Analysis of the spatial and temporal changes of the dust aerosols optical depth across different regions of Kerman province in the last 23 years

Zohre Ebrahimi-Khusfi [a,*], **Abolfazl Ranjbar** [b]
[a]*Associate professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran.*
[b]*Professor, Department of Desert Management and its control, Faculty of Natural Resources and Geo-science, University of Kashan, Iran.*

Research Full Paper
Article History (Received: 2024/01/14 Accepted: 2024/09/16)

Extended abstract

1- Introduction

Dust aerosols have adverse effects on public health, air quality, and the environment; therefore, continuous monitoring of their spatio-temporal changes in different regions, especially arid and semi-arid regions, is very important. Considering the vast spatial extent of Kerman province, the inappropriate distribution of air pollutant measurement stations, a number of synoptic stations, as well as the large area of the province and the different climatic and biological diversity; the use of remote sensing techniques and especially the use of Aerosol optical depth (AOD) index of the MODIS sensor can be one of the appropriate tools to analyze and investigate the trend of temporal changes and the pattern of spatial distribution of dust particles in different regions of this province. This study has been carried out with the main purpose of analyzing the changes in dust aerosols based on the average monthly, seasonal and annual values of aerosol optical depth in different regions of Kerman province during the period from 2000 to 2022, so that while knowing the state of these changes, the high-risk areas of dust production in recent decades should also be identified.

2-Methodology

In the present study, the MODIS sensor aerosol optical depth index product (MCD19A2) was used to analyze the trend of changes in dust aerosols in different regions of Kerman province. In order to validate this product, the average daily horizontal visibility recorded on the days of dust events was used. The data related to the MCD19A2 satellite product was downloaded through programming in the Google Earth Engine environment for different cities of Kerman province in the period from 2000 to 2022. After filtering the dusty days (AOD>0.5), the average values of the mentioned index on monthly, seasonal and annual time scales were calculated separately for each region. The Mann-Kendall test was then used to analyze the temporal changes of the optical depth of dust aerosols in different regions of Kerman province.

3- Results

Based on the spatial distribution pattern of the air quality, it was found that the air quality of the eastern half in March and April was lower than other areas of the province, while in the central areas, the air pollution was less and the air quality was more favorable. The results of the Mann-Kendall test showed that in June and December, the trend of changes in the dust aerosols optical depth in more than two thirds of Kerman province had a non-significant decrease (Z>-1.96). This is why in November and May, half of the province and in other months more than two-thirds of the province have experienced incremental changes over the last 23 years. The pattern of long-term average spatial changes of the optical depth of

* **Corresponding Author:** Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

aerosols on a seasonal scale showed that Kerman province was more affected by aerosols in the spring and summer seasons. Maximum dust pollution has occurred from Raver to Rigan, Jiroft to Manojan, Sirjan and Anar cities. The mentioned areas in the cold seasons of the year have also experienced the worst conditions in terms of the presence of aerosols, but their concentration has been significantly lower compared to the warm seasons of the year. The results of the Mann-Kendall test showed that 75% of the cities of Kerman province have faced an increasing-insignificant trend of spring dust events, which has led to an increase in the concentration of aerosols. In summer, these changes were increased in more than 95% of the province's regions, and the most changes were observed in Anar, Baft, Fahraj, Kohnouj, Kohbanan, Orzuiyeh and Rafsanjan. Although in the fall season, about 25% of the regions of the province had a decreasing trend and about 4% had no particular trend, but in more than 70% of the regions of Kerman province, the trend of changes in dust aerosols was an increase, and among the regions with a positive trend, the cities Baft and Jiraft had the worst conditions (Z>1.96). The remarkable result is the rising trend of dust and dust aerosols in all regions of Kerman province during winter, particularly in the cities of Anar, Anbarabad, Baft, Faryab, Ghaleganj, Manojan and Rabor. Although Anbarabad, Baft, Orzuiyeh, Shahrbabak and Sirjan exhibit a stronger annual increase compared to other areas, the rise in AOD changes is evident throughout the province. This 23-year trend indicates that Kerman has not experienced favorable conditions, highlighting the increasing frequency of dust events in this desert region.

4- Discussion & Conclusions

Based on the findings of the analysis of the temporal changes of dust aerosols; the western cities of the province have become more sensitive to the phenomenon of wind erosion compared to the past. This can be a serious threat to the residents of these areas. On the other hand, the increasing trend in the southern and eastern regions highlights the intensification of dust events, contributing to the decline in air quality in the province over recent decades. Considering the intensification of the phenomenon of wind erosion and dust storms in many areas of Kerman province, it is necessary to control this phenomenon in order to increase the health security of the residents of the affected areas. Although the awareness of the spatial and temporal changes of dust aerosols has led to an increase in our understanding of the phenomenon of wind and dust erosion in the province, but in order to prevent, control and reduce the risks caused by the occurrence of this destructive environmental phenomenon, it is necessary to identify the main driving factors of these changes that are suggested to be investigated separately for each city in future researches.

Key Words: MODIS sensor, Dust pollution, Wind erosion, Mann-Kendall, Arid regions.

Cite this article: Ebrahimi-Khusfi, Zohre., & Ranjbar, Abolfazl. (2024). Analysis of the spatial and temporal changes of the dust aerosols optical depth across different regions of Kerman province in the last 23 years . *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2024; 14 (3) :102-122*. http//doi.org/

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

تحلیل تغییرات مکانی و زمانی عمق اپتیکی هواویزهای غبار مناطق مختلف استان کرمان در ۲۳ سال گذشته

زهره ابراهیمی خوسفی*: *دانشیار بیابان زدایی، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت*
ابوالفضل رنجبر: *استاد گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۲۶)
DOI: http//doi.org/

چکیده

هواویزهای غبار اثرات نامطلوبی بر سلامت عموم، کیفیت هوا و محیط‌زیست دارند و پایش مستمر تغییرات زمانی-مکانی آن‌ها در مناطق مختلف به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک حائز اهمیت زیادی است. بر این اساس، پژوهش حاضر باهدف تحلیل مکانی و زمانی هواویزهای غبار در استان کرمان انجام شد. پس از اعتبارسنجی داده‌های عمق اپتیکی هواویزهای غبار بر مبنای داده‌های مشاهداتی دید افقی، روند تغییرات بلندمدت (۲۰۲۲-۲۰۰۰) آن‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد. بر اساس الگوی توزیع فضایی هواویزها مشخص شد که کیفیت هوای نیمه شرقی در ماه‌های اسفند و فروردین پایین‌تر از سایر نواحی استان بوده این در حالی است که در نواحی مرکزی، آلودگی هوا کمتر و کیفیت هوا مطلوب‌تر بوده است. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که در خرداد و آذر، روند تغییرات عمق اپتیکی هواویزهای غبار در بیش از دوسوم استان کرمان، کاهشی غیر معنی‌دار بوده است ($Z>-1.96$). این در حالی است که در آبان و اردیبهشت، نیمی از استان و در سایر ماه‌ها بیش از دوسوم استان، تغییرات افزایشی هواویزها را در ۲۳ سال گذشته تجربه کرده‌اند. یافته‌ها همچنین نشان داد که استان کرمان در تیر و فروردین بدترین شرایط را ازنظر حضور آئروسل‌های جوی داشته زیرا عمق اپتیکی آن‌ها در بیش از ۸۷٪ مناطق استان به بیش از ۰/۵ رسیده است. در مقیاس فصلی، حدود ۷۰ درصد استان در فصول بهار و پاییز و بیش از ۹۵ درصد استان در فصول تابستان و زمستان با روند تغییرات افزایشی هواویزهای غبار ناشی از وقوع پدیده گردوغبار مواجه بوده‌اند. در مقیاس سالانه، همه مناطق استان کرمان، روند افزایشی هواویزها را در دوره آماری موردمطالعه تجربه کرده‌اند که این تغییرات در شهرستان‌های غربی بیشتر از سایر شهرستان‌های استان بوده است ($Z>+1.96$).

واژگان کلیدی: سنجنده مودیس، غبارآلودگی هوا، فرسایش بادی، من-کندال، مناطق خشک.

* **نویسندهٔ مسئول:** Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

۱ـ مقدمه

هواویزها ذرات جامد یا مایع معلق در جو هستند که ازنظر منشأ تولید به دودسته طبیعی و انسان‌ساخت؛ ازنظر اندازه به سه دسته‌ی بسیار ریزدانه (با قطر کمتر از ۰/۰۱ میکرومتر)، ریزدانه (با قطر بین ۰/۰۱ تا ۱ میکرومتر) و درشت‌دانه (با قطر بیشتر از ۱ میکرومتر) و ازنظر نوع غالب در جو هر منطقه به هواویزهای غبار، هواویزهای دریایی، هواویزهای شهری-صنعتی و هواویزهای ناشی از سوختن جنگل‌ها و مراتع تقسیم می‌شوند. در طبقه‌بندی انواع هواویزها، هواویزهای غبار در دسته ذرات درشت‌دانه قرار دارند که سلامت انسان‌ها (Soleimani et al.,2018)، دید افقی (Hassan et al., 2023)، کیفیت هوا (Filonchyk and Peterson., 2022)، تغییر اقلیم (Kok et al., 2023)، عملکرد پنل‌های خورشیدی (Sainiet al.,2023) و محصولات کشاورزی (Boroughani et al., 2022) را تحت تأثیر قرار می‌دهند. نظر به توزیع مختلف زمانی و مکانی و اثرات بسیار متنوعی که این نوع از هواویزها در کره زمین‌دارند؛ بررسی جامع و پایش مستمر تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها در مناطق مختلف حائز اهمیت زیادی است (Ebrahimi-Khusfi et al., 2022).

