

Analysis of Dust Storms and Their Trajectory Tracking Using MODIS Satellite Imagery and the HYSPLIT Model in the North Baluchistan Region

Zohreh Hashemi ^{1*}, Mansoor Sarani ², Mohammad Khosroshahi ³

1. Researcher, Agricultural and natural resources research and education center of Sistan, Agricultural research, education and extension organization, Iran.
2. Associate Professor of research, Agricultural and natural resources research and education center of Sistan, Agricultural research, education and extension organization, Iran.
3. Professor of research, Research institute of forest and rangelands, Agricultural research, education and extension organization, Iran.

* Corresponding Author: Z_hashemi@areeo.ac.ir

Received date: 27/10/2025

Accepted date: 02/01/2026



[10.22034/jdmal.2026.2075734.1516](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2075734.1516)

Abstract

Dust storms represent a significant atmospheric phenomenon and constitute a major environmental crisis in desert and arid regions. These events generate substantial adverse impacts across environmental, social, and economic dimensions in affected areas. This study investigated dust storms in North Baluchistan by analyzing their spatial distribution, temporal patterns, and transport pathways using MODIS satellite imagery and the HYSPLIT model. Daily dust events occurring between 2013 and 2023 were initially examined through the Giovanni web platform. Subsequently, MODIS Aqua sensor imagery corresponding to identified events was acquired for detailed analysis. The Aerosol Optical Depth (AOD) index was derived from MODIS imagery for each dust event, while dust storm trajectories were reconstructed using both backward and forward trajectory analyses in the HYSPLIT model. The findings revealed that barren lands and sand dunes exhibited the highest AOD values among land use categories. The year 2022 emerged as the most critical period, recording an average AOD index of 0.36. Temporal analysis demonstrated considerable variability in both the frequency of dusty days and mean AOD values throughout the study period. Specifically, both parameters showed an upward trend from 2013 to 2018, followed by a decline through 2020. A subsequent increase occurred until 2022, after which both metrics decreased through 2023. HYSPLIT trajectory analysis identified multiple dust source regions, including international sources in Turkmenistan, Afghanistan, and Pakistan, as well as domestic sources within the provinces of South Khorasan, Kerman, and Hormozgan. These results provide a scientific foundation for developing management strategies and control measures to mitigate dust particle emission in the North Baluchistan region.

Keywords: Origin of Dust, Remote Sensing, Dust event, Spatial-temporal pattern.

How to cite this article

Hashemi, Z. Sarani, M. and Khosrowshahi, M. (2025). Analysis of Dust Storms and Their Trajectory Tracking Using MODIS Satellite Imagery and the HYSPLIT Model in the North Baluchistan Region. *Desert Management*, 13(3), 83-106. DOI: [10.22034/jdmal.2026.2075734.1516](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2075734.1516)



Extended Abstract

Introduction

Arid regions worldwide experience significant impacts from dust storms (19). The northern Baluchistan region is particularly vulnerable to the adverse effects of dust storms driven by monsoon winds. This area is characterized by low precipitation, extreme temperature fluctuations, and high evaporation rates—conditions that make dust storms a critical limiting factor for local inhabitants and result in substantial social, economic, and environmental damage. Research indicates that the Northern Hemisphere's primary dust-generating regions are concentrated along the west coast of North Africa, the Middle East, Central Asia, East Asia, and China (11). A study focusing on the Jazmurian wetland identified several critical dust source areas, including Zabol, the Iran-Pakistan border region, the Makran coasts, and the Jazmurian basin itself (2). Analysis of dust sources in the southern plains and Qihua-huan desert regions from 2001 to 2016 revealed that seasonal lakes constituted the largest dust sources on a per-unit-area basis (14). Previous research has demonstrated that the integrated application of the HYSPLIT model and MODIS imagery provides an effective approach for identifying dust storm sources and tracking dispersion pathways. The present study's innovative contribution lies in the concurrent examination of dust storms through satellite data analysis and HYSPLIT meteorological modeling over the study period. Accordingly, this research aims to conduct a comprehensive spatial-temporal analysis of dust storms and trace their trajectories both preceding and following storm events during the period from 2013 to 2023.

Material and Methods

The study area encompasses 3,535,308 hectares within Sistan and Baluchistan Province (Figures 1 and 2). The methodological framework of this research is illustrated in Figure 3. To analyze dust storm events, daily dust occurrence data for each year within the study period were obtained from the Giovanni web platform. Events exhibiting the highest dust concentrations were subsequently identified, and corresponding MODIS Aqua sensor imagery for the specified dates was acquired. The Aerosol Optical Depth (AOD) index was calculated using MODIS imagery processed in ENVI 5.3 software to enhance visualization and quantify dust concentrations. Image specifications are detailed in Table 1. Based on AOD index values, regions experiencing the highest dust concentrations were delineated. Annual AOD maps were generated for each year spanning the 2013–2023 period. The HYSPLIT model was then employed to investigate dust dispersion patterns across the study area during this timeframe. Trajectory analysis of dust storms was conducted using both backward and forward tracking methods to determine source regions and transport pathways.

Results

Monthly dust storm event data for the study period (2013–2023) were extracted from the Giovanni website and are presented in Figure 4. Seasonal analysis revealed that the highest frequency of dust-laden wind events occurred during spring and summer months. The spatial distribution of the Aerosol Optical Depth (AOD) index, derived from MODIS Aqua sensor products for the period 2013–2023, was computed and is displayed in Figure 5. Throughout this timeframe, the highest AOD values in Iran were predominantly observed in Kerman, Hormozgan, and South Khorasan provinces, as well as the Sistan region. Temporal analysis of dust storm frequency and annual mean AOD index in the study area from 2013 to 2023 revealed distinct trends (Figure 5). The number of dusty days increased from 153 in 2013 (mean AOD = 0.31) to 167 in 2018 (mean AOD = 0.33). Between 2018 and 2020, both parameters exhibited a declining trend, with dust storm occurrence decreasing to 117 days and mean AOD dropping to 0.25. From 2020 to 2022, an upward trajectory was observed, with dust events reaching 177 days and mean AOD peaking at 0.36. Subsequently, from 2022 to 2023, both parameters declined, recording 173 dusty days with a corresponding decrease in mean AOD index. HYSPLIT model trajectory analysis for the 2013–2023 period (Figures 7 and 8) identified multiple dust source regions. Transboundary sources included Turkmenistan, Afghanistan, and Pakistan, while domestic sources were traced to the Iranian provinces of South Khorasan, Kerman, Isfahan, and Hormozgan.

Results and Discussion

Analysis of Figure 5 and Table 2 reveals the spatial distribution of AOD index values across the study area during 2013–2023. The western portion of the study area, characterized by barren land and sand

dunes, exhibited the highest AOD indices. Rangeland areas with poor to moderate vegetation coverage ranked second in terms of dust concentration. These findings align with previous research demonstrating that successive drought events have substantially reduced vegetation cover. The resulting soil exposure and absence of protective vegetation have contributed to elevated AOD values. Notably, the highest dust storm frequencies occurred during the dry season, particularly in May, June, July, and August (2, 15, 16). Temporal analysis of the AOD index revealed considerable variability in dust concentrations throughout the study period, primarily attributable to hydrological drought conditions. Multiple factors have contributed to this phenomenon: the construction of numerous dams on rivers feeding Hamun Jazmurian in the western study area, and the presence of dams on the Hirmand River in Afghanistan that have prevented water flow into the transboundary Hamun wetland and the Sistan region. Consequently, these wetlands have progressively desiccated, transforming into critical dust source areas (2, 10, 18). HYSPLIT model trajectory analysis (Figure 7) demonstrated that dust masses enter the study area via two primary pathways under the influence of the 120-day Sistan winds. Transboundary sources were identified in Afghanistan, Pakistan, and Turkmenistan, while domestic sources included the provinces of South Khorasan, Kerman, and Hormozgan. These results corroborate findings from a study conducted in Yazd Province, which identified the Sistan plain, central Iranian deserts, Turkmenistan, and Afghanistan as the principal dust sources affecting eastern Iran (23). The findings of this study provide a scientific foundation for developing management strategies and control measures to mitigate dust particle emissions in the northern Baluchistan region.

Keywords: Origin of dust, Remote Sensing, Dust event, Spatial-temporal pattern.

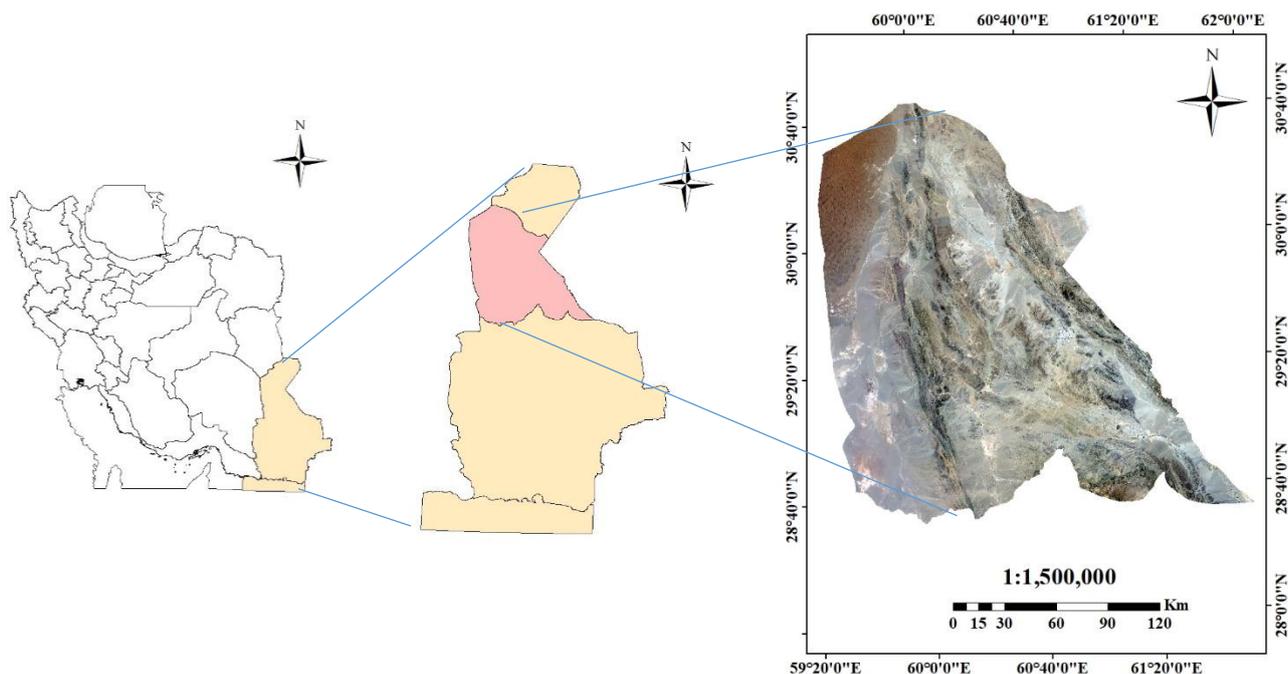


Fig. 1. Location of the study area in Iran and Sistan and Baluchistan Province

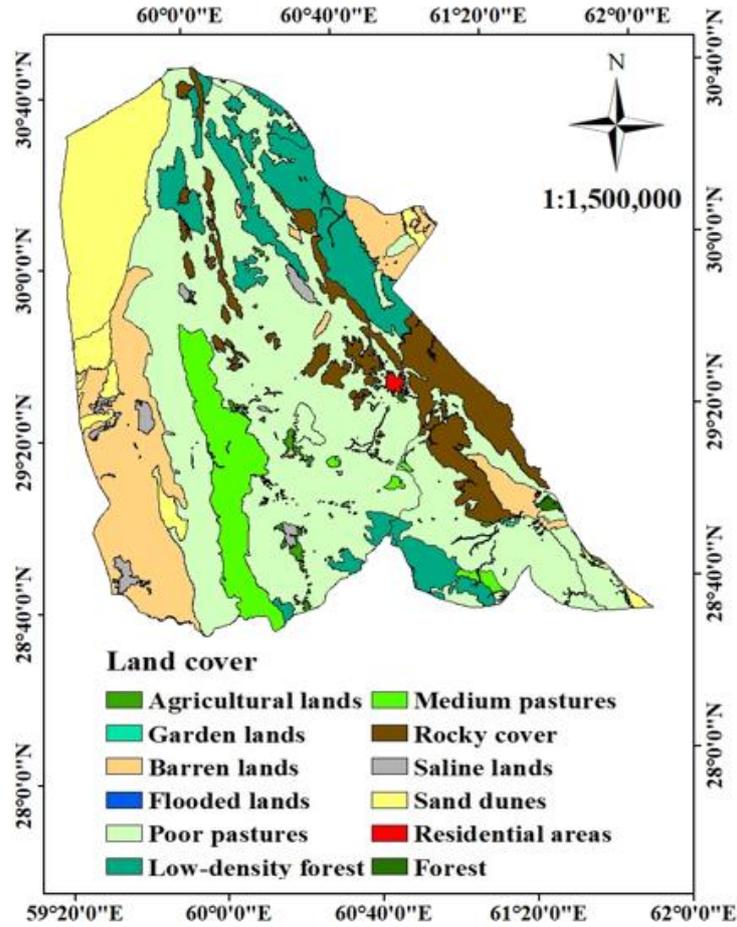


Fig. 2. Land cover map of the study area year 2004 (9)

