Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Investigating the Role of the Madden-Julian Oscillation (MJO) on the Frequency of Dust Storms in Selected Stations of Khuzestan Province and Tracking the Paths of Dust Entering it

Fatemeh Vatanparast Galeh Juq[1] | Bromand Salahi[2]✉ | Batool Zeinali[3]

1. Ph.D. Student of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. **E-mail:** f.vatanparast.g72@gmail.com
2. Corresponding Author, Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. **E-mail:** Salahi@uma.ac.ir
3. Associated Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. **E-mail:** zeynali.b@uma.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2023/01/25
Received in revised
2023/02/16
Accepted
2023/05/08
Published
2023/05/09
Published online
2025/05/21

Keywords:
Dust Storms,
HYSPLIT Model,
Khuzestan Province,
Madden Julian Oscillation,
Monte Carlo Test.

ABSTRACT

This study investigates the impact of the OLR MJO Index (OMI) and the Real-time Multivariate MJO (RMM) of the Madden-Julian Oscillation on the frequency of dust storms in the stations of Abadan, Ahvaz, Bostan, Bandar Mahshahr, Dezful, Ramhormoz, and Masjed Soleiman, located in Khuzestan province, during the period from April to September 1987-2021. Pearson correlation coefficients were computed to assess the relationship between dust data and the indices, and the findings were depicted through zoning maps. Subsequently, the frequency percentage of each index for both positive and negative phases was quantified. The results indicate a direct and significant correlation between the positive and negative phases of the indices and dust occurrences (with the exception of Dezful station), particularly during the positive phase of the OMI and the negative phase of the RMM. The highest correlation coefficients, ranging from 0.77 to 0.72, were observed for Bandar Mahshahr and Dezful stationsduring the positive phase of the RMM index. Analysis of the relationship between the Madden-Julian Oscillation and dust storms revealed that between 51% and 59% of dust storms in Khuzestan province occurred in the negative phase of the OMI index, while 40% to 49% occurred in the positive phase. In the case of the RMM index, 56% to 63% of dust storms were associated with its negative phase, in contrast to 37% to 50% linked to its positive phase. Notably, the negative phase of the RMM index exhibited a higher percentage of dust storms compared to the negative phase of the OMI index. According to the results of the Monte Carlo test, the displacement of the positive and negative phases of the RMM index significantly contributes to the occurrence of dust storms at most stations in Khuzestan province. Furthermore, tracking the pathways of dust entering Khuzestan province using the HYSPLIT model indicates the movement of particles originating from Iraq, Arabia, and the eastern regions of Syria toward Khuzestan province..

Cite this article: Vatanparast Galeh Juq, Fatemeh., Salahi, Bromand., & Zeinali, Batool. (2025). Investigating the Role of the Madden-Julian Oscillation (MJO) on the Frequency of Dust Storms in Selected Stations of Khuzestan Province and Tracking the Paths of Dust Entering it. Journal of *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (77), 198-217. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.18

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.18

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Dust is a prevalent phenomenon and constitutes one of the most significant environmental challenges in arid and semi-arid regions. This annual occurrence has detrimental effects on the inhabitants of these areas. The frequency of dust storms is closely associated with local climatic conditions, including precipitation, temperature, and the surface characteristics of the earth, such as vegetation and soil texture. In recent years, Iran, particularly the southwestern provinces, including Khuzestan, has experienced a marked increase in the incidence of dust storms.

Material and Methods

Khuzestan Province, encompassing an area of 64,234 square kilometers, is situated in the southwestern region of Iran, spanning longitudinal coordinates from 47 degrees 41 minutes to 50 degrees 31 minutes east and latitudinal coordinates from 29 degrees 58 minutes to 33 degrees 4 minutes north. The objective of this study is to examine the influence of Madden-Julian Oscillation (MJO) fluctuations on the frequency of dust storms, both simultaneously and with a delay of 10 days. To achieve this aim, data pertaining to horizontal visibility measurements of less than 1,000 meters, as well as dust phenomenon codes (6, 7, 8, 9, 30, 31, 32, 33, and 35) from the 0 to 99 codes indicating current weather conditions, were obtained for a statistical period spanning 34 years (1987-2021) from the National Meteorological Organizatio. Subsequently, utilizing data from the Air and Climate Research Center of the Australian government, the study investigated the impact of MJO fluctuations on the formation of conditions conducive to the occurrence of dust storms at seven selected stations in Khuzestan Province (Abadan, Ahvaz, Bostan, Bandar Mahshahr, Dezful, Ramhormoz, and Masjed Soleyman). To ensure comparability between the dust data and the MJO link period, the dust data were standardized, and Pearson correlation coefficients were calculated between the dust levels recorded over six months at each station and the MJO link period. The results were subsequently integrated into a geographic information system (GIS), and the statistical outputs were transformed into a zoning map using the inverse distance weighting (IDW) interpolation method .In the continuation of the analysis, the Monte Carlo method was employed within the framework of the Kruskal-Wallis test to assess statistically significant differences in the average dust levels recorded over six months across the various stations. To trace the pathways of dust entering Khuzestan Province, a model was utilized to identify dust storm trajectories, employing backward particle tracking of dust particles at three altitudes (200, 1,000, and 1,500 meters) above the Earth's surface over a six-hour period preceding dust incursions. Furthermore, to analyze dust storms, satellite imagery obtained from NASA's website was utilized, specifically data from the MODIS Aqua sensor with a resolution of 1 kilometer, focusing on dusty days dated June 3, 2011, July 14, 2014, and May 5 and June 17, 2016.

Results and Discussion

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

The results of the correlation analysis indicate that, with the exception of the Dezful station in relation to the Ozone Monitoring Instrument (OMI) index, a direct and statistically significant relationship exists between the positive phases of these indices and the occurrences of dust at the remaining stations over the six-month period. Conversely, there is also a significant relationship between the negative phases of these indices and dust occurrences. Furthermore, with the exception of the Dezful station, the RMM index exhibits an inverse correlation, while the other stations demonstrate a positive correlation, with most stations achieving a significance level of 99%. The findings from the Monte Carlo test reveal that, apart from the Abadan, Masjed Soleyman, Bandar Mahshahr, and Ramhormoz stations in relation to the OMI index, as well as the Masjed Soleyman and Dezful stations concerning the RMM index, all remaining stations exhibit a statistically significant difference in average dust levels over the six-month period. The analysis of the percentage of dust occurrences during the positive and negative phases of the aforementioned indices demonstrates that the OMI and RMM indices exert a greater influence on dust occurrences when their strength and intensity are greater than or equal to one. In contrast, these indices are less impactful when their intensity is low and they are inactive. Overall, the RMM index in its negative phase accounts for a higher percentage of dust occurrences compared to the OMI index, whereas the OMI index in its positive phase encompasses approximately 2% more dust occurrences than the RMM index. Notably, the Bostan station records the highest percentage of dust frequency, approximately 36%, during the negative phases of both indicators, while the Dezful station exhibits the lowest occurrence, around 14%, also in the negative phases of both indicators. Additionally, tracking the pathways of dust entering Khuzestan province using the HYSPLIT model at altitudes of 200, 1000, and 1500 meters indicates the movement of particles from the eastern regions of Syria, Iraq, and Arabia towards the study area.

Conclusion

The results of the research findings indicate a direct and significant relationship between the positive and negative phases of both indicators and the abundance of dust, with the exception of the Dezful station in the positive phase of the Ozone Monitoring Instrument (OMI) and the negative phase of the Real-time Multivariate MJO (RMM). The highest correlation coefficient, ranging from 0.72 to 0.77, is observed at the Bandar Mahshahr and Dezful stations during the positive phase of the RMM index. Furthermore, the analysis of the relationship between the Madden-Julian Oscillation and dust revealed that between 51% and 59% of dust storms occurred during the negative phase of the OMI index, while 40% to 49% occurred in the positive phase. In the case of the RMM index, 56% to 63% of dust storms occurred during its negative phase compared to 37% to 50% during the positive phase. Notably, the negative phase of the RMM index exhibits a higher percentage of dust storms than the negative phase of the OMI index. According to the results of the Monte Carlo test, the displacement of the positive and negative phases of the RMM index significantly contributes to the occurrence of dust storms for the majority of stations in Khuzestan province.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۲۲۲۸-۷۷۳۶ شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸-۵۱۳۸
https://jgs.khu.ac.ir/

بررسی نقش نوسان مادن- جولیان بر فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار استان خوزستان و ردیابی مسیرهای ورود گردوغبار به آن

فاطمه وطن‌پرست قلعه‌جوق[۱]، برومند صلاحی[۲]✉، بتول زینالی[۳]

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
رایانامه: f.vatanparast.g72@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
رایانامه: Salahi@uma.ac.ir

۳. دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: zeynali.b@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۱۱/۰۵
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۱/۱۱/۲۷
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۲/۱۸
تاریخ انتشار:
۱۴۰۲/۰۲/۱۹
تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
آزمون مونت‌کارلو،
استان خوزستان،
گردوغبار،
نوسان مادن جولیان،
مدل HYSPLIT.

چکیده

در این پژوهش اثر شاخص‌های OLR MJO Index (OMI) و Real-time Multivariate MJO (RMM) نوسان مادن جولیان بر فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بستان، بندر ماهشهر، دزفول، رامهرمز و مسجدسلیمان واقع در استان خوزستان طی آوریل تا سپتامبر ۲۰۲۱- ۱۹۸۷ بررسی شد. ضرایب همبستگی پیرسون بین داده‌های گردوغبار و شاخص‌ها محاسبه و نتایج آن به‌صورت نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شد. سپس درصد فراوانی هر یک از شاخص‌ها برای فازهای مثبت و منفی شمارش و محاسبه شد. نتایج پژوهش حاکی از وجود ارتباط مستقیم و معنی‌دار بین فازهای مثبت و منفی شاخص‌ها با گردوغبار (به‌جز ایستگاه دزفول) در فاز مثبت OMI و فاز منفی RMM است. بیشترین میزان ضریب همبستگی مربوط به ایستگاه بندر ماهشهر و دزفول بین ۰/۷۷ – ۰/۷۲ در فاز مثبت شاخص RMM است. ارتباط بین نوسان مادن جولیان با گردوغبار نشان داد بین ۵۱ تا ۵۹ درصد توفان‌های گردوغبار استان خوزستان در فاز منفی شاخص OMI و ۴۰ تا ۴۹ درصد آن نیز در فاز مثبت شاخص OMI اتفاق افتاده است. در شاخص RMM نیز ۵۶ تا ۶۳ درصد رخداد توفان‌های گردوغبار مربوط به فاز منفی آن و ۳۷ تا ۵۰ درصد نیز مربوط به فاز مثبت آن است. فاز منفی شاخص RMM، درصد بیشتری از رخداد توفان‌های گردوغباری را نسبت به فاز منفی شاخص OMI به خود اختصاص داده است. طبق نتایج آزمون مونت‌کارلو، جابجایی فازهای مثبت و منفی شاخص RMM به‌گونه‌ای معنی‌دار رخداد توفان‌های گردوغبار را برای بیشتر ایستگاه‌های استان خوزستان در پی دارد. رهگیری مسیرهای ورود گردوغبار به استان خوزستان با مدل HYSPLIT نشانگر حرکت ذرات از عراق، عربستان و قسمت‌های شرقی سوریه به سمت استان خوزستان است.

