

## Spatial–Temporal Analysis of Dust Storm Patterns in Lorestan Province: From Geostatistical Data Integration to Cloud Computing with Google Earth Engine

Azadeh Poladvand <sup>1</sup> | Gholamali Mozaffari  ✉ <sup>2</sup> | Hamidreza Gafarian   
<sup>3</sup> | Kamal Omidvar <sup>2</sup> | Ahmad Mazidi <sup>3</sup>

1. PhD student in Climatology, Faculty of Humanities and Social Sciences, Yazd University, Yazd, Iran
2. Professor, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Yazd University, Yazd, Iran
3. Associate Professor, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

### Article Info:

#### Article type:

Research Article

#### Date:

Received: 2024.10.12

Received: 2024.11.31

Accepted: 2025.01.04

### Keywords:

Detection, Lorestan Province, Trend, Dust, Storm

**A**bstract: This study examines the spatiotemporal distribution and trends of the dust phenomenon in Lorestan Province over a 20-year period (2000–2020). By integrating ground-based data from synoptic stations with MODIS satellite imagery and utilizing the Google Earth Engine (GEE) platform alongside Geographic Information Systems (GIS), the Aerosol Optical Depth (AOD) index was analyzed as a key indicator of suspended particulate concentration and dust intensity. Statistical methods, including the Mann–Kendall test and Sen’s slope estimator, were applied to detect temporal trends. The results indicate a substantial increase in dust events, from 33 days per year in 2000 to 110 days per year in 2020, with the most pronounced rise occurring in the third decade (2011–2020). The annual mean AOD also increased from 0.15 to 0.45, reflecting a marked growth in particulate concentration, particularly during the spring season. A strong correlation (>80%) was observed between ground-based and satellite data, with close temporal alignment in recorded dust events. The GEE platform demonstrated significant advantages due to its high efficiency in processing large datasets and conducting spatiotemporal analyses. Projections suggest that by 2030, the number of dusty days may reach 150 per year, with the mean AOD rising to 0.6. This escalating trend is likely to be further intensified by climate change, recurrent droughts, and the degradation of vegetation cover.

**Cite this article:** poladvand, A, Mozaffari, G, gafarian, H, omidvar, K, Mazidi, A. (2025). Spatial–Temporal Analysis of Dust Storm Patterns in Lorestan Province: From Geostatistical Data Integration to Cloud Computing with Google Earth Engine. *Climat Chenge and Climat Disasters*, 3(6), 69–101.

© The Author(s).

**Homepage:** [cccd.znu.ac.ir](http://cccd.znu.ac.ir)

**Publisher:** University of Zanjan.



## **Extended Abstract**

### **Introduction and Objectives**

In recent decades, dust storms have become one of the most critical environmental challenges in western Iran. Lorestan Province, due to its specific geographical location, mountainous–valley topography, and position along prevailing westerly winds, is considered a highly vulnerable region. The increasing frequency of dust events has led to significant impacts on air quality, public health, water resources, and agriculture. The main objective of this study is to comprehensively analyze the spatial–temporal distribution, investigate long-term trends, and forecast the future status of dust storms in Lorestan Province during the period 2000–2020, as well as to examine the role of climatic and geographical factors influencing this phenomenon.

### **Materials and Methods**

In this study, daily data from synoptic stations across Lorestan Province were integrated with satellite data derived from the MODIS sensor of NASA. Aerosol Optical Depth (AOD)

was used as an indicator of particulate matter concentration and dust intensity. Data processing and analysis were conducted using the cloud-based platform Google Earth Engine along with Geographic Information System (GIS) tools. The non-parametric Mann–Kendall test and Sen’s slope estimator were applied to detect trends, and the correlation between ground-based and satellite observations was assessed. Spatial analyses were further performed using a Digital Elevation Model (DEM) and seasonal pattern evaluations.

### **Results:**

The findings revealed that the number of dusty days increased from 33 days in 2000 to 110 days in 2020, with the most pronounced growth occurring during the third decade (2011–2020). The annual mean AOD rose from 0.15 to 0.45, indicating a substantial increase in particulate concentration, particularly during spring. Spatial analysis identified the Silakhor Plain, the valleys of Khorramabad and Dorud, and several low-altitude areas as critical internal dust hotspots.

Meanwhile, transboundary dust transport from Iraqi deserts and the Syrian Desert via westerly and southwesterly winds played a significant role in intensifying dust events. A strong correlation (above 80%) between ground-based and satellite data confirmed the reliability and validity of the integrated methodological approach.

### **Conclusion and Recommendations**

The significant upward trend of dust storms in Lorestan Province reflects increasing climatic instability, reduced precipitation, recurrent droughts, vegetation degradation, and anthropogenic activities. Trend projections suggest that by 2030, the number of dusty days may reach

approximately 150 days per year, and the mean AOD may increase to about 0.6. The results, while consistent with regional studies, provide a comprehensive and integrated framework for dust monitoring and management. The study emphasizes the urgent need for sustainable environmental management strategies, desertification control measures, vegetation restoration, continuous satellite monitoring, and enhanced transboundary cooperation to mitigate the adverse impacts of dust storms in the region.

**Keywords:** Detection, Lorestan Province, Trend, Dust, Storm



## واکاوی الگوهای فضایی-زمانی ریزگرد استان لرستان از ترکیب داده‌های زمین-

### آماري تا پردازش ابري گوگل ارث انجین

آزاده پولادوند<sup>۱</sup> | غلامعلی مظفری<sup>۲</sup> | حمیدرضا غفاریان<sup>۳</sup> | کمال امیدوار<sup>۲</sup> | احمد مزیدی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲. استاد گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

#### اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی

#### تاریخ‌ها:

دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۱

بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۱

پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵

#### واژگان کلیدی:

آشکارسازی، استان لرستان، روند،

ریزگرد، طوفان

**چکیده:** این پژوهش به بررسی توزیع فضایی-زمانی و روند تغییرات پدیده ریزگرد در استان لرستان طی دوره 20 ساله (2020-2000) پرداخته است. با استفاده از ترکیب داده‌های زمینی (ایستگاه‌های سینوپتیک) و ماهواره‌ای MODIS و به کارگیری پلتفرم Google Earth Engine (GEE) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، شاخص عمق نوری آتروسول (AOD) به عنوان معیاری برای سنجش غلظت ذرات معلق و شدت گردوغبار تحلیل شد. روش‌های آماری مانند آزمون من-کندال و شیب سن برای آشکارسازی روند تغییرات استفاده گردید. نتایج نشان داد تعداد روزهای همراه با گردوغبار از ۳۳ روز در سال ۲۰۰۰ به ۱۱۰ روز در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است، با شدت بیشتر در دهه سوم (۲۰۲۰-۲۰۱۱). میانگین سالانه AOD نیز از ۰/۱۵ به ۰/۴۵ افزایش یافت، که نشان‌دهنده رشد غلظت ذرات معلق در فصل بهار شده است. همبستگی قوی (بیش از ۸۰ درصد) بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای و تطابق زمانی مناسب در ثبت رویدادهای گردوغبار مشاهده شد. پلتفرم GEE به دلیل کارایی بالا در پردازش داده‌ها و تحلیل‌های زمانی-مکانی، برتری قابل توجهی نشان داد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ تعداد روزهای گردوغبار به ۱۵۰ روز و میانگین AOD به ۰/۶ برسد. این افزایش احتمالاً با تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های متوالی و تخریب پوشش گیاهی تشدید خواهد شد.

**استناد:** پولادوند، آزاده، مظفری، غلامعلی، غفاریان، حمیدرضا، امیدوار، کمال، احمد، مزیدی. (۱۴۰۳). واکاوی الگوهای فضایی-زمانی ریزگرد استان لرستان از ترکیب داده‌های زمین-آماري تا پردازش ابري گوگل ارث انجین. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۳(۶)، ۶۹-۱۰۱.

© نویسندگان .

Homepage: cccd.znu.ac.ir

ناشر: دانشگاه زنجان



## ۱. مقدمه

وقوع پدیده ریزگرد یا گردو غبارها، به عنوان یکی از پیچیدهترین معضلات زیست‌محیطی قرن حاضر، توجه جامعه جهانی را به خود جلب کرده است. این پدیده فرامرزی که ماهیتی چندوجهی دارد، نه تنها سلامت جوامع انسانی را تهدید می‌کند، بلکه بر تمامی ابعاد زندگی از جمله اقتصاد، کشاورزی، حمل و نقل، گردشگری و روابط بین‌المللی تأثیرات عمیقی گذاشته است. ماسه به‌عنوان یکی از اجزای ایجادکننده گردوغبار اهمیت دارد. ذرات ماسه ریز و ماسه درشت به‌طور معمول در طبیعت یافت می‌شوند و به وسیله باد جابه‌جا می‌شوند، سبب تشکیل تپه‌های ماسه‌ای می‌شوند و همچنین می‌توانند در تشکیل گردوغبار نقش داشته باشند (Goudie, 2006)<sup>۱</sup>. پدیده گردوغبار یکی از چالش‌های جدی

زیست‌محیطی ایران و به‌ویژه استان لرستان است که بر اساس گزارش سازمان ملل متحد در حوزه محیط زیست (۱۴۰۲)، سالانه خسارتی بالغ بر ۱۲ میلیارد دلار به اقتصاد جهانی وارد می‌کند. در ایران، طبق آمار سازمان هواشناسی کشور (۱۴۰۱)، حدود ۳۳ میلیون نفر از این پدیده متأثر می‌شوند (گزارش سالانه آب و هوای ایران). در استان لرستان، اداره کل محیط زیست (۱۴۰۲) اعلام کرده ۷۰ درصد مساحت استان مستعد تولید گردوغبار است و مرکز تحقیقات هواشناسی استان لرستان متوسط روزهای گردوغباری را ۵۰-۶۰ روز در سال گزارش داده است (مرکز تحقیقات هواشناسی استان لرستان، ۱۴۰۱). از میان استان‌های در معرض گردوغبار، لرستان به دلیل نزدیکی به مناطق غربی کشور و توجه