ابزارهای سنجش در محل و سنجش‌ازدور از مهم‌ترین ابزارهایی هستند که در مطالعات مختلف به‌منظور سنجش هواویزها به‌کاررفته‌اند(Ji et al., 2023& Aswini et al., 2020& Klose et al., 2019). درروش سنجش در محل، اندازه گیری به‌طور مستقیم با نمونه‌برداری از محل موردنظر صورت می‌گیرد. ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا یکی از مهم ترین ابزارهای اندازه‌گیری در محل می‌باشند که هدف اصلی آن‌ها، سنجش آلاینده‌هایی است که به‌طور مستقیم بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارند. نظر به محدود بودن و عدم پراکنش مناسب این ایستگاه‌ها؛ نمی‌توان با بهره‌گیری از این ابزار به‌دقت مناسبی برای محاسبه هواویزها دست‌یافت. این در حالی است که با استفاده از فناوری دورسنجی و به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای باقدرت تفکیک مکانی مختلف می‌توان مشخصه‌های فیزیکی هواویزها ازجمله عمق اپتیکی هواویزها (AOD)، ابعاد ذرات و قدرت جذب امواج فرابنفش آن‌ها را در مقیاس‌های کوچک تا بزرگ موردبررسی و تجزیه‌وتحلیل قرارداد و بر اساس این مشخصه‌ها، اقدام به شناسایی مناطق مستعد تولید هواویزها کرد (Masoumi et al., 2019&Mohammadpour et al., 2022). طیف‌سنج تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) یکی از سنجنده‌های نصب‌شده بر روی دو ماهواره ترا و آکوا است که باقدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر و گستره طیفی ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر در بازه زمانی ۱ تا ۲ روز از کل سطح زمین تصویربرداری می‌کند. محصول MCD19A2 ترکیبی از داده‌های هر دو سنجنده مذکور است که باقدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی روزانه، قابل‌دسترس است و به‌عنوان یکی از پرکاربردترین ابزارها به‌منظور بررسی ویژگی‌های هواویزها است (Meng et al., 2023; Wang et al., 2022; Yousefi et al., 2023).

Saeidifar و همکاران (۲۰۲۰) از داده‌های عمق اپتیکی آئروسل‌ها و مدل گردوغبار (NMMB/BSC) برای بررسی منشأ و نحوه گسترش مکانی غلظت بالای گردوغبار و تحلیل همدیدی آن در حوضه گاوخونی استفاده کرده‌اند. نتایج بررسی این محققین نشان داد که منشأ وقوع گردوغبار نواحی خوزستان، عراق، کویر مرکزی و بخش‌های کوچی از مرکز حوضه و اطراف تالاب گاوخونی بوده است. در مطالعه ای پس از اثبات انطباق خوب داده‌های AOD و رویدادهای گردوغبار در جنوب غرب ایران، از این داده‌ها به‌منظور بررسی و تحلیل گردوغبار در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۶۶ استفاده شد

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

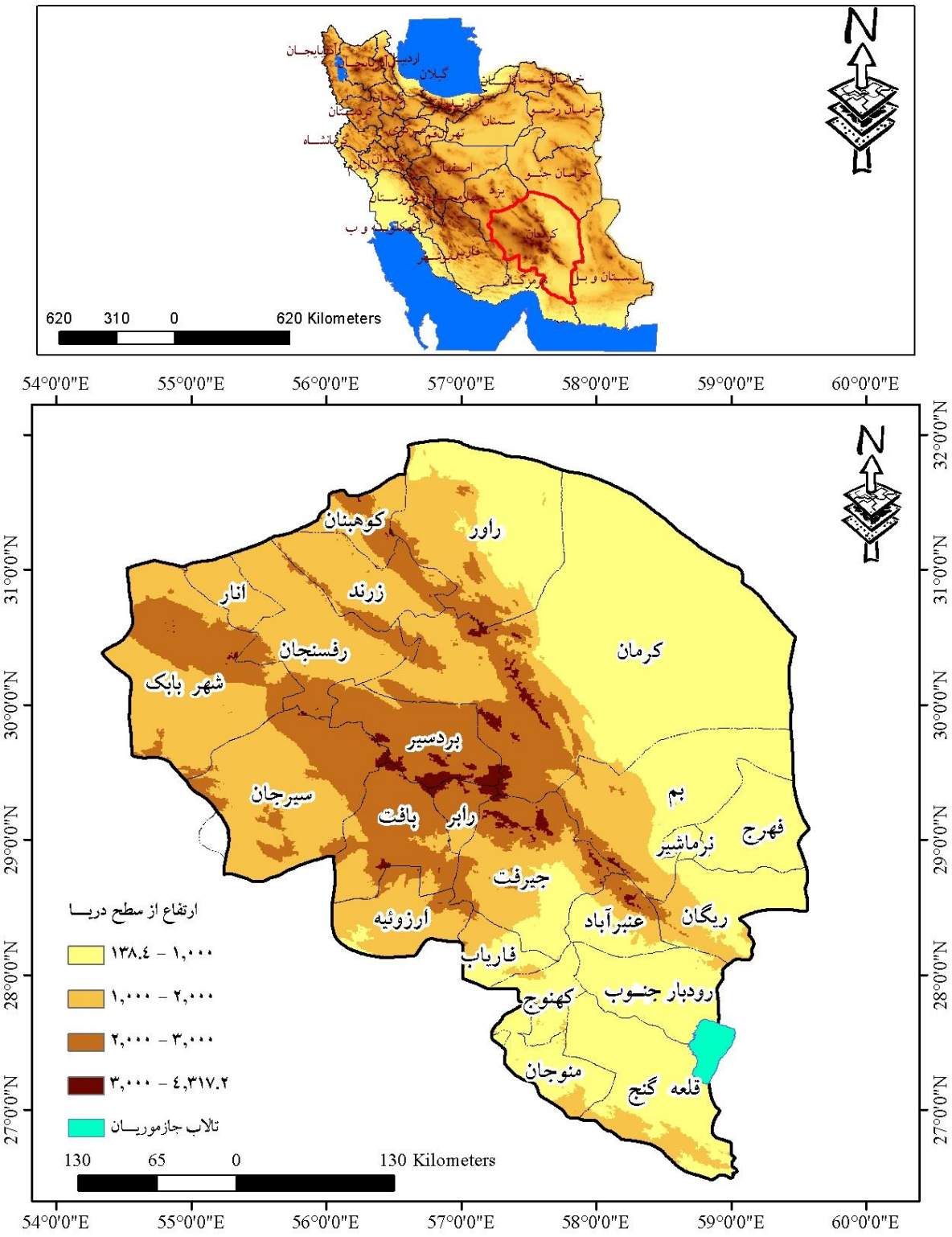
و گزارش داده شد که پس از سال ۲۰۰۰، تعداد روزهای غبارآلود در این منطقه افزایش‌یافته است (Ensafimoghadam, 2021). در پژوهشی دیگر، Khansalari و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات زمانی و مکانی استان گلستان را با استفاده از عمق نوری هواویزها موردبررسی قراردادند. این پژوهشگران دریافتند که سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ (به‌جز سال ۲۰۰۳) و همچنین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ این استان شرایط مطلوب‌تری در مقایسه با سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ داشته است. همچنین آن‌ها نشان دادند که منشأ اصلی و عمده گردوغبار از بیابان‌های بالکان ترکمنستان است. تغییرات زمانی و مکانی عمق نوری ذرات معلق در چین طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از داده‌های AOD سنجنده مودیس توسط Qin و همکارن (۲۰۱۸) موردبررسی قرار گرفت و دریافتند که هواویزهای گردوغبار در نواحی جنوبی چین در حال افزایش بوده، درحالی‌که در مناطق شمالی روند کاهشی داشته است. روند تغییرات AOD زمستانه در سرتاسر ایران توسط Yousefi و همکاران (۲۰۲۳) موردبررسی قرار گرفت و گزارش دادند که در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ روند تغییرات این شاخص، افزایشی و در بازه زمانی ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ کاهشی بوده است.

استان کرمان به‌واسطه وجود شرایط ویژه اقلیمی، واقع‌شدن در فلات مرکزی و هم‌جواری با کویر دارای ۰/۶ میلیون هکتار اراضی بیابانی است که حدود ۲۰ درصد بیابان‌های کشور را شامل می‌شود. در این استان بیابانی، ۲۹ کانون بحرانی فرسایش بادی وجود دارد که در شهرستان‌های مختلف استان گسترد شده‌اند و میزان خسارت ناشی از گردوغبارهای برخاسته از آن‌ها به منابع زیستی و اقتصادی از ۴۸۹۴۴ هزار ریال در دشت کبوتر خان تا ۱۷۳۵۳۰۹۵۲ هزار ریال در جازموریان گزارش‌شده است (سازمان حفاظت محیط ریست استان کرمان، خبرنامه آموزشی و پژوهشی شماره ۲).

با توجه به گستره وسیع مکانی استان کرمان، عدم پراکنش مناسب ایستگاه‌های سنجش آلاینده‌های هوا، تعداد کم ایستگاه‌های سینوپتیک با توجه به وسعت زیاد استان و تنوع اقلیمی و زیستی مختلف در این استان؛ استفاده از فن دورسنجی و به‌طور ویژه به‌کارگیری شاخص AOD سنجنده مودیس می‌تواند یکی از ابزارهای مناسب به‌منظور تحلیل و بررسی روند تغییرات زمانی و الگوی پراکنش مکانی هواویزهای غبار در مناطق مختلف این استان باشد. گرچه مطالعه‌ای درزمینه تحلیل تغییرات زمانی عمق اپتیکی آئروسل‌ها با استفاده از این محصول ماهواره‌ای برای جنوب شرق ایران توسط Mirakbari and Ebrahimi-Khusfi (۲۰۱۸) به انجام رسیده است اما در این مطالعه از داده‌های AOD برخی مناطق استان‌های سیستان-بلوچستان و کرمان بدون تفکیک روزهای غبارآلود بررسی‌شده ؛ این در حالی است که در پژوهش حاضر، تغییرات عمق اپتیکی هواویزها در همه شهرستان‌های استان کرمان و با در نظر گرفتن روزهای غبارآلود (AOD>0.5) موردبررسی قرارگرفته است. علاوه بر این، همان‌گونه که پیش‌ازاین توضیح داده شد، پایش مستمر تغییرات زمانی و مکانی هواویزها در مناطق مختلف و به‌ویژه مناطق بیابانی و مستعد تولید هواویزها حائز اهمیت زیادی است؛ بر این اساس، این مطالعه باهدف اصلی تجزیه‌وتحلیل روند تغییرات بلندمدت هواویزهای گردوغبار در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای مناطق مختلف استان کرمان طی بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ به انجام رسیده است تا ضمن آگاهی از الگوی فضایی توزیع هواویزها، روند تغییرات آن‌ها در ۲۳ سال گذشته نیز مشخص گردد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه



شکل ۱: موقعیت منطقه مطالعاتی

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

استان کرمان در جنوب شرقی ایران و در محدوده جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی واقع‌شده است. این استان با دربرگرفتن بیش از ۱۱ درصد از وسعت ایران با حدود ۱۸۳۱۹۳ کیلومترمربع نخستین استان پهناور ایران است و در پهنه ارتفاعی ۱۳۸ تا ۴۳۱۷ متر از سطح دریا واقع‌شده است (شکل ۱). وسعت عرصه‌های مستعد تولید گردوغبار در این استان که شامل تپه‌های ماسه‌ای، پهنه‌های ماسه‌ای، کویر، دق‌های رسی، اراضی شور و نمکزار و اراضی بدون پوشش و بیرون‌زدگی است، حدود ۶۵۹۰۸۱۳ هکتار است (سازمان حفاظت محیط ریست استان کرمان، خبرنامه آموزشی و پژوهشی شماره ۲).. متوسط بارندگی در این استان حدود ۱۴۳ میلی‌متر و متوسط بیشینه دما، متوسط کمینه دما و متوسط دمای سالانه به ترتیب ۲۸/۷، ۶/۹ و ۱۵/۷ درجه سانتی‌گراد است.

