلو منابع کلیدی گرد و غبار تأثیرگذار بر ایران را شناسایی کردند، که اغلب فراتر از مرزهای آن گسترش می‌یابد. به‌عنوان نمونه، مطالعه‌ای در مورد عمق نوری و فیزیکی گرد و غبار در خاورمیانه، با استفاده

1. Gao et al.
2. Orlovsky et al.
3. Bodenheimer et al.
4. NASA Earth Observatory

از AOD دیپ بلو MODIS-Terra در ۵۵۰ نانومتر، چهار منبع اصلی گرد و غبار را برجسته کرده است که عبارتند از منطقه میان‌رودان (عراق و شرق سوریه)، شبه‌جزیره عربی شمالی، بیابان الرب الخالی و منابع در عمان. گرد و غبار ثبت‌شده در فلات ایران، به‌ویژه در سایت IASBS، می‌تواند از حوضه دجله و فرات از طریق بادهای غربی در ارتفاعات بالاتر سرچشمه بگیرد. در پژوهشی دیگر، با تمرکز بر بازیابی آئروسول‌ها در طول کمپین میدانی UAE2، اطلاعات نزدیک به زمان واقعی از AOD و ضریب آنگستروم بر جنوب غرب آسیا، از جمله ایران، افغانستان و پاکستان، با استفاده از داده‌های MODIS و SeaWiFS ارائه داده است که به وجود ذرات گرد و غبار با آلودگی از فعالیت‌های صنعت نفت، در مناطق مانند خلیج فارس تأکید می‌کند. داده‌های الگوریتم دیپ بلو، پردازش‌شده از طریق MODIS، در نقشه‌برداری این الگوهای فصلی ضروری است، داده‌های جهت باد در دسترس در مدل ERA-interim فعالیت گرد و غبار را در ماه‌های خشک نشان می‌دهند (علیزاده چوباری و نجفی، ۲۰۱۸). در پژوهشی دیگر با نقش الگوریتم دیپ بلو در کمی‌سازی این ارتباط. مطالعه موردی در جنوب غرب ایران با استفاده از ماهواره MODIS و شاخص AOD، برای بررسی تأثیر رویدادهای خشکسالی در عراق بر طوفان‌های گرد و غبار در منطقه انجام شده است (قطبی و ستوده‌یان، ۲۰۱۹). مطالعه‌ای در مورد اقلیم‌شناسی روزهای گرد و غبار در فلات مرکزی ایران، از ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸، نشان داد که ۴۵٪ از روزهای گرد و غبار در غسل تابستان (ژوئن - اگوست) و ۳۴٪ در فصل بهار (مارس - مه) رخ می‌دهد، از سال ۲۰۰۸ نسبت به ۱۹۹۹-۲۰۰۰، ایستگاه‌های زابل، زاهدان و اراک میانگین بالایی از گرد و غبار را به‌ترتیب با ۱۲۶، ۷۴ و ۷۳ روز گرد و غبار در سال را نشان می‌دهند که حاکی از تغییرات منطقه‌ای است (سلاجقه و دانشکار آراسته، ۲۰۲۰).

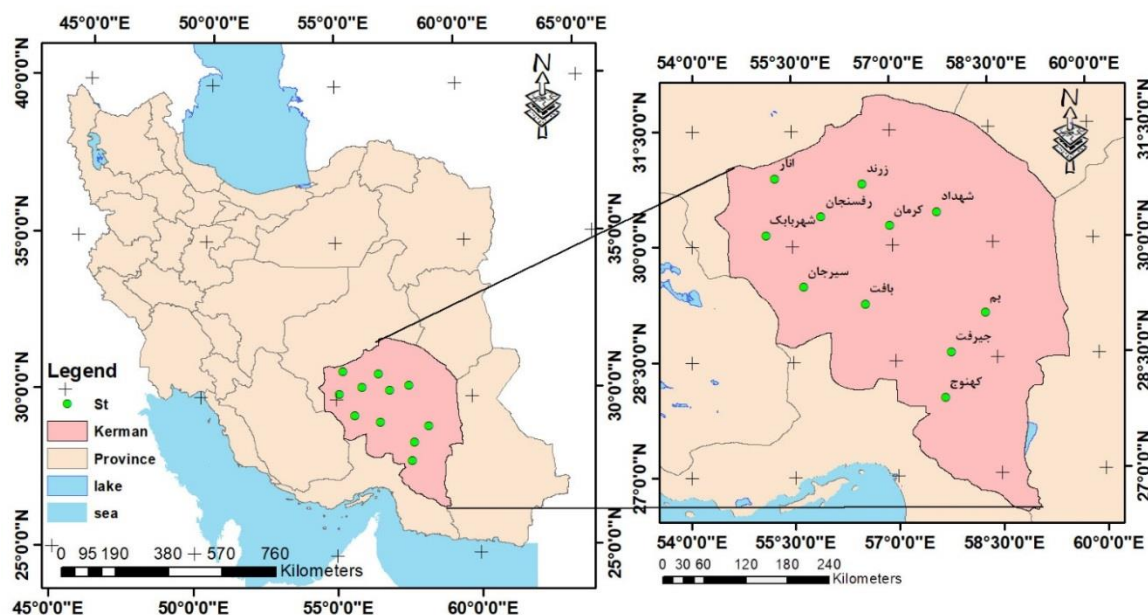
پژوهش‌های دیگری نقش گرد و غبار در راستای آلودگی و کیفیت هوا (گاردین^۱، ۲۰۱۵؛ فرج زاده و همکاران، ۲۰۱۹)، بررسی غلظت فلزات سنگین موجود در گرد و غبار (خورشید دوست و همکاران، ۱۴۰۳)، تغییر تراز تشعشعی جو، ابرسازی و تنظیم دما (زی و همکاران، ۲۰۱۰؛ لین و همکاران، ۲۰۱۲؛ ژو و همکاران، ۲۰۱۸) و همچنین تأثیر قابل توجهی بر چرخه‌های بیوشیمیایی جهانی، تشکیل خاک، ترکیب شیمیایی جو (جیکلس و همکاران، ۲۰۰۵؛ لی و همکاران، ۲۰۰۷؛ کاپل و همکاران، ۲۰۱۲) را مورد توجه قرار داده‌اند.

روش پژوهش

منطقه 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 و پهناورترین استان کشور محسوب می‌شود. این استان از شمال به استان‌های خراسان جنوبی و یزد، از جنوب به استان هرمزگان، از شرق به استان سیستان و بلوچستان و از غرب به استان فارس محدود شده است. استان کرمان سرزمینی مرتفع و کوهستانی است، گسترش آن در جهت عرض جغرافیایی و وجود اختلاف ارتفاعی شدید بین پست‌ترین و مرتفع‌ترین مناطق آن که به بیش از ۴۰۰۰ متر می‌رسد، موجب تنوع اقلیمی شدیدی گردیده است. استان کرمان تحت تأثیر بادهای مختلف منطقه‌ای و برون منطقه‌ای است. وزش باد در نقاط مختلف استان تقریباً دائمی بوده و در نواحی خشک استان، نقش مؤثری در فرسایش و نیز در ایجاد شرایط خاص برای ساکنین این استان دارد (یارمرادی، ۱۳۹۱؛ رستمی و حسینی، ۱۳۹۷). بررسی آماری طولانی‌مدت رخداد طوفان‌های گرد و خاک می‌تواند بر شناخت ویژگی‌های این پدیده بیفزاید. باتوجه به وضعیت پراکنش و طول دوره آماری بلندمدت، ۱۱ ایستگاه سینوپتیک با دوره آماری بلندمدت (۲۰۰۰-۲۰۲۳) انتخاب گردید. (شکل ۱)

1. The Guardian
2. Xie et al.
3. Lin et al.
4. Zhou et al.
5. Jickells et al.
6. Li et al.
7. Cappell et al.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در استان کرمان

بر اساس دستورالعمل کدبندی پدیده‌های هواشناسی توسط سازمان هواشناسی جهانی (WMO)، کدهای ۰۶ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸ برای بیان شرایط مختلف پدیده گردوغبار استفاده می‌گردد (جدول ۱).