استناد: وطن‌پرست قلعه‌جوق، فاطمه؛ صلاحی، برومند؛ و زینالی، بتول (۱۴۰۴). بررسی نقش نوسان مادن- جولیان بر فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار استان خوزستان و ردیابی مسیرهای ورود گردوغبار به آن. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۷)، ۲۱۷-۱۹۸. http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.77.18

CC BY NC

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.
© نویسندگان.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

مقدمه

گردوغبار یکی از جدی‌ترین مشکلات جوی و زیست‌محیطی است و همه‌ساله آثار زیانباری به دنبال دارد (فرج زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ دراکسلر و هیس[1]، ۱۹۹۸). فراوانی توفان‌های گردوغبار، رابطه نزدیکی با شرایط اقلیم محلی نظیر بارش، دما و ویژگی‌های سطحی زمین مانند پوشش گیاهی و بافت خاک دارد (سان[2] و همکاران، ۲۰۰۳؛ میلر[3] و همکاران، ۲۰۰۴؛ گریفن[4]، ۲۰۰۷). سرعت باد، مؤلفه مهم دیگری برای تولید و حمل گردوغبار است (کوروساکی و میکامیل[5]، ۲۰۰۳). این پدیده یکی از چالش‌های زیست‌محیطی به وجود آمده در منطقه خاورمیانه و ایران در سال‌های اخیر است (فلاح زرولی و همکاران، ۱۳۹۳).

پدیده مادن جولیان[6] بزرگ‌ترین عنصر تغییرپذیری درون فصلی مناطق حاره‌ای است (باند و ویچی[7]، ۲۰۰۳). شاخص‌های مختلفی برای کمی کردن این پدیده ارائه شده است: شاخص OMI[8] که فقط متغیر تابش خروجی موج بلند را در نظر می‌گیرد و توسط کیلادیس و همکارانش در سال ۲۰۱۴ به وجود آمده است. در واقع OMI (PC2) مشابه RMM (PC1) بوده و (OMI PC1) نیز مشابه RMM (PC2) است (کیلادیس و همکاران، ۲۰۱۴). شاخص RMMI که ویلر و هندون (۲۰۰۴) این نمایه را بر مبنای دو مؤلفه (PC1 و PC2) تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCs) متغیرهای تابش خروجی موج بلند، بادهای غرب سو در ۵ درجه شمالی تا ۵ درجه جنوبی در سطوح هم‌فشار ۸۵۰ و ۲۰۰ میلی بار مناطق استوایی محاسبه کردند (عالم زاده و همکاران، ۱۳۹۲). سری زمانی این نمایه از تحلیل چند متغیره[9] این عوامل اقلیمی تولید و به‌صورت دو سری زمانی شامل RMM۱ و RMM۲ محاسبه می‌شود (قائد امینی و گلکار، ۱۳۹۰؛ سبزی پرور و نادری مقدم، ۱۳۹۳؛ سید نژاد گل ختمی و همکاران، ۱۳۹۸). معمولاً برای ردیابی مادن جولیان و اینکه در کدام‌یک از مراحل تشکیل، تقویت یا تضعیف است از شاخص RMM1 استفاده می‌شود. با توجه به جایگاه جغرافیایی هسته همرفت ناشی از نوسان مادن جولیان، این پدیده به ۸ فاز قسمت‌بندی می‌شود که طول عمر هر فاز بین ۴ تا ۱۰ روز است. در فاز ۱ و ۸، هسته همرفت بر روی قسمت‌هایی از قاره آفریقا و غرب اقیانوس هند، فاز ۲ و ۳، بر روی اقیانوس هند، فاز ۴ و ۵ بر روی اندونزی و قاره دریایی و فاز ۶ و ۷ بر روی نیمه غربی اقیانوس آرام قرار می‌گیرد (رزقی جهرمی و همکاران، ۱۳۹۸). به‌منظور درک بهتر شرایط منطقه‌ای از طوفان‌های گردوغبار و روند جابجایی آن‌ها مطالعات فراوانی انجام شده است: شان[10] و همکاران (۲۰۱۱) تأثیر نوسان مادن – جولیان بر کیفیت هوای سانتیاگو شیلی را بررسی کردند و نتایج نشان داد که فازهای مختلف مادن - جولیان بر کیفیت هوای شهر نقش اساسی دارد. بررسی تأثیر انسو[11] بر فعالیت توفان گردوغبار در استرالیا از پژوهش‌های پودمنزکی[12] و همکاران (۲۰۱۱) است. راگزدیل[13] و همکاران (۲۰۱۳) تغییرپذیری ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر[14] در سانتیاگو شیلی را بر اساس فازهای نوسان مادن جولیان بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که بیشترین غلظت با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر در طول فاز ۴ روی می‌دهد. گوا[15] و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات گردوغبار و آئروسل در اقیانوس اطلس گرمسیری را در ارتباط با نوسان مادن جولیان برحسب مشاهدات مودیس[16] و ام آی اس آر[17] بررسی کردند. تقرید[18] و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر نوسان ال نینو-جنوبی بر توفان‌های گردوغبار ۸ ایستگاه عراق را در دوره آماری ۲۰۱۶- ۱۹۷۱

1. Draxler and Hess
2. Sun
3. Miller
4. Griffin
5. Kurosaki and Mikami
6. Madden- Julian Oscillation
7. Bond and Vecchi
8. OLR MJO Index
9. Multivariate
10. Sean
11. El Niño Southern Oscillation
12. Pudmenzky
13. Ragsdale
14. Particulate Matter (PM۱۰)
15.Guo
16. Moderate Resolution Spectrometer
17. Multi- angle Imaging SpectroRadiometer
18.Tagreed

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

مورد تجزیه‌وتحلیل قراردادند و نتایج نشان داد که بین توفان‌های گردوغبار و نوسان ال نینو-جنوبی رابطه منفی وجود دارد. این همبستگی به این معنی است که فراوانی زیاد توفان‌های گردوغبار با لانینا در ارتباط است، درحالی‌که توفان‌های گردوغبار کم در طول رویداد ال نینو رخ می‌دهد.

لی[۱۹] و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر نوسانات النینو-جنوبی (انسو)، بر گردوغبار سطحی در مناطق مختلف را در دوره آماری (۲۰۱۹-۱۹۸۲) ارزیابی کردند و نتایج نشان داد که غلظت گردوغبار با نوسان جنوبی[۲۰] ارتباط مثبت دارد و لانینا با افزایش غلظت گردوغبار و رویدادهای ال نینو با کاهش غلظت گردوغبار همراه است. یانگ[۲۱] و همکاران (۲۰۲۲) تأثیر النینو بر گردوغبار چین را در طول فصل زمستان و بهار بررسی کردند و نتایج پژوهش نشان داد که در دوره النینو گردوغبار در شمال چین افزایش می‌یابد. عطیه و برایان[۲۲] (۲۰۲۰) در پژوهشی به تحلیل محل عبور گردوغبار به عراق با مدل (شناسایی مسیر توفان‌های گردوغبار)[۲۳] پرداختند و به این نتیجه رسیدند توفان‌های گردوغبار از کویر سوریه، صحرای آفریقای شمالی، زمین‌های خشک در جنوب غربی ترکیه و جنوب غربی ایران سرچشمه می‌گیرند. بائو[۲۴] و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل شناسایی مسیر توفان‌های گردوغبار به مسیریابی توفان گردوغبار در چین و مغولستان از مارس تا ژوئن ۲۰۲۰- ۲۰۱۶ پرداخته‌اند و یافته‌ها نشان داد منابع توفان گردوغبار در مناطق خشک داخلی مانند صحرای تاکلاماکان و صحرای بداین جران و صحرای گبی متمرکز شده‌اند. عالی پور (۱۳۹۵) اثر الگوهای دور پیوند بر دگرگونی زمانی – مکانی کثرت توفان گردوغبار در ایران را طی دوره آماری ۱۹۶۶ تا ۲۰۱۵ بررسی و نتیجه گرفتند که ناهنجاری انسو بیشتر از سایر الگوها بر فراوانی روزهای غباری در ایران تأثیر دارد.

جاوید نیا (۱۳۹۹) رابطه توفان‌های گردوغبار با شاخص‌های پیوند از دور نوسان چند دهه‌ای اقیانوس آرام[۲۵]، نوسان دهه‌ای دمای شمال اقیانوس آرام[۲۶]، نوسان شمالگان[۲۷]، اقیانوس اطلس شمالی[۲۸] و NINO4.3 را طی دوره آماری (۲۰۱۷ – ۱۹۸۸) در استان کرمان ارزیابی کرده و نشان داد که الگوهای نوسان شمالگان و نوسان چند دهه‌ای اقیانوس آرام بیشترین تأثیر را بر گردوغبار در استان دارند. انصاری قوجقار و همکاران (۱۴۰۰) اثر فاز گرم رخداد انسو بر تشکیل توفان‌های گردوغباری در ۱۲ ایستگاه همدیدی استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان را در دوره آماری (۲۰۱۹– ۱۹۸۰) سنجش نمودند و نتایج ارزیابی سیستم عصبی – فازی تطبیقی[۲۹] نشان داد که در زمان رخداد النینو در خوزستان و سیستان و بلوچستان به ترتیب ۳۳ و ۲۱ مورد مقادیر مشاهداتی پایین‌تر از مقادیر ارزیابی شده آن یادداشت شده است. پژوهشگران دیگری چون انصاری و جمشیدی (۱۳۹۷)، دانیالی و همکاران (۱۳۹۷)، انصافی مقدم (۱۳۹۸)، رضوی زاده و همکاران (۱۴۰۰) و عراقی زاده و مسعودیان (۱۴۰۰) با روش‌ها و مدل‌های مختلف به بررسی پدیده گردوغبار پرداخته‌اند. در چند سال اخیر کشور ایران به‌ویژه استان‌های واقع در جنوب غرب کشور مانند استان خوزستان شاهد افزایش قابل‌توجه وقوع پدیده گردوغبار بوده است (رنگزن و همکاران، ۱۳۹۳). هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر نوسان مادن جولیان بر فراوانی رخداد توفان گردوغبار طی یک دوره آماری ۳۴ ساله است که تاکنون مطالعه‌ای مبنی بر تأثیر آن بر گردوغبار ایران انجام نشده و اغلب پژوهش‌ها معطوف به تأثیر دور پیوندهای دیگر از قبیل انسو و نوسان اطلس شمالی است که ضرورت مطالعه اثرهای این شاخص بر گردوغبار و همچنین مسیرهای حرکت توده‌های گردوغبار به سمت استان خوزستان را می‌طلبد.

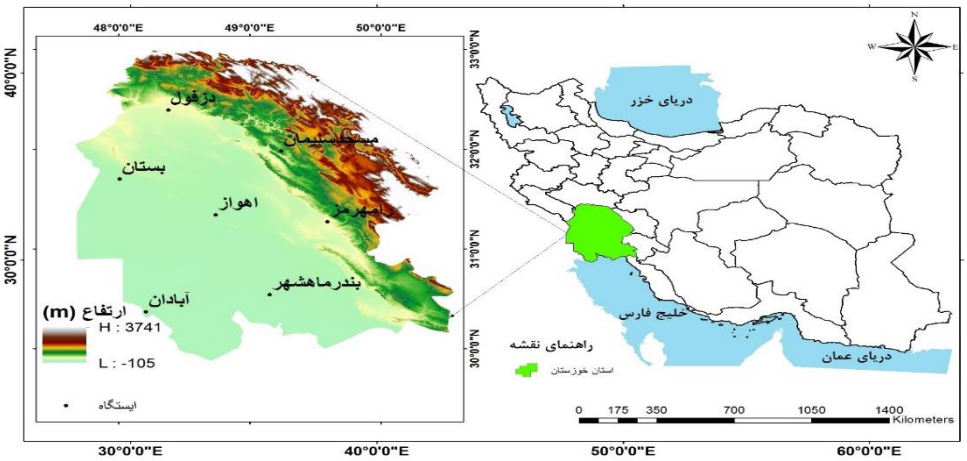
19. Li
20. Southern oscillation index
21. Yang
22. Attiya and Brian
23. Hybrid Single Particle Lagrangian integrated Trajectory Model (HYSPLIT)
24. Bao
25. Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO)
26. Pacific Decadal Oscillation (PDO)
27. Artic Oscillation (AO)
28. North Atlantic Oscillation (NAO)
29. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

روش‌شناسی

موقعیت منطقه موردمطالعه

استان خوزستان با مساحتی معادل ۶۴۲۳۴ کیلومترمربع بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی در جنوب غربی ایران قرارگرفته است (شکل ۱).