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

در پژوهش حاضر از محصول شاخص عمق اپتیکی آئروسل‌های سنجنده مودیس (MCD19A2) که همبستگی مقادیر بالاتر از ۰/۵ آن با پارامترهای متعدد سنجش فعالیت رویدادهای گردوغبار در ایران به اثبات رسیده است (Ensafimoghadam & Khansalari et al., 2023 2021)، جهت تحلیل تغییرات غلظت هواویزهای غبار در مناطق مختلف استان کرمان استفاده شد. در این مطالعه نیز به‌منظور اعتبارسنجی هواویزهای غبار از متوسط روزانه دید افقی ثبت‌شده در هنگام وقوع رخدادهای گردوغبار که از سازمان هواشناسی استان کرمان اخذ شد، استفاده گردید.

داده‌های مربوط به محصول ماهواره‌ای MCD19A2 که دارای قدرت تفکیک زمانی روزانه و قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر است، از طریق برنامه‌نویسی در محیط گوگل ارث انجین برای شهرستان‌های مختلف استان کرمان در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ دانلود شد. پس از فیلتر کردن روزهای غبارآلود (AOD>0.5)، مقادیر متوسط شاخص مذکور در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه برای هر منطقه به‌طور جداگانه محاسبه گردید. سپس از آزمون من-کندال به‌منظور تحلیل روند تغییرات زمانی عمق اپتیکی هواویزهای غبار در مناطق مختلف استان کرمان استفاده شد. این آزمون، که ابتدا توسط من (Mann1945) و سپس توسط کندال(Kendall,1975) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه‌یافته است؛ جهت بررسی روند تغییرات رویدادهای بیانگر فعالیت پدیده فرسایش بادی و توفان‌های گردوغبار در بسیاری از مطالعات گذشته نیز استفاده‌شده است (Ghamkhar et al., 2023& Jafari et al, 2022& Liu et al., 2023). مهم‌ترین پیش‌فرض در آزمونهای پارامتریک این است که توزیع جامعه موردمطالعه باید نرمال باشد این در حالی است که آزمون نا پارامتریک من-کندال مستلزم هیچ‌گونه فرضی در مورد توزیع جامعه آماری و یا سری‌های زمانی موردبررسی نیست و این از مزایای مهم این روش است. اثرپذیری ناچیز آن از مقادیر حدی که در برخی سری‌های زمانی وجود دارد؛ و همچنین استفاده از رتبه‌بندی به‌جای مقادیر کمی که این امکان را فراهم می‌کند تا داده‌های خارج از محدوده روند حداقلی نیز در تحلیل در نظر گرفته شوند، از دیگر مزایای این روش نا پارامتریک است (Phuong et al., 2020). فرض صفر این آزمون دال بر عدم وجود روند قابل‌مشاهده در سطح معناداری مشخص در سری داده‌ها و پذیرش فرض یک به معنی رد فرض صفر و به عبارتی وجود روند در سری زمانی داده‌ها است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

در پژوهش حاضر، آماره من کندال بر اساس روابط ۴-۱ محاسبه گردید:

رابطه ۱
$$\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n}\operatorname{sgn}(x_j - x_i)$$

رابطه ۲
$$\operatorname{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{if}(x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if}(x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if}(x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

رابطه ۳
$$\mathrm{VAR}(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)\right]$$

رابطه ۴
$$Z_m = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\mathrm{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\mathrm{VAR}(S)}} & \text{if} S < 0 \end{cases}$$

که در روابط فوق n تعداد داده مشاهده‌ای، Xi و Xj به ترتیب i امین و j امین داده مشاهده‌ای، و q تعداد گروه‌های ایجادشده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، tp تعداد داده‌های برابر در p امین گروه و Zm مقدار آماره من کندال می‌باشد. مقدار منفی Zm بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان‌دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها است. با توجه به سطح معنی‌دار ۹۵ درصد اگر |Zm| >۱/۹۶ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر موردمطالعه دارای روندی معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند است.

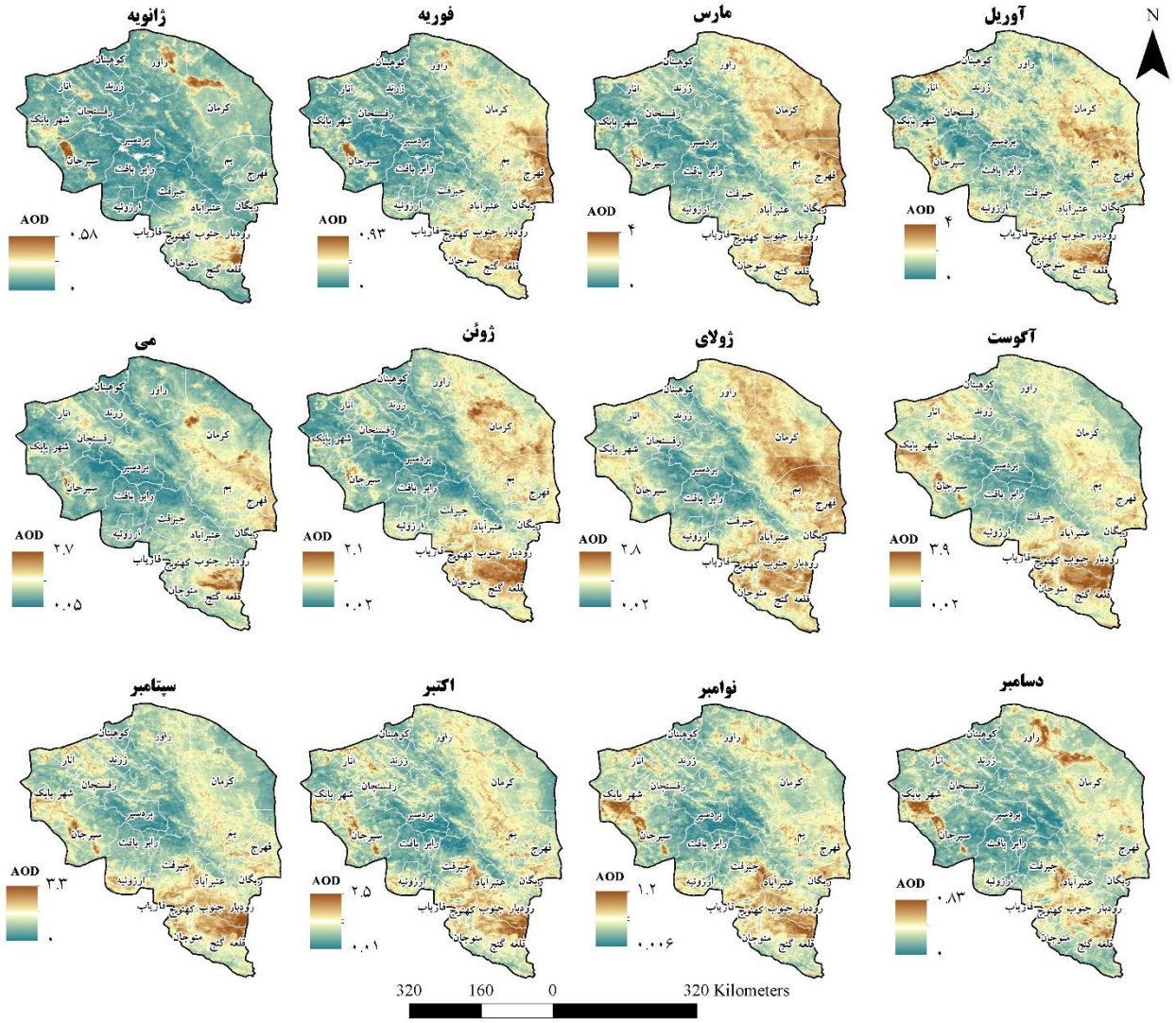
۴- یافته‌ها

۴-۱- تغییرات مکانی و زمانی (ماهانه) عمق اپتیکی هواویزها در مناطق مختلف استان کرمان

الگوی تغییرات مکانی مقادیر متوسط ماهانه AOD که با میانگین‌گیری از تصاویر روزانه این شاخص در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ در پلت فرم گوگل ارث انجین به‌دست‌آمده، در شکل (۲) نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج ارائه‌شده در این شکل، استان کرمان در ماه‌های مارس (اسفند) و آوریل (فروردین) و پس‌ازآن، ژوئن (مرداد) و سپتامبر (شهریور) و تیر (جولای) به ترتیب بیشترین غلظت هواویزها را در جو خود داشته است. در این ماه‌ها حداکثر عمق اپتیکی هواویزها بین ۲/۸ تا ۴ متغیر بوده است. این در حالی است که در دسامبر (آذر)، ژانویه (دی) و فوریه (بهمن‌ماه)، بیشینه مقدار AOD بین ۰/۵۸ تا ۰/۹۲ نوسان داشته و شرایط مطلوب‌تری بر این استان حاکم بوده است. الگوی توزیع فضایی هواویزها بیانگر آن است که کیفیت هوای سطح بیشتری از استان که عمدتاً نیمه شرقی را شامل می‌شود؛ در ماه‌های اسفند، فروردین، خرداد و تیر پایین‌تر از سایر مناطق استان بوده است. همچنین یافته‌ها حاکی از آن است که آلودگی هوا در محدوده بین رودبار جنوب تا قلعه گنج، در تمام ایام سال بیشتر از سایر نواحی استان بوده است؛ این در حالی است که در نواحی مرکزی استان

