



## Spatio-temporal Distribution of Seasonal Dust in East and Southeast Iran Based on Station and Remote Sensing Data

Saeed Jahanbakhsh Asl<sup>1✉</sup> | Majid Rezaei Banafsheh<sup>2</sup> | Ali Mohammad Khorshiddoust<sup>3</sup> | Hajar Farahmand<sup>4</sup>

1. Corresponding author, Professor, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran. E-mail: [S\\_jahan@tabrizu.ac.ir](mailto:S_jahan@tabrizu.ac.ir)
2. Professor, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran. E-mail: [mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir](mailto:mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir)
3. Professor, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran. E-mail: [khorshiddoust@tabrizu.ac.ir](mailto:khorshiddoust@tabrizu.ac.ir)
4. PhD student, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, East Azerbaijan, Iran. E-mail: [hajarfarahmand2@gmail.com](mailto:hajarfarahmand2@gmail.com)

### Article Info

### ABSTRACT

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received 25 December 2021

Received in revised form 21

April 2022

Accepted 27 April 2023

Published online 19 April 2024

#### Keywords:

Dust,

Aerial Index of Absorption

(AAI),

Aerosol Optical Depth (AOD),

Seasonal Trend of Dust,

East and Southeast Iran,

In recent years, South-east and east of Iran has become one of the most important hotspots of dust events due to numerous droughts, upstream dams and severe land use changes. In order to evaluate the seasonal variations of seasonal dust, 15 synoptic stations were selected during 1980–2015 and then extracted from the present weather codes. Additionally, the AOD index of the Terra MODIS satellite sensor and the Aura Satellite Aerial Index of Absorption (AAI) were used during the period 2015–2005. Mann-Kendall nonparametric test was used to investigate the trend of dust days and Spearman correlation method was used for correlation of dust days. The average days of dust in this region are 9 days and maximum days of dusty days are 45 days that occur in Zabol station at summer. Intra-seasonal variations of dust over east and southwestern of Iran have two maximum phases at spring and summer. Dust also has an inverse relationship with altitude and latitude. Climate parameters, drying up of rivers and lakes, and land use changes are three major factors in dust production in eastern and southeastern Iran. Main sources of dust production and emission over the region are (1) Makran coast; (2) Hamoun and Jazmourian dried bed (3) Lut Plain and (4) Border region of Iran, Afghanistan and Pakistan. At most stations except Zabol, Bam and Kerman have an increasing trend of dust events.

**Cite this article:** Jahanbakhsh Asl, S, Rezaei Banafsheh, M, Khorshiddoust, A.M. Farahmand, H (2024). Spatio-Temporal Distribution Of Seasonal Dust In East And Southeast Iran Based On Station And Remote Sensing Data. *Journal of Geography and Planning*, 28 (87), 119-130. <http://doi.org/10.22034/GP.2024.17732>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/GP.2024.17732>

Publisher: University of Tabriz.

## Extended Abstract

### Introduction

Dust storms are known as a natural hazard that affects various parts of the world. According to the definition of World Meteorological Organization (WMO), dust storms are the result of strong atmospheric turbulence near the surface that lifts large amounts of dust into the atmosphere, which decrease the horizontal visibility to less than 1000 m. As a major source of uncertainty in the atmosphere, aerosol in the global climate system varies both spatially and temporally by interacting with solar and terrestrial radiation and altering cloud properties and lifetime, aerosol can lead to radiative forcing. Aerosol not only has an effect on atmospheric radiation, but also air quality. Particulate matter with an aerodynamic equivalent diameter of less than 2.5  $\mu\text{m}$  (PM<sub>2.5</sub>) can carry toxic and noxious substances and transport them across countries and geographic boundaries. Aerosol index (AI) is a useful and accurate method for detecting UV absorbers such as soot and dust. Typically, aerosol optical depth (AOD) is defined as the measurement of light extinction by aerosol in the atmospheric column above the surface of earth.

