



<https://gеп.ui.ac.ir/?lang=en>  
Geography and Environmental Planning  
E-ISSN: 2252- 0910  
Document Type: Research Paper  
Vol. 35, Issue 3, No.95, Autumn 2024, pp. 113- 128  
Received: 05/03/2024 Accepted: 28/08/2024

## Monitoring Temporal-Spatial Changes of Atmospheric Suspended Dust in Selected Provinces of the Western Half of Iran Using MODIS and Sentinel-5 Images

Fatemeh Vatanparast Galeh Juq<sup>1</sup>, Boroomand Salahi <sup>\*2</sup>, Batool Zeinali <sup>3</sup>

1- Ph.D. student of climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran  
f.vatanparast.g72@gmail.com

2- Professor of climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran  
Salahi@uma.ac.ir

3- Professor of climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran  
zeynali.b@uma.ac.ir

### Abstract

Dust is a significant global challenge. This study aimed to monitor the temporal and spatial changes of suspended atmospheric dust in the western half of Iran, specifically in the provinces of Ilam, Khuzestan, Kermanshah, Kurdistan, and Lorestan. We utilized MODIS sensor products from 2012 to 2021 and Sentinel-5 imagery from 2018 to 2021 within the Google Earth Engine framework. These sensor products are invaluable for managing and addressing dust-related issues. Using Aerosol Optical Depth (AOD) and Absorbing Aerosol Index (AAI) data, we tracked the trends in aerosol concentration over time and across the selected regions. Additionally, we calculated the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Bare Soil Index (BSI) from MOD13Q1 images for the same period to assess their average changes. The analysis revealed a downward trend in AOD during January and an upward trend in July. The AAI indicated that January 2021 recorded the lowest aerosol levels, while July and September 2021 experienced the highest concentrations. Classifying aerosol concentrations into three categories highlighted that regions with high aerosol levels, as indicated by MODIS data, were consistently found in Khuzestan and Ilam provinces, while Sentinel data showed sporadic occurrences. Furthermore, the correlation between dust concentration from MODIS imagery and EVI and BSI indices revealed that the highest aerosol concentrations were located in areas with little vegetation and bare soils.

**Keywords:** Western Half of Iran, Dust, Aerosol Optical Depth (AOD), Absorbing Aerosol Index (AAI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Bare Soil Index (BSI).

\*Corresponding Author

Vatanparast Ghaleh Juq, F., Salahi, B., & Zeinali, B. (2024). Monitoring temporal and spatial changes of suspended atmospheric dust in selected provinces located in the western half of Iran using MODIS and Sentinel-5 images.. *Geography and Environmental Planning*, 35 (3), 113 - 128 .

2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gеп.2024.140621.1635

## **Introduction**

Dust has emerged as a significant contributor to air and environmental pollution worldwide. It can reduce horizontal visibility to less than 1,000 meters. With the increasing frequency of dust storms in recent years, monitoring these events has become crucial for identifying their sources. Given that dust can travel long distances from its origin, traditional measurement methods face time and spatial limitations. Therefore, satellite imagery and derived indices, such as Aerosol Optical Depth (AOD) and Absorbing Aerosol Index (AAI), are essential for effectively monitoring dust across extensive areas.

## **Materials & Methods**

This study examined the temporal and spatial changes of dust in the provinces of Ilam, Khuzestan, Kermanshah, Kurdistan, and Lorestan. We utilized AOD from Terra and Aqua satellite images (MODIS sensor) for the years 2012-2021, along with AAI from Sentinel-5 (TROPOMI sensor) for the years 2018-2021. To analyze the trends and severity of dust changes, we employed the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Bare Soil Index (BSI) derived from MOD13Q1 MODIS Terra images. Subsequently, we assessed the annual trends in AOD and AAI, generating spatial distribution maps of these changes. These maps were classified for the study period to facilitate a comprehensive understanding of dust dynamics in the region.

## **Research Findings**

Analysis of the monthly time series for the AOD index revealed that the highest concentration of air pollutants in the studied provinces occurred in July 2012, while January consistently exhibited cleaner air throughout the period. Monthly variations in aerosol concentrations, as indicated by AAI satellite data, showed an upward trend in July and September due to elevated temperatures and reduced cloud cover and precipitation. Conversely, January saw a decrease in aerosol concentrations attributed to increased precipitation and lower temperatures. Yearly assessments of suspended dust concentrations using the AOD index indicated that 2012 and 2020 had the highest levels of aerosols. In Khuzestan and parts of Ilam Province, aerosol concentrations were notably high, identifying these areas as significant sources of dust. In contrast, Kurdistan and Lorestan provinces exhibited lower levels of suspended dust in the atmosphere. Based on the spatial distribution of dust density derived from MODIS and Sentinel-5 images, Khuzestan Province was classified as a high-risk area and served as an active center for dust generation. The spatial distribution of vegetation, as indicated by the EVI, revealed significant changes in vegetation in the northwest region of Khuzestan. In contrast, the southern parts of Khuzestan and the western areas of Ilam Province exhibited minimal vegetation changes alongside the highest dust concentrations during the study period.

## **Discussion of Results & Conclusion**

The classification of aerosol concentrations into three categories revealed that areas with high aerosol levels, as indicated by MODIS images, were consistently found in Khuzestan and Ilam provinces, while Sentinel images showed these concentrations sporadically. The analysis of dust concentration in MODIS images, alongside the EVI and BSI, demonstrated that the highest aerosol concentrations occurred in regions characterized by minimal vegetation and bare soils. The findings of this study provide valuable insights for decision-makers aiming to manage areas with potential dust generation. Without effective management and planning, regions classified as medium-risk could gradually transition into high-risk areas, exacerbating the dust problem. The western regions of Kermanshah and Kurdistan provinces fell into a moderate category regarding vegetation. According to the BSI, most of the studied provinces featured bare soils, with only the western parts of Kermanshah, Kurdistan, and eastern Lorestan, along with central Khuzestan, displaying vegetation, water, and snow.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۵، پیاپی ۹۵، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص ۱۲۸-۱۱۳


وصول: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۷

مقاله پژوهشی

## پایش تغییرات زمانی-مکانی گرد و غبار معلق جو در استان‌های منتخب نیمه غرب ایران با استفاده از تصاویر MODIS و Sentinel-5

فاطمه وطن پرست قلعه‌جوق، دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

f.vatanparast.g72@gmail.com

برومند صلاحی\* ، استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

Salahi@uma.ac.ir

بتول زینالی، استاد آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

zeynali.b@uma.ac.ir

### چکیده

پژوهش حاضر با هدف پایش تغییرات زمانی و مکانی گرد و غبار معلق جو در قسمت‌هایی از نیمه غرب ایران در محیط گوگل ارث انجین با استفاده از کارآمدترین محصولات سنجنده مودیس در بازه زمانی (2012-2021) و تصاویر سنتینل-5 برای دوره (2018-2021) انجام شد. برای این منظور روند تغییرات زمانی و مکانی غلظت هواویز با استفاده از تصاویر شاخص عمق نوری (AOD) و شاخص جذب آتروسول (AI) پایش و سپس شاخص بهینه پوشش گیاهی (EVI) و شاخص خاک لخت (BSI) حاصل از تصاویر MOD13Q1 برای بازه زمانی (2012-2021) محاسبه شد و در نهایت، میانگین تغییرات آنها به دست آمد. تغییرات غلظت گرد و غبار معلق در جو با استفاده از شاخص AOD روند نزولی را در ماه ژانویه و روند صعودی را در ماه جولای نشان می‌دهد؛ درحالی که این غلظت در ژانویه سال 2021 کمترین و در ماه‌های جولای و سپتامبر سال 2021 بیشترین میزان آتروسول را با استفاده از شاخص AI داشته است. گروه‌بندی غلظت آتروسول‌ها در سه طبقه برای پهنه مطالعه‌شده نشان داد که مناطق با غلظت زیاد آتروسول براساس تصاویر مودیس و سنتینل شامل خوزستان و ایلام است که این طبقه‌بندی‌ها در تصاویر مودیس به صورت مداوم است؛ ولی در تصاویر سنتینل به صورت پراکنده است. هم‌پوشانی میزان غلظت گرد و غبار در تصاویر مودیس با شاخص‌های EVI و BSI نشان داد که بیشترین تمرکز آتروسول‌ها در مناطق فاقد پوشش گیاهی و خاک‌های لخت قرار دارد. نتایج این پژوهش به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا با مدیریت اصولی پوشش گیاهی و کاهش خاک بدون پوشش گامی در راستای کاهش آلودگی‌های ناشی از گرد و غبار معلق در جو در این نواحی بردارند.

