



Study of regional and seasonal changes (spring, summer) of dust phenomena using MODIS satellite images in the western and southwestern half of Iran

Fatemeh Rouhi¹ , Batool Zeinali² , Sayad Ashgari Saraskandrod³ 

1. Ph.D. student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: fatemehruhi72@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. .Email: : zeynali.b@uma.ac.ir
3. Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: s.ashgari@uma.ac.ir

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 9 February 2025

Revised: 19 July 2025

Accepted: 2 August 2025

Published: 15 March 2026

Keywords:

Aerosol optical depth,
Rain,
Modis gauge,
Western half of Iran.

Objective: The dust cycle is an integral part of the earth system, which produces about 2000 tons of dust every year, of which 75% settles on the surface of the earth and 25% on the surface of the oceans. In this research, to study the occurrence of dust in the northwest, west, and southwest regions of the country, hourly dust data including horizontal visibility (vv) and precipitation in the 2000-2020 statistical period were obtained from the National Meteorological Organization. Also, to calculate the aerosol optical depth (AOD), data from the MODIS sensor with a spatial resolution of one kilometer for the years 2000 to 2020 for the two spring and summer seasons with an average of 6 months were prepared and processed on the Google Earth Engine platform.

The results showed that there is a negative correlation between horizontal visibility and aerosol optical depth (AOD), such that horizontal visibility decreases with increasing aerosol optical depth. Also, MODIS sensor studies on precipitation and AOD showed that the dust trend has decreased with a relatively steep slope from the southern station to the northwestern station. And stations located in the northwest of the country recorded lower levels of dust than stations in the west and southwest. However, this trend was not true for western stations. Also, the areas that experienced more rainfall had the lowest AOD, so it can be concluded that the source of dust input is the southern regions, which, with the increase in dust in the deserts and plains of the neighboring country, the amount of dust also increases in the western and southwestern provinces. Strengthening vegetation can be considered as one of the key strategies for controlling and reducing dust in arid and semi-arid areas.

Cite this article: Rouhi, R., Zeinali, B., & Ashgari Saraskandrod, S. (2026). Study of regional and seasonal changes (spring, summer) of dust phenomena using MODIS satellite images in the western and southwestern half of Iran. *Journal of Geography and Planning*, 30(95), 311-327. <http://doi.org/10.22034/gp.2025.65843.3363>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2025.65843.3363>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

One of the most important conditions for the creation of dust in unstable air is its presence or absence, if it normally exists, unstable air is sufficient, and it is a thunderstorm. and if it can cause dust (Alijani,1997) in the Middle East region, the main cause of this phenomenon should be found in the largest sand desert in the world called Rab al-Khali, which is located in the countries of Saudi Arabia, Yemen, Oman and the United Arab Emirates. (Abdinejad,2010, Shahsuni,at all, 2010) according to available statistics and information, when micro storms occur, more than 80 percent of the country's provinces are affected by this phenomenon; So that the number of affected provinces has increased from three provinces in 2013 to 35 provinces in 2015. (Khairullahi, 2014) the main purpose of this research is to detect and identify the sources of dust storms using remote sensing, to investigate the effect of AOD factors and vegetation in the long term on the changes of fine dust in the study area and the Middle East.

Materials and Methods

In this research, in order to study the occurrence of dust in the northwestern, western and southwestern regions of the country, hourly dust data including horizontal visibility (vv) and precipitation data were obtained from the National Meteorological Organization in the statistical period of 2000-2020. Also, to calculate the AOD and from the MODIS sensor with a spatial resolution of one kilometer for the years 2000 to 2020 for the two seasons of spring and summer with an average of 6 months, it was prepared on the Google Earth Engine platform. And processed. In the following, SPSS software was used to check the correlation between AOD data and horizontal visibility. Ground horizontal visibility data was obtained from 31 synoptic stations that are distributed within the study area. Then, from the horizontal visibility data in the spring and summer seasons, which were in the form of three hours, they were converted into the average data of 6 months, and then the Pearson correlation test was performed separately for each of the years, and finally the scatter plot was drawn for each year.

Results and Discussion

The graph and correlation table show the high correlation between AOD data and horizontal visibility data, so that the lowest correlation between horizontal visibility data and AOD is related to the years 2001 and 2002, and the highest correlation is related to the years 2008 and 2009. In general, the negative correlation between the two AOD data and the horizontal visibility data is quite clear. This indicates that with the increase in AOD, the horizontal visibility decreases. This shows a logical relationship for dust phenomena and horizontal visibility. In the following, the dust optical depth (AOD) maps show the amount of dust changes from 2000 to 2021 in the studied provinces and neighboring countries. The highest amount of dust during these years is more in the southern and southwestern parts of the province. It was Khuzestan. And the process of changes in 2008 and 2009 has involved more area of Khuzestan province than other years. But in general, the process of changes has been constant and the amount of dust in the south and southwest of Khuzestan province is still more than other provinces are studied.

Conclusion

The general trend of dust changes is that from the south to the northwest, the trend has decreased with a relatively steep slope. Stations in the northwest of the country have recorded lower dust levels than stations in the south. However, this trend has not been true for western stations. so, according to these analyses and the average dust recorded at the stations, it can be concluded that the source of dust input to the studied provinces is the southern regions, and with the increase in dust in the deserts and plains of the neighboring country, the amount of dust will also increase in the western and southwestern provinces. Comparison of precipitation data shows that the difference between the least and most rainy stations is very large. Considering the precipitation and AOD maps that show that they behave in line with each other, such that stations with lower precipitation had increased AOD, and the opposite is also true, the above findings also emphasize that enhancing vegetation cover can be considered as one of the key strategies for controlling and reducing dust in arid and semi-arid regions. .

Keywords: Aerosol optical depth, Rain, Modis gauge, Western half of Iran.



بررسی تغییرات منطقه‌ای و فصلی (بهار، تابستان) پدیده گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره ایی مودیس در نیمه غربی و جنوب غربی ایران

فاطمه روحی^۱، بتول زینالی^۲، صیاد اصغری سراسکانرود^۳

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: atemehruhi72@gmail.com

۲. نویسنده مسول، استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: zeynali.b@uma.ac.ir

۳. استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

چرخه‌ی گرد و غبار بخش جدایی ناپذیری از سیستم زمین است که هر ساله حدود ۲۰۰۰ تن گرد و غبار تولید می‌کند که از این مقدار ۷۵ درصد در سطح زمین و ۲۵ درصد در سطح اقیانوس‌ها فرو می‌نشیند. در این پژوهش، جهت مطالعه رخداد گرد و غبار در منطقه شمال غرب، غرب و جنوب غرب کشور، داده‌های ساعتی گرد و غبار شامل قدرت دید افقی (۷۷) و بارش در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید، همچنین برای محاسبه عمق اپتیکی آئروسول (AOD)، و یارش از سنجنده مودیس (MODIS) با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر متر برای سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برای دو فصل بهار و تابستان با میانگین ۶ ماه در پلتفرم گوگل ارث انجین تهیه و مورد پردازش قرار گرفت. نتایج نشان داد که میان دید افقی و عمق اپتیکی ریز گرد (AOD) همبستگی منفی وجود دارد، بدین صورت که با افزایش عمق اپتیکی آئروسول، دید افقی کم می‌شود، همچنین مطالعات سنجنده مودیس در مورد بارش و AOD نشان داد که از سمت ایستگاه جنوبی به سمت ایستگاه شمال غربی روند گرد و غبار با شیب نسبتاً زیادی کاهش یافته است؛ و ایستگاه‌هایی که در شمال غرب کشور قرار گرفته‌اند، میزان گرد و غبار کمتری را نسبت به ایستگاه غربی و جنوب غربی ثبت کرده‌اند. اما این روند برای ایستگاه‌های غربی صادق نبوده است. همچنین قسمت‌هایی که میزان بارش بیشتری را تجربه کرده‌اند؛ کمترین میزان AOD را دارا بوده‌اند. پس می‌توان نتیجه گرفت منشأ ورودی گرد و غبارها، مناطق جنوبی می‌باشد که با افزایش گرد و غبار در بیابان‌ها و دشت‌های کشور همسایه میزان گرد و غبار نیز در استان‌های غربی و جنوب غربی افزایش می‌یابد. تقویت پوشش گیاهی می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای کنترل و کاهش گرد غبار در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گیرد.

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۴

کلیدواژه‌ها:

عمق اپتیکی آئروسول،

بارش،

سنجنده مودیس،

نیمه غربی ایران.

استناد: روحی، فاطمه؛ زینالی، بتول و اصغری سراسکانرود، صیاد (۱۴۰۵). بررسی تغییرات منطقه‌ای و فصلی (بهار، تابستان) پدیده گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره ایی مودیس در نیمه غربی و جنوب غربی ایران. *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۳۰ (۹۵)، ۳۱۱-۳۲۷.