<sup>۱</sup> Goudie

کمتر به آن، بیشترین تاثیر را پذیرفته است. تشدید این پدیده در سال‌های اخیر، ساختار اقلیمی گذشته استان را نیز دگرگون کرده است. لذا در این تحقیق، منطقه‌ی مورد مطالعه استان لرستان را مورد توجه و بررسی قرار داده‌ایم تا بتوانیم یک آشکارسازی و بر مبنای آن، یک پیش‌بینی از رخداد این واقعه صورت بگیرد. در این مطالعه، هدف اصلی بررسی جامع وضعیت گردوغبار در استان لرستان و عوامل اقلیمی مؤثر بر آن طی دوره بیست ساله (۲۰۰۰-۲۰۲۰) است. این مطالعه با رویکردی نظام‌مند، تصویری جامع از وضعیت گردوغبار در منطقه و چشم‌انداز آینده آن ارائه خواهد داد. مطالعات متعددی در زمینه‌های مختلف مرتبط با پدیده گردوغبار و اثرات آن انجام شده است. به عنوان مثال (Zheng,

(2023) در پژوهشی در مورد آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های شهری گزارش نمود که غلظت این فلزات در حاشیه شهرها به شکل معناداری بیش‌تر از نواحی مرکزی است و از حد استانداردهای کیفیت خاک فراتر می‌رود. در مطالعه‌ای دیگر در شمال غرب چین (Luo et al., 2022) به این نتیجه رسیدند که فلزات سنگین همراه با طوفان‌های گردوغبار هم از منابع انسانی و هم از منابع طبیعی سرچشمه می‌گیرند و ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی آن‌ها به ویژه برای کودکان قابل توجه است. در مقیاس فصلی (Tang and Han, 2017)<sup>۳</sup>، در پکن نشان دادند که منشأ گردوغبار در فصول مختلف متغیر است؛ به طوری که در بهار و زمستان منشأ طبیعی و در تابستان و پاییز منشأ انسانی غالب است.

<sup>3</sup>. Tang, Han

<sup>1</sup>. Zheng Fei

<sup>2</sup>. Luo

- در غرب ایران (Umm Salmeh et al., 2014) دریافتند که اوج فراوانی گردوغبار در برخی ایستگاه ها در ماه های گرم و در برخی دیگر در ماه های سرد سال رخ می دهد. با استفاده از فناوری های نوین، (Kazemi-Garjeh, 2024) با به کارگیری الگوریتم های یادگیری ماشین و تصاویر ماهواره ای، افزایش مناطق مستعد طوفان های نمکی را در حوضه دریاچه ارومیه آشکار کرد. در مطالعه ای در قزوین، (Mansour Moghaddam et al., 2022) ارتباط معکوس شاخص عمق نوری آئروسول (AOD) با بارش و پوشش گیاهی و ارتباط مستقیم آن با سرعت باد و دما را تأیید کردند.
- از جنبه مدل سازی و پیش بینی (Sobhani et al., 2015) عملکرد برتر مدل ترکیبی شبکه عصبی-فازی (ANFIS) را در پیش بینی طوفان های گردوغبار نشان دادند. همچنین (Ansari-
- Qojghar et al., 2021) در سیستان و بلوچستان نتیجه گرفتند که روش های ترکیبی ماشین بردار پشتیبان موجکی (W-SVM) و ماشین بردار پشتیبان با تابع پایه تطبیقی (AF-SVM) دقت بالاتری در پیش بینی گردوغبار دارند. در بررسی الگوهای جوی (Salamati- Hormozi et al., 2019) نقش نفوذ فرابار سیبری را در انتقال گردوخاک به استان هرمزگان و خلیج فارس شناسایی کردند.
- مطالعات منطقه ای نیز یافته های مهمی ارائه داده اند. (Jabali et al., 2019) در یزد گزارش کردند در مناطقی که AOD بیش تر از ۸/۰ است، دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می یابد. (Parvin et al., 2021) در کرمانشاه دریافتند که کانون های گردوغبار عمدتاً در مناطق مرزی با عراق متمرکز هستند. (Nasiri et al., 2016) بر منشأ خارجی گردوغبارهای استان خوزستان تأکید

گردوغبار با دقت ۷۸ درصد شدند. نهایتاً (آرامی و همکاران، ۲۰۱۸) در آبادان به این نتیجه رسیدند که بیشتر طوفان‌های گردوغبار این منطقه منشأ فرامحلی دارند.

## ۲. داده‌ها و روش‌ها

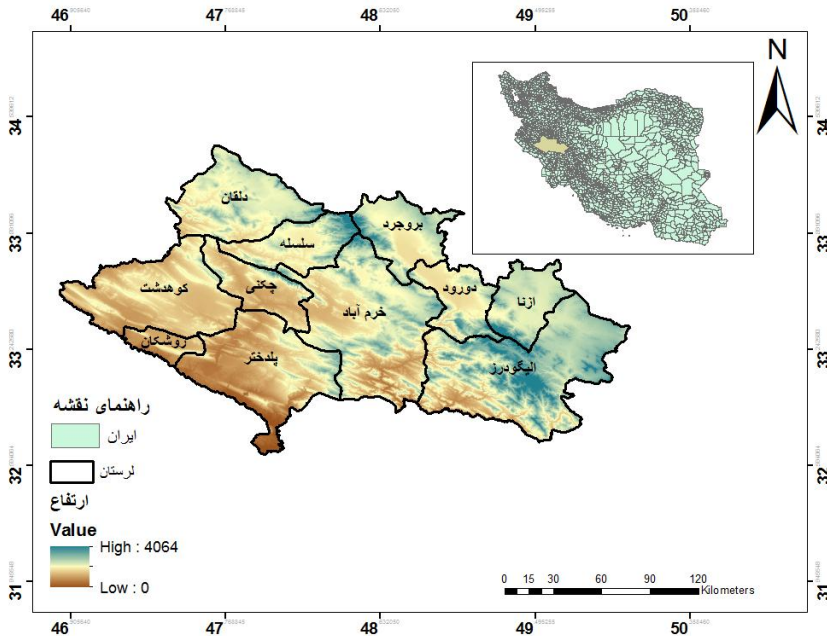
### ۲.۱. منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با مساحتی حدود ۲۸۳۰۷ کیلومتر مربع در غرب ایران و در محدوده‌ای بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی نسبت به خط استوا قرار دارد. استان لرستان از سمت شمال به استان‌های مرکزی و همدان، از سمت جنوب به استان خوزستان، از سمت شرق به استان اصفهان و از سمت غرب به استان‌های کرمانشاه و ایلام محدود است.

شکل (۱)

کردند. در سبزواری، ( Omidwar et al., 2015) هم‌نشینی سامانه‌های پرفشار و کم‌فشار را عامل اصلی وقوع طوفان‌های گردوغبار معرفی نمودند. ( Sobhani et al., 2015) در زابل ماه‌های ژوئیه و اوت را به عنوان گردوغباری‌ترین ماه‌های سال شناسایی کردند.

در زمینه ترکیب شیمیایی ( Karimi, 2017) تشابه ترکیب اکسیدهای اصلی گردوغبار با میانگین جهانی را گزارش کرد. از نظر عوامل سینوپتیکی ( Taqvi et al., 2013) استقرار کم‌فشار را عامل کلیدی وقوع گردوغبار دانستند و ( Omidvar and Alizadeh-Banuti, 2013) الگوهای فشاری خاصی را در انتقال گردوغبار به خوزستان مؤثر تشخیص دادند. در زمینه سنجش از دور ( Zandkarimi and Fatehi, 2019) با استفاده از الگوریتمی مبتنی بر دمای روش‌نمایی موفق به شناسایی مناطق



شکل ۱: نقشه موقعیت استان لرستان در سطح کشور ایران

## ۲.۲. داده‌ها و روش‌ها

شبکه ای، با استفاده از گوگل ارث انجین و جی آی اس، الگوهای هواشناسی مرتبط با گردوغبار بررسی شد. در فاز شبکه‌ای، روند گردوغبار با الگوریتم‌های گوگل ارث انجین بر اساس نقشه ی DEM استان لرستان پیش‌بینی گردید. داده‌های هواشناسی از اداره کل هواشناسی استان لرستان

این مطالعه به بررسی پدیده گردوغبار در یک فضای دو بعدی با استفاده از فازهای آماری و شبکه‌ای پرداخته است. در فاز آماری، مشخصه‌هایی مانند فراوانی گردوغبار، دما، بارش، سرعت باد، فشار جوی و رطوبت هوا تحلیل شدند. در فاز

<sup>۱</sup> Digital Elevation Model

بین تغییرات اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و تشدید پدیده گردوغبار در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی نیاز به بررسی عمیق‌تری دارد. این موضوع به‌ویژه در مناطق کمتر مطالعه‌شده مانند استان لرستان و دیگر مناطق غربی ایران که تحت تأثیر گردوغبار هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

### ۳. یافته‌ها و نتایج

#### ۳.۱. تغییرات سالانه گردوغبار در

#### لرستان (۲۰۲۰-۲۰۰۰)

با بررسی نمودار هیستوگرام شکل (۲)، می‌توان الگوی تغییرات فراوانی گردوغبار در ایستگاه‌های مختلف استان لرستان طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰ را به صورت علمی تحلیل کرد: موقعیت جغرافیایی و ارتفاعی ایستگاه‌ها نقش کلیدی در الگوی توزیع گردوغبار ایفا می‌کند. ایستگاه‌های واقع در مناطق کوهستانی و ارتفاعات بالاتر، مانند گروه رنگی سبز و آبی تیره در

(۲۰۲۰-۲۰۰۰) جمع‌آوری و با نرم‌افزارهای SPSS، و گوگل ارث انجین و سنجنده مودیس پردازش شدند. تغییرات فصلی و مکانی گردوغبار با آزمون من-کندال و شیب سن تحلیل و یافته‌های داده‌های زمینی و ماهواره‌ای مقایسه و میزان همبستگی وقوع گردوغبار با پارامترهای دیگر اقلیمی بررسی شدند. نتایج، پیش‌بینی جامعی از رخداد گردوغبار ارائه داد. تحلیل جامع و یکپارچه از الگوهای فضایی-زمانی گردوغبار با ترکیب داده‌های زمینی، آماری و پردازش ابری (مانند گوگل ارث انجین) است. بیشتر مطالعات موجود بر روی جنبه‌های خاصی مانند منشأ گردوغبار، الگوهای سینوپتیکی، یا تأثیرات محلی متمرکز شده‌اند، اما تحلیل همزمان داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در یک چارچوب یکپارچه برای پیش‌بینی و مدیریت بحران گردوغبار به‌طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین، ارتباط

