

Evaluation of dust changes and its relationship with temperature (Case study: Khuzestan province)**Fateme farzanehpey¹, Abolfazl Ranjbar-Fordoe^{1*}, Hassan Khosravi², Sayyed Hoojjat Mousavi³**

1- Department of Desert Studies, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University Kashan, Kashan, Iran

2- Department of Arid and Mountainous Regions Reclamation, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

3- Department of Geography and Tourism, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

* **Corresponding author:** aranjbar@kashanu.ac.ir

(Received: 30 October 2023

Revised: 17 December 2023

Accepted: 14 January 2024)

Extended abstract

Introduction: Dust storm is one of the desertification and land degradation consequences especially in arid and hyper-arid regions of the world. Fine particles released from the Earth's surface can be released several kilometers and subsequently over long distances, sometimes even across continents. These particles play a key role in the Earth system by affecting the radiation balance as well as forest and ocean ecosystems. Weather is often considered as the main factor influencing the occurrence of dust storms. Dust storms have increased in recent years mainly due to continued droughts and global warming. Temperature is an important variable in climatology in terms of its direct effect on weather variables such as pressure, wind movement, cloud formation and precipitation. Based on previous studies, the increase in temperature along with the decrease in rainfall and the increase in wind speed provide the conditions for the creation of dust storms. In general, the review of the studies conducted in the field of evaluating dust changes and the effect of temperature parameters on it shows that it is possible to conduct these studies from different perspectives and methods. Therefore, it is necessary to find a comprehensive view on dust and factors affecting it by reviewing and evaluating the results of other studies so that the phenomenon can be controlled and managed. The number of dusty days in Khuzestan province is significant and has increased in recent years. The reason for that is its proximity to the great deserts of the neighboring countries. Therefore, this province is one of the challenging areas of the country in the field of dust management and control. The purpose of this study is to evaluate the trend of dust changes and the effect of temperature on this phenomenon. The results of this study help to better understand the phenomenon of dust in Khuzestan province.

Materials and methods: In this research, three data groups were used including the monthly average temperature of 13 meteorological stations in the study area, the monthly average land surface temperature (LST), and the monthly average aerosol optical depth (AOD). First, the trend of dust changes was evaluated using the Mann-Kendall test. Then, the relationship between temperature parameters and dust was investigated using the correlation between the AOD in a buffer of 5 km around the selected station with temperature parameters including monthly average temperature and average monthly LST in buffers of 5, 10 and 20 km around the selected station.

Results and Discussion: The evaluation of the average changes in the buffer of 5 km around the selected stations showed that in the months of February, July, December and April, no increasing trend was observed in any of the stations and even in the month of April, there was a decreasing trend in two stations. The trend of AOD changes was increasing with a probability of more than 90% in the months of August, September and November in seven, March in five, October in four, January in three, May in two and June in one station. The correlation results of temperature parameters and AOD showed that a very strong correlation between average LST and AOD has occurred only in the three months of May, June and July in different buffers. There are the highest number of strong correlations in the months of May to August between temperature parameters and AOD. Also, the highest number of very weak correlations occurred in April, March, November, and December. The highest number of very weak and weak correlations are related to air temperature (85 and 47 numbers, respectively). This shows that LST is more important than temperature in evaluating changes in dust intensity in the study area.

Conclusion: According to the results of this research, it can be said that air temperature has a weak correlation with dust, and most of the strong and very strong correlations occurred with the average LST in different buffers, which shows that LST is more important than temperature in evaluating dust intensity changes in the study area. In general, evaluation and monitoring of dust changes can be effective in identifying new dust sources as well as evaluating wind erosion, dust control, and management activities. Therefore, it can be suggested that an online and up-to-date system based on remote sensing and artificial intelligence be designed and presented to evaluate and monitor dust changes. In this case, the management of the dust phenomenon in Iran will be more targeted and the dust sources can be identified faster. On the other hand, one should pay attention to the factors affecting these changes and evaluate their effect on dust.

Keywords: Change trend, Correlation, Aerosol Optical Depth, Earth Surface Temperature, Man Kendall.

Citation: Farzanehpey, F., Ranjbar-Fordoe, A., Khosravi, H., & Mosavi, S. H. (2024). Evaluation of dust changes and its relationship with temperature (Case study: Khuzestan province). *Integrated Watershed Management*, 4(1), 16-29. doi: 10.22034/iwm.2024.2014553.1112

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



ارزیابی روند تغییرات گردوغبار و ارتباط آن با دما (مطالعه موردی: استان خوزستان)

فاطمه فرزانه پی^۱، ابوالفضل رنجبر فردوئی*^۱، حسن خسروی^۲، سید حجت موسوی^۳

۱- گروه بیابان‌زدائی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲- گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- گروه جغرافیا و گردشگری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

*نویسنده مسئول: aranjbar@kashanu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

چکیده مبسوط

مقدمه: یکی از اثرات بیابان‌زایی و تخریب زمین به‌ویژه در مناطق خشک و فراخشک جهان، طوفان‌های گردوغبار است. ذرات ریز گردوغبار آزادشده از سطح زمین می‌توانند چندین کیلومتر و گاهی اوقات حتی در سراسر قاره‌ها رها شوند و با تأثیر بر تعادل تشعشعی و همچنین اکوسیستم‌های جنگلی و اقیانوسی، نقش کلیدی در سیستم زمین ایفا کنند. آب‌وهوا اغلب به‌عنوان عامل اصلی مؤثر بر وقوع این طوفان‌ها در نظر گرفته می‌شود. طوفان‌های گردوغبار در سال‌های اخیر عمدتاً به دلیل افزایش خشک‌سالی و موج گرما در مقیاس جهانی افزایش یافته است. دما از نظر تأثیر مستقیم بر متغیرهای آب و هوایی مانند فشار، حرکت باد، تشکیل ابر و بارش، متغیر مهمی در اقلیم است. مطالعات نشان می‌دهد که افزایش دما به همراه کاهش بارندگی، افزایش سرعت باد و شرایط ایجاد طوفان‌های گردوغبار را فراهم می‌کند. به‌طور کلی بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی روند تغییرات گردوغبار و اثر پارامترهای دمایی بر آن نشان می‌دهد که از دیدگاه‌ها و روش‌های مختلفی امکان انجام این مطالعات وجود دارد. در نتیجه نیاز است که با بررسی و ارزیابی نتیجه آن‌ها دیدگاه جامعی از گردوغبار و عوامل مؤثر بر آن پیدا کرد تا بتوان به کنترل و مدیریت این پدیده کمک نمود. در استان خوزستان، به علت مجاورت با بیابان‌های بزرگ کشورهای همجوار تعداد روزهای غبارآلود قابل توجه و در سال‌های اخیر افزایش یافته است؛ بنابراین یکی از نواحی چالش‌برانگیز کشور در زمینه مدیریت و کنترل پدیده گردوغبار است. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی روند تغییرات گردوغبار و اثر دما بر این پدیده است. نتایج این مطالعه به شناخت بهتر پدیده گردوغبار در استان خوزستان کمک می‌کند.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از سه گروه داده شامل داده‌های میانگین دمای ماهانه ۱۳ ایستگاه هواشناسی محدوده مورد مطالعه، میانگین ماهانه داده‌های دمای سطح زمین یا LST و داده‌های میانگین ماهانه عمق نوری آئروسول (AOD) استفاده شد. در این مطالعه ابتدا به ارزیابی روند تغییرات گردوغبار با استفاده از آزمون من کندال پرداخته شد و در بخش دوم بررسی رابطه پارامترهای دمایی بر گردوغبار با استفاده از همبستگی بین میانگین عمق نوری آئروسول (AOD) در حائل ۵ کیلومتری در اطراف ایستگاه منتخب با پارامترهای دمایی شامل میانگین دمای ماهانه و میانگین LST ماهانه در حائل ۵، ۱۰ و ۲۰ کیلومتری در اطراف ایستگاه منتخب انجام شد.