<http://doi.org/10.22034/gp.2025.65843.3363>



© نویسنندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

چرخه‌ی گرد و غبار بخش جدایی‌ناپذیری از سیستم زمین است که هرساله حدود ۲۰۰۰ تن گرد و غبار تولید می‌کند که از این مقدار ۷۵ درصد در سطح زمین و ۲۵ درصد در سطح اقیانوس‌ها فرو می‌نشیند (شائو^۱ و همکاران، ۲۰۱۱). از مهم‌ترین شرایط ایجاد گرد و غبار در کنار هوای ناپایدار، وجود یا عدم وجود رطوبت است به طوری که اگر هوای ناپایدار رطوبت کافی داشته باشد، بارش و طوفان رعد و برق؛ و اگر فاقد رطوبت باشد باعث ایجاد گرد و غبار می‌شود (علیجانی، ۱۳۷۶). در منطقه خاورمیانه، عمده‌ترین علت بروز این پدیده را باید در بزرگ‌ترین صحرای ماسه‌ای جهان به نام رب الخالی جست و جو کرد، که در کشورهای عربستان سعودی، یمن، عمان و امارات متحده عربی استقرار یافته است (عبدی نژاد، ۱۳۸۹ و شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹). ایران در معرض توفان‌های گردوغبار در مقیاس محلی و منطقه‌ای قرار دارد از آنجا که نوسان‌های اقلیمی در ایران زیاد می‌باشد، بنابراین رخداد فراوانی توفان‌های گردوغبار نیز در آن تغییرات زیادی دارد، این در حالی است که پدیده گردوغبار پدیده‌ای است فراگیر که محدود کردن آن در مقیاس چند استان نمی‌تواند نشان‌دهنده منتهی‌الیه منطقه نفوذ یا چشمه‌های گردوغبار باشد چراکه بی‌شک توفان‌های گردوغباری که غرب و جنوب غرب ایران را متأثر می‌سازد پدیده‌هایی می‌باشند که گاه دارای مقیاس مکانی در سطح خاورمیانه و بیابان‌های این منطقه هستند (نامداری، ۱۳۹۵). براساس آمار و اطلاعات موجود، هنگام وقوع طوفان ریزگرد بیش از ۸۰ درصد از استان‌های کشور متأثر از این پدیده‌اند؛ به طوری که تعداد استان‌های متأثر، از سه استان در سال ۱۳۸۳ به ۳۵ استان در سال ۱۳۹۰ افزایش یافته است (خیرالهی، ۱۳۹۳). ذرات گرد و غبار اتمسفری در پی ممانعت از رسیدن نور خورشید به زمین ۳۰٪ محصولات کشاورزی را کاهش می‌دهند (پوراحمد و همکاران ۱۴۰۲). با توجه به اهمیت آثار منفی توفان‌های گردوغباری و همچنین روند افزایشی آن‌ها در برخی از کانون‌های داخلی کشور بررسی تغییرات ریزگردها در دو دهه اخیر نه تنها می‌تواند اهمیت پدیده توفان‌های گردوغباری را در سال‌های اخیر نشان دهد، بلکه تشخیص و تحلیل زمانی مکانی ویژگی‌های این ریزگردها به منظور مدیریت این بحران و جلوگیری از اثرات زیان-آور این ریزگردها بسیار مهم می‌باشد (نامداری و همکاران ۱۴۰۰). هدف اصلی این پژوهش، تشخیص و شناسایی منابع طوفان‌های گرد و غباری با استفاده از سنجش‌ازدور، بررسی تأثیر فاکتورهای عمق اپتیکی آئروسول (AOD)، بارش و در بلند مدت بر تغییرات گردوغبار منطقه مورد مطالعه و خاورمیانه است

پیشینه پژوهش

فراوانی رخداد گردوغبار در مناطق خشک و نیمه خشک به مراتب بیشتر بوده و در این بین دریاچه‌های خشک شده بیشترین سهم را در تولید گرد و غبار دارند (گودی^۲ و میدلتون، ۲۰۰۶)، از جمله پیامدهای ریزگردها بروز مشکلات زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی بروز بیماری‌های قلبی ریوی، آسم، بیماری پوستی، مشکلات تنفسی، تشدید بیابان‌زایی و خشک‌سالی، افزایش شوری خاک تصادفات ترافیکی، کاهش منابع آب، از بین رفتن کشاورزی و آب‌های سطحی، آلودگی هوا، افزایش گونه‌های میکروبی، باکتری و ویروس‌ها و قارچ‌ها و ایجاد بارش سنگین می‌شود (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۱). در مورد بررسی طوفان‌های گردوغباری، تاکنون در ایران و سایر نقاط جهان توسط محققان مختلف با استفاده از روش‌های مختلف آماری، سنجش‌ازدوری یا ترکیبی از هر دو پژوهش‌های گسترده‌ای صورت گرفته است که از جمله این تحقیقات، می‌توان به: شمسی پور و صفراد (۱۳۹۱) به تحلیل ماهواره‌ای همیدی پدیده‌ی گرد و غبار پرداختند. صلاحی و همکاران (۱۳۹۴) به واکاوی شرایط همدید-سنجش‌ازدور رخداد توفان گرد و خاک در شمال غرب ایران با استفاده از نرم‌افزار گردس و تصاویر ماهواره مودیس، به پدیده گرد و غبار در منطقه پرداختند که نتایج نشان داد در شرایطی که شیو فشار زیاد بین مرکز پرفشار و کم‌فشار در منطقه شمال غرب کشور وجود دارد با همراهی موج بادهای غربی در سطوح میانی جو و فعالیت رودباد سطوح بالا، جریان هوا از روی کشورهای عراق و سوریه با سرعت زیاد به سمت شمال غرب ایران وزیده و موجبات رخداد توفان گرد و خاک در شمال غرب