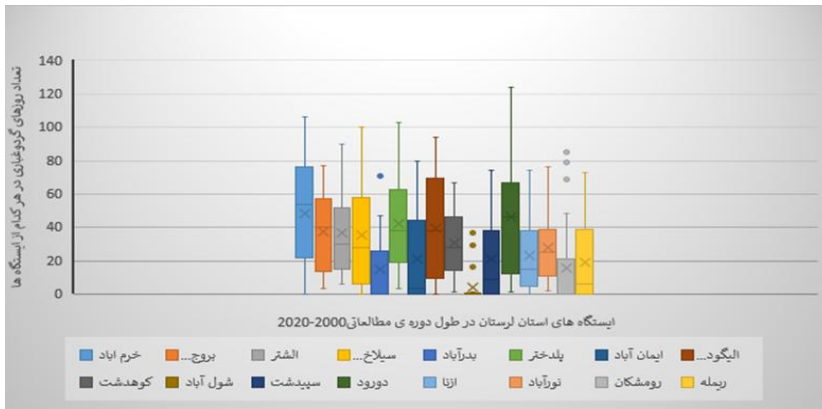
نمودار، معمولاً تعداد روزهای گردوغباری کمتری را ثبت کرده‌اند. به عنوان مثال، ایستگاه‌های در رنگ سبز تیره (۱۰۰-۱۲۰ روز) و آبی تیره (۱۴۰-۱۲۰ روز) عمدتاً در مناطق کوهستانی مرتفع قرار دارند. در مقابل، ایستگاه‌های واقع در دشت‌های پست و مناطق دامنه‌ای، مانند گروه رنگی زرد و نارنجی در نمودار، تعداد روزهای گردوغباری بیشتری را ثبت کرده‌اند. به طور مشخص، ایستگاه‌های در رنگ زرد (80-60 روز) و نارنجی (۱۰۰-۸۰ روز) اغلب در مناطق مرکزی و پست استان لرستان قرار دارند. این الگوی متفاوت بین مناطق کوهستانی و دشتی می‌تواند ناشی از عوامل توپوگرافی و جریان‌های جوی باشد. مناطق مرتفع‌تر به دلیل شرایط خاص اقلیمی و جوی، کمتر در معرض انباشت ذرات گردوغبار قرار می‌گیرند. در مجموع، نمودار به خوبی نشان می‌دهد که موقعیت جغرافیایی و

ارتفاعی هر ایستگاه (جدول شماره ۱) نقش تعیین‌کننده‌ای در الگوی زمانی و مکانی فراوانی گردوغبار در سطح استان لرستان داشته است. مطالعه دقیق نمودار گردوغبار استان لرستان نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵، ایستگاه خرم‌آباد شاهد افزایش قابل توجه تعداد روزهای گردوغبار بوده است. این الگوی افزایشی در ایستگاه خرم‌آباد می‌تواند به چند دلیل رخ داده باشد: موقعیت جغرافیایی: شهرستان خرم‌آباد به عنوان مرکز استان لرستان در یک دشت پست و کم‌ارتفاع قرار دارد. این موقعیت جغرافیایی پست، سبب می‌شود که ذرات گردوغبار بیشتر در این منطقه تجمع پیدا کنند. فرسایش خاک: در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و خشکسالی‌های متعدد، موجب افزایش فرسایش خاک و انتشار ذرات گردوغبار در منطقه شده است. فعالیت‌های انسانی: رشد جمعیت، توسعه صنعتی و افزایش

ترافیک در خرم‌آباد به عنوان مرکز استان، می‌تواند منابع جدیدی از گردوغبار را ایجاد کرده باشد. الگوی جریان‌های جوی: تغییر در جهت و سرعت بادها طی این دوره، و همچنین تعامل عوامل فرامرزی (به ویژه فعال‌شدن کانون‌های گردوغبار در عراق) می‌تواند سبب انتقال بیشتر ذرات گردوغبار به سمت ایستگاه خرم‌آباد شده باشد. در مجموع، عوامل طبیعی و انسانی مختلفی در افزایش گردوغبار در ایستگاه خرم‌آباد طی دوره ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۵ مؤثر بوده‌اند. موقعیت جغرافیایی پست این ایستگاه در کنار تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی احتمالاً زمینه‌ساز این وضعیت نگران‌کننده بوده است.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی و ارتفاعی ایستگاه‌های لرستان

ایستگاه	عرض ج	طول ج	ارتفاع
خرم‌آباد	۳۳/۴۳	۴۸/۲۸	۱۱۴۷/۸
بروجرد	۳۳/۹۱	۴۸/۷۵	۱۶۲۹
الشتر	۳۳/۸۲	۴۸/۲۴	۱۵۶۷/۱
سیلاخور	۳۳/۷۳	۴۸/۸۶	۱۴۹۶/۹
بدرآباد	۳۳/۴۳	۴۸/۲۷	۱۱۵۴/۸
پلدختر	۳۳/۱۵	۴۷/۷۱	۷۱۳/۵
ایمان‌آباد	۳۳/۴	۴۸/۳۶	۱۵۰۰
الیگودرز	۳۳/۴۰	۴۹/۷۰	۲۰۲۲/۱
کوه‌دشت	۳۳/۵۲	۴۷/۶۴	۱۱۹۷/۸
شول‌آباد	۳۳/۱۸	۴۹/۱۸	۱۵۹۱
سپیددشت	۳۳/۲۱	۴۸/۵۸	۱۰۲۱
دورود	۳۳/۵۲	۴۹/۰۰	۱۵۲۲/۳
ازنا	۳۳/۴۴	۴۹/۴۰	۱۸۷۱/۸
نورآباد	۳۴/۰۵	۴۸	۱۸۵۹
رومشکان	۳۳/۲۸	۴۷/۵	۱۰۸۹
ریمله	۳۳/۶۳	۴۸/۴۰	۱۶۵۰



شکل ۲: الگوی تغییرات فراوانی سالانه‌ی گردوغبار در ایستگاه‌های مختلف استان لرستان طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰

دارند. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از عوامل جغرافیایی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و منابع گردوغبار محلی باشد.

### الگوهای فصلی: به طور کلی، اکثر

ایستگاه‌ها بیشترین میزان روزهای گردوغباری را در فصول بهار و تابستان تجربه می‌کنند. این الگوی فصلی می‌تواند به دلیل شرایط آب و هوایی گرم و خشک این فصول و افزایش فعالیت‌های انسانی (مانند کشاورزی) باشد. در فصول پاییز و زمستان، تعداد روزهای گردوغباری در اکثر ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد.

در شکل (۳) فراوانی تعداد روزهای گردوغباری در محدوده زمانی مطالعاتی به تفکیک ماه‌های هر سال و هر شهرستان نشان می‌دهد که:

### تفاوت‌های مکانی: ایستگاه‌های مختلف

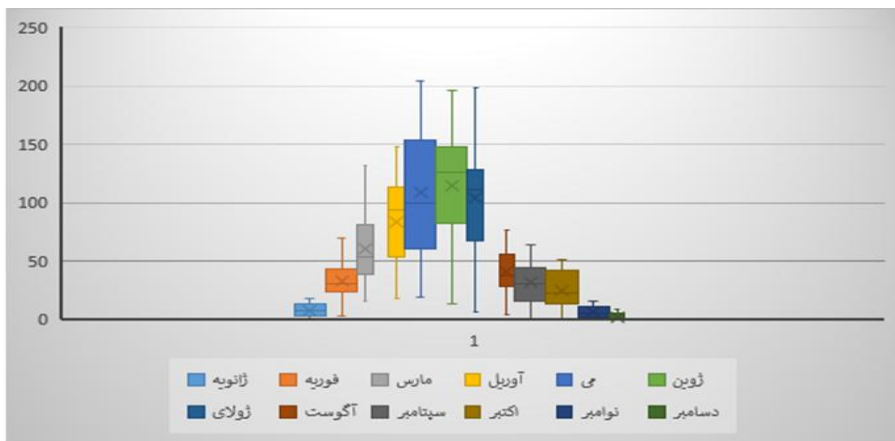
در سطح استان لرستان، میزان روزهای گردوغباری متفاوتی را نشان می‌دهند. برای مثال، ایستگاه‌های خرم‌آباد، بروجرد و دورود از بیشترین تعداد روزهای گردوغباری برخوردار هستند. در مقابل، ایستگاه‌های شول‌آباد، رومشکان و بدرآباد کمترین تعداد روزهای گردوغباری را

**مناطق بحرانی:** مناطقی مانند خرم‌آباد، بروجرد و دورود به عنوان مناطق بحرانی از نظر گردوغبار شناخته می‌شوند. این مناطق به دلیل موقعیت جغرافیایی، توپوگرافی و وجود منابع آلاینده (صنعتی، کشاورزی و ترافیکی) با مشکل شدید گردوغبار مواجه هستند. اقدامات کنترلی و مدیریتی ویژه‌ای در این مناطق بحرانی ضروری است. مناطق با وضعیت نسبتاً مطلوب: برخی مناطق مانند شول آباد، رومشکان و بدرآباد از وضعیت نسبتاً مطلوب‌تری در خصوص گردوغبار برخوردارند. این می‌تواند به دلیل موقعیت جغرافیایی بهتر، پوشش گیاهی مناسب‌تر و منابع آلاینده کمتر در این مناطق باشد. ایستگاه خرم‌آباد: خرم‌آباد با عرض جغرافیایی ۳۳/۴۳۳۸۹ و ارتفاع ۱۱۵۵ متر، بیشترین تعداد روزهای گردوغباری را با ۲۰۴ روز در سال تجربه می‌کند. این میزان بالا می‌تواند به دلیل موقعیت

جغرافیایی در دره و نزدیکی به مناطق بیابانی جنوبی استان باشد. از لحاظ توزیع ماهانه، خرم‌آباد در فصول بهار و تابستان بیشترین تعداد روزهای گردوغباری را دارد. ایستگاه بروجرد: بروجرد با عرض ۳۳/۹۱ و ارتفاع ۱۶۲۹ متر، پس از خرم‌آباد دومین ایستگاه با بیشترین روزهای گردوغباری می‌باشد. موقعیت جغرافیایی نزدیک به مناطق جنوبی و توپوگرافی کوهستانی این منطقه می‌تواند دلیل این وضعیت باشد. الگوی توزیع ماهانه در بروجرد نیز مشابه خرم‌آباد است و اوج در فصول گرم سال رخ می‌دهد. ایستگاه دورود: دورود با عرض ۵۲/۳۳ و ارتفاع ۱۵۲۲/۳ متر، سومین ایستگاه گردوغباری در سال است. موقعیت جغرافیایی و شرایط توپوگرافی دورود در کنار فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی محلی عوامل مؤثر هستند. الگوی فصلی در دورود نیز مشابه دو ایستگاه قبلی است. ایستگاه سپیدشت:

ایستگاه ها: سایر ایستگاه ها در مناطق مختلف استان لرستان، الگوهای متفاوتی از روزهای گردوغباری را نشان می دهند که ناشی از شرایط جغرافیایی و توپوگرافی محلی است. به طور کلی، ایستگاه های واقع در مناطق جنوبی تر و پایین تر استان، وضعیت بحرانی تری را تجربه می کنند.

