

Monitoring and zoning of long-term variation of the DSI in the eastern half of Iran

Mehdi Rahnama¹, Faezeh Noori², Saviz Sehat Kashani^{3*} , Noushin Khoddam⁴

1. Associate Professor, Sand and Dust Storm International Research Center (SDS-IRC), Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Tehran, Iran
2. PhD student of Meteorology, Researcher, Sand and Dust Storm International Research Center (SDS-IRC), Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Tehran, Iran
3. *Corresponding Author*, Associate Professor, Sand and Dust Storm International Research Center (SDS-IRC), Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Tehran, Iran
4. - PhD in Meteorology, Researcher, Sand and Dust Storm International Research Center (SDS-IRC), Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science (RIMAS), Tehran, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 29 April 2024
Revised: 04 December 2024
Accepted: 12 January 2025

Keywords:

DSI, Dust, Eastern half of Iran, Zoning.

ABSTRACT

Climate change is an important factor that increases the risks of wind erosion and dust storms. To study the frequency and intensity of the dust phenomenon in the eastern half of the country, the Dust Storm Index was used between 2002 and 2023. Based on the DSI, profiles of the frequency and intensity of dust storms in the study area were calculated using the geostatistical interpolation methods of Inverse distance weighted interpolation. In general, the time series of the dust storm index during the 2002–2023 statistical period showed a significant increasing trend in the Razavi Khorasan, South Khorasan, and North Khorasan. In Sistan and Baluchestan, we observed more irregular variation and no significant trends. The Zabol and Sarkhs stations had the highest number of dust storms. The results showed that the monthly average variation in the DSI in the first eight months of the year generally increased. The DSI decreased in the months following December. In terms of geographical distribution, the DSI showed higher values in the eastern and southeastern halves, and the lowest values in the northeastern regions. Analyzing the trend of variations of this index in the half-east, north-east, and south-east of the country, in addition to the south-east parts of the country, in recent years the eastern parts of Razavi Khorasan have also been involved in this phenomenon. The formation of low pressure in the southwest of Afghanistan, northwest Pakistan, and east of Iran, simultaneously with the establishment of high pressure in the north of Afghanistan and northeast of Iran, causes the creation of an intensive pressure gradient and relatively strong surface winds. These conditions activated internal and transboundary sources of dust in the study area, leading to the spread and transfer of dust to the eastern half of Iran.

Cite this article: Rahnama, M. , Noori, F. , Sehat Kashani, S. and Khoddam, N. (2025). Monitoring and zoning of long-term variation of the DSI in the eastern half of Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 14(44), 5-10.
DOI: 10.22111/jneh.2025.48604.2040



© Saviz Sehat Kashani*

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2025.48604.2040

* Corresponding Author Email: s-sehat@irimo.ir

INTRODUCTION

Dust storms are one of the most important atmospheric hazards that alter many aspects of human life and cause economic and human losses in communities. Remote sensing data has several advantages in dust storm monitoring and identification of active sources (Albarakat & Lakshmi, 2019; Li et al., 2021; Rayegani et al., 2020); while another useful and precise approach to determine wind erosion with daily data for long terms is DSI calculation (O'Loingsigh et al, 2014).

Ebrahimi Khosofi et al. (2021) detected some of the most crucial parameters for the DSI prediction, such as wind speed in winter, vegetation cover in spring, and the Maximum wind speed in summer and autumn. The analysis of DSI, dust event frequency, and horizontal visibility of the West Asian region revealed that most of the Middle Eastern countries suffer under it; however, the eastern halves and southwestern parts of Iran are affected by trans-local dust events, too (Rahnama et al., 1400). Also, the maximum DSI values of the Sistan region during 2000-2004 belonged to the maximum averages of wind speed along with the minimum precipitation, humidity, vegetation, and water cover (Miri et al., 2021). It is essential to mention that the mentioned study was conducted for the first time in the framework of a new statistical period for the whole eastern part of Iran. Besides zoning and evaluation of long-term trends of DSI, the mentioned paper gave two examples of synoptic pattern analysis, satellite images of different sensors, and aerosol optical depth.

DATA & METHODS

The study area of this research encompasses the provinces of North Khorasan, Razavi Khorasan, South Khorasan, and Sistan and Baluchestan (Fig. 1).

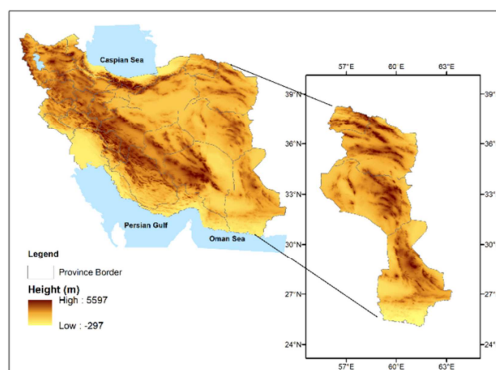


Figure 1: Study area and spatial distribution of synoptic stations. (Reference: Authors)