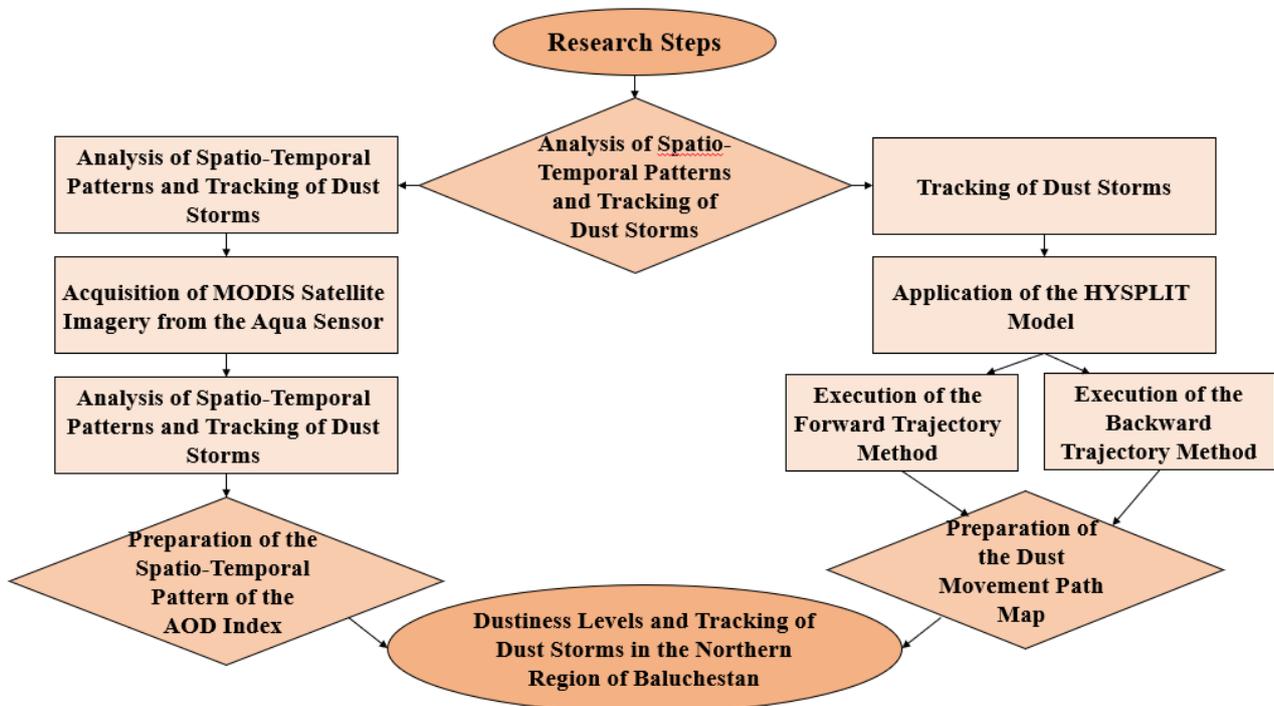


Fig. 3. Methodological framework of the study

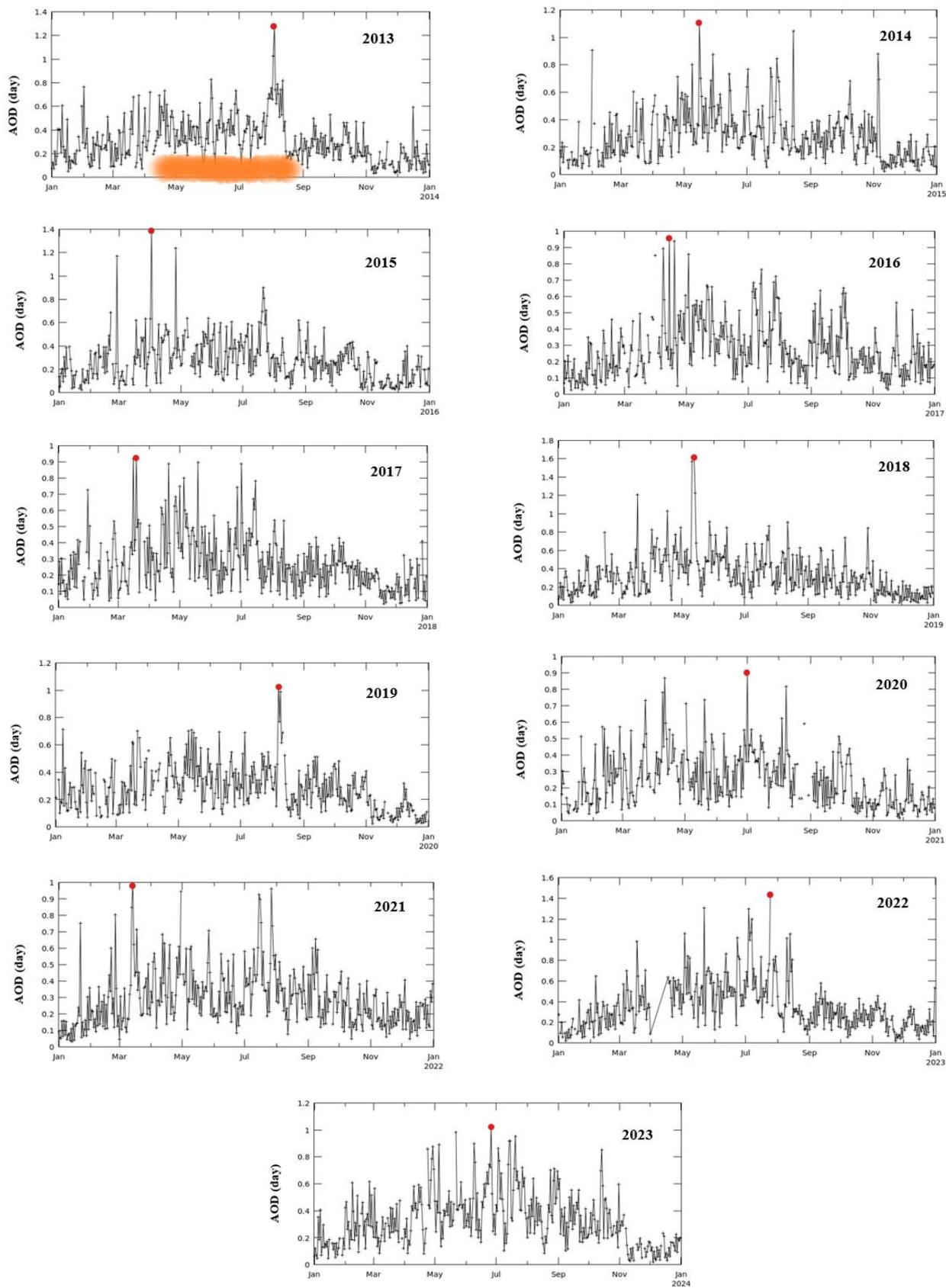


Fig. 4. Temporal distribution of dust storm events during 2013–2023. Orange highlighting indicates seasons with the highest dust storm activity (24).

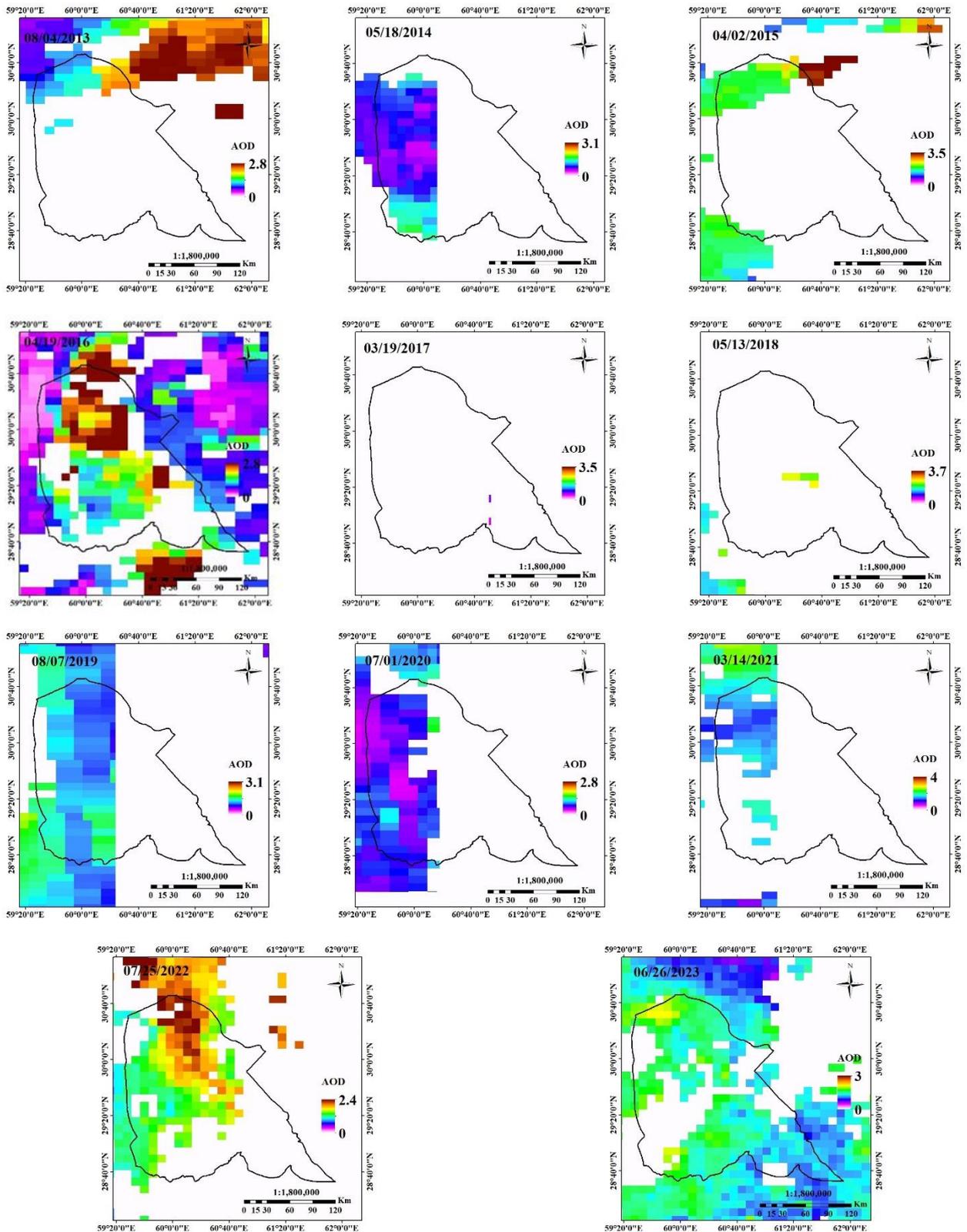


Fig. 5. Spatial distribution of Aerosol Optical Depth (AOD) index across the study area during 2013–2023, derived from MODIS Aqua sensor imagery.