سپیدشت با عرض 33/71417 و ارتفاع ۱۰۲۱ متر، کمترین تعداد روزهای گردوغباری را با ۶۴ روز در سال دارد. موقعیت در ارتفاعات بالاتر و دورتر از مناطق بیابانی جنوبی، دلیل وضعیت مطلوب تر سپیدشت است. توزیع ماهانه در سپیدشت نیز نشان دهنده کاهش روزهای گردوغباری در فصول سرد سال است. سایر



شکل ۳: فراوانی روزهای گردوغباری در محدوده زمانی مطالعاتی به تفکیک ماه های هر سال

در ایستگاه خرم آباد، روند افزایشی بسیار معنی داری در سطح 99/9٪ در مقیاس سالانه ( $Z=4/21$ ) مشاهده شد، به ویژه در

بررسی روند پدیده گردوغبار در استان لرستان طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۰ نتایج قابل توجهی را نشان می دهد. طبق جدول (۱)

ماه‌های مارس تا آگوست که قوی‌ترین روند در فصل تابستان ( $Z=4/03$ ) ثبت شده است. این امر نشان‌دهنده تشدید شرایط گردوغباری به‌خصوص در ماه‌های گرم سال است. ایستگاه بروجرد نیز روند افزایشی قوی در مقیاس سالانه ( $Z=4/01$ ) و در تمام فصول نشان داد، که شدیدترین افزایش در فصل بهار ( $Z=3/70$ ) بود. شیب سن سالانه  $933/1$  نشان‌دهنده افزایش تقریباً ۲ روز گردوغباری در هر سال است. در ایستگاه دورود نیز روند مشابهی با افزایش معنی‌دار در مقیاس سالانه ( $Z=4/01$ ) و تمام فصول مشاهده شد، که موقعیت جغرافیایی خاص و فعالیت‌های صنعتی می‌تواند از عوامل تشدیدکننده این روند باشد. ایستگاه‌های ازنا و الشتر وضعیت متفاوتی را نشان دادند، به‌طوری که در ازنا هیچ روند معناداری مشاهده نشد و در الشتر نیز روندهای مشاهده شده از نظر آماری معنادار نبودند. در مقابل، ایستگاه الیگودرز روندهای افزایشی معناداری در تمام فصول در سطح اطمینان ۹۹٪ نشان داد، با قوی‌ترین روند در مقیاس سالانه ( $Z=4/27$ ) و فصل بهار ( $Z=3/93$ ). ایستگاه پلدختر روند افزایشی معناداری در فصول زمستان ( $Z=2/64$ ) و پاییز ( $Z=2/08$ ) نشان داد، در حالی که کوه‌دشت روند افزایشی معناداری در مقیاس سالانه ( $Z=2/08$ )، فصل بهار ( $Z=2/69$ ) و زمستان ( $Z=3/13$ ) داشت. ایستگاه سیلاخور روند افزایشی در سطح اطمینان ۹۹٪ در مقیاس سالانه و فصول بهار و پاییز نشان داد، و در نهایت، ایستگاه نورآباد هیچ روند معناداری در هیچ یک از فصول و مقیاس سالانه نشان نداد و تنها نوسانات تصادفی در داده‌ها مشاهده شد.

## جدول ۲: خروجی روندهای هر ایستگاه در سطح استان لرستان در طول دوره ی مطالعاتی

نام ایستگاه	اولین سال دوره آماری	آخرین سال دوره آماری	تعداد سال‌های دوره	آماره آزمون من-کندال	سطح معنی داری روند	شیب سن
خرم آباد	۱۹۹۱	۲۰۲۰	۳۰	۴/۲۱۲۹۴	***	۰/۰۲۷۷۱۳
بروجرد	۱۹۹۱	۲۰۲۰	۳۰	۴/۰۰۵۳۲۵	***	۱/۹۳۳۳۳۳
دورود	۲۰۰۰	۲۰۲۰	۲۱	۰/۹۳۶۱۰۵		۱/۵۵
الیگودرز	۱۹۹۱	۲۰۲۰	۳۰	۴/۲۷۳۷۶۷	***	۲/۵۵۵۵۶
ازنا	۲۰۰۰	۲۰۲۰	۲۱	-۰/۰۹۰۹		۰
الشتر	۱۹۹۷	۲۰۲۰	۲۴	۱/۱۹۲۴۴۷		۰/۶۸۷۰۶۳
پادختر	۱۹۹۹	۲۰۲۰	۲۲	۱/۸۰۶۱۰۴	+	۱/۶۲۵
کوهدشت	۱۹۹۷	۲۰۲۰	۲۴	۲/۰۸۴۲۱۱	*	۱/۳۶۶۶۶۷
سیلاخور	۲۰۰۲	۲۰۲۰	۱۹	۱/۶۸۴۱۲۴	+	۲/۹۲۸۵۷۱
نورآباد	۲۰۰۰	۲۰۲۰	۲۱	۰/۴۵۳۳۶۷		۰/۲۹۱۶۶۷

## ۳.۲. تحلیل وضعیت پهنه بندی

## گردوغبار در ارث انجین

## ۳.۲.۱. فصل بهار

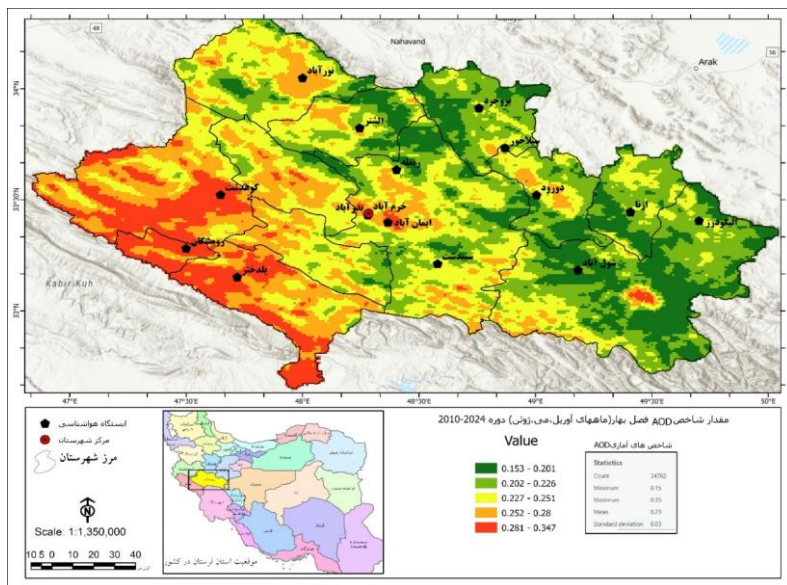
با توجه به نقشه شاخص AOD (عمق نوری آئروسول) (شکل ۴) در استان لرستان طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۲۴، می‌توان الگوی پیچیده‌ای از توزیع گردوغبار را مشاهده کرد که تحت تأثیر عوامل مختلف جغرافیایی و توپوگرافی قرار دارد. استان

لرستان از نظر توپوگرافی و ارتفاع دارای تنوع چشمگیری است که این تنوع در الگوی توزیع گردوغبار نیز منعکس شده است. مناطق غربی و مرکزی استان که در لرستان در رشته کوه های زاگرس قرار دارند، به دلیل ارتفاع بیشتر و پوشش گیاهی مناسب‌تر، میزان گردوغبار کمتری را نشان می‌دهند که در نقشه با رنگ سبز تیره در شرق، شمال شرق و تا حدودی در

شمال استان (۰.۱۵۳ تا ۰.۲۰۱) مشخص شده‌اند. در مقابل، مناطق غرب و بعد در مرکز و جنوب استان با غالبیت بیشتر که در میان رشته کوه‌های زاگرس قرار گرفته‌اند، به دلیل ارتفاع کمتر و شرایط جغرافیایی خاص، غلظت گردوغبار بیشتری را تجربه می‌کنند. این مناطق در نقشه با رنگ‌های زرد، نارنجی و قرمز (۰.۲۲۷ تا ۰.۳۴۷) نمایش داده شده‌اند. بالا بودن غلظت گردوغبار در این مناطق را می‌توان به عوامل متعددی از جمله شرایط آب و هوایی بهار، ذوب برف و یخ در ارتفاعات، افزایش فعالیت‌های کشاورزی و کمبود بارندگی نسبت داد. الگوی مکانی غلظت گردوغبار در استان لرستان کاملاً منطبق با عوامل توپوگرافیک و جغرافیایی منطقه است. مناطق شمالی و مرکزی استان با رنگ سبز تیره، نشان‌دهنده کیفیت هوای بهتر هستند، در حالی که مناطق جنوب و جنوب غربی با رنگ قرمز، بیشترین غلظت گردوغبار را دارند. این تفاوت‌های منطقه‌ای نشان می‌دهد که توپوگرافی و پوشش گیاهی نقش مهمی در توزیع گردوغبار ایفا می‌کنند و مناطق مرتفع با پوشش گیاهی بیشتر، شرایط مطلوب‌تری از نظر کیفیت هوا دارند. در مجموع، این نقشه نشان می‌دهد که توزیع گردوغبار در استان لرستان الگویی پیچیده و چندبعدی دارد که متأثر از عوامل طبیعی و انسانی است. درک این الگوها می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی و مدیریت کیفیت هوا در سطح استان بسیار مفید باشد. در نقشه مقدار انحراف معیار ۰.۰۳ نشان داده شده است که اطلاعات مهمی درباره توزیع آماری داده‌های AOD (عمق نوری آتروسول) در استان لرستان ارائه می‌دهد. مقدار کوچک انحراف معیار (۰.۰۳) حاکی از آن است که اکثر مقادیر AOD نزدیک به میانگین (۰.۲۴) هستند و تغییرات مکانی گردوغبار در

توزیع گردوغبار در استان از یک الگوی نسبتاً منظم پیروی می کند و تأثیر عوامل محلی بر توزیع گردوغبار محدود است. به عبارت دیگر، داده ها از پراکندگی زیادی برخوردار نیستند و اکثراً حول میانگین متمرکز شده اند، که این موضوع بیانگر یکنواختی نسبی در توزیع مکانی گردوغبار در استان لرستان است.