1. sho

2. Godi and milion

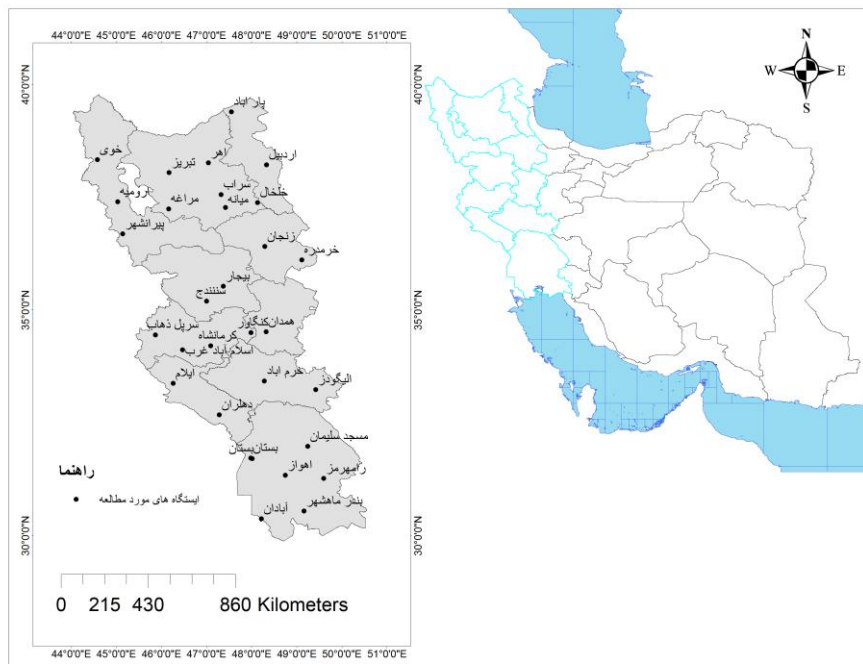
ایران در مهرماه ۱۳۹۲ را فراهم آورده است. کرمانی و همکاران (۱۳۹۵) به تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ریزگردها و طوفان‌های گرد و غباری در ایران به منظور بررسی منشاءهای داخلی و خارجی و روش‌های کنترل آن‌ها را بررسی کردند. درگاهیان و همکاران (۱۳۹۶) به تعیین سهم منابع داخلی و خارجی گرد و غبار در خوزستان پرداختند. زینالی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی گردوغبار و امکان پیش بینی آن در استان اردبیل با استفاده از مدل ANFIS پرداختند و یافته‌های حاصل در این تحقیق، در پایش و پیش‌بینی وضعیت گرد و غبار درصد فراوانی وقوع در سال‌های مشاهده شده بیش‌ترین مقدار حداکثر فراوانی گرد و غبار در ایستگاه اردبیل با مقدار ۷۴ درصد و کم‌ترین آن در مشکین‌شهر ۸ درصد بوده است، در سال‌های پیش‌بینی شده بیش‌ترین مقدار حداکثر فراوانی گرد و غبار در ایستگاه خلخال با مقدار ۶۱/۶۷ درصد و کم‌ترین آن در مشکین‌شهر ۱۰ درصد بوده است. احدی و همکاران (۱۳۹۸) به پایش آماری پدیده گرد غبار در استان خوزستان با رویکرد ساعتی بر محاسبه آماری پارامترهای مربوط به ریزگرد و تجزیه تحلیل آماری داده‌ها به روش برآورد شیب سن و آزمون من-کندال و تهیه نقشه‌های توزیع فضایی پدیده گرد و غبار پرداختند. حسین آبادی و همکاران (۱۳۹۹) به شناسایی گرد و غبار و تحلیل آن بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس شهرستان زابل که در این خصوص از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس استفاده شد و پس از اعمال دو شاخص گرد و غبار راکرمن و TDI روی این تصاویر، مقایسه‌ای بین نتایج آن‌ها با یکدیگر و همچنین با نتایج شاخص پوشش گیاهی NDVI انجام گرفت، یافته‌های تحقیق نشان داد که در هر چهار رویداد مورد بررسی بهتری بوده و این شاخص نتایج بهتر و قابل قبول‌تری را در منطقه ارائه می‌دهند، همچنین مطالعات مشابهی در سطح ایران و دنیا برای طوفان گردوغباری صورت گرفته است. چمن پیرا و همکاران (۱۴۰۰) به تحلیل مکانی زمانی وقوع گرد و غبار با استفاده از درون یابی گرینچک پرداختند. نگهبان و همکاران (۱۴۰۳) به شناسایی کانون‌های گردوغبار و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن بر مبنای داده‌های سنجنش ازدوری در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر گوگل ارث، تصاویر ماهواره MODIS، تصاویر ماهواره CHIRPS همچنین از شاخص‌ها و مدل‌های مختلفی از جمله شاخص AOD و مدل WLC پرداختند بر اساس نتایج حاصله، ضریب همبستگی بین میزان غلظت گردوغبار منطقه با پارامترهای NDVI، سرعت باد، بارش، دما و ارتفاع به ترتیب ۰/۶۳، ۰/۱۵۶، ۰/۵۵۷، ۰/۴۸۹ و ۰/۶۰۲ بوده است. ضریب غلظت گردوغبار در واحدهای تپه‌های ماسه‌ای، دشت، تپه‌ماهور و کوهستان به ترتیب وزن ۰/۷۱، ۰/۶۴، ۰/۴۷ و ۰/۲۳ به دست آمده است. همچنین بر اساس نتایج حاصله، بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه از جمله مناطق شمال غربی شهر اهواز، مناطق شمالی شهر هویزه و مناطق حفاصل شهرهای امیدیه تا اهواز پتانسیل زیادی جهت ایجاد کانون‌های گردوغبار دارد. جهانبخش و همکاران (۱۴۰۳) به توزیع زمانی- مکانی فصلی گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران بر اساس داده‌های سنجنش از دور و داده‌های ایستگاهی ۱۵ ایستگاه سینوپتیک طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۰ شاخص عمق نوری هواویز AOD، سنجنده MODIS ماهواره Terra و شاخص جذب هواویز AAI سنجنده OMI ماهواره Aura طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ استفاده شد، نتایج نشان داد که متوسط روزهای گردوغباری در این منطقه از ایران ۹/۲۴ روز است و بیشینه روزهای گردوغباری با ۴۵/۵۱ روز در فصل تابستان در ایستگاه زابل اتفاق می‌افتد، تغییرات فصلی گردوغبار شرق و جنوب شرق ایران دارای دو فاز حداکثری بهار و تابستانه است. همچنین گردوغبار با ارتفاع و عرض جغرافیایی رابطه معکوس نشان داده است. پارامترهای جوی، خشک شدن رودها و دریاچه‌ها و تغییرات کاربری اراضی سه عامل اساسی در تولید گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران هستند اعتماد فر و کرمی (۱۴۰۴) به شناسایی منشاء گردوغبار در محدوده شهرستان ایلام با استفاده از تنسور مکانی-زمانی عمق اپتیکی آئروسول (AOD) با داده‌های سنجنده مادیس در دوره زمانی ماه‌های مارس تا ژوئن ۲۰۲۲ پرداخته است، نتایج مقایسه تنسور مربوطه با داده‌های هواشناسی متناظر نشان داد که هرگاه عمق اپتیکی آئروسول از ۰/۵ بالاتر باشد، گردوغبار در آن محدوده وجود دارد. تحلیل تنسور مکانی-زمانی گردوغبار نشان داد که میزان گردوغبار با سرعت باد ارتباط مستقیم دارد و هرگاه سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه عبور کند، گردوغبار رخ می‌دهد. در نهایت با شناسایی تغییرات مکانی AOD چهار منبع گردوغبار در محدوده مطالعاتی وجود دارد که بین‌النهرین به‌عنوان یکی از مناطق بالقوه گردوغبار شناسایی شد. ابراهیمی خوسفی^۱ و همکاران (۲۰۲۱)

به تعیین سهم عوامل محیطی در کنترل گرد و غبار و آلودگی هوا در ماه‌های سرد و گرم غرب ایران با استفاده از داده‌های مختلف و قابلیت تفسیر مدل‌های DNN استفاده شد، با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در منابع داخلی و خارجی مطالعات گردوغبار پیداست مونتیرو^۱ و همکاران (۲۰۲۲) به ارزیابی تأثیر چندبخشی یک قسمت گرد و غبار افراطی آفریقا در مدیترانه شرقی در اواخر مارس ۲۰۱۸ یکی از شدیدترین رویدادهای سال‌های اخیر که در اینجا به عنوان رویداد «قرمز Minoan» شناخته می‌شود، مطالعه ما با ارزیابی تأثیرات چندبخشی طوفان‌های شن و گرد و غبار و پیامدهای اجتماعی و اقتصادی آن‌ها به طور خاص پرداختند. در طول روز وقوع حداکثر غلظت گرد و غبار در ۲۲ مارس ۲۰۱۸، روی داده است که اثراتی را بر شرایط هواشناسی، کشاورزی، حمل و نقل، انرژی، جامعه (از جمله تعطیلی مدارس و لغو رویدادهای اجتماعی) و شرایط اضطراری دارد اسماعیل^۲ و همکاران (۲۰۲۴) به شناسایی شایع‌ترین منابع طوفان‌های گرد و غبار در عراق طی سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ را مورد بررسی قرار دادند کانگ^۳ و همکاران (۲۰۲۴) به کمک به دو توفان فوق‌العاده گرد و غبار در شمال چین در مارس ۲۰۲۱ و تأثیر رطوبت خاک بر آن را مورد ارزیابی قرار دادند هونگژی^۴ و همکاران (۲۰۲۵) به مطالعه موردی توفان گردوغبار در چین بین ۹ تا ۱۶ آوریل ۲۰۲۳ در سراسر چین با استفاده از مدل تحقیقات و پیش‌بینی آب و هوا (WRF-Chem) داده‌های باز تحلیل مودیس و برای تجزیه از مدل HYSPLIT استفاده گردید، نتایج نشان داد گردوغبار با یک سیستم کم فشار به سمت شرق از آسیا، همراه با بادهای غربی نقش مهمی در این توفان داشتند. بی بوژ^۵ و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی طوفان گردوغباری در مارس ۲۰۲۱ در شرق آسیا با استفاده از مشاهدات زمینی محصولات سنجش از دور بر منطقه آسیا و اقیانوسیه پرداختند و نتایج نشان داده منبع بالقوه گردوغبار عمدتاً در صحرای گبی مغولستان و مرکز داخلی مغولستان واقع شده است این توفان باعث کاهش کیفیت هوا در ۸۲ درصد از شهرهای شرق آسیا شد. ژانگ^۶ و همکاران (۲۰۲۵) به بررسی طوفان گردوغبار در عربستان در ماه مه ۲۰۲۲ پرداختند، نتایج نشان داد این طوفان باعث ذرات معلق گرد و غبار توسط بادهای تجاری به پایین دست منتقل شده است و از آنجا از طریق فرایندهای تابشی اقیانوس هند را خنک کرده و باعث تقویت مونسون هند شده است، مطالعات انجام شده در رابطه با تأثیر تغییر پارامترهای اقلیمی بر تغییرات توفان‌های گردوغباری، مشخص است علی‌رغم اینکه در چند سال اخیر تحلیل تغییرات زمانی و مکانی ذرات معلق اتمسفر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و همچنین داده‌های میانگین AOD در سطح ماهانه در مطالعات بین‌المللی در برخی از مناطق جهان به ویژه نواحی خشک و نیمه خشک مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است و از مدل‌های مختلفی برای نشان دادن جابجایی گردوغبار در جو استفاده شده است.

معرفی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه: شامل ایستگاه‌های استان‌های واقع در شمال غرب، غرب و جنوب غرب می‌باشد که استان‌های اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، زنجان، همدان، کردستان، ایلام، لرستان و خوزستان می‌باشد که مشخصات هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول و شکل ۱ آمده است.

1. Monteiro et all
2. Ismai et all
3. kang et all
4. Hanqing et all
5. Bo Xue et all
6. Zahng et all



شکل ۱. نقشه پراکنده ایستگاه‌های مورد مطالعه.