In the present research, the DSI is calculated by using observational data of the current weather codes (07 to 09, 30 to 35, and 98 to 35) of some synoptic stations over the studied region. The study period in this paper embraces the years 2002-2023, in which the DSI has been calculated and investigated annually, seasonally, and monthly during the period under study. Data from the AIRS sensor and MODIS sensor products onboard the AQUA satellite are used to monitor dust events of case studies, i.e., July 19 and August 5, 2023. Data used for the synoptic analysis of dust events emanated from the ERA5 dataset (reanalyzed data) extracted from the ECMWF database (CDS: 2017) with 0.25-degree resolutions, over the geographical extent of 45-70° E, 25-45° N. The analysis variables are mean sea level pressure, 10-meter wind, geopotential height at 850 and 500 hPa, and wind at 850, 500, and 200 hPa. To analyze the frequency and intensity of dust events, DSI was utilized (McTinesh and Tews, 2007). This method has been successful in large-scale monitoring of wind erosion by using observational data and computing an index showing the frequency and intensity of dust storms within the area (Vali et al., 2017; O'Loingsigh et al., 2014). It integrates three different indices, LDE, MDS,

and SDS days. They are derived by the frequency of recorded dust phenomenon codes at synoptic stations (Eq. 1).

$$(1) \quad DSI = \sum_{i=1}^n [(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE)]$$

The synoptic conditions associated with two dust events occurring on July 19 and August 5, 2023, were analyzed.

RESULT

The annual trend of DSI variation in North Khorasan and Razavi provinces is increasing and significant. The variation tendency of DSI in South Khorasan Province and during the whole studied area has been in an increased long-term trend (see Fig. 2), though this increase has not been statistically significant. There was no significant trend for Sistan and Baluchestan within this period. However, the values of DSI in Sistan and Baluchestan were higher than in other provinces.

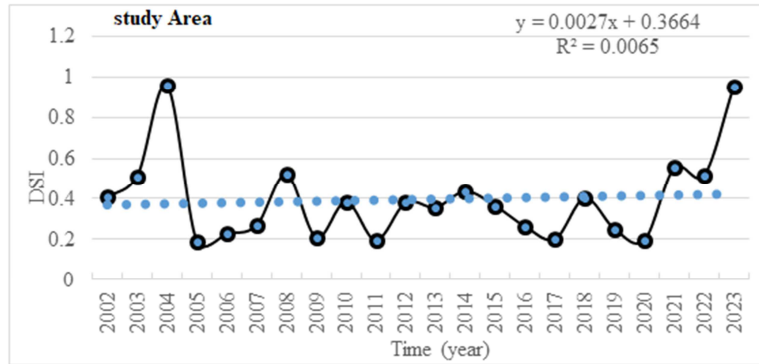


Figure 2: Average DSI variation trend throughout the study area from 2002 to 2023 (Reference: Authors).

The DSI follows a seasonal pattern, with its trend showing that the Dust Storm Index is always highest for the summer season rather than other seasons of the year (Fig. 3).

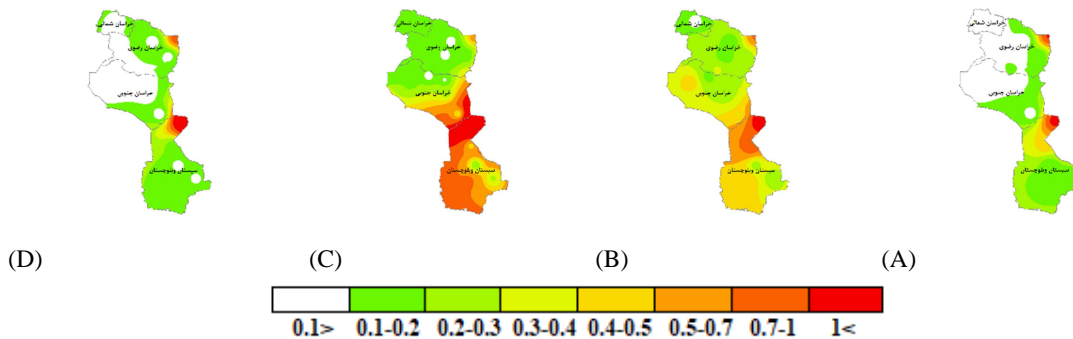


Figure 3: Seasonal spatial distribution of DSI throughout the study area: a) winter, b) spring, c) summer, d) autumn from 2002 to 2023 (Reference: Authors).

A low-pressure system over southwestern Afghanistan, southeastern Iran, and parts of central Iran, which is connected with the more general low-pressure system over Pakistan and usually develops in the hot season over South Asia (Rashki et al., 2012; Khosravi et al., 2016), together with the penetrate of a high-pressure system from northeastern Iran, in the wake of a high-pressure core over the

southeastern Caspian Sea and Turkmenistan (Mafidi and Zarrin, 2012), has resulted in an extremely steep pressure gradient over the Iran-Afghanistan border. The northern airstreams penetrate Iran from the northeast, deflected westward over southern parts of Khorasan Razavi because of topography. They are then channelized and deflected eastward, with the northwesterly blowing as a low-level jet stream over the Sistan region.

The enhancement of surface winds in the boundary regions of Iran and Afghanistan has triggered source activation of dust in these regions, leading to emission and transport. Indeed, this result was in concert with the findings from the studies conducted by Karami et al. (2021) and Kaskautis et al. (2015).