استان نسبتاً تدریجی و منظم است. بر اساس قوانین آماری، حدود ۶۸٪ از داده ها در محدوده میانگین  $\pm$  یک انحراف معیار (۰.۲۱ تا ۰.۲۷)، حدود ۹۵٪ از داده ها در محدوده میانگین  $\pm$  دو انحراف معیار (۰.۱۸ تا ۰.۳۰)، و حدود ۹۹.۷٪ از داده ها در محدوده میانگین  $\pm$  سه انحراف معیار (۰.۱۵ تا ۰.۳۳) قرار می گیرند. این انحراف معیار کوچک همچنین نشان می دهد که



شکل ۴: وضعیت پهنه بندی گردوغبار ارث ان جین استان لرستان در فصل بهار

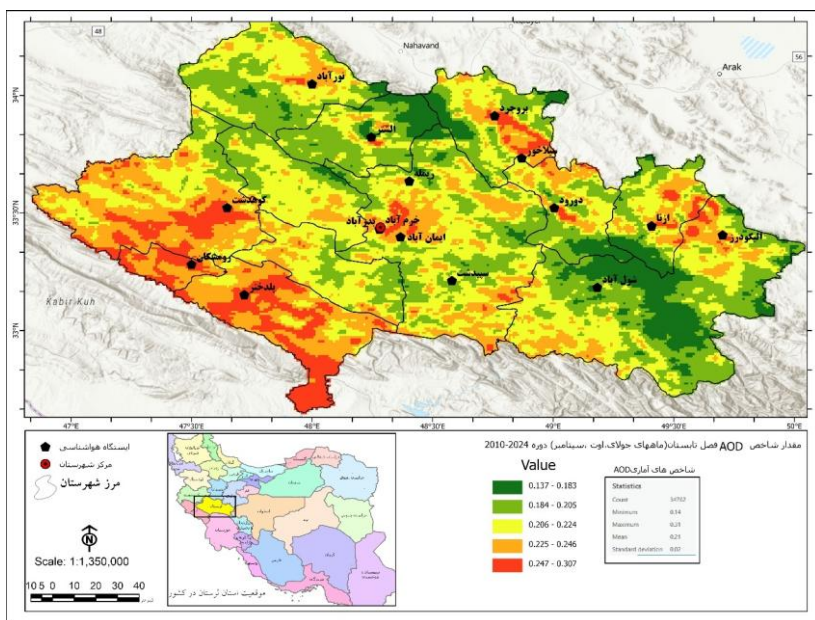
### ۳.۲.۲. فصل تابستان

انحراف معیار در نقشه‌ای که توزیع مکانی عمق نوری آئروسول (AOD) را در فصل تابستان نشان می‌دهد شکل (۵)، میزان پراکندگی یا تغییرپذیری مقادیر AOD را حول میانگین مشخص می‌کند. در این نقشه، انحراف معیار ۰.۰۳ نشان‌دهنده این است که اکثر مقادیر AOD نزدیک به میانگین (۰.۲۴) هستند، که بیانگر توزیع نسبتاً یکنواخت گردوغبار در منطقه و عدم تغییرات شدید در مقادیر AOD است. مقدار اندک انحراف معیار (۰.۰۳) بیانگر تغییرات تدریجی و یکنواخت غلظت گردوغبار در سطح استان است. این یکنواختی حاکی از آن است که عوامل محلی (نظیر منابع تولید یا ویژگی‌های توپوگرافی) نقش چندان چشمگیری در ایجاد ناهمگونی مکانی ندارند و الگوی توزیع، کلی و منطقه‌ای است. این انحراف معیار پایین بیانگر پایداری الگوی توزیع

گردوغبار در استان لرستان است، به طوری که پراکندگی شدیدی در داده‌ها مشاهده نمی‌شود. به طور کلی، انحراف معیار در این نقشه نشان می‌دهد که توزیع گردوغبار در استان لرستان نسبتاً یکنواخت و پایدار است و تغییرات مکانی آن به صورت تدریجی و منظم اتفاق می‌افتد. این اطلاعات می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های محیطی و مدیریت بحران گردوغبار مفید باشد. در فصل تابستان، مناطق مرکزی و شمالی استان لرستان که در لرستان در رشته کوه‌های زاگرس قرار دارند، غلظت گردوغبار پایین‌تری را نشان می‌دهند. این مناطق با ارتفاعات بالاتر و پوشش گیاهی بهتر، شرایط مطلوب‌تری از نظر کیفیت هوا دارند و غلظت گردوغبار در آنها بین ۰.۱۳۷ تا ۰.۱۸۳ گزارش شده است. در مقابل، مناطق جنوبی و غربی استان که دارای ارتفاعات کمتری هستند، غلظت

بالاتری از گردوغبار را تجربه می‌کنند. این مناطق به رنگ نارنجی و قرمز در نقشه نمایش داده شده‌اند و غلظت گردوغبار در آنها بین ۰/۲۴۷ تا ۰/۳۰۷ می‌باشد. این امر می‌تواند به دلیل شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک در تابستان که کاهش پوشش گیاهی و تشدید فرسایش خاک به افزایش غلظت گردوغبار در مناطق جنوبی و غربی استان منجر می‌شود. همچنین، جریان‌های بادی و توپوگرافی ویژه، غلظت نسبتاً بالاتری (۰/۲۰۶ تا ۰/۲۴۶) را در مناطق شرقی توجیه می‌کنند. در مجموع، توزیع فضایی گردوغبار در این فصل تابعی از تعامل عوامل اقلیمی و زمین‌ریخت‌شناختی منطقه است. مناطق مرتفع‌تر و با پوشش گیاهی بهتر از وضعیت مطلوب‌تری برخوردارند، در حالی که مناطق پست‌تر و خشک‌تر با افزایش غلظت گردوغبار مواجه هستند. بررسی نقشه و راهنمای آن نشان می‌دهد که در فصل تابستان، الگوی توزیع گردوغبار در استان لرستان متفاوت از بهار است. در این فصل، مناطق مرکزی، جنوب شرقی و شمالی استان که در ارتفاعات قرار دارند، غلظت گردوغبار کمتری را تجربه می‌کنند و به رنگ سبز تیره نشان داده شده‌اند. در مقابل، مناطق جنوبی و غرب استان که دارای ارتفاعات کمتری هستند، غلظت بالاتری از گردوغبار را نشان می‌دهند و به رنگ نارنجی و قرمز درآمده‌اند. این مناطق احتمالاً به دلیل شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک تابستان، کاهش پوشش گیاهی و فرسایش خاک بیشتر در معرض تجمع گردوغبار قرار می‌گیرند. همچنین می‌توان دید که مناطق شرقی استان نیز تا حدودی غلظت بالاتری از گردوغبار را در تابستان تجربه می‌کنند. این امر می‌تواند ناشی از جریان‌های بادی و شرایط توپوگرافی خاص این مناطق باشد. در مجموع، الگوی فصلی گردوغبار در استان لرستان متأثر از

عوامل مختلفی چون ارتفاع، پوشش گیاهی و شرایط آب‌وهوایی است. در تابستان، مناطق کوهستانی وضعیت بهتری دارند، اما مناطق جنوبی و غربی با افزایش غلظت گردوغبار مواجه هستند.



شکل ۵: وضعیت پهنه بندی گردوغبار ارت انجین استان لرستان در فصل تابستان

### ۳.۲.۳. فصل پاییز

AOD نشان دهنده غلظت بیشتر این

شکل (۶) مقدار شاخص AOD: شاخص

ذرات در جو است.

عمق نوری آئروسول (AOD) میزان ذرات

انحراف معیار: انحراف معیار ۰/۰۳ نشان

معلق در هوا مانند گردوغبار، دود و سایر

می‌دهد که مقادیر AOD در منطقه مورد

آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر

مطالعه نسبتاً یکنواخت هستند و تغییرات

انحراف معیار (۰/۱۸ تا ۰/۳۰) هستند. حدود ۹۹/۷٪ از داده‌ها در محدوده میانگین  $\pm$  سه انحراف معیار (۰/۱۵) تا (۰/۳۳) قرار می‌گیرند. با توجه به راهنمای نقشه که نشان می‌دهد این نقشه مربوط به فصل پاییز است. مناطق جنوبی و غربی استان که به رنگ نارنجی و قرمز در نقشه نمایش داده شده‌اند، دارای بالاترین غلظت گردوغبار در فصل پاییز هستند. بر اساس راهنما، در این مناطق میزان ذرات معلق در هوا بین ۰/۱۵۹ تا ۰/۲۰۳ است که در محدوده بحرانی قرار می‌گیرد. این مناطق به دلیل ارتفاعات پایین‌تر، شرایط اقلیمی خشک‌تر و کاهش پوشش گیاهی در فصل پاییز، با چلش بیشتری از آلودگی گردوغبار مواجه هستند. جریان‌های بادی و توپوگرافی نامناسب این بخش‌ها نیز بر تشدید این مشکل تأثیرگذار است. در مقابل، مناطق مرکزی و شمالی استان که در لرستان در رشته کوه‌های زاگرس قرار

شدیدی در غلظت ذرات وجود ندارد (اگرچه ممکن است میانگین غلظت AOD یا انحراف معیار در برخی فصول مشابه باشد، اما الگوی مکانی توزیع گردوغبار و همچنین علل وقوع آن در بهار و تابستان می‌تواند متفاوت باشد). این نشان می‌دهد که توزیع گردوغبار در منطقه پایدار و منظم است.