شکل (۱). جایگاه جغرافیایی منطقه موردپژوهش

داده و روش کار

داده نمایه مادن جولیان

در این پژوهش از دو شاخص OMI و RMM جهت بررسی ارتباط بین دور پیوند مادن جولیان با فراوانی رخداد گردوغبار به‌طور هم‌زمان و با تأخیر زمانی ۱۰ روزه استفاده شده است. برای ارزیابی کارایی نوسان مادن جولیان، از بزرگی نمایه[۳۰] استفاده می‌شود که با رابطه (۱) تعریف می‌شود (ویلر و هندون[۳۱]، ۲۰۰۴):

$$Amplitude = \sqrt{RMM_1^2 + RMM_2^2}$$ رابطه (۱).

هنگامی‌که بزرگی نمایه در هر فاز بزرگ‌تر از یک یا مساوی یک باشد، به‌عنوان فاز قوی مادن جولیان و هنگامی‌که این نمایه کمتر از یک باشد، فاز ضعیف مادن جولیان به‌حساب می‌آید (پای[۳۲] و همکاران، ۲۰۱۱). یک چرخه کامل این پدیده دربرگیرنده ۴ فاز مثبت (فازهای ۳، ۴، ۵ و ۶) و ۴ فاز منفی (۱، ۲، ۷ و ۸) می‌باشد (قائد امینی اسدآبادی و ناظم السادات، ۱۳۹۱). داده‌های مربوط به دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر و کد پدیده گردوغباری (۶، ۷، ۸، ۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳ و ۳۵) از بین ۰ تا ۹۹ کد بیان‌کننده هوای حاضر (گودی[۳۳]، ۲۰۰۶؛ مک تاینش و پیت بلادو[۳۴]، ۱۹۸۷) برای یک دوره آماری ۳۴ ساله (۲۰۲۱- ۱۹۸۷) از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید. در مرحله بعد با استفاده از داده‌های وبگاه مرکز پژوهش هوا و اقلیم دولت استرالیا (www.bom.gov.au/climate/mjo/) تأثیر نوسان مادن جولیان بر ایجاد شرایط مساعد جهت وقوع توفان‌های گردوغبار در ۷ ایستگاه منتخب استان خوزستان (آبادان، اهواز، بستان، بندر ماهشهر، دزفول، رامهرمز و مسجدسلیمان) موردپژوهش و بررسی قرار گرفت. همه داده‌ها برای ۶ ماه گرم سال از آوریل تا سپتامبر (بهار و تابستان) مرتب شد و برای مقایسه پذیر بودن داده‌های مربوط به گردوغبار با دور پیوند مادن جولیان (محمودی، ۱۳۹۴). داده‌های گردوغبار مطابق با رابطه (۲) استانداردسازی شد:

30. Amplitude
31. Wheeler and Hendon
32. Pai
33. Goudie
34. McTanish and Pitblado

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

$$z = \frac{(X_i - \bar{X})}{\delta}$$ رابطه (۲).

که در رابطه فوق، z نمره استانداردشده گردوغبار (دید افقی)، میانگین گردوغبار برای هرماه، دید افقی روز موردنظر در طی دوره آماری و انحراف از معیار ماه موردنظر است. داده‌های نرمال شده فصل بهار و تابستان به‌عنوان متغیر وابسته و داده‌های نوسان مادن جولیان به‌عنوان متغیر مستقل وارد محیط نرم‌افزار Spss شد و ضرایب همبستگی پیرسون بین گردوغبار ۶ ماه سال در هر ایستگاه و دور پیوند نوسان مادن جولیان محاسبه شد و نتایج حاصل از آن وارد محیط اطلاعات جغرافیایی (GIS) شد و خروجی آماره‌ها با اعمال روش درون‌یابی معکوس فاصله[۳۵] به نقشه پهنه‌بندی تبدیل شد. فرض اساسی این روش بدین‌صورت است که میزان همبستگی و تشابه بین همسایه‌ها با فاصله بین آن‌ها متناسب باشد (دارند، ۱۳۹۳).

در ادامه کار از آزمون مونت‌کارلو برای ارزیابی اختلاف معنی‌دار آماری در میانگین گردوغبارهای ۶ ماه گرم سال ایستگاه‌ها استفاده شد. این آزمون یک روش توسعه‌یافته از آزمون من– ویتنی در مورد سه گروه یا بیشتر مانند تحلیل واریانس یک طرفه[۳۶] در مورد داده‌های ناپارامتری است (کروسکال و والیس[۳۷]، ۱۹۵۲). هسته اصلی هر روش مدل‌سازی تصادفی یا مونت‌کارلو بر مبنای استفاده مداوم از اعداد تصادفی است (متروپولیس و الام[۳۸]، ۱۹۴۹؛ غیاث، ۱۳۹۳). در این روش به شکل تصادفی یکی از رویدادهای ترکیبی یا جایگزینی انتخاب‌شده و با کاربرد تاریخ اولیه آن، زمان جدیدی برای آن واقعه ساخته می‌شود تا این مراحل تکرارشونده به شمار دسته‌های اصلی برسد. در هر نقطه مشخص، هرگاه ناهنجاری بزرگ‌تر از ۹۷۵ از مقدار ۱۰۰۰ شود، در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار تعریف می‌شود.

در مرحله سوم جهت ردیابی مسیرهای ورود گردوغبار به استان خوزستان از مدل شناسایی مسیر توفان‌های گردوغبار، ذرات گردوغبار در سه سطح ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین در حدفاصل زمانی ۶ ساعت قبل از ورود گردوغبار از نوع ردیابی رو به عقب[۳۹] ذرات استفاده شد که مدلی دوگانه برای محاسبات خط سیر حرکت گردوغبار است (دراکسلر و همکاران، ۲۰۰۹). روش محاسبه مدل، ترکیبی میان دیدگاه‌های اویلری و لاگرانژی است (یارمرادی و همکاران، ۱۳۹۸) (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴) (شان[۴۰] و همکاران، ۲۰۰۹). مسیرهای برگشت مسیر لاگرانژی بسته هوا را نشان می‌دهد. جهت بررسی صحت این مدل از تصاویر ماهواره‌ای دریافت شده از وبگاه سازمان ناسا، ماهواره آکوا[۴۱] سنجنده مودیس با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر مربوط به‌روزهای گردوغباری انتخابی، نیز استفاده شد. به علت فراوانی وقوع روزهای توأم با گردوغبار، روزهای ۳ ژوئن سال ۲۰۱۱، ۱۴ جولای ۲۰۱۴ و ۵ می و ۱۷ ژوئن سال ۲۰۱۶ به علت مشترک بودن از لحاظ زمان وقوع گردوغبار در همه ایستگاه‌ها و هم از لحاظ وضعیت شاخص‌های موردبررسی نوسان مادن- جولیان در وضعیت فعال قرار داشته‌اند به‌عنوان نماینده همه روزها انتخاب و تصاویر آن‌ها جهت آشکارسازی گردوغبار از سایت (https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov) دریافت گردید. در ادامه پردازش‌های مربوط به تصحیحات رادیومتریکی و هندسی در محیط نرم‌افزار اِنوی[۴۲] صورت گرفت. تصاویر مودیس از لحاظ رادیانس طیفی به تصحیحات رادیومتریکی نیازی ندارند، فقط از لحاظ هندسی نیاز به تصحیح دارند. به‌منظور آشکارسازی توفان‌های گردوغبار در منطقه موردپژوهش؛ از شاخص زیر استفاده شد:

شاخص اختلاف دمای روشنی[۴۳]

35. Inverse Distance Weigghting (IDW)
36. One- Way ANOVA
37. Kurosaki and Mikami
38. Metropolis and Ulam
39. Backward
40. Shan
41. Aqua
42. The Environment For Visuaalizing Images (ENVI)
43. Brightness Temperature Difference (BTD)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

این شاخص در نتیجه اختلاف بین باندهای حرارتی ۳۲ و ۳۱ است که باند حرارتی ۳۲ دارای تابش و دمای پایین در ابر و تابش و دمای بسیار بالا در زمین بوده و میزان تابش گردوغبار بین این دو پدیده قرار دارد (زینالی، ۱۳۹۲). این شاخص از روابط (۳ تا ۵) به دست می‌آید:

$$BTD = B31 - B32$$ رابطه (۳).

$$BT\,31 = BT\,10.780 - 11.280\mu m$$ رابطه (۴).

$$BT\,32 = BT\,11.770 - 12.27\mu m$$ رابطه (۵).

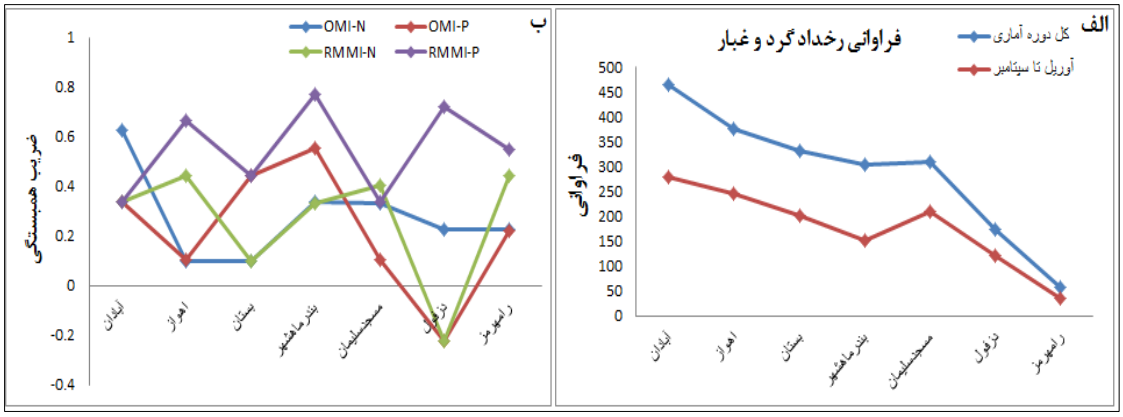
در این رابطه، $BT\,31$ دمای درخشندگی باند ۳۱ (طول‌موج یازده میکرومتر) و $BT\,32$ دمای درخشندگی باند ۳۲ (طول‌موج دوازده میکرومتر) است (می[44] و همکاران، ۲۰۰۸). نقشه‌های مربوط به عمق نوری هواویزها[45] با تفکیک مکانی ۰/۱ در ۰/۱ درجه در دوره زمانی ۱۲ ساعته از سایت (http://dust.aemet.es/forecast//) برای تاریخ‌های موردبررسی دریافت شد.