جدول ۱. ایستگاه‌های منتخب منطقه مورد مطالعه در طول دوره آماری ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۰

ردیف	نام ایستگاه‌ها	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱	زنجان	۴۸ / ۲۹	۳۶ / ۴۱	۱۶۶۳
۲	اردبیل	۴۷ / ۱۷	۳۸ / ۱۵	۱۳۳۲
۳	اهواز	۴۸ / ۰۴	۳۱ / ۲۲	۲۲/۵
۴	تبریز	۴۶ / ۱۷	۳۸ / ۰۵	۱۳۶۱
۵	همدان فرودگاه	۴۸ / ۳۲	۳۴ / ۵۲	۱۷۴۱/۵
۶	کرمانشاه	۴۷/۰۹	۳۴ / ۲۱	۱۳۱۸/۶
۷	سنندج	۴۷/ ۰۰	۳۵ / ۲۰	۱۳۷۳/۴
۸	ایلام	۴۶ / ۲۶	۳۳ / ۳۸	۱۳۳۷
۹	ارومیه	۴۵ / ۰۳	۳۷ / ۴۰	۱۳۲۸
۱۰	خرم‌آباد	۴۸ / ۲۸	۳۳ / ۴۳	۱۱۴۷

روش پژوهش

در این پژوهش، داده‌های ساعتی گرد و غبار شامل قدرت دید افقی (۷۷) و داده بارش در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۲۰ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. همچنین برای محاسبه عمق اپتیکی آئروسول (AOD) و بارش از سنجنده مودیس (MODIS) با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر متر برای سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برای دو فصل بهار و تابستان با میانگین ۶ ماه در پلتفرم گوگل ارث انجین تهیه و مورد پردازش قرار گرفت؛ بدین صورت که تصاویر به دست آمده به علت حجم زیاد به دوره ۵ ساله تقسیم شد و در این ۵ سال نماینده‌ای از هر کدام روند تغییرات شاخص AOD و بارش برای هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه کشور انتخاب گردیده تهیه و داندود شد که در ادامه با استفاده از نرم افزار SPSS اقدام به بررسی میزان همبستگی میان داده‌های AOD و دید افقی شده است. داده‌های دید افقی زمینی از ۳۱ ایستگاه همدیدی که در محدوده‌ی منطقه مورد مطالعه پراکنش یافته‌اند این ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوانند به طور کامل استان‌های مورد نظر خود را به طور کامل پوشش

دهند به دست آمده‌اند. سپس از داده‌های دید افقی در فصل بهار و تابستان که به صورت سه ساعته بوده‌اند، به داده‌های میانگین ۶ ماهه تبدیل شده‌اند و برای هر کدام از سال‌ها به صورت جداگانه آزمون همبستگی پیرسون انجام شده و در نهایت نمودار Scatter Plot برای هر سال رسم شده است متناسب با نتایج به دست آمده و با توجه به تعداد زیاد جدول همبستگی و نمودار پراکندگی (اسکاتر) و زمان بر بودن تحلیل آن‌ها در بازه زمانی ۲۰ ساله، آن دسته از نمودار و جدول‌هایی انتخاب شد که دارای کمترین و بیشترین میزان همبستگی بودند

عمق اپتیکی آئروسول: AOD^۱ عمق اپتیکی آئروسول یا AOD که از آن با نام AOT نیز ذکر می‌شود، کمیت طیفی و بدون واحد است که میزان شفافیت جو را توصیف می‌کند و با طول موج تغییر می‌کند اما ارزش‌های AOD به صورت تقریبی می‌تواند نشان دهنده شرایط جوی زیر باشد ۰/۲- مناطق قرنطینه بسیار پاک ۰/۸- دورنمای روی اقیانوس‌ها ۰/۲- مناطق نسبتاً پاک ۰/۶- مناطق آلوده ۱/۵- پدیده‌های گرد و غباری سنگین $3/0 <$ شرایطی که موقعیت خورشید مشخص نیست. ارزش AOD نزدیک ۱ نشان دهنده شرایط بسیار کدر و مه آلود است. (ناسا، ۲۰۱۳) نقشه روند تغییرات AOD در طول دوره مطالعه بر اساس کل محدوده مطالعاتی از سامانه گوگل ارث انجین استخراج شد تا نحوه میزان تاثیرپذیری هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه تعیین شود. همچنین برای تشخیص میزان تاثیرپذیری ایستگاه‌های شمال غربی، غربی و جنوب غرب کشور از کشورهای همسایه به تفکیک از بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان و روند تغییرات AOD برای این مناطق نیز رسم گردید.

نتایج

شکل‌ها و جداول ۲ الی ۶ نشان‌دهنده‌ی میزان همبستگی میان داده‌های زمینی دید افقی و AOD می‌باشند. با توجه به ماهیت برداشت داده‌های دید افقی و داده‌های AOD انتظار می‌رود که ارتباط و همبستگی زیادی باهم نداشته باشند؛ اما همبستگی میان این دو نوع داده در بیش‌تر سال‌ها بالا بوده و سطح معناداری میان این دو داده برابر با ۱ درصد و ۵ درصد می‌باشد. جدول و نمودار شماره ۲ همبستگی کلی میان تمام سال‌های مطالعه شده از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد که میزان همبستگی برابر ب-۰/۴۰۲ بوده است. میزان احتمال خطای آزمون (Significance) برابر با ۰ است که نشان از میزان معناداری بسیار بالا همبستگی می‌دهد. همچنین میزان معناداری در این آزمون برابر ۱ درصد است. کمترین میزان همبستگی میان داده‌ی دید افقی و AOD مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ می‌باشد و بیشترین میزان آن مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ می‌باشد. به طور کلی، همبستگی منفی میان دو داده AOD و داده‌ی دید افقی کاملاً مشخص است؛ که نشان‌دهنده‌ی این است با افزایش میزان AOD میزان دیدی افقی کاهش خواهد یافت؛ که این امر نشان از رابطه‌ی منطقی برای پدیده‌های گرد و غبار و میزان دید افقی می‌باشد. الگوی کلی نمودارهای اسکاتر نیز حاکی از همبستگی منفی بین تمامی سال‌های مورد مطالعه هست و این نشان‌دهنده‌ی تأثیر ریزگردها بر کاهش دید افقی است. سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ که میزان ریزگردها در بالاترین میزان خود بوده‌اند و همبستگی قوی داشته‌اند، نقاط داده‌ها به صورت یک خط نزولی و منظم‌تر بوده است؛ و سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ نیز میزان همبستگی کم و نقاط داده‌ها به صورت نامنظم‌تر نشان داده شده‌اند. به صورت کلی می‌توان گفت در سال‌هایی که میزان AOD بیشتر بوده همبستگی و نقاط داده‌ها منظم‌تر و نزولی بوده است.

1. Aerosol optical depth

جدول ۳. همبستگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۰۱

Correlations			
		AOD	VV
AOD	Pearson Correlation	1	-0.304
	Sig. (2-tailed)		0.091
	N	32	32
VV	Pearson Correlation	-0.304	1
	Sig. (2-tailed)	0.091	
	N	32	32

جدول ۲. همبستگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰

Correlations			
		AOD	VV
AOD	Pearson Correlation	1	-0.402**
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	716	716
VV	Pearson Correlation	-0.402**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	716	716

جدول ۵. همبستگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۱۷

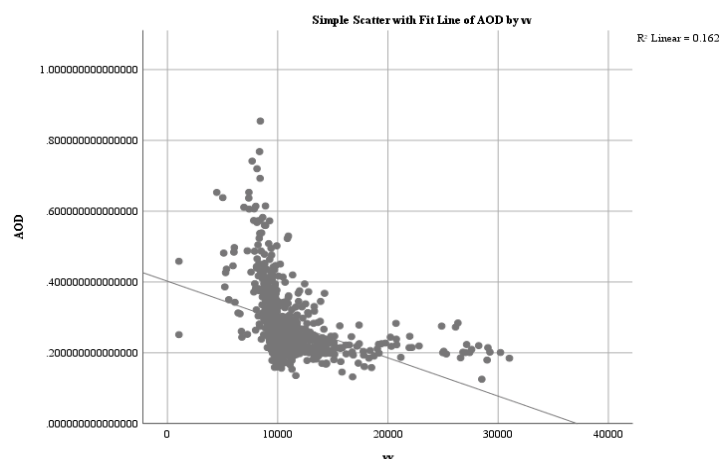
Correlations			
		AOD	VV
AOD	Pearson Correlation	1	-0.574**
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	34	34
VV	Pearson Correlation	-0.574**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	34	34

جدول ۴. همبستگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۰۲

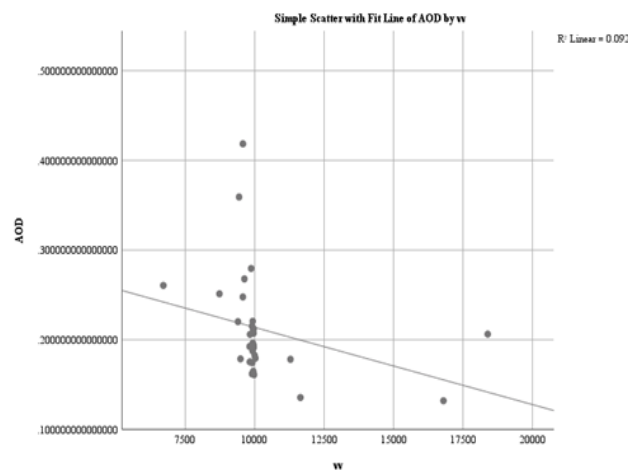
Correlations			
		AOD	VV
AOD	Pearson Correlation	1	-0.285
	Sig. (2-tailed)		0.113
	N	32	32
VV	Pearson Correlation	-0.285	1
	Sig. (2-tailed)	0.113	
	N	32	32