#### تمرکز داده‌ها حول میانگین: اکثر

مقادیر AOD نزدیک به میانگین (۰/۲۴) هستند، که نشان‌دهنده توزیع نسبتاً یکنواخت گردوغبار در منطقه است. این موضوع بیانگر این است که تغییرات مکانی گردوغبار در استان لرستان تدریجی و منظم است.

#### محدوده اطمینان آهاری: حدود ۶۸٪ از

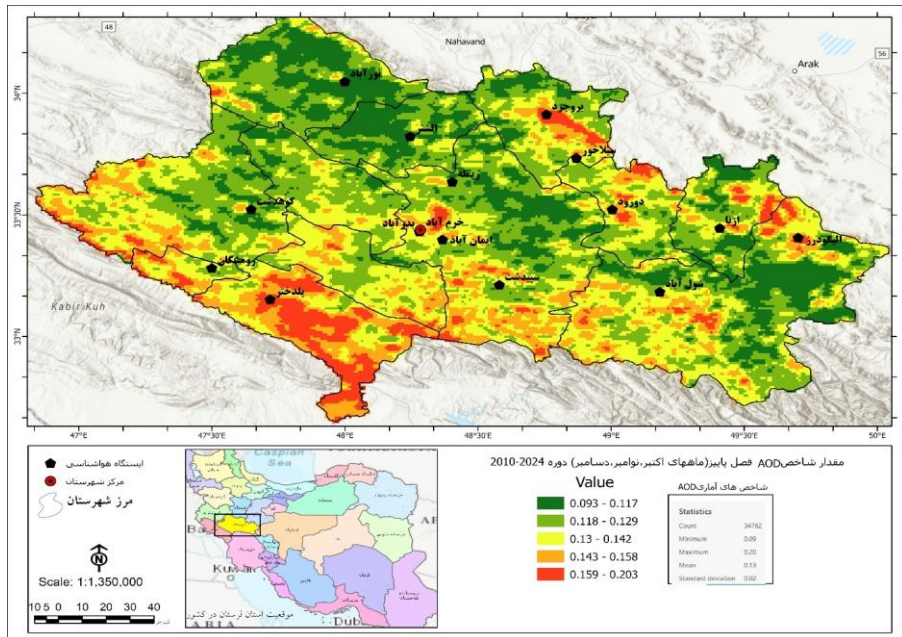
داده‌ها در محدوده میانگین  $\pm$  یک انحراف معیار (۰/۲۱ تا ۰/۲۷) قرار دارند. حدود ۹۵٪ از داده‌ها در محدوده میانگین  $\pm$  دو

دارند، وضعیت مطلوب‌تری از نظر غلظت گردوغبار دارند. در این مناطق، میزان ذرات معلق در هوا بین 0/093 تا 0/117 است که در محدوده قابل قبول قرار می‌گیرد. همچنین، مناطق شرقی استان تا حدودی با افزایش غلظت گردوغبار در فصل پاییز مواجه هستند و میزان آن بین 0/118 تا 0/129 گزارش شده است. این الگو می‌تواند ناشی از شرایط خاص توپوگرافی و جریان‌های بادی در این بخش‌ها باشد. در مجموع، مناطق جنوبی و غربی استان لرستان در فصل پاییز به عنوان مناطق بحرانی از نظر آلودگی گردوغبار شناخته می‌شوند که نیازمند توجه ویژه و اقدامات مدیریتی هستند. در این فصل، مناطق مرکزی و شمالی استان لرستان که در دامنه‌های لرستان در رشته کوه‌های زاگرس واقع شده‌اند، غلظت گردوغبار کمتری را نشان می‌دهند. این مناطق با ارتفاعات بالاتر و پوشش گیاهی

بهتر، شرایط اقلیمی مطلوب‌تری برای کاهش تجمع گردوغبار دارند. بر اساس راهنمای نقشه، غلظت گردوغبار در این مناطق در محدوده 0/093 تا 0/117 قرار می‌گیرد. در مقابل، مناطق جنوبی و غربی استان که دارای ارتفاعات کمتری هستند، با افزایش غلظت گردوغبار مواجه هستند. این مناطق به رنگ زرد و نارنجی در نقشه نمایش داده شده و غلظت گردوغبار آنها بین 0/143 تا 0/158 قرار دارد. این الگو می‌تواند تحت تأثیر شرایط آب و هوایی خشک‌تر و کاهش پوشش گیاهی در این مناطق باشد. همچنین، مناطق شرقی استان نیز تا حدودی غلظت بالاتری از گردوغبار را در فصل پاییز تجربه می‌کنند و در محدوده 0/118 تا 0/129 قرار می‌گیرند. این الگو می‌تواند متأثر از جریان‌های بادی و ویژگی‌های توپوگرافی این بخش‌ها باشد. در مجموع، توزیع مکانی گردوغبار در استان لرستان در فصل

پست تر و خشک تر با افزایش غلظت گردوغبار روبرو هستند.

پاییز همچنان تحت تأثیر عوامل توپوگرافی و اقلیمی است. مناطق مرتفع تر و با پوشش گیاهی بهتر، شرایط مطلوب تری از نظر کیفیت هوا دارند، در حالی که مناطق



شکل ۶: وضعیت پهنه‌بندی گردوغبار اثر انجین استان لرستان در فصل پاییز

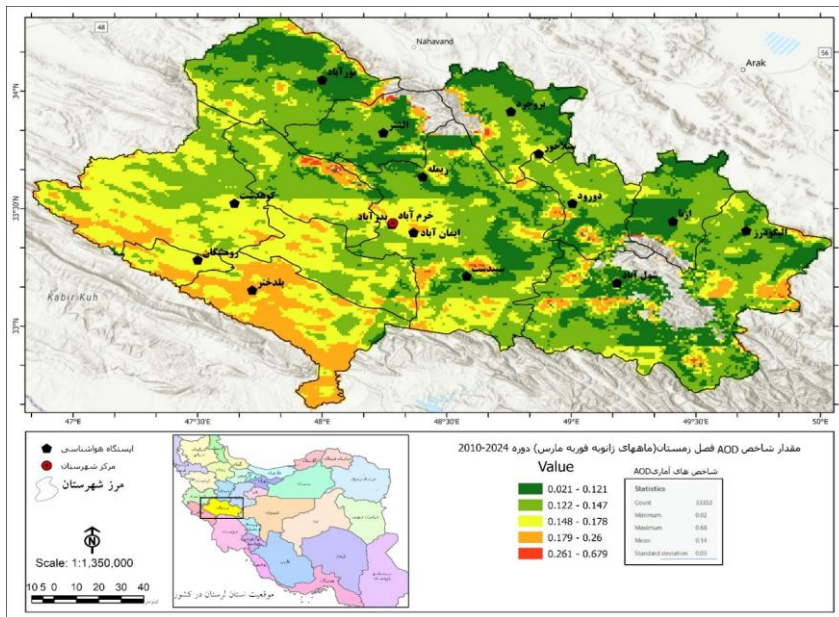
AOD: شاخص AOD میزان ذرات معلق در هوا مانند گردوغبار، دود و سایر آلاینده‌ها را نشان می‌دهد. در فصل زمستان، مقادیر AOD می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند بارش‌های

۴.۲.۳. فصل زمستان بر اساس شکل (۷) شاخص عمق نوری آئروسول (AOD) و نقشه ارائه شده، می‌توان تحلیل زیر را برای توزیع گردوغبار در فصل زمستان ارائه داد: مقدار شاخص

فصلی، سرعت باد و فعالیت‌های انسانی قرار گیرد. توزیع مکانی گردوغبار: در فصل زمستان، مناطق مرکزی و شمالی استان لرستان که در دامنه‌های کوهستانی البرز قرار دارند، ممکن است غلظت گردوغبار کمتری را نشان دهند. این مناطق به دلیل ارتفاعات بالاتر و پوشش گیاهی بهتر، شرایط مطلوب‌تری از نظر کیفیت هوا دارند. در مقابل، مناطق جنوبی و غربی استان که دارای ارتفاعات کمتری هستند، ممکن است غلظت بالاتری از گردوغبار را تجربه کنند. این امر می‌تواند به دلیل شرایط آب‌وهوایی سرد و خشک زمستان، کاهش پوشش گیاهی و افزایش فرسایش خاک در این مناطق باشد. تأثیر بارش‌های زمستانی: بارش‌های زمستانی می‌توانند نقش مهمی در کاهش غلظت گردوغبار داشته باشند. بارش برف و باران می‌تواند ذرات گردوغبار را از هوا شسته و غلظت آن را کاهش دهد. بنابراین، مناطق با بارش

بیشتر در زمستان ممکن است غلظت کمتری از گردوغبار را نشان دهند. سرعت باد: سرعت باد در فصل زمستان نیز می‌تواند بر توزیع گردوغبار تأثیر بگذارد. بادهای شدید می‌توانند ذرات گردوغبار را از مناطق خشک و بیابانی به مناطق دیگر منتقل کنند. بنابراین، مناطق با سرعت باد بیشتر ممکن است غلظت بالاتری از گردوغبار را تجربه کنند. محدوده اطمینان آماری: توزیع گردوغبار در زمستان، با انحراف معیار کم (0/03)، الگویی یکنواخت و متمرکز حول میانگین 0/24 را نشان می‌دهد. این یکنواختی فضایی، ناشی از نقش متعادل‌کننده‌ی عوامل مؤثر مانند بارش‌های زمستانی، توپوگرافی، و سرعت باد است. در این فصل، مناطق مرتفع و دارای پوشش گیاهی مناسب، کمترین غلظت را تجربه می‌کنند؛ در حالی که نواحی پست و خشک‌تر با چالش غلظت بالاتر گردوغبار مواجهند. چنین تحلیلی

می‌تواند مبنای علمی مناسبی برای برنامه‌ریزی‌های محیط‌زیستی و مدیریت هدفمند پدیده‌ی گردوغبار فراهم آورد.