جدول ۱. کدهای هواشناسی مرتبط با پدیده گردوغبار و شرایط احراز آنها

کد	علامت	شرایط احراز
۰۶	S	گرد و غبار فراگیر و گسترده معلق در هوا که به‌وسیله باد در ایستگاه یا نزدیکی آن بلند نشده است
۰۷	\$	گرد و خاکی که در ساعت دیدبانی در اثر وزش باد در ایستگاه و یا اطراف آن به هوا بلند شده باشد
۰۸	E	گردباد تکامل‌یافته که طی ساعت دیدبانی در ایستگاه و یا اطراف آن مشاهده شده است
۰۹	(S)	طوفان گردوخاک یا شن که در ساعت دیدبانی در اطراف ایستگاه وجود داشته یا در ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است
۳۰	S	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است
۳۱	S	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است
۳۲	S	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است
۳۳	S	طوفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است
۳۴	S	طوفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است
۳۵	S	طوفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است
۹۸	S	رعدوبرق توأم با طوفان گردوخاک یا شن

علاوه بر کدهای هواشناسی، دید افقی و سرعت باد نیز همواره در تعاریف مختلف به عنوان عاملی جهت تعیین شدت رخداد گردوغبار در نظر گرفته می‌شود. بر اساس توافق سازمان هواشناسی جهانی، هرگاه در ایستگاهی سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه تجاوز کند و دید افقی به کمتر از یک کیلومتر برسد، طوفان گردوغبار گزارش می‌شود. اما این تعریف در همه‌جا کارایی مناسبی ندارد، در مناطق خشک و مستعد طوفان‌های گردوغبار، سرعت‌های پایین‌تر از ۱۵ متر بر ثانیه نیز منجر به بارگیری حجم زیادی از گردوغبار می‌شوند، به‌طوری که دید افقی را به کمتر از یک کیلومتر می‌رساند. زمانی که سرعت باد در بیابان با توجه به عناصر سطوح از ۸ متر بر ثانیه بیشتر شود، گردوغبار تولید می‌شود. در مطالعه‌ای دیگر در مناطق خشک ایران، سرعت بادهای طوفان‌زا

۶ متر بر ثانیه تعیین شده است (ارجمند، ۱۳۹۵). در پژوهشی برای استان یزد سرعت آستانه فرسایش بادی ثابت و ۶ متر بر ثانیه انتخاب شده است (صارمی-نائینی، ۱۳۹۵).

از طرفی ممکن است سرعت باد در طول طوفان‌های گردوغبار کاهش یابد اما همچنان تراکم ذرات معلق در جو بالا باشد. بنابراین در این پژوهش سرعت باد در نظر گرفته نشد. در این پژوهش، منظور از رخداد گردوغبار، رخدادهایی است که با کد پدیده گردوغباری (جدول ۱)، صرف‌نظر از شدت و نوع آن تفکیک شده‌اند و طوفان‌های گردوخاک در واقع رخدادی هستند با کد پدیده گردوغباری مذکور که منشأ محلی دارند. طوفان‌های گردوغبار، رخدادهایی است که منشأ خارجی دارند و معمولاً با کد هوای (۰۶) گزارش می‌شوند.

با توجه به هدف اصلی این پژوهش که رسیدن به اقلیم شناسی طوفان‌های گردوخاک و گردوغبار استان کرمان است در مراحل بعدی تحقیق کدهای ۰۶ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸ مبنای تعیین رخداد گردوغبار قرار گرفتند.

تحلیل توصیفی و آماری فراوانی روزهای همراه با گردوغبار

در تحلیل توصیفی و آماری طوفان‌های گردوغبار، پارامترهای میانگین فراوانی روزهای همراه با گردوغبار، توزیع فصلی و ماهانه، نوسانات سال به سال و فصلی میانگین روزهای همراه با گردوغبار، درصد فراوانی رخدادهای گردوغبار در ساعات مختلف شبانه-روز، درصد فراوانی کدهای گردوغبار طی فصول مختلف سال، درصد فراوانی دید افقی برای کل منطقه، روند تغییرات آن‌ها و همچنین آهنگ تغییرات فراوانی این پدیده به عنوان فاکتورهای اقلیمی و آماری مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه آماره‌های توصیفی با جمع‌آوری داده‌های مربوط به فراوانی ماهانه روزهای همراه با گردوغبار در ایستگاه‌های هواشناسی و وارد کردن آن‌ها به محیط نرم‌افزارهای آماری؛ پایگاه داده‌های اولیه تهیه گردید. از روی داده‌های جمع‌آوری شده فراوانی‌های فصلی و سالانه استخراج شد. سپس با اجرای فرمان مربوط به محاسبه میانگین حسابی در محیط نرم‌افزارهای آماری، میانگین فراوانی روزهای همراه با گردوغبار برای منطقه مورد مطالعه محاسبه و نتایج به صورت نمودارهای توصیفی ارائه شد. برای محاسبه فراوانی رخدادهای گردوغبار در ساعات مختلف شبانه‌روز، مجموع تعداد ساعات مربوط به هر پدیده گردوغبار در نرم‌افزارهای مربوطه ثبت و سپس درصد هر یک محاسبه گردید. در ادامه درصد فراوانی کد پدیده به صورت سالانه، ایستگاهی و فصلی تهیه شد. برای محاسبه کد پدیده، مجموع کدهای مربوط به هر یک از رخدادهای گردوغبار ثبت و درصد آن‌ها محاسبه شد. برای ترسیم نقشه-های پراکندگی نیز از داده‌های میانگین فراوانی روزهای همراه با گردوغبار ایستگاه‌های هواشناسی در محیط ArcMap استفاده شد.

نحوه استخراج طوفان‌های گردوغبار

با توجه به نحوه ثبت و پایگانی داده‌های هواشناسی، برای شناسایی طوفان‌ها و روزهای همراه با گردوغبار، لزوماً باید از داده‌های ساعتی استفاده شود. محققین از روش‌های مختلفی برای شناسایی طوفان‌های گردوغبار استفاده کرده‌اند (خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱؛ محمدی، ۱۳۹۴؛ نامداری و همکاران، ۲۰۱۶؛ ارجمند، ۱۳۹۵). معیار انتخاب طوفان‌های گردوغبار 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 طوفان در تصاویر ماهواره‌ای لحاظ گردید. با این رویکرد با بررسی داده‌های ساعتی ایستگاه‌های هواشناسی طوفان گردوخاک و (گردوغبار)، شناسایی و تاریخ رخداد آن‌ها استخراج شد.

روش‌های آماری ناپارامتریک من‌کندال و تخمین گر شیب سن

چنانچه سری زمانی داده‌های هواشناسی به طور یکنواخت سیر صعودی و یا نزولی معنی‌دار داشته باشند، نشان‌دهنده وجود روند در داده‌های مذکور است. هرگونه تغییرات طبیعی و یا غیرطبیعی، منجر به تغییر در روند داده‌ها می‌شود. برای آنکه وجود یا عدم وجود روند در داده‌ها مشخص شود، می‌توان از یکسری آزمون‌ها استفاده کرد. آزمون من‌کندال یکی از آزمون‌هایی است که به

فراوانی در اقلیم‌شناسی، برای تعیین روند داده‌ها استفاده می‌شود. به عبارتی، معنادار بودن وجود روند داده‌ها را مشخص می‌کند (ارجمند، ۱۳۹۵). در این پژوهش سعی شد روند تغییرات فراوانی روزهای همراه با گردوغبار در استان کرمان در طی دوره آماری منتخب بر اساس روش‌های آماری ناپارامتریک من‌کندال و تخمین گر شیب سن توصیف شود. روش من‌کندال توسط سازمان جهانی هواشناسی برای بررسی روند سری زمانی داده‌های محیطی پیشنهاد شده است (یو و همکاران، ۲۰۰۲). نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهند که از این روش به‌طور گسترده برای تشخیص روند آزمون‌های ناپارامتریک استفاده می‌شود (گوها تا کورتا و همکاران، ۲۰۱۰). از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند اشاره نمود. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شوند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (هیرچ و همکاران، ۱۹۸۲). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل محاسبه آماره این آزمون به شرح زیر است:

(الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع sign و استخراج پارامتر S با استفاده از معادله (۱):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(X_i - X_j) \quad (1)$$

در رابطه فوق n تعداد مشاهدات سری، X_i و X_j به ترتیب داده‌های i ام و j ام سری می‌باشند. تابع $\text{sign}(X_i - X_j)$ نیز به شرح زیر قابل محاسبه است.

$$\text{sign}(X_i - X_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (X_i - X_j) > 0 \\ 0 & \text{if } (X_i - X_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (X_i - X_j) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

(ب) چون همه ایستگاه‌ها دارای بیش از ۲۰ سال آمار هستند از معادله زیر برای محاسبه واریانس استفاده شده است:

$$V(S) = 1/18 \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5) \right] \quad (3)$$

در رابطه فوق n طول سری زمانی، tp بیانگر فراوانی داده‌هایی با ارزش یکسان و q تعداد سری‌هایی که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و S همان تابع sgn است که محاسبه شد.

(ج) استخراج مقدار آماره من‌کندال (Z) یا روند آماری معنی‌داری به کمک معادله (۴):

$$Z = \begin{cases} x = \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0, \\ 0 & \text{if } S = 0, \\ \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0, \end{cases} \quad (4)$$

در یک آزمون دو دامنه جهت روند یابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|Z| \leq Z_{\alpha/2} \quad (5)$$

در رابطه فوق α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و $Z\alpha$ آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی‌دار α است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از $\alpha/2$ استفاده شده است. در این آزمون سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی خواهد بود (کاناروزو^۱ و همکاران، ۲۰۰۶؛ جوراج^۲ و همکاران، ۲۰۰۹؛ توپالوگلو^۳، ۲۰۰۶). سپس برای تعیین آهنگ تغییرات در مقیاس دهه از میانه^۴ محاسبه شده توسط آماره شیب سن استفاده گردید. این آزمون جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی، می‌تواند یکی از روش‌های مناسب در این زمینه باشد. در این روش همانند روش من‌کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات یکی سری زمانی استوار است. اساس این روش بر محاسبه یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت کردن در مورد معنی‌داری شیب به دست آمده در سطوح اعتماد مختلف استوار است. این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی، یک روند خطی باشد (جوراج و همکاران، ۲۰۰۹). مراحل کلی انجام این روش به شرح زیر است:

(الف) جهت محاسبه شیب خط روند (Q)، ابتدا بایستی شیب بین هر جفت داده‌ای مشاهده‌ای با استفاده از رابطه زیر به دست آید:

$$Q = \frac{X_t - X_s}{t - s} \quad (6)$$

که در آن Q شیب بین هر دو جفت داده در بازه زمانی t تا s، X_t و X_s به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های t و s که یک واحد زمانی بعد از زمان s است. با اعمال رابطه (۶) برای هر جفت داده مشاهده‌ای، یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه‌شده حاصل می‌شود که از محاسبه میانه این سری زمانی شیب‌خط روند (Qmed) به دست می‌آید. مقدار مثبت Qmed حاکی از روند صعودی و مقدار منفی آن دال بر نزولی بودن روند است.