جدول ۶. همبستگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۱۸

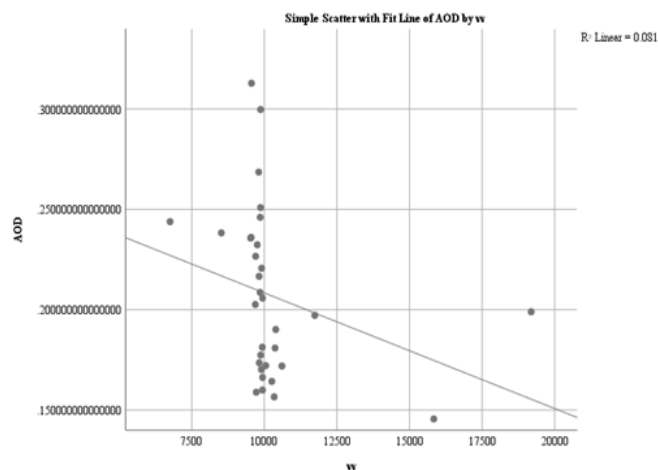
Correlations			
		AOD	VV
AOD	Pearson Correlation	1	-0.668**
	Sig. (2-tailed)		0.000
	N	32	32
VV	Pearson Correlation	-0.668**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	
	N	32	32



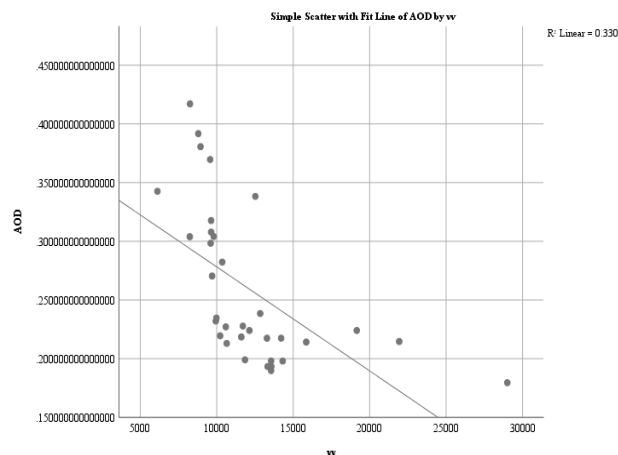
شکل ۲. نمودار پراکندگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰



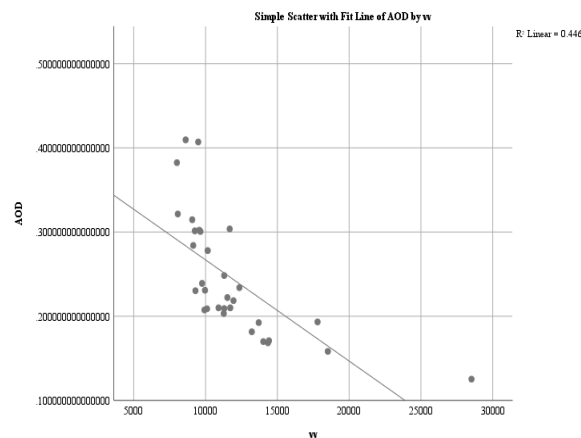
شکل ۳. نمودار پراکندگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۰۱



شکل ۴. نمودار پراکندگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۰۲



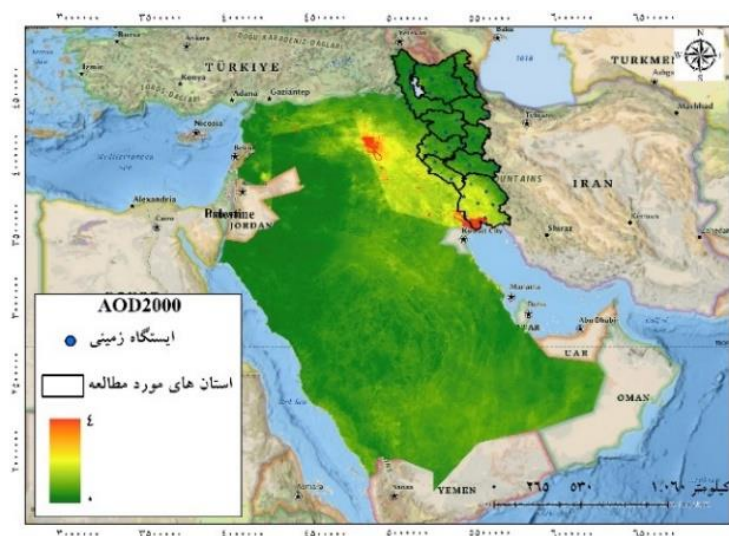
شکل ۵. نمودار پراکندگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۱۷



شکل ۶. نمودار پراکندگی بین AOD و دید افقی سال ۲۰۱۸

شکل‌های ۷ تا ۱۱ میزان عمق اپتیکی آئروسول از سال ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ در استان‌های مورد مطالعه و کشورهای همسایه را نمایش داده است؛ که بیشترین میزان آئروسول طی این چند سال بیش‌تر در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی استان خوزستان بوده است که علت آن وجود منبع داخلی در قسمت جنوبی و جنوب غربی استان خوزستان می‌باشد که با منبع خارجی همراه شده و باعث ایجاد گردوغبار می‌شود طی مطالعاتی که دانیالی برای پایش تغییرات مکانی زمانی گردوغبار استان خوزستان به کمک تکنیک‌های سنجش از دور داشت دریافت پایش مکانی گردوغبار استان خوزستان به طور کلی حکایت از بالا بودن متوسط شاخص‌های گردوغباری مناطق جنوبی و غربی استان بوده‌اند در حالی که مناطق شمال و شمال شرقی به دلیل توپوگرافی کوهستانی، تراز ارتفاعی بالاتر و همچنین فقدان کانون‌های داخلی، از معضل ریزگردها مخصوصاً در فصل تابستان تا حد زیادی در امان هستند. مشابهت روند تغییرات شاخص گردوغباری در نقاط مختلف استان خوزستان در طول بازه زمانی تحقیق تا حدی زیادی گواه خارجی بودند منشأ عمده طوفان‌های گردوغباری این استان می‌باشد. در ادامه نتایج به صورت کلی روند تغییرات ثابت بوده است و میزان آن در جنوب و جنوب غربی استان خوزستان همچنان بیش‌تر از سایر استان‌های مورد مطالعه می‌باشد. همان‌طور که قابل مشاهده هست، میزان تغییرات آئروسول در کشورهای همسایه نیز تقریباً شبیه به تغییرات آن در استان‌های مورد مطالعه داخلی است، با توجه به شکل‌های مذکور می‌توان گفت که با افزایش گرد و غبار در بیابان‌ها و دشت‌های کشور همسایه میزان گرد و غبار نیز در استان‌های غربی، جنوب غربی و شمال غرب افزایشی خواهد بود، همچنین الگوی گرد و غبار در طول سال‌های مطالعه شده در استان‌های مورد مطالعه یکنواخت است. به این صورت که در تمامی سال‌ها بیش‌ترین میزان گرد و غبار مربوط به استان خوزستان بوده است، همچنین طی مطالعات بارونیان (۱۴۰۰) برای آشکارسازی تاثیرگذاری تغییرات کاربری

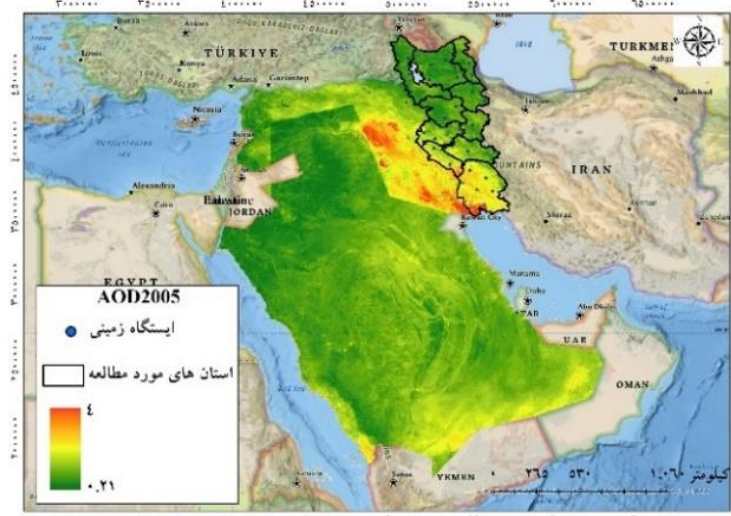
زمین‌های در توزیع فضایی غلظت گردوغبار استان خوزستان با استفاده از محصولات سنجنده MODIS انجام داد، دریافت که الگوی تغییرات کاربری زمین‌ها و ارتباط آن با تغییرات شاخص AOD در سطح استان مشخص شد که روند افزایشی شاخص AOD در سطح استان به طور کلی ناشی از کاهش مساحت مراتع متوسط تا غنی، افزایش مستمر سطح زیرکشت کاربری کشاورزی کشت آبی و نیز عدم کنترل زمین‌های بایر در سطح استان بوده است بنابراین با توجه به این پژوهش هر زمان که میزان گرد و غبار در قسمت شرق کشور عراق افزایش داشته است به همان میزان، میزان گرد و غبار در استان خوزستان و تا حدودی استان ایلام افزایش چشمگیری داشته است، قسمت شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی کشور عراق در تمامی مقیاس زمانی مورد مطالعه یکی از مکان‌های اصلی تولید گرد و غبار شناسایی شده است. استان‌های شمال غربی و ایستگاه‌های موجود در آن‌ها به دلیل دور بودن از منبع گرد و غبار و عدم وجود منبع داخلی در طول دوره مورد مطالعه گرد و غبار قابل توجهی که بتوان به آن اشاره کرد را ثبت نکرده‌اند.