شکل ۷: وضعیت پهنه بندی گردوغبار ارت انجین استان لرستان در فصل زمستان

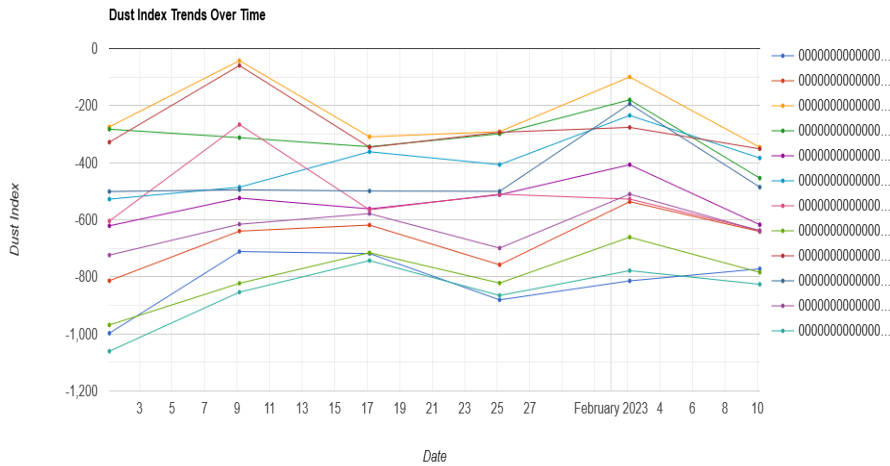
می‌دهد. محور افقی روزهای ماه (۱ تا ۳۰) و محور عمودی مقادیر منفی شاخص گردوغبار را نشان می‌دهد، که مقادیر کمتر منفی (نزدیک‌تر به صفر) بیانگر سطوح بالاتر گردوغبار هستند. روند کلی افزایشی در شاخص گردوغبار (حرکت به سمت

۳.۳. پیش‌بینی گردوغبار با استفاده از

ارت انجین

شکل (۸) نمودار میانگین و مقادیر شاخص گردوغبار را برای سی روز در دوازده ماه سال نشان می‌دهد، که یک دوره کوتاه‌مدت در مطالعه حاضر را پوشش

مقادیر کمتر منفی) مشاهده می‌شود، که نشان‌دهنده افزایش کلی در میزان گردوغبار است. نوسانات روزانه قابل توجهی در نمودار دیده می‌شود، مانند کمترین میزان گردوغبار در روزهای ۳ و ۵ فوریه و افزایش قابل توجه در روز ۱۰ ژوئن. خطوط رنگی مختلف نشان‌دهنده مناطق مختلف یا روش‌های اندازه‌گیری متفاوت هستند، که بیانگر تنوع الگوهای گردوغبار در مناطق مختلف استان است. این داده‌ها می‌توانند الگوهای مرتبط با فعالیت‌های انسانی یا تغییرات ماهانه در شرایط جوی را نشان دهند. نوسانات روزانه ممکن است تحت تأثیر عوامل کوتاه‌مدت مانند تغییرات سرعت و جهت باد، رطوبت نسبی یا فعالیت‌های محلی باشد. همچنین، این داده‌ها بخشی از یک الگوی فصلی بزرگ‌تر هستند، که حتی در فصل بارانی فوریه، رویدادهای گردوغبار یا آلودگی ناشی از وارونگی هوا ممکن است رخ دهند. میزان AOD در فصول گرم (بهار و تابستان) به اوج خود می‌رسد و در فصول سرد (پاییز و زمستان) کاهش می‌یابد، که با فعالیت‌های کشاورزی و طوفان‌های گردوغباری مرتبط است. برخی سال‌ها مانند ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ شاهد پیک‌های بالای AOD هستند، اما روند کلی میانگین AOD در طول دوره کاهشی است، که ممکن است ناشی از تغییرات در منابع گردوغبار یا اقدامات کنترلی باشد. تفاوت‌های مکانی در الگوهای AOD به ویژگی‌های محلی مانند توپوگرافی و منابع گردوغبار مربوط است. در مجموع، این الگوهای زمانی-مکانی در غلظت گردوغبار در استان لرستان تحت تأثیر عوامل اقلیمی، توپوگرافی و منابع آلاینده محلی است و می‌تواند به عنوان شاخصی برای پایش کیفیت هوا مورد استفاده قرار گیرد.



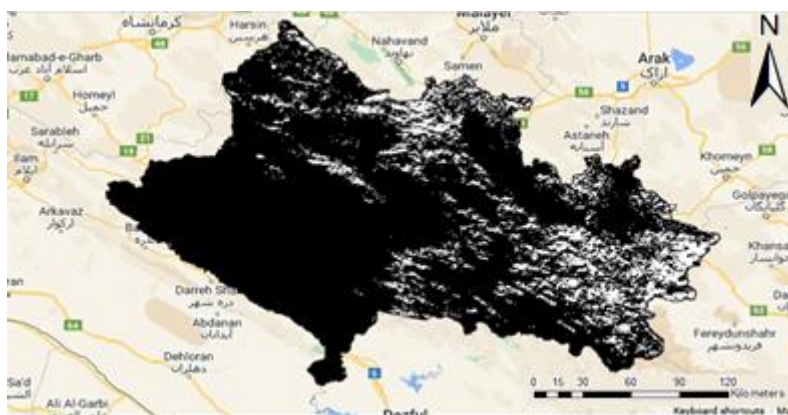
شکل ۸: نمودار میانگین و مقادیر شاخص گردوغبار سال ۲۰۲۳ به عنوان سال نمونه

دارند. همچنین، شیب عمومی منطقه بر الگوی پراکنش ذرات معلق تأثیر می‌گذارد. از منظر سینوپتیکی، نفوذ سیستم‌های گردوغبار از سمت غرب (عراق) به دلیل موقعیت جغرافیایی استان و تأثیر بادهای غربی و جنوب غربی در انتقال و تجمع گردوغبار قابل توجه است. احتمال استقرار سیستم کم‌فشار حرارتی نیز شرایط را برای تجمع گردوغبار مساعد می‌کند. از نظر مکانی، بیشترین تمرکز گردوغبار در نواحی غربی و مرکزی مشاهده می‌شود که هم‌راستا با مسیر ورود گردوغبار است.

با بررسی تخصصی شکل (۹) نقشه پیش‌بینی گردوغبار در استان لرستان، می‌توان به تحلیل زیر اشاره کرد: توزیع فضایی گردوغبار (مناطق سیاه‌رنگ) نشان‌دهنده تمرکز بالای ذرات معلق در بخش‌های غربی و مرکزی استان است. این الگوی توزیع را می‌توان از چند منظر تحلیل کرد. از نظر توپوگرافیک، ارتفاعات زاگرس در غرب و شمال غرب استان بر تجمع گردوغبار تأثیرگذار هستند و دره‌ها و گذرگاه‌های کوهستانی در هدایت و تمرکز جریان‌های حامل گردوغبار نقش

غلظت گردوغبار به سمت شرق استان به دلیل فاصله از منابع اصلی کاهش می‌یابد و پوشش گیاهی و کاربری اراضی نیز در الگوی پراکنش تأثیرگذار هستند. این نقشه به خوبی نشان می‌دهد که سیستم گردوغبار یک پدیده منطقه‌ای است که تحت تأثیر شرایط توپوگرافیک، اقلیمی و سینوپتیک منطقه شکل می‌گیرد و نیازمند مدیریت یکپارچه در مقیاس منطقه‌ای و ملی است. مناطق با رنگ‌های

تیره‌تر معمولاً نشان‌دهنده سطوح بالاتر و تراکم شدید گردوغبار هستند و بررسی این مناطق می‌تواند به شناسایی نقاط بحرانی کمک کند. مقایسه پیش‌بینی‌ها با داده‌های واقعی نیز می‌تواند به ارزیابی دقت مدل کمک کند. تحلیل تغییرات زمانی و مکانی در تصاویر پیش‌بینی‌شده می‌تواند اطلاعات بیشتری درباره الگوها و روندهای گردوغبار در استان ارائه دهد.



شکل ۹: نقشه پیش‌بینی گردوغبار در استان لرستان

#### ۴. نتیجه‌گیری

براساس تحلیل‌های صورت گرفته، وضعیت گردوغبار در استان لرستان از نظر توزیع زمانی و فضایی به شرح زیر است:

از نظر زمانی، در دی‌ماه نورآباد با ۱۶-۱۸ روز بیشترین گردوغبار را دارد. در بهمن، بروجرد، سیلاخور و خرم‌آباد با ۴۱-۵۰ روز مواجه هستند. اسفندماه دورود با ۱۴۰-۱۱۰ روز بیشترین میزان را تجربه می‌کند. در فروردین، الشتر و سیلاخور و در اردیبهشت، خرم‌آباد و الیگودرز با افزایش گردوغبار روبه‌رو هستند. در تیرماه نیز خرم‌آباد، دورود، سیلاخور و بروجرد بیشترین میزان را دارند.

از نظر فضایی، مناطق بحرانی شامل دشت سیلاخور به عنوان تله رسوبی، دره‌های محصور مانند خرم‌آباد، دورود و الشتر و مناطق مرتفعی مانند الیگودرز و نورآباد هستند. عوامل تشدیدکننده شامل

توپوگرافی (دره‌ها و ارتفاعات)، موقعیت جغرافیایی در مسیر بادهای غربی، ارتفاع و صنایع (به‌ویژه سیمان دورود) می‌باشند. الگوی کلی نشان می‌دهد گردوغبار در لرستان هم چرخه فصلی دارد و هم تحت تأثیر شرایط محلی و منطقه‌ای است. اوج وقوع در دو بازه اردیبهشت (خرم‌آباد و الیگودرز) و تیر (خرم‌آباد، دورود، سیلاخور و بروجرد) رخ می‌دهد. بررسی روند ۳۰ ساله (۱۹۹۱-۲۰۲۰) روند صعودی مشخصی را نشان می‌دهد. دهه اول (۱۹۹۱-۲۰۰۰) افزایش ملایم، دهه دوم (۲۰۰۱-۲۰۱۰) افزایش با شیب تندتر و دهه سوم (۲۰۱۱-۲۰۲۰) ادامه روند با شدت بیشتر بوده است. از سال ۲۰۱۰ شدت افزایش بیشتر شده؛ به طوری که از حدود ۱۵ روز در ۱۹۹۱ به حدود ۱۱۰ روز در ۲۰۲۰ رسیده که افزایشی تقریباً ۷ برابری است.