(ب) مرحله بعد آزمون نمودن شیب به دست آمده در فاصله اطمینان‌های ۹۵٪ و ۹۹٪ است. جهت انجام این آزمون از رابطه (۷) استفاده شد:

$$Ca = Z1 - \partial/2\sqrt{\text{Var}(s)} \quad (7)$$

که در آن Ca آماره آزمون نمودن شیب، Z آماره توزیع نرمال استاندارد و $\text{var}(s)$ همان واریانس محاسبه‌شده در قسمت آزمون من‌کندال است. این آماره برای سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ به ترتیب برابر ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته می‌شود.

(ج) محاسبه حدود اعتماد پایین و بالا ($M1$ و $M2$) از طریق رابطه (۸):

$$\begin{cases} M_1 = \frac{N - Ca}{2} \\ M_2 = \frac{N + Ca}{2} \end{cases} \quad (8)$$

که N تعداد کل شیب‌های به‌دست‌آمده و Ca آماره آزمون نمودن شیب است.

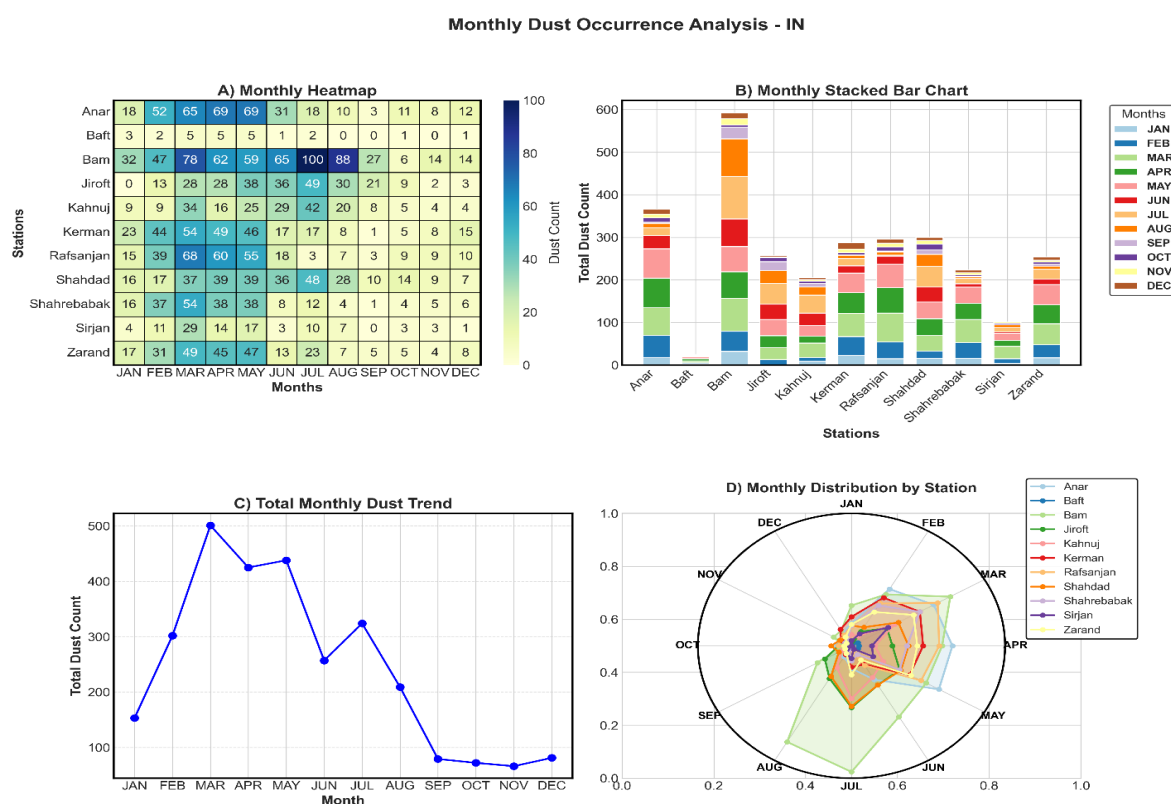
(د) مرحله نهایی این روش، آزمون کردن حدود اطمینان محاسبه شده است. به این ترتیب که از بین شیب‌های محاسبه شده توسط رابطه (۶)، $M1$ امین و $M2+1$ امین شیب‌ها استخراج می‌شوند. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده قرار بگیرد فرض صفر پذیرفته می‌شود و بر سری زمانی مورد آزمون نمی‌توان هیچ‌گونه روندی را در سطح اعتماد به کار گرفته شده نسبت داد. در غیر این صورت فرض صفر رد شده و می‌توان پذیرفت که سری زمانی دارای روند معنی‌داری در سطح

اعتماد مورد آزمون است (کاناروزو و همکاران^۱، ۲۰۰۶؛ جوراج و همکاران^۲، ۲۰۰۹). از زبان برنامه نویسی MATLAB نسبت برای محاسبه آزمون‌های روند مورد بررسی استفاده شد.

نتایج

بررسی توزیع ماهانه، فصلی و سالانه روزهای همراه با گردوغبار

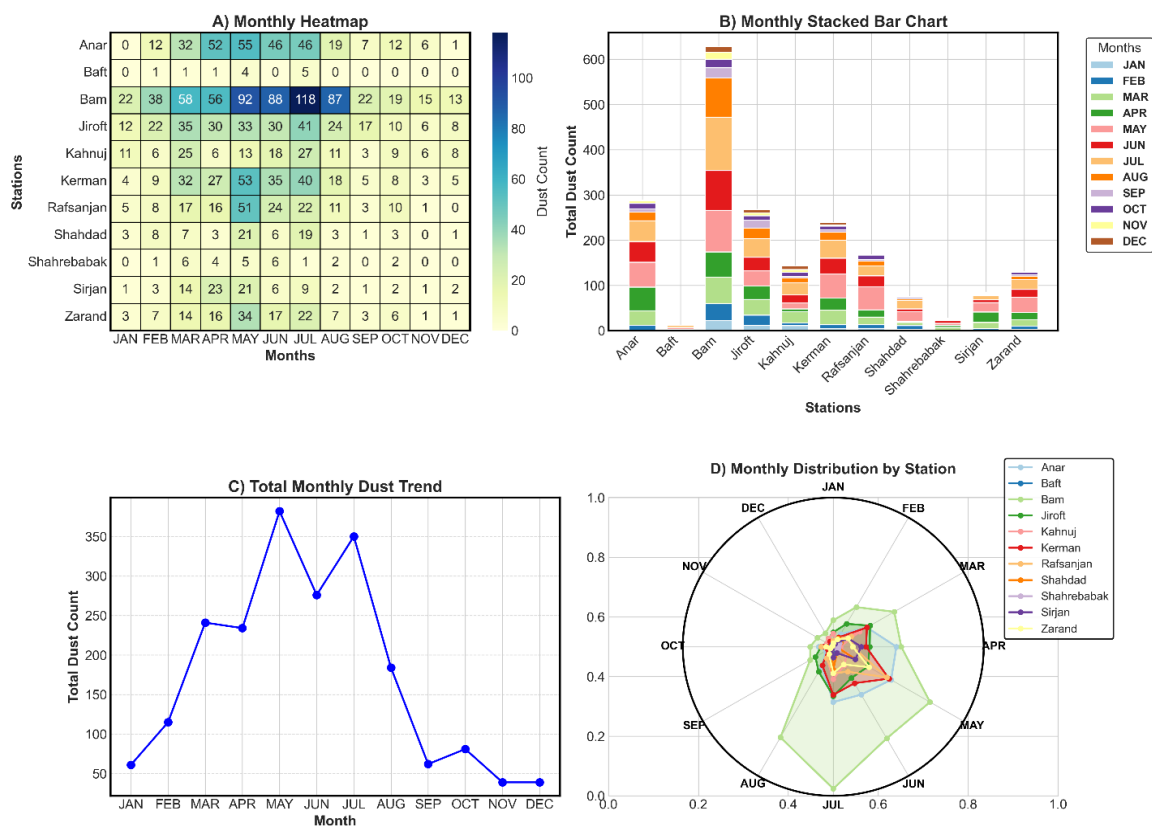
بررسی مجموع فراوانی ماهانه روزهای همراه با گردوغبارهای با منشاء داخلی یا نزدیک ایستگاه (کدهای ۰۷ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸) در طول دوره آماری مورد بررسی (۲۰۰۰-۲۰۲۳) نشان داد که ماه‌های مارس و می به ترتیب با مجموع فراوانی برابر با ۵۰۱ و ۴۳۸ روز بیشترین و ماه نوامبر با ۶۶ روز کمترین فراوانی روزهای همراه با گردوغبار با منشاء داخلی را در طول دوره آماری مورد بررسی دارا هستند (شکل ۲).