نتایج و بحث

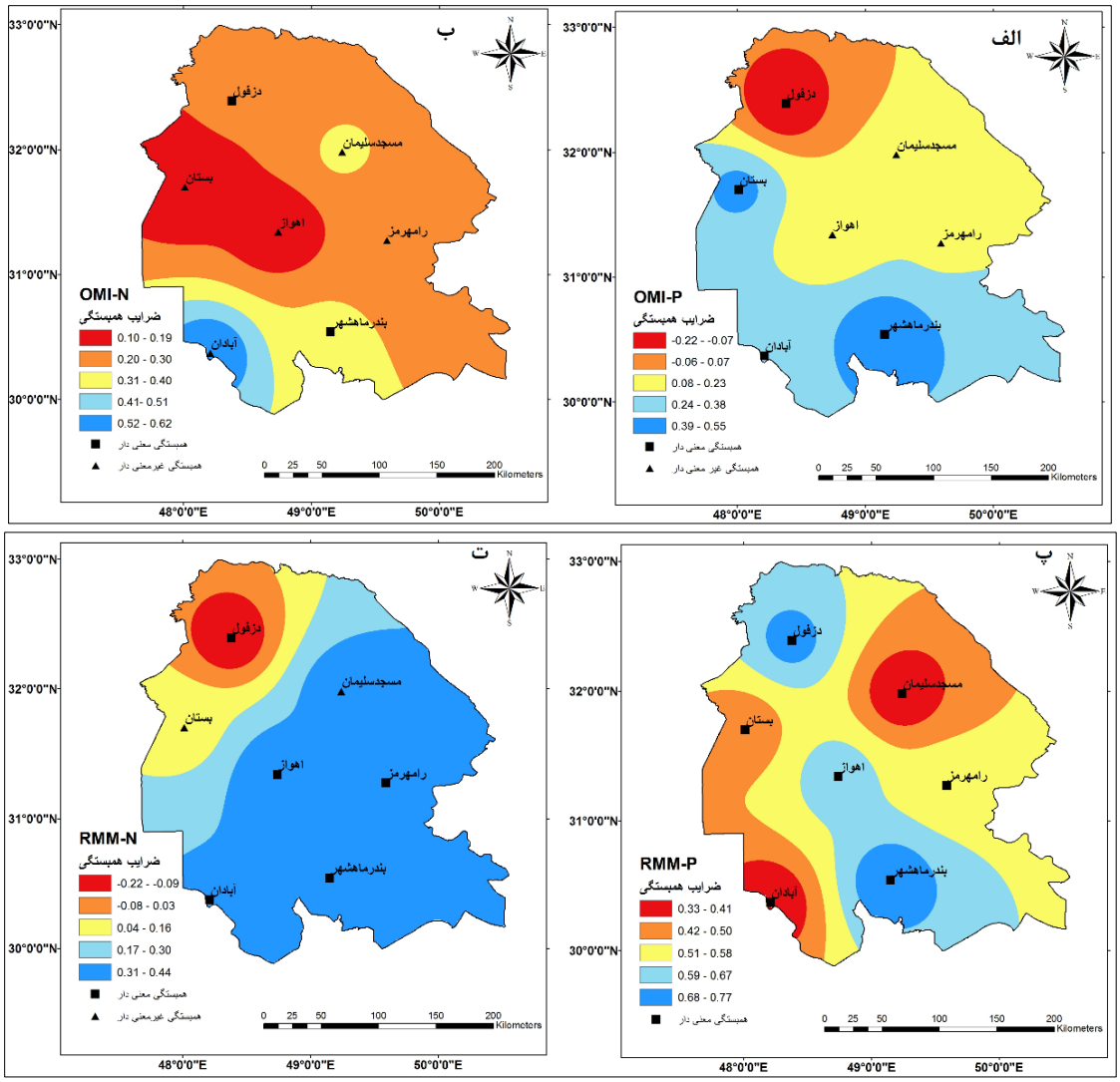
شکل (الف-۲) فراوانی وقوع توفان‌های گردوغباری را برای دوره موردپژوهش نشان می‌دهد همان‌طور که مشخص هست ماه‌های آوریل تا سپتامبر تعداد بیشتری از فراوانی کل روزهای دارای گردوغبار را شامل می‌شوند. شکل (ب- ۲) و (۳) به‌منظور بررسی رابطه بین گردوغبار و تحلیل همبستگی جهت تعیین اثر نوسان مادن جولیان در کنترل فراوانی رخداد گردوغبار ماه‌های آوریل تا سپتامبر ۷ ایستگاه آبادان، اهواز، بستان، بندر ماهشهر، دزفول، رامهرمز و مسجدسلیمان واقع در استان خوزستان طراحی‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در فاز مثبت شاخص OMI تنها ایستگاه دزفول با ضریب همبستگی معکوس و معنی‌دار ۰/۲۲- (کاهش گردوغبار) ظاهرشده و بقیه ایستگاه‌ها در این فاز ضرایب همبستگی مثبت را بین ۰/۲۳ تا ۰/۵۵ به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین ضریب همبستگی مثبت با مقدار ۰/۵۵ مربوط به ایستگاه بندر ماهشهر می‌باشد که در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است. در فاز منفی شاخص OMI بین همه ایستگاه‌ها همبستگی از نوع مثبت دیده می‌شود که این همبستگی تنها در ایستگاه دزفول و بندر ماهشهر معنی‌دار می‌باشد و بیشترین ضریب همبستگی نیز در ایستگاه آبادان با ۰/۶۲ و کمترین آن نیز با مقدار ۰/۱۰ در ایستگاه اهواز و بستان قابل‌مشاهده است. ضریب همبستگی در فاز مثبت شاخص RMM، در همه ایستگاه‌ها مثبت و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. بیشترین میزان این همبستگی مربوط به ایستگاه بندر ماهشهر و دزفول به ترتیب با مقدار ۰/۷۷ و ۰/۷۲ و کمترین آن نیز برای ایستگاه آبادان و مسجدسلیمان با مقدار ۰/۳۳ درصد هست. در فاز منفی شاخص RMM نیز در ایستگاه دزفول بین فراوانی گردوغبار با شاخص موردبررسی ارتباط همبستگی معکوس برقرار بوده و بیشترین مقدار همبستگی مثبت مربوط به ایستگاه‌های اهواز، رامهرمز و مسجدسلیمان با مقدار بین ۰/۴۴ تا ۰/۴۰ قابل‌مشاهده است.

44. Mei
45. Aerosol Optical Depth (AOD)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]



شکل (۲). الف- فراوانی توفان گردوغبار در دوره (۲۰۲۱-۱۹۸۷). ب- ضریب همبستگی فازهای مثبت و منفی شاخص OMI و RMM منبع: نگارندگان

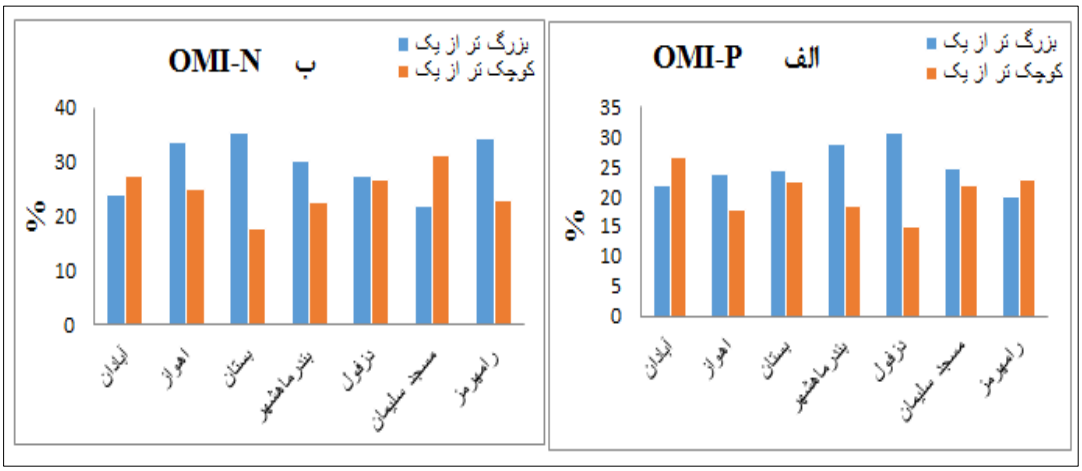


شکل (۳). نقشه ضریب همبستگی بین فازهای مثبت شاخص OMI و RMM با گردوغبار ۶ ماه گرم سال ایستگاه‌های منتخب استان خوزستان منبع: نگارندگان

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

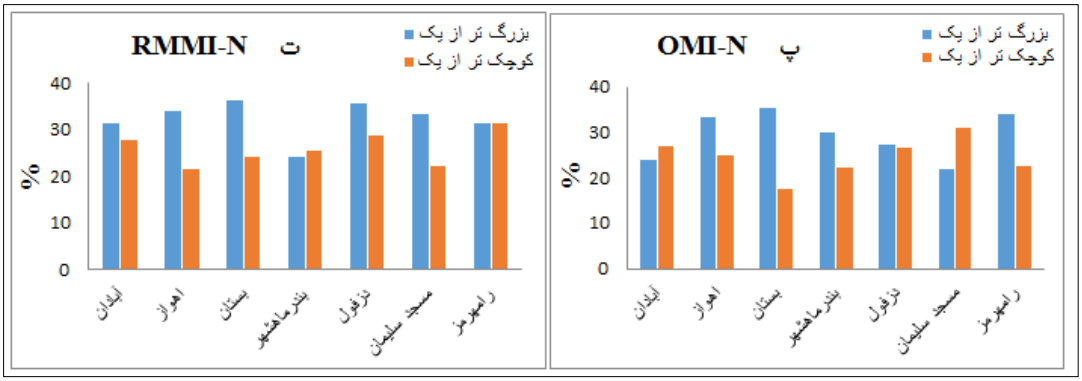
ارتباط نوسان مادن جولیان با گردوغبار ۶ ماه گرم سال