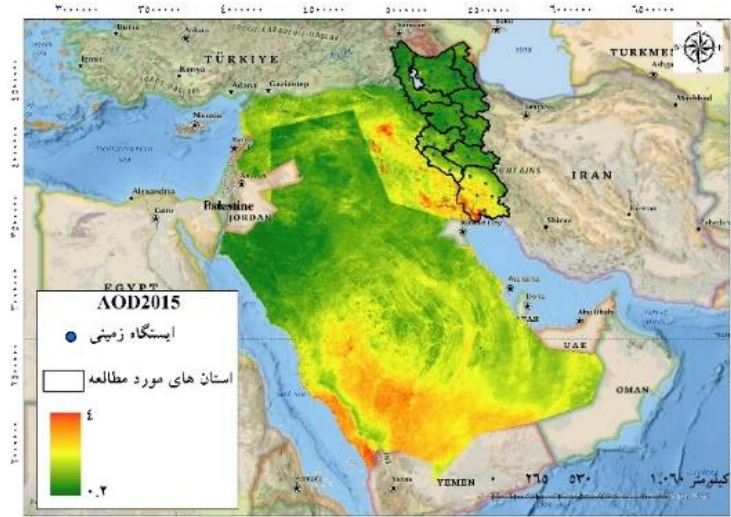
شکل ۷. میزان عمق اپتیکی آئروسول در سال ۲۰۰۰



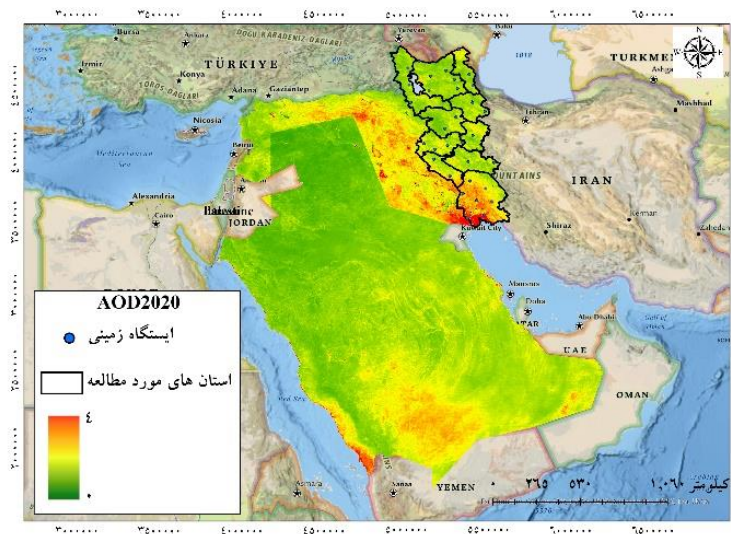
شکل ۸. میزان تغییرات گرد و غبار در سال ۲۰۱۰



شکل ۹. میزان عمق اپتیکی آنروسول در سال ۲۰۰۵

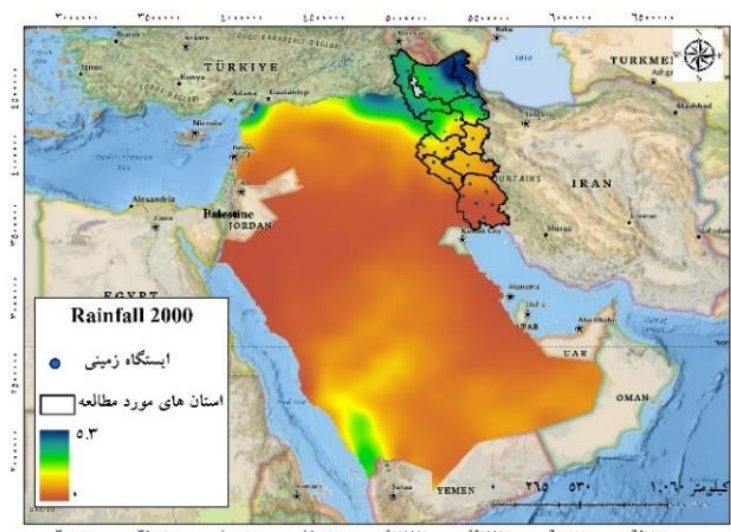


شکل ۱۰. میزان تغییرات گرد و غبار در سال ۲۰۱۵

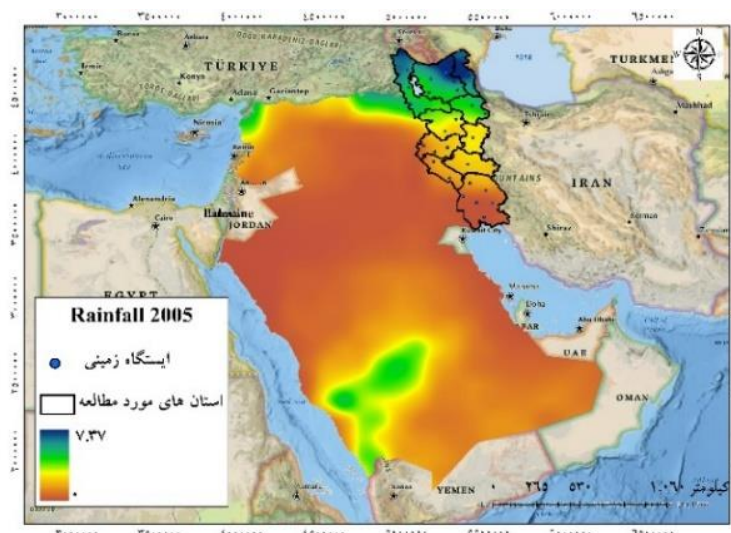


شکل ۱۱. میزان تغییرات گرد و غبار در سال ۲۰۲۰

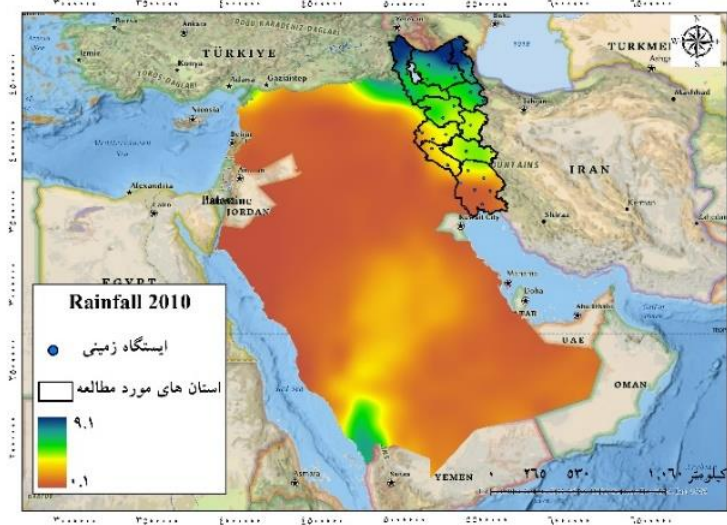
شکل های ۱۲ تا ۱۶ در مطالعه فوق نقشه بارش را نشان می دهد، براساس میلی متر می باشد که بیشترین میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه مربوط به استان‌های شمال غربی همچون اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی بوده است. این مناطق که در شمال غرب ایران قرار دارند، به دلیل قرارگیری در مسیر سامانه‌های بارشی مدیترانه‌ای و مجاورت با کوهستان‌های مرتفع مانند سبلان، بارندگی قابل توجهی دارند. همچنین، تأثیرات دریای خزر و توده‌های هوای مرطوب سبب افزایش میزان بارش در این نواحی شده است، استان خوزستان نیز کمترین میزان بارش را به ثبت رسانده است کمترین میزان بارش ثبت شده مربوط به ایستگاه بندر ماهشهر است، پس از آن، ایستگاه‌های آبادان و اهواز در رتبه‌های بعدی قرار دارند این مناطق عمدتاً در جنوب غرب ایران قرار گرفته‌اند و به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک، بارندگی کمی را تجربه می‌کنند، این الگو و روند در تمامی مقیاس زمانی مورد مطالعه ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰ پایدار است با توجه به نقشه‌ها می‌توان دریافت که در کشورهای همسایه نیز بیشتر بارش‌ها مربوط به قسمت‌های شمالی کشورهای عراق و سوریه می‌باشد.