Table 1. Specifications of the MODIS satellite images used in this study

Date	Satellite	Sensor	Spatial separation	Bands use
08/04/2013				
05/18/2014				
04/02/2015				
04/19/2016				
03/19/2017				
05/13/2018	MODIS	Aqua	550nm	MYDO4-L
08/07/2019				
07/01/2020				
03/14/2021				
07/25/2022				
06/26/2023				

Table 2. Aerosol Optical Depth (AOD) index values across different land use types during dust storm events in the study area.

Date	Maximum AOD index	Spatial distribution AOD index
08/04/2013	1.28	Rangelands with poor vegetation, Barren lands, and Sand dunes
05/18/2014	1.11	Sand dunes and Barren lands
04/02/2015	1.4	Barren lands, Sand dunes, and Rangelands with poor to moderate vegetation
04/19/2016	0.94	Rangelands with poor to moderate
03/19/2017	0.92	Rangelands with poor to moderate vegetation
05/13/2018	1.61	Rangelands with poor to moderate vegetation
08/07/2019	1.03	Rangelands with poor to moderate vegetation, Sand dune, and Barren lands
07/01/2020	0.9	Rangelands with poor to moderate vegetation, Sand dune, and Barren lands
03/14/2021	0.98	Barren lands, Sand dune, and Rangelands with poor to moderate vegetation
07/25/2022	1.45	Rangelands with poor to moderate vegetation, Sand dune, and Barren lands
06/26/2023	1.02	Rangelands, Sand dune, Low density forest lands

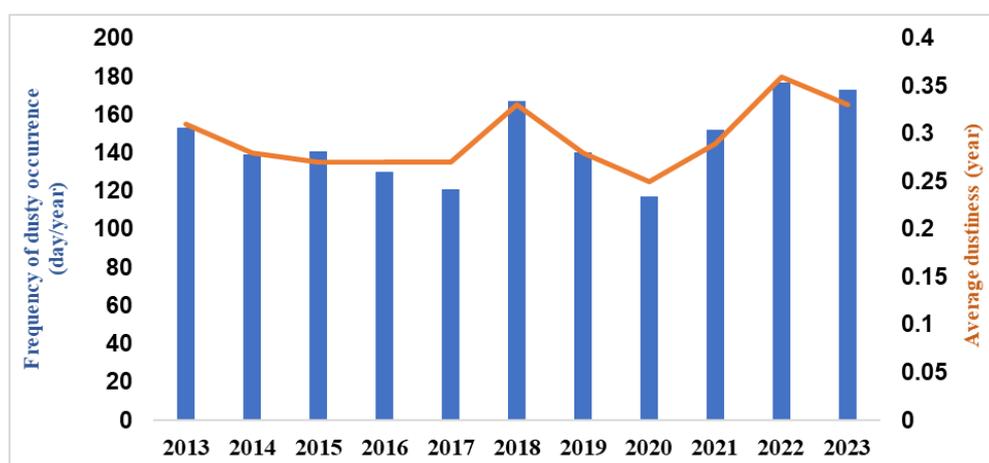


Fig. 6. Interannual variability of dust storm occurrence frequency (number of dusty days) and annual mean Aerosol Optical Depth (AOD) index from 2013 to 2023.

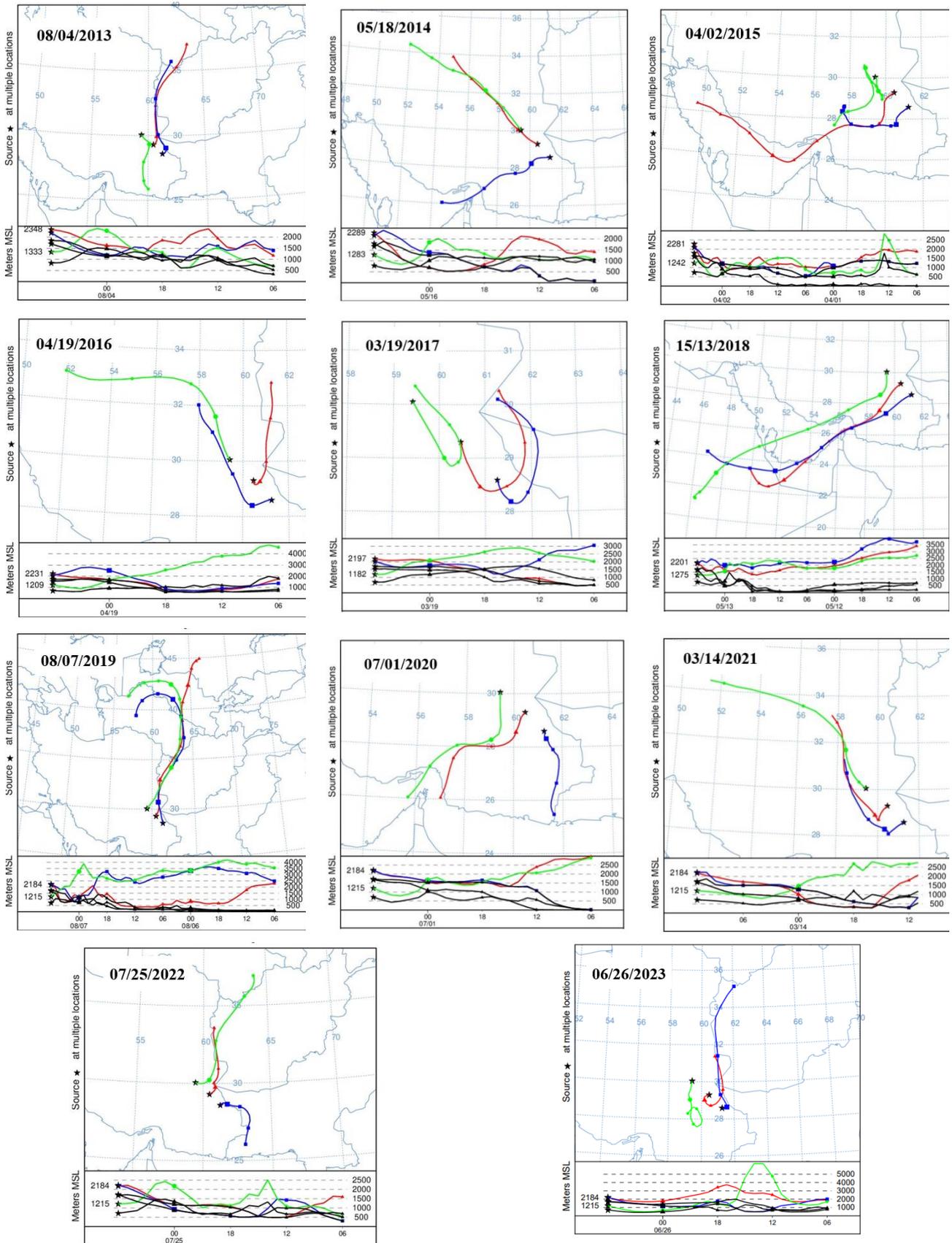


Fig. 7. Backward trajectories of dust storm events in the study area derived from HYSPLIT model analysis during 2013–2023.

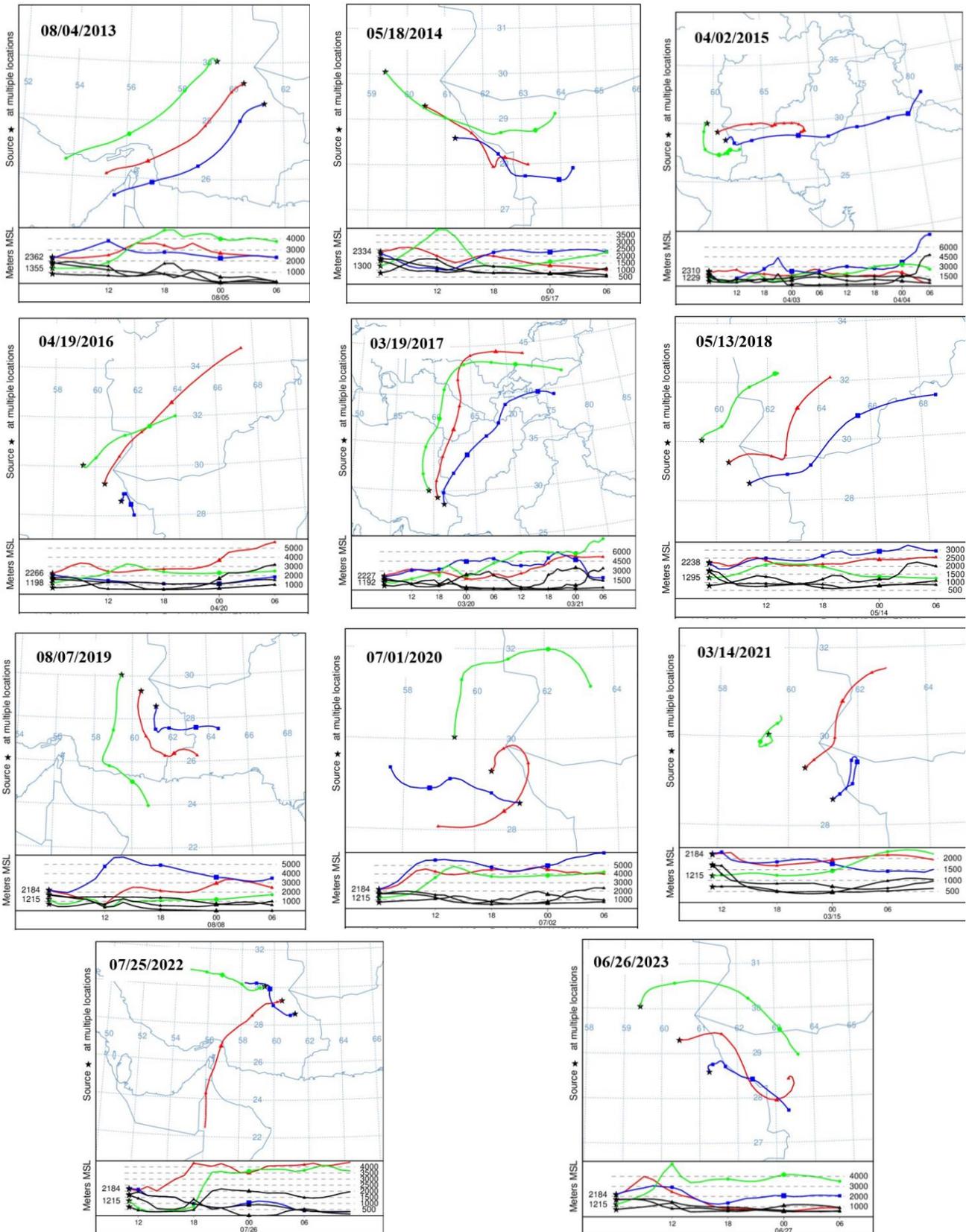


Fig. 8. Forward trajectories of dust storm events derived from HYSPLIT model analysis during 2013–2023.