### Methodology

The study area consists of four provinces of Sistan and Baluchestan, South Khorasan, Kerman and Hormozgan in east and southeast of Iran. In order to evaluate the seasonal variations of dust, 15 synoptic stations were selected during 1980–2015 and then extracted from the present weather codes 06–09, 30–35 and 98. After calculating the total dust collection every day, the Long term average of each season was calculated. Southeast of Iran is arid and semi-arid. Therefore, due to this climatic characteristic, Deep Blue (DB) algorithm was used in this study to study spatio-temporal variability (AOD) during the period 2005–2015. The OMI sensor was also used to evaluate the AI over the period 2015–2005. Mann-Kendall nonparametric test was used to investigate the trend of dust days and Spearman correlation method was used for correlation of dust days.

### Results

The results showed that the maximum amount of dust in summer was 45.51 days and the minimum was 2 days in autumn. Average dust also behaves similarly to the minimum and maximum statistical values. So that the long-term average of ruminants in the study area was calculated 9.24 days. The maximum amount of dust in the summer was calculated to be 12.26 days. The average airline index was 1.19 in summer. But the maximum mean air depth (AOD) of 0.150 was obtained in spring. The reason for the station's rising dust, aerosol indices and the air depth of the airwaves in the spring indicates the activation of effective dust springs in the study area. The relationship between dust level and height was inversely correlated with all three levels studied. Station dust in summer and autumn was significant at 0.05 level. For the AI index, only the spring with -0.91 was significant at 5% level. For all AOD indices, the value of the index is inversely correlated with the height of the index. The highest amount of dust has been found in all seasons except winter in southeastern Iran and Zabul. The maximum dust was calculated in the warm seasons of the year. Minimum days of hailstorm were observed in autumn with average of 2 days in Khorasan and Kerman Heights. Only in the fall is the dust less than 20 days a year

### Discussion and conclusion

Seasonal variations of AOD, AI and stationary dust indices in southeastern and eastern Iran indicated that Zabol, the border region of Iran and Pakistan, Makran shores and the dried bed of Lake Jazmourian are the main source of dust. Between all seasons, the summer and spring seasons, the most severe are the dust events. Long-term average rainfall was 9.24 days and summer season with 12.26 days maximum seasonal dust average. Dust in south-east and east of Iran has an inverse relationship with altitude and latitude, with increasing altitude, latitude, and distance from dust sources reducing the amount of aerosols in the atmosphere and days of dust in the study area. Seasonal trend of station dust in east and southeast of Iran using nonparametric Mann-Kendall (MK) test showed that dominant trend is increasing in 15 stations. Among the investigated seasons, Zabol, Bam and Kerman stations had a decreasing trend. The peak intensity of the dusty days also occurred in spring and in summer. The results in this study confirm results of Middleton (2019) for Sistan region .

Keywords: Dust, Aerosol Index (AI), Aerosol Optical Depth (AOD), Seasonal Trend of Dust, East and Southeast Iran



