



Analysis of dust pollution in arid regions using an index based on local and extra-local events

Zohre Ebrahimi Khusfi¹ | Mohsem Ebrahimi Khusfi² | Maryam Mirakbari³

1- Corresponding Author, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran. Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

2- Department of Geography, Humanities and Social Sciences Campus, Yazd University, Yazd, Iran. mohsen.ebrahimi@yazd.ac.ir

3- Department of reclamation of arid and mountains regions, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Tehran, Iran. maryammirakbari@ut.ac.ir

Article Information

Research Paper

Vol: 15
No: 55
P: 116-131
Received: 2023-11-13
Revised: 2023-12-01
Accepted: 2023-12-02
Published: 2024-05-01

Keywords:

- *Changes trend*
- *Dust pollution*
- *Mann-kendall*
- *Arid regions*

Cite this Article:

Ebrahimi Khusfi, Z., Ebrahimi Khusfi, M., Mirakbari, M. (2024). Analysis of dust pollution in arid regions using an index based on local and extra-local events. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 15(55): 116-131.
doi: 10.22034/JARGS.2023.425069.1071

Publisher: Hakim Sabzevari University

© The Author(s)



[10.22034/JARGS.2023.425069.1071](https://doi.org/10.22034/JARGS.2023.425069.1071)

Abstract

Aim: The main goal of the current research is to analyze the temporal changes in air quality in these areas based on an index of both types of events called the Pollution Dust Storm Index.

Material & Method: This study calculated the PDSI using the frequency of local and extra-local dust events. The Mann-Kendall test was used to evaluate the trend of temporal changes in this index at different time scales.

Finding: The highest dust pollution in the analyzed statistical period belonged to the cities of Zahedan, Chabahar, Nehbandan, and Yazd, and the lowest air pollution was in Baft, Shahrood, and Shahrabak stations. The significant incremental changes in dust events occurred for most of the stations in June. On a seasonal scale, maximum and minimum dust pollution occurred in spring and autumn, respectively. The increasing trend of dust occurrences in the spring season and their decreasing trend in the summer season was observed for most of the stations.

Conclusion: The findings of evaluating the trend of changes in dust occurrences based on the PDSI index in dry areas of the country, which are affected by dust with different frequencies and intensities throughout the year, can be used to identify sensitive areas and provide necessary measures to prevent and reduce adverse effects caused by dust events.

Innovation: In addition to local dust events, extra-local events also impact the air quality of dry areas. Analyzing changes in the PDSI based on both types of events can enhance our understanding of air quality in these regions. This study aims to analyze air pollution changes using this index, which has not been done before for dry areas. The findings can help identify areas with higher air pollution levels and lead to more effective solutions to improve air quality in arid regions.

Extended Abstract

1. Introduction

Pollution caused by dust storms is one of the most important natural hazards in arid and semi-arid regions, which has caused many concerns in the socio-economic, environmental, and human health sectors. In this regard, several indicators and criteria have been presented to investigate dust events and air pollution by researchers, which include dust storm index (DSI), dust concentration (DC), dust storm pollution index (PDSI), the frequency of the number of dust events and the number of dusty days. The PDSI is presented as one of the newest indices to evaluate dust pollution, which is the developed form of the DSI. For this purpose, air pollution caused by wind erosion events has been evaluated by the PDSI in dry regions of Iran as one of the areas at risk of dust phenomenon.

2. Materials and Methods

This research, focusing on evaluating the 22 districts of Arak regarding quantitative and qualitative housing indicators, falls within the realm of applied research. Employing a document-based survey for data collection, 19 housing experts from Arak were engaged due to the extensive range of indicators. The Copland method was then applied for district ranking by utilizing Shannon's Entropy method for weight determination and the SAW, Copras, and Moora methods for synthesis. Additionally, the Global Moran's I model in ArcGIS was utilized to discern the spatial pattern of housing indicators in Arak. Region 4, characterized by industrial land use, was excluded, leaving 21 districts for assessment.

3. Results and Discussion

The results showed that the maximum dust pollution occurred between 2008, 2018, and 2012. So, the activity of the dust events had the maximum value in the year 2008 for most stations. The average PDSI showed an increase in dust events from 2000 to 2018. Based on the annual average PDSI, the maximum dust activity occurred in Zahedan with a PDSI equal to 11.44 and in Chabahar, Nehbandan, and Yazd with PDSI of 10.78, 9.35, and 9.10, respectively. The minimum dust pollution was at Baft, Shahrood, Shahrabak, Sabzevar, and Torbat Haidarieh stations. The annual trend analysis of dust pollution showed that the trend changes were increasing and significant in Abadeh, Anar, Yazd, Kashan, Semnan, Sirjan, Tabas, Torbat-Heydarieh, and Sabzevar. The trend of dust pollution in Bam, Iranshahr, and Kohnuj stations decreased significantly. In general, based on the results of the trend analysis of annual average values of PDSI, dust pollution in more than 50% of the study stations showed an increasing trend, and these changes were significant in the stations above. The average monthly values of PDSI showed that the pollution caused by local and extra-local dust events increased from March, reached the maximum value in June and July, and decreased from August. In contrast, the minimum dust pollution was in November and December. The results of the Mann-Kendall test for monthly PDSI showed that the most incremental changes in dust pollution occurred in June, January, and May, respectively, and these changes belonged to Kashan and Torbat-Heydarieh stations. The decreasing and significant changes in dust pollution in June and May have the highest frequency compared to other months of the year, and these changes were observed in Bam and Iranshahr stations. The seasonal average of PDSI values showed that the maximum dust pollution occurred in spring and summer, and its minimum occurred in autumn. The pollution caused by dust events on a seasonal scale has been significant incremental changes for Abadeh, Kashan, Semnan, Sirjan, Tabas, Torbat-Hydriya, and Yazd stations in spring, for Abadeh, Torbat-Hydriya, Anar, Kashan, and Sirjan stations in summer, for Kashan, Tabas and Torbat-Hydriya stations in autumn and for Abadeh, Sabzevar, Tabas and Torbat-Haidaryeh stations for winter. Meanwhile, significant decreasing changes have occurred for Bam station in all seasons as Jask and Iranshahr in spring, Iranshahr in summer, and Zahedan in winter.

4. Conclusions

The current research aims to evaluate the trend of dust pollution changes in the country's arid regions by PDSI. The results indicate an increase in dust events for 70% of the study stations during the period of 2000 to 2018, among which the trend changes were significant for 33% of the stations, including Semnan, Tabas, Torbat-Hydaria, Kashan, Sirjan, Abadeh, Yazd, Anar, and Sabzevar. In contrast, dust pollution significantly decreased in Bam, Iranshahr, and Kahnuj. The previous studies also reported the increasing trend of dust events in Central Iran, Khorramabad, Fars, and West Azarbaijan. Decrease in rainfall, increase in temperature, and, as a result, intensification of long-term droughts and decrease in vegetation cover can be the main factors for the increase in wind erosion and dust events in arid regions. In general, the findings of analyzing dust pollution in arid regions, as one of the areas that are affected by the dust phenomenon with

different frequencies and intensities over the year, can be used to identify sensitive areas and provide necessary measures to prevent and reduce adverse effects caused by dust events.

5. Acknowledgment & Funding

- This research was supported by the University of Jiroft under grant NO: 4812-00-3. The authors would like to thank the vice-chancellor of education and research in the university for his support and the meteorological organization of Iran for providing the required information on meteorological parameters.
- This work was supported by the University of Jiroft under grant NO: 4812-00-3.

6. Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.



تحلیل غبار آلودگی هوا در مناطق خشک با استفاده از یک شاخص مبتنی بر

رویدادهای محلی و فرامحلی

زهره ابراهیمی خوسفی^۱✉، محسن ابراهیمی خوسفی^۲، مریم میراکبری^۳

۱ - نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

۲ - گروه جغرافیا، پردیس علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران. Mohsen.ebrahimi@yazd.ac.ir

۳ - گروه مدیریت مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. maryammirakbari@ut.ac.ir

چکیده:

هدف: هدف اصلی پژوهش حاضر، تحلیل تغییرات زمانی کیفیت هوای این مناطق بر اساس شاخصی مبتنی بر هر دو نوع رویداد به نام شاخص آلودگی توفان گرد و غبار (PDSI) هست. **روش و داده:** در این مطالعه، از فراوانی رویدادهای محلی و فرامحلی برای محاسبه شاخص آلودگی توفان گرد و غبار و از آزمون من - کندال جهت ارزیابی روند تغییرات زمانی این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف استفاده شد. **یافته‌ها:** بیشترین غبار آلودگی هوا در دوره آماری مورد بررسی متعلق به شهرهای زاهدان، چابهار، نهبندان و یزد و کمترین غبار آلودگی در ایستگاه‌های بافت، شاهرود و شهر بابک بوده است. تغییرات افزایشی معنی‌داری برای اکثر ایستگاه‌ها در خردادماه به وقوع پیوسته است. در مقیاس فصلی، حداکثر و حداقل غبار آلودگی به ترتیب در فصل بهار و پاییز رخ داده است. روند افزایشی رخدادهای گرد و غبار در فصل بهار، و روند کاهش آن‌ها در فصل تابستان برای اغلب ایستگاه‌ها مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: یافته‌های حاصل از ارزیابی روند تغییرات رخدادهای گرد و غبار بر مبنای شاخص PDSI در مناطق خشک کشور به‌عنوان یکی از مناطقی که در طول سال تحت تأثیر پدیده گرد و غبار با فراوانی و شدت‌های مختلف قرار می‌گیرد، می‌تواند جهت شناسایی مناطق حساس و ارائه اقدامات لازم جهت جلوگیری و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از آلودگی‌های ایجاد شده توسط وقایع گرد و غبار به کار گرفته شود.