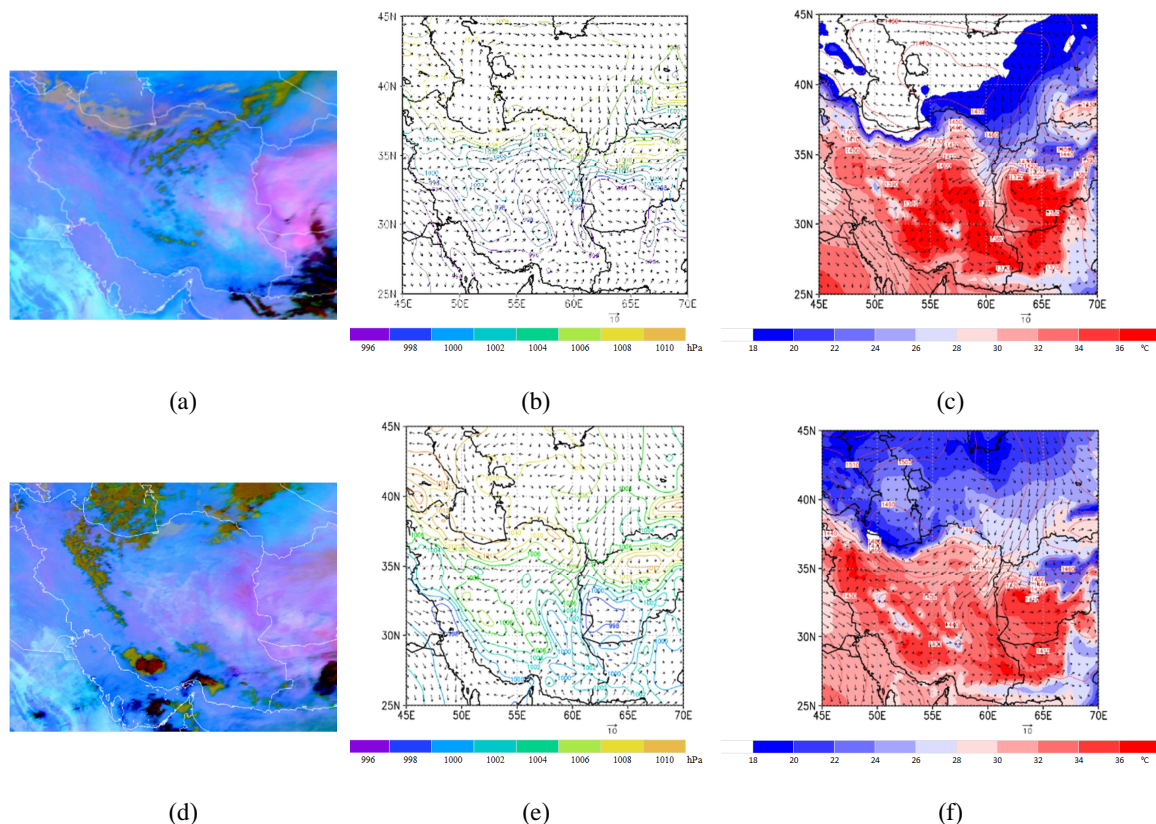


Figure 4: Real-time Dust RGB image from Meteosat Zero Degrees satellite for a) 19 July at UTC06:00 and d) 5 August 2023 at UTC15:00, pink areas indicate dust presence (Reference: <https://view.eumetsat.int/>). Pattern of mean sea level pressure and 10-meter wind vectors on b) 19 and e) 5 August 2023 at UTC12:00. Pattern of geopotential height (black lines), temperature (colored areas), and wind vector (blue vectors) at 850 hPa for c) 19 July and f) 5 August 2023 at UTC12:00 (Reference: Authors).

CONCLUSION

The result of this study showed that DSI was highest in the eastern and southeastern parts of Iran and lowest in the northeast. Similarly, in summer and spring, maximum values of DSI are seen in the northern parts of the Sistan and Baluchestan provinces. The computed value within the research area was higher in autumn compared to winter. Trend analysis of this index also indicated that this phenomenon took place not only in the southeastern parts of the country but also in the eastern parts of the Khorasan Razavi province in recent years.

A pressure gradient over those regions is created by the formation of low pressure over southwestern Afghanistan, northwest Pakistan, and eastern Iran, and the intrusion of high pressure over northeastern

Iran. It, therefore, results in a further increase of the relatively strong northerly and northeasterly winds along the border between Iran and Afghanistan. Because of the topographic and geological features of this region, this flow is divided into two branches. One of them blows in a westerly direction, crossing the eastern parts of the country, reaching Khorasan Razavi and the southern provinces. The other blows eastward and enters Sistan in the form of a low-level jet stream. These surface winds of a sufficiently high magnitude flow over the susceptible regions of the study area such as the arid basin of Lake Hamoon, activating the source of dust. The actual emission and transportation of dust to the nearby cities is thus caused. The results of the present study can be helpful in decisions regarding strategies and preparedness plans against dust storms.