نتایج و بحث: نتایج ارزیابی روند تغییرات میانگین حائل ۵ کیلومتری اطراف ایستگاه‌های منتخب نشان داد که در ماه‌های فوریه، جولای، دسامبر و آوریل در هیچ‌کدام از ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده نشد و حتی در ماه آوریل در دو ایستگاه روند کاهشی نیز دارند. همچنین در ماه‌های آگوست، سپتامبر و نوامبر در هفت ایستگاه، مارس در پنج ایستگاه، اکتبر در چهار ایستگاه، ژانویه در سه ایستگاه، می در دو ایستگاه و ژوئن در یک ایستگاه روند تغییرات AOD با احتمال بیش از ۹۰٪ افزایشی است. همچنین نتایج همبستگی پارامترهای دمایی و مقادیر AOD نشان داد که به‌طور کلی همبستگی بسیار قوی بین پارامترهای دمایی و مقادیر AOD تنها در سه ماه می، ژوئن و جولای با میانگین LST در بافرهای مختلف رخ داده است. بیشترین تعداد همبستگی قوی در ماه‌های می تا آگوست بین پارامترهای دمایی و مقادیر AOD وجود دارد. همچنین بیشترین تعداد همبستگی خیلی ضعیف در ماه‌های آوریل، مارس، نوامبر و دسامبر رخ داده است. بیشترین تعداد همبستگی خیلی ضعیف و ضعیف مربوط به دمای هوا (به ترتیب ۸۵ و ۴۷ عدد) است که این امر نشان‌دهنده اهمیت بیشتر LST نسبت به دما در ارزیابی تغییرات شدت گردوغبار در محدوده مورد مطالعه دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان گفت که دمای هوا همبستگی ضعیفی با گرد غبار نشان داد و بیشتر همبستگی‌های قوی و خیلی قوی با میانگین LST در بافرهای مختلف رخ داده که این امر نشان‌دهنده اهمیت بیشتر LST نسبت به دما در ارزیابی تغییرات شدت گردوغبار در محدوده مورد مطالعه دارد. به‌طور کلی ارزیابی و پایش تغییرات گردوغبار می‌تواند کمک بزرگی به شناسایی کانون‌های جدید و همچنین ارزیابی نتایج فعالیت‌های کنترل و مدیریت فرسایش بادی و گردوغبار کند. بنابراین می‌توان پیشنهاد داد یک سامانه مبتنی بر سنجش‌ازدور و هوش مصنوعی به‌صورت آنلاین و به‌روز جهت ارزیابی و پایش تغییرات گردوغبار طراحی و ارائه شود تا مدیریت پدیده گردوغبار در ایران هدفمندتر شده و شناسایی کانون‌ها سریع‌تر انجام شود. از طرف دیگر باید به عوامل مؤثر بر این تغییرات نیز توجه نمود و اثر آن‌ها را بر گردوغبار مورد ارزیابی قرار داد.

واژگان کلیدی: روند تغییرات، همبستگی، عمق اپتیکی آئروسول، درجه حرارت سطح زمین، من کندال

استناد: فرزانه پی، ف.، رنجبر فردوئی، ا.، خسروی، ح.؛ و موسوی، س. ح. (۱۴۰۳). ارزیابی روند تغییرات گردوغبار و ارتباط آن با دما (مطالعه موردی: استان خوزستان). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز (۱)، ۴-۲۹.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

یکی از اثرات بیابان‌زایی و تخریب زمین به‌ویژه در مناطق خشک و فرا خشک جهان، طوفان‌های گردوغبار است (Jebali *et al.*, 2021). این پدیده در اثر وزش بادهای شدید و در نتیجه جدا کردن ذرات ناپایدار از سطح خاک ایجاد می‌شود (Rayegani *et al.*, 2020). ذرات ریز گردوغبار آزاد شده از سطح زمین می‌توانند چندین کیلومتر و متعاقباً در فواصل طولانی، گاهی اوقات حتی در سراسر قاره‌ها رها شوند و با تأثیر بر تعادل تشعشعی و همچنین اکوسیستم‌های جنگلی و اقیانوسی، نقش کلیدی در سیستم زمین ایفا کنند (Jin *et al.*, 2022). گردوغبار اثرات قابل‌توجهی بر محیط‌زیست، آب‌وهوا، شیمی جو و مهم‌تر از همه، سلامت انسان دارد (Rosenfeld *et al.*, 2019). با توجه به اثرات پدیده گردوغبار بر انسان و محیط‌زیست، ارزیابی توزیع مکانی و زمانی گردوغبار و تغییرات بین‌سالانه و اثرات آن ضروری است (Du *et al.*, 2023). یکی از روش‌های مطالعه گردوغبار استفاده از داده‌های عمق نوری آئروسول (AOD) است. عمق نوری آئروسول (AOD) یک اندازه‌گیری یکپارچه ستونی از ضریب خاموشی است که نشان‌دهنده تضعیف تابش خورشیدی توسط پراکندگی و جذب آئروسول‌ها از جمله گردوغبار است (Namdari *et al.*, 2016). این متغیر معمولاً از مشاهدات زمینی و فضایی به دست می‌آید. مشاهدات زمینی تفکیک زمانی و طیفی بالایی دارند، اما آن‌ها فقط ناحیه کوچکی را در اطراف سایت نظارت نشان می‌دهند. از سوی دیگر، مشاهدات ماهواره‌ای به دلیل قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا و همچنین پوشش جهانی آن، به‌طور گسترده در مطالعات نیروی تابشی آئروسول در مقیاس‌های منطقه‌ای، جهانی و فصلی استفاده شده است (Namdari *et al.*, 2016). عمق نوری آئروسول (AOD) از تصاویر ماهواره‌ای برای مطالعه طوفان‌های گردوغبار به دلیل ماهیت فضایی بزرگ چنین توده‌هایی بسیار کارآمد هستند (Alam *et al.*, 2011; Qi *et al.*, 2013). تحقیقات زیادی با

استفاده از داده‌ها و روش‌های متنوع در زمینه ارزیابی روند تغییرات گردوغبار وجود دارد. به‌طور مثال تحقیق Yu و همکاران (2018) حاکی از افزایش ۱۵ درصدی انتشار گردوغبار از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ در خاورمیانه است. همچنین Yousefi و همکاران (2023) نشان دادند که مقادیر AOD زمستانی در ایران، در طول دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۰ روند صعودی قابل‌توجهی را نشان داد و پس‌از آن در دوره ۲۰۱۸-۲۰۱۰ کاهش قابل‌توجهی داشته است.

از طرف دیگر آب‌وهوا اغلب به‌عنوان عامل اصلی مؤثر بر وقوع طوفان‌های گردوغبار در نظر گرفته می‌شود. طوفان‌های گردوغبار در سال‌های اخیر عمدتاً به دلیل افزایش خشک‌سالی و موج گرما در مقیاس جهانی افزایش یافته است (Nukapothula *et al.*, 2023). دما از نظر تأثیر مستقیم بر متغیرهای آب و هوایی مانند فشار، حرکت باد، تشکیل ابر و بارش، متغیر مهمی در اقلیم است. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که افزایش دما به همراه کاهش بارندگی، افزایش سرعت باد شرایط ایجاد طوفان‌های گردوغبار را فراهم می‌کند (Rezaei & Ghasemieh, 2019). تحقیقات متنوعی با موضوع اثر اقلیم بر طوفان‌های گردوغبار صورت گرفته است که می‌توان به تحقیقات زیر اشاره کرد.