نوآوری، کاربرد نتایج: علاوه بر رویدادهای گرد و غبار محلی، رویدادهای فرامحلی نیز بر کیفیت هوای مناطق خشک تأثیر می‌گذارد. تجزیه و تحلیل تغییرات PDSI بر اساس هر دو نوع رویداد می‌تواند درک ما را از کیفیت هوا در این مناطق افزایش دهد. این مطالعه با هدف تحلیل تغییرات آلودگی هوا با استفاده از این شاخص انجام شده که تاکنون برای مناطق خشک انجام نشده است. این یافته‌ها می‌تواند به شناسایی مناطق با سطح آلودگی هوای بیشتر کمک کند و به راه‌حل‌های مؤثرتری برای بهبود کیفیت هوا در مناطق خشک منجر شود.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره: ۱۵

دوره: ۵۵

صفحه: ۱۱۶-۱۳۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۲

کلیدواژه‌ها:

- روند تغییرات
- غبار آلودگی
- من - کندال
- مناطق خشک

نحوه ارجاع به این مقاله:

ابراهیمی خوسفی، زهره، ابراهیمی خوسفی، محسن، میراکبری، مریم. (۱۴۰۳). تحلیل غبار آلودگی هوا در مناطق خشک با استفاده از یک شاخص مبتنی بر رویدادهای محلی و فرامحلی. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۵(۵۵): ۱۱۶-۱۳۱.

doi: 10.22034/JAR.GS.2023.425069.1071

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



© نویسنده(گان).

۱- مقدمه

وقوع توفان‌های گرد و غبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، سبب ایجاد نگرانی‌های زیادی در بخش‌های اقتصادی - اجتماعی، محیط‌زیست و سلامت انسان شده است (Boroughani et al., 2020). در این مناطق شرایط نامساعد محیطی متأثر از زمین‌شناسی و اقلیم در کنار فعالیت‌های انسانی زمینه را برای وقوع فرسایش بادی بسیار مساعد نموده است. به‌طوری‌که انتشار گرد و غبار از بارزترین نشانه‌های فرسایش بادی در این مناطق است که سبب اختلال در فعالیت‌های انسانی، کشاورزی و زیرساخت‌های اجتماعی - اقتصادی شده است. از تبعات اقتصادی - اجتماعی گرد و غبار، کاهش درآمد جوامع، افزایش بیکاری و مهاجرت، تعطیلی مراکز آموزشی، تخریب سرزمین، خسارت به بخش صنعت، حمل‌ونقل، کشاورزی و گردشگری هست. از عوامل تشدید ایجاد گرد و غبار در مناطق خشک و نیمه‌خشک شرایط اقلیمی خاص آن‌ها است که شامل تغییرات شدید فشار هوا، بارندگی و دما، و همچنین ویژگی‌های سطح زمین همانند فقر پوشش گیاهی، بافت و ترکیب خاک، توپوگرافی منطقه، وزش بادهای شدید و ناپایداری الگوی سینوپتیکی جو است. وزش بادهای شدید بر روی بیابان‌ها با خاک نرم و خشک و حرکت صعودی جریانات هوا موجب انتقال عمودی ذرات گردو خاک معلق به ترازهای بالاتر جو می‌شود. انتقال ذرات معلق توسط جریانات سطوح فوقانی جو به نقاط دورتر از عوامل اصلی در ایجاد پدیده گرد و غبار هستند (Kaskaoutis et al., 2007)؛ لذا توجه به پدیده گرد و غبار و آگاهی از تغییرات زمانی - مکانی آن در کشور ایران که بر روی کمربند خشک جهان واقع شده، از اهمیت زیادی برخوردار است.

رخدادهای گرد و غبار در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی بر روی محیط اثر می‌گذارند. این تأثیر در منطقه منشأ شامل فرسایش خاک و مواد آلی و در نتیجه کاهش حاصلخیزی است. در منطقه حمل، گرد و غبار به پوشش گیاهی آسیب رسانده و باعث اختلال در فرایندهای حیاتی گیاه می‌شود. بیشترین تأثیر وقایع گرد و غبار، کاهش دید افقی ناشی از افزایش غلظت گرد و غبار جو است. پایش و کنترل کیفیت ذرات گرد و غبار، در سطح وسیع و با روش‌هایی که از سرعت و دقت بیشتر و هزینه کمتری برخوردار باشند، از اهمیت فراوانی برخوردار است. روش‌های متعددی برای ارزیابی و پایش رخدادهای گرد و غبار وجود دارد که از دودسته داده‌های زمینی و ماهواره‌ای استفاده می‌کنند (Jafari et al., 2020). داده‌های زمینی شامل کدهای ساعتی گرد و غبار، دید افقی رخدادهای گرد و غبار هستند. همچنین مقادیر غلظت ذرات معلق جو (PM) به‌عنوان معیاری برای سنجش وقایع گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرد (Amarloei et al., 2014). شاخص‌ها و معیارهای متعددی برای بررسی رخدادهای گرد و غبار و آلودگی هوای ناشی از آن توسط محققین ارائه شده است که این شاخص‌ها عبارت‌اند از شاخص توفان گرد و غبار (DSI) (T. O'Loingsigh et al., 2014)، غلظت گرد و غبار (DC) (Shao et al., 2003)، شاخص آلودگی توفان گرد و غبار (PDSI) (Jebali et al., 2021)، فراوانی تعداد رخدادهای گرد و غبار و تعداد روزهای غبارآلود. شاخص‌های مذکور بر اساس داده‌های ساعتی مربوط به دید افقی و کد پدیده گرد و غبار که در ایستگاه‌های سینوپتیک ثبت می‌شود، محاسبه می‌شوند. در این میان، شاخص آلودگی توفان گرد و غبار (PDSI) به‌عنوان یکی از جدیدترین شاخص‌ها برای ارزیابی آلودگی حاصل از ذرات گرد و غبار موجود در جو ارائه شده است که صورت توسعه‌یافته شاخص توفان گرد و غبار (DSI) هست (Jebali et al., 2021).

پدیده گرد و غبار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل اصلی آلودگی هوا در ابعاد مختلف مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. به‌طوری‌که در این راستا مطالعات متعددی در مناطق مختلف جهان در زمینه مسائل مرتبط با بهره‌گیری از شاخص‌های مختلف معرف پدیده گرد و غبار انجام شده است که نتایج این مطالعات دستاوردهای متعددی داشته است. به‌عنوان نمونه، روند وقوع گرد و غبار فلات تبت در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ بررسی شده و گزارش شده که فراوانی رویداد گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه در این منطقه، از دهه ۱۹۷۰ روند کاهشی معنی‌داری داشته است که این کاهش همراه با کاهش سرعت باد و افزایش پوشش گیاهی در منطقه هست (Kang et al., 2015). تغییرات زمانی و مکانی عمق نوری ذرات معلق در چین طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ بررسی شده است. نتایج تحلیل روند تغییرات نشان داد میزان ذرات معلق در نواحی جنوبی چین در حال افزایش بوده، درحالی‌که برای مناطق شمالی روند کاهشی گزارش شده است (Qin et al., 2018). تغییرات زمانی و مکانی ذرات معلق جو در جنوب شرق ایران با استفاده از عمق اپتیکی اُتروسل‌ها مورد بررسی قرار گرفته و گزارش شده که سیر روند تغییرات AOD در برخی از ایستگاه‌ها کاهشی و در برخی دیگر افزایشی است (Mirakbari & Ebrahimi-Khusfi, 2020). در حوزه گاوخونی از داده‌های عمق اپتیکی اُتروسل‌ها و مدل گرد و غبار (NMMB/BSC) برای بررسی منشأ و نحوه گسترش مکانی غلظت بالای گرد و غبار و تحلیل هم‌مدیدی آن