References (in Persian)

- Khosravi, M., Hamidianpour, M., & Kordi Tamin, S. (2016). A Study of Tempo Spatial Variation of Pakistan Low Pressure. *Journal of Climate Research*, 1395(27), (25-42)[in Persian].
- Mofidi, A., A. Zarrin. (2012). Investigating the Nature, Structure and Temporal Variation of Summertime Large-scale Atmospheric Circulation over Southwest Asia. *Journal of Climate Research*, 11: 15-40. [in Persian].
- Rahnama, M., Y Sehatkashani, S., Khoddam, N., Karami, S., tajbaksh, S., & Ranjbar, A. (2021). The analysis of the Dust Storm Index (DSI), Frequency of dust events, and horizontal visibility in the West Asian. *Journal of Climate Research*, 1400(47), 57-70. [in Persian]
- Vali, A., & Roustaei, F. (2018). Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran Using Dust Storm Index in the Last Fifty Years. *Journal of Water and Soil Science*, 21(4), 189-200. doi: 10.29252/jstnar.21.4.189[in Persian].

References (in English)

- Albarakat, R., Lakshmi, V. (2019). Monitoring Dust Storms in Iraq Using Satellite Data. *Sensors*, 19(17), 3687. <https://doi.org/10.3390/s19173687>.
- Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), date of access. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- Ebrahimi-Khusfi, Z., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Mirakbari, M., (2021). Evaluation of machine learning models for predicting the temporal variation of dust storm index in arid regions of Iran. *Atmospheric Pollution Research*, 12 (1), pp 134-147. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.08.029>
- Karami, S., Hoddein Hamzeh, N., Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Alam, K., Ranjbar, A. (2012). Numerical simulations of dust storms originated from dried lakes in central and southwest Asia: the case of the Aral Sea and Sistan basin. *Aeolian Research*, 50(1), pp 100679. doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100679.
- Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Houssos, E.E., Mofidi, A., Goto, D., Bartzokas, A., Francois, P., Legrand, M., (2015). Meteorological aspects associated with dust storms in the Sistan region, southeastern Iran. *Clim. Dyn.* 45 (1–2), pp 407–424.
- McTainsh, G., and K., Tews (2007). Soil erosion by wind - Dust Storm Index (DSI): National Monitoring and Evaluation Framework, prepared for the National Land & Water Resources Audit, Canberra. 12, pp 29-40.
- Miri, A.; Maleki, S., Middleton, N., (2021). An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of the Total Environment*, 757, 143952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143952>.
- O’Loingsigh, T., McTainsh, GH. Tews, EK. Strong, CL., Leys, JF., Shinkfield, P., Tapper, NJ. (2014b). The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broad-scale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12, pp 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.10.004>.
- Rayegani, B., Barati, S., Goshtasab, H., Gachpaz, S., Ramezani, J., Sarkheil, H., (2020). Sand and dust storm sources identification: A remote sensing approach. *Ecological Indicators*, 112, 106099. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106099>.
- Rashki, A., Kaskaoutis, DG., de W. Rautenbach CJ., Eriksson PG, Giang M, Gupta P., (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Res* 5, pp 51–62.



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۴، شماره ۴۴، تیر ۱۴۰۴

پایش و پهنه‌بندی تغییرات بلندمدت شاخص طوفان گردوغبار نیمه شرقی ایران

مهدی رهنما^۱، فائزه نوری^۲، ساویز صحت کاشانی^{۳*} ID، نوشین خدام^۴

۱. دانشیار، مرکز بین‌المللی مطالعات گردوغبار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری هواشناسی، پژوهشگر، مرکز بین‌المللی مطالعات گردوغبار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
۳. دانشیار، مرکز بین‌المللی مطالعات گردوغبار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
۴. دانش آموخته دکتری هواشناسی، پژوهشگر، مرکز بین‌المللی مطالعات گردوغبار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	تغییرات اقلیمی یکی از عوامل مهمی است که سبب افزایش خطر فرسایش بادی و طوفان‌های گردوغبار می‌شود؛ به‌ویژه وقوع رخداد‌های شدید و حرکت به سمت اقلیم خشک‌تر، این امر را تشدید می‌نماید. در این پژوهش به‌منظور مطالعه فراوانی و شدت پدیده گردوغبار در نیمه شرقی ایران، از شاخص طوفان گردوغبار (DSI) بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳ استفاده شد. بر اساس DSI نمایه‌هایی از فراوانی و شدت طوفان گردوغبار در منطقه مورد مطالعه بر اساس روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری عکس مجذور فاصله با تفکیک مکانی یک‌دریک کیلومتر محاسبه شده است. به‌طور کلی، سری زمانی شاخص طوفان گردوغبار طی دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳، نشان‌دهنده روند افزایشی معنی‌داری در دو استان خراسان رضوی و خراسان شمالی است. در استان سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی شاهد تغییرات نامنظم‌تر و فاقد روند معنی‌دار هستیم. ایستگاه‌های زابل و سرخس بیشترین مقدار شاخص طوفان گردوغبار را دارا هستند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تغییرات میانگین ماهانه DSI در ۸ ماه اول سال میلادی (ژانویه تا اوت) به‌طور کلی افزایشی است و در ماه‌های بعد تا ماه دسامبر مقدار DSI کاهش یافته است. از نظر توزیع جغرافیایی، DSI در نیمه شرقی و جنوب شرقی مقادیر بالاتری را نشان می‌دهد و در نواحی شمال شرقی دارای حداقل مقدار است. بررسی روند تغییرات این شاخص در شرق، شمال شرق و جنوب شرق کشور مشخص نمود علاوه بر قسمت‌های جنوب شرقی کشور، در سال‌های اخیر بخش‌های شرقی استان خراسان رضوی نیز درگیر این پدیده شده است. با مطالعه دو رخداد گردوغبار، مشاهده شد که شکل‌گیری مراکز کم‌فشار در جنوب غربی افغانستان، شمال غربی پاکستان و شرق ایران همزمان با استقرار مراکز پرفشار در شمال افغانستان و شمال شرقی ایران سبب شکل‌گیری شیو فشاری و ایجاد باد‌های نسبتاً شدید سطحی شده و چشمه‌های گردوغبار داخلی و فرامرزی را در محدوده مورد مطالعه تقویت کرده و گسیل و انتقال گردوغبار را به نیمه شرقی ایران به‌همراه دارد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۰	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۳	
واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، گردوغبار، DSI، نیمه شرقی ایران.	