شکل ۲. فراوانی ماهانه روزهای همراه با گردوغبار با منشاء داخلی (منبع: یافته‌های تحقیق)

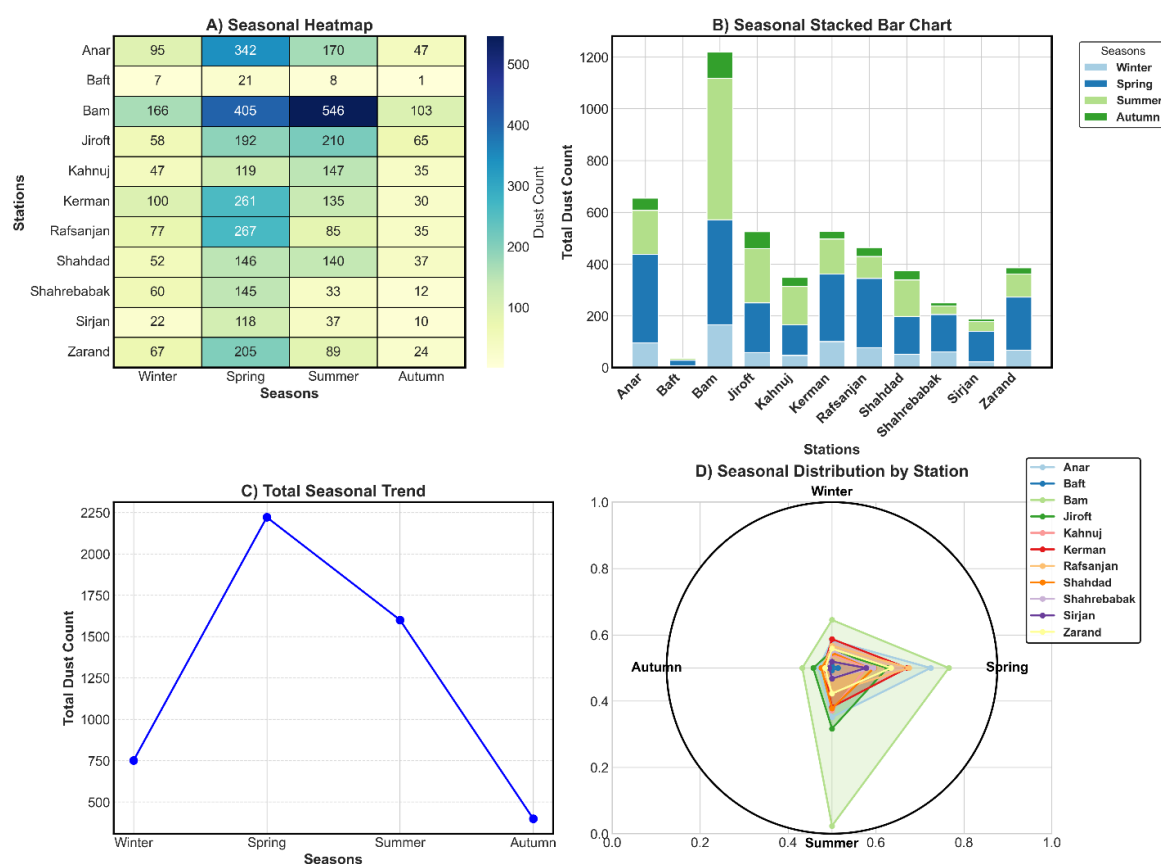
نتایج حاصل از مجموع فراوانی ماهانه روزهای همراه با گردوغبارهای با منشاء خارج از ایستگاه (کد ۰۶) در طول دوره آماری مورد بررسی (۲۰۰۰-۲۰۲۳) نشان می‌دهند که بیشترین فراوانی ماهانه گردوغبار با منشاء خارج از ایستگاه مربوط به ماه می با ۳۸۲ روز و سپس ژوئیه با ۳۵۰ روز و کمترین فراوانی نیز مربوط به ماه‌های نوامبر و اکتبر با ۳۹ روز است (شکل ۳). بررسی مجموع فراوانی ماهانه روزهای همراه با گردوغبار با منشاء داخلی و خارجی در استان کرمان در طول دوره مورد بررسی نیز نشان دادند که در مجموع ماه می (اردیبهشت) با ۸۲۰ روز بیشترین و ماه نوامبر (آبان) با ۱۰۵ روز کمترین فراوانی گردوغبار را دوره (۲۰۰۰-۲۰۲۳) دارند. بر اساس نتایج هیچ‌کدام از ماه‌های سال در سطح استان کرمان عاری از پدیده گردوغبار نیستند.

Monthly Dust Occurrence Analysis - OUT



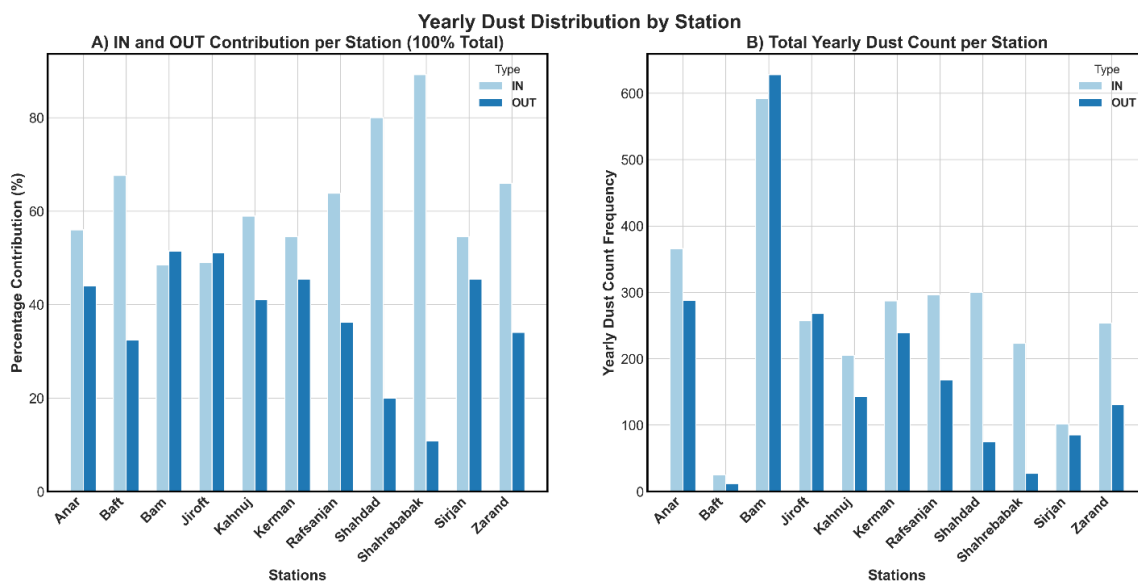
شکل ۳. فراوانی ماهانه روزهای همراه با گردوغبار با منشاء فرا منطقه‌ای (منبع: یافته‌های تحقیق)

توزیع فصلی پدیده گردوغبار نشان داد که در فصل بهار با ۳۸ درصد و سپس فصل زمستان با ۳۳ درصد بیشترین فراوانی گردوخاک با منشاء داخلی را به خود اختصاص داده و کمترین فراوانی مربوط به فصل پاییز با ۸ درصد از ایام سال است. بیشترین فراوانی روزهای همراه با گردوغبار یا منشاء خارجی در فصل‌های بهار و تابستان به ترتیب با ۴۳ و ۲۹ درصد است. فصل پاییز نیز با ۸ درصد، کمترین فراوانی فصلی روزهای همراه با گردوغبار با منشاء خارجی را دارد. بر اساس نتایج حاصل فصول بهار و پاییز به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی رخداد گردوغبار را هم با منشاء داخلی و هم با منشاء خارجی دارند (شکل ۴).



شکل ۴. مجموع فراوانی فصلی روزهای همراه با گردوغبار با منشأ داخلی و فرا منطقه‌ای (منبع: یافته‌های تحقیق)

در نهایت سهم کل منابع داخلی و خارجی در تولید گردوغبارهای سالانه هر منطقه مشخص و نتایج در شکل (۵) ارائه گردید. بر اساس نتایج، در ایستگاه‌های بم و جیرفت رخدادهای با منشأ خارجی و در سایر ایستگاه‌ها رخدادهای با منشأ داخلی سهم بیشتری در تولید گردوغبار استان دارند. بیشترین سهم رخدادهای با منشأ داخلی در تولید گردوغبار سالانه مربوط به ایستگاه شهراباک با نسبت ۸۹ به ۱۱ درصد و سپس ایستگاه شهداد به نسبت ۸۰ به ۲۰ درصد است. در مجموع به طور متوسط در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳ سهم رخدادهای با منشأ خارجی در استان کرمان ۳۷ درصد و سهم رخدادهای با منشأ داخلی ۶۳ درصد بوده است.