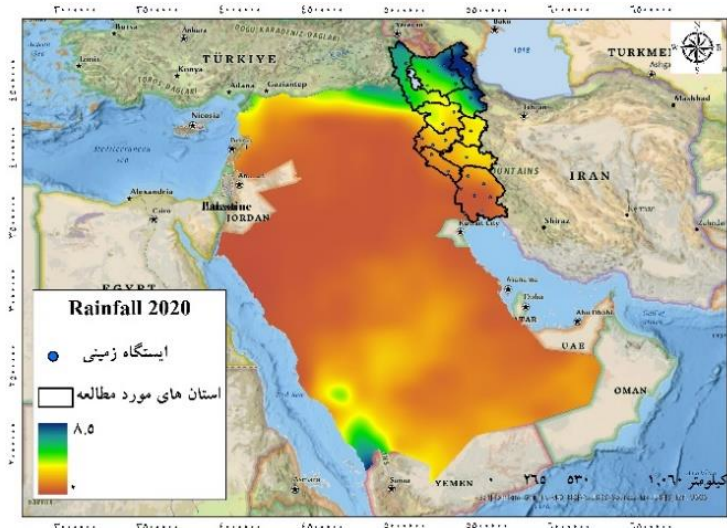
شکل ۱۲. میانگین بارش در سال ۲۰۰۰



شکل ۱۳. میانگین بارش در سال ۲۰۰۵



شکل ۱۴. میانگین بارش در سال ۲۰۱۰



شکل ۱۵. میانگین بارش در سال ۲۰۲۰

بحث و نتیجه‌گیری

روند کلی تغییرات میانگین گرد و غبار در نمودار و نقشه‌های بالا به این صورت است که از سمت ایستگاه جنوبی به سمت ایستگاه شمال غربی روند با شیب نسبتاً زیادی کاهش یافته است؛ و ایستگاه‌هایی که در شمال غرب کشور قرار گرفته‌اند میزان گرد و غبار کمتری را نسبت به ایستگاه جنوبی ثبت کرده‌اند؛ اما این روند برای ایستگاه‌های غربی صادق نبوده است. پس با توجه به این تحلیل‌ها و میانگین گرد و غبار ثبت شده در ایستگاه‌ها می‌توان نتیجه گرفت منشأ ورودی گردوغبارهای استان‌های مطالعه شده، مناطق جنوبی می‌باشد که با افزایش گرد و غبار در بیابان‌ها و دشت‌های کشور همسایه میزان گرد و غبار نیز در استان‌های غربی، جنوب غربی افزایش خواهد بود. مقایسه داده‌های بارشی نشان می‌دهد که اختلاف میان کم بارش‌ترین و پر بارش‌ترین ایستگاه‌ها بسیار زیاد است با توجه به نقشه‌های بارش و AOD که نشان می‌دهند رفتار همسو با یکدیگر دارند بدین صورت که ایستگاه‌هایی که میزان بارش کمتر بود AOD افزایشی بوده برعکس این مسئله نیز صادق هست، همچنین یافته‌های فوق تأکید می‌کنند که تقویت پوشش گیاهی می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای کلیدی برای کنترل و کاهش گرد غبار در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گیرد یکی از هدف این پژوهش این بود منابع گرد و غبار محدوده مورد مطالعه شناسایی شود با توجه به

همسایگی ایستگاه‌های غربی و جنوب غربی با کشور عراق و بیابان‌های این کشور و فاصله کمتر بیابان عربستان تأثیرپذیری این بیابان‌ها به‌ویژه برای استان خوزستان بیشتر آشکار می‌شود.

منابع

- احدی، پریسا؛ خالدی، شهریار و احمدی، محمود (۱۴۰۰). پایش آماری پدیده‌ی گردوغبار در استان خوزستان با رویکرد ساعتی. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۶۰(۲۱)، ۲۷۷-۲۵۹. <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.60.259>
- اعتمادفر، حسین و کرمی، رامین (۱۴۰۴). شناسایی منشأ گردوغبار با استفاده از تنسور مکانی-زمانی عمق اپتیکی آئروسول در محدوده شهرستان ایلام. *نشریه علمی جغرافیا و محیط طبیعی انتشار آنلاین*. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.82988.1383>
- بارونیان، ایرج؛ برنا، رضا؛ ظهوریان منیژه و مرشدی، جعفر (۱۴۰۰). آشکارسازی تأثیرگذاری تغییرات کاربری زمین‌ها در توزیع فضایی غلظت گردوغبار استان خوزستان با استفاده از محصولات سنجنده MODIS. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۱(۳)، ۱۱۴-۹۷. <https://doi.org/10.22126/ges.2021.6935.2452>
- پوراحمد، مهدی؛ کرم‌پور، مصطفی و نصیری، بهروز (۱۴۰۲). تغییرات عمق اپتیکی گردوغبار در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی در زاگرس مرکزی. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۷(۸۵)، ۱۳-۲۵. [HTTPS://DOI.ORG/10.22034/GP.2022.51303.2994](https://doi.org/10.22034/GP.2022.51303.2994)
- صلاحی، برومند؛ عالی جهان، مهدی و مرادی، مسعود (۱۳۹۴). واکاوی شرایط همدید-سنجش‌ازدور رخداد توفان گرد و خاک در شمال غرب ایران (مهر ۱۳۹۲). *جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)*، ۴۲(۱۳)، ۹۳-۷۳. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2012.24737>
- شمسی‌پور، علی‌اکبر و صفرزاده، طاهره (۱۳۹۱). تحلیل ماهواره‌ای همدیدی پدیده‌ی گردوغبار تیرماه ۱۳۸۸. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۷۹، ۱۲۶-۱۱۱. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.17732>
- جهانبخش اصل، سعید؛ رضایی بنفشه، مجید؛ خورشید دوست، علی‌محمد و فرهنگ، هاجر (۱۴۰۳). توزیع زمانی مکانی فصلی گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران بر اساس داده‌های ایستگاهی مسنجش از دوری. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸(۸۷)، ۱۱۹-۱۳۰. <https://doi.org/10.22034/gp.2024.17732>
- چمن پیرا، رضا؛ کریمی سنگچینی، ابراهیم و نوروزی، علی‌اکبر (۱۴۰۰). تحلیل زمانی و مکانی وقوع گردوغبار در استان لرستان. *مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۶(۲۳)، ۷۰-۵۷. <https://doi.org/10.30495/jest.2021.53171.5086>
- حسین آبادی، سعیده؛ یعقوب‌زاده، مصطفی و فروزان مهر، مهدیه (۱۳۹۹). شناسایی گردوغبار و تحلیل آن بر روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس مطالعه موردی: شهرستان زابل. *مجله کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۱(۸)، ۱۶۷-۱۸۶. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2345332.1399.8.1.7.2>
- دانیالی، محمد؛ محمدنژاد، بایرام علی و کریمی، نعمت‌الله (۱۳۹۷). تحلیل مکانی گردوغبار استان خوزستان به کمک تصاویر ماهواره‌ای. *مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۱(۹)، ۷۳-۵۸. <https://dorl.net/dor/http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1397.9.1.4.4>
- درگاهیان، فاطمه؛ لطفی نسب اصل، سکینه؛ خسروشاهی، محمد و گوهردوست، آزاده (۱۳۹۶). تعیین سهم منابع داخلی و خارجی گردوغبار در خوزستان. *طبیعت ایران*، ۲(۵)، ۴۱-۳۶. <https://doi.org/10.22092/irn.2018.117218>
- زینالی، بتول؛ صفریان زنگیر، وحید و جعفرزاده علی آباد، لیلا (۱۳۹۷). بررسی گردوغبار و امکان پیش بینی آن در استان اردبیل با استفاده از مدل ANFIS. *نشریه تحلیل فضای مخاطرات محیطی*، ۲(۵)، ۱۴۲-۱۲۵. <http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.5.2.107>