واژه‌های کلیدی: نیمه غرب ایران، گرد و غبار، شاخص AOD، شاخص AI، شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته، شاخص خاک لخت.

\*نویسنده مسئول

وطن پرست قلعه‌جوق، فاطمه، صلاحی، برومند، زینالی، بتول. (۱۴۰۳). پایش تغییرات زمانی-مکانی گرد و غبار معلق جو در استان‌های منتخب نیمه غرب ایران با استفاده از تصاویر MODIS و Sentinel-5. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۳۵ (۳)، ۱۲۸-۱۱۳.



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



10.22108/gep.2024.140621.1635

## مقدمه

امروزه گرد و غبار یکی از مهم‌ترین مشکلات آلودگی هوا و محیط زیست در جهان به‌خصوص کشورهای در حال توسعه است (تقوی و همکاران، ۱۳۹۲). این رخداد سبب کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌شود و در شدیدترین حالت ممکن میزان غلظت ذرات معلق در هوا ممکن است به بیش از  $600 \text{ mg/m}^3$  برسد (خوشحال دستجردی و همکاران، ۱۳۹۱). باتوجه به افزایش فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در طی سال‌های اخیر بررسی و پایش مداوم آن برای آگاهی و مدیریت مناطق سرچشمه و اثرگذار اهمیت فراوانی دارد (Taghavi et al., 2017). پدیده گرد و غبار به‌علت آنکه مسافت طولانی را از منشأ تولید خود طی می‌کند، محدودیت‌های زمانی و مکانی برای اندازه‌گیری میدانی دارد. به همین جهت، تنها با مشاهده‌های ماهواره‌ای امکان پایش دقیق گرد و غبار فراهم است (Kanniah & Yaso, 2010). شاخص‌های AOD و AAI به‌لحاظ دقت در تشخیص و گستره زمانی و مکانی امکان پایش زمانی و مکانی گرد و غبار را در پهنه وسیع فراهم می‌کنند (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۷).

یکی از روش‌های مؤثر در پایش هواویزها استفاده از شاخص عمق نوری آئروسول (AOD) (Aerosol Optical Depth) سنجنده مودیس (MODIS) است که بر روی ماهواره ترا (Teraa-) در سال 1999 و آکوا (Aqua) در سال 2002 نصب شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸؛ Raygani et al., 2020; Ramanathan & Crutzen, 2003). شاخص AAI یا شاخص جذب هواویز یک شاخص کیفی از ذرات هواویز جاذب فرابنفش نزدیک است که به دود و گرد و غبار حساس است (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۷). سنجنده TROPOMI حاصل از ماهواره سنتینل-۵ از ابزارهای دیگری است که فقط برای پایش و کنترل آلاینده‌های هوا به کار می‌رود. این سنجنده در سال 2017 به فضا پرتاب شده است که به‌صورت روزانه نقشه‌های آلودگی هوا را فراهم می‌کند. تأثیر این سنجنده در شناسایی و پایش هواویزها نیز پذیرفتنی است (شایسته و غریبی، ۱۴۰۱).

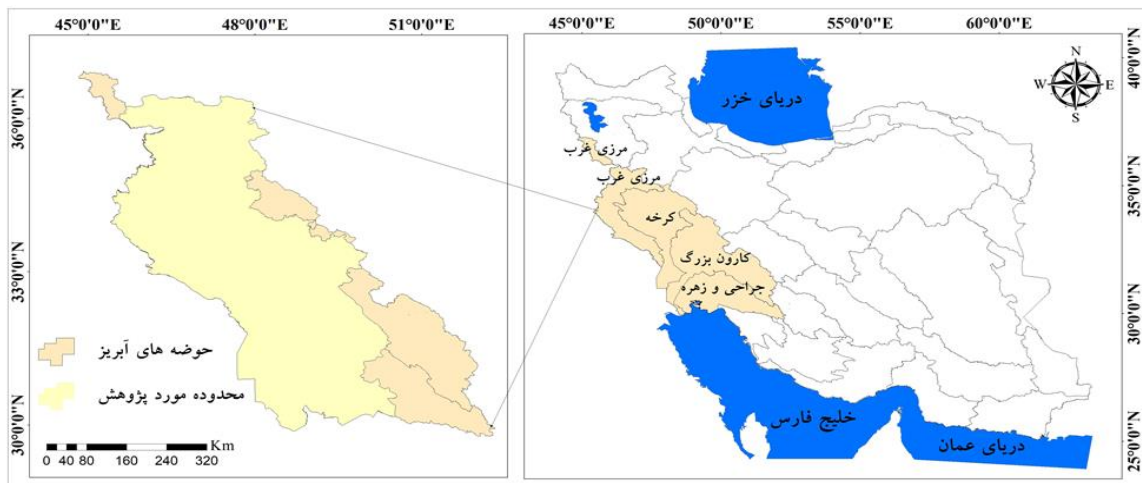
سامانه گوگل ارث انجین (Google Earth Engine) برای بررسی موضوع‌های مختلف در زمینه اقلیم‌شناسی و پژوهش‌های سنجش از دور و مدیریت بلایای طبیعی به کار می‌رود. داده‌های این سامانه برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی عناصر اقلیم‌شناسی و نیز تهیه نقشه‌های سری زمانی در سطح زمین بسیار سودمند است. در سال‌های اخیر به‌سبب فراوانی رخداد طوفان‌های گرد و غبار و فراوانی خسارت‌های ناشی از آن مطالعات گسترده‌ای در سطح جهان و ایران درباره آن صورت گرفته است. دی و همکاران با استفاده از داده ماهواره INSAT و شاخص AOD به مطالعه ردیابی گرد و غبار در سین کیانگ پرداختند (Di et al., 2016). هالوس و همکاران تأثیر گرد و غبار را بر خصوصیات نوری آئروسول در عراق با شاخص‌های AAOD، AOD و AI بررسی کردند (Halos et al., 2017). نتایج نشان داد که هر سه شاخص از یک الگو تبعیت می‌کنند. هی و همکاران تغییرات زمانی و مکانی AOD را با استفاده از سنجنده مودیس برای ۱۴ سال در کشور چین بررسی کردند (He et al., 2019). نتایج نشان داد که میزان AOD در شمال غرب چین در حال افزایش بوده است. لی و همکاران با پایش تغییرات زمانی و مکانی گرد و غبار با شاخص AOD سنجنده مودیس در صحرای تاکلامکان چین در طول سال‌های 2000، 2005، 2010 و 2015 روند افزایشی گرد و غبار را در سال‌های 2010 و 2015 نشان دادند (Li et al., 2021). شاهین و همکاران با استفاده از داده‌های مودیس روند تغییرات AOD را در منطقه خاورمیانه و مدیترانه شرقی بررسی و سپس یک روند صعودی را در طول سال‌های 2000 تا 2010 نشان دادند (Shaheen et al., 2021).