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

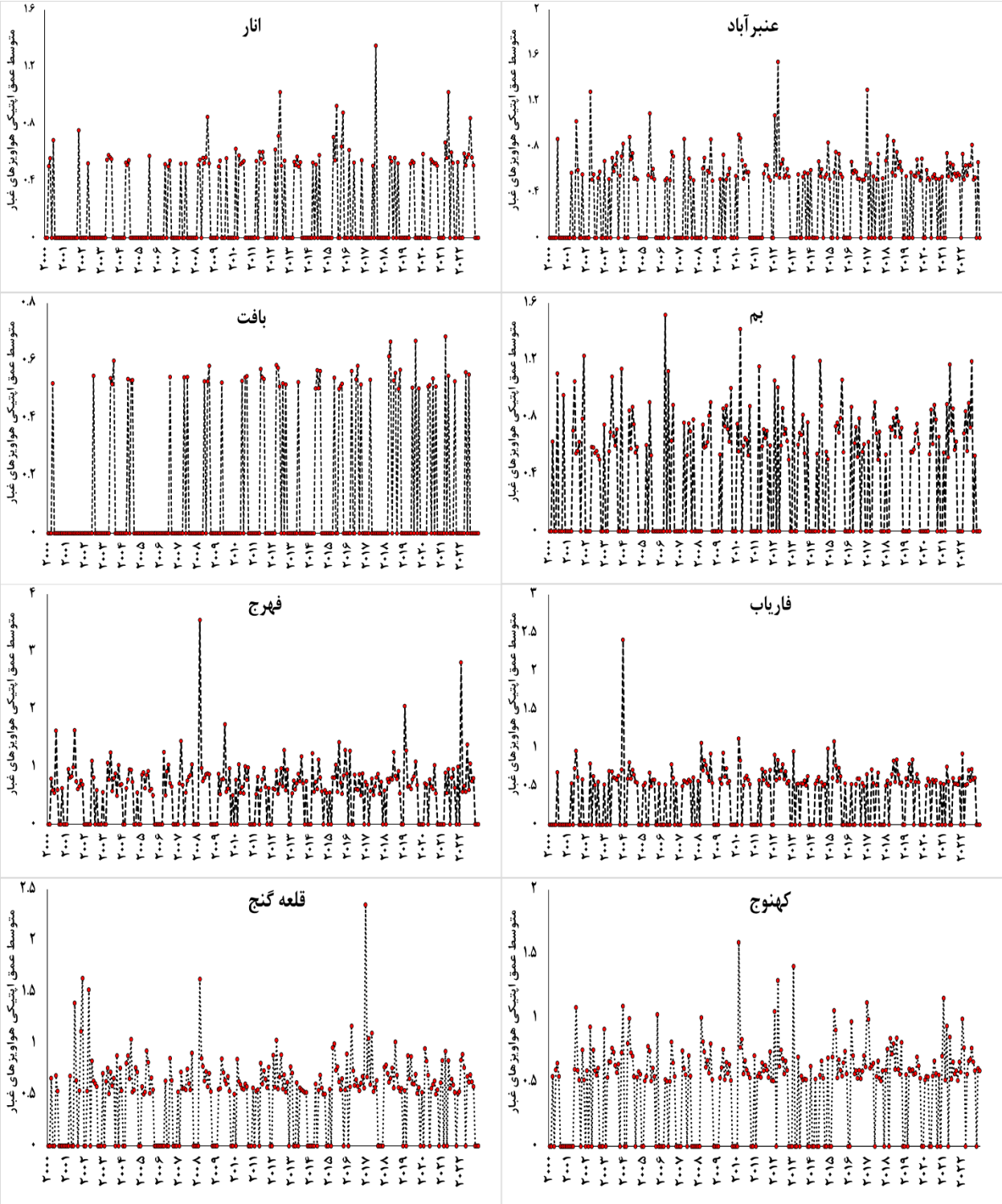
به‌ویژه محدوده شهرستان‌های بافت، بردسیر و رابر، آلودگی هوا کمتر و کیفیت هوا مطلوب‌تر بوده است. گرچه این نتایج درک ما را نسبت به شناسایی مناطق غبارآلود استان کرمان افزایش می‌دهد اما جهت اطلاع از وضعیت تغییرات بلندمدت هواویزهای غبار که در اثر وقوع رخدادهای گردوغبار به جو مناطق مختلف استان منتقل‌شده‌اند، نیاز به بررسی روند تغییرات این هواویزها در مقیاس‌های زمانی مختلف است. بدین منظور، سری‌های زمانی روزانه AOD دانلود و پس از تفکیک روزهای غبارآلود (AOD>0.5) و محاسبه مقادیر متوسط ماهانه AOD که در شکل (۳) ارائه‌شده‌اند، روند تغییرات آن‌ها با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد.



شکل ۲: توزیع فضایی متوسط ماهانه عمق اپتیکی هواویزها در استان کرمان طی بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۰

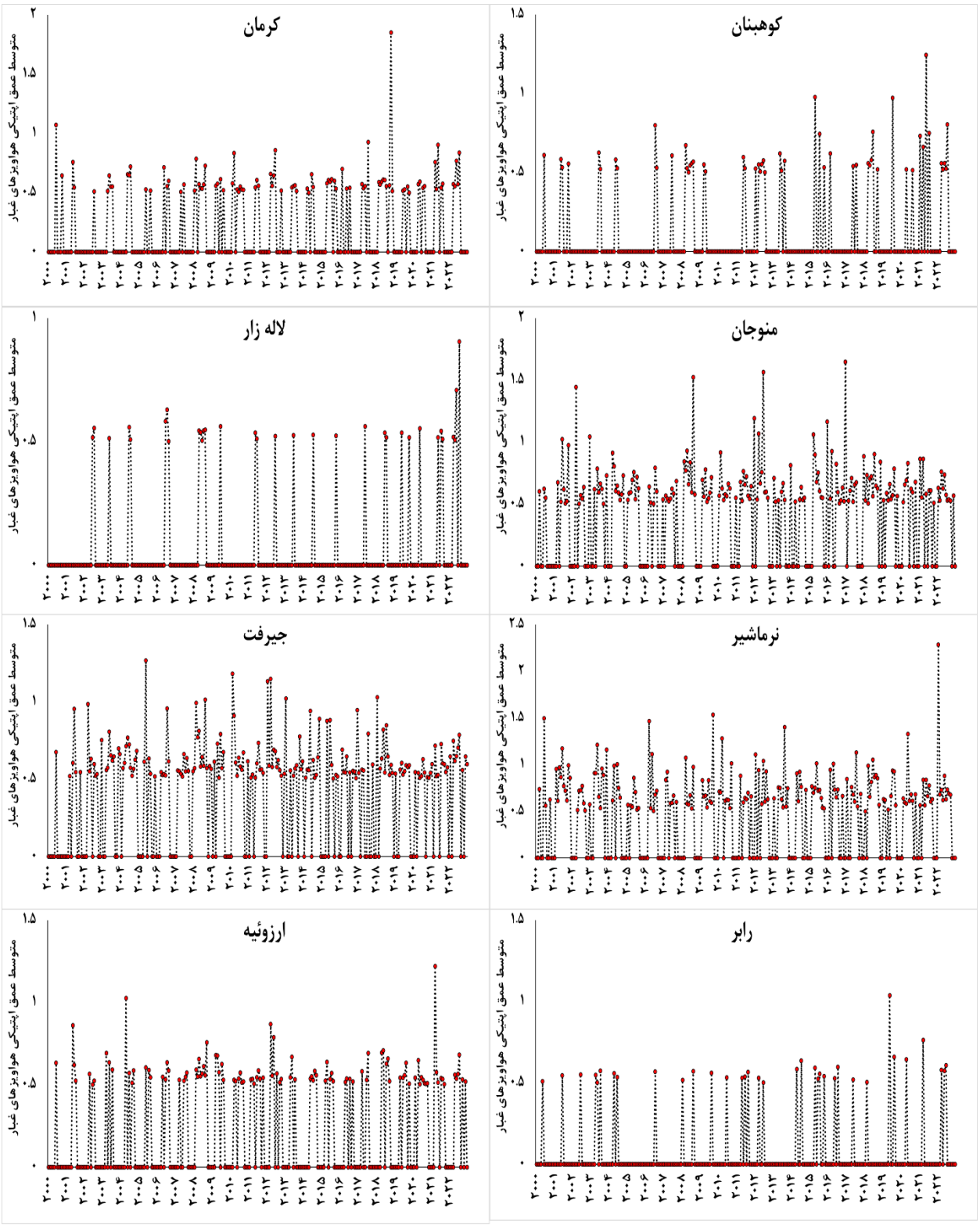
بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل‌های (۵-۳)، بیشترین عمق اپتیکی ماهانه هواویزهای غبار در ۲۳ سال گذشته متعلق به شهرستان‌های فهرج (۳.۵۶)، ریگان (۲.۸۸)، فاریاب (۲.۴۱)، قلع گنج (۲.۳۵) و نرماشیر (۲.۲۹) بوده است. مقادیر کمتر از ۱ این شاخص متعلق به شهرستان‌های بافت (۰.۶۸) و سیرجان (۰.۸۸) و بردسیر (۰.۹) بوده و در سایر مناطق مقدار بیشینه متوسط ماهانه شاخص اپتیکی هواویزهای غبار بین ۱ تا ۲ متغیر بوده است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]