شکل (۴)، درصد فراوانی وقوع گردوغبار برحسب دید افقی زیر ۱۰۰۰ متر و کدهای (۶، ۷، ۸، ۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵) ماه‌های آوریل، می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر دوره آماری (۲۰۲۱ – ۱۹۸۷) را برای ۷ ایستگاه منتخب استان خوزستان نشان می‌دهد. در این مرحله نخست نسبت تعداد روزهای فراوانی وقوع گردوغبار در زمانی که شاخص‌های OMI و RMM در حالت فعال و ضعیف خود می‌باشد را بر تعداد کل روزهای وقوع توفان گردوغبار محاسبه کردیم. بر این اساس در فاز مثبت شاخص OMI بیشترین احتمال وقوع توفان گردوغبار در ایستگاه دزفول با ۳۱ درصد در زمانی اتفاق افتاده که شاخص در وضعیت فعال خود قرار داشته و شدت و قدرت آن برحسب میزان (امپلیتیود) برابر یا بزرگ‌تر از یک بوده است و کمترین رخداد گردوغبار در ایستگاه دزفول با ۱۵ درصد بوده که در این حالت شاخص در وضعیت ضعیف و غیرفعال خود بوده و شدت (امپلیتیود) آن کوچک‌تر از یک بوده است. در فاز منفی شاخص OMI، بیشترین سهم شاخص در وقوع گردوغبار مربوط به ایستگاه بستان و رامهرمز به ترتیب با ۳۶ و ۳۴ درصد متعلق به زمانی است که این شاخص در حالت فعال خود بوده و کمترین درصد احتمال وقوع مربوط به ایستگاه بستان با ۱۷ درصد در حالت غیرفعال این شاخص بوده است. هنگامی‌که شاخص RMM در فاز مثبت بوده ۳۰ درصد توفان‌های گردوغباری در ایستگاه دزفول در حالت فعال شاخص ویلر و هندون بوده و تنها ۱۴ درصد از رخداد توفان‌ها در ایستگاه‌های دزفول و رامهرمز در زمان غیرفعال و حالت ضعیف این شاخص به وقوع پیوسته است. در فاز منفی شاخص RMM، ۳۷ و ۳۳ درصد رخداد گردوغبار در ایستگاه‌های بستان و مسجدسلیمان در زمانی اتفاق افتاده که شاخص در حالت فعال خود بوده و قدرت و شدت آن زیاد بوده و کمترین رخداد با ۲۱ درصد درزمانی رخداده که شدت (امپلیتیود) آن کوچک‌تر از یک بوده و در ایستگاه اهواز اتفاق افتاده است. نتایج حاصل از مقایسه‌های مذکور را می‌توان این‌گونه مطرح کرد که رویداد نوسان مادن جولیان به‌صورت قوی و با فاز منفی شرایط مساعدتری را برای وقوع توفان‌های گردوغباری فراهم کرده است و در حالت فعال شاخص‌ها رخداد توفان‌های گردوغبار حدود ۱۵ درصد بیشتر از حالت ضعیف و غیرفعال آن‌ها بوده است. مطابق شکل (۵) بین ۵۱ تا ۵۹ درصد توفان‌های گردوغبار در فاز منفی شاخص OMI و ۴۰ تا ۴۹ درصد نیز در فاز مثبت این شاخص رخداده است. درصورتی‌که در شاخص RMM، ۵۶ تا ۶۳ درصد رخداد توفان‌های گردوغباری مربوط به فاز منفی آن بوده و بین ۳۷ تا ۵۰ درصد نیز در فاز مثبت مشاهده شده است. به‌طورکلی می‌توان گفت که فاز منفی شاخص RMM، درصد بیشتری از رخداد توفان‌های گردوغباری را نسبت به فاز منفی شاخص OMI به خود اختصاص می‌دهد. همان‌طور که شکل (پ و ت- ۵) نشان می‌دهد در تأخیر زمانی ۱۰ روزه نیز همانند اثر هم‌زمان درصد فراوانی وقوع در فاز منفی OMI بیشتر از فاز مثبت آن و برابر با حدود ۵۲ درصد نسبت به ۴۸ درصد از فاز مثبت آن بوده است. همچنین ۵۹ درصد وقوع توفان گردوغبار در فاز منفی شاخص RMM برای ایستگاه رامهرمز ملاحظه شده است که این مقدار در فاز مثبت برابر با ۴۱ درصد بوده است.

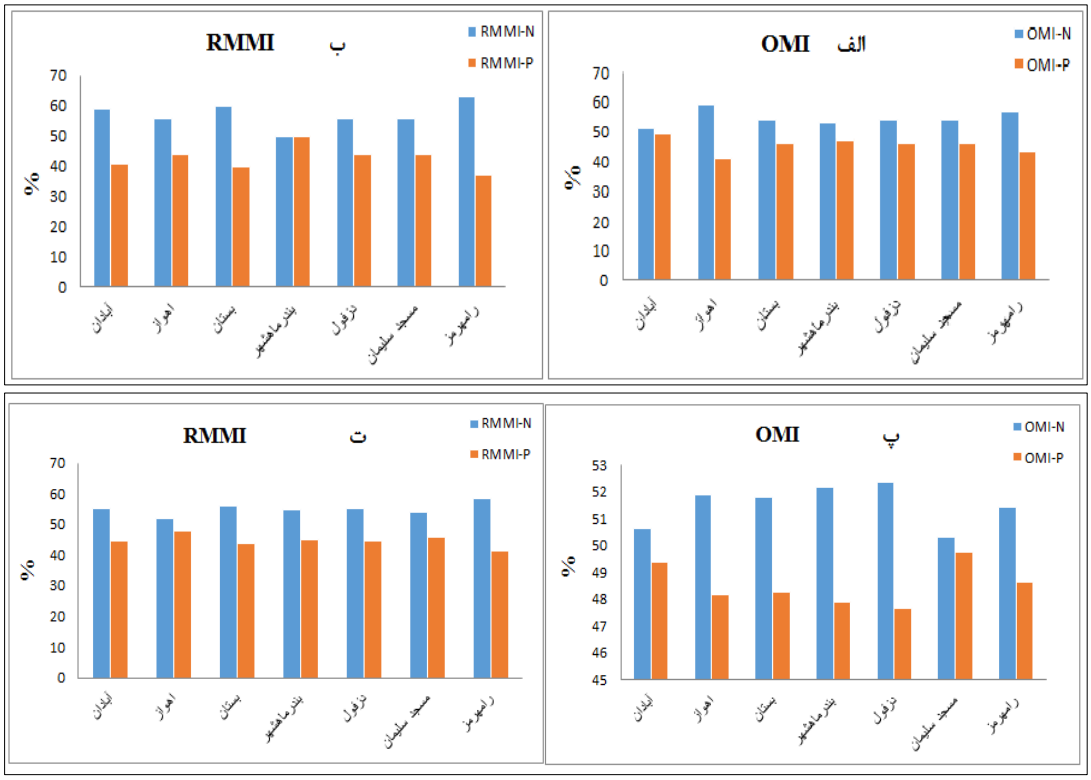


[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]



شکل (۴). درصد فراوانی وقوع گردوغبار در فازهای مثبت و منفی حالت‌های فعال و ضعیف شاخص OMI و RMM نوسان مادن جولیان منبع: نگارندگان



شکل (۵). درصد فراوانی وقوع گردوغبار در فازهای مثبت و منفی شاخص OMI و RMM به‌صورت هم‌زمان و با تأخیر زمانی ۱۰ روزه
منبع: نگارندگان

جدول (۱)، یافته‌های آزمون مونت‌کارلو برای ارزیابی اختلاف معنی‌دار در میانگین گردوغبار استاندارد شده را به نمایش می‌گذارد. میانگین‌های گردوغبار طبق شاخص OMI در ایستگاه‌های اهواز و دزفول بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد و در ایستگاه بستان با ۹۵ درصد اطمینان بوده و در بقیه ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و مطابق با شاخص RMM، ایستگاه‌های دزفول و مسجدسلیمان بدون اختلاف معنی‌دار بوده‌اند و باقی ایستگاه‌ها با اطمینان ۹۹ درصد دارای اختلاف معنی‌دار در میانگین گردوغبار بوده‌اند. به‌بیان‌دیگر جابجایی فازهای مثبت و منفی شاخص RMM، به‌گونه‌ای معنی‌دار رخداد توفان‌های گردوغبار را برای بیشتر ایستگاه‌های استان خوزستان در پی دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

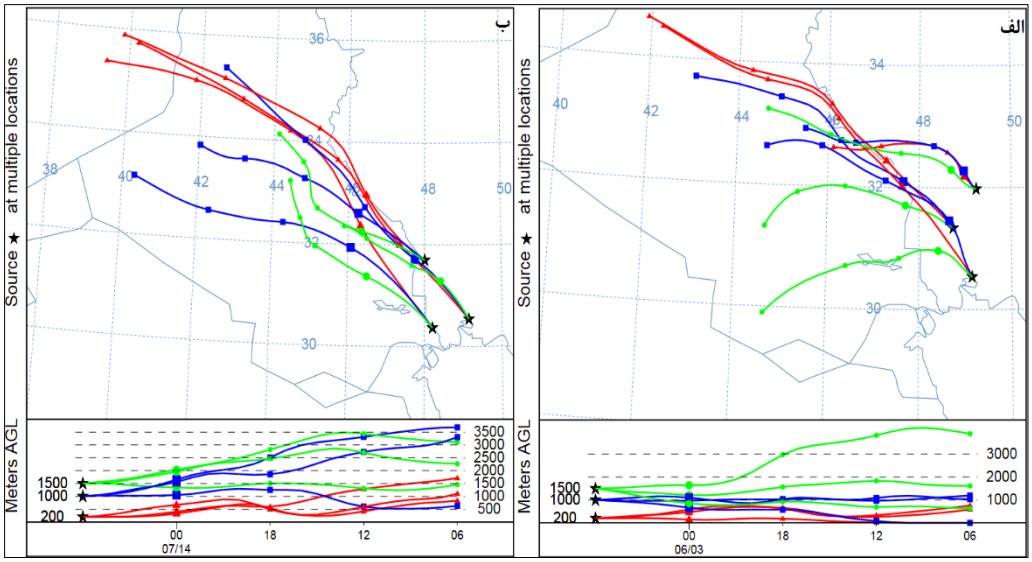
جدول (۱). نتایج به‌کارگیری آزمون مونت‌کارلو برای بررسی معنی‌داری آماری اختلاف میانگین‌های گردوغبار در فازهای مثبت و منفی شاخص OMI و RMM

ایستگاه	آزمون مونت‌کارلو شاخص OMI	آزمون مونت‌کارلو شاخص RMM
آبادان	۰/۲۶۴	۰/۰۱۹
اهواز	۰/۰۱۵	۰/۰۱۲
بستان	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰
بندر ماهشهر	۰/۲۳۵	۰/۰۱
دزفول	۰/۰۵	۰/۴۰۹
رامهرمز	۰/۰۹۷	۰/۰۱۱
مسجدسلیمان	۰/۱۶۸	۰/۴۶۸

اشکال (۶ و ۷)، مسیرهای ورود گردوغبار به ایستگاه‌های خوزستان در چهار روز انتخابی از ۳۴ سال موردپژوهش برحسب وضعیت فعال (جدول ۲) شاخص مادن- جولیان را با مدل HYSPLIT نشان می‌دهد. برای سنجش دقت رهیابی حرکت ذرات که توسط مدل پیش‌بینی شده است از تصاویر ماهواره‌ای هم استفاده شد. سازوکار اصلی انتقال ذرات گردوغبار به پهنه موردپژوهش، حدفاصل بین کشورهای عراق، عربستان و بخش‌های شرقی سوریه بوده است. مسیرهای انتقال ذرات در سطوح ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری تابعی مسیر و جهت حرکت باد غربی بوده است. هرچه زمین صاف‌تر و رطوبت خاک کم باشد و خشکی هوا افزایش یافته و امکان رخداد طوفان‌های گردوغباری نیز بیشتر می‌شود.