## References

- Alam, K., Qureshi, S., & Blaschke, T. (2011). Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmospheric environment*, 45(27), 4641-4651.
- Alizadeh-Choobari, O., Zawar-Reza, P., & Sturman, A. (2014). The “wind of 120 days” and dust storm activity over the Sistan Basin. *Atmospheric Research*, 143, 328-341.
- Badarinath, K. V. S., Kharol, S. K., Kaskaoutis, D. G., & Kambezidis, H. D. (2007). Dust storm over Indian region and its impact on the ground reaching solar radiation—a case study using multi-satellite data and ground measurements. *Science of the Total Environment*, 384, 316-332.
- Bellouin, N., Boucher, O., Haywood, J., & Reddy, M. S. (2005). Global estimate of aerosol direct radiative forcing from satellite measurements. *Nature*, 438(7071), 1138.
- Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.
- Hsu, N. C., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A. M., Hansell, R., Seftor, C. S., ... & Tsay, S. C. (2013). Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(16), 9296-9315.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change: Physical Science Basis*. Cambridge University Press, New York. pp. 131–216.
- Jish Prakash, P., Stenchikov, G. L., Kalenderski, S., Osipov, S., & Bangalath, H. K. (2015). The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea.
- Justice, C. O., Vermote, E., Townshend, J. R., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., ... & Lucht, W. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4), 1228-1249.
- Kaufman, Y. J., Tanré, D., & Boucher, O. (2002). A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature*, 419(6903), 215.
- Kaufman, Y. J., Koren, I., Remer, L. A., Tanré, D., Ginoux, P., & Fan, S. (2005). Dust transport and deposition observed from the Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D10).
- Kendall, M. (1975). *Multivariate analysis*. Charles Griffin.
- Lyles, M. B., Fredrickson, H. L., Bednar, A. J., Fannin, H. B., Griffin, D. W., & Sobocki, T. M. (2012, April). Medical geology in the Middle East: potential health risks from mineralized dust exposure. In *EGU General Assembly Conference Abstracts (Vol. 14, p. 1668)*.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- Middleton, N. J. (1986). A geography of dust storms in South west Asia. *Journal of Climatology*, 6(2), 183-196.
- Middleton, N. (2019). Variability and Trends in Dust Storm Frequency on Decadal Timescales: Climatic Drivers and Human Impacts. *Geosciences*, 9(6), 261.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Rautenbach, C. D., Eriksson, P. G., Qiang, M., & Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, 5, 51-62.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. D. W., Flamant, C., & Vishkaee, F. A. (2014). Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations. *Natural hazards*, 71(1), 563-585.
- Remer, L. A., Kleidman, R. G., Levy, R. C., Kaufman, Y. J., Tanré, D., Mattoo, S., ... & Holben, B. N. (2008). Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D14).
- Tao, M., Chen, L., Wang, Z., Tao, J., Che, H., Wang, X., & Wang, Y. (2015). Comparison and evaluation of the MODIS Collection 6 aerosol data in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(14), 6992-7005.
- Tariq, S., & Ali, M. (2015). Spatio-temporal distribution of absorbing aerosols over Pakistan retrieved from OMI onboard Aura satellite. *Atmospheric Pollution Research*, 6(2), 254-266.
- Torres, O., Bhartia, P. K., Herman, J. R., Ahmad, Z., & Gleason, J. (1998). Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D14), 17099-17110.
- Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen, H., & Zhang, L. (2017). The relationships between PM<sub>2.5</sub> and meteorological factors in China: Seasonal and regional variations. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1510.

Zhang, M., Ma, Y., Wang, L., Gong, W., Hu, B., & Shi, Y. (2018). Spatial temporal characteristics of aerosol loading over the Yangtze River Basin during 2001–2015. *International Journal of Climatology*, 38(4), 2138-2152.





پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

## توزیع زمانی - مکانی فصلی گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران بر اساس داده‌های ایستگاهی و سنجش از دور

سعید جهانبخش اصل<sup>۱</sup> | مجید رضائی بنفشه<sup>۲</sup> | علی محمد خورشیددوست<sup>۳</sup> | هاجر فرهمند<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، استاد، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی. رایانامه: [s\\_jahan@tabrizu.ac.ir](mailto:s_jahan@tabrizu.ac.ir)

۲. استاد، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی. رایانامه: [mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir](mailto:mrbanafsheh@tabrizu.ac.ir)

۳. استاد، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی. رایانامه: [khorschiddoust@tabrizu.ac.ir](mailto:khorschiddoust@tabrizu.ac.ir)