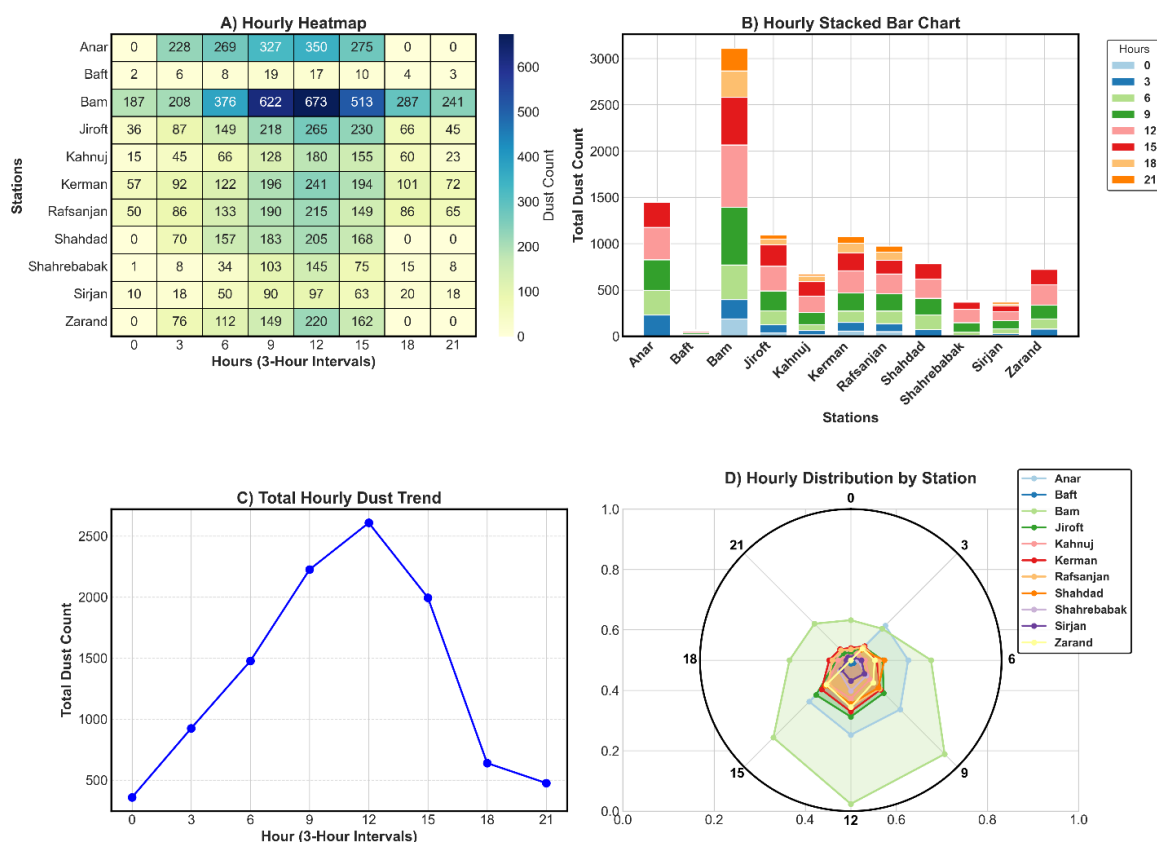


شکل ۵. مجموع و درصد فراوانی سالانه روزهای همراه با گردوغبار با منشأ داخلی و فرا منطقه‌ای (درصد (A)، مجموع (B))
(منبع: یافته‌های تحقیق)

بررسی ساعات رخداد پدیده گردوغبار

بررسی فراوانی رخداد گردوغبار در ساعات مختلف سینوپ (سه ساعته) در استان کرمان نشان داد که از ساعت ۰۶ به وقت گرینویچ (۹:۳۰ به وقت محلی) بر فراوانی رخداد گردوغبار افزوده شده و در ساعت ۱۲ گرینویچ (۱۵:۳۰ به وقت محلی) به بیشترین میزان رسیده است. اما از ساعت ۱۸ تا ساعت ۰۳ به وقت گرینویچ، رخدادهای گردوغباری از فراوانی کمتری برخوردار بوده‌اند. بر این اساس در منطقه مورد مطالعه بیشترین رخدادهای ساعتی گردوغبار با فراوانی ۲۴/۴ درصد در ساعات ۱۲ (۱۵:۳۰ به وقت محلی) و ۰۹ (۱۲:۳۰ به وقت محلی) با فراوانی ۲۰/۸ درصد و کمترین رخداد با فراوانی ۳/۳ درصد در ساعت ۰۰ (۳:۳۰ به وقت محلی) به وقوع پیوسته است (شکل ۶). افزایش فراوانی گردوغبارها در ساعات بعدازظهر، به احتمال زیاد به علت گرمایش سطحی زمین و افزایش جابجایی‌های عمودی ناشی از جریان‌های همرفتی است که موجب افزایش اختلاف فشار و ایجاد جریان باد می‌شود ولی از هنگام غروب آفتاب با کاهش دمای لایه مرزی جو به تبعیت از آن، عمل انتقال عمودی هوا نیز کاهش یافته و در نتیجه سرعت باد نیز کم می‌شود. تداوم این وضعیت تا حوالی صبح (نزدیک طلوع خورشید) باعث به حداقل رسیدن سرعت باد و کاهش رخداد گردوغبار در این ساعات می‌شود (رئیس‌پور، ۱۳۹۳).

Hourly Dust Occurrence Analysis - synop



شکل ۶. مجموع فراوانی ساعتی روزهای همراه با گردوغبار با منشأ داخلی و فرا منطقه‌ای (منبع: یافته‌های تحقیق)

بررسی فراوانی رخداد گردوغبار بر اساس کدهای پدیده گردوغبار

بررسی فراوانی کدهای هواشناسی مربوط به پدیده گردوغبار در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی با ۵۶/۷ درصد مربوط به کدهای ۰۷ تا ۰۹ است که معرف شن و خاک بلند شده به هوا در محل ایستگاه و یا نزدیک آن است. پس از آن بیشترین فراوانی با ۴۱/۵ درصد مربوط به کد ۰۶ یا گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه است. کدهای ۳۰ تا ۳۵ که مربوط به طوفان‌های شن و گردوغبار ملایم تا شدید در محل هستند نیز ۱/۵ درصد از رویدادهای گردوغبار در منطقه را به خود اختصاص می‌دهند. کمترین فراوانی گردوغبار نیز با ۰/۲ درصد مربوط به کد ۹۸ که مربوط به طوفان تندی همراه با شن و گردوغبار است که در برخی ایستگاه‌ها در طول دوره مورد بررسی گاهی فقط یکبار این کد ثبت شده است (جدول ۲).

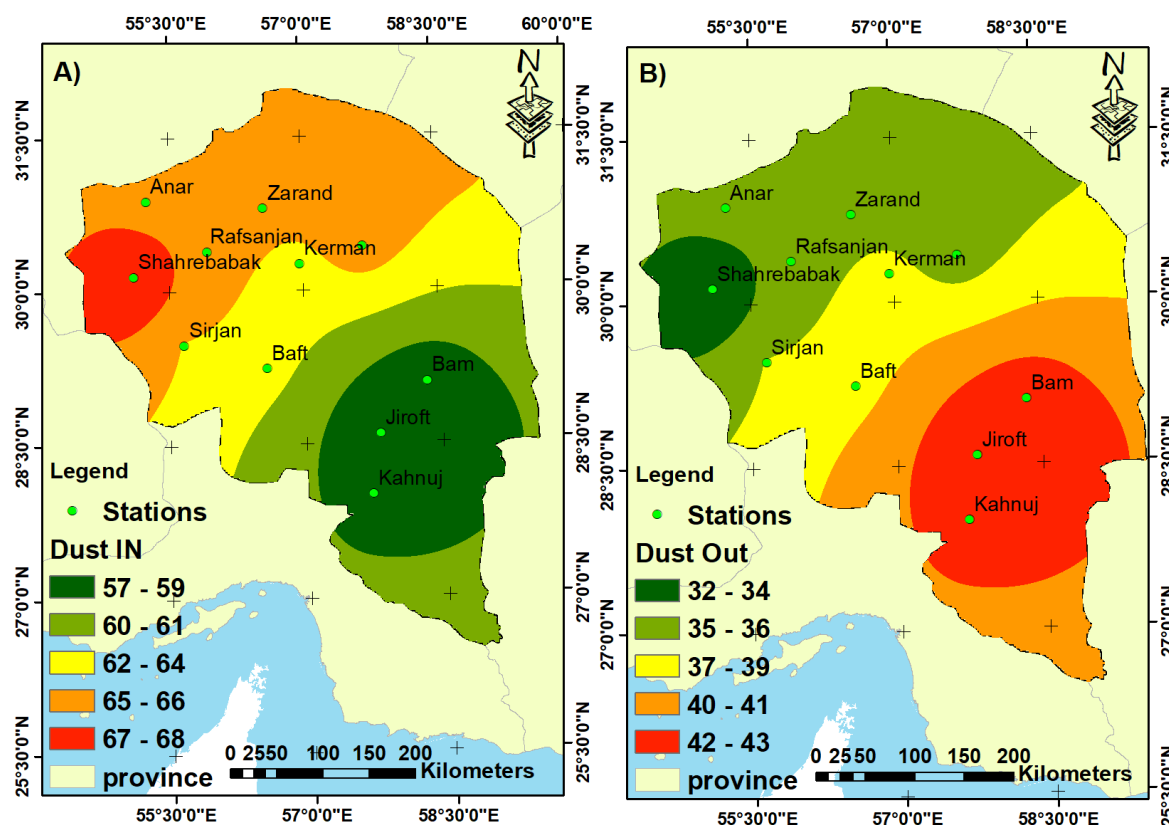
جدول ۲. فراوانی رخداد گردوغبار بر اساس کدهای پدیده گردوغبار