- علیجانی، بهلول (۱۳۷۶). آب و هوای ایران، تهران: انتشارات پیام نور.
- شاهسونی، عباس؛ یاراحمدی، مریم؛ حقیقی فرد، نعمت‌الله؛ نعیم‌آبادی، ابوالفضل؛ محمدیان، محمدحسن؛ صاکی، محمد؛ صولت، محمدحسن؛ سلیمانی، زهرا و ندافی، کاظم (۱۳۸۹). اثرات توفان‌های گردوغباری بر سلامت و محیط زیست. *مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی*، ۴(۲)، ۴۵-۵۶. <http://dx.doi.org/10.29252/jnkums.2.4.45>
- عبدی‌نژاد، غلام‌عباس (۱۳۸۹). شرحی بر عوامل وقوع آثار زیان‌بار پدیده گردوغبار و چگونگی کنترل آن. *ماهنامه خبری، تحلیلی، پژوهشی سبزینه*، ۵(۴۳)، ۴۲-۵۴.
- کرمانی، مجید؛ طاهریان، الهام و ایزانلو، مریم (۱۳۹۵). تحلیل تصاویر ماهواره‌ای ریزگردها و طوفان‌های گرد و غباری در ایران به منظور بررسی منشاءهای داخلی و خارجی و روش‌های کنترل آن‌ها. *مجله راه‌آورد سلامت*، ۱(۲)، ۵۱-۳۹. <http://rsj.iuums.ac.ir/article-1-39-fa.html>
- نامداری، سودابه (۱۳۹۵). *تحلیل روند زمانی مکانی طوفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران با پردازش تصاویر ماهواره‌ای*، رساله دکتری در رشته آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز
- نامداری؛ سودابه؛ حاجیگلو، علی و ابادری، غلامرضا (۱۴۰۰). تحلیل تغییرات کانون‌های گردوغبار داخلی ایران در بیست سال اخیر. *نشریه علمی جغرافیا برنامه‌ریزی*، ۲۵(۷۸)، ۳۴۵-۳۶۱. <https://doi.org/10.22034/gp.2021.42751.2739>
- نگهبان، سعید؛ گنجائیان، حمید؛ قیصریان، سیدسعد و ابراهیمی، عطریان (۱۴۰۳). شناسایی کانون‌های گردوغبار و تحلیل عوامل مؤثر در وقوع آن بر مبنای داده‌های سنجش ازدوری (مطالعه موردی: جنوب غرب ایران). *نشریه علمی جغرافیا و محیط طبیعی*، ۱۳(۴)، ۳۷۶-۴۰۵. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2024.89088.1504>
- Alijani, B. (1997). *Climate of Iran*, Payam Noor Publishing House, Tehran. [In Persian]
- Ahadi, P; Khalidi, Sh; Ahmadi, M.2021. Statistical monitoring of the dust phenomenon in Khuzestan province hourly. *Applied Research Journal of Geographical Sciences*, (21)60, 259-277. [In Persian] <http://dx.doi.org/10.52547/jgs.21.60.259>
- Abbas, Sh; Yar Ahmadi, M.2010. Effects of dust storms on health and environment, *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, 4(2), 46-56 [In Persian] <http://dx.doi.org/10.29252/jnkums.2.4.45>
- Abdinejad, G. (2010). A description of the causes of the harmful effects of the dust phenomenon and how to control it, *Sabzineh news, analytical, research monthly*, (5)43, 42-54. [In Persian]
- Barounian, Iraj; Borna, Reza; Zohorian, Manijeh; Morshedi, Jafar. (1400). Revealing the impact of land use changes on the spatial distribution of dust concentration in Khuzestan province using MODIS sensor products. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(3), 114-97. [In Persian] <https://doi.org/10.22126/ges.2021.6935.2452>
- Bo Xue, y.; zhang, x, Lie, j.; Li, sh.; Lie, L.; wang, z.; tian, w.; tang, x.; chen, z. (2025). East Asian in march 2021 perspective views from ground observation satellite measurement and numerical simulation, *Atmospheric Environment*, 350, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2025.121152>
- Chaman Pira, R.; Karimi Sengchini, E.; Nowrozi, A. (2021). Temporal and spatial analysis of dust occurrence in Lorestan province, *Journal of Environmental Science and Technology*, 6(23), 57-70. [In Persian] <https://doi.org/10.30495/jest.2021.53171.5086>
- Daniyali, M; Mohammadnejad, B; Karimi, N. (2018). Spatial analysis of dust in Khuzestan province with the help of satellite images, *Journal of remote sensing and geographic information system in natural resources*, (9)1,58-73. [In Persian] <https://dorl.net/dor/http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1397.9.1.4.4>
- Dargahian, F.; Lotfi Nasab Asl, S.; Khosrowshahi, M.; Gohardoost, A., (2017). Determining the share of domestic and foreign sources of dust in Khuzestan, The nature of Iran, (2)5, 36-41. [In Persian] <https://doi.org/10.22092/irm.2018.117218>
- Ebrahimi-Khusfi, Zohre ., Taghizadeh-Mehrjardi, Ruhollah., Roustaei, Fatemeh., Ebrahimi-Khusfi, Mohsen., Mosavi, Amir Hosein., Heung, Brandon ., Soleimani-Sardo, Mojtaba ., Scholten, Thomas, (2021).

- Determining the contribution of environmental factors in controlling dust pollution during cold and warm months of western Iran using different datamining algorithms and game theory. *Ecological Indicators*, 132, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108287>
- Etemadfar, Hossein, Karami, Ramin, (2015). Identifying the origin of dust using the spatiotemporal aerosol optical depth tensor in Ilam city. *Scientific Journal of Geography and Natural Environment*. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geoeh.2023.82988.1383>
- Goudie, A. S. and Middleton, N. J (2006), Desert Dust in the Global System, *Springer*, 1-287
- Hongzi, P.; zhiyuan, H.; feng, T.; huang, Z.; Liu, Q.; feng, G. (2025). *Distribution characteristics and air-quality effects of intercontinental transport dust an unexpected dust storm case study in china*, 350, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2025.121177>
- Hanqing, Kang., Bin, Zhu., Gerritd, e Leeuw., Ronald, J., van de, r A., Wen,Lu., Xiaojing, Shen., Zhaobing, Guo. (2024). *Source contributions to two super dust storms over Northern China in March 2021 and the impact of soil moisture*, 10, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175289>
- Hosseinabadi, Sa.; Yaqubzadeh, M; Forozan Mehr, M. (2020). Identification of dust and its analysis on MODIS satellite images, *case study: Zabul city*, 1(8), 167-186. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.2345332.1399.8.1.7.2>
- Jahanbakhsh Asl, Saeed Rezaei, Banafsheh, Majid, Khorshid Doost, Ali Mohammad, Farhanmad, Hajar. (1403) Seasonal spatial and temporal distribution of dust in the east and southeast of Iran based on station data and remote sensing, *Geography and Planning*, 28(87), 119-130. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/gp.2024.17732>
- Kermani, M; Taherian, E; Izanlou, M. (2016). Analysis of satellite images of fine dust and dust storms in Iran in order to investigate domestic and foreign origins and their control methods, *Rahevard Salamat magazine*. (2)1, 39-51. [In Persian] <http://rsj.iums.ac.ir/article-1-39-fa.html>
- NASA – National Aeronautics and Space Administration, (2013), *MODIS product description*. http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/MOD04_L2/ (last accessed 8 August 2013).
- Namdari, Sudabeh. (2016). Analysis of the temporal and spatial trends of dust storms in the west and southwest of Iran by processing satellite images, PhD thesis in the field of meteorology, *University of Tabriz*. [In Persian]
- Negahban, Saeed, Ganjaian, Hamid, Qaysarian, Seyed Saad, Ebrahimi, Atrian, (2014). Identification of dust centers and analysis of factors affecting their occurrence based on remote sensing data (case study: southwest Iran), *Scientific Journal of Geography and Natural Environment*, 13(4) 376-405. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geoeh.2024.89088.1504>
- Pourahmad, Mehdi, Karampour, Mostafa; Nasiri, Behrouz (2013). Changes in dust optical depth in relation to land use changes in the Central Zagros. *Scientific Journal of Geography and Planning*, 27(85), 13-25. [In Persian] [HTTPS://DOI.ORG/10.22034/GP.2022.51303.2994](https://doi.org/10.22034/GP.2022.51303.2994)
- Rafah R. Ismail, Saadiyah H. Halos, Bushra Q. Al-Abudi, (2025). Detection of the most frequent sources of dust storms in Iraq during 2020–2023 using space tools, *Kuwait Journal of Science*, 1(52), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100328>
- Shamsipour, A.; Safarrad, T. (2012). Colloquial satellite analysis of dust phenomenon in July 2009. *Natural geography research*, 79, 111-126. [In Persian]
- Shao Y, Wyrwoll K-H., Chappell A, Huang, J., Lin, Z., McTainsh, GH., Mikami M., Tanaka, TY., Wang, X., Yoon., S, (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4), 181-204. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.02.001>
- Soudabeh Namdari, Soudabeh. Hajibegloo, Ali, Abazari, Gholamreza, (1400). Analysis of changes in dust centers in Iran in the last twenty years, *Scientific Journal of Geography. Planning*, 25(78). 345-361. [In Persian]
- Salahi, B.; Aali Jahan, Mi; Moradi, M. (2015). Observation of simultaneous conditions - remote sensing of the occurrence of dust storm in the northwest of Iran (October 2012), *Geography (scientific-research and international quarterly of the Iranian Geography Association)* 13) 22.

- Zhang, d; huang, y; dai, j; zhou, b; yin, z; wang, h. (2025). How the unparalleled dust storm over the Arabian peninsula in may 2022 exacerbated the record-breaking heatwave in chine in the ensuing summer, *Atmospheric Research*, 320, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2025.108054>
- Zinali, B.; Safrian Zangir, V; Jafarzadeh Aliabad, L. (2018). Investigation of dust and its prediction location in Ardabil province using ANFIS model, *Journal of environmental risk analysis*, (5)2, 125-142. [In Persian] <http://dx.doi.org/10.29252/jsaeh.5.2.107>