۴. دانشجوی دکتری دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی. رایانامه: [hajarfarahmand83@gmail.com](mailto:hajarfarahmand83@gmail.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>نوع مقاله:</b> مقاله پژوهشی</p> <p><b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۰/۱۰/۰۴</p> <p><b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۱/۰۲/۰۱</p> <p><b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۲/۰۲/۰۷</p> <p><b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۳/۱/۳۱</p> <p><b>کلیدواژه‌ها:</b> گردوغبار، شاخص جذب هواویز (AAI)، عمق نوری هواویز (AOD)، روند فصلی گردوغبار، شرق و جنوب شرق ایران،</p>	<p>جنوب شرق و شرق ایران به دلیل خشکسالی‌های متعدد، سدسازی‌های بالادستی و تغییرات شدید کاربری اراضی طی سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین کانون‌های تولید گردوغبار تبدیل شده است. در این مطالعه باهدف توزیع زمانی- مکانی گردوغبار فصلی در شرق و جنوب شرق ایران از داده‌های ایستگاهی (۱۵ ایستگاه سینوپتیک طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۰)، شاخص عمق نوری هواویز (AOD) سنجنده MODIS ماهواره Terra و شاخص جذب هواویز (AAI) سنجنده OMI ماهواره Aura طی دوره ۲۰۰۵-۲۰۱۵ استفاده شد. برای ارزیابی روند روزهای گردوغباری آزمون ناپارامتریک من-کندل (MK) به‌کاربرده شد. نتایج نشان داد که متوسط روزهای گردوغباری در این منطقه از ایران ۹/۲۴ روز است و بیشینه روزهای گردوغباری با ۴۵/۵۱ روز در فصل تابستان در ایستگاه زابل اتفاق می‌افتد. تغییرات فصلی گردوغبار شرق و جنوب شرق ایران دارای دو فاز حداکثری بهاره و تابستانه است. همچنین گردوغبار با ارتفاع و عرض جغرافیایی رابطه معکوس نشان داده است. پارامترهای جوی، خشک شدن رودها و دریاچه‌ها و تغییرات کاربری اراضی سه عامل اساسی در تولید گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران هستند. داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاهی چهار منطقه شامل سواحل مکران، بسترهای خشک‌شده دریاچه‌های هامون و جازموریان، دشت لوت و منطقه مرزی ایران، افغانستان و پاکستان را به‌عنوان کانون‌های اصلی تولید و انتشار گردوغبار نشان دادند. روند گردوغبار در غالب ایستگاه‌های مطالعاتی به‌غیر از ایستگاه‌های زابل، بم و کرمان روندی افزایشی را نشان داده است و در فصل بهار بیشینه شدت روند گردوغبار و در فصل تابستان بیشینه وسعت مکانی پهنه‌های با روند افزایشی گردوغبار قابل مشاهده است.</p>

**استناد:** جهانبخش اصل، سعید؛ رضائی بنفشه، مجید؛ خورشید دوست، علی؛ فرهمند، هاجر (۱۴۰۳). توزیع زمانی- مکانی فصلی گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران

بر اساس داده‌های ایستگاهی و سنجش از دور. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۸ (۸۷)، ۱۱۹-۱۳۰.



<http://doi.org/10.22034/GP.2024.17732>

© نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

## مقدمه

طوفان گردوغبار به‌عنوان یک مخاطره طبیعی شناخته می‌شود که مناطق مختلف جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی (WMO) طوفان‌های گردوغبار نتیجه تلاطم شدید جوی در نزدیکی سطح است که مقدار زیادی از گردوغبار را به درون جو می‌کشد و باعث کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌شود (گودی و میدلتون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶: ۲۶۱). کاهش دید منجر به تصادفات جاده‌ای و لغو پروازها می‌شود. طوفان‌های گردوغباری همچنین باعث کاهش بهره‌وری خاک، ایجاد اختلال در ارتباطات از راه دور، اختلال در سیستم‌های مکانیکی (جیش پراکاش و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۰۱)، خطر شیوع بیماری‌های تنفسی و ده‌ها عامل سوء دیگر می‌گردد (لایلز و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲).