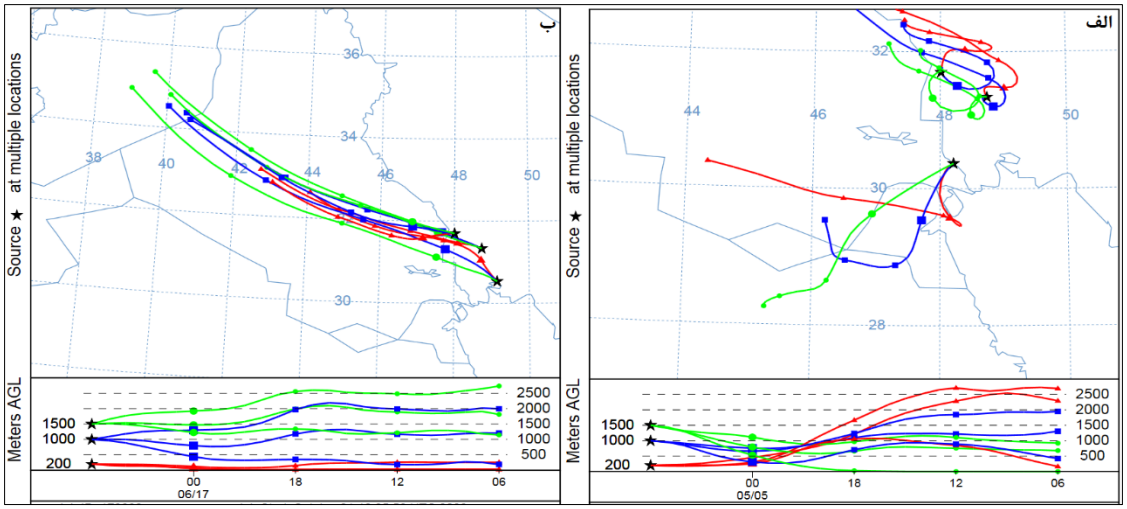
جدول (۲). وضعیت شاخص مادن جولیان در روزهای انتخابی

تاریخ وقوع گردوغبار	۳ ژوئن ۲۰۱۱	۱۴ جولای ۲۰۱۴	۵ می ۲۰۱۶	۱۷ ژوئن ۲۰۱۶
شدت شاخص OMI	۱/۲۵	۱/۰۹	۱	۱/۰۶
شدت شاخص RMM	۱/۰۳	۱/۰۲	۱/۱۵	۲/۱۱
شماره فاز شاخص OMI	۵	۵	۲	۳
شماره فاز شاخص RMM	۵	۶	۱	۲



شکل (۶). نقشه ردیابی ذرات گردوغبار مدل HYSPLIT الف) روز ۳ ژوئن ۲۰۱۱ و ب) ۱۴ جولای ۲۰۱۴ منبع: نگارندگان

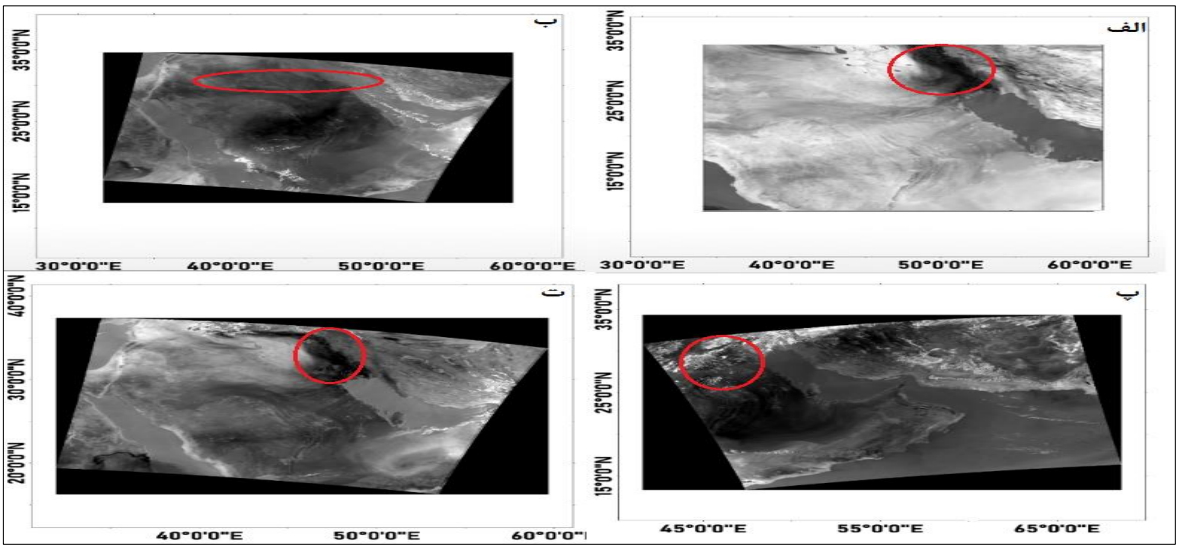
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]



شکل (۷). نقشه ردیابی ذرات گردوغبار مدل HYSPLI ۵ می و ۱۷ ژوئن ۲۰۱۶ منبع: نگارندگان

پایش تصاویر ماهواره‌ای

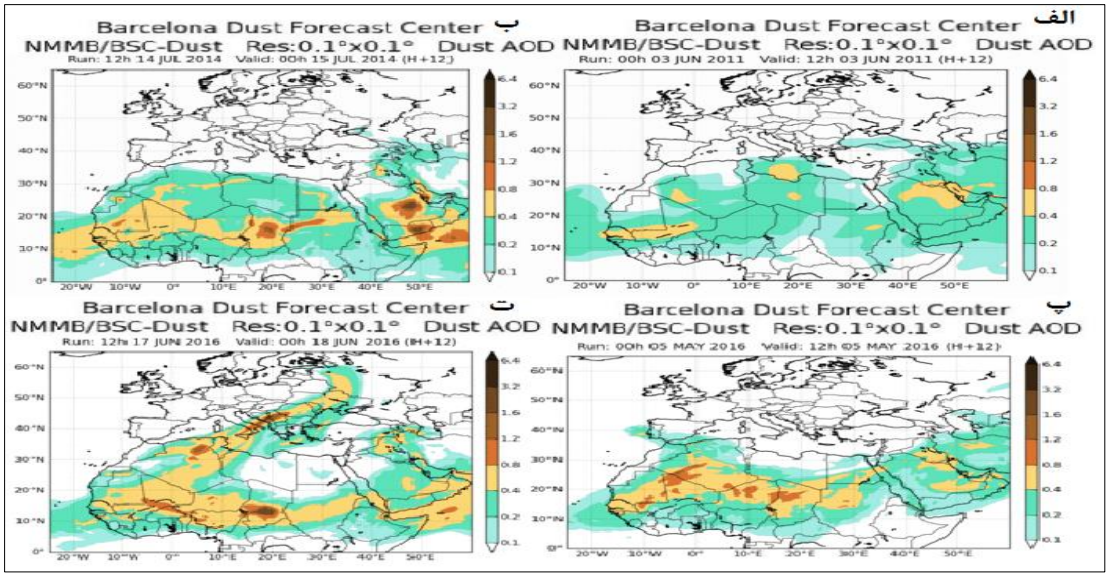
به‌منظور پایش مسیر حرکت توفان گردوغبار و بررسی رفتار آن از سنجنده مودیس استفاده شد. بررسی نقشه‌های مربوط آن نشان داد این پدیده در روزهای ۳ ژوئن سال ۲۰۱۱، ۱۴ جولای سال ۲۰۱۴ و ۱۷ ژوئن سال ۲۰۱۶ ابتدا بر فراز عراق و قسمت‌های شرقی سوریه شکل‌گرفته و در حال حرکت به سمت ایران بوده و پس از عبور از مرزهای غربی و جنوب غربی ایران بر روی خوزستان واقع شده و در روز ۵ می ۲۰۱۶ نیز مرکز گردوغبار بر فراز عربستان قرار گرفته و گردوغبار در خلیج‌فارس و خوزستان را تشدید کرده است (شکل الف، ب، پ و ت ۸).



شکل (۸). محدوده شکل‌گیری و گسترش گردوغبار در تاریخ ۳ ژوئن ۲۰۱۱، ۱۴ جولای ۲۰۱۴، ۵ می و ۱۷ ژوئن ۲۰۱۶ منبع: نگارندگان

نقشه‌های مربوط به پیش‌بینی عمق نوری آئروسل‌ها با تفکیک مکانی ۰/۱ در ۰/۱ درجه بیانگر شکل‌گیری این پدیده بر روی عراق و عربستان بود که با نفوذ به مرزهای غربی و جنوب غربی کشور، استان خوزستان را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد شکل (۹).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]



شکل (۹). نحوه توزیع هواویزها بر اساس عمق نوری هواویز منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

جهت بررسی اثر نوسان مادن جولیان بر فراوانی رخداد توفان‌های گردوغبار ۷ ایستگاه منتخب در استان خوزستان، روزهای دارای گردوغبار مطابق با دید افقی زیر ۱۰۰۰ متر و کدهای مربوط به گردوغبار طی دوره آماری ۳۴ ساله مشخص شدند. سپس همبستگی بین شاخص‌های OMI و RMM با گردوغبار محاسبه شد و با بهره‌گیری از روش آماری مونت‌کارلو اختلاف معنی‌دار میانگین گردوغبار ۶ ماه (آوریل، می، ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر) بررسی شد. با توجه به این مباحث و نتایج حاصل از ارتباط بین فازهای مثبت و منفی شاخص‌های موردبررسی نمایان شد که به‌جز ایستگاه دزفول در شاخص OMI، در بقیه ایستگاه‌ها ارتباط مستقیم و معنی‌داری بین فازهای مثبت این شاخص‌ها با گردوغبار رخداده در طول این ۶ ماه برقرار بوده و بین فازهای منفی این شاخص‌ها با گردوغبار نیز به‌جز ایستگاه دزفول در شاخص RMM با همبستگی معکوس در باقی ایستگاه‌های موردبحث همبستگی از نوع مثبت بوده و بیشتر ایستگاه‌ها سطح ۹۹ درصد معنی‌داری را نشان می‌دهند.

نتایج آزمون مونت‌کارلو نشان داد به‌جز ایستگاه آبادان، مسجدسلیمان، بندر ماهشهر و رامهرمز در شاخص OMI و ایستگاه مسجدسلیمان و دزفول در شاخص RMM مابقی ایستگاه‌ها دارای اختلاف معنی‌دار آماری میانگین گردوغبار در طول ۶ ماه از سال می‌باشند. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از بررسی درصد فراوانی وقوع گردوغبار در فازهای مثبت و منفی شاخص‌های موردبحث، اثر شاخص‌های OMI و RMM، در میزان وقوع گردوغبار زمانی که قدرت و شدت آن‌ها بزرگ‌تر از یک یا مساوی با یک باشد و شاخص در حالت فعال خود به سر ببرد بیشتر از زمانی است که شدت آن‌ها کم بوده و به‌صورت ضعیف و غیرفعال باشند. در حالت کلی شاخص RMM در فاز منفی خود درصد بیشتری از فراوانی رخداد گردوغبار را نسبت به شاخص OMI به خود اختصاص می‌دهد و شاخص OMI نیز در فاز مثبت در حدود ۲ درصد بیشتر نسبت به شاخص RMM رخداد گردوغبار را شامل می‌شود. بیشترین درصد فراوانی وقوع گردوغبار را ایستگاه بستان با حدود ۳۶ درصد در فاز منفی هر دو شاخص و کمترین میزان آن را نیز ایستگاه دزفول با حدود ۱۴ درصد در فاز منفی هر دو شاخص دارا می‌باشد. در تأخیر زمانی نیز احتمال وقوع توفان گردوغبار بین ۳ درصد در شاخص OMI و ۱۱ درصد در شاخص RMM در فاز منفی نسبت به فاز مثبت بیشتر برآورد شده است. نتایج پژوهش یو و جینوکس[۴۶] (۲۰۲۱) در استرالیا نشان داد اوج فعالیت گردوغبار در طول فازهای ۲-۱ و فازهای ۳، ۴، ۵ و ۶ نوسان MJO و با فعالیت النینو همراه است. نتایج پژوهش فطرس و همکاران (۱۳۹۸) نیز بیانگر تأثیر بیشتر فازهای مثبت نوسان مادن جولیان بر رخداد آلودگی هوای کلان‌شهر تهران نسبت

46 -Yan and Ginoux

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

به فاز منفی آن است. رهگیری مسیرهای ورود گردوغبار به استان خوزستان با مدل HYSPLIT در سه سطح ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری نشانگر حرکت ذرات از قسمت‌های شرقی سوریه، عراق و عربستان به سمت محدوده موردپژوهش است. نتایج این پژوهش با پژوهش حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۷) و علیزاده و همکاران (۱۴۰۰) همسو است.