تحلیل توفان‌های گردوغبار و مسیریابی آنها با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و مدل HYSPLIT در منطقه شمال بلوچستان ایران

زهرة هاشمی^{۱*}، منصور سارانی^۲، محمد خسروشاهی^۳

۱. پژوهشگر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران.
 ۲. دانشیار پژوهش، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران.
 ۳. استاد پژوهش، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایران.
- * نویسنده مسئول: Z_hashemi@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۷



[10.22034/jdmal.2026.2075734.1516](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2075734.1516)

چکیده

توفان‌های گردوغبار از پدیده‌های جوی و مخاطره زمین-اقلیمی است که موجب اثرهای نامطلوب زیستی، انسانی می‌شود. به‌منظور بررسی توفان‌های گردوغبار در بعد مکان، زمان و مسیریابی آنها از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و مدل HYSPLIT استفاده شد. ابتدا رخداد‌های گردوغبار در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ به‌طور روزانه از پایگاه Giovanni بررسی شد. سپس تصاویر سنجنده آکوا ماهواره‌ای مادیس از رخداد‌های موردنظر تهیه و شاخص عمق اپتیکی آئروسول (AOD)، مربوط به هر رخداد به‌دست آمد. با کاربرد مدل HYSPLIT توفان‌های گردوغبار به‌روش‌های پس‌گرد و پیش‌رو مسیریابی شد. نتایج نشان داد کاربری اراضی بایر و تپه‌های ماسه‌ای دارای بیشترین شاخص AOD هستند. سال ۱۴۰۱ بحرانی‌ترین سال با میانگین شاخص (AOD) ۰/۳۶ شناسایی شد. تغییرات سری زمانی نشان‌داد در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ تعداد روزهای غبارناک و میانگین شاخص AOD متغیر است و در دوره ۹۷-۱۳۹۲ افزایش یافت. اما از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۳۹۹ کاهش یافته است و سپس تا سال ۱۴۰۱ افزایش یافته است. از سال ۱۴۰۱ تا ۱۴۰۲ نیز کاهش یافته است. نتایج مدل HYSPLIT نشان داد کشورهای ترکمنستان، افغانستان و پاکستان و در داخل کشور استان‌های خراسان جنوبی، کرمان و هرمزگان از منابع تولید گردوغبار ردیابی شدند. بررسی حاضر می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها، با هدف مدیریت و کنترل برداشت ذرات گردوغبار در منطقه شمال بلوچستان باشد.

واژگان کلیدی: سنجش از دور، برخاست گردوغبار، رخداد گردوغبار، الگوی مکانی-زمانی

استناد به این مقاله

هاشمی، زهرة، سارانی، منصور و خسروشاهی، محمد. (۱۴۰۴). تحلیل توفان‌های گردوغبار و مسیریابی آنها با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و مدل HYSPLIT در منطقه شمال بلوچستان ایران. مدیریت بیابان، ۱۳(۳)، ۱۹-۳۶. DOI: [10.22034/jdmal.2026.2075734.1516](https://doi.org/10.22034/jdmal.2026.2075734.1516)



■ مقدمه

پدیده گردوغبار از جدی‌ترین بحران‌های جوی که موجب مخاطره محیط‌زیستی در منطقه خاورمیانه و ایران است. رخداد گردوغبار از پدیده‌های اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک که موجب اثرهای نامطلوب محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی می‌شود. برداشت و حمل ذرات فرسایش یافته به تروپوسفر در بیلان انرژی مناطق موثر است. به طوری که در پی آن شرایط آب‌وهوایی و اقلیم آن ناحیه نیز زیرتأثیر قرار می‌گیرد (۱۹). از مهمترین عوامل در پدیده گردوغبار، موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی مناطق منشأ و مناطق زیرتأثیر این پدیده است. قرارگرفتن ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و از طرف دیگر مجاورت با کشورهای چون افغانستان، عربستان، عراق و سوریه که دارای پوشش گیاهی فقیر به دلیل شرایط اقلیمی نامساعد بارندگی اندک و بالا بودن دما و تبخیر بخش زیادی از نواحی کشورهای مذکور را اراضی بایر و بیابان دربرگرفته است. در این مناطق با افزایش جریان باد موجب برداشت ذرات خاک و حمل آنها به مناطق مجاور می‌شود (۳).

بر پایه تعریف توسط سازمان جهانی هواشناسی، پدیده گردوغبار در اثر آشفتگی جریان باد و ایجاد ذرات جامد معلق با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰m مشخص شده است (۱۲). در واقع تمامی نواحی خشک جهان زیرتأثیر طوفان‌های گردوغبار قراردارند (۱۷). طوفان‌های گردوغبار موجب خسارت‌های غیرقابل جبرانی به اراضی کشاورزی، تأسیسات، ابنیه‌های مسکونی و صنعتی، خطوط ارتباطی، کاهش دید افقی و تصادفات جاده‌ای می‌شود (۲۲). همچنین وقوع طوفان‌های گردوغبار موجب نابودی پوشش گیاهی و تخریب خاک و در نتیجه روند بیابان‌زایی را تسریع می‌کند (۱۳). همچنین بحران گردوغبار باعث بروز مشکلات تنفسی، چشمی و پوستی در انسان‌ها می‌شود (۴). اما در صورت شناسایی کانون‌های بحرانی، نحوه تشکیل و گسترش طوفان‌های گردوغبار می‌توان با این پدیده مقابله و خسارت آن را کاهش داد (۲).

کشور ایران با گستره وسیع اقلیم خشک و نیمه‌خشک از گذشته زیرتأثیر طوفان‌های گردوغبار است. در اثر کاهش بارش در منطقه غرب آسیا و خشک شدن تالاب‌ها، کاهش

سطح اراضی کشاورزی و عدم مدیریت مناسب آبیاری اراضی در شرایط خشکسالی باعث افزایش رخدادهای طوفان‌های گردوغبار می‌شود (۵).

منطقه شمال بلوچستان از جمله مناطقی است که به‌شدت از پیامدهای منفی طوفان‌های گردوغبار دچار خسارت می‌شود. شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار در فصل گرم سال به‌همراه افزایش غلظت ذرات معلق در هوا از عوامل محدودکننده حیات ساکنان منطقه و موجب آسیب‌های اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی زبان‌بار می‌شود.

سنجش از دور^۱ در مقیاس بزرگ ابزار مناسبی برای شناسایی، ردیابی، تجزیه و تحلیل گردوغبار در مناطقی که فاقد اطلاعات و آمار هواشناسی است. لذا از طریق سنجش از دور امکان تهیه اطلاعات دقیق از مناطق برداشت، ارتفاع و عمق لایه نوری گردوغبار وجود دارد (۱۲). محققین زیادی با استفاده از تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای به مطالعه منشأ و مسیریابی طوفان‌های گردوغبار در جهان پرداخته‌اند. در این راستا عمده‌ترین مناطق برداشت گردوغبار در نیمکره شمالی واقع در ساحل غربی آفریقای شمالی، خاورمیانه، آسیای مرکزی، شرق آسیا و چین قرار دارند (۱۱). در بررسی پدیده گردوغبار تالاب جازموریان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از دو شاخص جذب آئروسول AAI^۲ و شاخص عمق نوری آئروسول AOD^۳ استفاده شده است. براساس نمودار تغییرات زمانی و نقشه‌های پهنه‌بندی طوفان‌های گردوغبار در جنوب‌شرق ایران مناطق زابل، ناحیه‌ای در مرز ایران و پاکستان، سواحل مکران و منطقه جازموریان به‌عنوان کانون‌های بحرانی گردوغبار شناسایی می‌شود. نتایج نشان می‌دهد در فصول بهار و تابستان بیشترین رخداد طوفان گردوغبار اتفاق افتاده است. اما در فصول زمستان پاییز از شدت طوفان گردوغبار کم می‌شود (۲).

در پژوهشی با استفاده از مدل HYSPLIT^۴ مسیرهای انتشار گردوغبار در استان هرمزگان ردیابی شده است. با کاربرد داده‌های ۱۲ ایستگاه هواشناسی بین سال‌های

^۱ Remote Sensing

^۲ Absorption Aerosol Index

^۳ Aerosol Optical Depth

^۴ Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated

مرکزی ناشی از بیابان صحرا از مدل HYSPLIT و تصاویر ماهواره‌ای مادیس استفاده شده است. نتایج مشخص نمود توفان‌های گردوغبار در فصل‌های بهار و تابستان بیشتر رخ می‌دهد. توفان‌های گردوغبار با تغییر فصل و شرایط آب و هوایی مسیرهای مختلفی را طی می‌کنند. توده‌های گردوغبار با طی ارتفاعات به اروپای مرکزی ناحیه‌ای که توزیع فصلی آنها مشابه صحرای آفریقا است منتقل می‌شوند. نتایج حاصل مطابقت مدل HYSPLIT در شبیه‌سازی غبار جوی با مقایسه آن با برآورد شاخص AOD را تأیید می‌نماید (۷). براساس مطالعات صورت گرفته جهت شناسایی منشأ توفان‌های گردوغبار و ردیابی مسیرهای انتشار گردوغبار از مدل HYSPLIT و تصاویر مادیس به صورت ترکیبی راهکار مناسبی است.

از جنبه‌های نوآوری پژوهش حاضر بررسی هم‌زمان توفان‌های گردوغبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و کاربرد مدل هواشناسی HYSPLIT در زمان مورد بررسی است. هدف از پژوهش حاضر، تحلیل مکانی- زمانی توفان‌های گردوغبار و مسیریابی قبل از وقوع توفان و همچنین پس از وقوع آن در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ می‌باشد.

■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۳۵۳۵۳۰۸ha در محدوده طول جغرافیایی $۵۹^{\circ}۲۹'۴۰''$ تا $۶۱^{\circ}۵۵'۲۲''$ و عرض جغرافیایی $۳۰^{\circ}۲۸'۵۴''$ تا $۳۰^{\circ}۴۶'۴''$ (شکل ۱). منطقه شمال بلوچستان دارای آب و هوای خشک تا نیمه‌خشک است. براساس تقسیم‌بندی دمارتن ضریب خشکی $۲/۴۵$ بیانگر اقلیم گرم و خشک برای منطقه مورد مطالعه است. بارش متوسط سالانه آن در بلندمدت به $۳۱/۲\text{mm}$ می‌رسد که این موضوع در مقایسه با آمارهای جهانی و کشوری نشان از خشک بودن منطقه دارد. عمدتاً بیشترین بارش این منطقه در دی‌ماه با میانگین ۱۱mm دریافت می‌شود. بر اساس آمار بلندمدت، متوسط دمای هوای معادل $۲۳/۸^{\circ}\text{C}$ است. دی‌ماه با ۹°C سردترین و مرداد با $۳۵/۶^{\circ}\text{C}$ گرم‌ترین ماه‌های سال است. میانگین بیشینه