استناد: رهنما، مهدی، نوری، فائزه، صحت کاشانی، ساویز و خدام، نوشین. (۱۴۰۴). پایش و پهنه‌بندی تغییرات بلندمدت شاخص طوفان گردوغبار

نیمه شرقی ایران. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۴۴)، ۱-۵. DOI: 10.22111/jneh.2025.48604.2040



© مهدی رهنما، فائزه نوری، ساویز صحت کاشانی، نوشین خدام.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

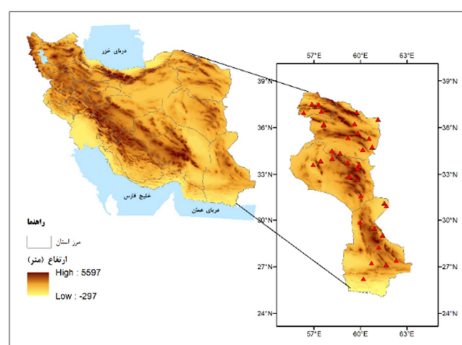
مقدمه

طوفان‌های گردوغبار یکی از مهم‌ترین مخاطرات جوی است که جنبه‌های مختلف زندگی انسان‌ها را دستخوش تغییرات نموده و خسارات مالی و جانی را بر جوامع تحمیل می‌کند (میدلتون، ۲۰۱۹). اگرچه به‌منظور پایش طوفان‌های گردوغبار و چشمه‌های فعال می‌توان از داده‌های سنجش‌ازدور کمک گرفت (لی و همکاران، ۲۰۲۱؛ رایگانی و همکاران، ۲۰۲۰؛ البرکات و لاکشمی، ۲۰۱۹)، محاسبه شاخص طوفان گردوغبار (DSI^1) نیز به‌عنوان روشی مناسب و دقیق برای پایش فرسایش بادی با استفاده از داده‌های روزانه در بلندمدت است (اولونگسای و همکاران، ۲۰۱۴).

ابراهیمی خوسفی و همکاران (۲۰۲۱) سرعت باد در زمستان، پوشش گیاهی در بهار، بیشینه تندی باد در تابستان و پاییز را مهم‌ترین عوامل مؤثر در پیش‌بینی DSI برشمردند. تحلیل DSI ، بسامد رخداد‌های گردوغبار و دید افقی در منطقه غرب آسیا (رهنما و همکاران، ۱۴۰۰) نشان داد که بیشتر کشورهای خاورمیانه تحت تأثیر رخداد‌های محلی گردوغبار هستند؛ هرچند نیمه شرقی و جنوب غربی ایران متأثر از رخداد‌های گردوغبار فرامحلی نیز هستند. بیشترین مقادیر DSI در منطقه سیستان در دوره ۲۰۰۴-۲۰۰۰ هم‌زمان با بیشینه میانگین سرعت باد و کمینه بارش، رطوبت، پوشش گیاهی و آبی همراه بوده است (میری و همکاران، ۲۰۲۱). این مطالعه با در نظر گرفتن یک دوره آماری جدید در کل نیمه شرقی ایران انجام شده است و علاوه بر پهنه‌بندی و مشخص نمودن روند بلندمدت DSI ، الگوهای همدیدی و تصاویر ماهواره از سنجنده‌های مختلف و عمق نوری هواویزها نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش شامل استان‌های خراسان شمالی و رضوی و جنوبی و سیستان و بلوچستان است (شکل ۱).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و توزیع مکانی ایستگاه‌های همدیدی مورد استفاده. (مرجع: نویسندگان)

در این پژوهش برای محاسبه DSI از داده‌های دیدبانی شامل کد پدیده حاضر (۰۷ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸ در ۳۵) ایستگاه همدیدی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. بازه زمانی مورد مطالعه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳ بوده که DSI در

¹ Dust Storm Index

این بازه به صورت سالانه، فصلی و ماهانه محاسبه و بررسی شده است. به منظور پایش رخداد گردوغبار در مطالعات موردی (۱۹ ژوئیه و ۵ اوت ۲۰۲۳) از محصولات سنجنده^۱ AIRS و سنجنده^۲ MODIS از ماهواره AQUA استفاده شد. برای تحلیل همدیدی رخدادهای گردوغبار نیز از داده‌های باز تحلیل‌شده ERA5 پایگاه داده^۳ ECMWF (CDS, 2017) با تفکیک ۰/۲۵ به صورت ساعتی در محدوده جغرافیایی ۴۵ تا ۷۰ درجه شرقی و ۲۵ تا ۴۵ درجه شمالی شامل میانگین فشار سطح دریا، باد ۱۰ متری، ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۸۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال، باد ترازهای ۸۵۰، ۵۰۰ و ۲۰۰ هکتوپاسکال استفاده شد.