هواویزها در سیستم جهانی آب‌وهوایی به لحاظ زمانی-مکانی دارای تغییرپذیری بالایی هستند و به‌عنوان یک عامل اساسی در عدم قطعیت شرایط جوی نقش آفرینی می‌کنند (IPCC, 2014). هواویزهای موجود در جو با تعامل پرتوهای خورشیدی و تغییر در مشخصه‌های ابرها و طول عمر آن‌ها نقش مهمی را در واداشت تابشی و رفتار میکرو فیزیکی ابرها دارند (بلوین و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵: ۱۱۳۸). هواویزها نه تنها تأثیر خود را بر پرتوهای جو، بلکه بر کیفیت هوا و سلامت عمومی نیز می‌گذارند و می‌توانند دارای پیامدهای اجتماعی-اقتصادی متعددی باشند (یانگ و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۷).

با توجه به محدودیت‌های اندازه‌گیری زمینی که قادر به ارائه دیدگاه جهانی نیستند (کافمن و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۵) ماهواره‌های گوناگونی برای بازیابی هواویزها طراحی شدند و در همین راستا شاخص‌های بسیاری نیز برای مطالعه هواویزها توسعه داد شد که می‌توان به عمق نوری هواویزها (AOD)، توان آنگستروم (AE) و شاخص جذب هواویز (AAI) اشاره کرد. شاخص هواویز (AI<sup>۶</sup>) یک روش سودمند و دقیق برای تشخیص هواویزهای جاذب اشعه فرابنفش مانند دوده و گردوغبار است (تورس و همکاران<sup>۷</sup>، ۱۹۹۸: ۱۷۱۰۰). این شاخص به دلیل شکل، اندازه، زمان ساکن در جو، ارتفاع از سطح زمین و منشأ شکل‌گیری هواویزها تغییرات درون سالی بالایی دارد (بدرینات و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۷: ۳۱۸).

شاخص دیگری که به‌طور گسترده برای مطالعه هواویزها مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ شاخص عمق نوری هواویز (AOD<sup>۹</sup>) است (ژانگ و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۸: ۲۱۴۰). این شاخص فراوانی هواویزها را در ستونی قائم از جو به‌صورت انتگرال ضرب میرایی آلاینده‌ها در امتداد ستون عمودی جو از سطح زمین تا بالای جو را تعریف می‌کند. به‌عبارت‌دیگر عمق نوری هواویز نشان‌دهنده تمام آلاینده‌هایی است که باعث پراکنش نور می‌شوند (داداشی رودباری و احمدی، ۱۳۹۸: ۴۹۰).

اهمیت مطالعه هواویزها با توجه به اثرات آن بر سامانه جو و اقلیم، سلامت بشر و ... دلیلی بر آن شد که مطالعات بسیاری به ارزیابی آن بپردازند؛ در ادامه به برخی از این مطالعات پرداخته می‌شود. کافمن و همکاران (۲۰۰۲) به مطالعه هواویزها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در سیستم جهانی آب‌وهوا پرداخته و به این نتیجه رسیدند که افزایش هواویزها و تغییرات فیزیکی آن‌ها ناشی از صنعتی شدن و جمعیت در حال گسترش مناطق شهری است و این ذرات می‌توانند تأثیر منفی را بر آب‌وهوای کره زمین بگذارد. مطالعه جهانی هواویزها مبتنی بر سنجنده MODIS پژوهشی است که رمر و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۸) به مطالعه آن پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد داده‌های ماهواره‌ای در مقایسه با مشاهدات AERONET در اقیانوس‌ها دقت ۶۰ درصدی و در خشکی‌ها دقت ۷۲ درصدی دارند. از نظر منطقه‌ای، مقادیر هواویز از مناطق آلوده مانند شرق آسیا و هند گرفته تا پاک‌ترین مناطق

<sup>1</sup> - Goudie and Middleto

<sup>2</sup> - Lyles et al.

<sup>3</sup> - Bellouin et al.

<sup>4</sup> - Yang et al.