افزایش بر کیفیت هوا، سلامت عمومی، منابع آبی و کشاورزی تأثیرات منفی خواهد گذاشت. مقایسه با یافته‌های سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد این مطالعه با ارائه تحلیل ۳۰ ساله، ادغام داده‌های زمینی و ماهواره‌ای و پیش‌بینی روند آبی، چارچوب روشمند ارزشمندی را فراهم کرده است. نتیجه‌گیری کلی تأکید بر ضرورت توجه فوری و اجرای راهبردهای جامع مدیریت محیط زیست، مبارزه با بیابان‌زایی، حفاظت از پوشش گیاهی و پایش مستمر برای تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد است.

### مقایسه یافته‌ها و سنجش با

#### پژوهش‌های پیشین

### روند افزایشی گردوغبار و تطابق با

#### مطالعات منطقه‌ای

#### • مطالعه حاضر: روند افزایشی

معنادار در تعداد روزهای گردوغباری (از ۱۵ روز در ۱۹۹۱ به ۱۱۰ روز در ۲۰۲۰) و

کانون‌های محلی داخلی شامل دشت سیلاخور، دره‌های بین کوهستانی (دورود و خرم‌آباد)، مناطق کم‌ارتفاع مانند پلدختر و مناطق تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی نظیر معادن الیگودرز، صنایع دورود و زمین‌های کشاورزی رها شده است. کانون‌های مجاور و خارجی مؤثر نیز شامل مناطق خشک مرکزی ایران، دشت‌های غربی کشور، بیابان‌های عراق و صحرای سوریه هستند که از طریق جریان‌های غربی و جنوب غربی و کریدورهای طبیعی زاگرس انتقال می‌یابند.

پیش‌بینی‌ها حاکی از افزایش قابل توجه

گردوغبار در سال‌های آینده است. انتظار

می‌رود مناطق غربی و مرکزی استان به

دلیل نزدیکی به کانون‌های خارجی و

توپوگرافی، با بیشترین غلظت مواجه شوند.

تغییرات اقلیمی، کاهش بارش، خشکی

خاک و کاهش پوشش گیاهی از عوامل

تشدیدکننده این روند خواهند بود. این

غلظت AOD (از ۰.۱۵ به ۰.۴۵) را نشان می‌دهد. گزارش شده در لرستان به‌ویژه در دهه سوم (۲۰۱۱-۲۰۲۰) چشمگیرتر است.

## ۲. الگوهای فصلی و مکانی گردوغبار

- **مطالعه حاضر:** اوج گردوغبار در فصول بهار و تابستان، تمرکز بر مناطق پست و دشتی (مانند خرم‌آباد و دورود) و کاهش غلظت در مناطق مرتفع و کوهستانی (مانند سپیدشت و الیگودرز) را نشان می‌دهد.

### • مطالعات مشابه:

- مطالعه ( Sobhani et al., 2015) در زابل نیز اوج گردوغبار را در ماه‌های گرم سال (ژوئیه و اوت) گزارش کرده است.

- تحقیق ( Umm Salmeh et al., 2014) در غرب ایران نشان داد که الگوی فصلی گردوغبار در ایستگاه‌های مختلف ممکن است متفاوت باشد، اما عمده‌تاً در ماه‌های گرم تشدید می‌شود.

### • مطالعات مشابه:

- پژوهش‌های متعدد در استان‌های غربی (همچون خوزستان، کرمانشاه و ایلام) نیز بر افزایش فراوانی و شدت گردوغبار در دو دهه اخیر تأکید کرده‌اند ( Nazer Arami et al., 2018; Parvin et al., 2021).

- مطالعه‌ای در قزوین ( Mansour Moghaddam et al., 2022) نیز روند افزایشی AOD و ارتباط مستقیم آن با کاهش بارش و پوشش گیاهی را گزارش کرده است که با یافته‌های این تحقیق همسوست.

- **نتیجه تطبیقی:** یافته‌های این پژوهش از نظر جهت روند با اکثر مطالعات منطقه‌ای همخوانی دارد، اما میزان افزایش

- پژوهش (Jabali et al., ۲۰۱۹)
  - مطالعات مشابه:
    - در یزد بر رابطه معکوس AOD با ارتفاع و پوشش گیاهی تأکید کرده است.
    - (Nasiri et al., ۲۰۱۶) در خوزستان و (Arami et al., ۲۰۱۸) در آبادان نیز بر منشأ فرامحلی گردوغبارهای منطقه تأکید کرده‌اند.
    - مطالعه (Salamati- Hormozy et al., ۲۰۱۹) نقش سامانه‌های جوی مانند فرابار سیبری را در انتقال گردوغبار به منطقه خلیج فارس نشان داده است.
  - نتیجه تطبیقی: الگوی فصلی و مکانی شناسایی‌شده در این مطالعه با تحقیقات پیشین در سایر مناطق غرب ایران هماهنگی قابل‌توجهی دارد و تأییدکننده نقش کلیدی عوامل توپوگرافیک و پوشش گیاهی در توزیع گردوغبار است.
- ۳. نقش عوامل فرامرزی و منابع خارجی
  - مطالعه حاضر: بر نقش منابع خارجی (به‌ویژه کانون‌های گردوغبار در عراق و صحرای سوریه) و انتقال ذرات از طریق بادهای غربی و جنوب غربی تأکید دارد.
  - نتیجه تطبیقی: تأکید این پژوهش بر منشأ فرامرزی گردوغبارهای لرستان با یافته‌های مطالعات مجاور همسو است و نشان می‌دهد مدیریت این پدیده نیازمند همکاری‌های منطقه‌ای و فرامرزی است.

#### ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان‌های تأمین مالی دریافت نکرده است.  
 تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.  
 برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از رساله دکتری آزاده پولادوند بوده است.

## References

- Ansari Qojghar, M. , Bazrafshan, J. , Araghinejad, S. , Parsi, E. and Soltani, S. (2020). Evaluation of the performance of the support-wavelet vector machine hybrid model in predicting dust storms (Case study: Sistan and Baluchestan province). *Environmental Management Hazards*, 7(4), 331-351. doi: 10.22059/jhsci.2021.314582.614
- Arami, S. A. , Ownegh, M. , Mohammadian Behbahani, A. , Akbari, M. and Zarasvandi, A. (2018). Statistical Analysis of Spatio-Temporal Pattern of Dust Storms in West and Southwest of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(1), 61-83. doi: 10.22069/jwsc.2018.14107.2883.
- Jabali, Zare, Haqqesi, & Jafari. (2019). Investigating the range of horizontal visibility variability in areas affected by dust events in Yazd Province. *Desert Management*, 8(15), 21-36.
- Taghavi, Farahnaz., Olad, Elaheh., Safarrad, Taher; and Irannejad, Parviz. (2013). Detection and monitoring of dust storms in western Iran using remote sensing methods. *Journal of Earth and Space Physics*, 83-96.
- IRIMO (2022). Annual Climate Report of Iran. *Iranian Meteorological Organization*.
- Kazemi Gorje, M. (2024). Monitoring the spatio-temporal distribution of soil salinity. *Pollutants*, 1-15. <https://doi.org/10.3390>
- Karimi, B., & Ezzati, R. (2017). The effect of exhaust emissions stress on morphological and biochemical indices of Corn (*Zea mays* var. *indentata*). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 30(3), 619-634.
- Luo H, Wang Q, Guan Q, Ma Y, Ni F, Yang E, Zhang J. Heavy metal pollution levels, source apportionment and risk assessment in dust storms in key cities in Northwest China. *J Hazard Mater*.

- 2022 Jan 15;422:126878  
doi:  
10.1016/j.jhazmat.2021.126878. Epub 2021 Aug 11. PMID: 34418825.
- Mansourmoghaddam, M., Naghipur, N., Rousta, I. and Ghaffarian, H. R. (2022). Temporal and Spatial Monitoring and Forecasting of Suspended Dust Using Google Earth Engine and Remote Sensing Data (Case Study: Qazvin Province). *Desert Management*, 10(1), 77-98. doi: 10.22034/jdmal.2022.548083.1372
  - Nasiri, B., Zareei Chaghabalaki, Z., Halimi, M., & Rostami Fath Abadi, M. (2016). Studying the Condition of Atmospheric Boundary Layer Height of Khuzestan in the Dusty Days. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 3(2), 51-64.
  - Omidvar, K., Alizadeh Bonoti, M., Mehrafarin, R., & Karami, A. (2013). Investigation of pressure patterns and high-speed wind cores in the transfer of dust to the atmosphere of Khuzestan province. *Regional Planning Journal*.
  - Omidvar, K., Ebrahimi, R., & Nekoum, Z. (2015). Synoptic analysis of black storms in western Khorasan Razavi and Sabzevar. *Environmental Sciences and Engineering*, 3(1).
  - Omidvar, K., Salamati Hormozi, V., Hamzenejad, M., & Hosseinpour, M. (2019). Synoptic-remote sensing analysis of the dust storm event in Hormozgan province. *Environmental Sciences and Technology*, 21(12) magiran.com/p2143494.
  - Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
  - Parvin M, Lashkari H, Borna R, Karampour M. Identification and Analysis of Atmospheric Patterns of Dust in West of Iran (Case Study: Kermanshah Province). *E.E.R.* 2021; 11 (4) :94-71. URL: <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-658-en.html>
  - Sobhani, B., Salahi, B., & Goldust, A. (2015). Study the dust and evaluation of its possibility prediction

- based on statistical methods and ANFIS model in Zabol University. *Geography and Development*, 13(38), 123-138.
- Zandkarimi, A. and Fatehi, P.: DUST STORM DETECTION USING MODIS DATA OVER THE MIDDLE EAST, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-4/W18, 1147-1151, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-1147-2019>, 2019.
  - Zheng, F., Guo, X., Tang, M., Zhu, D., Wang, H., Yang, X., & Chen, B. (2023). Variation in pollution status, sources, and risks of soil heavy metals in regions with different levels of urbanization. *Science of the Total Environment*, 866, 161355.
  - Tang, Y., & Han, G. (2017). Characteristics of major elements and heavy metals in atmospheric dust in Beijing, China. *Journal of Geochemical Exploration*, 176, 114-119.
  - doi:10.1016/j.scitotenv.2022.161355. Epub 2023 Jan 4. PMID: 36610633.
  - <https://www.unenvironm.ent.org>
  - <https://www.irimo.ir>
  - <https://lorestan.doe.ir>
  - <http://www.lorestanmet.ir>