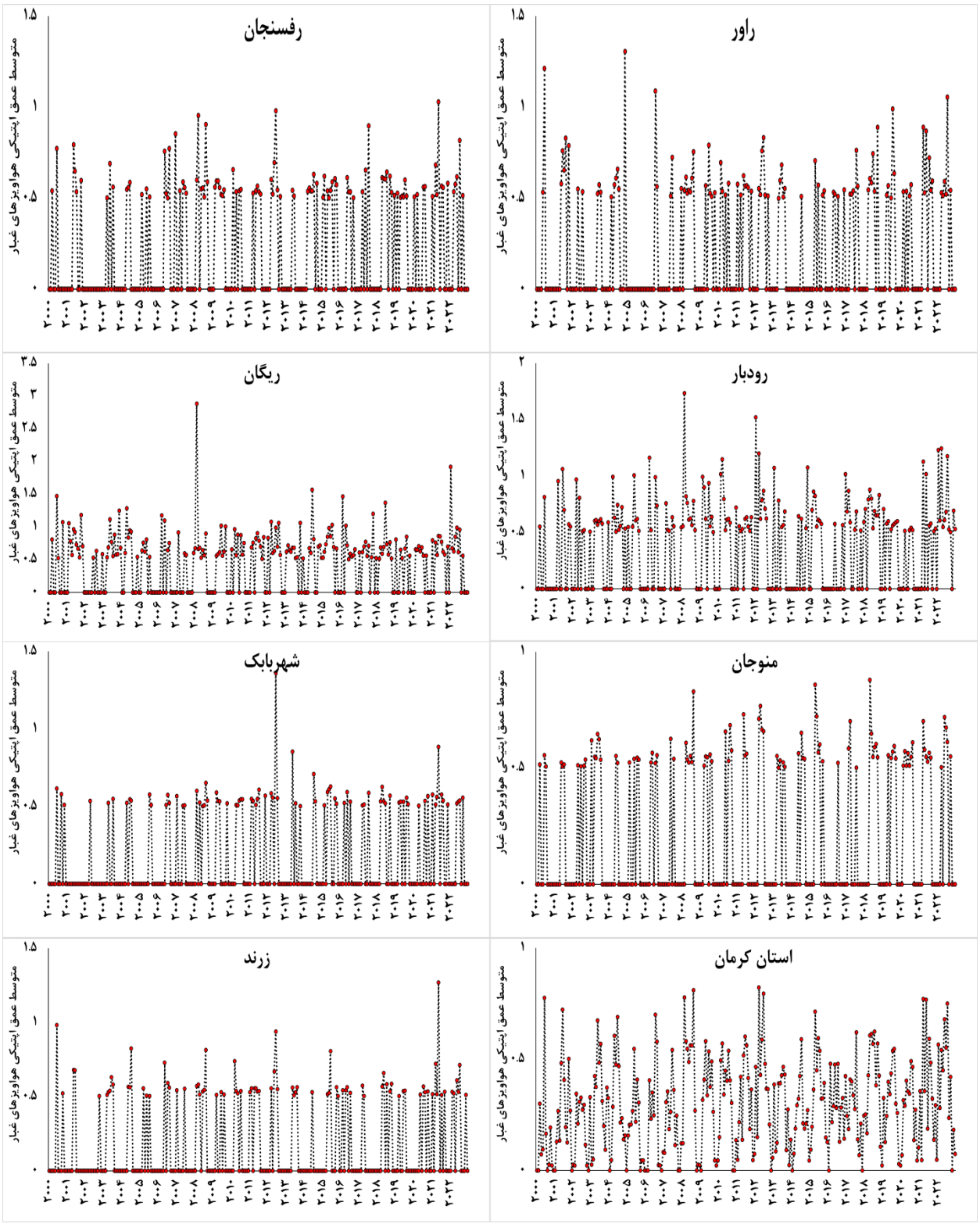
شکل ۳: تغییرات متوسط ماهانه عمق اپتیکی هواویزها در مناطق مختلف استان کرمان طی بازه زمانی (۲۰۲۲-۲۰۰۰)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]



شکل ۴: تغییرات متوسط ماهانه عمق اپتیکی هواویزها در مناطق مختلف استان کرمان طی بازه زمانی (۲۰۲۲-۲۰۰۰)

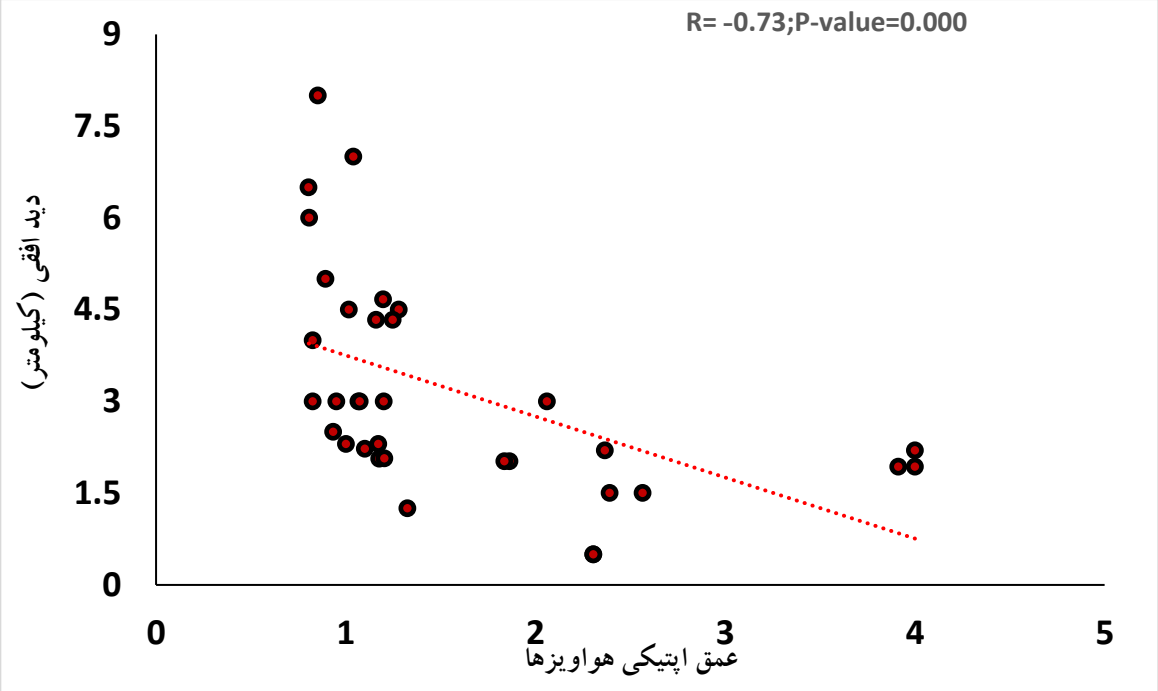
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]



شکل ۵: تغییرات متوسط ماهانه عمق اپتیکی هواویزها در مناطق مختلف استان کرمان طی بازه زمانی (۲۰۲۲-۲۰۰۰)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

در گام بعدی، بر اساس مقادیر بیشینه هواویزهای غبار و دید افقی ثبت‌شده در روزهای غبارآلود، اقدام به اعتبار سنجی داده‌های ماهواره‌ای شد که نتایج در شکل (۶) نشان داده‌شده است. شایان‌ذکر است ضریب همبستگی ذکرشده در این شکل به دلیل غیرنرمال بودن داده‌ها، ضریب اسپیرمن می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل زیر، مقدار همبستگی بین متغیرهای موردبررسی، ۰/۷۳- و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است.



شکل ۶: نمودار پراکنش همبستگی بین عمق اپتیکی هواویزهای غبار دید افقی در استان کرمان

نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که در ماه ژانویه، روند تغییرات عمق اپتیکی هواویزهای گردوغبار در شهرستان‌های عنبرآباد، بافت، قلعه گنج، کهنوج، منوجان، جیرفت، نرماشیر، رفسنجان، ریگان و رودبار افزایشی معنی‌دار ($Z>1.96$)، و در سایر شهرستان‌ها کاهشی-غیرمعنی دار؛ و یا بدون روند بوده است. در ماه فوریه، شهرستان‌های عنبرآباد و بافت، در ماه مارس، شهرستان‌های بافت، رابر و راور، در ماه آوریل، ریگان و در می، شهرستان‌های بردسیر و شهربابک با افزایش معنی‌دار پدیده گردوغبار و غلظت هواویزهای غبار مواجه بوده‌اند ($Z>1.96$). در سایر شهرستان‌ها، تغییرات هواویزهای غبار، کاهشی-غیرمعنی دار و یا بدون روند بوده است. روند تغییرات در ماه ژوئن، در اغلب شهرستان‌ها کاهشی و یا بدون روند بوده است. در بین مناطقی که روند کاهشی را تجربه کرده‌اند، دو شهرستان عنبرآباد و کهنوج، شرایط مطلوب‌تری را تجربه کرده‌اند زیرا تغییرات کاهشی در این مناطق بیشتر از سایر مناطق استان بوده است ($Z<-1.96$). این در حالی است که در ماه جولای، روند افزایشی در اغلب مناطق استان، به‌ویژه در شهرستان‌های انار، بم، رفسنجان و سیرجان؛ در ماه اوت، در فهرج، در ماه سپتامبر در عنبرآباد و بافت و راور و در ماه نوامبر، در شهرستان بافت افزایش قابل‌توجهی داشته است. گرچه در ماه اکتبر، حدود ۷۴٪ و در ماه دسامبر حدود ۲۶ درصد مناطق مطالعاتی استان کرمان، با تغییرات

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

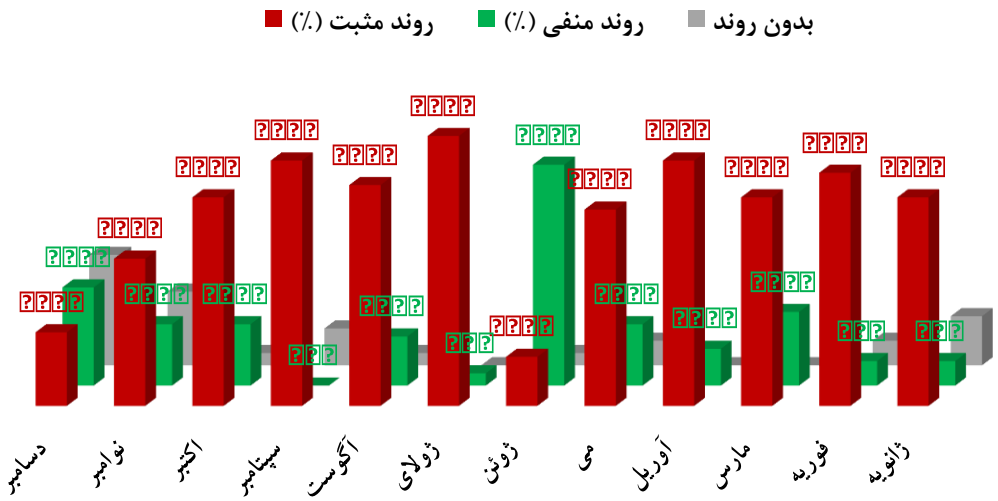
افزایشی پدیده گردوغبار مواجه بوده‌اند اما در هیچ‌کدام از شهرستان‌ها، روند تغییرات معنی‌دار نبوده است (جدول ۱؛ شکل ۷).