<sup>5</sup> - Kaufman et al.,

<sup>6</sup> - Aerosol Index (AI)

<sup>7</sup> - Torres et al.,

<sup>8</sup> - Badarinath et al.,

<sup>9</sup> - Aerosol Optical Depth (AOD)

<sup>10</sup> - Zhang et al.,

<sup>11</sup> - Remer et al.,



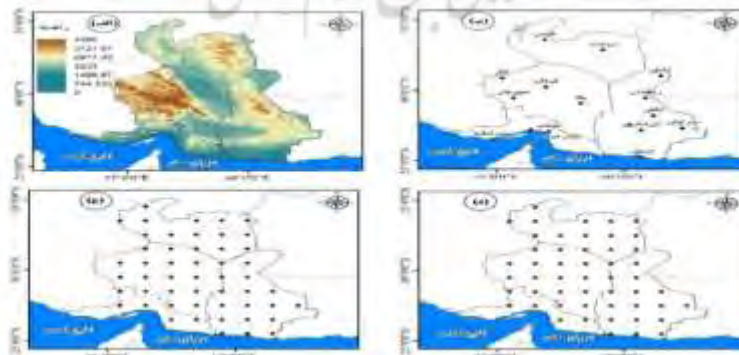
مانند استرالیا و قاره‌های شمالی متفاوت است. پایش زمانی- مکانی هواویزهای کشور پاکستان بر اساس داده‌های MODIS، TOMS، MISR و مدل HYSPLIT توسط عالم و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) انجام شد. مطالعه آن‌ها نشان داد رابطه قوی بین AOD سنجنده MISR و MODIS وجود دارد و در بین فصول تابستان بیشینه ذرات را دارا هست. ارزیابی مسیر ذرات نشان داد در فصل زمستان جریان هوا از مسافت‌های طولانی و در فصل تابستان از مسافت‌های نزدیک‌تر خواهد رسید. طارق و علی<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) توزیع زمانی- مکانی شاخص جذب هواویز (AAI) را در پاکستان با استفاده از سنجنده OMI ماهواره Aura طی دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ مطالعه کرده و به این نتیجه رسیدند؛ بیشینه هواویزها در ماه مه و کمینه آن در دسامبر رخ داده است که علت آن رابطه معکوس بین بارش و شاخص جذب هواویز بوده است.

در ایران طی سال‌های اخیر پژوهشگران زیادی به مطالعه هواویزها پرداختند که از جمله می‌توان به پژوهش تقوی و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد؛ آن‌ها با استفاده از ضخامت نوری هواویز (AOT) و خروجی مدل DREAM 8b دو رویداد گردوغبار غرب ایران (۱۴ اسفند ۱۳۸۹ و ۲۴ فروردین ۱۳۹۰) را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیدند استقرار کم‌فشار در سطح زمین، دلیل اصلی وقوع گردوغبار است. بررسی نقش شاخص‌های پوشش گیاهی و مؤلفه‌های جغرافیایی مکان بر عمق نوری هواویزهای فصلی ایران پژوهشی است که احمدی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از داده‌های سنجنده MODIS ماهواره Terra به ارزیابی آن پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد جنوب غرب، شرق و سواحل خلیج فارس بالاترین و شمال غرب کشور و زاگرس کمترین مقدار AOD را به خود اختصاص داده‌اند. رگرسین وزن دار جغرافیایی (GWR) نشان داد مقدار پوشش گیاهی توانایی بالایی در کنترل هواویزهای ورسپهر پایینی داشته و ارتفاعات نقش سد کنندگی مسیر ترابرد ذرات را دارند و در نتیجه بر انتشار گردوغبار در حالت محلی و منطقه‌ای نیز اثرگذار می‌باشند.

اگرچه مطالعات انجام‌شده در خصوص گردوغبارها، برآورد ذرات معلق و شیمی آن‌ها قابل توجه است؛ اما محدودیت‌های بسیاری کماکان در خصوص توزیع زمانی- مکانی فصلی آن‌ها وجود دارد. این مطالعه باهدف توزیع زمانی- مکانی فصلی هواویزها با استفاده از شاخص‌های AAI و AOD در شرق و جنوب شرق ایران انجام شد. دستاورد این مطالعه می‌تواند برای مطالعات آلودگی هوا، مدل‌سازی جو و سلامت عمومی مفید باشد.