Yarahmadi و همکاران (2015) به‌منظور ارزیابی اثر بارش و دما بر گردوغبارهای غرب و جنوب غرب ایران، داده‌های سرعت باد، دما، بارش و تعداد روزهای گردوغباری ۵ ایستگاه منطقه برای دو دوره پنج‌ساله را استفاده نمودند. نتایج نشان داد در سال‌های اخیر، میزان متوسط بارش سالانه کاهش و میزان دما، سرعت باد و تعداد روزهای گردوغباری افزایش یافته است.

Modarres و Sadeghi (2018) با بررسی روند مکانی و زمانی طوفان‌های گردوغبار مناطق کویری ایران، بیان داشتند که خشکی و دمای بالا و همچنین زمین‌های کشاورزی رها شده از عوامل مؤثر بر تشدید رخداد گردوغبار در این نواحی است. نتایج مطالعات Mahmoodimahpash و Soury (2021) به‌منظور

از انجام این مطالعه ارزیابی روند تغییرات گردوغبار و اثر دما بر این پدیده است. نتایج این مطالعه به شناخت بهتر پدیده گردوغبار در استان خوزستان کمک می‌کند. لازم به ذکر است که استفاده از حائل‌های مختلف اطراف ایستگاه برای بررسی دما و ارزیابی نتایج آن، از نوآوری‌های این پژوهش است.

مواد و روش‌ها

استان خوزستان در جنوب غرب ایران و در موقعیت جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت این استان ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع و با جمعیت ۴۷۱۰۵۰۰ نفری، پنجمین استان پرجمعیت ایران محسوب می‌شود. استان خوزستان از نقطه نظر پستی و بلندی به دو بخش کوهستانی و جلگه‌ای قابل تقسیم است. میانگین بارندگی سالانه استان ۲۶۶ میلی‌متر و دوره ی بارندگی معمولاً بین مهرماه تا اردیبهشت ماه است. میانگین و بیشینه دما در دوره گرما به ترتیب ۳۱/۲ و بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد است. استان خوزستان از نظر تقسیم بندی دوارتن گسترده شش اقلیم مهم فرا سرد، نیمه خشک معتدل، مدیترانه‌ای، معتدل خشک بیابانی، گرم نیمه‌خشک، گرم خشک بیابانی و گرم فرا خشک دارد. مهمترین اقلیم استان گرم خشک بیابانی و سپس اقلیم‌های گرم خشک و گرم نیمه خشک است (Soleimani et al., 2023).

در این پژوهش از سه گروه داده استفاده شد. ویژگی این داده‌ها در جدول زیر آمده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش به منظور ارزیابی گردوغبار از AOD باند آبی (۴۷۰ نانومتر) استفاده شد و از این به بعد در این پژوهش هر جا AOD به تنهایی آمده باشد، منظور AOD باند آبی محصول MCD19A2 است (جدول ۱).

مقایسه میزان و روند غلظت ذرات گردوغبار در ارتباط با متغیرهای اقلیمی در نیمه غربی ایران نشان داد که در ایستگاه سنجش بین غلظت گردوغبار و میانگین دما رابطه مثبت وجود دارد.

Motavallizadeh Naeini و Modarres (2022) با بررسی فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ارتباط با تغییرات اقلیمی در منطقه خشک ایران نشان دادند که سرعت باد و دما تأثیر بیشتری بر نوسانات فراوانی گردوغبار دارند و کاهش بارندگی اثر افزایشی بر گردوغبار دارد.

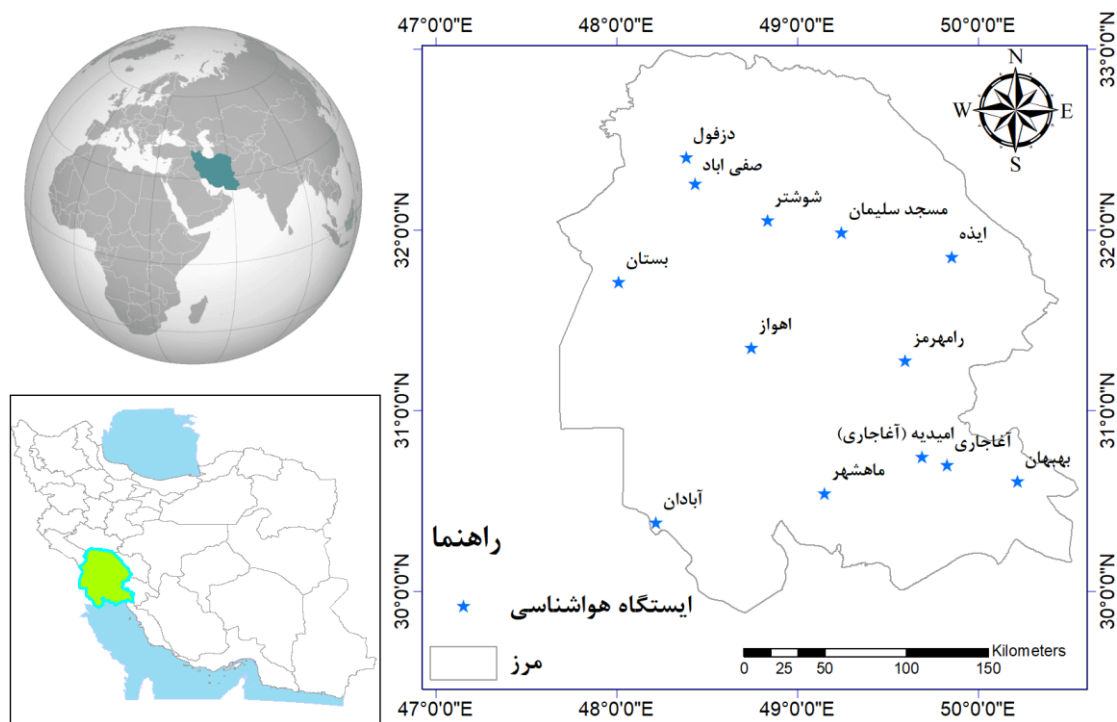
Ziyae و همکاران (2018) نرخ فرونشست طوفان‌های گردوغبار و ارتباط آن با برخی متغیرهای اقلیمی در استان خراسان رضوی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بین متوسط فرونشست گردوغبار رابطه مثبت و معنی‌داری با حداقل و حداکثر دما، سرعت باد و رابطه منفی با رطوبت نسبی در سطح ۵٪ وجود داشته است. Kazemi و همکاران (2020) رابطه بیشینه گردوغبار و متغیرهای اقلیمی استان هرمزگان با استفاده از سنجش‌ازدور را طی دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ بررسی کردند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد متغیرهای پوشش گیاهی، رطوبت خاک و میزان بارش بیشترین تأثیر را بر میزان گردوغبار داشتند.