**میری و همکاران (۱۳۹۶)** از شاخص‌های AI و AOD برای بررسی ذرات معلق جو در منطقه شرق خراسان استفاده کردند. نتایج پژوهش روند صعودی این شاخص‌ها را در سال‌های ۲۰۱۴-۱۹۷۸ نشان داد. **کاظمی و همکاران (۱۳۹۹)** با بررسی ارتباط بین بیشینه گرد و غبار با متغیرهای اقلیمی از طریق شاخص AOD سنجنده مودیس در استان هرمزگان طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ نشان دادند که متغیرهای پوشش گیاهی، رطوبت خاک و میزان بارش بیشترین تأثیر را بر میزان گرد و غبار داشته است. **میراکبری و ابراهیمی (۱۳۹۹)** با پایش تغییرات زمانی و مکانی AOD در جنوب شرق ایران طی دوره آماری ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۷ با استفاده از آزمون روند من-کنندال به وجود ارتباط قوی و معنادار بین شاخص AOD و غلظت ذرات معلق (PM<sub>10</sub>) در سطح اطمینان ۹۵ درصد آماری پی بردند. **جعفری و علیدادی (۱۴۰۰)** به پهنه‌بندی گرد و خاک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس و شاخص‌های AOD و AI در جنوب غربی ایران پرداختند. نتایج کفایت این شاخص‌ها را در پایش طوفان‌های گرد و خاک تأیید کرد. **غریبی و شایسته (۱۴۰۰)** با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ به شناسایی کانون‌های آلاینده هوا در ایران در بازه زمانی سال ۲۰۱۹ پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که آلاینده‌های جوی در پاییز روند افزایشی و در بهار روند کاهشی دارد. **منصور مقدم و همکاران (۱۴۰۱)** با پایش زمانی و مکانی گرد و غبار معلق جو در استان قزوین در طول دوره آماری (۱۳۹۹-۱۳۹۴) و پیش‌بینی روند آن تا سال ۱۴۰۹ افزایش گرد و غبار و افزایش طبقه پرخطر را برای این استان پیش‌بینی کردند. **شایسته و غریبی (۱۴۰۱)** با شناسایی کانون‌های بالفعل گرد و غبار با استفاده از تصاویر مودیس و سنتینل-۵ نشان دادند که تصاویر سنتینل-۵ در پایش کانون‌های گرد و غبار به‌صورت پیوسته و مفید است. پژوهشگران دیگری در مناطق مختلفی چون استرالیا (**Li et al., 2010**)، عربستان سعودی (**Butt & Mashat, 2018**)، ایلام (**Zandi et al, 2023**) جنوب و جنوب غرب ایران (**امیری و همکاران، ۱۳۹۹**) و شهرستان زابل (**حسین آبادی و همکاران، ۱۳۹۹**) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس به پایش گرد و غبار پرداخته‌اند.

نیمه غرب ایران به‌علت موقعیت جغرافیایی و قرارگرفتن در نزدیکی بیابان‌های مجاور غربی و کانون‌های مهم گرد و غبار، وجود نواحی بیابانی و آماده فرسایش، کاهش پوشش گیاهی و تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی همه‌ساله بیشترین فراوانی وقوع طوفان گرد و غبار را دارد. رخداد پدیده گرد و غبار در این گستره در طولانی‌مدت مشکلات فراوانی را برای ساکنان آن ایجاد می‌کند. نتایج بیشتر مطالعات نشان می‌دهد که سنجنده مودیس توانایی لازم را در پایش مقادیرهای ریزگردها دارد؛ اما داده‌های تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ جدیدتر و نتایج دقیق‌تری نسبت به مودیس دارد؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف پایش تغییرات مکانی و زمانی گرد و غبار معلق جو در نیمه غرب ایران و با در نظر گرفتن قابلیت‌ها و توانایی‌های تصاویر مودیس و سنتینل-۵ انجام شده است.

### منطقه پژوهش

در این پژوهش استان‌های واقع در حوضه‌های آبریز غرب و جنوب غرب ایران که شامل ۵ استان ایلام، خوزستان، کرمانشاه، کردستان و لرستان است، بررسی شده است. موقعیت پهنه مطالعه‌شده در **شکل ۱** آورده شده است.



شکل ۱: جایگاه جغرافیایی محدوده مطالعه شده (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 1: Geographical location of the study area

### داده‌ها و روش‌شناسی پژوهش

هدف از پژوهش حاضر پایش تغییرات زمانی و مکانی گرد و غبار با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین است. برای این منظور شاخص‌های AOD و AI بر روی تصاویر ماهواره‌های ترا و آکوا (سنجنده مودیس) در دوره زمانی (2012-2021) و سنتینل-5 (سنجنده Tropomi) برای دوره زمانی 2018-2021 پردازش و سپس محدوده اثرگذار برای پایش گرد و غبار در قالب نقشه‌های فضایی تراکم آئروسول ارزیابی شد. در این مطالعه برای تحلیل روند و شدت تغییرات آئروسول از شاخص پوشش گیاهی بهبودیافته (Enhanced Vegetation Index) (EVI) و شاخص خاک لخت (Bare Soil Index) (BSI) حاصل از تصاویر MOD13Q1 مودیس / ترا با قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه استفاده شد. این شاخص‌ها نقش مؤثرتری در تعیین کانون‌های بالفعل گرد و غبار دارند که مقدار آنها با اعمال عامل مقیاس (Scale Factor)  $0/0001$  بر روی هر تصویر به دست آمد و سپس میانگین سالانه به صورت خروجی محاسبه شد. شاخص EVI ضمن آشکارسازی پذیرفتنی تغییرات زمانی و فضایی پوشش گیاهی منطقه تأثیر خاک و گرد و غبار را روی پوشش گیاهی نیز کاهش می‌دهد (Pettorelli et al., 2005). این شاخص بین  $+1$  و  $-1$  است که هرچه به  $+1$  نزدیک شود، نشان‌دهنده پوشش گیاهی غنی منطقه است. شاخص BSI نیز برای شناسایی مناطق لخت و تغییرات خاک از ترکیب داده‌های باندهای آبی (B)، قرمز (R)، مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR) استفاده می‌کند که بین  $0$  تا  $200$  متغیر است. این شاخص هرچه به صفر نزدیک شود، نشان‌دهنده پوشش گیاهی بیشتر خاک است. این دو شاخص با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ مشخص می‌شود (نرماشیری و همکاران، ۱۴۰۱).

$$EVI = \frac{NIR - R}{NIR + C1 \times R - C2 \times B + L} (1 + L) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$BSI = \frac{(R + SWIR) - (B + NIR)}{(R + SWIR) + (B + NIR)} \times 100 + 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۱) بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک با NIR، در باند قرمز با R و در باند آبی با B بیان می‌شود و L عامل تنظیم خاک است که برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود و دو میزان C1 برابر با ۶ و C2 برابر با ۷/۵ برای آن لحاظ می‌شود (باقری و همکاران، ۱۴۰۰). در جدول (۱) ویژگی‌های محصولات استفاده‌شده در این پژوهش نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات محصولات ترا و آکوا و سنتینل-۵ برای شاخص‌های AOD، AI، EVI و BSI

Table 1: Specifications of Terra, Aqua and Sentinel-5 products for AOD, AI, EVI and BSI indices

شاخص	سنجنده - ماهواره	قدرت تفکیک مکانی	قدرت تفکیک زمانی	مجموعه تصاویر	باند
AOD	مودیس - ترا/ آکوا	۲۵۰m	۸ روزه	MCD19A2_GRANULES	Optical_Depth_055
AI	سنتینل-۵	۱ km	۱ تا ۲ روزه	COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_AER_AI	Absorbing_Aerosol_Index
EVI	مودیس - ترا	۲۵۰m	۱۶ روزه	MOD13Q1	-
BSI	مودیس - ترا	۲۵۰m	۱۶ روزه	MOD13Q1	-

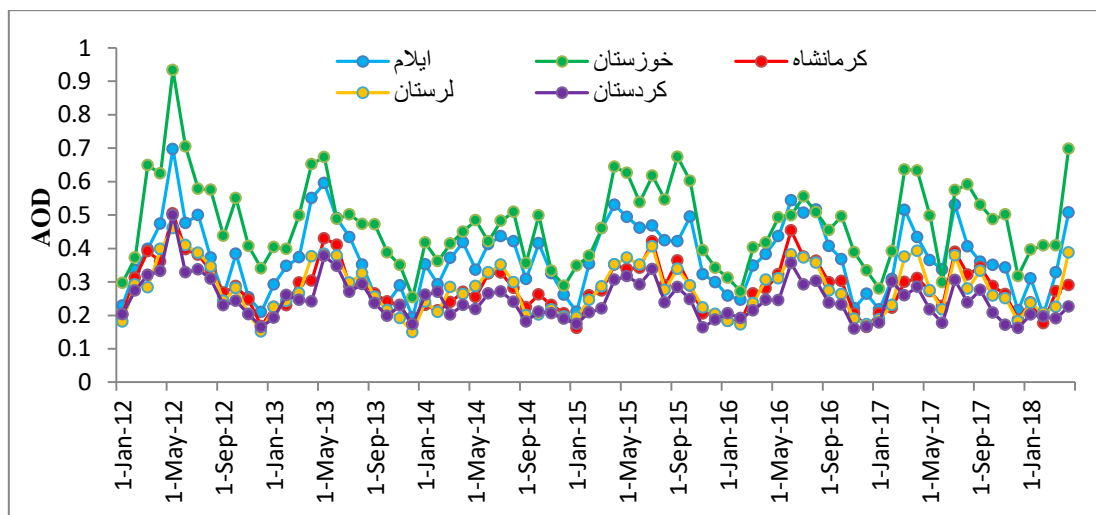
منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

در ادامه پژوهش، روند تغییرات شاخص‌های AOD و AI به تفکیک هر سال مشخص و سپس نقشه پراکنش مکانی برای کل دوره مطالعه شده استخراج شد. همچنین، بیشینه و کمینه مقدار به دست آمده از غلظت هواویز طبقه‌بندی و در نهایت، نقشه‌های آن برای ارزیابی تغییرات گرد و غبار در محیط Arc Map تجزیه و تحلیل شد.

### یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل

نتایج پایش غلظت آئروسول با استفاده از سنجنده مودیس و سنتینل-۵

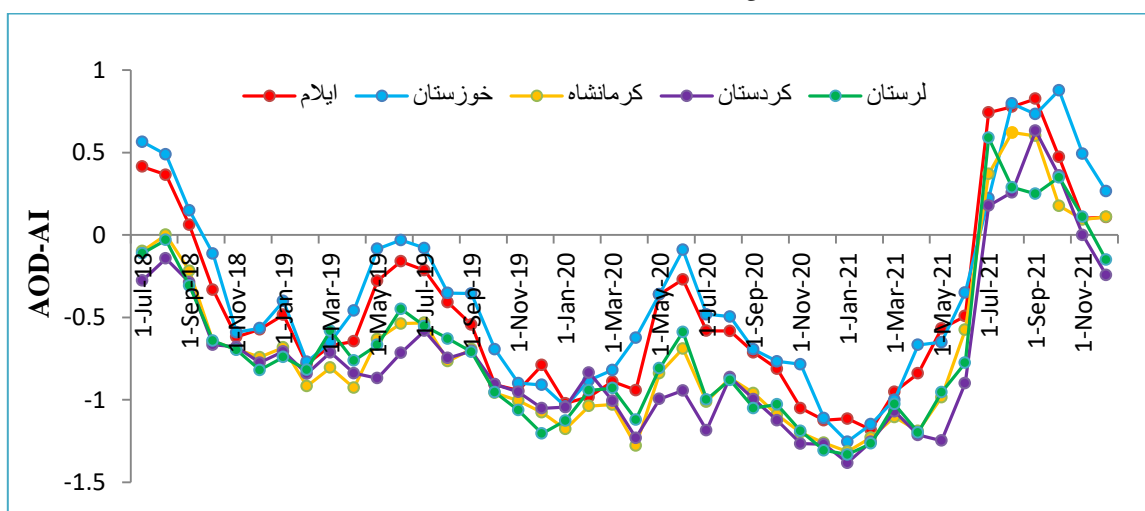
تغییرات سری زمانی ماهانه شاخص AOD در بازه زمانی ۲۰۱۲-۲۰۲۱ با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس در شکل (۲) نشان داده شده است. باتوجه به اینکه مقادارهای بالای ۱ در شاخص AOD نشان‌دهنده غلظت زیاد هواویزهای موجود در جو است و هرچه این مقدار به صفر نزدیک شود هوای صاف را در پی دارد مطابق شکل (۲) می‌توان نتیجه گرفت که کمترین میانگین ماهانه غلظت آئروسول در ایلام مربوط به ژانویه سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ بوده که مقدار آن برابر با ۰/۲ است. در خوزستان نیز کمترین مقدار غلظت برابر با ۰/۲۵ مربوط به ژانویه ۲۰۱۴ است. در کرمانشاه نیز سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ در ماه ژانویه کمترین غلظت آئروسول را با مقدار ۰/۱۶ داشته است. ژانویه سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ با مقدار آئروسول ۰/۱۵ در لرستان و ماه ژانویه ۲۰۱۳ با میزان آئروسول ۰/۱۶ در کردستان کمترین برآورد را در مقدار آئروسول داشته است؛ درحالی که بیشترین مقدار غلظت هواویزهای موجود در اتمسفر در تمامی مساحت بررسی شده مربوط به ماه جولای سال ۲۰۱۲ است که مقدار آن در خوزستان، ایلام، کرمانشاه، کردستان و لرستان به ترتیب ۰/۹۳، ۰/۶۹، ۰/۵۰، ۰/۵۰ و ۰/۴۶ است. به طور کلی، در تمامی پهنه بررسی شده در طول دوره مورد مطالعه ماه ژانویه با هوای پاک و ماه جولای با هوای غبارآلود همراه بوده است.



شکل ۲: روند تغییرات میانگین ماهانه در محدوده مطالعه‌شده طی دوره آماری (2012-2018) با سنجنده مودیس (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 2: Changes in the average monthly AOD in the study area during the statistical period (2012-2018) with the MODIS Sensors

تغییرات ماهانه آئروسول براساس نتایج تصاویر ماهواره‌ای پروداکت AI حاصل از سنتینل-۵ در شکل (۳) نشان داده شده است. مطابق این شکل در ماه‌های گرم سال نظیر می، جولای و سپتامبر که دمای هوا زیاد بوده و از میزان ابرناکی و بارش کاسته شده، تغییرات آئروسول سیر صعودی داشته است؛ درحالی که در ماه‌های سرد سال که دمای هوا پایین و بر میزان بارندگی افزوده شده است (ماه‌های نوامبر، ژانویه و مارس) از میزان غلظت آئروسول در جو هم کاسته می‌شود. به‌صورت کلی در مساحت بررسی‌شده، ماه ژانویه سال 2021 کمترین میزان آئروسول و ماه‌های جولای و سپتامبر سال 2021 بیشترین میزان آئروسول را دارد.