به منظور مطالعه بسامد و شدت پدیده گردوغبار از DSI استفاده شد (مک‌تاینش و تیوز، ۲۰۰۷) که روشی مناسب برای پایش فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است و نمایه‌ای از بسامد و شدت طوفان گردوغبار در منطقه را محاسبه می‌کند (ولی و همکاران، ۱۳۹۶؛ اولونگسای و همکاران، ۲۰۱۴). این شاخص ترکیبی از سه نمایه روزهای طوفانی با گردوغبار محلی (LDE^۴)، متوسط (MDS^۵) و شدید (SDS) است که بر مبنای تعداد دفعات ثبت کدهای پدیده گردوغبار در ایستگاه‌های همدیدی محاسبه می‌شوند (رابطه ۱):

$$DSI = \sum_{i=1}^n [(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE)] \quad (1)$$

همچنین الگوهای همدیدی دو رخداد گردوغبار در تاریخ ۱۹ ژوئیه و ۵ اوت سال ۲۰۲۳ مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

روند تغییرات سالانه DSI در استان خراسان شمالی و رضوی افزایشی و معنی‌دار است. در استان خراسان جنوبی و نیز در کل منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) روند بلندمدت تغییرات DSI افزایشی است که از نظر آماری معنی‌دار نیست. در سیستان و بلوچستان هیچ روند معنی‌داری در این بازه زمانی وجود ندارد. مقادیر این شاخص در سیستان و بلوچستان نسبت به سایر استان‌ها بزرگ‌تر بوده است.

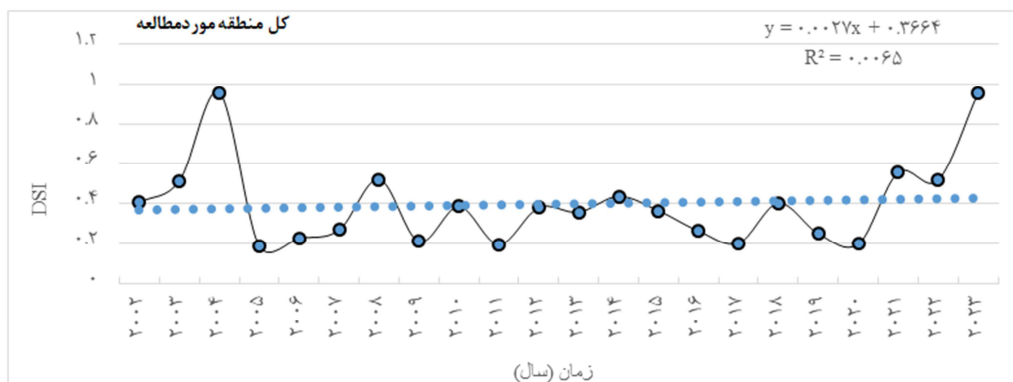
1 Atmospheric Infrared Sounder

2 Moderate resolution Imaging Spectroradiometer

3 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

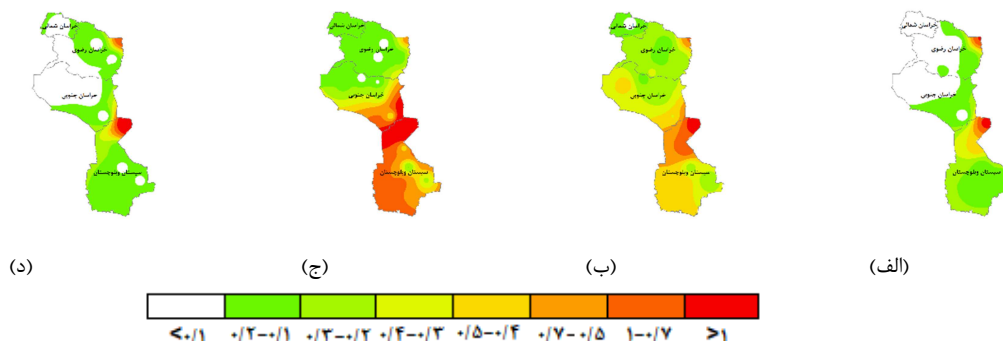
4 Local Dust Events

5 Moderate Dust Storms



شکل ۲: میانگین روند تغییرات زمانی DSI در کل منطقه طی دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳ (مرجع: نویسندگان).

روند تغییرات فصلی DSI (شکل ۳) حاکی از آن است که شاخص در فصل تابستان نسبت به فصل‌های دیگر به بیشینه مقدار خود رسیده است. به‌طور کلی پهنه‌بندی فصلی DSI نشان داد که از بخش‌های شرقی به سمت جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بر شدت گردوغبار افزوده می‌شود.