به‌طور کلی بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه ارزیابی روند تغییرات گردوغبار و اثر پارامترهای دمایی بر آن نشان می‌دهد که از دیدگاه‌ها و روش‌های مختلفی امکان انجام این مطالعات وجود دارد. در نتیجه نیاز است که با بررسی و ارزیابی نتیجه آن‌ها دیدگاه جامعی از گردوغبار و عوامل مؤثر بر آن پیدا کرد تا بتوان به کنترل و مدیریت این پدیده کمک نمود. استان خوزستان، به علت مجاورت و نزدیکی به بیابان‌های بزرگ کشورهای هم‌جوار دارای روزهای غبارآلود قابل توجهی است و این پدیده در سال‌های اخیر افزایش یافته است؛ بنابراین یکی از نواحی چالش‌برانگیز کشور در زمینه مدیریت و کنترل پدیده گردوغبار است. هدف

جدول ۱ - داده‌های مورد استفاده در این پژوهش

Table1- The data used in this research

ردیف	داده	توضیحات
1	داده‌های هواشناسی	۱۳ ایستگاه هواشناسی (شکل ۱)
2	میانگین ماهانه داده‌های دمای سطح زمین یا LST	از محصول MOD11A1 با قدرت تفکیک زمانی و مکانی ۸ روزه و یک کیلومتر
3	میانگین ماهانه داده‌های AOD	از داده‌های MCD19A2 با قدرت تفکیک زمانی یک روزه و قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خوزستان و ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

Figure1 - Geographical location of Khuzestan province and desired meteorological stations

AOD روزانه، داده‌های ماهانه آن از ابتدای سال ۲۰۰۱ تا انتهای سال ۲۰۲۲ به دست آمد. سپس میانگین هر ماه طی ۲۲ سال محاسبه گردید و میانگین AOD در حائل ۵ کیلومتری در اطراف ایستگاه منتخب برای ماه‌های مختلف محاسبه و روند تغییرات آن برای هر ایستگاه در ماه‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش به منظور ارزیابی روند تغییرات از آزمون من‌کنندال استفاده شد. این آزمون بر اساس معادله

روش تحقیق

این پژوهش در دو بخش انجام شد. بخش اول ارزیابی روند تغییرات شدت گردوغبار و بخش دوم بررسی رابطه پارامترهای دمایی بر گردوغبار است که در ادامه به تفصیل هر بخش شرح داده می‌شود.

بخش اول: ارزیابی روند شدت گردوغبار

به منظور استخراج داده‌های AOD، ابتدا در سامانه Google Earth Engine با میانگین‌گیری از داده‌های

$$E(S) = 0 \quad (۳)$$

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5)] \quad (۴)$$

که tp تعداد دنباله‌ها برای p امین مقدار و p تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول شماره (۴) یک تعدیل برای دنباله‌های حساس است. پارامتر استاندارد شده آزمون Z_M از رابطه شماره (۵) به دست می‌آید (Heydari Alamdarloo et al., 2021).

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

جدول (۲) طبقه‌بندی احتمال روند تغییرات با توجه به مقادیر Z_M را نشان می‌دهد.

شماره (۱) محاسبه می‌شود (Heydari Alamdarloo et al., 2021).

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad (۱)$$

که در آن مقادیر x_i و x_j داده‌های متوالی است، n طول سری زمانی است و تابع علامت نیز به ترتیب زیر قابل محاسبه است (Heydari Alamdarloo et al., 2021).

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

میانگین $E(S)$ و واریانس $Var(S)$ پارامتر S به ترتیب زیر به دست می‌آید (Heydari Alamdarloo et al., 2021).

جدول ۲- جدول طبقه‌بندی احتمال روند تغییرات بر مبنای مقادیر Z_M (Martin et al., 2018)

Table 2- Classification table of the probability of change trend based on Z_M values (Martin et al., 2018)

رنگ در نتایج	مقادیر Z_M	کلاس سطح اطمینان	ردیف
	$-2.57 >$	کاهشی با احتمال بیش از 99٪	1
	-2.57 تا -1.96	کاهشی با احتمال بین 95٪ تا 99٪	2
	-1.96 تا -1.64	کاهشی با احتمال بین 90٪ تا 95٪	3
	-1.64 تا +1.64	بدون روند	4
	+1.64 تا +1.96	افزایشی با احتمال بین 90٪ تا 95٪	5
	+1.96 تا +2.57	افزایشی با احتمال بین 95٪ تا 99٪	6
	$+2.57 <$	افزایشی با احتمال بیش از 99٪	7

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (۶)$$

در معادله (۶) نقشه ضریب همبستگی پیرسون، x_i و \bar{x} به ترتیب مقادیر پارامترهای دمایی و میانگین آن پارامتر در طول دوره آماری (۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲) و y_i و \bar{y} به ترتیب AOD ماه‌های مختلف و میانگین AOD در طول دوره آماری است. مقدار ضریب همبستگی بین -۱ تا ۱ تغییر می‌کند که +۱ به معنای همبستگی مثبت کامل، صفر به معنی نبود همبستگی، و -۱ به

بخش دوم: بررسی اثر دما بر گردوغبار

در این بخش همبستگی بین میانگین AOD در حائل ۵ کیلومتری در اطراف ایستگاه منتخب با پارامترهای دمایی شامل میانگین دمای ماهانه و میانگین LST ماهانه در حائل ۵، ۱۰ و ۲۰ کیلومتری در اطراف ایستگاه منتخب انجام شد. مقدار همبستگی با استفاده از رابطه پیرسون (Lee Rodgers و Nicewander, 1988) محاسبه شد.

معنی همبستگی منفی کامل است. برای بررسی میزان همبستگی ابتدا قدر مطلق ضریب همبستگی گرفته شد و سپس با توجه به جدول (۳) میزان همبستگی ارزیابی شد.

جدول ۳- کلاس بندی ضریب همبستگی پیرسون (Evans, 1996)

Table3- Pearson coefficient classification (Evans, 1996)

رنگ در نتایج	مقادیر $ r $	کلاس	ردیف
	0-0.2	همبستگی خیلی ضعیف	1
	0.2-0.4	همبستگی ضعیف	2
	0.4-0.6	همبستگی متوسط	3
	0.6-0.8	همبستگی قوی	4
	0.8-1	همبستگی خیلی قوی	5

نتایج

جدول (۴) نتایج ارزیابی روند تغییرات میانگین حائل ۵ کیلومتری اطراف ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده در ایستگاه آبادان، AOD در ماه‌های مارس ژوئن و نوامبر با احتمال بین ۹۵٪ تا ۹۹٪ روند افزایشی دارد و در بقیه ماه‌ها روند خاصی قابل مشاهده نیست. در ایستگاه آغاچاری تنها در ماه‌های مارس (با احتمال ۹۵٪ تا ۹۹٪) و سپتامبر و اکتبر (با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪) روند افزایشی AOD مشاهده می‌شود. در ایستگاه امیدیه نیز روند تغییرات AOD در ماه‌های مارس (با احتمال بیش از ۹۹٪) و سپتامبر و اکتبر (با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪) روند تغییرات AOD ایستگاه اهواز نشان داد که ماه‌های آگوست و اکتبر با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪، نوامبر با احتمال ۹۵٪ تا ۹۹٪ و سپتامبر با احتمال بیش از ۹۹٪ روند تغییرات AOD افزایشی است. در ایستگاه ایذه روند افزایشی AOD تنها در ماه آگوست با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪ مشاهده می‌شود. ارزیابی روند تغییرات ایستگاه بستان حاکی از روند افزایشی AOD در ماه‌های می (با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪) و نوامبر (با احتمال بیش از ۹۹٪) دارد. در ایستگاه بهبهان AOD در ماه‌های ژانویه و نوامبر (با احتمال