جدول ۱: روند تغییرات ماهانه عمق اپتیکی هواویزهای گردوغبار در مناطق مختلف استان کرمان بر اساس آماره من-کندال

شهرستان	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
انار	۱/۲۸	۰/۰۹	۰/۹۴	-۰/۱۷	۱/۹۳	۰/۱۴	*۲/۳۸	۱/۱۴	۱/۶۹	۰/۴۴	۱/۴۳	۰
عنبرآباد	۲/۱۳ **	*۲/۴۴ *	۱/۰۱	۰/۱۳	-۰/۰۵	*-۱/۹۶	۱/۵۸	-۰/۰۵	*۲/۶۴ *	۱/۱۷	۰	۰/۱۸ -
بافت	۲/۱۸ **	*۲/۱۸ *	*۲/۹۳ *	۱/۰۴	۱/۳۷	۰/۱۱	۰/۷۶	۰/۷۰	۲/۸۷	۱/۰۹	*۲/۲۹ *	۰
بم	۱/۱۴	۱/۱۷	-۰/۰۸	۰/۳۵	۱/۳۲	۰/۲۱	*۳/۷۵ *	۰/۸۸	۱/۰۴	۰/۰۹	-۱/۴۶	۰/۳۳ -
فهرج	۱/۳۶	۰/۶۰	-۰/۶۱	-۰/۵۳	-۰/۶۹	-۱/۷۴	۱/۸۵	*۲/۹۳ *	۱/۸۶	۰/۵۹ -	-۰/۰۷	۰/۰۴ -
فاریاب	۲/۲۲ **	۰/۲۹	۰/۶۴	۱/۴۲	-۰/۴۰	-۱/۷۵	۱/۱۴	۰/۶۴	۱/۰۱	۰/۳۹	۰/۵۵	۰/۷۷ -
قلعه گنج	۲/۷۴ **	۱/۲۰	۰/۷۱	۰/۹۳	۰/۷۷	-۱/۳۷	۰/۹۰	۱/۷۰	۰/۱۹	۰/۴۱	۰/۱۴	۱/۰۹
کهنوج	۲/۳۴ **	۰/۸۳	۰/۰۳	-۰/۷۶	-۰/۲۳	-۲/۰۲ **	۱/۹۵	۰/۶۳	۱/۳۱	۰/۲۸ -	۰/۶۸	۰/۲۶ -
کرمان	۰	۰/۱۱	۰/۸۲	۱/۲۰	۰/۶۵	-۰/۸۳	۱/۲۵	-۰/۳۸	۰	۰/۹۸	۰	۰
کوهبنان	۱/۲۰	۰/۶۸	۱/۶۲	۱/۷۳	۱/۰۵	-۱/۶۰	۱/۸۴	۰/۲۰	۰/۹۸	۰/۶۵ -	۰	۰
بردسیر	۰	۰	۱/۵۸	۰/۷۶	*۲/۳۴ *	-۰/۸۷	۰/۴۷	۰/۱۸	۰	۱/۲۰	۰	۰
منوجان	۲/۲۱ **	۱/۱۹	-۰/۱۶	۰/۹۴	۱/۱۲	-۱/۱۴	۰/۴۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۴۶	۱/۱۷	۰/۴۱
جیرفت	۲/۴۷ **	-۰/۰۶	۰/۳۲	۰/۶۱	-۰/۴۸	-۱/۵۲	۱/۶۹	-۰/۱۱	۱/۳۰	۱/۷۴	۱/۰۹	۰
نرماشیر	۲/۲۶ **	۰/۵۷	-۰/۶۱	۰/۳۲	۱/۱۴	-۱/۴۸	۱/۹۵	۰/۳۲	۰/۴۷	۰/۶۴	-۱/۸۵	۱/۲۸ -
ارزوئیه	۰	۰/۴۵	۰/۳۵	۱/۳۱	۰	-۰/۷۸	۱/۱۴	۰/۷۱	۱/۴۶	۱/۲۵	۱/۵۸	۰
رابر	-۰/۳۸	۰/۹۸	**۲	۰/۴۱	۱/۰۳	-۰/۸۴	-۰/۰۴	۰/۲۸	۰	۰/۵۳	۰	۰

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

رفسنجان	۲/۱۸**	۰/۰۷	۰/۵۶	۱/۸۲	۰	−۱/۷۴	*۳/۷۶	۰/۸۵	۱/۸۳	۰	۱/۴۳	۰/۱۱
راور	۰	−۰/۰۴	*۲/۲۶	۱/۹۱	۰/۵۹	−۱/۲۴	۱/۳۰	۰/۰۳	*۲/۵۴	۰/۶۰	−۰/۲۲	۰/۵۳
ریگان	۲/۴۴**	۰/۴۰	−۰/۶۴	*۲/۰۷	۰/۳۴	−۰/۲۱	۱/۹۰	−۰/۵۹	۱/۴۹	۰/۲۹	−۰/۹۲	۰/۸۹
رودبار	۱/۹۷**	۰/۳۴	−۰/۰۸	۰/۳۸	۰/۶۴	−۱/۹۴	۰/۹۲	۰/۴۵	۰/۷۲	۱/۵۹	۰/۵۲	۰/۱۳
سیرجان	−۱/۱۳	۰/۷۳	۱	۱/۳۲	۱/۰۹	۰/۳۳	*۲/۷۲	۱/۰۹	۱/۶۳	۰/۵۳	۱/۵۸	۱/۵۸
زرند	۰/۳۶	۰/۷۷	۱	۱/۳۰	۰/۸۷	−۱/۹۱	۰/۹۲	۰	۱/۷۴	۰/۱۱	۱/۵۸	۱/۶۳

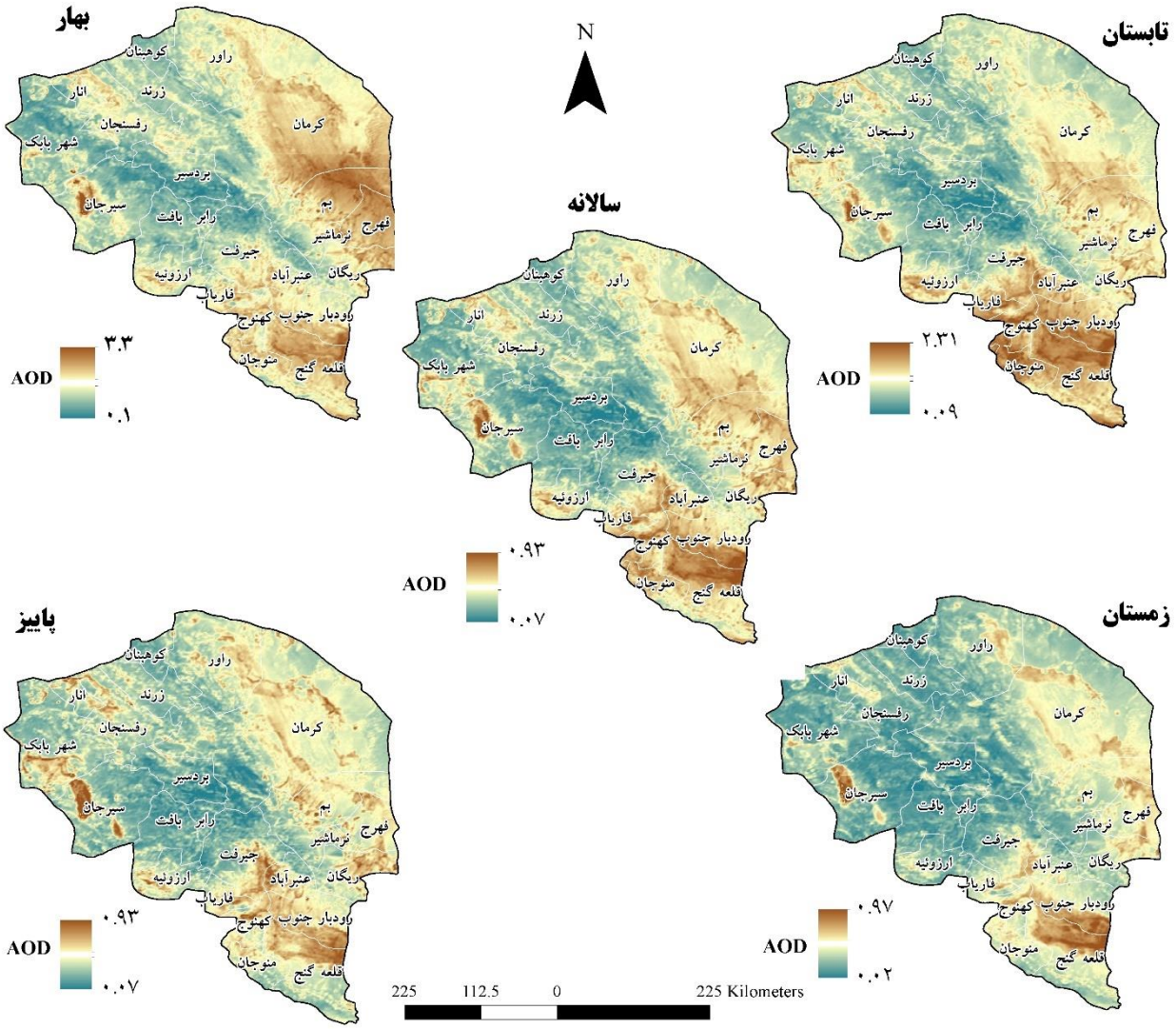


شکل ۷: درصد شهرهای با روندهای مثبت، منفی و بدون روند در تغییرات ماهانه عمق اپتیکی هواویزهای غبار طی بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۰.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

۴-۲- تغییرات مکانی و زمانی عمق اپتیکی هواویزها در مقیاس فصلی و سالانه

الگوی تغییرات مکانی متوسط بلندمدت عمق اپتیکی هواویزها در مقیاس‌های فصلی (شکل ۸) نشان می‌دهد که استان کرمان در فصول بهار و تابستان بیشتر تحت تأثیر هواویزها بوده است. حداکثر غبارآلودگی در محدوده شهرستان‌های راور تا ریگان، جیرفت تا منوجان، سیرجان و انار اتفاق افتاده است. محدوده‌های ذکرشده در فصول سرد سال نیز بدترین شرایط را از حیث حضور هواویزها تجربه کرده‌اند اما غلظت آن‌ها در مقایسه با فصول گرم سال به میزان قابل‌توجهی کمتر بوده است. به‌طورکلی، در مقیاس سالانه، دامنه تغییرات بلندمدت هواویزها در استان کرمان بین ۰/۰۷ در نواحی مرکزی تا ۰/۹۳ در نواحی جنوبی متغیر بوده است. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که ۷۵ درصد شهرستان‌های استان کرمان با روند افزایشی اما غیر معنی‌دار رخدادهای گردوغبار بهاره که منجر به افزایش غلظت آئروسل‌ها شده است، مواجه بوده‌اند.