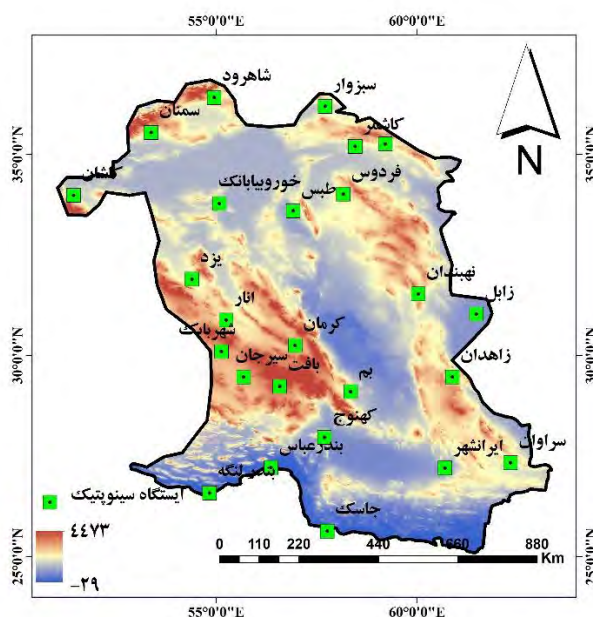
استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد منشأ وقوع گرد و غبار نواحی خوزستان، عراق، کویر مرکزی و بخش‌های کوچکی از مرکز حوضه و اطراف تالاب گاوخونی بوده است (Saeedifar et al., 2020). تغییرات زمانی بلندمدت وقایع توفان گرد و غبار در ۴۴ ایستگاه سینوپتیک کل کشور با استفاده از داده‌های فراوانی روزهای توفان گرد و غبار ارزیابی گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد حداکثر فراوانی روزهای توفان گرد و غبار در نواحی جنوب شرق و جنوبی کشور به ثبت رسیده است (Baghbanan et al., 2020). نتایج حاصل از ارزیابی وضعیت غبار آلودگی هوای استان فارس با استفاده از شاخص آلودگی توفان گرد و غبار (PDSI) نشان داد ایستگاه‌های لار و فسا دارای بالاترین شاخص غبار آلودگی هستند. همچنین روند تغییرات افزایشی معنی‌دار در ماه فروردین و روند کاهشی معنی‌دار در مهرماه در اکثر ایستگاه‌ها گزارش شده است (Ebrahimi-Khusfi & Ebrahimi). برخی پژوهشگران تغییرات وقایع گرد و غبار طی دوره بلندمدت (۲۰۰۱-۲۰۱۵) در مناطق جنوبی آسیا را با استفاده از مدل اقلیمی منطقه‌ای RegCM4 ارزیابی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد عمق اپتیکی آئروسول‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک به میزان ۱۷ درصد کاهش یافته است. این در حالی است که بارندگی در این مناطق روند افزایشی داشته است (Asutosh et al., 2021). Xi (۲۰۲۱) روند تغییرات اخیر وقایع گرد و غبار را با استفاده از دید افقی بررسی کرده است. نتایج حاصل از تحلیل روند تغییرات اخیر وقایع گرد و غبار با استفاده از میدان دید افقی نشان داد میانگین جهانی فراوانی وقایع گرد و غبار به میزان ۰/۰۲ درصد در سال طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۹ افزایش یافته است (Xi 2021). در یک مطالعه، پژوهشگران تأثیر تغییرات پارامترهای اقلیمی بارندگی، حداکثر سرعت باد، متوسط سرعت باد، حداکثر دمای سالانه و متوسط دمای سالانه بر توفان‌های گرد و غبار در ۲۵ ایستگاه سینوپتیک کشور بررسی کردند. نتایج نشان داد ضریب همبستگی برای پارامترهای سرعت باد و دما در بسیاری از ایستگاه‌ها بین ۰/۶ تا ۰/۹ و برای بارندگی بین ۰/۲- تا ۰/۶- متغیر است. همچنین روند همبستگی در بسیاری از ایستگاه‌ها هم‌راستا با روند تغییرات اقلیمی بوده است. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد پارامترهای سرعت باد و دما تأثیر بیشتری بر تغییرات فراوانی توفان‌های گرد و غبار داشته و بارندگی نیز تأثیر منفی بر افزایش گرد و غبار دارد (Modarres & Motavali Zadeh, 2022). نتایج حاصل از تحلیل تغییرات زمانی و مکانی تعداد روزهای گرد و غبار آذربایجان غربی طی دوره ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ نشان داد بیشترین وقایع گرد و غبار در فصل تابستان و بهار و ماه‌های مهر تا اسفند به وقوع پیوسته است. نتایج تحلیل روند نشان داد هیچ روند معناداری در مقادیر عمق اپتیکی آئروسول‌ها و فراوانی رخدادهای گرد و غبار وجود ندارد. همچنین رابطه معناداری میان عمق اپتیکی آئروسول‌ها و سرعت باد وجود دارد (Choubin et al., 2022).

بر اساس پیشینه پژوهش حاضر، مطالعات اندکی در زمینه ارزیابی وقایع گرد و غبار با استفاده از شاخص PDSI که یک شاخص مبتنی بر هر دو نوع رویداد محلی و فرامحلی گرد و غبار است، انجام شده است؛ لذا در این پژوهش سعی شده است که با بهره‌گیری از این شاخص به تحلیل غبار آلودگی هوا در اثر وقوع این رویدادها پرداخته شود. بر این اساس، هدف اصلی مطالعه حاضر تحلیل غبار آلودگی هوا در مناطق خشک بر مبنای شاخص PDSI است که در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

بخش وسیعی از مناطق خشک و مستعد تولید گرد و غبار ایران در فلات مرکزی واقع شده است که به‌عنوان منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر انتخاب شده است. ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در این منطقه با طول دوره مشترک آماری ۱۹ ساله (۱۳۷۹-۱۳۹۷)، است که پراکنش جغرافیایی آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است. متوسط پارامترهای بارندگی، دمای متوسط، سرعت باد، رطوبت نسبی طی دوره آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ در این مناطق بر اساس داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک موجود به ترتیب برابر با ۱۱۸ میلی‌متر، ۲۲ درجه سانتی‌گراد، ۳ متر بر ثانیه و ۳۸ درصد هست.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی در منطقه خشک ایران

۲-۲- روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر، داده‌های سه‌ساعته مربوط به رویدادهای فرامحلی با کد ۰۶ و محلی با کدهای ۰۷ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸ ثبت شده در ۲۷ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان‌های کرمان، یزد، زابل، زاهدان و اصفهان برای دوره آماری ۱۳۹۷-۱۳۷۹ است که از سازمان هواشناسی ایران اخذ گردید.

➤ شاخص آلودگی توفان گرد و غبار (PDSI)

در این مطالعه شاخص PDSI به منظور ارزیابی تغییرات زمانی رخداد‌های گرد و غبار در مناطق خشک کشور محاسبه شد. بدین منظور فراوانی کدهای گرد و غبار با منشأ داخلی (کدهای ۷ و ۸) و فراوانی رخداد‌های شدید، بر مبنای کدهای ۳۳ تا ۳۵ محاسبه خواهد شد. همچنین فراوانی وقایع توفان با شدت متوسط بر اساس فراوانی کدهای ۹، ۹۸، ۳۰ تا ۳۲ و ۶ محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از رابطه ارائه شده توسط Jebali و همکاران (۲۰۲۱) (رابطه ۱) میزان غبارآلودگی ناشی از وقایع فرسایش بادی برای هر ایستگاه به طور جداگانه محاسبه شد

$$PDSI = \sum_{i=1}^n (5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE) \quad (1) \text{ معادله}$$

در این رابطه، PDSI بیانگر شاخص آلودگی توفان گرد و غبار، SDS توفان‌های گرد و غبار شدید، MDS توفان‌های گرد و غبار متوسط و LDE وقایع گرد و غبار محلی است که این پارامترها بر اساس فراوانی کدهای ذکر شده در بالا و با در نظر گرفتن میدان‌های دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر برای رخداد‌های شدید، تا ۱۰ کیلومتر برای رخداد‌های با منشأ داخلی محاسبه می‌شود.

➤ ارزیابی روند تغییرات زمانی شاخص PDSI

جهت بررسی روند تغییرات سری‌های زمانی شاخص PDSI از آزمون من - کندال استفاده شد. آزمون من - کندال بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه داده شده است (Mann, 1945). این آزمون به عنوان یک روش ناپارامتری به طور گسترده‌ای در تحلیل روند تغییرات زمانی متغیرهای هواشناسی به کار گرفته شود (Srivastava and Saran, 2017). در این آزمون فرض صفر عدم وجود روند در سری زمانی داده‌ها بوده و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها هست. در روش من - کندال فرض بر این است که یک سری زمانی به صورت x_1, x_2, \dots, x_n وجود دارد. آماره آزمون من - کندال با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود که در این رابطه z و k مرتبه مشاهدات هستند و تابع علامت $sgn(x)$ به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j + x_k) \quad \text{معادله (۲)}$$

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad \text{معادله (۳)}$$

بر اساس این آزمون در صورت وجود اختلاف معنی‌داری S با صفر، سری زمانی دارای روند صعودی و یا نزولی خواهد بود و در غیر این صورت سری زمانی بدون روند است. برای آزمون معنی‌دار بودن روند، از متغیر Z نرمال استاندارد طبق رابطه (۴) استفاده می‌شود (Namdari et al., 2016).