۹۵٪ تا ۹۹٪) افزایشی و در ماه آوریل (با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪) کاهش می‌یابد. روند تغییرات AOD ایستگاه دزفول تنها در ماه ژانویه (با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪) و نوامبر (با احتمال ۹۵٪ تا ۹۹٪) افزایشی است. AOD ماه‌های می و سپتامبر با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪ در ایستگاه رامهرمز در حال افزایش است. در ایستگاه شوشتر AOD در ماه‌های آگوست و سپتامبر (با احتمال ۹۵٪ تا ۹۹٪) افزایشی و در ماه آوریل (با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪) کاهش می‌یابد. در ایستگاه صفی آباد، AOD در ماه‌های ژانویه، مارس و نوامبر با احتمال ۹۵٪ تا ۹۹٪ روند افزایشی دارد. روند تغییرات AOD ایستگاه ماهشهر حاکی از افزایشی بودن آن در ماه‌های مارس، آگوست، سپتامبر و نوامبر با احتمال ۹۵٪ تا ۹۹٪ و ماه اکتبر با احتمال بیش از ۹۹٪ دارد. در ایستگاه مسجدسلیمان AOD تنها در ماه‌های آگوست (با احتمال ۹۵٪ تا ۹۹٪) و سپتامبر (با احتمال ۹۰٪ تا ۹۵٪) افزایشی است. به طور کلی در ماه‌های فوریه، جولای، دسامبر و آوریل در هیچ کدام از ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده نشد و حتی در ماه آوریل در دو ایستگاه روند کاهشی نیز مشاهده می‌شود. همچنین در ماه‌های آگوست، سپتامبر و نوامبر در هفت ایستگاه، مارس در پنج ایستگاه، اکتبر در چهار ایستگاه، ژانویه

در سه ایستگاه، می در دو ایستگاه و ژوئن در یک ایستگاه روند تغییرات AOD با احتمال بیش از ۹۰٪ افزایشی است.

جدول ۴- مقادیر ZM در ارزیابی روند تغییرات AOD
Table 4- ZM values in evaluating AOD changes

مقیاس زمانی	آبادان	آغاچاری	امیدیه	اهواز	ایذه	بستان	بهبهان	دزفول	رامهرمز	شوشتر	صفی آباد	ماهشهر	مسجدسلیمان
ژانویه	0.15	0.73	0.42	0	1.57	0.24	2.24*	1.66	1	1.03	1.78	-0.88	1.06
فوریه	-0.21	1.33	1.51	1.03	-0.15	-0.76	-0.21	-0.66	1.03	0.39	-0.09	0.12	0.12
مارس	2.3*	2.42*	2.69**	1.18	1.09	1.21	-0.09	1.3	0.76	0.18	1.87	2.05*	0.21
آوریل	0.33	-0.94	-0.48	-0.79	-0.85	0	-1.66	-0.94	-0.85	-1.66	-0.51	-0.09	-0.94
می	1.03	0.82	0.97	1.48	0.24	1.9	0.12	0.63	1.81	0.6	0.27	0.39	0.75
ژوئن	2.26*	0.66	0.51	0.82	-0.12	0.63	-0.45	0	0.82	0.09	-0.27	1.06	-0.09
جولای	0.45	0.15	0.09	0.24	0.18	0.36	-1	-0.48	0.24	0.48	-0.63	0.3	-0.06
آگوست	0.18	1.93	1.72	1.84	1.78	0.42	0.57	1.03	0.42	2.27*	0.66	2.12*	1.96*
سپتامبر	0.48	1.72	1.72	2.69**	0.79	1.45	0.36	1.39	1.81	2.03*	0.51	1.99*	1.75
اکتبر	1.39	1.87	1.88	1.84	0.82	1.3	1.42	0.91	0.6	0.97	0.76	2.6**	0.91
نوامبر	2.05*	1	0.97	2.51*	0.57	2.78**	2.18*	2.14*	0.6	1.33	1.75	1.96*	0.6
دسامبر	1.27	0.39	0.33	-0.6	-0.97	-0.09	1.21	0.48	-1.3	0.42	-1.24	0.6	-0.51

* معنی‌داری در سطح پنج درصد

** معنی‌داری در سطح یک درصد

جدول (۵) نتایج مقادیر همبستگی پارامترهای دمایی و مقادیر AOD در ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، در ایستگاه امیدیه میانگین LST بافر ۲۰ کیلومتری در ماه می همبستگی بسیار قوی با مقادیر AOD دارد. همچنین در این ایستگاه میانگین LST بافر ۲۰ کیلومتری در ماه‌های ژوئن و جولای، میانگین LST بافر ۱۰ کیلومتری در ماه‌های می، ژوئن و جولای و میانگین LST بافر ۵ کیلومتری در ماه‌های می و ژوئن همبستگی قوی با مقادیر AOD دارند. نتایج همبستگی در ایستگاه اهواز حاکی از همبستگی بسیار قوی بین میانگین LST بافر ۲۰ کیلومتری در ماه می با مقادیر AOD دارد. همچنین همبستگی قوی بین مقادیر دمای هوا در ماه سپتامبر و میانگین LST در حائل با شعاع ۲۰ کیلومتری ماه‌های ژوئن تا سپتامبر، میانگین LST

حائل با شعاع ۱۰ کیلومتری در ماه‌های می، جولای و نوامبر و میانگین LST بافر ۵ کیلومتری در ماه‌های می تا آگوست با مقادیر AOD وجود دارد. در ایستگاه ایذه هیچ‌گونه همبستگی بسیار قوی بین پارامترهای دمایی و مقادیر AOD مشاهده نشد اما بین مقادیر میانگین LST بافر ۲۰ کیلومتری در ماه‌های ژانویه، فوریه، ژوئن، جولای و دسامبر، میانگین LST بافر ۱۰ کیلومتری در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر و میانگین LST حائل با شعاع ۵ کیلومتری در ماه‌های فوریه و دسامبر با مقادیر AOD همبستگی قوی وجود دارد.

در ایستگاه آبادان همبستگی قوی بین میانگین همه بافرهای LST در ماه‌های می و جولای و همچنین میانگین LST بافر ۲۰ کیلومتری ماه نوامبر با مقادیر AOD وجود دارد. در ایستگاه آغاچاری تنها بین میانگین LST حائل با شعاع

۲۰ کیلومتری در ماه‌های می تا جولای و میانگین LST بافر ۱۰ کیلومتری در ماه ژوئن با مقادیر AOD وجود دارد. در ایستگاه مسجدسلیمان همبستگی بسیار قوی تنها بین میانگین LST همه بافرها در ماه ژوئن با مقادیر AOD وجود دارد.

به‌طور کلی همبستگی بسیار قوی بین پارامترهای دمایی و مقادیر AOD تنها در سه ماه می، ژوئن و جولای در ایستگاه‌های مسجدسلیمان، رامهرمز، بندر ماهشهر، بهبهان، آغاجری، اهواز و امیدیه با میانگین LST در بافرهای مختلف رخ داده است. به‌عبارت‌دیگر در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها و در هیچ‌کدام از ماه‌ها همبستگی خیلی قوی بین دمای هوا و مقادیر AOD وجود ندارد.