کد	۶	۷-۹	۳۰-۳۵	۹۸	مجموع
فراوانی	۲۰۶۴	۲۸۲۰	۷۵	۱۲	۴۹۷۱
درصد	۴۱/۵	۵۶/۷	۱/۵	۰/۲	۱۰۰

پراکنش مکانی روزهای همراه با گردوغبار در منطقه مورد مطالعه

نتایج حاصل از پراکنش مکانی روزهای همراه گردوغبار به تفکیک گردوغبارهای با منشأ داخل و خارج از ایستگاه بر حسب درصد در منطقه مورد مطالعه نشان دادند که بیشترین فراوانی روزهای همراه با گردوغبار با منشأ خارجی با ۴۰ تا ۴۳ درصد

مربوط به نواحی جنوب شرقی استان و کمترین آن مربوط به نواحی شمال غربی استان با ۳۲ درصد است. بطور کلی فراوانی روزهای همراه با گردوغبار با منشاء خارجی، از شمال به جنوب و از غرب به شرق استان افزایش می‌یابد. عکس این حالت برای گردوغبارهای با منشاء داخلی صادق است. به طوری که بیشترین فراوانی در مناطق شمال غربی مشاهده می‌شود و با حرکت به سمت جنوب و جنوب شرق منطقه از فراوانی آن‌ها کاسته می‌شود. بر این اساس کمترین فراوانی در مناطق جنوب شرقی گزارش می‌شود (شکل ۷).



شکل ۷. پراکنش مکانی میانگین سالانه فراوانی روزهای همراه با گردوغبار (منشاء داخلی (A)، منشاء خارجی (B))
(منبع: یافته‌های تحقیق)

بررسی روند روزهای همراه با گردوغبار در منطقه مورد مطالعه

نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات فراوانی گردوغبار به صورت سالانه در دوره مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۲۳) نشان داد که تغییرات در ایستگاه‌های بم، شهرابک، زرنند و جیرفت کاهشی و در سایر ایستگاه‌ها افزایشی است. این تغییرات کاهشی در ایستگاه‌های بم و شهرابک به ترتیب طبق آماره من کندال برابر با $-۲/۹۳$ و $-۲/۸۷$ در سطح $۰/۰۱$ معنی‌دار هستند و تغییرات مذکور از نوع روند در منطقه مورد مطالعه است و در دو ایستگاه دیگر تغییرات کاهشی از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی در منطقه است. شدت تغییرات نیز بر اساس تخمینگر شیب سن در ایستگاه‌های بم و شهرابک به ترتیب برابر با $-۳/۲$ و $-۰/۵$ روز در سال است. تغییرات افزایشی نیز در ایستگاه‌های سیرجان با آماره من کندال برابر با $۲/۹۸$ در سطح $۰/۰۱$ و در ایستگاه رفسنجان با آماره $۲/۴۲$ در سطح $۰/۰۵$ معنی‌دار است. بر این اساس تغییرات افزایشی در ایستگاه‌های مذکور از نوع روند و تغییرات در سایر ایستگاه‌ها از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی در منطقه است. بیشترین و کمترین شدت تغییرات افزایشی نیز به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های رفسنجان و شهداد با شیب سن برابر با $۰/۷۱$ و $۰/۰۰۱$ روز در سال در طول دوره مورد مطالعه است (جدول ۳).

جدول ۳. روند تغییرات روزهای همراه با گردوغبار به صورت سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ردیف	ایستگاه	آماره من کنдал	شیب سن	نوع تغییرات
۱	انار	۱/۴۹	۰/۶۹۶	افزایشی
۲	بافت	۱/۹۳	۰/۰۶۳	افزایشی
۳	بم	-۲/۹۳	-۳/۲۰۷	کاهشی
۴	کهنوج	۰/۲۰	۰/۰۳۱	افزایشی
۵	کرمان	۰/۳۰	۰/۰۸۶	افزایشی
۶	شهداد	۰/۰	۰/۰۰۱	افزایشی
۷	شهربابک	-۲/۸۷	-۰/۵۰۰	کاهشی
۸	سیرجان	۲/۹۸	۰/۴۴۸	افزایشی
۹	زرنند	-۰/۸۷	-۰/۲۷۰	کاهشی
۱۰	رفسنجان	۲/۴۲	۰/۷۱۴	افزایشی
۱۱	جیرفت	-۱/۴۲	-۰/۵۹۴	کاهشی

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان دادند که پدیده گردوغبار در استان کرمان در تمامی ماه‌های سال با بیشترین فراوانی در ماه مه (اردیبهشت) و کمترین در ماه نوامبر (آبان) رخ می‌دهد. توزیع فصلی گردوغبار نشان داد که فصل بهار با ۳۸ درصد بیشترین و فصل پاییز با ۸ درصد کمترین میزان رخداد گردوغبار را دارد. بررسی منابع گردوغبار بر اساس کدهای همدیدی نشان داد که در ایستگاه‌های بم و جیرفت منشأ خارجی و در سایر ایستگاه‌ها منشأ داخلی غالب است، به‌گونه‌ای که به‌طور متوسط ۶۳ درصد از گردوغبارهای استان کرمان منشأ داخلی و ۳۷ درصد منشأ خارجی دارند. بیشترین سهم رویدادهای داخلی نیز در ایستگاه‌های شهربابک (۸۹ درصد) و شهداد (۸۰ درصد) مشاهده شد. همچنین بیشترین رخداد گردوغبار در ساعات ۱۲ و ۹ (به‌وقت محلی) به دلیل افزایش گرمایش سطحی و جابجایی‌های عمودی ناشی از جریان‌های همرفتی رخ می‌دهد، درحالی‌که کمترین فراوانی متعلق به ساعات اولیه شب است. از نظر پراکنش مکانی، گردوغبارهای با منشأ خارجی از شمال به جنوب و از غرب به شرق استان افزایش می‌یابد، درحالی‌که گردوغبارهای با منشأ داخلی در شمال غربی استان بیشترین و در جنوب شرقی کمترین فراوانی را دارند. بررسی روند تغییرات فراوانی گردوغبار نیز نشان داد که تغییرات در ایستگاه‌های بم، شهربابک، زرنند و جیرفت کاهشی و در سایر ایستگاه‌ها افزایشی است. تغییرات کاهشی در ایستگاه‌های بم و شهربابک و تغییرات افزایشی نیز در ایستگاه‌های سیرجان و رفسنجان معنی‌دار و از نوع روند است و تغییرات کاهشی و افزایشی در سایر ایستگاه‌ها از نوع نوسانات کوتاه مدت آب و هوایی در منطقه است. این یافته‌ها با پژوهش‌های حسینی و رستمی (۱۳۹۷)، یارمرادی (۱۳۹۸) و رنجبر فردویی و ابراهیمی خوسفی (۱۴۰۳) در خصوص تغییرات مکانی و زمانی گردوغبارهای داخلی و خارجی در جنوب و جنوب شرق کشور مطابقت دارد.

منابع

- ارجمند، مریم (۱۳۹۵). بررسی رفتار طیفی، سینوپتیکی و دینامیکی طوفان‌های گردوغبار در منطقه جازموریان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد.
- جهانبخش، سعید؛ رضایی بنفشه، مجید؛ خورشیددوست، علی محمد و فرهنگ، هاجر (۱۴۰۳). توزیع زمانی-مکانی فصلی گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران بر اساس داده‌های ایستگاهی و سنجش ازدور. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸(۸۷)، ۱-۲۰، <https://doi.org/10.22034/gp.2024.17732>
- جهانبخش، سعید؛ ولی‌زاده کامران، خلیل؛ خسروی، محمود؛ زینالی، بتول و اصغری، صیاد (۱۳۹۳). شناسایی و آشکار سازی طوفان فراگیر ۱ ژوئیه ۲۰۰۸ ایران با استفاده از سنجنده مودیس. *فضای جغرافیایی*، ۱۴ (۴۶ و ۴۷)، ۳۱-۵۱.