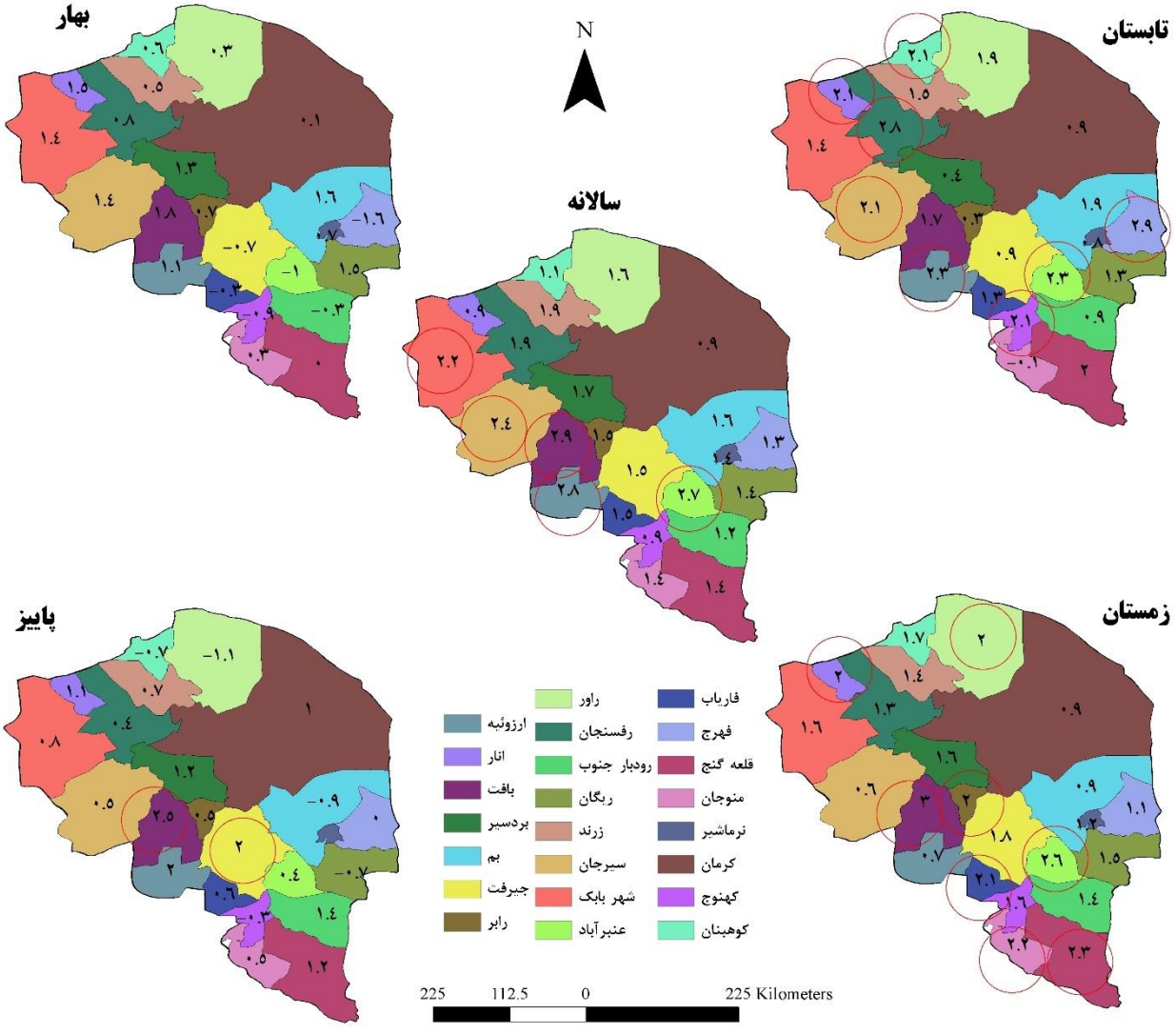
شکل (۸): توزیع فضایی متوسط فصلی و سالانه عمق اپتیکی هواویزها در استان کرمان طی بازه زمانی (۲۰۲۲-۲۰۰۰)

* نویسندهٔ مسئول: Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

در تابستان، این تغییرات در بیش از ۹۵ درصد مناطق استان افزایشی بوده که بیشترین تغییرات در انار، بافت، فهرج، کهنوج، کوهبنان، ارزوئیه و رفسنجان مشاهده شد. گرچه در فصل پاییز، حدود ۲۵ درصد مناطق استان با روند کاهشی و حدود ۴ درصد نیز بدون روند خاصی بوده‌اند، اما در بیش از ۷۰ درصد مناطق استان کرمان، روند تغییرات هواویزهای غبار، افزایشی بوده که از بین مناطق دارای روند مثبت، شهرستان‌های بافت و جیرفت، بدترین شرایط را داشته‌اند ($Z>1.96$) (جدول ۲، شکل ۹).

نتیجه قابل‌توجه، روند افزایشی پدیده گردوغبار و هواویزهای گردوغبار در همه مناطق استان کرمان در فصل زمستان است. این روند، در ۷ شهرستان انار، عنبرآباد، بافت، فاریاب، قلعه گنج، منوجان و رابر بیشتر از سایر مناطق استان بوده است. همان‌گونه که نتایج نشان می‌دهد، گرچه در مقیاس سالانه، شهرهای عنبرآباد، بافت، ارزوئیه، شهربابک و سیرجان؛ روند افزایشی بیشتری در مقایسه با سایر مناطق استان داشته‌اند اما در سایر مناطق نیز روند تغییرات AOD افزایشی بوده (شکل ۹) و این نتیجه بیانگر آن است که در ۲۳ سال گذشته، شرایط مطلوبی در استان کرمان برقرار نبوده و تشدید وقوع رخدادهای گردوغبار را در این استان بیابانی نشان می‌دهد.



شکل ۹: روند تغییرات فصلی و سالانه عمق اپتیکی هواویزهای گردوغبار در مناطق مختلف استان کرمان بر اساس آماره من-کندال

- مقادیر بزرگ‌تر از ۱/۹۶ بیانگر معنی‌دار بودن روند در سطح اطمینان بزرگ‌تر مساوی ۹۵ درصد است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

جدول (۲): درصد شهرهای با روندهای مثبت، منفی و بدون روند در تغییرات فصلی و سالانه عمق اپتیکی هواویزهای غبار طی بازه زمانی ۲۰۲۲-۲۰۰۰.

شهرستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
روند مثبت (٪)	۷۳/۹	۹۵/۷	۶۹/۶	۱۰۰	۱۰۰
روند منفی (٪)	۲۶/۱	۴/۳	۲۶/۱	۰	۰
بدون روند	۰	۰	۴/۳	۰	۰

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

یکی از عوامل اصلی تخریب زمین و محیط‌زیست که هرساله خسارات اقتصادی-اجتماعی زیادی به دنبال داشته، پدیده فرسایش بادی و توفان‌های گردوخاک است که منجر به افزایش غلظت هواویزها در هوا و کاهش کیفیت هوا در مناطق مختلف به‌ویژه مناطق خشک و بیابانی می‌شوند. لذا توجه و بررسی تغییرات مکانی و زمانی هواویزهای غبار در این مناطق از اهمیت زیادی برخوردار است. بر این اساس، پژوهش حاضر باهدف اصلی تحلیل تغییرات مکانی و زمانی هواویزهای غبار دریکی از پهناورترین استان‌های بیابانی کشور- استان کرمان -انجام شد.

بر اساس یافته های این مطالعه، همبستگی بین بیشینه هواویزهای غبار و دید افقی ثبت‌شده در روزهای غبارآلود استان کرمان برابر با ۰/۷۷- است. همبستگی تعداد رخدادهای گردوخاک محاسبه‌شده بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای و دید افقی در استان گلستان برابر با ۰/۶۶ گزارش‌شده است. ارتباط معکوس در مطالعه حاضر به این دلیل است که متغیرهای موردبررسی دید افقی و عمق اپتیکی هواویزها است درحالی‌که در مطالعه Khansalari و همکاران (۲۰۲۳)، تعداد رخدادهای ثبت‌شده بر اساس این پارامترها بوده است اما درواقع هر دو نتیجه بیانگر این موضوع می‌باشند که با افزایش رویدادهای گردوغبار و کاهش دید افقی، عمق اپتیکی هواویزها افزایش‌یافته‌اند. بر این اساس؛ یافته‌های این محققین، مؤید یافته‌های این مطالعه نیز است.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات زمانی با بهره‌گیری از آزمون من-کندال نشان داد که در ماه ژوئن، روند تغییرات عمق اپتیکی هواویزهای غبار در بیش از ۷۸ درصد شهرستان‌های استان کرمان، کاهشی-غیرمعنی دار؛ در حدود ۱۷ درصد شهرستان‌ها، افزایشی غیر معنی‌دار و در حدود ۴ درصد شهرستان‌ها، بدون روند بوده است. در ماه دسامبر نیز روند تغییرات در دوسوم شهرستان‌های استان، کاهشی و یا بدون روند بوده و در حدود ۲۶ درصد آن‌ها، افزایشی و غیر معنی‌دار بوده است. این در حالی است که در نوامبر و می، بیش از نیمی از استان کرمان و در سایر ماه‌ها بیش از دوسوم استان، تغییرات افزایشی هواویزها را در ۲۳ سال گذشته تجربه کرده‌اند. استان کرمان در جولای و آوریل بدترین شرایط را ازنظر حضور آئروسل‌های جوی داشته زیرا ضخامت اپتیکی آن‌ها به ترتیب در ۹۵/۷٪ و ۸۷٪ مناطق استان به بیش از ۰/۵ رسیده و با پدیده گردوغبار مواجه بوده است. در مقیاس فصلی، بیش از ۶۹ درصد مناطق استان در فصول بهار و پاییز و بیش از ۹۵ درصد استان در فصول تابستان و زمستان با روند تغییرات افزایشی غلظت هواویزهای غبار ناشی از وقوع پدیده گردوغبار مواجه بوده‌اند. در مقیاس سالانه، همه مناطق استان کرمان، روند افزایشی غلظت هواویزهای گردوغبار را در دوره آماری موردمطالعه تجربه کرده‌اند که این تغییرات در شهرستان‌های غربی بیشتر از سایر شهرستان‌های استان بوده است.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

Mirakbari and Ebrahimi-Khusfi (۲۰۲۰) به روند کاهشی سالانه AOD در کهنوج، بافت، بم و جیرفت و روند افزایشی در کرمان، و عدم وجود روند در شهربابک و سیرجان اشاره‌کرده‌اند که علت اصلی اختلاف در نتایج ارائه‌شده با پژوهش حاضر این است که در مطالعه انجام‌شده توسط این محققین، روند تغییرات متوسط عمق اپتیکی هواویزها در کل روزها بررسی‌شده است این در حالی است که در پژوهش حاضر روند تغییرات این پارامتر در روزهای غبارآلود موردبررسی قرارگرفته است. اما ازنظر مکانی بیشترین غلظت هواویزها در هر دو مطالعه مربوط به نواحی شرقی استان بوده است که از این نظر، بین نتایج همخوانی وجود دارد. در بسیاری از مطالعاتی که همانند مطالعه حاضر، روند تغییرات هواویزهای غبار (AOD>0.5) تجزیه‌وتحلیل شده است، به‌عنوان‌مثال؛ مطالعه Ensafimoghadam(۲۰۲۱) در نواحی جنوب غربی ایران و همچنین مطالعه Khansalari و همکاران در استان گلستان (۲۰۲۳)، نتیجه مهم گزارش‌شده، روند افزایشی غبارآلودگی هوا در بسیاری از مناطق موردبررسی بوده است که مؤید یافته‌های این پژوهش است.