بیشترین تعداد همبستگی قوی در ماه‌های می تا آگوست بین پارامترهای دمایی و مقادیر AOD وجود دارد. بیشترین تعداد همبستگی خیلی ضعیف در ماه‌های آوریل، مارس، نوامبر و دسامبر رخ داده است. بیشترین تعداد همبستگی خیلی قوی (۷ عدد) مربوط به میانگین LST بافر ۲۰ کیلومتری و سپس میانگین LST بافر ۵ کیلومتری (۴ عدد) است. بیشترین تعداد همبستگی قوی بین پارامترهای دمایی به ترتیب مربوط به میانگین LST بافر ۲۰ کیلومتری (۴۱ عدد)، میانگین LST بافر ۱۰ کیلومتری (۳۸ عدد) و میانگین LST بافر ۵ کیلومتری (۳۱ عدد) است. بیشترین تعداد همبستگی خیلی ضعیف و ضعیف مربوط به دمای هوا (به ترتیب ۸۵ و ۴۷ عدد) است.

۲۰ کیلومتری در ماه می با مقادیر AOD همبستگی بسیار قوی وجود دارد. در ایستگاه بستان تنها همبستگی قوی بین مقادیر دمای هوا در ماه سپتامبر و میانگین LST حائل با شعاع ۲۰ کیلومتری در ماه‌های ژوئن تا آگوست و میانگین LST حائل با شعاع ۱۰ کیلومتری در ماه‌های می تا جولای با مقادیر AOD وجود دارد. ایستگاه بندر ماهشهر همبستگی بسیار قوی بین میانگین LST حائل با شعاع ۲۰ و ۵ کیلومتری در ماه جولای با مقادیر AOD وجود دارد. در ایستگاه بهبهان، همبستگی بسیار قوی بین میانگین LST بافر ۲۰ و ۵ کیلومتری به ترتیب در ماه‌های ژوئن و جولای با مقادیر AOD وجود دارد. در ایستگاه دزفول تنها در ماه‌های می تا جولای در همه بافرهای LST و میانگین LST بافر ۱۰ کیلومتری در ماه آگوست با مقادیر AOD همبستگی قوی وجود دارد. در ایستگاه رامهرمز همبستگی بسیار قوی بین میانگین LST بافر ۲۰ و ۵ کیلومتری در ماه جولای با مقادیر AOD وجود دارد. نتایج همبستگی در ایستگاه شوشتر نشان می‌دهد که همبستگی قوی بین مقادیر دمای هوا در ماه سپتامبر و میانگین LST بافر ۲۰ کیلومتری در ماه‌های می تا سپتامبر، میانگین LST بافر ۱۰ کیلومتری در ماه‌های ژوئن تا سپتامبر و میانگین LST بافر ۵ کیلومتری در ماه‌های ژوئن تا آگوست با مقادیر AOD وجود دارد. نتایج همبستگی ایستگاه صفی‌آباد حاکی از آن است که همبستگی قوی بین مقادیر دمای هوا در ماه‌های آگوست و سپتامبر و میانگین LST بافر

جدول ۵- نتایج مقادیر همبستگی پارامترهای دمایی و مقادیر AOD در ایستگاه‌های منتخب

Table 5- The results of correlation values of temperature parameters and AOD values in selected stations

نام ایستگاه	پارامتر دمایی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مچا	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
دما	دما	-0.14	0.14	0.13	0.17	-0.27	0.03	0.18	0.28	0.43	0.17	-0.19	0.04
امیدیه	LST 20	-0.37	-0.46	-0.03	-0.01	**0.84	**0.71	**0.64	-0.49	-0.23	-0.39	-0.5	-0.34
	LST 10	-0.44	-0.45	-0.04	-0.08	**0.76	**0.7	-0.63	-0.55	-0.21	-0.37	-0.51	-0.36
	LST 5	-0.42	-0.5	0.03	-0.05	**0.74	**0.72	-0.58	-0.57	-0.17	-0.37	-0.52	-0.34
دما	دما	-0.12	-0.04	0.44	0.12	0.02	0.26	0.07	0.39	**0.75	0.39	0.08	-0.03
اهواز	LST 20	-0.25	-0.46	0.29	-0.23	**0.86	**0.67	**0.74	**0.78	**0.62	-0.54	-0.31	-0.46
	LST 10	-0.25	-0.3	-0.3	-0.47	**0.78	**0.78	-0.45	**0.79	-0.18	**0.59	**0.75	-0.54
	LST 5	-0.34	-0.47	0.18	-0.34	**0.74	**0.6	**0.77	**0.78	-0.42	-0.5	-0.27	-0.36
دما	دما	-0.16	-0.24	0.11	-0.03	0.15	0.05	-0.31	-0.21	0.44	-0.36	-0.44	
ایذه	LST 20	-0.63	**0.71	0.08	-0.13	-0.45	**0.61	**0.68	-0.52	0.01	-0.22	-0.2	**0.74
	LST 10	-0.17	-0.4	0.18	0.08	-0.55	**0.77	**0.68	**0.7	**0.61	-0.48	0.03	-0.03
	LST 5	-0.58	**0.74	-0.07	-0.14	-0.36	-0.46	-0.35	-0.46	0.1	-0.4	-0.11	**0.68
دما	دما	0.19	0.37	0.44	0.05	-0.06	0.1	-0.11	0	0	-0.01	0.35	-0.03
آبادان	LST 20	-0.28	-0.4	-0.19	-0.31	**0.73	-0.52	**0.7	-0.46	-0.55	-0.15	**0.73	-0.31
	LST 10	-0.32	-0.46	-0.29	-0.5	**0.72	-0.49	**0.61	-0.42	-0.44	-0.15	-0.49	-0.28
	LST 5	-0.31	-0.49	-0.17	-0.5	**0.73	-0.42	**0.61	-0.51	-0.45	-0.16	-0.48	-0.31
دما	دما	0.15	-0.03	0.23	0.13	-0.17	0.15	0.11	0.51	**0.69	0.5	0.16	0.24
آغاجری	LST 20	-0.3	-0.45	-0.03	-0.02	**0.85	**0.7	**0.68	-0.53	-0.25	-0.36	-0.48	-0.3
	LST 10	-0.36	-0.47	-0.02	-0.1	**0.77	**0.66	**0.66	-0.53	-0.15	-0.38	-0.51	-0.37
	LST 5	-0.35	-0.5	0.03	-0.06	**0.78	**0.7	**0.63	**0.61	-0.22	-0.37	-0.53	-0.33
دما	دما	0.03	0.25	0.22	0.26	0.36	0.17	0.07	0.47	**0.71	0.39	0.54	0.15
بستان	LST 20	-0.33	-0.5	0.07	-0.06	-0.59	**0.72	**0.78	**0.62	-0.54	-0.51	-0.37	-0.02
	LST 10	-0.44	-0.45	-0.04	-0.08	**0.76	**0.7	**0.63	-0.55	-0.21	-0.37	-0.51	-0.36
	LST 5	-0.27	-0.44	0.24	0.06	-0.39	-0.37	-0.55	-0.43	-0.49	-0.2	-0.31	0.04
دما	دما	0.03	-0.18	0.05	-0.06	-0.18	0.11	0.01	0.47	0.56	0.37	0.2	0.1
بندر ماهشهر	LST 20	-0.23	-0.33	-0.23	-0.46	**0.74	-0.54	**0.82	**0.66	-0.21	-0.56	**0.72	-0.48
	LST 10	-0.36	-0.42	0.01	-0.01	-0.51	-0.51	**0.64	-0.44	-0.5	-0.31	-0.4	0.07
	LST 5	-0.28	-0.35	-0.27	-0.49	**0.79	-0.53	**0.8	**0.65	-0.33	**0.63	-0.7	-0.57
دما	دما	-0.17	0.38	-0.07	-0.37	0.1	0.01	0	0.05	0	-0.2	0.18	0.2
بهبهان	LST 20	-0.48	0.2	-0.31	**0.63	**0.72	**0.88	**0.66	-0.28	-0.1	-0.42	-0.08	0
	LST 10	-0.65	**0.77	0	-0.05	-0.43	-0.5	-0.47	-0.45	0.09	-0.42	-0.16	**0.72
	LST 5	-0.01	-0.21	0.23	-0.29	-0.56	**0.67	**0.83	**0.67	-0.11	-0.04	-0.37	-0.18
دما	دما	0.16	0.28	0.36	-0.26	0.09	-0.05	-0.16	-0.07	0.13	-0.13	0.36	-0.1
دزفول	LST 20	-0.51	-0.58	0.11	-0.26	**0.75	**0.73	**0.72	-0.41	-0.12	-0.32	-0.15	-0.28
	LST 10	-0.31	-0.13	0.35	0.09	**0.66	**0.66	**0.79	**0.72	-0.55	-0.39	-0.53	-0.49
	LST 5	-0.56	-0.5	0.06	-0.29	**0.72	**0.74	**0.71	-0.5	-0.27	-0.4	-0.1	-0.17
دما	دما	-0.11	-0.08	0.27	0.36	0.12	0.41	0.02	-0.02	0.57	0.15	-0.2	-0.18
رامهرمز	LST 20	-0.34	-0.23	0.34	0.15	**0.7	**0.71	**0.82	**0.7	-0.54	-0.38	-0.46	-0.5
	LST 10	-0.31	-0.13	0.35	0.09	**0.66	**0.66	**0.79	**0.72	-0.55	-0.39	-0.53	-0.49
	LST 5	-0.34	-0.16	0.34	-0.01	**0.67	**0.66	**0.8	**0.73	-0.52	-0.34	-0.46	-0.48
دما	دما	-0.24	-0.08	0.3	0.36	0.26	0.3	0.19	0.25	**0.64	0.44	0.04	0.1