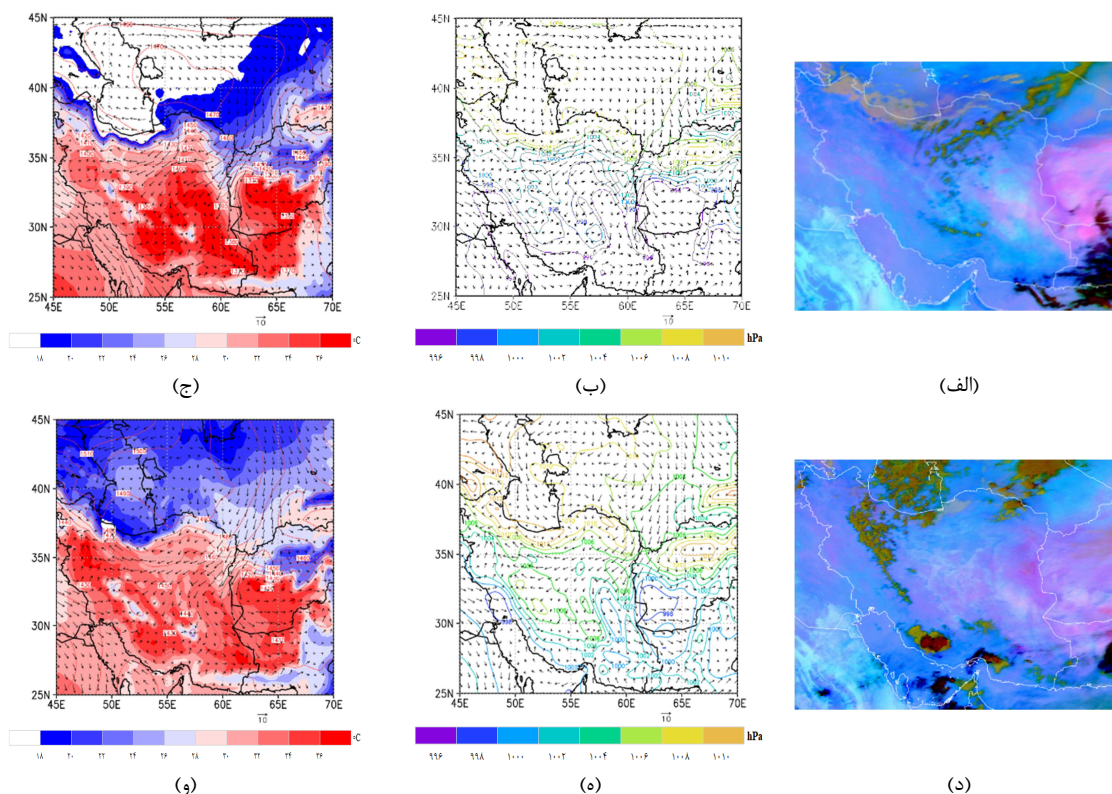


شکل ۳: توزیع فضایی فصلی DSI در نیمه شرقی کشور (الف) زمستان، (ب) بهار، (ج) تابستان، (د) پاییز طی دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۳ (مرجع: نویسندگان).

حضور مرکز کم‌فشار در جنوب غربی افغانستان و جنوب شرقی و برخی نواحی مرکزی ایران که بخشی از کم‌فشار پاکستان است و در فصل گرم در جنوب آسیا شکل می‌گیرد (راشکی و همکاران، ۲۰۱۲؛ خسروی و همکاران، ۱۳۹۵)، هم‌زمان با نفوذ زبانه پرفشار از شمال شرقی کشور که در امتداد مرکز پرفشار مستقر در جنوب شرقی خزر و ترکمنستان است (مفیدی و زرین، ۱۳۹۱)، سبب ایجاد شیوهای فشاری نسبتاً قوی روی مرز ایران و افغانستان شده است؛ جریان‌های شمالی از شمال شرقی وارد ایران شده و در نواحی جنوبی خراسان رضوی با توجه به ناهمواری‌های این مناطق به سمت غرب منحرف شده است، سپس کانالیزه شده و با انحراف سمت شرق و به‌صورت بادهای شمال غربی بر روی سیستان می‌وزد که رودباد تراز پایین^۱ را در این مناطق شکل می‌دهد. تقویت بادهای سطحی در نواحی مرزی ایران و افغانستان چشمه‌های گردوغبار واقع در این نواحی را فعال کرده و سبب گسیل و گردوغبار انتقال شده

¹ Low Level Jet

است. این الگو با مطالعات انجام شده توسط کرمی و همکاران (۲۰۲۱) و کاسکائوتیس و همکاران (۲۰۱۵) همسو است.



شکل ۴: تصویر زمان واقعی برای Dust RGB از ماهواره سری Meteosat صفر درجه برای روز الف) ۱۹ ژوئیه در ساعت ۰۶:۰۰ UTC و د) ۵ اوت ۲۰۲۳ در ساعت ۱۵:۰۰ UTC، نواحی صورتی نشان‌دهنده حضور گردوغبار است (مرجع: <https://view.eumetsat.int/>). الگوی میانگین فشار سطح دریا و بردارهای باد ۱۰ متری در روز ب) ۱۹ و ه) ۵ اوت ۲۰۲۳ ساعت ۱۲:۰۰ UTC، الگوی ارتفاع ژئوپتانسیلی (خطوط سیاه)، دما (نواحی رنگی) و بردار باد (بردارهای آبی) در تراز ۸۵۰ hPa برای روز ج) ۱۹ ژوئیه و و) ۵ اوت ۲۰۲۳ ساعت ۱۲:۰۰ UTC (مرجع: نویسندگان).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که DSI در مناطق شرق و جنوب شرق ایران بیشترین و در نواحی شمال شرقی دارای کمترین مقدار است. بیشینه مقادیر DSI در بخش‌های شمال استان سیستان و بلوچستان به ترتیب در فصل تابستان و بهار مشاهده می‌شود. در فصل پاییز نیز مقادیر بیشتری نسبت به فصل زمستان در سطح محدوده مورد مطالعه محاسبه شده است. بررسی روند تغییرات این شاخص نشان داد که علاوه بر قسمت‌های جنوب شرقی کشور، در سال‌های اخیر بخش‌های شرقی استان خراسان رضوی نیز درگیر این پدیده شده است.