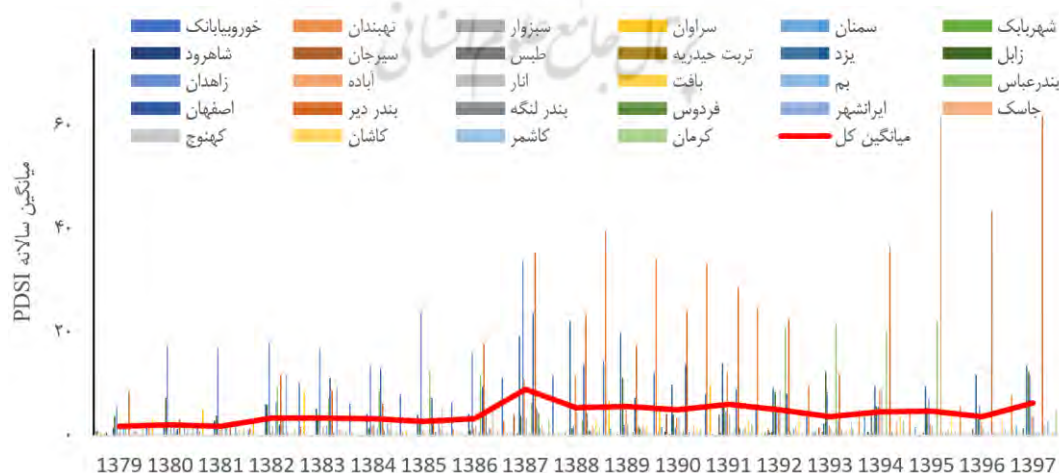
$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{var}(S))^{\frac{1}{2}}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{معادله (۴)}$$

$$\text{Var}(S) = \{n(n-1)(2n+5)\}$$

۳- یافته‌ها

۳-۱- روند تغییرات سری‌های زمانی سالانه PDSI

مقادیر متوسط شاخص غبار آلودگی توفان گرد و غبار در ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی طی دوره آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ در شکل (۲) نشان داده شده است. بر اساس متوسط شاخص PDSI، حداکثر غبار آلودگی در سال‌های ۱۳۸۷، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۱ به وقوع پیوسته است. بطوریکه سال ۱۳۸۷ تقریباً برای اکثریت ایستگاه‌ها فعالیت پدیده گرد و غبار به حداکثر مقدار رسیده است. به‌طور کلی میانگین شاخص PDSI در ایستگاه‌های مطالعاتی مناطق خشک بیانگر افزایش رخداد های گرد و غبار از سال ۱۳۸۷ تا انتهای دوره مطالعاتی (۱۳۹۷) هست که حداکثر مقدار رخدادها در سال ۱۳۸۷ بوده و از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ پدیده گرد و غبار در منطقه مطالعاتی فعالیت بیشتری نسبت سال‌های ماقبل (۱۳۷۹ تا ۱۳۸۶) داشته است. بر اساس مقادیر متوسط سالانه PDSI، حداکثر فعالیت گرد و غبار در بازه زمانی مورد بررسی متعلق به ایستگاه زاهدان با PDSI برابر با ۱۱/۴۴ و ایستگاه‌های چابهار، نهندان و یزد به ترتیب با مقادیر PDSI ۱۰/۷۸، ۹/۳۵ و ۹/۱۰ بوده است. این در حالی است که ایستگاه بافت با PDSI=۰/۰۴۴ حداقل غبار آلودگی و سپس ایستگاه‌های شاهرود، شهر بابک، سبزوار و تربت حیدریه کمترین میزان غبار آلودگی را در منطقه مطالعاتی داشته‌اند.



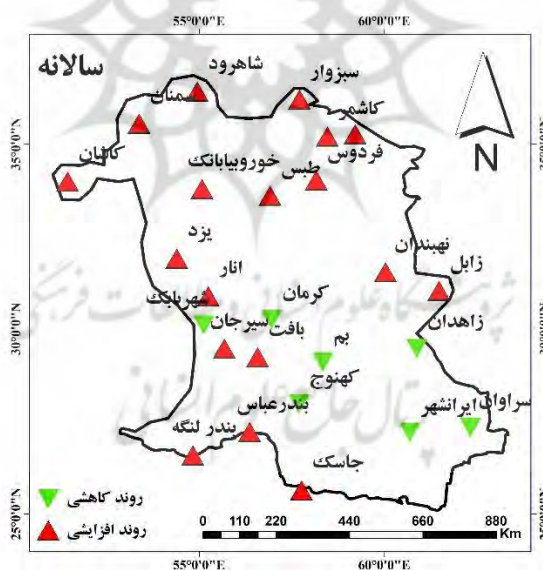
شکل ۲. مقادیر متوسط سالانه PDSI طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ در ایستگاه‌های مطالعاتی

مقادیر آماره آزمون من - کندال سری‌های زمانی PDSI در مقیاس سالانه در جدول (۱) ارائه شده است. نتایج ارزیابی تغییرات سالانه غبارآلودگی بر مبنای شاخص PDSI طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ نشان داد در ایستگاه‌های آباده، انار، یزد، کاشان، سمنان، سیرجان، طبس و تربت حیدریه و سبزوار روند تغییرات افزایشی و معنی‌دار ($Z > 1/96$) بوده است. این در حالی است که روند غبارآلودگی در ایستگاه‌های بم، ایرانشهر و کهنوج کاهش و معنی‌دار هست. به‌طور کلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی روند تغییرات مقادیر متوسط سالانه PDSI، غبارآلودگی در بیش از ۵۰ درصد ایستگاه‌های مطالعاتی روند افزایشی داشته که در ایستگاه‌های فوق‌الذکر این تغییرات معنادار بوده است (شکل ۳، جدول ۱).

جدول ۱. مقادیر آماره آزمون من - کندال برای سری‌های زمانی سالانه PDSI در ایستگاه‌های مطالعاتی

ایستگاه	آماره Z	ایستگاه	آماره Z	ایستگاه	آماره Z
آباده	**۲/۷۲	کاشان	**۳/۱	سیرجان	**۳/۰۲
انار	*۲/۱۶	کاشمر	۰/۹۱	طبس	**۳/۲۱
بم	**۲/۷۹	کرمان	-۰/۰۳۵	تربت حیدریه	**۳/۲۵
بندرعباس	۰/۴۱	خور و بیابانک	۰/۵۳	یزد	*۲/۲۳
بندر لنگه	۰/۶۲	سبزوار	۱/۹۵	زابل	۱/۳۹
اصفهان	-۰/۲۷	نهبندان	۱/۴۳	زاهدان	-۱/۳۹
فردوس	۰/۱۶	سراوان	-۱/۱۹	بافت	۰/۸۹
ایرانشهر	*-۲/۵۱	سمنان	**۳/۲۷		
جاسک	۱/۳۹	شهر بایک	۰/۷۵		
کهنوج	*-۲/۳۹	شاهرود	۰/۵۳		

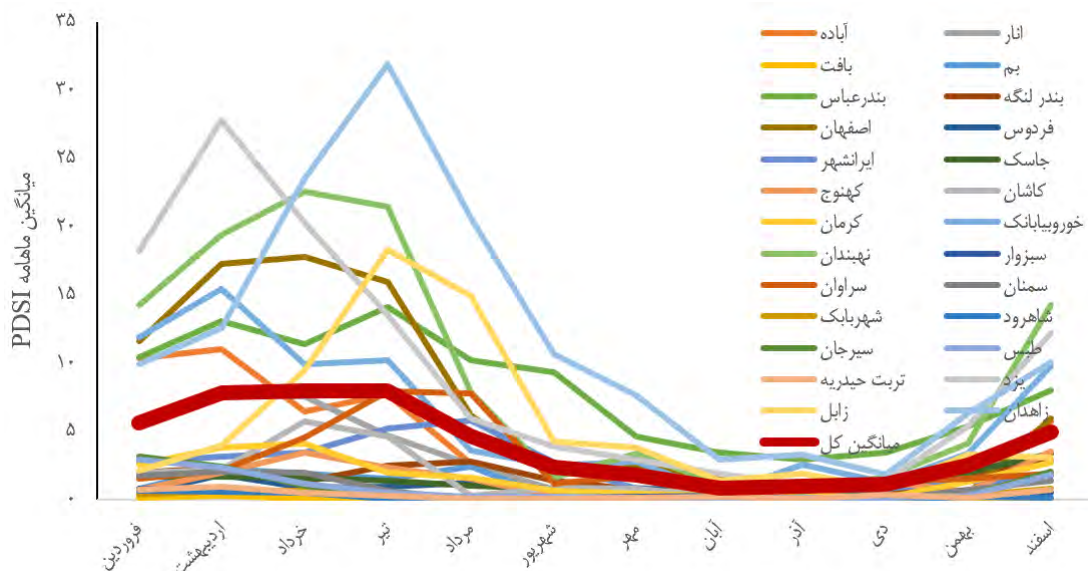
* و ** به ترتیب سطح معنی‌داری ۵٪ و ۱٪



شکل ۳. روند تغییرات سالانه شاخص غبارآلودگی توفان در ایستگاه‌های مطالعاتی واقع در مناطق خشک ایران طی دوره آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷

۳-۲- روند تغییرات سری‌های زمانی ماهانه PDSI

بر اساس مقادیر متوسط ماهیانه PDSI مشخص شد که آلودگی ناشی از رویدادهای محلی و فرامحلی گرد و غبار از ماه اسفند افزایش یافته، در خرداد و تیر به حداکثر مقدار رسیده است و از مرداد از شدت آن کاسته شده است. در مقابل، حداقل مقدار غبارآلودگی ناشی از رخدادهای فرسایش بادی با مقادیر PDSI برابر با ۰/۸۴ و ۰/۹۷ به ترتیب در ماه‌های آبان و آذر بوده است.