منابع

انصاری قوجقار، محمد؛ پورغلام آمیجی، مسعود؛ عراقی نژاد، شهاب؛ بابائیان، ایمان؛ لیاقت عبدالمجید؛ سلاجقه، علی (۱۴۰۰). تأثیر فاز گرم پدیده ENSO بر شکل‌گیری طوفان‌های گردوغبار در استان‌های خوزستان و سیستان و بلوچستان، *مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران*، ۴۷ (۲)، ۲۵۷-۲۷۱.https://doi.org/10.22059/jrwm.2020.310647.1533

انصاری، امیر؛ جمشیدی، رضا (۱۳۹۷). شناسایی چشمه‌ها و ردیابی مسیرهای ورود توفان‌های گردوغبار از منابع داخلی به کلان‌شهر اراک با استفاده از مدل HYSPLIT، *فصلنامه علوم محیطی*، ۱۶ (۱)، ۱۱۰-۱۰۱.

انصافی مقدم، طاهره (۱۳۹۸). بررسی شاخص عمق اپتیکی آئروسل (AOD) در رویدادهای گردوغبار در جنوب غربی ایران، *مجله طبیعت ایران*، ۵ (۶)، ۶۶-۵۵.https://doi.org/10.22092/irn.2021.123361

جاوید نیا، مرتضی (۱۳۹۹). واکاوی رابطه بین توفان‌های گردوغبار با شاخص‌های پیوند از دور در استان کرمان، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد آب و هواشناسی محیطی*، دانشکده پردیس علوم انسانی و اجتماعی دانشگاه یزد.

حجازی‌زاده، زهرا؛ طولابی نژاد، میثم؛ زارعی چقابلکی، زهرا؛ امرایی، بهزاد (۱۳۹۷). پایش طوفان گردوغبار در نیمه غربی ایران: مطالعه موردی طوفان گردوغبار ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵، *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۵ (۴)، ۱۲۴-۱۰۷. http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2726-fa.html

دارند، محمد (۱۳۹۳). پایش خشک‌سالی ایران به کمک شاخص شدت خشک‌سالی پالمر و ارتباط آن با الگوهای پیوند از دور جوی– اقیانوسی، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۲۶ (۴)، ۸۲-۶۷.http://georesearch.ir/article-1-324-fa.html

دانیالی، محمد؛ محمد نژاد، بایرامعلی؛ کریمی، نعمت‌الله (۱۳۹۷). تحلیل مکانی گردوغبار استان خوزستان به کمک تصاویر ماهواره‌ای، *مجله سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی*، ۹ (۱)، ۷۲-۵۸.

رزقی جهرمی، زهرا؛ نصر اصفهانی، محمدعلی؛ محمدی، جهانگرد؛ قاسمی، احمدرضا (۱۳۹۸). بررسی میزان تأثیر فازهای پدیده نوسان مادن جولیان بر بارش و رواناب سه رودخانه مهم استان فارس، *مجله پژوهش آب ایران*، ۱۳ (۱)، ۹۰-۷۹.

رضوی‌زاده، سمانه؛ عباسی، حمیدرضا؛ درگاهیان، فاطمه (۱۴۰۰). بررسی پدیده گردوغبار در استان گلستان، با تأکید بر شاخص عمق اپتیکی و سمت و سرعت باد، *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۵ (۵۳)، ۶۷-۵۸.http://jwmsei.ir/article-1-993-fa.html

رنگزن، کاظم؛ زراسوندی، علیرضا؛ عبدالخانی، علی؛ مجردی، برات (۱۳۹۳). مدل‌سازی آلودگی هوا با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس: مطالعه موردی توده‌های گردوغبار استان خوزستان، *مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته*، ۴ (۴)، ۴۵-۳۸.

زینالی، بتول (۱۳۹۲). شناسایی و پایش توفان‌های شاخص گردوغباری ایران با استفاده از سنجنده‌های MODIS و AVHRR، *رساله دکتری آب و هواشناسی*، دانشکده جغرافیا دانشگاه تبریز.

سبزی‌پرور، علی‌اکبر؛ نادری مقدم، فرزاد (۱۳۹۲). اثر نوسان مادن– جولیان (MJO) بر تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در مناطق جنوبی ایران، *نشریه هواشناسی کشاورزی*، ۲ (۱)، ۴۴-۳۲.

سیدنژاد گل ختمی، نفیسه؛ بذرافشان، جواد؛ نازی قمشلو، نازی؛ ایران‌نژاد، پرویز (۱۳۹۸). تحلیل مکانی احتمال رخداد بارش در ایران در فازهای مختلف سیگنال اقلیمی مادن– جولیان، *نشریه هواشناسی و علوم جو*، ۲ (۳)، ۲۰۱-۱۹۲.

عالم‌زاده، شاهین؛ احمدی گیوی، فرهنگ؛ محب الحجه، علیرضا، نصر اصفهانی، محمدعلی (۱۳۹۲). تحلیل دینامیکی – آماری اثر متقابل نوسان اطلس شمالی (NAO) و نوسان مادن– جولیان (MJO)، *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۷ (۴)، ۸۰-۶۴. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080336.1392.7.4.5.5

عالی‌پور، ابراهیم (۱۳۹۵). تحلیل اثر الگوهای پیوند از دور بر تغییرات زمانی– مکانی فراوانی توفان‌های گردوغبار در ایران، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی*، دانشگاه تربیت مدرس– پژوهشکده اقلیم‌شناسی تهران.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

عراقی‌زاده، محسن؛ مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۴۰۰). تحلیل اقلیمی و بررسی طوفان‌های گردوغبار در خراسان رضوی، *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، ۵ (۳)، ۳۱۸-۳۰۵. https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.301969.1007515

علیزاده، طوبی؛ رضایی بنفشه، مجید؛ شریفی، رحمان (۱۴۰۰). ردیابی و شبیه‌سازی طوفان گردوغبار در سطوح مختلف جو کرمانشاه با استفاده از مدل HYSPLIT و WRF-chem مطالعه موردی: طوفان گردوغبار ۲۶ تا ۲۸ اکتبر ۲۰۱۸، *مجله مطالعات علوم محیط‌زیست*، ۶ (۴): ۴۲۷۹-۴۲۶۶.

غیاث، مجید (۱۳۹۳). مقدمه‌ای بر روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو، *فصلنامه علمی- ترویجی*، ۴ (۱)، ۷۷-۶۷. https://doi.org/10.22063/basparesh.2014.1062

فرج زاده، منوچهر؛ کریمی، نعمت‌الله. (۱۳۹۲). *مبانی هواشناسی ماهواره‌ای*. تهران: انتشارات سمت. چاپ اول.

فطرس، شیما؛ مشکوتی، امیرحسین؛ کمالی، غلامعلی؛ صداقت کردار، عبدالله (۱۳۹۸). بررسی نقش نوسان‌های اطلس شمالی و مدن-جولین بر آلودگی هوای کلان‌شهر تهران، نشریه هواشناسی و علوم جو، ۲ (۲)، ۱۱۳-۹۳.

فلاح ززولی، محمد؛ وفایی نژاد، علیرضا؛ خیرخواه زرکش، میر مسعود، احمدی دهکاء، فریبرز (۱۳۹۳). پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گردوغبار با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS (مطالعه موردی: گردوغبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲)، *مجله اطلاعات جغرافیایی سپهر*، ۲۳ (۹۱)، ۸۰-۶۹. https://doi.org/10.22131/sepehr.2014.12863

قائد امینی اسدآبادی، حبیب اله؛ ناظم السادات، سید محمدجعفر (۱۳۹۱). ارزیابی نشان پدیده نوسان‌های مادن– جولیان بر رخداد بارش‌های روزانه استان‌های سیستان و بلوچستان و فارس، *نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۲۶ (۶)، ۱۳۸۳-۱۳۷۲. https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.19249

قائد امینی، حبیب اله؛ گلکار، فروغ (۱۳۹۰). ارزیابی تأثیر پدیده مادن جولیان (MJO) بر رخداد دوران خشک و تر استان خوزستان، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۷ (۳)، ۲۵۳-۲۴۱. https://dorl.net/dor/20.1001.1.2538371.1390.37.3.17.2.

محمدی، فهیمه؛ کمالی، سمیه؛ اسکندری، مریم. (۱۳۹۴). ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جوّ تهران با استفاده از مدل HYSPLIT، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، (۱۶) ۴، ۵۴-۳۹. https://doi.org/10.22067/geo.v4i4.41109

محمودی، پیمان؛ علیجانی، بهلول؛ مسعودیان، سید ابوالفضل، خسروی، محمود (۱۳۹۴). رابطه بین الگوهای پیوند از دور و یخبندان‌های فراگیر ایران، *مجله جغرافیا و توسعه*، ۴۰، ۱۹۴-۱۷۵. https://doi.org/10.22111/gdij.2015.

یارمرادی، زهرا؛ نصیری، بهروز؛ محمدی، غلام حسن؛ کرمپور، مصطفی (۱۳۹۸). بررسی و تحلیل جامع رخداد توفان‌های گردوغبار شدید در نیمه شرقی ایران با استفاده از مدل‌های عددی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مشاهداتی، *کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی*، ۷ (۲)، ۲۴-۱. https://grd.yazd.ac.ir/article_1721.html#:~:text=20.1001.1.2345332.1398.7.2.1.1.

Alemzadeh, S., Ahmadi-Givi, F. Mohebalhojeh, A. & Nasr-Esfahani, M. A. (2013). Statistical-dynamical analysis of the mutual effects of NAO and MJO. *Journal Of Iran Geophysics*, 7(4), 64-80. (in Persian) https://doi.org/20.1001.1.20080336.1392.7.4.5.5.

Alipoor, E. (2015).The analysis of teleconnection patterns effect on spatiotemporal variation frequency of dust storms in Iran. *Master's thesis in Climatology*, Tarbiat Modares University - Tehran Climatology Research Institute, (in Persian).

Alizadeh, T., Rezaie Banafsheh, M. & Sharifi, R. (2021). Detection and simulation of dust storm in different levels of Kermanshah atmosphere using HYSPLIT and WRF-chem models Case Study: Dust Storm October 26-28, 2018. *Journal of Environmental Science Studies*, 6(4), 4266-4279. (in Persian)

Ansari Ghojghar, M., Pourgholam-Amiji, M. Araghinejad, S. Babaeian, I. Liaghat, A. & Salajegheh, A. (2021). The Effect of Warm Phase of ENSO Phenomenon on the Formation of Dust Storms in Khuzestan and Sistan and Baluchestan Provinces. *Journal of Range and Watershed Managment*, 74(2), 257-271. (in Persian) https://doi.org/10.22059/jrwm.2020.310647.1533.

Ansari, A., & Jamshidi, R. (2018). Identification of sources and tracking dust storm routes entering from domestic sources to Arak metropolitan using HYSPLIT model. *Environmental Sciences*, 16(1), 101-110.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

Attiya, A., & Brian, G. (2020). Assessment of mineralogical and chemical properties of airborne dust in Iraq. *SN Applied Sciences*, 2, 1-21. https://doi.org/10.1007/s42452-020-03326-5.

Araghizade, M., & Masoodian, S. A. (2021). Climate analysis and study of dust storms in Khorasan Razavi. *Physical Geography Research*, 53(3), 305-318. (in Persian) https://doi.org/10.22059/jphgr.2021.301969.1007515.