۱۳۷۹ تا ۱۳۹۷، ۴۸ رخدادهای گردوغبار با دید افقی کمتر از ۱۰۰۰m شناسایی شد. از طریق تصاویر ماهواره‌ای مادیس و خوارزمیک‌های (الگوریتم) Ackerman، TDI^1 ، TIID^2 و NDDI^3 عملیات آشکارسازی انجام شده است. براساس نتایج به دست آمده کانون‌های بحرانی گردوغبار واقع در مناطق شرقی استان هرمزگان، شرق سیستان و بلوچستان، تالاب جازموریان، مناطق غربی افغانستان، پاکستان و نواحی مرکزی و جنوبی عربستان شناسایی می‌شود. طبق مدل HYSPLIT گردوغبار از سه مسیر جنوب‌غربی کشور، مسیر جنوبی- شمالی و مسیر شمالی و شمال‌غربی وارد استان هرمزگان می‌گردد. پس از وقوع توفان گردوغبار بیشترین مسیر انتشار گردوغبار به سمت شمال و شمال‌شرقی است (۶). در بررسی دیگری مناطق برداشت ردیابی توفان‌های گردوغبار در استان یزد با استفاده از فناوری سنجش از دور و مدل HYSPLIT برای سه رخداد در سال ۱۴۰۱ انجام شد. نتایج بیانگر سه مسیر ورودی گردوغبار از جهت‌های جنوب‌غربی، غربی- شمال‌غربی و شمال‌شرقی وارد استان یزد می‌شود. با بررسی شاخص AOD کانون‌های بحرانی گردوغبار خارجی شامل بیابان‌های عراق، عربستان، سوریه و صحرای ترکمنستان و منابع داخلی برداشت گردوغبار نواحی بیابانی استان‌های سمنان و اصفهان در شمال‌شرقی استان یزد شناسایی می‌شود (۲۱). منشأ گردوغبار در دشت‌های جنوبی و مناطق بیابانی چی‌هواوان برای سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ با استفاده از تصاویر مادیس شناسایی شد. نتایج نشان می‌دهد ۱۵۰۸ کانون بحرانی گردوغبار مشخص است که ۱۲۵۸ منطقه در دشت‌های جنوبی و ۱۸۷ منطقه در بیابان چی‌هواوان واقع می‌شود. دریاچه‌های فصلی بیشترین منابع گردوغبار را در واحد سطح تولید کردند. اراضی کشاورزی ۴۳% و بوته‌زار مرتعی ۴۵% از کانون‌های بحرانی گردوغبار را در برمی‌گیرند. نتایج بررسی، اهمیت پلایاها را به عنوان منبع پویای گردوغبار در جنوب‌غربی منطقه مورد بررسی را تأیید کرد (۱۴). در مطالعه‌ای برای بررسی مکانی- زمانی رخداد‌های گردوغبار بر فراز اروپای

¹ Thermal- infrared Dust Index

² Thermal Infrared Integrated Dust Index

³ Normalized Differences Dust Index

رخدادهایی که دارای بیشترین مقدار غبارناکی بود شناسایی و تصاویر ماهواره‌ای مادیس حاصل از سنجنده آکوا^۲ در تاریخ موردنظر تهیه شد. برای بارسازی و بررسی میزان غلظت گردوغبار با استفاده از تصاویر مادیس شاخص‌های عمق نوری آئروسول (AOD) در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 برآورد شد. مشخصات تصاویر در جدول ۱ آمده است.

مدل HYSPLITE

مدل HYSPLIT بری محاسبه و مسیریابی حرکت توده گردوغبار انجام می‌شود (۱). این مدل براساس روشی ترکیبی حاصل از روش لاگرانژی و براساس حرکات ذرات صورت می‌گیرد. همچنین روش اولیری نیز براساس ثابت سه بعدی حرکت ذرات می‌باشد. به طوری که در روش لاگرانژی هر ذره موقعیت‌های متفاوتی در زمان‌های مختلف دارد، بنابراین نتیجه حاصل از روش لاگرانژی، پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در زمان موردنظر به سمت زمان‌های گذشته به روش پس‌گرد^۳ و یا به سمت آینده به روش پیش‌رو^۴ مسیریابی می‌کند (۲۲). در پژوهش جاری با استفاده از مدل HYSPLIT روند انتشار و مسیریابی طوفان‌های گردوغبار در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۹۲ به روش‌های پس‌گرد و پیش‌رو انجام شد.

نتایج

تعیین رخدادهای طوفان گرد و غبار

شناسایی روزهای همراه با طوفان گردوغبار از داده‌های وبسایت Giovanni (۲۴) انجام شد. داده‌های آئروسول‌ها و شاخص AOD با بیشترین مقدار از ماهواره مادیس، سنجنده آکوا استخراج شد. نمودارهای حاصل از این داده‌ها به صورت روزانه وضعیت رخدادهای طوفان گردوغبار در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۹۲ طبق شکل ۴ به دست آمد. رخدادهای انتخاب شده برای بررسی بر روی نمودارها علامت‌گذاری شدند. توزیع فصلی بیشترین وزش بادهای توأم با ذرات گردوغبار در دو فصل بهار و تابستان اتفاق افتاد که برای

رطوبت نسبی ماهیانه نیز به میزان ۲۳٪ در دی‌ماه ثبت شده است. محدوده مورد بررسی زیرتأثیر بادهای ۱۲۰ روزه زابل و بادهای با جهت شمال شرقی و جنوب شرقی قرارداد (۸). از لحاظ سنگ‌شناسی هر سه نوع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی در این منطقه در قالب ناهماری‌های کم ارتفاع نمایان شده است. پوشش گیاهی منطقه بیشتر گونه‌های بوته‌ای و درختچه‌ای است که فقط در مسیل‌ها و دشت‌های سیلابی به صورت پراکنده وجود دارد. به دلیل استمرار خشکسالی، در بسیاری از نقاط پوشش گیاهی خشک و گونه‌های علفی و یکساله کاملاً از بین رفته‌اند. به طوری که مناطقی که در گذشته قابلیت مرتع و چرای دام داشته‌است، ولی هم‌اکنون به منطقه بیابانی با پوشش بسیار ضعیف بوته‌ای تبدیل شده‌است. براساس شکل ۲، منطقه مورد بررسی شامل پوشش‌های اراضی کشاورزی و باغات، اراضی مرتعی فقیر تا متوسط، جنگل‌های کم‌تراکم، تپه‌های ماسه‌ای و اراضی بایراست (۹).

روش کار

پژوهش جاری، تحلیل مکانی-زمانی طوفان‌های گردوغبار در منطقه شمال بلوچستان طی دوره ۱۰ ساله به صورت سالانه از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۴۰۲ طبق شکل ۳ بررسی شد.

برای تحلیل طوفان‌های گردوغبار از اطلاعات به دست آمده رخدادهای گردوغبار، از داده‌های پایگاه Giovanni (۲۴) به طور روزانه برای هر سال استفاده شد. سپس رخدادهایی که دارای بیشترین مقدار غبارناکی بود شناسایی و تصاویر ماهواره‌ای مادیس حاصل از سنجنده آکوا^۲ در تاریخ موردنظر تهیه شد. برای بارسازی و بررسی میزان غلظت گردوغبار با استفاده از تصاویر مادیس شاخص‌های عمق نوری آئروسول (AOD) در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 برآورد شد. مشخصات تصاویر در جدول ۱ آمده است.

شاخص عمق نوری آئروسول

برای تحلیل طوفان‌های گردوغبار از اطلاعات به دست آمده رخدادهای گردوغبار، از داده‌های پایگاه Giovanni (۲۴) به طور روزانه برای هر سال استفاده شد. سپس

^۲ Aqua

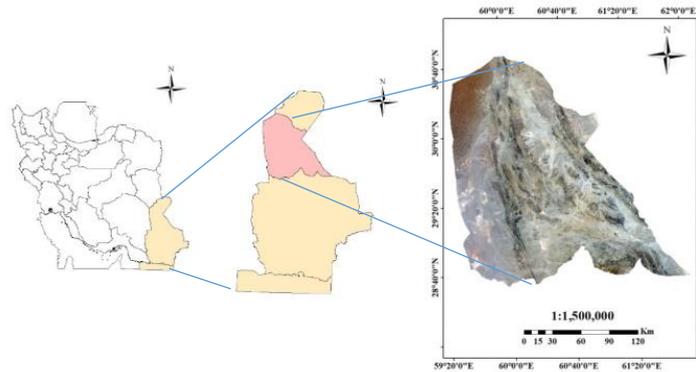
^۳ Backward

^۴ Forward

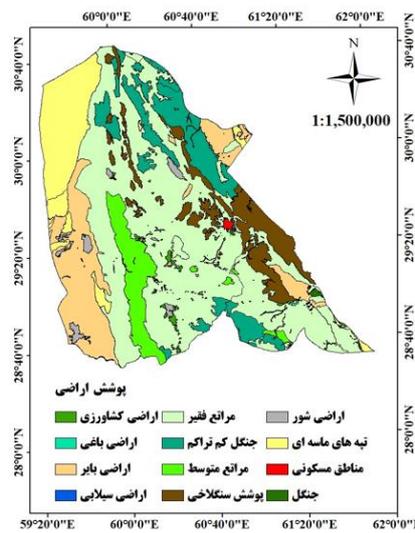
^۱ Aqua

توزیع مکانی- زمانی عمق نوری آئروسول
 توزیع مکانی شاخص عمق نوری آئروسول به دست آمده از محصولات ماهواره مادیس، سنجنده آکوا در بازه زمانی ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ در شکل ۵ و جدول ۲ پهنه بندی شد.

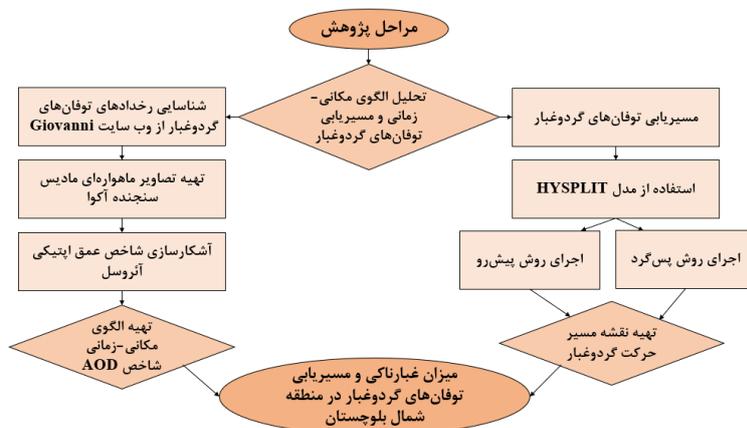
سال ۱۳۹۲ به رنگ نارنجی نشان دار شد. همچنین در فصول پاییز و زمستان از شدت غبارناکی باد کاسته شد. از لحاظ توزیع ماهانه وزش بادهای غالب با سرعت زیاد توأم با ذرات معلق گردوغبار در فاصله ماههای اسفند تا مهر بیشترین شدت را نشان داد.