-0.06	-0.04	-0.42	*-0.62	*-0.71	*-0.68	***-0.79	*-0.6	0.1	0.29	-0.37	-0.35	LST 20
-0.03	0.03	-0.48	*-0.61	*-0.7	*-0.68	***-0.77	-0.55	0.08	0.18	-0.4	-0.17	LST 10
-0.09	0.06	-0.41	-0.55	*-0.65	*-0.63	*-0.72	-0.48	0.05	0.27	-0.45	-0.16	LST 5
-0.27	0.13	0.39	*0.65	*0.63	0.25	0.02	0.2	0.07	0.28	0.21	-0.21	دما
-0.32	-0.14	-0.33	0.27	-0.51	*-0.65	*-0.75	*-0.75	0.01	0.16	-0.37	-0.53	LST 20
-0.15	-0.14	-0.18	0.4	-0.4	-0.48	*-0.69	-0.56	-0.03	0.31	-0.33	-0.55	LST 10
0.1	-0.07	-0.31	0.09	-0.16	-0.47	-0.56	-0.49	-0.12	0.06	-0.57	-0.47	LST 5
-0.13	0.08	*0.6	*0.65	0.35	-0.06	0.07	0.29	0.33	0.41	-0.04	-0.06	دما
-0.3	-0.13	-0.37	-0.32	*-0.68	***-0.79	***-0.81	-0.5	0.19	0.36	-0.5	-0.27	LST 20
-0.35	-0.2	-0.37	-0.38	*-0.69	***-0.77	***-0.8	-0.56	0.15	0.35	*-0.6	-0.24	LST 10
-0.26	-0.17	-0.32	-0.41	*-0.66	***-0.77	***-0.83	-0.52	0.15	0.37	-0.55	-0.2	LST 5

LST = LST 20 بافر ۲۰ کیلومتری

LST = LST 10 بافر ۱۰ کیلومتری

LST = LST 5 بافر ۵ کیلومتری

* معنی داری در سطح پنج درصد

** معنی داری در سطح یک درصد

در بخش دیگر این پژوهش، نتایج همبستگی پارامترهای دمایی با مقادیر AOD نشان داد که در بیشتر ماهها در ایستگاههای مختلف رابطه پارامترهای دمایی با گردوغبار (AOD) منفی است. Hara و همکاران (2006) و Naeimi و همکاران (2020) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. وجود رابطه منفی میان دما و گردوغبار می تواند بیانگر آن باشد که طوفانهای گردوغبار با فعالیت هوای سرد همراه هستند و بنابراین سرمایش یا کاهش دما نیز می تواند منجر به ایجاد شرایط مساعد تولید گردوغبار شود (Xiao *et al.*, 2008). هم چنین همبستگی خیلی قوی بین پارامترهای دمایی و مقادیر AOD تنها در سه ماه می، ژوئن و جولای با میانگین LST در حائلهای مختلف رخ داده است و در هیچ یک از ایستگاهها بین دمای هوا همبستگی خیلی قوی با مقادیر AOD وجود ندارد. بیشترین تعداد همبستگی قوی در ماههای می تا آگوست بین پارامترهای دمایی و مقادیر AOD وجود دارد. با توجه به نتایج این پژوهش می توان گفت که دمای هوا همبستگی ضعیفی با گردوغبار نشان داد و بیشتر همبستگیهای قوی و خیلی قوی با میانگین LST در بافرهای مختلف رخ داده که این امر نشان دهنده اهمیت بیشتر LST نسبت به دما در

بحث و نتیجه گیری

پایش منظم و مداوم مقادیر غلظت و روند تغییرات گردوغبار و همچنین عوامل مؤثر بر آن در مقیاسهای مختلف محلی، منطقه ای و جهانی به منظور درک بهتر این پدیده ضروری است. نتایج ارزیابی روند تغییرات میانگین مقادیر AOD بافر ۵ کیلومتری در اطراف ایستگاههای منتخب نشان داد که در ماههای فوریه، جولای، دسامبر و آوریل هیچ گونه روند افزایشی در هیچ کدام از ایستگاهها مشاهده نشد؛ اما در ماههای آگوست، سپتامبر و نوامبر در هفت ایستگاه، مارس در پنج ایستگاه، اکتبر در چهار ایستگاه، ژانویه در سه ایستگاه، می در دو ایستگاه و ژوئن در یک ایستگاه روند تغییرات AOD با احتمال بیش از ۹۰٪ افزایشی است؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که روند و شدت تغییرات AOD در این چهار ماه الگوی مکانی متفاوتی نسبت به هم دارند. Choubin و همکاران (2022)؛ Eskandari و Damaneh و همکاران (2022)؛ Yousefi و همکاران (2020) نیز در پژوهش خود به نتایج مشابهی دست یافته اند. تغییرات الگوهای مکانی - زمانی طوفانهای گردوغبار، به پراکندگی کانونهای تولید گردوغبار و هم چنین به شرایط سینوپتیک محلی و منطقه ای حاکم بر آنها مربوط می شود (Rashki *et al.*, 2015; Mesbahzadeh *et al.*, 2020).

مبتنی بر سنجش‌ازدور و هوش مصنوعی به صورت آنلاین و به‌روز جهت ارزیابی و پایش تغییرات گردوغبار طراحی و ارائه شود تا مدیریت پدیده گردوغبار در ایران هدفمندتر شده و شناسایی کانون‌ها سریع‌تر انجام شود. از طرف دیگر باید به عوامل مؤثر بر این تغییرات نیز توجه نمود و اثر آن‌ها را بر گردوغبار مورد ارزیابی قرار داد. همچنین باید گفت که با مدل‌سازی اثر عوامل محیطی بر روی روند تغییرات گردوغبار هر محدود می‌توان به تعیین نقش هر عامل و همچنین مشخص نمودن مهم‌ترین عامل مؤثر بر روند تغییرات گردوغبار در هر منطقه کمک نمود.