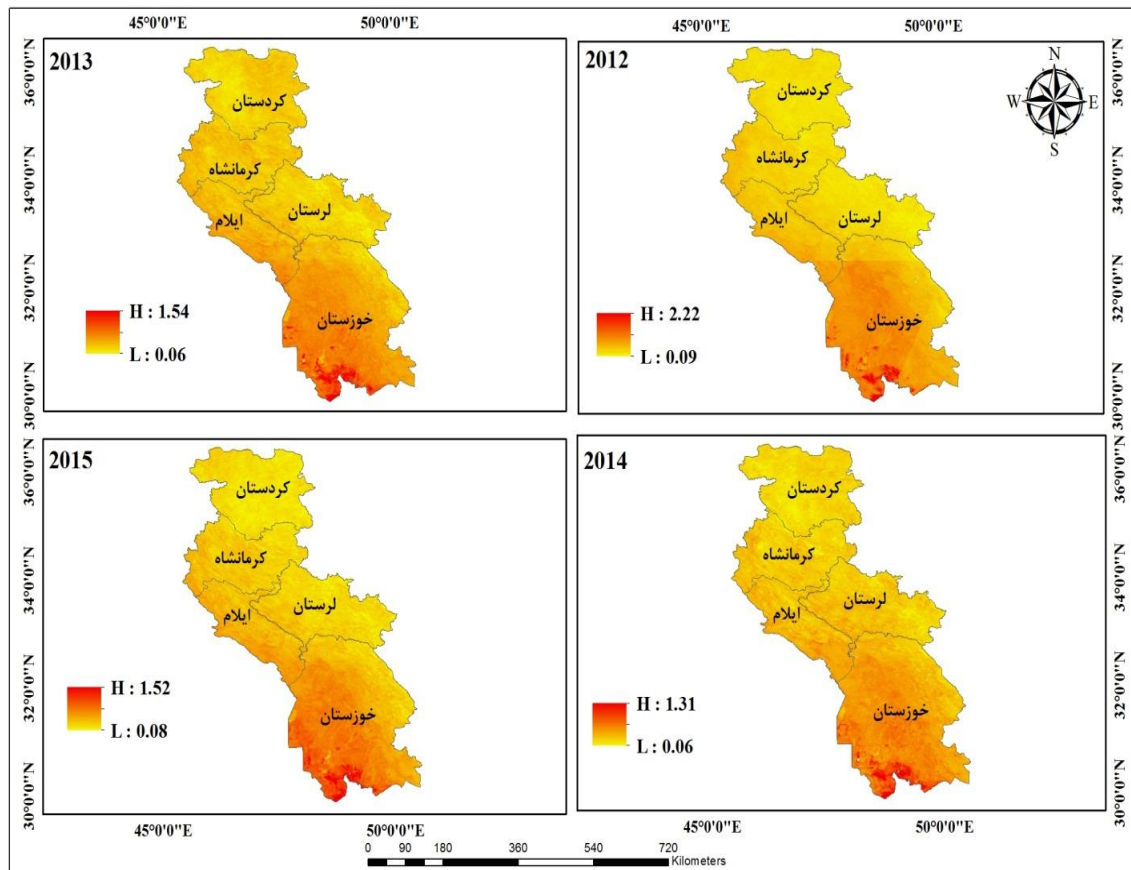


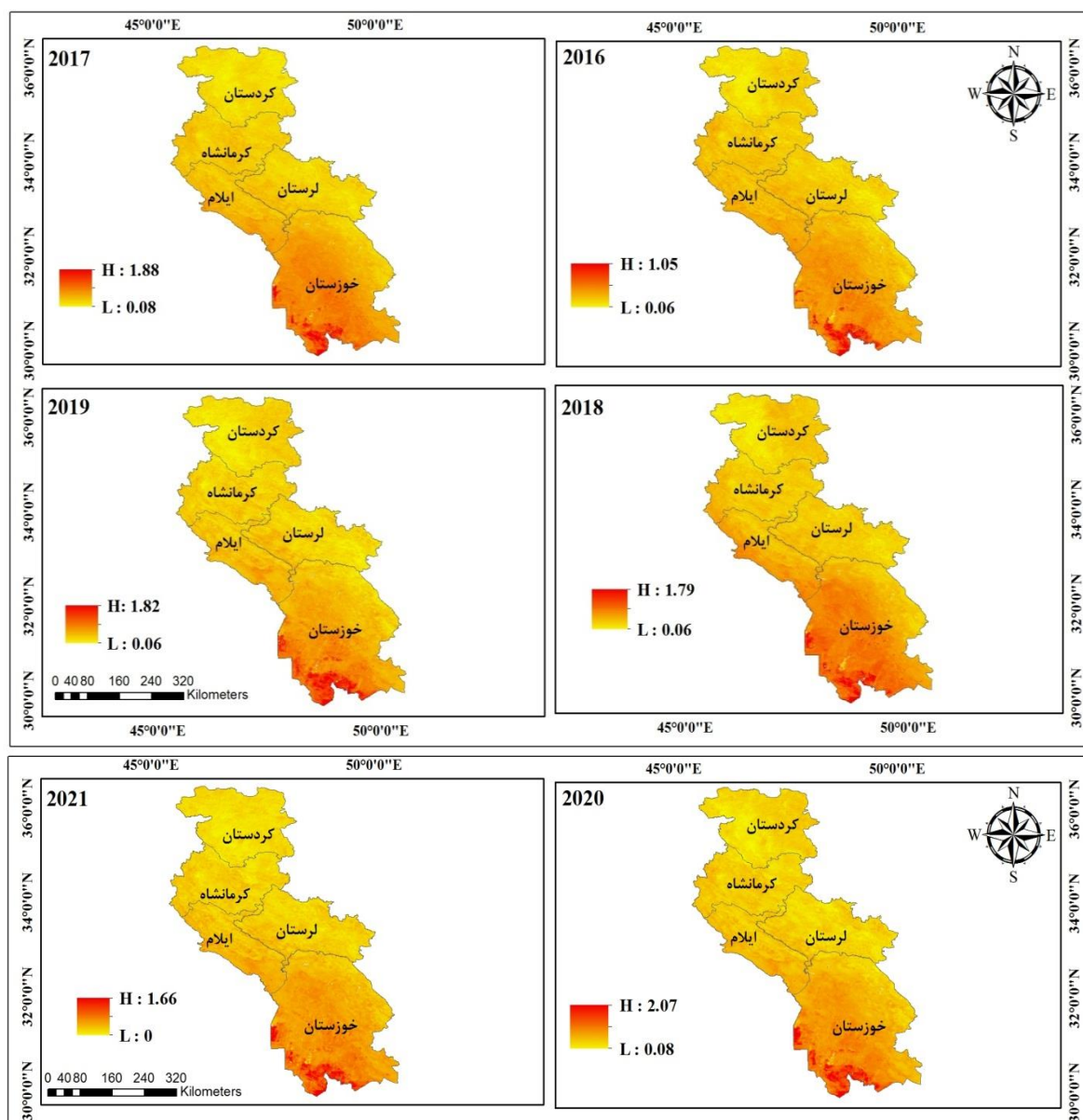
شکل ۳: روند تغییرات میانگین ماهانه آئروسول در محدوده بررسی‌شده طی دوره آماری (2018-2021) با سنجنده سنتینل-۵ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 3: The trend of monthly average aerosol changes in the investigated area during the statistical period (2018-2021) with the Sentinel-5 Satellite

## توزیع مکانی گرد و غبار معلق در جو با استفاده از شاخص AOD

آمار و لایه اطلاعاتی تغییرات غلظت گرد و غبار معلق در جو با استفاده از شاخص AOD برای محدوده بررسی شده به تفکیک از سال 2012 تا 2021 به دست آمد که در شکل (۴) نشان شده است. مطابق با نتایج به دست آمده روند تغییرات غلظت آئروسول در یک طیف به صورت کمترین تا بیشترین بررسی شده است که در آن مناطق با رنگ قرمز بیشترین مقدار غلظت هواویز و مناطق زردرنگ نیز کمترین مقدار غلظت را دارند. همان‌طور که مشخص است سال‌های 2012 و 2020 نسبت به سال‌های دیگر به ترتیب بیشترین مقدار آئروسول را دارند و به نظر می‌رسد تنها در سال 2016 روند آن سیر نزولی پیدا کرده است. در سال 2016 مقدار آئروسول برابر با ۱/۰۵ بوده که این میزان در سال 2020 به مقدار ۲/۰۷ رسیده است. در قسمت جنوب و جنوب غرب محدوده بررسی شده (خوزستان و قسمت‌هایی از ایلام) هواویزها بیشترین غلظت را دارند که این نشان می‌دهد نواحی فوق جزء کانون‌های مهم و محدوده‌های اثرگذار در رخداد گرد و غبار منطقه هستند؛ درحالی که قسمت‌های شمالی و شرق محدوده بررسی شده که دربرگیرنده استان‌های کردستان و لرستان است، غلظت پایین‌تری از گرد و غبار معلق در جو را نشان می‌دهند.

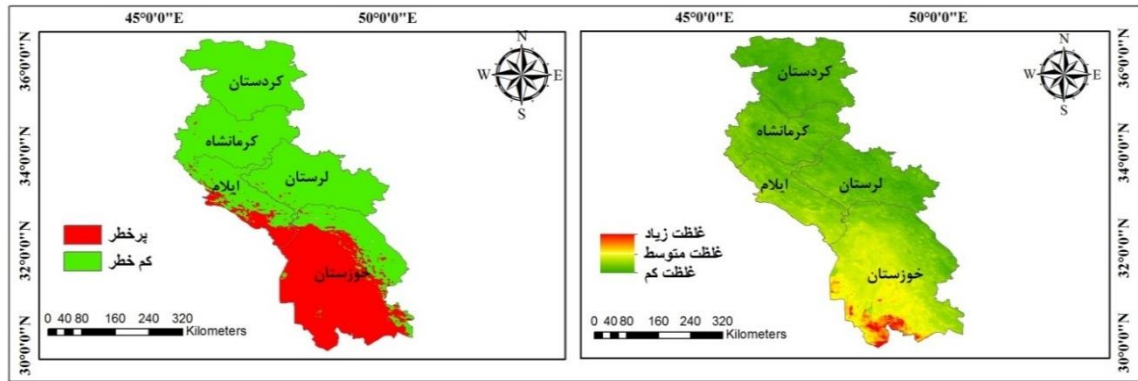




شکل ۴: میانگین غلظت سالانه آئروسول در محدوده بررسی شده از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۱ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 4: Average annual Aerosol Optical Depth in the studied area from 2012 to 2021