Bao, C., YongCholaw Bueh, M. Bao, Y. Jin, E. Bao Y. & Purevjav, G. (2022). Analyses of the Dust Storm Sources, Affected Areas, and Moving Paths in Mongolia and China in Early Spring. *Natural Disaster Risk Assessment and Management Using Remote Sensing Techniques*, 3661(14), 1-17. https://doi.org/10.3390/rs14153661.

Bond, N., A. & Vecchi, G. (2003). The influence of the Madden-Julian Oscillation on precipitation in Oregon and Washington, *Weather And Forecasting*, 18, 600-613. https://doi.org/10.1175/1520-0434(2003)018.

Darand, M. (2015). Drought Monitoring in Iran by Palmer Severity Drought Index (PDSI) and Correlation with Oceanic Atmospheric Teleconnection Patterns. *GeoRes*, 29 (4), 67-82. (in Persian) http://georesearch.ir/article-1-324-fa.html.

Daniali, M., Mohamadnezhad, B. & Karimi, N. (2018). Spatial analysis of dust in Khuzestan province using satellite imagery. *RS & GIS for Natural Resources*, 9(1), 58-72. (in Persian)

Draxler, R., & Hess, G. D. (1998). An overview of the HYSPLIT modelling system for trajectories. *Journal of Australian Meteorological Magazine*, 47(4), 246-270.

Draxler, R., Stunder, B., Rolph, G., Stein, A., Taylor, A. (2009). *HYSPLIT4 user's guide*,Version 4.9, 1-231.

Ensafi Moghaddam, T. (2021). Investigation of Aerosol Optical Depth Index (AOD) in dust events over Southwestern of Iran. *Iran Nature*, 5(6), 55-67. (in Persian) https://doi.org/10.22092/irn.2021.123361.

Farajzadeh, M., & Karimi, N. (2013). *Basics of satellite meteorology*. Tehran: Samit Publications. First Edition. (in Persian)

Fotros, S., Meshkatee, A.H. Kamali,G. A. & Sedaghatkerdar, A. (2019). The effect of NAO and MJO on Tehran metropolitan air pollution. *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, 2(2), 93-113. (in Persian) http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/.

Fallah Zazuli, M., Vafaeinezhad, A. Kheirkhah Zarkesh, M. M. & Ahmadi Dehka, F. (2014). Monitoring and SynopticAnalysis of Dust Haze Phenomenon using Remote Sensing and GIS (Case study: June 18, 2012 Dust haze). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 23(91), 69-80. (in Persian) https://doi.org/10.22131/sepehr.2014.12863.

Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). Desert Dust in the Global System. *Springer*, 1-287.

Griffin, D. W. (2007). Atmospheric movement of microorganisms in clouds of desert dust and implications for human health. Clinical microbiology reviews, 20, 459-477. https://doi.org/10.1128/CMR.00039-06.

Guo, Y., Tian, B. Kahn, R. A. Kalashnikova, O. Wong, S. & Waliser, D. E. (2013). Tropical Atlantic dust and smoke aerosol variations related to the Madden-Julian Oscillation in MODIS and MISR observations. Journal of Geophysical Atmosphres, 118, 4947–4963. https://doi.org/10.1002/jgrd.50409, 2013.

Ghaedamini, H., & Golkar, F. (2010). Evaluation of the effects of the Madden Julian Oscillation on the occurrence of dry and wet periods in Khouzestan Province. *Journal of Earth and Space Physics*, 37(3), 241-253. (in Persian) https://doi.org/20.1001.1.2538371.1390.37.3.17.2.

Ghaedamini, H., & Nazemosadat, S.M.J. (2013). Evaluation of the Effects of Madden Julian Oscillation on the Frequency of Daily Precipitation in Sistan Balouchestan and Fras Provinces. *Journal of Water and Soil*, 26(6), 1372-1383. (in Persian).

Ghiass, M., (2013). An Introduction to the Monte Carlo Simulation Methods. *Scientific-Promotional Quarterly*, 4(1), 67-77. (in Persian) https://doi.org/10.22063/BASPARESH.2014.1062.

Hejazizadeh, Z., Toulabi Nejad, M. Zarei chaghabalki, Z. & Amraeei, B. (2015). Monitoring of Dust Storm in the Midwest of Iran Case Study: Dust Storm June 16-19. *Journal of Spatial Analysis*

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

Environmental Hazards 2019, 5 (4), 107-124. (in Persian) http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2726-fa.html.

http://dust.aemet.es/forecast//

https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov

Javidniya, M. (2020). Investigation of Relationship Between Dust Storms and Teleconnection Indices in the Kerman Province. *Thesis submitted For the degree of Master of Science*. Humanities and Social Sciences Campus. Yazd University, 143. (in Persian)

Kiladis, G. N., Dias, J. Straub, K. H. Wheeler, M. C. Tulich, S. N. Klaus M. Weickmann, K. K., & Ventrice, M. J. (2014). A Comparison of OLR and Circulation-Based Indices for Tracking the MJO. *Monthly Weather Review*, 142, 169۷ – 171٥. https://doi.org/10.1175/MWR-D-13-00301.1.

Kruskal, W. H., & Wallis, W.A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American statistical Association*, 47(260), 583-621. https://doi.org/10.2307/2280779.

Kurosaki, Y., & Mikami, M. (2003). Recent Frequent Dust Events and Their Relation to Surface Wind in East Asia. *Geophys*, 30, 17-36. https://doi.org/10.1029/2003GL017261.

Li, J., Garshick, E. Huang S. & Koutrakis, P. (2021). Impacts of El Niño-Southern Oscillation on surface dust levels across the world during 1982–2019. *Science of The Total Environment*, 769, 144566. https://doi.org/10.1177/1420326X03037110.

Mahmoudi, P., Khosravi, M. Masoodian, S. A. Alijani, B. (2014). Relationship Between Tele Connection Patterns and Iran's Pervasive Frosts. *Journal of Geography and Development*, 13(40), 175-194. (in Persian) https://doi.org/10.22111/GDIJ.2015.2105.

McTanish, G. H., & Pitblado, J. R. (1987). Dust Storm and related phenomena measured from meteorological records in Australia. *Earth Surf Prcess Landforms*, 12, 415-424. https://doi.org/10.1002/esp.3290120407.

Mei, D., Xiushan, L. Lin, S. Ping, W. (2008). A Dust-Storm Process Dynamic Monitoring With Multi-Temporal MODIS Data, The International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVII(B7Ñ), 965-970.

Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). The monte carlo method. *Journal of the American statistical Association*, 44(247), 335-341. https://www.jstor.org/.

Miller, R. L., Tegen, I. & Perlwitz, J. (2004). Surface radiative forcing by soil dust aerosols and the hydrologic cycle. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D4). https://doi.org/10.1029/2003JD004085.

Mohammadi, F., Kamali, S. & Eskandari, M. (2014). Tracking dust sources in different levels of Tehran's atmosphere using the HYSPLIT model. *Geography and Environmental Hazards*, (16) 4, 54-39. (in Persian)

Pai, D. S., Bhate, J. Sreejith, O. P. Hatwar, H. R. (2011). Impact of MJO on the intraseasonal variation of summer monsoon rainfall over India. *Climate Dynamics*, 36(1), 41–55. https://doi.org/10.1007/s00382-009-0634-4.

Pudmenzky, C., Stone R. & Butler, H. (2011). El Niño-Southern Oscillation influence on the dust storm activity in Australia: Can the past provide an insight into the futureUniversity of Southern Queensland. *Australia*, 14(3), 993-1007. https://doi.org/10.1111/php.13745.

Ragsdale, K. M., Barrett, B. S. Testino, A. P. (2013). Variability of particulate matter (PM_{10}) in Santiago, Chile by phase of the MaddeneJulian Oscillation (MJO). *Atmospheric Environment*, 81, 304- 310. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.09.011

.Rangzan, K., Zarasvandi, A. Abdolkhani, A. & Mojaradi, B. (2014). Modeling of Air Pollution using MODIS Data: Khouzestan Dust storm. *Advanced Applied Geology*, 4(4), 38-45. (in Persian)

Razavizadeh, S., Abbasi, H. Dargahian, F. (2021). Investigation of Dust Phenomenon in Golestan Province, with Emphasis on Aerosol Optical Depth Index and Wind Direction and Speed. Jwmseir. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 15 (53), 58-67. (in Persian) http://jwmsei.ir/article-1-993-fa.html.

Rezhgi Jahromi, Z., Nasr Isfahani, M. A. Mohammadi, J. & Ghasemi, A. R. (2018). the effect of phases of the Madden-Julian Oscillation phenomenon on major rivers rainfall and runoff in Fars province. *Iranian Water Research Journal*, 13(1), 90-79. (in Persian).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]

Sabziparvar, A. A. (2014). The Effect of Madden - Julian Oscillation (MJO) on the Variation of Reference Evapotranspirationin Southern Regions of Iran. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2(1), 32-44. (in Persian)

SeyyedNezhad Golkhatmi, N., Bazrafshan, J. Ghameshlou, A. N. & Irannejad, P. (2019). Spatial analysis of occurrence probability of precipitation in Iran based on different phases of MJO's climate signal. *Journal of Meteorology and Atmospheric Science*, 2(3), 192-201. (in Persian)

Sean, J. F., & Bradford. S. B. (2011). Projecting the Madden-Julian oscillation to air quality in Santiago. Chile. Oceanography department. *United State Nora academy Annapolis*, MD. https://doi.org/10.1029/2021EA001708.

Shan, W., Yin, Y. Lu, H. & Liang, S. (2009). A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT model and surface data. *Atmospheric Research*, 93, 767- 776. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.03.007.

Sun, J.H., Zhao, L.N. & Zhao, S.X. (2003). An Integrated Modeling System of Dust Storm Suitable to North China and Applications. *Clim Environ*, 8, 125–142. https://doi.org/10.3878/j.issn.1006-9585.2003.02.01.

Tagreed, A., Qadi, A. Muslih Kh.D. & Shiltagh, A. G. (2021). Analysis of Correlation and Coupling between El Niño-Southern Oscillation and Dust Storms in Iraq from 1971 to 2016. *Iraqi Geological Journal*, 54(1E). https://doi.org/10.46717/igj.54.1E.9Ms-2021-05-30

Wheeler, M., & Hendon, H. (2004). An all- season real-time multivariate MJO index, Development of an index for monitoring and prediction. *Monthly Weather Review*, 132(8), 1917-1932. https://doi.org/10.1175/1520-0493(2004)132<1917:AARMMI>2.0.CO;2.

www.bom.gov.au/climate/mjo/

Yang, Y., Zeng, L. Wang, H. Wang, P. & Liao, H. (2022). Dust pollution in China affected by different spatial and temporal types of El Niño, *Atmos. Chem. Phys*, 22, 14489–14502. https://doi.org/10.5194/acp-22-14489-2022.

Yarmoradi, Z., Nasiri, B. Mohammadi, G. & Karampour, M. (2018). A comprehensive study of severe dust storms in the eastern part of Iran using numerical modeling, satellite imagery and observation data. *Journal of Geographical Research on Desert Areas (GRDA)*, 7(2), 1-24. (in Persian) https://grd.yazd.ac.ir/article_1721.html#:~:text=20.1001.1.2345332.1398.7.2.1.1.

Yu Y., & Ginoux, P. (2021). Assessing the contribution of the ENSO and MJO to Australian dust activity based on satellite- and ground-based observations. *Atmos. Chem. Phys*, 21,8511–8530. https://doi.org/10.5194/acp-21-8511-2021.

Zeinali, B. (2012). Identification and monitoring of Iran's dust index storms using MODIS and AVHRR sensors, *Ph.D. dissertation in water and meteorology*, Faculty of Geography, Tabriz University. (in Persian)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.25.77.18]