توجه به این نکته ضروری است که این نتایج به‌منزله بالاتر بودن غلظت هواویزها در نواحی غربی نسبت به دیگر مناطق استان کرمان نیست؛ زیرا همان‌گونه که بر اساس توزیع فضائی هواویزهای غبار مشخص شد، عمق اپتیکی هواویزها در نواحی شرقی و جنوبی استان در ۲۳ سال گذشته بالاتر از نواحی مرکزی و عمدتاً بالاتر از نیمه غربی استان بوده است. درواقع نتایج حاصل از تحلیل روند تغییرات زمانی هواویزهای غبار؛ حساس‌تر شدن شهرستان‌های غربی استان را نسبت به پدیده فرسایش بادی در مقایسه با گذشته نشان می‌دهد که این می‌تواند تهدیدی جدید و جدی برای ساکنین این مناطق باشد. همچنین، روند افزایشی در نواحی جنوبی و شرقی بیانگر تشدید وقوع رخدادهای گردوغبار در این مناطق است که مجموع این شرایط منجر به نامطلوب‌تر شدن کیفیت هوای استان در دهه‌های اخیر شده است. با توجه به تشدید وقوع پدیده فرسایش بادی و توفان‌های گردوغبار در بسیاری از مناطق استان کرمان، کنترل این پدیده جهت افزایش امنیت سلامت ساکنین مناطق تحت تأثیر، ضروری است. گرچه آگاهی از تغییرات مکانی و زمانی هواویزهای غبار منجر به افزایش درک ما نسبت به پدیده فرسایش بادی و گردوغبار در این استان پهناور شده است اما به‌منظور جلوگیری، کنترل و کاهش خطرات ناشی از وقوع این پدیده مخرب محیط زیستی نیاز به شناسایی محرک‌های اصلی این تغییرات است که پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی برای هر شهرستان به‌طور جداگانه موردبررسی قرار گیرد.

منابع

1. Aswini, M., Kumar, A., & Das, S. K. (2020). Quantification of long-range transported aeolian dust towards the Indian peninsular region using satellite and ground-based data-A case study during a dust storm over the Arabian Sea. *Atmospheric Research, 239*, 104910. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104910
2. Boroughani, M., Mohammadi, M., Mirchooli, F., & Fiedler, S. (2022). Assessment of the impact of dust aerosols on crop and water loss in the Great Salt Desert in Iran. *Computers and Electronics in Agriculture, 192*, 106605. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106605
3. Ebrahimi-Khusfi, Z., Nafarzadegan, A. R., Kazemi, M., & Ebrahimi-Khusfi, M. (2022). Influential environmental drivers on air pollution in dust-sensitive regions of Iran. *Arabian Journal of Geosciences, 15*(16), 1388. https://doi.org/10.1007/s12517-022-10602-8
4. Ensafi Moghaddam, T. (2021). Investigation of aerosol optical depth index (AOD) in dust events over Southwestern of Iran. *Iran Nature, 5*(6), 55-67. https://doi.org/10.22092/irn.2021.123361 (In persian)

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

5. Filonchyk, M., & Peterson, M. (2022). Development, progression, and impact on urban air quality of the dust storm in Asia in March 15–18, 2021. *Urban Climate, 41*, 101080. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101080
6. Ghamkhar, M., Roustaei, F., & Ebrahimi-Khusfi, Z. (2023). Spatiotemporal variations of internal dust events in urban environments of Iran, Southwest Asia. *Environmental Science and Pollution Research, 30*(11), 29476-29493. https://doi.org/10.1007/s11356-022-24091-5
7. Hassan, E. M., Fattahi, E., & Habibi, M. (2023). Application of a regional climate model on autumn dust events over the Urmia Basin. *Atmospheric Pollution Research, 14*(11), 101904. https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101904
8. Jafari, E., Rezazadeh, M., Bazrafshan, O., & Jamshidi, S. (2022). Spatiotemporal variability of sand-dust storms and their influencing factors in the MENA region. *Theoretical and Applied Climatology, 149*(3-4), 1357-1371. https://doi.org/10.1007/s00704-022-04105-5
9. Ji, D., Palm, M., Ritter, C., Richter, P., Sun, X., Buschmann, M., & Notholt, J. (2023). Ground-based remote sensing of aerosol properties using high-resolution infrared emission and lidar observations in the High Arctic. *Atmospheric Measurement Techniques, 16*(7), 1865-1879. https://doi.org/10.5194/amt-16-1865-2023
10. Kendall, M. (1975). Rank correlation measures, Vol. 202. *Charles Griffin, London, 15, 690*.
11. Khansalari, K., Majidi Dashli Brun, O., Nikzadfar, Maryam, & Mollaarazi, Abdoljabar. (2023). Temporal and spatial changes of dust in Golestan province using AOD (Aerosol Optical Depth) and the affectability of this province from the deserts of Turkmenistan. *Journal of the Earth and Space Physics, 49*(2), 517-540. http//doi.org/10.22059/jesphys.2023.349946.1007462
12. Klose, M., Gill, T. E., Etyemezian, V., Nikolich, G., Zadeh, Z. G., Webb, N. P., & Van Pelt, R. S. (2019). Dust emission from crusted surfaces: Insights from field measurements and modelling. *Aeolian research, 40*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2019.05.001
13. Kok, J. F., Storelvmo, T., Karydis, V. A., Adebiyi, A. A., Mahowald, N. M., Evan, A. T.,... Leung, D. M. (2023). Mineral dust aerosol impacts on global climate and climate change. *Nature Reviews Earth & Environment, 4*(2), 71-86. https://doi.org/10.1038/s43017-022-00379-5
14. Liu, G., Li, J., Ying, T., Su, H., Huang, X., & Yu, Y. (2023). Increasing fire weather potential over Northeast China linked to declining Bering Sea ice. *Geophysical Research Letters*, *50*(19), e2023GL105931. https://doi.org/10.1016/j.scib.2023.05.031
15. Mann, H. B.(1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259. https://doi.org/10.2307/1907187
16. Masoumi, A., Laleh, E., & Bayat, A. (2019). 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. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 185*, 68-79. https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.01.015
17. Meng, H., Bai, G., & Wang, L. (2023). Analysis of the spatial and temporal distribution characteristics of AOD in typical industrial cities in northwest China and the influence of meteorological factors. *Atmospheric Pollution Research*, 101957. https://doi.org/10.1016/j.apr.2023.101957
18. 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. https://dorl.net/dor/http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.3.5.3 (In persian)
19. Mohammadpour, K., Rashki, A., Sciortino, M., Kaskaoutis, D. G., & Boloorani, A. D. (2022). A statistical approach for identification of dust-AOD hotspots climatology and

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]

clustering of dust regimes over Southwest Asia and the Arabian Sea. *Atmospheric Pollution Research, 13*(4), 101395. https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101395
20. Phuong, D. N. D., Tram, V. N. Q., Nhat, T. T., Ly, T. D., & Loi, N. K. (2020). Hydro-meteorological trend analysis using the Mann-Kendall and innovative-Şen methodologies: a case study. *International Journal of Global Warming, 20*(2), 145-164. https://doi.org/10.1504/IJGW.2020.105385
21. Qin, W., Liu, Y., Wang, L., Lin, A., Xia, X., Che, H.,... 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
22. Saieedifar, 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. https://dorl.net/dor/http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1399.11.4.3.3(In persian)
23. Saini, R. K., Saini, D. K., Gupta, R., Verma, P., Dwivedi, R., Kumar, A.,... Kumar, S. (2023). Effects of dust on the performance of solar panels–a review update from 2015–2020. *Energy & Environment, 34*(6), 2110-2162. https://doi.org/10.1177/0958305X221105267
24. Soleimani-Sardo, M., Shirani, M., & Strezov, V. (2023). Heavy metal pollution levels and health risk assessment of dust storms in Jazmurian region, Iran. *Scientific Reports, 13*(1), 7337. https://doi.org/10.1038/s41598-023-34318-1
25. Wang, P., Tang, Q., Zhu, Y., He, Y., Yu, Q., Liang, T., & Zheng, K. (2022). Spatial-Temporal Variation of AOD Based on MAIAC AOD in East Asia from 2011 to 2020. *Atmosphere, 13*(12), 1983. https://doi.org/10.3390/atmos13121983
26. Yousefi, R., Wang, F., Ge, Q., Shaheen, A., & Kaskaoutis, D. G. (2023). Analysis of the winter AOD trends over Iran from 2000 to 2020 and associated meteorological effects. *Remote Sensing, 15*(4), 905. https://doi.org/10.3390/rs15040905
27. Zhu, Z., Zhang, Z., Liu, F., Chen, Z., Ren, Y., & Guo, Q. (2023). Study on Accuracy Evaluation of MCD19A2 and Spatiotemporal Distribution of AOD in Arid Zones of Central Asia. *Sustainability, 15*(18), 13959. https://doi.org/10.3390/su151813959

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-16]