با شکل‌گیری مراکز کم‌فشار در نواحی جنوب غرب افغانستان، شمال غرب پاکستان و شرق ایران همراه با نفوذ زبانه پرفشار از شمال شرق ایران شیو فشاری در این نواحی شکل گرفته که سبب تقویت جریان‌های شمالی و شمال شرقی نسبتاً قوی روی مرز ایران و افغانستان می‌شود. این جریان با توجه به ناهمواری و وضعیت زمین‌شناختی منطقه مورد مطالعه به دو شاخه تقسیم می‌شود؛ شاخه اول با انحراف به سمت غرب به نواحی شرقی کشور وارد شده و استان‌های خراسان رضوی و جنوبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شاخه دوم به سمت شرق منحرف شده و با کانالیزه شدن به صورت جریان جتی تراز پایین وارد سیستان می‌شود. وزش بادهای سطحی شدید روی نواحی مستعد در محدوده مورد مطالعه مانند بستر خشک دریاچه هامون سبب فعال شدن چشمه‌های گردوغبار شده و گسیل و انتقال آن را به شهرهای مجاور را به همراه دارد. نتایج این تحقیق می‌تواند در بحث مدیریت و آمادگی در برابر طوفان‌های گردوغبار مفید واقع شود.

منابع

- خسروی، محمود؛ حمیدیان پور، محسن؛ کردی تمین، صالح. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات زمانی و مکانی کم‌فشار پاکستان. مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۲۷، ۲۵-۴۲.
- رهنما، مهدی؛ صحت، ساوین؛ خدام، نوشین؛ کرمی، سارا؛ تاجبخش، سحر؛ رنجبر، عباس. (۱۴۰۰). تحلیل شاخص طوفان گردوخاک (DSI)، بسامد رخدادهای گردوغبار و دید افقی در منطقه غرب آسیا. مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۲ (۴۷): ۵۷-۷۰.
- مفیدی، عباس؛ زرین، آذر. (۱۳۹۱). بررسی ماهیت، ساختار و وردایی زمانی گردش بزرگ مقیاس جو تابستانه بر روی جنوب غرب آسیا. مجله پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳ (۱۱)، ۱۵-۴۰.
- ولی، عباسعلی؛ روستایی، فاطمه. (۱۳۹۶). بررسی روند فرسایش بادی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص طوفان گردوغبار در پنجاه سال اخیر. نشریه علوم آب و خاک، ۲۱ (۴)، ۱۸۹-۲۰۰.
- Albarakat, R., Lakshmi, V. (2019). Monitoring Dust Storms in Iraq Using Satellite Data. *Sensors*, 19(17), 3687. <https://doi.org/10.3390/s19173687>.
- Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), date of access. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>
- Ebrahimi-Khusfi, Z., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Mirakbari, M., (2021). Evaluation of machine learning models for predicting the temporal variation of dust storm index in arid regions of Iran. *Atmospheric Pollution Research*, 12 (1), pp 134-147. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.08.029>
- Karami, S., Hoddein Hamzeh, N., Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Alam, K., Ramjbar, A. (2012). Numerical simulations of dust storms originated from dried lakes in central and southwest Asia: the case of the Aral Sea and Sistan basin. *Aeolian Research*, 50(1), pp 100679. doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100679.
- Kaskaoutis, D.G., Rashki, A., Houssos, E.E., Mofidi, A., Goto, D., Bartzokas, A., Francois, P., Legrand, M., (2015). Meteorological aspects associated with dust storms in the Sistan region, southeastern Iran. *Clim. Dyn.* 45 (1-2), pp 407-424.
- McTainsh, G., and K., Tews (2007). Soil erosion by wind - Dust Storm Index (DSI): National Monitoring and Evaluation Framework, prepared for the National Land & Water Resources Audit, Canberra. 12, pp 29-40.
- Miri, A.; Maleki, S., Middleton, N., (2021). An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of the Total Environment*, 757, 143952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143952>.
- O'Loingsigh, T., McTainsh, GH. Tews, EK. Strong, CL., Leys, JF., Shinkfield, P., Tapper, NJ. (2014b). The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broad-scale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12, pp 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.10.004>.
- Rayegani, B., Barati, S., Goshtasab, H., Gachpaz, S., Ramezani, J., Sarkheil, H., (2020). Sand and dust storm sources identification: A remote sensing approach. *Ecological Indicators*, 112, 106099. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106099>.
- Rashki, A., Kaskaoutis, DG., de W. Rautenbach CJ., Eriksson PG, Giang M, Gupta P., (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Res* 5, pp 51-62.