حسینی، سید اسعد و رستمی، دانا (۱۳۹۷). واکاوی و ردیابی پدیده گردوغبار در جنوب و جنوب شرق ایران با استفاده از مدل HYSPLIT و اصول سنجش از دور، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱۹(۵)، ۱۰۳-۱۱۹.

حسینی، سید اسعد؛ رهنما، مهدی؛ باقری، حمید؛ پناهی، علی؛ چاره‌خواه، بهرام؛ قمری، خهبات؛ خدام، نوشین؛ نوری، فائزه و صحت کاشانی، ساويز (۱۴۰۴). واکاوی همدیدی و ماهواره‌ای گردوخاک در استان کردستان، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۴(۲)، ۴۵-۶۷. [Doi: 10.22067/geoeoh.2025.85624.1434](https://doi.org/10.22067/geoeoh.2025.85624.1434)

خورشیددوست، علی‌محمد؛ طحانی یزدلی، مصطفی؛ خرم آبادی، فرحناز؛ صمدی، اعظم؛ انصاری ملکی، فریده و محمدحسین پورقربان (۱۴۰۳). بررسی وضعیت غلظت فلزات سنگین در هوای تبریز (مطالعه موردی وقوع گرد و غبار در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۸(۸۷)، ۱۸۸-۲۰۹. <https://doi.org/10.22034/gp.2023.53783.3050>

خورشیددوست، علی‌محمد؛ محمدی، غلامحسن؛ حسینی صدر، عاطفه؛ جوان، خدیجه و جمالی، ابوالفضل (۱۳۹۲). تحلیل همدید عوامل موثر در فراوانی روزهای گردوغباری غرب کشور، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۷(۴۶)، ۴۷-۶۶. <https://sid.ir/paper/203712/fa>

خوش اخلاق، فرامرز؛ نجفی، محمدسعید و صمدی، مهدی (۱۳۹۱). واکاوی همدید رخداد گردوغبار بهاره در غرب ایران، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۲)، ۹۹-۱۲۴. [Doi: 10.22059/jphgr.2012.29209](https://doi.org/10.22059/jphgr.2012.29209)

رنجبر فردوئی، ابوالفضل و ابراهیمی خوسفی، زهره (۱۴۰۳). تحلیل سهم گردوغبارهای داخلی و خارجی و تغییرات مکانی-زمانی آن‌ها در استان کرمان. خشک بوم، ۱۴(۱)، ۱-۱۹. [Doi: 10.29252/aridbiom.2024.20961.1979](https://doi.org/10.29252/aridbiom.2024.20961.1979)

رئیس‌پور، کوهزاد (۱۳۹۳). اقلیم‌شناسی سینوپتیکی و ماهواره‌ای گردوغبارهای غرب و جنوب غرب ایران، رساله دکتری، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

شهریسوند، محسن؛ آخوندزاده هنزایی، مهدی و حسین سوری، 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. <https://sid.ir/paper/249361/fa>

صارمی‌نائینی، محمدعلی (۱۳۹۵). برآورد فراوانی، سرعت و جهت بادهای فرساینده و مولد طوفان‌های گردوغبار و ریزگردها در سطح استان یزد با استفاده از تحلیل گلباد، گلطوفان و گلماسه، مدیریت بیابان، ۴(۸)، ۹۶ تا ۱۰۶. [Doi: 10.22034/jdml.2017.24661](https://doi.org/10.22034/jdml.2017.24661)

محمدپور، کاوه؛ خورشیددوست، علی‌محمد و احمدی، گونا (۱۴۰۲). ارزیابی داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای در تحلیل گرد و غبارهای نیمه غربی ایران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۱۰(۲)، ۱۱۵-۱۳۰. <http://dx.doi.org/10.61186/jsaeh.10.2.115>

محمدی، غلامحسن (۱۳۹۴). تحلیل سازوکارهای جوی انتقال ریزگردها به غرب کشور، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی دانشگاه تبریز.

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

یارمرادی، زهرا (۱۳۹۸). پایش و مدل‌سازی رخداد طوفان‌های گردوخاک شرق ایران، رساله دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه لرستان.

References

- Alizadeh-Choobari, O., & Najafi, M. S. (2018). Optical and physical properties, time-period, and severity of dust activities as a function of source for the main dust sources of the Middle East. *Atmospheric Research*, 213, 526-538. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.07.015>.
- Arjmand, M. (2016). Spectral, synoptic, and dynamic analysis of dust storms in the Jazmourian region (*Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran*). (in Persian)
- Bodenheimer, Shalev.; Lensky, Itamar M.; Dayan, Uri.; (2019), Characterization of Eastern Mediterranean dust storms by area of origin; North Africa vs, *Arabian Peninsula*, 198, 158-165. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.10.034>.
- Cannarozzo, M., Noto, L.V., Viola, F. (2006). Spatial distribution of rainfall trends in Sicily (1921–2000), *Physics and Chemistry of the Earth*, 31(18): 1201-1211. [Doi:10.1016/j.pce.2006.03.022](https://doi.org/10.1016/j.pce.2006.03.022)
- Cappell, A., Sanderman, J., Thomas, M., Read, A., & Leslie, C. (2012). The dynamics of soil redistribution and the implications for soil organic carbon accounting in agricultural south-eastern Australia. *Glob. Change Biol.*, 18(6), 2081–2088. [Doi:10.1111/j.1365-2486.2012.02682.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02682.x)
- Farajzadeh, M., Fard, M. N., & Broomandi, P. (2019). Assessing PM2.5 concentrations in Iran from space using MAIAC, Deep Blue, and Dark Target AOD and machine learning algorithms. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 15, 100236. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100236>
- Gao, T.; Han, J.; Wang, Y.; Pei, H.; and Lu, Sh. (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>
- Ghotbi, N., & Sotoudeheian, S. (2019). Impact of drought on dust storms: A case study over southwest Iran. *Environmental Research Letters*, 14(12), 124029. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab574e>
- Ginoux, P.; Prospero, J.M.; Gill, T.E.; Hsu, C.N.; Zhao, M.; (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products, *Reviews of Geophysics*, 50, 2012.
- Goudie, AS.2014, Review Desert dust and human health disorders, *Environ International* ,63(3), 101-113. [Doi: 10.1016/j.envint.2013.10.011](https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.10.011)
- Guhathakurta, P.; Preetha M.; Mazumdar A. B.; and Sreejith. O. P. (2010), Changes in extreme rainfall events and flood risk in India during the last century, *National Climate Centre, Research Report*, (3).1-26.
- Hirsch, R.M.; Slack, J.R.; and Smith. R.A(1982), Techniques of trend analysis for monthly water quality data, *Water Resources*, 18(1), 107–121. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00107>
- Hosseini, S. A., & Rostami, D. (2018). Investigating and tracking the dust phenomenon in southern and southeastern Iran using HYSPLIT model and remote sensing principles. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 5(3), 103–119. (in Persian)
- Hosseini, S. A., Rahnama, M., Bagheri, H., Panahi, A., Charehkhah, B., Qamari, K., Khoddam, N., Nouri, F., & Sehat, S. (2024). Synoptic and satellite analysis of dust in Kurdistan Province. *Geography and Environmental Hazards*, 15, 15–30. (in Persian) [Doi: 10.22067/geoh.2025.85624.1434](https://doi.org/10.22067/geoh.2025.85624.1434)
- Hsu, N. C., & Sayer, A. M. (n.d.). Deep Blue data access and usage guide. *NASA Goddard Space Flight Center*. Retrieved February 26, 2025, from <https://earth.gsfc.nasa.gov/climate/data/deep-blue/data>
- Hsu, N.C.;Tsay,S.C.; King, M.D.; Herman, J.R (2006), Deep blue retrievals of Asian aerosol properties during ACE–Asia, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* ,44(11). 3180–3195. <https://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2006.879540>