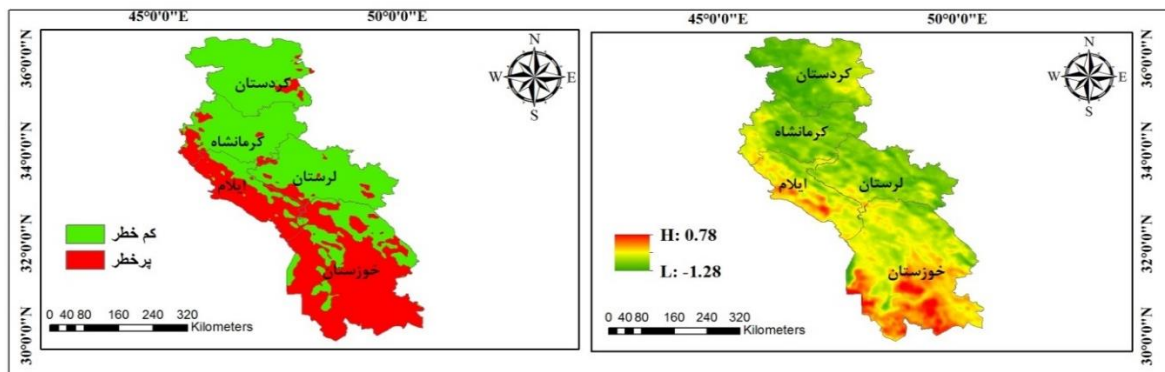
نقشه توزیع فضایی میانگین غلظت هواویز موجود در جو حاصل از تصاویر سنجنده مودیس در بازه زمانی ۲۰۱۲-۲۰۲۱ در شکل (۵) نمایش داده شده است. براساس نتایج به دست آمده از طبقه‌بندی غلظت آئروسول‌ها در سه گروه غلظت زیاد، متوسط و کم قسمت وسیعی از مساحت بررسی شده در نیمه غرب ایران در گروه طبقه کم‌خطر از نظر غلظت گرد و غبار معلق در جو قرار گرفته که با رنگ سبز مشخص شده است و تنها پهنه وسیعی از خوزستان و قسمت‌های جنوب و جنوب غربی ایلام در طبقه پرخطر غلظت گرد و غباری با رنگ قرمز واقع شده است.



شکل ۵: میانگین ماهانه غلظت آئروسول (سمت چپ) و طبقه‌بندی آن (سمت راست) در سال ۲۰۱۲-۲۰۲۱ با استفاده از سنجنده مودیس (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 5: Monthly average Aerosol Optical Depth (left) and its classification (right) in 2012-2021 using MODIS Satellite

نقشه توزیع مکانی تراکم گرد و غبار با استفاده از تصاویر سنتینل-۵ در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۲۱ در شکل ۶ نشان‌دهنده هماهنگی و استمرار کمتر آن نسبت به تصاویر حاصل شده از سنجنده مودیس بوده که مطابق با آن قسمت‌های مرکزی، جنوب و جنوب غرب مساحت بررسی شده در گروه طبقه‌بندی پرخطر قرار گرفته است. قرارگرفتن خوزستان در طبقه پرخطر به‌عنوان پهنه مشترک در هر دو تصویر حاصل شده از مودیس و سنتینل-۵ نشان می‌دهد که این منطقه جزء کانون فعال و مهم گرد و غبار است.



شکل ۶: میانگین ماهانه غلظت آئروسول (سمت چپ) و طبقه‌بندی آن (سمت راست) در سال ۲۰۱۸-۲۰۲۱ با استفاده از سنجنده سنتینل-۵ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

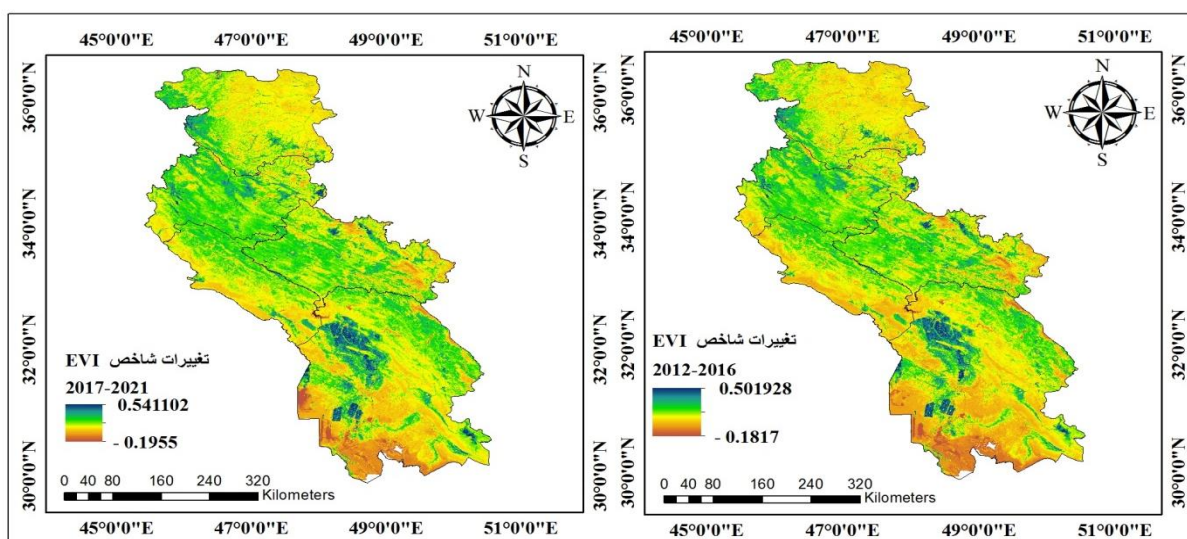
Figure 6: Average monthly aerosol (left) and its classification (right) in 2018-2021 using Sentinel-5

### پایش تغییرات شاخص EVI و BSI

پراکنش مکانی پوشش گیاهی حاصل شده از شاخص EVI برای محدوده بررسی شده در دو بازه زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ (شکل ۷) بیانگر آن است که در بازه زمانی اول میانگین آن در شمال غرب خوزستان با مقدار ۰/۵۰ بیشتر از بقیه استان‌ها بوده و در بازه زمانی دوم مقادیر این شاخص به مقدار ۰/۵۴ رسیده و افزایش پیدا کرده که نشان‌دهنده تغییرات زیاد پوشش گیاهی در این نواحی است. مقادیر این شاخص در قسمت‌های جنوبی

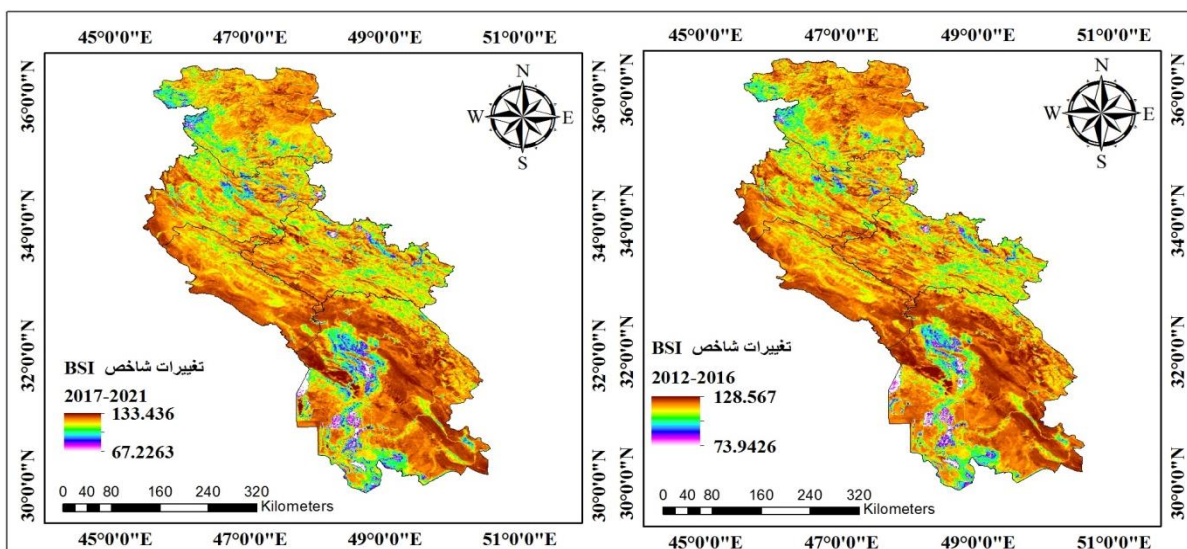
خوزستان و غرب ایلام نشان‌دهنده پوشش گیاهی فقیر در این نواحی است. این مقدار بر جاهایی منطبق است که بیشترین غلظت گرد و غبار را در طول دوره مطالعه شده داشته است؛ درحالی که قسمت‌های غربی کرمانشاه و کردستان از لحاظ پوشش گیاهی در طبقه متوسط قرار گرفته‌اند.