شکل ۴. مقادیر میانگین ماهانه PDSI طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ در ایستگاه‌های مطالعاتی

نتایج حاصل از تحلیل روند تغییرات ماهانه غبار آلودگی توسط آزمون من - کندال نشان داد در فروردین ماه روند افزایشی و معنی‌دار غبار آلودگی در ایستگاه‌های کاشان، سبزواری، سراوان، شیرجان، طیس و تربت حیدریه، و روند کاهشی معنادار در ایستگاه بم رخ داده است. در اردیبهشت ماه، افزایش معنی‌دار رخداد‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های کاشان، سبزواری، سمنان، طیس، تربت حیدریه، یزد و آباده و تغییرات کاهشی و معنادار این پدیده در ایستگاه‌های ایرانشهر، شاهرود و بم قابل مشاهده است. تغییرات افزایشی رویدادهای گرد و غبار در خرداد ماه برای ایستگاه‌های جاسک، کاشان، سبزواری و نهندان و تغییرات کاهشی معنادار در این ماه متعلق به ایستگاه‌های بم، ایرانشهر، کهنوج و سراوان بوده است. در تیرماه ایستگاه‌های انار، کاشان و تربت حیدریه افزایش معنادار فعالیت گرد و غبار را تجربه کرده‌اند. در مقابل ایستگاه‌های بم و ایرانشهر تغییرات کاهشی معنادار گرد و غبار را در این ماه تجربه کرده‌اند. در ماه‌های مرداد و شهریور برخلاف دیگر ماه‌ها روند تغییرات غبار آلودگی ناشی از فعالیت گرد و غبار بیشتر کاهشی بوده به طوری که این تغییرات در ایستگاه‌های بم، ایرانشهر، کهنوج و زاهدان قابل توجه بوده است. در این زمان افزایش معنادار رخداد‌های گرد و غبار در ایستگاه سبزواری، کاشان و تربت حیدریه مشاهده می‌شود. این در حالی است که در مهر، آبان، آذر، دی‌ماه تنها روند افزایشی رخداد‌های گرد و غبار متعلق به ایستگاه‌های کاشان، سبزواری، تربت حیدریه، آباده، بندرعباس، بندر لنگه، بوشهر و نهندان بوده است. در بهمن ماه روند افزایشی و کاهشی معنی‌دار غبار آلودگی به ترتیب در ایستگاه‌های انار، زابل، طیس و ایرانشهر رخ داده است. روند معنی‌دار افزایشی در اسفندماه برای ایستگاه‌های سبزواری و تربت حیدریه و روند کاهشی آن برای ایرانشهر و زاهدان قابل مشاهده است.

جدول ۲. مقادیر آماره آزمون من - کندال برای سری‌های زمانی ماهانه PDSI در ایستگاه‌های مطالعاتی

ماه	آباده	انار	بم	بندرعباس	بندر لنگه	اصفهان	فردوس
دی	*۲/۰۸	*۲/۰۸	-۰/۲۸	*۲/۲۵	*۲/۳۲	۱/۴۴	۱/۰۴
بهمن	+۱/۷۱	*۲/۳۶	-۱/۲۲	۱/۵۴	۱/۴۷	۱/۳۶	۱/۴۱
اسفند	۱/۶۳	۰/۳۵	-۱/۲۴	۱/۳۶	۰/۱۷	-۰/۲۴	-۰/۳۸
فروردین	۱/۴۱	۰/۵۲	*-۲/۴۴	۱/۴۳	۰/۳۸	-۰/۲۸	۰/۰۳۸
اردیبهشت	+۱/۸۶	۱/۴۳	*-۲/۶۹	۰/۷۳	۰/۹۷	۰	۰/۱۱
خرداد	۱/۳۰	۰/۹۵	** -۳/۳۸	-۰/۵۶	۰/۵۶	-۰/۲۸	-۰/۱۴
تیر	+۱/۷۶	*۲/۳۱	** -۳/۹۲	-۰/۱۳	+۱/۸۵	-۰/۷۳	۱/۴۶
مرداد	۱/۴۱	۰/۲۲	** -۲/۷۲	۰/۸۷	۰/۲۴	-۱/۲۶	-۱/۳۸
شهریور	+۱/۹۳	۱/۱۹	-۱/۰۵	۰	۰/۵۶	۰/۸۷	۰/۵۰
مهر	+۱/۶۹	۱/۵۸	۰	۱/۶۱	۱/۲۶	۰/۵۶	۱/۰۴
آبان	۰/۱۰	۰/۷۹	-۰/۳۴	۰	۰/۳۱	-۰/۷۳	-۰/۷۶
آذر	+۱/۹۳	۱/۳۰	-۱	۱/۱۵	۰/۰۷	-۰/۴۵	۰/۲۳

ادامه جدول ۲. مقادیر آماره آزمون من- کندال برای سری‌های زمانی ماهانه PDSI در ایستگاه‌های مطالعاتی

ماه	ایران‌شهر	جاسک	کهنوج	کاشان	کاشمر	کرمان	خور و بیابانک	سبزوار	نهبندان	سراوان
دی	*-۱/۹۱	۱/۱۹	-۰/۷۹	۱/۳۲	۱/۰۳	.	*۱/۹۰	۱/۱۰	*۲	-۰/۹۹
بهمن	*-۲	۰/۰۳۵	.	۰/۸۶	-۰/۰۵	-۰/۱۷	-۰/۷۴	۱/۳۳	-۰/۶۲	-۰/۹۱
اسفند	*-۲/۰۶	۰/۷۳	*-۱/۸۹	۱/۲۳	۰/۸۲	-۰/۰۷	۱/۰۳	*۲/۳۴	۰/۹۱	-۰/۴۱
فروردین	-۰/۵۲	۱/۴۶	۰/۰۸۵	*۲/۰۵	۱/۶۲	-۰/۲۱	-۰/۰۸۲	*۲/۰۳	۱/۶۳	+۱/۸۱
اردیبهشت	*-۲/۱۰	۱/۳۹	۰/۱۶	*۲/۱۳	۰/۷۷	-۰/۳۸	-۰/۸۶	+۱/۶۵	.	-۱/۱۱
خرداد	**۳/۲۲	*۱/۹۹	**۲/۵۹	**۲/۷۴	*-۱/۷۷	-۰/۰۷	-۰/۳۲	*۲/۰۳	*۲/۱۱	*-۲/۰۲
تیر	*-۲/۳۰	-۰/۹۴	-۱/۶۲	**۲/۶۸	۰/۰۵۵	۰/۱۰	-۰/۵۸	+۱/۷۴	.	-۰/۹۴
مرداد	*-۲/۶۹	۰/۵۹	-۰/۸۵	۰/۵۴	-۱/۳۶	-۰/۱۲	-۱/۰۲۹	*۲/۰۳	۰/۶۹	-۱/۰۸
شهریور	**۳/۴۳	-۰/۵۲	**۲/۹۰	*۲	-۰/۸۸	۰/۹۳	-۰/۴۵	۱/۴۵	۰/۰۳۶	.
مهر	*-۱/۸۸	.	-۰/۹۷	**۲/۱۲	-۰/۷۰	+۱/۹۱	۱/۴۳	*۲/۱۱	۱/۴۷	+۱/۷۴
آبان	-۰/۶۳	۰/۷۰	-۱/۴۹	*۲/۴	-۰/۰۴۵	-۱/۳۲	-۰/۹۲	+۱/۶۴	۱/۰۷	.
آذر	۰/۱۰	۰/۷۷	۰/۵۰	*۱/۸۳	۱/۱۲	.	-۰/۷۸	۰/۸۸	۱/۳۶	-۱/۱۹

ادامه جدول ۲. مقادیر آماره آزمون من- کندال برای سری‌های زمانی ماهانه PDSI در ایستگاه‌های مطالعاتی