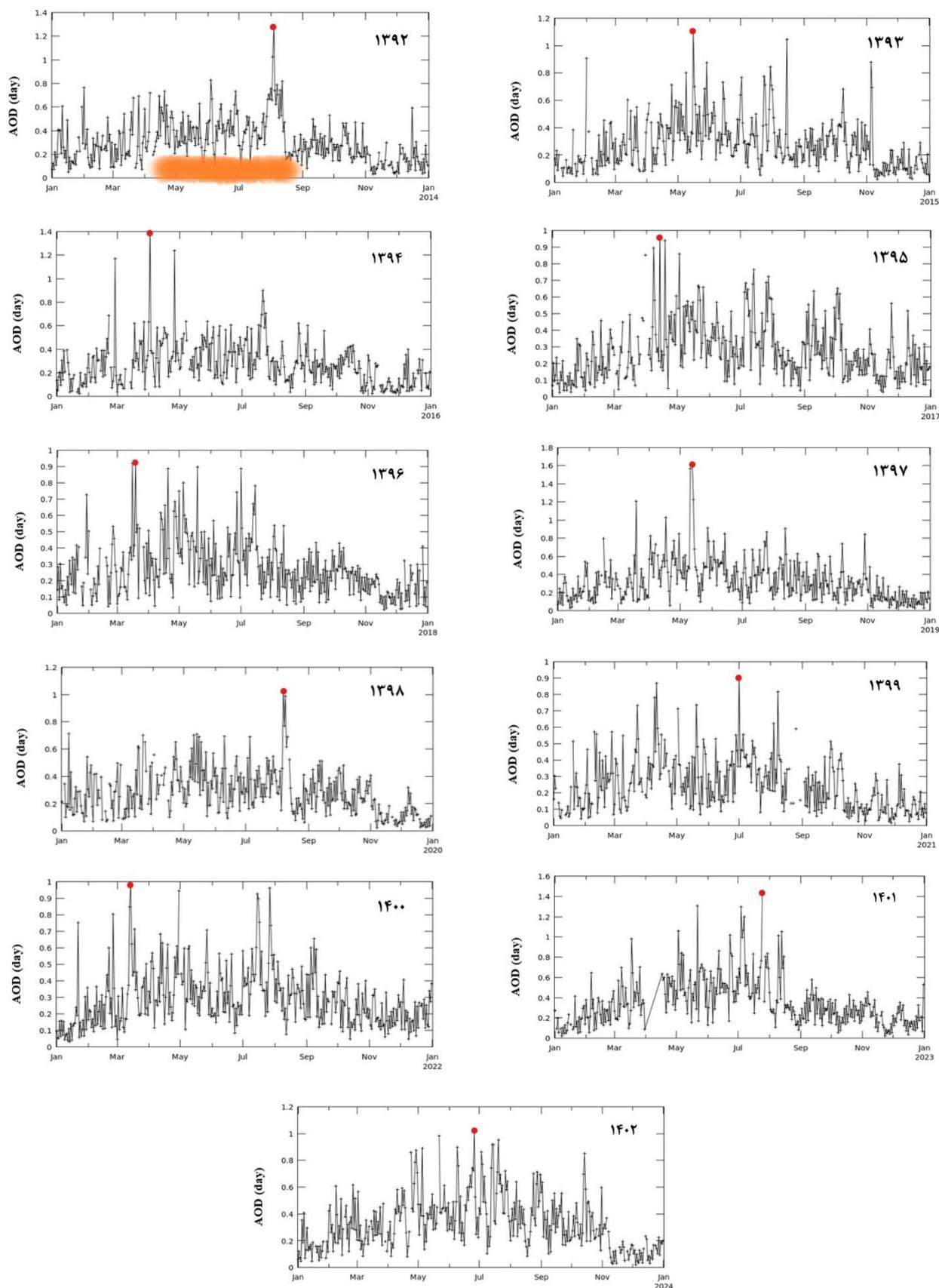
شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی در ایران و استان سیستان و بلوچستان



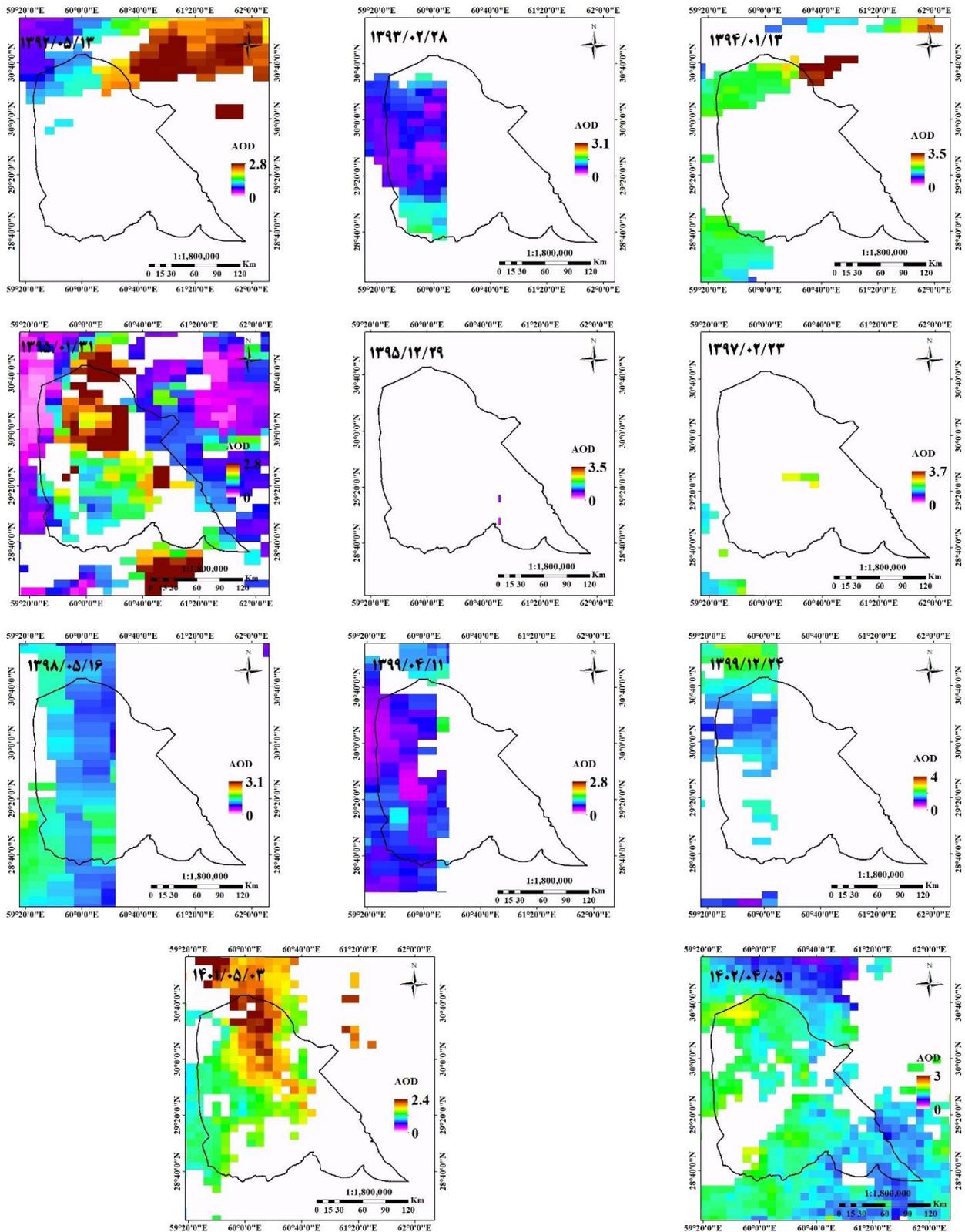
شکل ۲. نقشه پوشش اراضی منطقه مورد بررسی سال ۱۳۸۳ (۹)



شکل ۳. روند اجرای پژوهش



شکل ۴. هایلایت نارنجی، فصول با بیشترین وزش طوفان گردوغبار و رخدادهای طوفان‌های گرد و غبار در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۲ (۲۴)



شکل ۵. توزیع مکانی عمق نوری آئروسول (AOD) از سنجنده مادیس آکوا در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۲

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره ای مادیس استفاده شده

تاریخ برداشت	ماهواره	نوع سنجنده	تفکیک باندی	باندهای مورد استفاده
۱۳۹۲/۰۵/۱۳				
۱۳۹۳/۰۲/۲۸				
۱۳۹۴/۰۱/۱۳				
۱۳۹۵/۰۱/۳۱				
۱۳۹۵/۱۲/۲۹				
۱۳۹۷/۰۲/۲۳	MODIS	Aqua	550nm	MYDO4_L2
۱۳۹۸/۰۵/۱۶				
۱۳۹۹/۰۴/۱۱				
۱۳۹۹/۱۲/۲۴				
۱۴۰۱/۰۵/۰۳				
۱۴۰۲/۰۴/۰۵				

جدول ۲. توزیع مکانی شاخص AOD در رخدادهای طوفان گردوغبار مورد بررسی

تاریخ برداشت	بیشینه شاخص AOD	توزیع مکانی شاخص AOD
۱۳۹۲/۰۵/۱۳	۱/۲۸	مراتع با پوشش گیاهی ضعیف، اراضی بایر و تپه‌های ماسه‌ای
۱۳۹۳/۰۲/۲۸	۱/۱۱	تپه‌های ماسه‌ای و اراضی بایر
۱۳۹۴/۰۱/۱۳	۱/۴	تپه‌های ماسه‌ای
۱۳۹۵/۰۱/۳۱	۰/۹۴	اراضی بایر، تپه‌های ماسه‌ای و مراتع با پوشش گیاهی فقیر تا متوسط
۱۳۹۵/۱۲/۲۹	۰/۹۲	مراتع فقیر تا متوسط
۱۳۹۷/۰۲/۲۳	۱/۶۱	مراتع با پوشش گیاهی ضعیف تا متوسط
۱۳۹۸/۰۵/۱۶	۱/۰۳	مراتع با پوشش ضعیف تا متوسط، تپه‌های ماسه‌ای و اراضی بایر
۱۳۹۹/۰۴/۱۱	۰/۹	مراتع با پوشش گیاهی ضعیف تا متوسط، تپه‌های ماسه‌ای و اراضی بایر
۱۳۹۹/۱۲/۲۴	۰/۹۸	اراضی بایر، تپه‌های ماسه‌ای و مراتع با پوشش گیاهی ضعیف
۱۴۰۱/۰۵/۰۳	۱/۴۵	اراضی مرتعی با پوشش ضعیف تا متوسط، تپه‌های ماسه‌ای و اراضی بایر
۱۴۰۲/۰۴/۰۵	۱/۰۲	مراتع، تپه‌های ماسه‌ای، اراضی بایر، اراضی جنگلی کم تراکم و اراضی شور

منطقه مورد بررسی زیرتأثیر وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان است. بیشترین شاخص AOD بر روی کاربری‌های اراضی مراتع با وضعیت فقیر، تپه‌های ماسه‌ای، اراضی بایر، اراضی جنگلی کم تراکم و اراضی شور مشاهده شد. کاربری‌های مذکور از لحاظ پوشش گیاهی ضعیف و یا فاقد پوشش گیاهی بودند. به طوری که این اراضی فاقد عامل حفاظتی برای جلوگیری از فرسایش بادی است. همچنین اراضی مذکور مستعد و حساس به برداشت ذرات خاک و حمل آن با بادهای شدید موسمی می‌باشند. در نتیجه میزان برداشت مواد معلق از سطح اراضی مستعد به فرسایش زیاد و در این راستا میزان غبارناکی هوا نیز افزایش نشان داد.

فراوانی وقوع رخدادهای توفان گردوغبار و میانگین سالانه شاخص AOD در منطقه مورد بررسی بین سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۰۲ برآورد شد (شکل ۶). در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۰۲ تغییر فراوانی وقوع رخداد گردوغبار با میزان میانگین سالانه شاخص AOD منطبق است. به طوری که طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۷ افزایش میانگین سالانه شاخص AOD و فراوانی وقوع پدیده گردوغبار مشاهده شد. براین اساس در سال ۱۳۹۲ تعداد روزهای غبارناکی از ۱۵۳ روز با میانگین شاخص AOD ۰/۳۱ تا سال ۱۳۹۷ به تعداد ۱۶۷ روز غبارناک با میانگین شاخص AOD ۰/۳۳ افزایش یافته است. اما از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۳۹۹ با تعداد ۱۱۷ روز دارای توفان گردوغبار و میانگین شاخص AOD ۰/۲۵

خراسان جنوبی، کرمان، یزد، اصفهان، هرمزگان و بخش جنوبی استان سیستان و بلوچستان شناسایی شد.

همچنین خروجی مدل HYSPLIT برای ردیابی پیش‌رو ذرات گردوغبار در ارتفاع ۵۰۰m از سطح زمین و به مدت ۲۴ ساعت بعد از وقوع توفان گردوغبار در بازه زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۲ به‌دست‌آمد (شکل ۸). با مسیریابی پیش‌رو، ادامه جریان توفان‌های گردوغبار به سمت کشورهای افغانستان، بخش غربی پاکستان، ترکمنستان و هندوستان شناسایی شد. در داخل کشور نیز ادامه جریانات مذکور به طرف استان‌های کرمان، هرمزگان، بخش جنوبی استان سیستان و بلوچستان ردیابی شد.