- Jahanbakhsh, S., Rezaei Banafshah, M., Khorshiddoust, A. M., & Farahmand, H. (2024). Spatiotemporal seasonal distribution of dust in eastern and southeastern Iran based on station and remote sensing data. *Geography and Planning*, 28(87), 1-20 (in Persian) <https://doi.org/10.22034/gp.2024.17732>
- Jahanbakhsh, S., Valizadeh Kamran, K., Khosravi, M., Zeinali, B., & Sayyad Asghari, A. (2014). Identification and detection of the widespread dust storm of 1 July 2008 in Iran using MODIS sensor. *Geographical Space*, 14(46), 31-50. (in Persian)
- Jickells, T.D., An, Z.S., Andersen, K.K., Baker, A.R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J.J., Boyd, P.W., Duce, R.A., & Hunter, K.A., et al. (2005). Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science*, 308(5718), 67-71. Doi: 10.1126/science.1105959.
- Juraj, M., Cunderlik Taha, B., Ouarada, M.J. (2009). Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology*, 375(3), 471-480. Doi:10.1016/j.jhydrol.2009.06.050
- Kaufman, Y. J.; Tanré, D.; Dubovik, O.; Karnieli, A., and Remer, L. A (2001), Absorption of sunlight by dust as inferred from satellite and ground-based remote sensing, *Geophysical Research Letters*, 28(8), 1479-1482. Doi:10.1029/2000GL012647
- Khorshiddoust, A.M , Tahani Yazdali, M. , Khoramabadi, F. , Samadi, A. , Ansari Maleki, F. and Pourghorban, M. H. (2024). Investigating the concentration of heavy metals in the air of Tabriz (A case study of the occurrence of dust in the years 2019 and 2020). *Journal of Geography and Planning*, 28(87), 188-209. (in Persian). Doi: 10.22034/gp.2023.53783.3050
- khoshiddoust, A.M., Mohammadi, Gh.H., Hosseini sadr, A., Javan, Kh., & Jamali, A.. (2014). synoptic analysis of effective factors on dust frequency in west of iran. *journal of geography and planning*, 17(46), 47-66. <https://sid.ir/paper/203712/en>
- Khoshakhlagh, F. , Najafi, M. S. and Samadi, M. (2012). An Analysis on Synoptic Patterns of Springtime Dust Occurrence in West of Iran. *Physical Geography Research*, 44(2), 99-124.. (in Persian) Doi: 10.22059/jphgr.2012.29209
- Kok, J.F., Parteli, E.J.R., Michaels, T.I., & Bou Karam, D. (2012), The physics of wind-blown sand and dust. *J. Rep. Prog. Phys.*, 75, 106901. Doi: 10.1088/0034-4885/75/10/106901
- Kokhanovsky, A. A (2008), Aerosol optics: Light absorption and scattering by particles in the atmosphere, *Springer press*.
- Li, J., Okin, G.S., Alvarez, L., & Epstein, H. (2007). Quantitative effects of vegetation cover on wind erosion and soil nutrient loss in a desert grassland of southern New Mexico, USA. *Biogeochemistry*, 85(3), 317-332. Doi:10.1007/s10533-007-9142-y
- Lin, C. A., Sheng, Y. F., Chen, W. W., Wang, Z., Kuo, C. H., Chen, W. C., & Yang, T. (2012). The impact of channel effect on Asian dust transport dynamics: A case in southeastern Asia. *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 271-285. <https://doi.org/10.5194/acp-12-271-2012>
- Madanchi, P., Saeidian, H., & Dami Zadeh, M. (2024). Evaluation of meteorological and satellite data in identifying dust phenomena in desert areas (case study: Kerman Province). *Geography and Environmental Hazards*, 13(4), 291-313. (in Persian) Doi: 10.22067/geoe.2024.87528.1476
- Mesbahzadeh, T., Miglietta, M. M., Sardoo, F. S., Krakauer, N., & Hasheminejad, M. (2022). Regional Analysis of Dust Day Duration in Central Iran. *Applied Sciences*, 12(12), 6248. <https://doi.org/10.3390/app12126248>
- Middleton, N. (2019). Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: Climatic drivers and human impacts. *Geosciences*, 9(6), 261. <https://doi.org/10.3390/geosciences9060261>
- Mohammadi, G. H. (2015). Atmospheric mechanisms of dust transmission to western Iran (*PhD dissertation, University of Tabriz, Faculty of Geography and Planning, Iran*). (in Persian)

- Mohammadpour, K., Khorshiddoust, A. M., & Gona Ahmadi, A. (2023). Evaluation of ground-based and satellite data in analyzing dust in western Iran. *Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 10(2), 115–130. (in Persian) <http://dx.doi.org/10.61186/jsaeh.10.2.115>
- Namdari, S., Valizade, K. K., Rasuly, A. A., & Sari Sarraf, B. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), 1-11. [Doi:10.1007/s12517-015-2029-7](https://doi.org/10.1007/s12517-015-2029-7)
- NASA Earth Observatory. (2025). Desert dust streams from Iran. Retrieved February 26, 2025, from <https://earthobservatory.nasa.gov/images/153859/desert-dust-streams-from-iran>
- Orlovsky, N. S., Orlovsky, L., & Indoitu, R. (2013). Severe dust storms in Central Asia. *Arid ecosystems*, 3(4), 227-234.
- Prasad, A. K., El-Askary, H., & Kafatos, M. (2010). Implications of high altitude desert dust transport from Western Sahara to Nile Delta during biomass burning season. *Environmental Pollution*, 158(11), 3385-3391. [Doi: 10.1016/j.envpol.2010.07.035](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.07.035). Epub 2010 Aug 25
- Raispour, K. (2014). Satellite synoptical climatology dust events of West and Southwest of Iran (*PhD dissertation, University of Sistan and Baluchestan, Iran*). (in Persian)
- Ranjbar Fardoei, A., & Ebrahimi Khouf, Z. (2024). Analysis of internal and external dust contributions and their spatial-temporal changes in Kerman province. *Journal of Arid Biome*, 14(1), 1–19. (in Persian). [Doi: 10.29252/aridbiom.2024.20961.1979](https://doi.org/10.29252/aridbiom.2024.20961.1979)
- Rashki, A., Kaskaoutis, D., Rautenbach, C.J.d.W., & Eriksson, P. (2012). Changes of Permanent Lake Surface, and Their Consequences for Dust Aerosol and Air Quality: The Hamoun Lakes of the Sistan Area, Iran. *Atmospheric Aerosols- Regional Characteristics—Chemistry and Physics* (Chapter 6, 163–202). Rijeka, Croatia: IntechOpen. [DOI: 10.5772/48776](https://doi.org/10.5772/48776)
- Rashki, A., Middleton, N. J., & Goudie, A. S. (2023). Dust sources from dried water bodies in the Middle East. *Scientific Reports*, 13(1), 14213. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42173-3>
- Reed, L., & Nugent, K. (2018). The health effects of dust storms in the Southwest United States. *The Southwest Respiratory and Critical Care Chronicles*, 6(22), 42-46. <https://doi.org/10.12746/swrccc.v6i22.431>
- Salajegheh, A., & Daneshkar Arasteh, P. (2020). Climatology of dust days in the Central Plateau of Iran. *Natural Hazards*, 104(2), 1801-1817. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04248-6>
- Salajegheh, A., & Namdar, M. (2021). Predicting dusty days around desert wetlands in southeastern Iran using machine learning models. *Ecological Informatics*, 63, 101294. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101294>
- Saremi Naeini, M. A. (2016). Estimating the frequency, speed, and direction of erosive and dust-producing winds in Yazd Province using wind rose and dust rose analysis. *Desert Management*, 4(8), 96–106. (in Persian) . [Doi: 10.22034/jdmal.2017.24661](https://doi.org/10.22034/jdmal.2017.24661)
- Sari Sarraf1 , B. , Rasouli1,A. A., Mohammadi ,GH. H(2015), Long-Term Annual Variation and Trend of Dusty Days in the West of Iran, *International Journal of Review in Life Sciences*, 5(9), 1230-1237.
- Shahrisavand, M., Akhoundzadeh Hanzaei, M., & Hossein Souri, A. (2014). Identification of dust in MODIS satellite images using support vector machine, artificial neural networks, and decision tree methods. *Surveying Science and Techniques*, 4(3), 131–144. (in Persian). <https://sid.ir/paper/-249361/en>
- The Guardian. (2015, April 16). Iran's Khuzestan province hit by dust storms and environmental decline. Retrieved February 26, from <https://www.theguardian.com/world/iran-blog/2015/apr/16/iran-khuzestan-environment-wetlands-dust-pollution>

- Topaloglu, F. ; Regional trend detection of Turkish river flows(2006), *Nord Hydrology*. 37(2), 165–182. <https://doi.org/10.2166/nh.2006.0013>
- Xie, J., Yang, C., Zhou, B., & Huang, Q. (2010). High-performance computing for the simulation of dust storms. *J. Comput. Environ. Urban Syst.*, 34(4), 278–290. [Doi:10.1016/j.compenvurbsys.2009.08.002](https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2009.08.002)
- Yarmoradi, Z. (2019). Monitoring and modeling of dust storm events in eastern Iran (*PhD dissertation, Lorestan University, Department of Physical Geography, Iran*). (in Persian)
- Yue, Sh., Pilon, P., G. 2002. Cavadias Power of the Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests For Detecting Monotonic Trends in Hydrological Series, *Journal of Hydrology*, 259, 254-271. [Doi:10.1016/S0022-1694\(01\)00594-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00594-7)
- Zhou, T., Xie, H., Bi, J., Huang, Z., Huang, J., Shi, J., Zhang, B., & Zhang, W. (2018). Lidar Measurements of Dust Aerosols during Three Field Campaigns in 2010, 2011 and 2012 over Northwestern China. *Atmosphere*, 9(5), 173. <https://doi.org/10.3390/atmos9050173>
- Zhou, T., Xie, H., Jiang, T., Huang, J., Bi, B., Huang, Z., & Shi, J. (2021). Seasonal characteristics of aerosol vertical structure and autumn enhancement of non-spherical particle over the semi-arid region of Northwest China. *Atmos. Environ.*, 244, 117912. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117912>.
- Zoljoodi, M., Didevarasl, A., & Montazerzohor, Z. (2013). Application of the dust simulation models in the Middle East, and dust-dispersion toward the western/southwestern Iran (case study: 22–26 June 2010). *J. Nat. Sci.*, 5(7), 818–831. [Doi:10.4236/ns.2013.57099](https://doi.org/10.4236/ns.2013.57099)