نتایج پراکنش مکانی شاخص BSI در دو بازه زمانی مطالعه شده برای شناسایی خاک لخت از پوشش گیاهی فقیر و خشک براساس آستانه ۲۰۰ در شکل (۸) آمده است. مطابق این شکل پهنه وسیعی از مساحت مطالعه شده نشان‌دهنده خاک‌های برهنه است و تنها قسمت‌های غربی کرمانشاه، کردستان و شرق لرستان به همراه قسمت‌های مرکزی خوزستان پوشش گیاهی، آب و برف را دارند.



شکل ۷: پراکنش مکانی شاخص (EVI) در طول دوره آماری (2012-2016) و (2017-2021) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 7: Spatial distribution of index (EVI) during the statistical period (2012-2016) and (2017-2021)



شکل ۸: پراکنش مکانی شاخص (BSI) در طول دوره آماری (2012-2016) و (2017-2021) (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 8: Spatial distribution of index (BSI) during the statistical period (2012-2016) and (2017-2021)

## نتیجه‌گیری

روند صعودی و نزولی غلظت گرد و غبار معلق استان‌های منتخب نیمه غرب ایران در سال‌های مختلف تحت تأثیر عوامل مختلفی بوده است. مساحت‌هایی که گرد و غبار غلظت زیادی دارد در سال‌های مختلف تکرار شده است که همسو و هماهنگ با پژوهش **شایسته و غریبی (۱۴۰۱)** در استان همدان است. غلظت گرد و غبار معلق در جو حاصل شده از تصاویر مودیس برای مساحت بررسی شده در بازه زمانی مورد مطالعه حاکی از روند نزولی در ماه ژانویه و روند صعودی در ماه جولای است. طبقه‌بندی غلظت هواویزها در سه گروه بالا، متوسط و پایین براساس تصاویر مودیس نشان داد که خوزستان جزء طبقه‌ای با تراکم غلظت زیاد، ایلام در طبقه متوسط از تراکم غلظت گرد و غبار و کردستان، کرمانشاه و ایلام نیز جزء گروهی هستند که در آن غلظت گرد و غبار پایین است. نتایج به دست آمده از سنجنده سنتینل-۵ نیز تا حدودی مشابه و هماهنگ با نتایج تصاویر مودیس است. با این تفاوت که به جزء قسمت‌های شمالی ایلام و خوزستان باقی قسمت‌های این دو استان در طبقه پرخطر قرار گرفته و سایر مناطق در گروه طبقه‌بندی کم خطر واقع شده است؛ بنابراین طبقه‌بندی‌ها در مودیس به صورت مداوم و در سنتینل به صورت پراکنده است که با نتایج پژوهش به دست آمده برای ایران ناهم‌ساز است (**شایسته و غریبی، ۱۴۰۱**). این نتایج بیانگر وضعیت هشداردهنده برای خوزستان و ایلام است که با پژوهش **منصورمقدم و همکاران (۱۴۰۱)** برای استان قزوین هم‌ساز است. از آنجایی که مناطق فاقد پوشش گیاهی و مناطق لخت نقش مؤثرتری در رخداد پدیده گرد و غبار دارند، شناسایی مناطق لخت از دیگر نواحی اهمیت بسیاری دارد. بررسی رفتار دو شاخص AOD و AI در پایش گرد و غبار عملکرد بهتر شاخص AOD حاصل شده از سنجنده مودیس را نشان داد. نتایج شاخص EVI و BSI نشان داد که در مساحت‌هایی از کرمانشاه، کردستان، لرستان وجود پوشش گیاهی و آب کافی در دسترس سبب شده است تا این نواحی کمتر دستخوش تغییر و تخریب قرار گیرند که به تبع آن غلظت گرد و غبار نیز در این نواحی نسبت به سایر پهنه‌ها کمتر است که با نتایج حاصل شده برای حوضه گاوخونی تطابق دارد (**باقری و همکاران، ۱۴۰۰**).

نتایج پژوهش حاضر به تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان برای کنترل مناطقی کمک می‌کند که پتانسیل ایجاد گرد و غبار را دارند؛ بنابراین باید دقت شود که اگر برای مناطقی که در گروه‌بندی متوسط قرار گرفته است، مدیریت برنامه‌ریزی صحیح برای کنترل صورت نگیرد این مناطق نیز رفته‌رفته جزء مناطق پرخطر می‌شوند و مناطق کم‌خطر نیز به شکل مناطق با غلظت گرد و غباری متوسط درمی‌آیند. در نهایت، مدیریت میزان پوشش گیاهی و برنامه‌ریزی اصولی و صحیح در راستای کاهش میزان خاک بدون پوشش به کاهش آلودگی ناشی از گرد و غبار کمک می‌کند.

## منابع

احمدی، محمود، و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۸). توزیع زمانی - مکانی ذرات معلق (pm2.5) با رویکرد محیط زیست در غرب و جنوب ایران بر مبنای سنجنده‌های MODIS، WIFS و MISR. *مجله محیط‌شناسی*، ۴۵(۳)،

ارجمند، مریم، راشکی، علیرضا، و سرگزی، حسین (۱۳۹۷). پایش زمانی و مکانی پدیده گرد و غبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق ایران. *فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی*، ۲۷ (۱۰۶)، ۱۵۳-۱۶۸.

<https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.32339>

امیری، مهدی، سلیمانی، سیف‌اله، و سلطانی تفرشی، فاخته (۱۳۹۹). استخراج گرد و غبار از تصاویر ماهواره‌ای MODIS با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. *سنجش از دور و GIS در ایران*، ۱۲ (۱)، ۳۷-۵۴.

<https://doi.org/10.52547/gisj.12.1.37>

باقری، سمانه، زهتابیان، غلامرضا، خسروی، حسن، و حیدری علمدارلو، اسماعیل (۱۴۰۰). ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی در کاربری‌های مختلف حوضه گاوخونی با استفاده از روش تحلیل بردار تغییر. *مجله مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۱۰ (۳۳)، ۳۹-۵۲.

10.22052/DEEJ.2021.10.33.31

حسین‌آبادی، سعیده، یعقوب‌زاده، مصطفی، و فروزان‌مهر، مهدیه (۱۳۹۹). شناسایی گرد و غبار و تحلیل آن بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس (مطالعه موردی: شهرستان زابل). *مجله کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۸ (۱)، ۱۶۷-۱۸۶.

[https://grd.yazd.ac.ir/article\\_1930.html](https://grd.yazd.ac.ir/article_1930.html)

خوشحال دستجردی، جواد، موسوی، سید حجت، و کاشکی، عبدالرضا (۱۳۹۱). تحلیل هم‌دید طوفان‌های گرد و غبار ایلام (۲۰۰۵-۱۹۸۷). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۳ (۲)، ۱۵-۳۴.

[https://gep.ui.ac.ir/article\\_18542.html](https://gep.ui.ac.ir/article_18542.html)

جعفری، رضا، و علیدادی، سمانه (۱۴۰۰). شناسایی و پهنه‌بندی گرد و خاک بیابانی با استفاده از داده‌های سطح یک مودیس و شاخص‌های AOD و AI در جنوب غربی ایران. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۱۰ (۳۳)، ۵۳-۶۴.

10.22052/DEEJ.2021.10.33.39

تقوی، فرحناز، اولاد، الهه، و صفرراد، طاهر (۱۳۹۲). تشخیص و پایش توفان گرد و غبار غرب ایران با استفاده از روش‌های سنجش از دور. *فیزیک زمین و فضا*، ۳۹ (۳)، ۸۳-۹۶.

<https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35600>

شایسته، کامران، و غریبی، شیوا (۱۴۰۱). کاربرد سامانه گوگل ارث انجین در شناسایی کانون‌های بالفعل گرد و غبار با استفاده از تصاویر مادیس و سنتینل-۵. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۱۱ (۳۴)، ۱-۱۶.

<https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38729.1813>

غریبی، شیوا، و شایسته، کامران (۱۴۰۰). کاربرد تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ در شناسایی کانون‌های آلاینده‌های هوا در ایران. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۸ (۳)، ۱۲۳-۱۳۸.

<http://dx.doi.org/10.52547/jsaeh.8.3.123>

کاظمی، محمد، نفرزادگان، علیرضا، و محمدی، فریبرز (۱۳۹۹). بررسی رابطه بیشینه گرد و غبار و متغیرهای اقلیمی با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: استان هرمزگان). *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۲۷ (۴)، ۷۹۸-۸۱۲.

<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2020.123154>

میراکبری، مریم، و ابراهیمی، زهره (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی ذرات معلق جو با استفاده از شاخص عمق اپتیکی آئروسول‌ها در جنوب شرق ایران. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱۱ (۳)، ۱۰۵-۸۷.