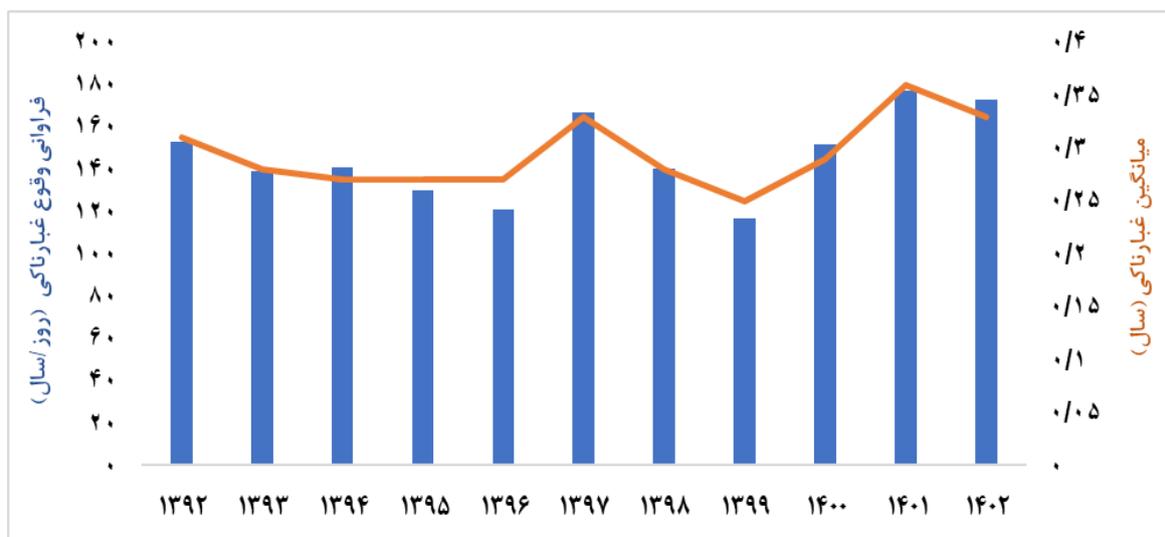
■ بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از داده‌های حاصل از سایت Giovanni رخدادهای توفان‌های گردوغبار با بیشترین غبارناکی شناسایی شد. سپس با برآورد شاخص AOD میزان عمق نوری آئروسول‌ها از لحاظ مکانی- زمانی مورد تحلیل قرار گرفت. در ادامه با کاربرد مدل HYSPLIT مسیرهای موثر جریان باد بر منطقه مورد مطالعه به‌روش پس‌گرد شناسایی شد. همچنین مناطق اثر از طریق روش پیش‌رو مسیریابی شد.

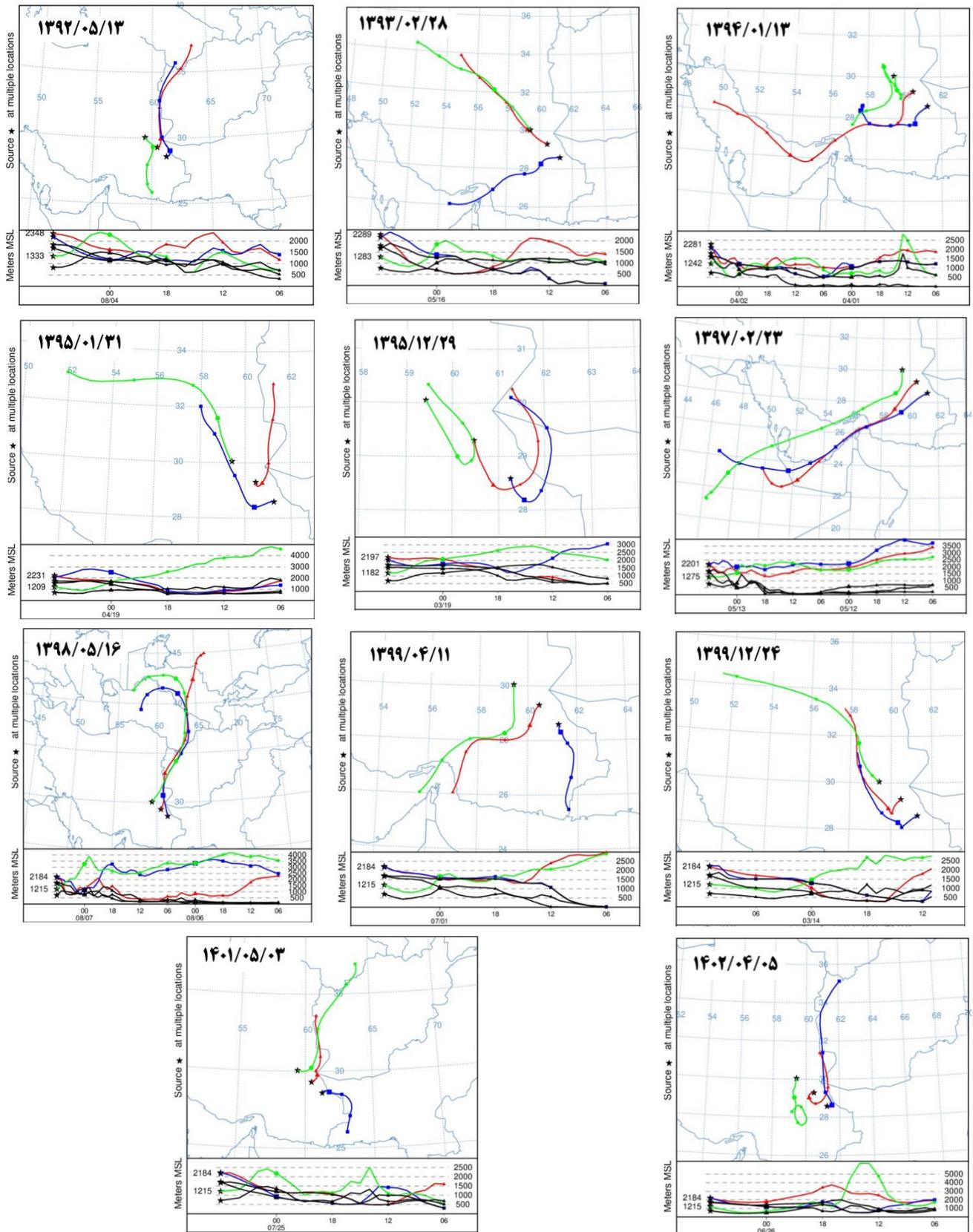
کاهش در هر دو مقادیر فراوانی وقوع و میانگین سالانه نشان داد. در ادامه از سال ۱۳۹۹ تا سال ۱۴۰۱ با تعداد ۱۷۷ روز رخداد توفان گردوغبار و میانگین شاخص AOD ۰/۳۶ در هر دو پارامتر افزایش یافته است. از سال ۱۴۰۱ تا سال ۱۴۰۲ با تعداد ۱۷۳ روز همراه با توفان گردوغبار و میانگین شاخص AOD، میزان پارامترهای فراوانی وقوع و میانگین سالانه شاخص AOD کاهشی بود.

مدل HYSPLIT

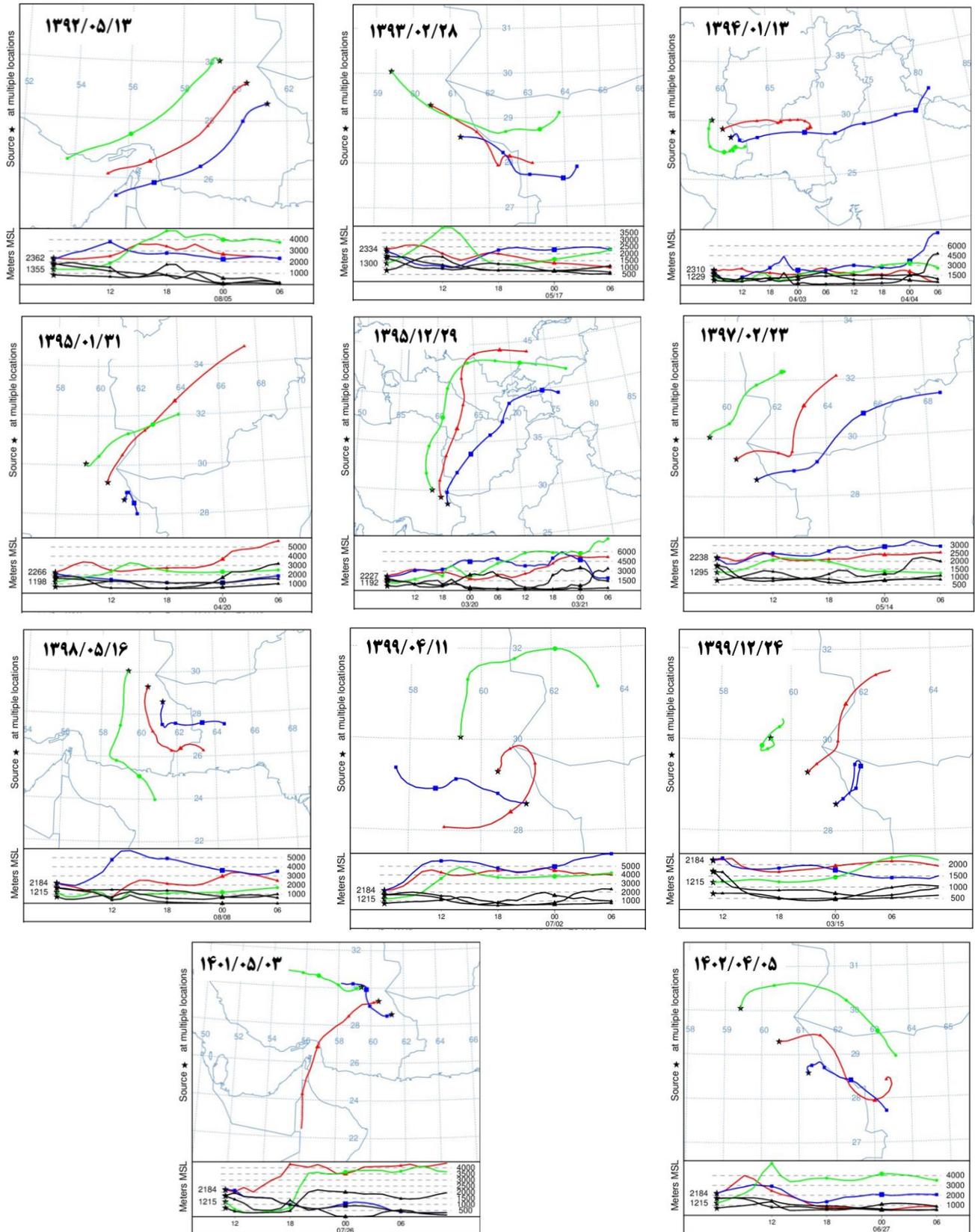
از مدل HYSPLIT برای مسیریابی توفان‌های گردوغبار به دو طریق شامل ردیابی پس‌گرد و رسیدن به منبع جریان حرکت ذرات گردوغبار و ردیابی پیش‌رو در واقع حرکت آینده جریان ذرات گردوغبار را می‌توان برآورد نمود. در این پژوهش از سه ایستگاه زاهدان، میرجاوه و نصرت آباد برای خروجی مدل HYSPLIT استفاده‌شد. خروجی مدل HYSPLIT برای ردیابی پس‌گرد ذرات گردوغبار در ارتفاع ۵۰۰m از سطح زمین و به مدت ۲۴ ساعت قبل از وقوع توفان گردوغبار در بازه زمان ۱۴۰۲-۱۳۹۲ به‌دست‌آمد (شکل ۷). محل وقوع توفان گردوغبار واقع در خارج از کشور شامل کشورهای ازبکستان، ترکمنستان، بخش‌های غربی کشورهای افغانستان و پاکستان مسیریابی شد. در داخل کشور نیز استان‌های



شکل ۶. فراوانی وقوع و میانگین سالانه شاخص عمق نوری آئروسول (AOD) طی دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۲



شکل ۷. مسیریابی پس‌گرد توفان گردوغبار با استفاده از مدل HYSPLIT در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۲



شکل ۸. مسیریابی پیشرو توفان گردوغبار با استفاده از مدل HYSPLIT در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۲

بخش‌های غرب منطقه مورد با کاربری اراضی بایر و تپه‌های ماسه‌ای دارای بیشترین شاخص AOD است.