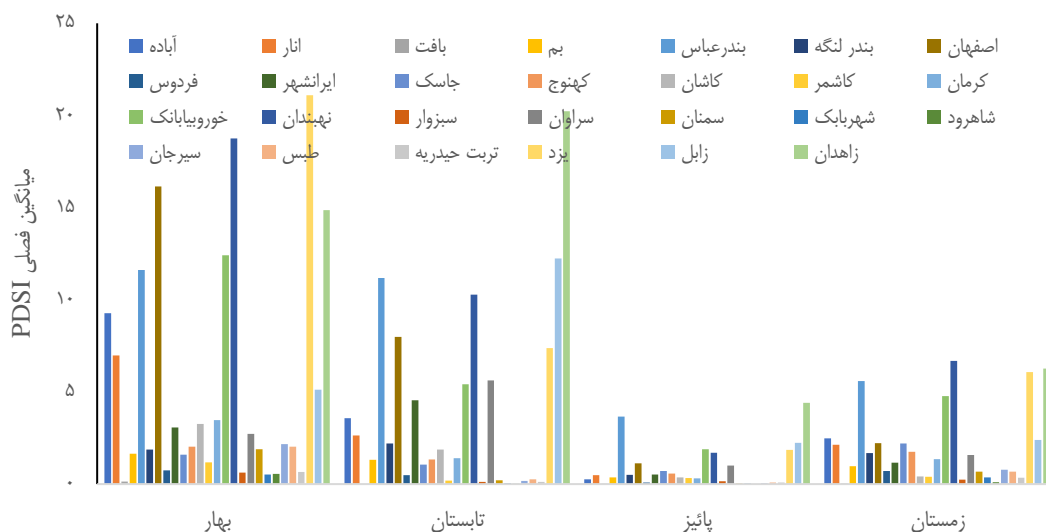
ماه	سمنان	شهر بابک	شاهرود	سیرجان	طیس	ترت حیدریه	یزد	زابل	زاهدان	بافت
دی	.	-۱/۲۶	.	۰/۷۷	۰/۶۲	۱/۷۱	۰/۱۰	۱/۱۵	۱/۱۱	۱
بهمن	۱	-۱/۵۳	-۰/۲۶	۰/۵۷	**۲/۷۶	-۰/۹۴	۰/۱۴	**۲/۷۶	-۰/۵۵	.
اسفند	۱/۲۵	-۰/۸۷	۱/۶۹	۰/۵۰	۰/۸۱	*۲/۰۸	۱/۴۰	-۰/۱۳	*-۲/۵۱	۱/۳۲
فروردین	۱/۳۷	۰/۷۶	۰/۲۹	**۲/۷۸	**۳/۰۶	**۳/۳۶	+۱/۸۸	۱/۴۷	-۱/۲۹	-۰/۲۲
اردیبهشت	*۲/۲۴	۰/۶۵	*-۲/۲۲	۲/۰۷	*۲/۱۸	**۲/۶۶	**۲/۷۹	-۱/۱۲	-۱/۱۱	.
خرداد	*۲/۲۲	-۱/۳۸	۰/۲۷	+۱/۶۶	*۲/۴۹	*۲/۳۵	۱/۵۰	-۱/۱۱	+۱/۶۷	-۰/۴۵
تیر	۱/۲۳	-۰/۵۰	-۰/۶۶	۱/۵۴	-۰/۲۳	*۲/۰۷	۰/۷۶	۰/۶۹	-۱/۳۲	۱
مرداد	.	-۱/۴۷	.	*۱/۷۹	-۰/۶۱	+۱/۷۲	۰/۳۵	-۱/۱۱	*-۲/۰۲	۱
شهریور	-۰/۰۶	-۰/۷۷	۰/۴۵	۱/۵۰	.	**۲/۷۷	۰/۴۹	-۰/۸۷	*-۲/۵۲	۱
مهر	۰/۵۳	+۱/۸۲	.	۰/۶۴	۰/۷۷	**۳/۰۹	۰/۵۹	۱/۱۵	۰/۰۷	۰/۸۲
آبان	.	-۰/۹۴	.	۰/۴۹	-۱/۲۷	۱/۵۴	-۰/۴۶	۱/۱۹	-۰/۲۴	۱
آذر	۰/۴۵	-۰/۵۷	.	۱/۲۴	-۱/۳۱	*۲/۳۷	-۱/۱۹	۰/۹۴	-۰/۸۷	-۰/۲۷

* و ** به ترتیب سطح معنی‌داری ۵٪ و ۱٪

۳-۳- روند تغییرات فصلی PDSI

مقادیر متوسط فصلی PDSI ایستگاه‌های مطالعاتی (شکل ۵ و ۶) نشان می‌دهد که در اکثر ایستگاه‌ها حداکثر میزان غبارآلودگی در فصل بهار و سپس تابستان، و حداقل آن در فصل پاییز رخ داده است. حداکثر تغییرات غبارآلودگی فصل بهار در ایستگاه یزد و بین ۲/۷۳ تا ۵۶/۸۱ متغیر بوده است. غبارآلودگی ناشی از فعالیت رخدادهای گرد و غبار تابستانه در ایستگاه‌های زاهدان به حداکثر مقدار رسیده و مقدار PDSI بین ۱/۳۳ تا ۶۸/۹۳ تغییر کرده است. این در حالی است که بر اساس میانگین فصلی PDSI در فصل پاییز میزان غبارآلودگی در ایستگاه شاهرود برابر با صفر (PDSI=۰) بوده است. بعد از ایستگاه شاهرود، حداقل میزان غبارآلودگی فصل پاییز در ایستگاه بافت با میانگین PDSI=۰/۰۰۲۶ به وقوع پیوسته است (جدول ۳).

غبارآلودگی ناشی از فعالیت پدیده گرد و غبار در مقیاس فصلی برای ایستگاه‌های آباد، کاشان، سمنان، سیرجان، طیس، تربت‌حیدریه و یزد در فصل بهار، ایستگاه‌های آباد، تربت‌حیدریه، انار، کاشان، و سیرجان در فصل تابستان، ایستگاه‌های کاشان، طیس و تربت‌حیدریه در پاییز و در زمستان در ایستگاه‌های آباد، سبزوار، طیس و تربت‌حیدریه تغییرات افزایشی معنادار داشته است. این در حالی است که تغییرات کاهش معنادار برای ایستگاه بم در تمامی فصول، برای جاسک و ایران‌شهر در فصل بهار، ایران‌شهر در تابستان، و زاهدان در فصل زمستان رخ داده است.

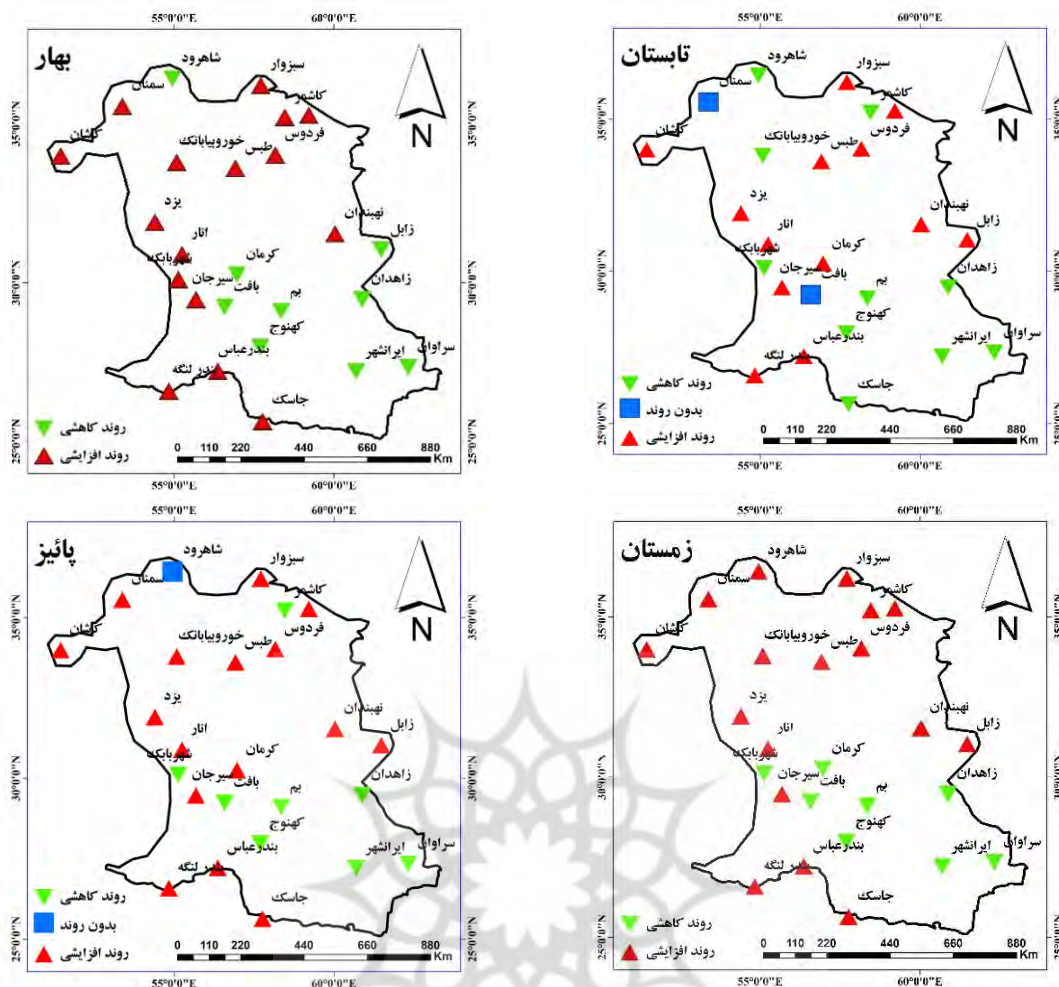


شکل ۵. مقادیر میانگین فصلی PDSI طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ در ایستگاه‌های مطالعاتی

جدول ۳. مقادیر آماره آزمون من - کندال برای سری‌های زمانی فصلی PDSI در ایستگاه‌های مطالعاتی