ارزیابی تغییرات شدت گردوغبار در محدوده مورد مطالعه دارد. از چالش‌های مهم این پژوهش تعداد کم ایستگاه‌های هواشناسی و عدم پراکنش مناسب آن‌ها در محدوده مورد مطالعه است. لذا پیشنهاد می‌شود به صورت پیکسل به پیکسل در یک محدوده بزرگ مانند استان خوزستان ارتباط LST و AOD مورد ارزیابی قرار بگیرد تا در نواحی بدون ایستگاه نیز امکان ارزیابی ارتباط دما با گردوغبار وجود داشته باشد. به‌طور کلی ارزیابی و پایش تغییرات گردوغبار می‌تواند کمک بزرگی به شناسایی کانون‌های جدید و همچنین ارزیابی نتایج فعالیت‌های کنترل و مدیریت فرسایش بادی و گردوغبار کند؛ بنابراین می‌توان پیشنهاد داد یک سامانه

References

- Alam, K., Qureshi, S. & Blaschke, T. (2011). Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmospheric Environment*, 45(27), 4641-4651. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.055>
- 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. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.550729.1378> (In Persian).
- Du, P., Huang, Z., Tang, S., Dong, Q., Bi, J., Yu, X. & Gu, Q. (2023). Long-term Variation of Dust Devils in East Asia during 1959-2021. *Authorea Preprints*, 128(9), e2022JD038013. <https://doi.org/10.1029/2022JD038013>
- Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Sayadi, Z. & Khorani, A. (2022). Evaluation of spatiotemporal changes and correlations of aerosol optical depth, NDVI and climatic data over Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(4), 772-786. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2021.125252> (In Persian).
- Evans, J. D. (1996). *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole Publishing
- Hara, Y., Uno, I. & Wang, Z. (2006). Long-term variation of Asian dust and related climate factors. *Atmospheric Environment*, 40(35), 6730-6740. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.080>
- Heydari Alamdarloo, E., Moradi, E., Abdolshahnejad, M., Fatahi, Y., Khosravi, H., & da Silva, A. M. (2021). Analyzing WSTP trend: a new method for global warming assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09600-2>
- 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>
- Jin, J., Pang, M., Segers, A., Han, W., Fang, L., Li, B. & Liao, H. (2022). Inverse modeling of the 2021 spring super dust storms in East Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2022, 1-24. <https://doi.org/10.5194/acp-22-6393-2022>

- Kazemi, M., Nafarzadegan, A. R. & Mohammadi, F. (2020). A Study of the Relationship Between Maximum Dust Values and Climatic Variables Using Remote Sensing Data (Case Study: Hormozgan Province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(4), 792-801. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2020.123154> (In Persian).
- Mahmoodi Mahpash, N. & Souri, B. (2021). Comparison of concentration and trend of dust particles in relation to climatic variables in the western half of Iran. *Human & Environment*, 19(3), 17-29. (In Persian)
- Martin, A., Wang, Y., Li, J. & Mends, G. (2018). Technical risk factors of international construction. *The Journal of Engineering*, (3), 138-146. <https://doi.org/10.1049/joe.2016.0389>
- Mesbahzadeh, T., Mirakbari, M., Mohseni Saravi, M., Soleimani Sardoo, F. & Krakauer, N.Y. (2020). Joint modeling of severe dust storm events in arid and hyper arid regions based on copula theory: a case study in the Yazd province, Iran. *Climate*, 8(5), 64-72. <https://doi.org/10.3390/cli8050064>
- Modarres, R. & Sadeghi, S. (2018). Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards*, 90, 101-114. <https://doi.org/10.1007/s11069-017-3035-8>
- Motavallizadeh Naeni, M. & Modarres R. (2022). Dust Storm Frequency in Connection with Climatic Change in the Arid Region of Iran. *Journal of Hydrology and Soil Science*, 25(4): 239-252. <https://doi.org/10.47176/jwss.25.4.43231> (In Persian)
- Naeimi, M, Mirakbar, M., Khosroshahi, M., Zandifar, S. & Ghasemi Aryan, Y. (2022). Analyzing the effects of climate change on dust events, a case study: Khorasan Razavi province. *The Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10(33), 65-78. <https://doi.org/10.22052/deej.2021.10.33.41> (In Persian).
- Namdari, S., Valizade, K. K., Rasuly, A. A. & Sari Sarraf, B. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2029-7>
- Nukapothula, S., Yunus, A. P., Chen, C., Attada, R. & Narayana, A. C. (2023). Dust storm induced severe cooling in the northern Arabian Sea during winter 2022. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 197, 104047. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2023.104047>
- Qi, Y., Ge, J. & Huang, J. (2013). Spatial and temporal distribution of MODIS and MISR aerosol optical depth over northern China and comparison with AERONET. *Chinese science bulletin*, 58, 2497-2506. <https://doi.org/10.1007/s11434-013-5678-5>
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Francois, P., Kosmopoulos, P. G. & Legrand, M. (2015). Dust-storm dynamics over Sistan region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16, 35-48. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.10.003>
- Rayegani, B., Barati, S., Goshtasb, 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>
- Rezaei, M. & Ghasemieh, H. (2019). Assessing the impact of climate change on rainfall and temperature variability (Case Study: Kashan and Khur and Biabank Stations). *Arid Biom Scientific and Research Journal*, 9(1), 81-99. (In Persian). <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2019.1545>
- Rosenfeld, D., Zhu, Y., Wang, M., Zheng, Y., Goren, T. & Yu, S. (2019). Aerosol-driven droplet concentrations dominate coverage and water of oceanic low-level clouds. *Science*, 363(6427), eaav0566. <https://doi.org/10.1126/science.aav0566>
- Soleimani, F., Kalehhouei, M. & Lotfollazadeh, D. (2023). Study of the Morphological Characteristics of Gullies in Khuzestan Province. *Watershed Management Research Journal*, 36(3), 23-41. <https://doi.org/10.22092/wmrj.2023.360375.1497>. (In Persian)
- Xiao, F., Zhou, C. & Liao, Y. (2008). Dust storms evolution in Taklimakan Desert and

- its correlation with climatic parameters. *Journal of Geographical Sciences*, 18, 415-424. <https://doi.org/10.1007/s11442-008-0415-8>
- Yarahmadi, D., Nasiri, B., Khoshkish, A. & Nikbakhbt, H. (2015). Climate change and dusty days in the west and southwest of Iran. *The Desert Ecosystem Engineering Journal*, 3(5), 19-28. (In Persian)
- Yousefi, R., Wang, F., Ge, Q. & Shaheen, A. (2020). Long-term aerosol optical depth trend over Iran and identification of dominant aerosol types. *Science of the Total Environment*, 722, 137906. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137906>
- 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>
- Yu, Y., Kalashnikova, O. V., Garay, M. J., Lee, H. & Notaro, M. (2018). Identification and characterization of dust source regions across North Africa and the Middle East using MISR satellite observations. *Geophysical Research Letters*, 45(13), 6690-6701. <https://doi.org/10.1029/2018GL078324>
- Ziyadee, A., Karimi, A., Lakzan, A. & Khademi, H. (2018). Dust Deposition Rate and its Relationship to Some Climatic Parameters in Khorasan Razavi Province. *Geography and environment hazard*, 7(26), 95-11. <https://doi.org/10.22067/geo.v7i2.66306>