با بررسی نتایج به‌دست آمده از شکل ۵ و جدول ۲، شاخص AOD طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۰۲ از لحاظ مکانی

هستند، با خشک شدن بستر خاک و وزش بادهای موسمی در فصول خشک، فرسایش بادی شدید بوده است. در نتیجه از لحاظ فراوانی وقوع و میزان غبارناکی، توفان‌های گردوغبار در آن نواحی افزایش یافته است (۲، ۱۸ و ۱۰). نتایج حاصل از شکل ۷، بررسی مسیر توفان‌های گردوغبار طبق مدل HYSPLIT بیان‌کننده توده‌های گردوغبار تحت تأثیر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که از دو مسیر خارج از کشور و داخل کشور به منطقه مورد بررسی وارد می‌شوند. خارج از کشور کشورهای افغانستان، پاکستان و ترکمنستان مسیریابی شد. در داخل کشور نیز استان‌های خراسان جنوبی، کرمان و هرمزگان ردیابی شد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با بررسی استان یزد مطابقت دارد. به طوری که بیشترین منابع اصلی توفان‌های گردوغبار در شرق کشور را در محدوده دشت سیستان، بیابان‌های مرکزی ایران و کشورهای ترکمنستان و افغانستان بیان داشتند (۲۳). همچنین پژوهشی در استان هرمزگان که نتایج آن با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. به طوری که با بررسی توفان‌های گردوغبار با دید کمتر از ۱۰۰۰ m، پس از گسترش آلودگی در استان‌های هرمزگان و کرمان به منطقه زاهدان و میرجاوه رسیده است و در پژوهش حاضر طبق شکل ۷ نیز استان‌های خراسان جنوبی، هرمزگان و کرمان از منابع گردوغبار در منطقه مورد مطالعه به دست آمد (۶). نتایج حاصل از پژوهش حاضر که موجب شناسایی منابع تولید گردوغبار و مسیریابی توفان‌های گردوغبار در خارج و داخل کشور در منطقه بلوچستان شمالی شد؛ می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها، با هدف مدیریت و کنترل برداشت ذرات گردوغبار در منطقه شمال بلوچستان باشد.

سپس کاربری اراضی مرتع با پوشش فقیر تا متوسط در رتبه بعدی از لحاظ شاخص غبارناکی قرار گرفت. نتایج دیگر پژوهش‌ها نیز با پژوهش حاضر مشابه هستند. به طوری که وقوع خشکسالی‌های متوالی موجب کاهش پوشش گیاهی حفاظتی و در نتیجه افزایش مقدار شاخص AOD موثر بوده است. به طوری که در فصول خشک سال و در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر و مرداد بیشترین میزان توفان‌های گردوغبار رخ داده است. (۲، ۱۵ و ۱۶). نتایج حاصل از لحاظ بررسی زمانی شاخص AOD میزان غبارناکی در منطقه مورد بررسی متغیر بود. به طوری که از سال ۱۳۹۲ تا سال ۱۳۹۷ میزان شاخص غبارناکی و تعداد روزهای گردوغبار افزایش یافته است. از سال ۱۳۹۷ تا سال ۱۳۹۹ روزهای توفان گردوغبار و میانگین شاخص AOD کاهش یافته است. اما دوباره تا سال ۱۴۰۱ در مقادیر افزایش مشاهده شد. از سال ۱۴۰۱ تا سال ۱۴۰۲ میزان شاخص‌های AOD کاهش یافته. در مجموع شاخص غبارناکی و میزان روزهای گردوغبار با کمی تغییر افزایش را نشان داد. به طوری که بحرانی‌ترین سال از حیث وقوع توفان‌های گردوغبار سال ۱۴۰۱ ارزیابی شد. دلیل آن وقوع پدیده خشکسالی هیدرولوژیک است. زیرا با احداث سدهای متعدد بر سر راه رودهای تغذیه‌کننده هامون جازموریان در غرب منطقه مورد مطالعه و همچنین در بخش شمال منطقه مورد بررسی، تالاب بین المللی هامون نیز به دلیل وجود سدهایی واقع در کشور افغانستان مانع ورود آب از طریق رودخانه مرزی هیرمند به منطقه سیستان و تالاب هامون شده است. در نتیجه خشک شدن تدریجی تالاب‌ها در اطراف منطقه کانون‌های برداشت ذرات گردوغبار ایجاد شده‌اند. بررسی دیگر محققان نشان داده است سال‌هایی که تالاب‌ها خشک

References

1. Abravesh, S., mohamadkh, S., Sarvati, M., & ghohrodi, M. (2021). Routing and investigating the movement of dust production sources in the formation of sand dunes using the HYSPLIT model (Case study: east of qom province, Jalali sandy land). *Journal of Range and Watershed Management*, 74(2), 273-286. [doi:10.22059/jrwm.2021.310960.1536](https://doi.org/10.22059/jrwm.2021.310960.1536) [In Persian]
2. Arjmand, M., Rashki, A. R., & Sargazi, H. (2018). Monitoring of spatial and temporal variability of desert dust over the hamoun e jazmuriyan, southeast of Iran based on the satellite data. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 153-168. [doi:10.22131/sepehr.2018.32339](https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.32339) [In Persian]

3. Azizi, Gh., Shamsipour, A., Miri, M. & Safarrad, T. (2012). Statistic and synoptic analysis of dust phenomena in west of iran. *Journal of Environmental Studies*, 38(3), 123-134. [doi:10.22059/jes.2012.29154](https://doi.org/10.22059/jes.2012.29154) [In Persian]
4. Badarinath, K.V.S., Kharol, S.K., Kaskaoutis, D.G., & Kambezidis, H.D. (2007). Cases study of a dust storm over hyderabad area, india: Its impact on solar radiation using satellite data and ground measurements. *Science Total Environment*, 384(3), 16-32. [doi:10.1016/j.scitotenv.2007.05.031](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.05.031)
5. Broughani, M. (2022). Investigating the trend of changes and correlation between the occurrence of dust in Iran. *Applied Soil Research*, 10(1), 69-81. [doi:10.30466/asr.2022.121192](https://doi.org/10.30466/asr.2022.121192) [In Persian]
6. Damizadeh, M., Mahdavi, R., Noroozi, A. A., Gholami, H., & Hollisaz, A. (2021). Assessment of dust storm emission in hormozgan province using HYSPLIT. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 13(2), 431-444. [doi:10.22092/ijwmse.2020.342768.1789](https://doi.org/10.22092/ijwmse.2020.342768.1789) [In Persian]
7. Gammoudi, N., Kovacs, J., Gresina, F., & Varga, G. (2024). Combined use of HYSPLIT model and MODIS aerosols optical depth to study the spatiotemporal circulation patterns of saharan dust events over central europe. *Aeolian Research*, 67-69 (100899). [doi:10.1016/j.aeolia.2024.100899](https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2024.100899)
8. General directorate of meteorology of sistan and baluchestan province. (2021). *Meteorological Quarterly*, 4, 1-22. <http://www.Sbmeteo.ir>
9. General directorate of natural resources of sistan and baluchestan province. (2004) *Executive plan for desertification and sand stabilization in Mirjaveh region (Zahedan City), Basic studies*, pp.125. [In Persian]
10. Ghanbari, A., & Taraneh, S. (2024). Investigating the spatial changes of dust in sistan and baluchistan province and its effect on urban sustainability. *Journal of Environmental Sciences Studies*, 9(3), 9102-9087. [doi:10.22034/jess.2023.407462.2084](https://doi.org/10.22034/jess.2023.407462.2084) [In Persian]
11. Goudie, A.S. (2009). Dust storms: recent developments. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 89-94. [doi:10.1016/j.jenvman.2008.07.007](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.007)
12. Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2015). *Desert Dust in the Global System*. Azarnivand, H., Gholami, H., & Khosravi, H., Tehran: University of Tehran Press.
13. Han, Y., Dai, X., Fang, X., Chen, Y. & Kang, F. (2008). Dust aerosols: A possible accelerantfor an increasingly arid climate in north china, *Journal Arid Environments*, 72(8), 1476-1489. [doi:10.1016/j.jaridenv.2008.02.017](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.02.017)
14. Kandakji, T., Gill, T. E., & Lee, J. A. (2020). Identifying and characterizing dust point sources in the southwestern united states using remote sensing and GIS. *Geomorphology*, 353(15), 1-15. [doi:10.1016/j.geomorph.2019.107019](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.107019)
15. Maleki, S., Mir, M., & Rhdari, V. (2021). Investigating the change in the sand and dust storms intensity in affected areas in sistan plain. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10(30), 111-125. [doi:10.22052/DEEJ.2021.10.30.59](https://doi.org/10.22052/DEEJ.2021.10.30.59) [In Persian]
16. Miri, A. (2020). Dust storms analysis in the sistan region using DDI and DSI indices and wind speed, visibility and PM10 parameters. *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(1), 1-23. [doi:10.22069/jwsc.2020.16883.3225](https://doi.org/10.22069/jwsc.2020.16883.3225) [In Persian]
17. Safriel, U., Adeel, Z., Niemeijer, D., Puigdefabregas, J., White, R., Lal, R., Winslow, M., Ziedler, J., Prince, S., Archer, E., King, C., & Wessels, K. (2005). *Dryland systems*. In R. Hassan, R. Scholes, and N. Ash (EDS.), *Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the condition and trends working group*. Island Press,1, 623-662.
18. Sarani, M., & Hashemi, Z. (2023). Evaluation of the relationship between hydrological drought and vegetation using Landsat images in the eastern part of the sistan region. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 12(4), 75-96. [doi:10.22111/jneh.2023.44340.1938](https://doi.org/10.22111/jneh.2023.44340.1938) [In Persian]
19. Shamsipour, A., & Safarrad, T. (2012). Satellite and Synopticanalysisof Dust storm in Western Half of Iran (Case Study: July 2009). *Physical Geography Research*, 44(1), 111-126. [doi:10.22059/jphgr.2012.24737](https://doi.org/10.22059/jphgr.2012.24737) [In Persian]

20. Shao, Y., & Dong, C.H. (2006). A review on east asian dust storm climate, modelling and monitoring. *Global and Planetary Change*, 52(1-4), 1–22. [doi:10.1016/j.gloplacha.2006.02.011](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.011)
21. Shirgholami, M.R. (2023). Identifying trajectories and sources of dust events in yazd province using HYSPLIT model and remote sensing data (Research paper). *Journal of Arid Biome*, 13(2), 35-52. [doi:10.29252/ARIDBIOM.2024.20805.1969](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2024.20805.1969) [In Persian]
22. Wenpo, S., Yongquan, Haixia, L., & Shuxuan, L. (2009). A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT model and surface data. *Atmospheric Research*, 93(4), 767-776. [doi:10.1016/j.atmosres.2009.03.007](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.03.007)
23. Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Mohamadi., G.H., & Karampour, M. (2019). Analysis and tracking dust storms routes entering to east of Iran using the particle diffusion HYSPLIT model. *Environmental Erosion Research*, 33(9:1), 27-44. [doi: 20.1001.1.22517812.1398.9.1.3.7](https://doi.org/20.1001.1.22517812.1398.9.1.3.7) [In Persian]
24. NASA Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). (2024). Giovanni: The bridge between data and science. NASA Earthdata. Retrieved February 5, 2024, from <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>
25. NASA Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS). (2024). Worldview. NASA Earthdata. Retrieved February 5, 2024, from <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>