ایستگاه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
آباده	*۲/۰۹	**۲/۶۷	۱/۴۴	**۲/۵۹
انار	۰/۷۶	*۱/۹۳	۱/۴۸	۰/۷۳
بم	**۴/۰۲	**۳/۳۴	-۰/۷۷	*-۱/۹۷
بندرعباس	۰/۴۸	-۰/۵۵	۰/۸۳	۱/۵۳
بندر لنگه	۰/۷۶	۱/۱۸	۰/۶۶	-۰/۸۳
اصفهان	-۰/۴۵	-۰/۹۸	۰	-۰/۵۶
فردوس	۰/۴۲	۰/۸۰	۰/۴۴	-۰/۱۹
ایرانشهر	*-۲/۴۴	**۲/۸۳	-۰/۹۸	-۰/۳۴
جاسک	*-۲/۴۸	-۰/۴۸	۰/۶۶	-۰/۳۴
کهنوج	-۱/۹۴	-۱/۴۴	-۱/۶۷	-۱/۴۰
کاشان	**۲/۹۹	*۲/۵۴	**۳/۵۴	۱/۵۶
کاشمر	۰/۸۷	-۱/۰۹	-۰/۳۲	۱/۲۰
کرمان	-۰/۲۰	-۰/۴۵	۰/۲۴	-۰/۴۲
خور و بیابانک	۰/۴۵	-۰/۳۲	۱/۱۵	-۰/۷۸
سبزوار	۱/۶۷	۱/۶۰	۱/۷۵	*۲/۳۷
نهبندان	۱/۲۶	-۰/۴۲	۱/۵۱	-۰/۴۵
سراوان	-۱/۳۱	-۱/۹۳	-۰/۸۳	-۰/۶۶
سمنان	**۲/۹۲	۰	۰/۰۹	-۰/۸۹
شهریابک	۰/۴۱	-۰/۹۴	-۰/۰۴	-۰/۹۸
شاهرود	-۱/۰۱	-۱/۲۸	۰	-۰/۵۶
سیرجان	**۲/۷۰	**۲/۸۶	۱/۲۸	-۰/۵۴
طیس	**۳/۴۶	۱/۲۹	*۲/۰۷	**۲/۹۶
تربت حیدریه	**۲/۹۱	**۲/۸۲	**۲/۸۹	*۲/۵۴
یزد	*۲/۵	۱/۱۱	۰/۵۲	۱/۱۸
زابل	-۰/۵۲	۱/۷۸	۰/۸۳	۱/۸۲
زاهدان	-۱/۱۲	-۱/۴۷	-۰/۴۹	*-۲/۳۴
بافت	-۰/۰۸	۰	-۰/۷۷	-۰/۱۳

* و ** به ترتیب سطح معنی‌داری ۵٪ و ۱٪



شکل ۶. روند تغییرات فصلی شاخص غبارآلودگی توفان در ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷

۴- بحث و نتیجه‌گیری

پدیده گرد و غبار یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که در دهه‌های اخیر، جنبه‌های مختلف زندگی انسان را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تحت تأثیر قرار داده است؛ لذا ارزیابی روند تغییرات زمانی این پدیده در این مناطق ضروری است. در پژوهش حاضر، نتایج حاصل از تحلیل روند تغییرات شاخص غبارآلودگی توفان در مقیاس زمانی ماهانه نشان داد در ماه‌های خرداد، دی و اردیبهشت به ترتیب بیشترین تغییرات افزایشی غبارآلودگی رخ داده است که این تغییرات متعلق به ایستگاه‌های کاشان و تربت‌حیدریه بوده است. همچنین تغییرات کاهشی و معنادار غبارآلودگی در خرداد و اردیبهشت‌ماه بیشترین فراوانی را نسبت به دیگر ماه‌های سال داشته است که این تغییرات در ایستگاه‌های بم و ایرانشهر مشاهده شد. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج برخی مطالعات گذشته همخوانی دارد (Jafari et al., 2018; Ghavidel et al., 2018). ارزیابی روند تغییرات فصلی نشان داد در فصل بهار روند تغییرات رویدادهای گرد و غبار در اکثر ایستگاه‌های مطالعاتی افزایشی بوده که در این میان افزایش غبارآلودگی در ایستگاه‌های طبس، کاشان، سمنان، تربت‌حیدریه، سیرجان، یزد، آباده و جاسک تغییرات معناداری داشته است. بعد از فصل بهار، افزایش گرد و غبار در فصل تابستان و زمستان از فراوانی بالاتری نسبت به پائیز برخوردار بوده است. در این فصول ساکنین شهرستان‌های طبس، تربت‌حیدریه، آباده، سیرجان، کاشان و سبزوار تغییرات معنی‌دار افزایشی را تجربه کرده‌اند. از دلایل افزایش تعداد رخداد‌های گرد و غبار در فصل بهار و تابستان این است که استقرار سامانه‌های ناپایدار جو در فصل بهار شرایط را برای ایجاد وزش باد و تولید گرد و غبار فراهم می‌کند. همچنین گرم شدن سطح زمین در فصل بهار و تابستان سیستم کم‌فشار حرارتی ایجاد کرده که سبب حرکت جریانات باد از اطراف به سمت منطقه خواهد شد. این عوامل سبب شده وقوع روزهای همراه با گرد و غبار در بهار و تابستان نسبت به دیگر ایام سال بیشتر شود. در حالی که در شرایط دمای پایین به علت ساکن شدن دستگاه‌های فشار زیاد و

ثابت بودن آن‌ها در منطقه، فراوانی غبار آلودگی ناشی از فرسایش خاک به حداقل می‌رسد (Omidvar and Omid, 2013; Zarasvandi et al., 2011). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل روند تغییرات مقادیر متوسط سالانه شاخص غبار آلودگی توفان، افزایش وقایع گرد و غبار برای ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مطالعاتی طی دوره آماری ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷ به اثبات رسید که در این میان، روند تغییرات برای ۳۳ درصد از ایستگاه‌ها که شامل سمنان، طیس، تربت‌حیدریه، کاشان، سیرجان، آباد، یزد، انار و سبزوار هست، معنی‌دار بوده است. در مقابل، فعالیت پدیده گرد و غبار طی دوره آماری مورد بررسی تنها در ایستگاه‌های بم، ابرانشهر و کهنوج روند کاهشی معناداری داشته است. روند افزایشی گرد و غبار بر طبق شاخص PDSI در اکثر ایستگاه‌های استان فارس گزارش شده است (Ebrahimi-Khusfi & Ebrahimi, 2021). این نتایج و یافته‌های پژوهش حاضر بیانگر افزایش غبار آلودگی و کاهش کیفیت هوای اکثر مناطق کشور در دهه‌های اخیر است. کاهش بارندگی، افزایش دما و به‌تبع آن تشدید خشک‌سالی‌های طولانی‌مدت و کاهش پوشش گیاهی می‌تواند از عوامل اصلی افزایش فرسایش بادی و وقوع پدیده گرد و غبار در مناطق خشک کشور باشد. به طوری که در مطالعات متعددی تأثیر معنی‌دار کاهش بارندگی و افزایش دمای هوا بر افزایش رخداد‌های گرد و غبار در سطح کشور تأیید شده است (Bahrami et al., 2013; Broomandi et al., 2017; Naeimi et al., 2022; Broughani et al., 2022). به‌طور کلی یافته‌های حاصل از ارزیابی روند تغییرات رخداد‌های گرد و غبار بر مبنای شاخص PDSI در مناطق خشک کشور به‌عنوان یکی از مناطقی که در طول سال تحت تأثیر پدیده گرد و غبار با فراوانی و شدت‌های مختلف قرار می‌گیرد، می‌تواند جهت شناسایی مناطق حساس و ارائه اقدامات لازم جهت جلوگیری و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از آلودگی‌های ایجاد شده توسط وقایع گرد و غبار به کار گرفته شود.

۵- سپاس‌گزاری

پژوهش حاضر مستخرج از طرح پژوهشی به شماره ۳-۰۰-۴۸۱۲ است که با حمایت مالی دانشگاه جیرفت انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان از معاونت آموزشی و پژوهشی این دانشگاه قدردانی می‌کنند.

۶- فهرست منابع

- ابراهیمی خوسفی، زهره و ابراهیمی خوسفی، محسن. (۱۴۰۰). تحلیل زمانی و مکانی غبار آلودگی ناشی از رخداد‌های فرسایش بادی در استان فارس. پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۳(۴۳)، ۱۷۹-۱۶۰. 160-179. 20.1001.1.22517812.1400.11.3.5.7. ۱۶۰-۱۷۹.
- امیدوار، کمال و امید زهرا. (۱۳۹۲). تحلیل پدیده گرد و غبار در جنوب و مرکز استان فارس. کاوش‌های جغرافیایی مناطق خشک، ۱(۱)، ۱۱۴-۸۵. 20.1001.1.2345332.1392.1.1.4. ۸۵-۱۱۴.
- بروغنی، مهدی. (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات و همبستگی تعداد وقوع گرد و غبار در ایران. تحقیقات کاربردی خاک، ۱۰(۱)، ۸۱-۶۹. https://asr.urmia.ac.ir/article_121197.html
- بهرامی، حسین‌علی، جلالی، محبوبه، درویشی بلورانی، علی و عزیزی، رسول. (۱۳۹۲). مدل‌سازی مکانی-زمانی وقوع توفان‌های گرد و غبار در استان خوزستان. سنجش/از دور و GIS/ایران، ۵(۳)، ۹۵-۱۱۴. https://gisj.sbu.ac.ir/article_95627.html
- جعفری، مهدی، زهتابیان، غلامرضا، احمدی، حسن، مصباح زاده، طیب، نوروزی، علی اکبر. (۱۳۹۹). آشکارسازی و مسیریابی رخداد‌های گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور و مدل عددی در استان اصفهان. علوم محیطی، ۱، ۱۱۶-۱۰۵. <https://doi.org/10.29252/envs.18.1.105>
- چوبین، بهرام، ساجدی حسینی، فرزانه، رحمتی، امید، مهدیزاده یوشانلوئی، منصور، جلالی، محمد. (۱۴۰۱). بررسی تغییرات زمانی و مکانی تعداد روزهای رخداد گرد و غبار در استان آذربایجان غربی، تعیین عوامل اثرگذار و شناسایی منشاء. مدیریت بیابان، ۱۰(۲)، 10.22034/jdmal.2022.550729.1378
- عمارلوئی، علی، جنیدی جعفری، احمد، اصیلان، حسن، اسدالهی، خیراله. (۱۳۹۳). ارزیابی غلظت PM10، PM2.5 و PM1 طی توفان‌های گرد و غبار در شهر ایلام طی سال ۹۲-۹۱. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، ۲۲(۴)، ۲۵۹-۲۴۰. <https://doi.org/10.29252/jgs.18.51.87>
- قوبل رحیمی، یوسف، فرج زاده، منوچهر، لشنی زند، اسماعیل. (۱۳۹۷). تحلیل تغییرات زمانی توفان‌های گرد و غباری خرم‌آباد، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۸(۵۱)، ۸۷-۱۰۲. 10.29252/jgs.18.51.87