<https://doi.org/10.30495/girs.2020.674954>

میری، پروین، راشکی، علیرضا، و سپهر، عادل (۱۳۹۶). بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های گرد و غبار در شرق خراسان برپایه داده‌های ماهواره‌ای. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۶(۳)، ۱-۲۰.

<https://doi.org/10.22067/geo.v6i3.54464>

منصورمقدم، محمد، نقی‌پور، نگار، روستا، ایمان، و غفاریان، حمیدرضا (۱۴۰۱). پایش و پیش‌بینی زمانی و مکانی گرد و غبار معلق در جو استان قزوین با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین. *مدیریت بیابان*، ۱۰(۱)، ۷۷-۹۸.

<https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.548083.1372>

نرماشیری، فاطمه، قربانی، مهدی، زهتابیان، غلامرضا، آذرینوند، حسین، علم بیگی، امیر، و شولز، رولند ورنر (۱۴۰۱). ارزیابی و تحلیل بیابان‌زایی با استفاده از روش تحلیل بردار تغییر (منطقه مورد مطالعه: شهرستان قلعه‌گنج).

<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.126004> ۶۵-۵۳، ۲۹(۱)، ۲۹-۵۳.

## References

- Ahmadi, M., & Dadashiroudbari, A.A. (2019). Spatio-Temporal distribution of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) with an environmental approach in west and southwest of Iran based on seawifs MISR and MODIS sensors. *Journal Of Environmental*, 45(3), 379-394. <https://doi.org/10.22059/jes.2019.282101.1007867> [In Persian].
- Amiri, M., Soleimani, S., & Soltani Tafreshi, F. (2020). Dust detection using MODIS satellite images using an artificial neural network. *Iranian Journal Of Remote Sensing & GIS*, 12(1), 37-54. <https://doi.org/10.52547/gisj.12.1.37> [In Persian].
- Arjmand, M., Rashki, A., & Sargazi, H. (2018). Monitoring of spatial and temporal variability of desert dust over the Hamoun e jazmurian, southeast of iran based on the satellite data. *Scientific- Research Quarterly Of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 153-168. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.32339> [In Persian].
- Bagheri, S., Zehtabian, G., Khosravi, H., & Heydari Alamdarloo, E. (2022). Investigating the trend of desertification changes in different land uses of gavkhoni basin using change vector analysis method. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(33), 39-52. [10.22052/DEEJ.2021.10.33.31](https://doi.org/10.22052/DEEJ.2021.10.33.31) [In Persian].
- Butt, M. J., & Mashat, A. S. (2018). MODIS satellite data evaluation for sand and dust storm monitoring in Saudi Arabia international. *Journal of Remote Sensing*, 39(1), 1-19. <https://dx.doi.org/10.1080/01431161.2018.1488293>.
- Di, A., She, L., Xue, Y., Yang, X., Leys, J., Guang, J., Mei, L., Wang, J., Hu, Y., He, X., Che, Y., & Fan, C. (2016). Dust aerosol optical depth retrieval and dust storm detection for xinjiang region using Indian national satellite observations. *Journal of Remote Sensing*, 8(9), 702. <https://doi.org/10.3390/rs8090702>
- Gharibi, S., & Shayesteh, K. (2021). Application of Sentinel 5 satellite imagery in identifying air pollutants hotspots in Iran. *Journal Of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 8(3), 123-138. <https://dx.doi.org/10.52547/jsaeh.8.3.123> [In Persian].
- Halos, S. H., Al-Taai, O., & Al-Jiboori, M. (2017). Impact of dust events on aerosol optical properties over Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(263), 263. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3020-2>
- He, Q., Gu, Y., & Zhang, M. (2019). Spatiotemporal patterns of aerosol optical depth throughout China from 2003 to 2016. *Journal of Science of the Total Environment*, 653, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.307>
- Hoseinabadi, S., Yaghoobzadeh, M., & Forozanmehr, M. (2020). Detecting dust and analyzing its effect on Modis satellite photos: A case study of the city of Zabol. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 8(1), 167-86. [https://grd.yazd.ac.ir/article\\_1930.html](https://grd.yazd.ac.ir/article_1930.html) [In Persian].
- Jafari, R., & Alidadi, S. (2021). Desert dust mapping and identification using MODIS Level 1 and AOD- AI indices in south west of Iran. *Desert Ecosystem Engineering*, 10(33), 53-64. [10.22052/DEEJ.2021.10.33.39](https://doi.org/10.22052/DEEJ.2021.10.33.39) [In Persian].

- Kanniah, K. D., & Yaso, N. (2010). Preliminary analysis of the spatial and temporal patterns of aerosols and their impact on climate in Malaysia using MODIS satellite data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, 38(Part 8), 386-391. <https://B2n.ir/h13459>
- 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].
- Khoshhal Dastjerdi, J., Mousavi, S. H., & Kashki, A. (2012). Synoptic analysis of Ilam dust storms (1987-2005). *Geography and Environmental Planning*, 23(2), 15-34. [https://gep.ui.ac.ir/article\\_18542.html](https://gep.ui.ac.ir/article_18542.html) [In Persian].
- Li, J., Ge, X., He, Q., & Abbas, A. (2021). Aerosol optical depth (AOD): Spatial and temporal variations and association with meteorological covariates in Taklimakan desert China. *PeerJ*, 9(1), e10542. <https://doi.org/10.7717/peerj.10542>
- Li, X., Ge, Y., Dong, L., & Chung Chang, H. (2010). Estimating the greatest dust storm in eastern Australia with MODIS satellite images. In *2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 1039-1042. <http://dx.doi.org/10.1109/IGARSS.2010.5649212>
- Mansourmoghaddam, M., Naghipur, N., Rousta, I., & 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. <https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.548083.1372> [In Persian].
- MirAkbari, M., & Ebrahimi, M. Z. (2020). Investigating the trend of temporal and spatial changes of atmospheric suspended particles using the optical depth index of aerosols in southeast Iran. *Journal Of Remote Sensing And Geographic Information System In Natural Resources*, 11(3), 87-105. <https://doi.org/10.30495/girs.2020.674954> [In Persian].
- Miri, P., Rashki, A., & Sepehr, A. (2017). Spatial and temporal variability of aerosol indices over East Khorasan Iran based on satellite observation. *Journal Of Geography And Environmental Hazards*, 6(3), 1-20. <https://doi.org/10.22067/geo.v6i3.54464> [In Persian].
- Narmashiri, F., Ghorbani, M., Zehtabian, G., Azarnivand, H., Alambeigi, A., & Scholz, R. W. (2022). Evaluation and analysis of desertification change using change vector analysis method (Region of study: Ghalehgang county). *Iranian Journal Of Range And Desert Research*, 29(1), 53-65. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2022.126004> [In Persian].
- Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C.J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends In Ecology & Evolution*, 20(9), 503-510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- Ramanathan, V., & Crutzen, P.J. (2003). New directions: Atmospheric brown clouds. *Atmospheric Environment*, 37(28), 4033-4035. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00536](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00536)
- Raygani, 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://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106099>
- Shaheen, A., Wu, R., Lelieveld, J., Yousefi, R., & Aldabash, M. (2021). Winter AOD trend changes over the eastern mediterranean and middle east region. *Climatology*, 41(12), 5516-5535. <https://doi.org/10.1002/joc.7139>
- Shayesteh, K., & Gharibi, S. (2022). Application of GEE in dust actual sources detection using Sentinel- 5 and Modis. *Journal Of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 1-16. <https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38729.1813> [In Persian].
- Taghavi, F., Owlad, E., & Ackerman, S.A. (2017). Enhancement and identification of dust events in the southwest region of Iran using satellite observations. *Journal Of Earth System Science*, 126(2), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12040-017-0808-0>
- Taghavi, F., Owlad, E., Safarrad, T., & Irannejad, P. (2013). Identifying and monitoring dust storm in the western part of Iran using remote sensing techniques. *Journal Of The Earth And Space Physics*, 39(3), 83-96. <https://doi.org/10.22059/jesphys.2013.35600> [In Persian].
- Zandi, R., Nasiri, A., & Salehi, J. (2023). Evaluating the effectiveness of ackerman's algorithm in monitoring dust storms: A Case study of Ilam province, Iran. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(2), 27-36. [10.22052/JDEE.2023.242098.1073](https://doi.org/10.22052/JDEE.2023.242098.1073)