- سعیدی فر، زهرا، خسروشاهی، محمد، گوهردوست، آزاده، ابراهیمی خوسفی، زهره، لطفی‌نسب، سکینه، درگاهیان، فاطمه. (۱۳۹۹). بررسی منشا و نحوه گسترش مکانی غلظت‌های بالای گرد و غبار و تحلیل همبندی آن در حوزه گاوخونی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۱(۴)، ۶۴-۴۷.
- متولی زاده، معین و مدرس، رضا. (۱۴۰۰) فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در ارتباط با تغییرات اقلیمی در منطقه خشک ایران. *علوم آب و خاک*، ۲۵(۴)، ۲۳۹-۲۵۲. 10.47176/jwss.25.4.43231.
- میراکبری، مریم و ابراهیمی خوسفی، زهره. (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی ذرات معلق جو با استفاده از شاخص عمق اپتیکی آئروسول‌ها در جنوب شرقی ایران. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۱(۳)، ۱۰۵-۸۷. 10.30495/girs.2020.674954.
- نعیمی، مریم، میراکبری، مریم، خسروشاهی، محمد، زندی‌فر، سمیرا و قاسمی آریان، یاسر. (۱۴۰۰). تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر فراوانی رخداد‌های گرد و غبار. مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۱۰(۳۳)، ۷۸-۶۵. 10.22052/deej.2021.10.33.41.
- ولی، عباسعلی و روستایی، فاطمه. (۱۳۹۶). بررسی روند فرسایش بادی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص طوفان گرد و غبار در پنجاه سال اخیر. *مجله علوم آب و خاک*، ۱(۴)، ۲۰۰-۱۸۹. 20.1001.1.24763594.1396.21.4.18.6.

References

- Amarloei, A., jonidi jafari, A., asilian mohabadi, H., & asadollahi, K. (2014). The evaluation of PM10, PM2.5 and PM1 concentration during dust storm events in Ilam city, from Mar 2013 through Feb 2014. *Journal of Ilam university of medical science*, 22 (4), 240-259. <http://sjimu.medilam.ac.ir/article-1-2137-en.html>. [In Persian].
- Asutosh, A., Pandey, S.K., Vinoj, V., Ramisetty, R., & Mittal, N. (2021). Assessment of Recent Changes in Dust over South Asia Using RegCM4 Regional Climate Model. *Remote Sensing*, 13(21), 4309. <https://doi.org/10.3390/rs13214309>.
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2020). Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 132(6), 885-898. <https://doi.org/10.1007/s00703-020-00728-3>.
- Bahrami, H., Jalali, M., Darvishi Bouloorani, A. & Azizi, R. (2013). Spatial- Temporal modeling of dust storm occurrence in Khuzestan province. *Iranian Journal Remote Sensing and GIS*, 5(2), 951-14. [In Persian].
- Boroughani, M., Pourhashemi, S., Hashemi, H., Salehi, M., Amirahmadi, A., Zanganeh Asadi, M.A., & Berndtsson, R. (2020). Application of remote sensing techniques and machine learning algorithm in dust source detection and dust source susceptibility mapping. *Ecological Informatics*, 56(2020):101059.
- Boroughani, M. (2022). Investigating the trend of changes and correlation between the occurrence of dust in Iran. *Applied soil research*, 10(1), 69-81. [In Persian].
- Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., & Rashidi, Y. 2017. Identification of dust storm origin in South- West of Iran. *Environmental Health Science and Engineering*, 15(16), 1-1. 10.1186/s40201-017-0280-4.
- Choubin, B., Sajedi Hosseini, F., Rahmati, O., Mehdizadeh Youshanloei, M., & Jalali, M. (2022). Temporal and spatial variations of dust days in western Azarbaijan province, determination of the influencing factors and source of events. *Desert Management*, 10(22), 71-86. 10.22034/jdmal.2022.550729.1378. [In Persian].
- Ebrahimi-Khusfi, Z., & Ebrahimi-Khusfi, M. (2021). Temporal and spatial analysis of dust pollution caused by wind erosion events in Fars province. *Environmental Erosion Research Journal*, 11 (3), 160-179. 20.1001.1.22517812.1400.11.3.5.7. [In Persian].
- Ghavidel rahimi, Y., Farajzadeh, M., & Lashani Zand, E. (2018). The temporal analysis of dust storms in Khoramabad synoptic Sstation. *Applied researches in Geographical Science*, 18 (51), 87-102. 10.29252/jgs.18.51.87. [In Persian].
- Jafari, M., Zehtabian, Gh., Ahmadi, H., Mesbahzadeh, T., & Nourozi, A. (2020). Detecting and routing of dust event using remote sensing and numerical modeling in Isfahan Province. *Environmental Science*, 1(18), 105-116. <https://doi.org/10.29252/envs.18.1.105>. [In Persian].
- Jebali, A., Zare, M., Ekhtesasi, M. R., & Jafari, R. (2021). Detection of areas prone to wind erosion and air pollution using DSI and PDSI indices. *Natural Hazards*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04728-3>.

- Kang, L., Huang, J., Chen, S., & Wang, X. (2015). Long-term trends of dust events over Tibetan Plateau during 1961-2010. *Atmospheric Environment*, 125(2016), 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.10.085>.
- Kaskaoutis, D.G., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H.D., & Nastos, P.T. (2007). Aerosol climatology and Discrimination of different types over Athens, Greece based on MODIS data. *Atmospheric Environment*, 41, 7315-7329.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend, *Econometrica. Journal of the econometric society*, 245-259.
- Mirakbari, M., & Ebrahimi-Khusfi, Z. (2020). Investigation of spatial and temporal changes in atmospheric aerosol using aerosol optical depth in southeastern Iran. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(3), 87-105. 10.30495/girs.2020.674954. **[In Persian]**.
- Motavallizadeh, M., & modarres, R. (2022). Dust storm frequency in connection with climatic change in the arid region of Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 25 (4), 239-252. 10.47176/jwss.25.4.43231. **[In Persian]**.
- Modarres, R. (2008). Regional maximum wind speed frequency analysis for the arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72, 1329-42. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.12.010>.
- Naeimi, M., Mirakbari, M., Khosroshahi, M., Zandifar, S., & Ghasemi Aryan, Y. (2022). Analyzing the effect of climate change on dust events, case study: Khorasan Razavi. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(33), 65-78. 10.22052/deej.2021.10.33.41. **[In Persian]**.
- Namdari, S., Valizade, K., Rasuly, A., & Sarraf, B.S. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), 191. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2029-7>.
- Omidvar, K., & Omid, Z. (2013). The analysis of dust phenomenon in the southern and central Fars province. *Geographical research on desert areas*, 1(1), 85-114. 20.1001.1.2345332.1392.1.1.4.0. **[In Persian]**.
- O'Loingsigh, T., McTainsh, G., Tews, E., Strong, C., Leys, J., Shinkfield, P., & Tapper, N. (2014). The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2013.10.004>.
- Saeedifar, Z., Khosro Shahi, M., Gohardust, A., Ebrahimi Khusfi, Z., Lotfi Nasab Asl, S., & Dargahian, F. (2020). Investigation of the origin and spatial distribution of high dust concentrations and its synoptical analysis in Gavkhooni basin. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(4), 47-64. **[In Persian]**.
- Shao, Y., Yang, J., Wang, Z., Song, L. M., Leslie, C., Dong, Z., Zhang, Z., Lin, Y., Kanai, & Yabuki. S. (2003). Northeast Asian dust storms: Real time numerical prediction and validation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108 (D22). <https://doi.org/10.1029/2003JD003667>.
- Srivastava, A., & Saran, S. (2017). Comprehensive study on AOD trends over the Indian subcontinent: a statistical approach. *International Journal of Remote Sensing*, 38(18), 5127-5149. <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1323284>.
- Qin, W., Liu Y., Wang, L., Lin, A., Xia, X., Che, H., Bilal, M., & Zhang, M. (2018). Characteristic and driving factors of aerosol optical depth over mainland China during 1980–2017. *Remote Sensing*, 10(7), 1064. <https://doi.org/10.3390/rs10071064>.
- Vali, A., & F. Roustaei., (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. 20.1001.1.24763594.1396.21.4.18.6. **[In Persian]**.
- WMO (1974) Manual on codes. International codes.
- Xi, X. (2021). Revisiting the Recent Dust Trends and Climate Drivers Using Horizontal Visibility and Present Weather Observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126 (9), <https://doi.org/10.1029/2021JD034687>.
- Zarasvandi, A., Carranza, E. J. M., Moore, F., & Rastmanesh, F. (2011). Spatio-temporal Occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration*, 11(3), 18-151. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.04.004>.