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق شامل چهار استان سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی، کرمان و هرمزگان در شرق و جنوب شرق ایران است. این چهار استان ۵۸۵۹۰۱ کیلومترمربع از مساحت ایران را در برمی‌گیرند. طی سال‌های اخیر استان‌های شرقی و جنوب شرقی ایران به یکی از مهم‌ترین کانون‌های گردوغبار جنوب غرب آسیا تبدیل شدند؛ لذا از این جهت دارای ارزش مطالعاتی بالایی قرار دارند (شکل ۱-الف). حداقل ارتفاع منطقه مورد مطالعه صفر و بیشینه ارتفاعی آن ۴۴۶۶ متر از سطح دریا قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه، الف) مدل رقومی ارتفاعی؛ ب) ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب؛ ج) پیکسل‌های سنجنده MODIS؛ د) پیکسل‌های سنجنده OMI

<sup>1</sup>- Alam et al.,

<sup>2</sup>- Tariq & Ali

## روش پژوهش

در این مطالعه به منظور ارزیابی تغییرات فصلی گردوغبار ۱۵ ایستگاه سینوپتیک طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۰ انتخاب و سپس از مجموعه کدهای پدیده هوا کدهای ۰۶ تا ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ و ۹۸ استخراج گردید. میانگین بلندمدت رخداد گردوغبار هر فصل محاسبه و به صورت نقشه و جدول ارائه شد (شکل ۱-ب). برای بررسی روند داده‌های مورد استفاده نیز از آزمون ناپارامتریک Mann-Kendall (من<sup>۱</sup>، ۱۹۴۵؛ کندل<sup>۲</sup>، ۱۹۷۵) استفاده شد. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی در طیف گسترده‌ای از گرایش علوم محیطی و آب‌وهوای مورد استفاده قرار می‌گیرد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷). در این آزمون  $H_0$ : بیانگر توزیع تصادفی داده (فاقد روند) و  $H_1$  مبین روند داده‌ها است. در پایان برای بررسی همبستگی بین داده‌های ایستگاهی و داده‌های ماهواره‌ای از روش رتبه‌ای اسپیرمن استفاده شد.

## شاخص عمق نوری هواویز (AOD) و شاخص جذب هواویز (AAI)

سنجنده MODIS یک ابزار کلیدی در مأموریت‌های سیستم نظارت بر سطح زمین است (EOS<sup>۳</sup>) که سطح زمین را هر ۱ تا ۲ روز یکبار تصویربرداری می‌کند (جاستیک و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۹۸). این سنجنده توسط دو ماهواره Terra و Aqua به اخذ تصاویر می‌پردازد. دو الگوریتم Dark Target (DT) و Deep Blue (DB) (هسو و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۳) برای ارزیابی هواویزها بازیابی شده توسط سنجنده MODIS توسعه داده شدند. الگوریتم DT برای مطالعه بازیابی خواص هواویزها در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم توسعه داده شد (تاو و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۵). در حالی که الگوریتم DB برای بازیابی خواص هواویزها در سطوح روشن همانند بیابان‌ها توسعه داده شد. مناطق جنوب شرق ایران خشک و نیمه‌خشک هستند لذا با توجه به این مشخصه آب‌وهوایی در این پژوهش از الگوریتم Deep Blue (DB) برای مطالعه تغییرات زمانی-مکانی (AOD) طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ استفاده شد (شکل ۱-ج).

شاخص جذب هواویز (AAI) شاخصی کیفی از ذرات هواویز جاذب فرابنفش نزدیک، مانند دود یا گردوغبار معدنی است. از آنجایی که بازتاب سطحی فرابنفش در مناطق بیابانی تیره است، سنجنده‌هایی همچون TOMS از اطلاعات طیفی به منظور تعیین شاخص هواویز جذب‌کننده UV (AAI) استفاده می‌کنند. این شاخص به گردوغبار و دود در درجه نخست حساس است. جدیدترین فناوری TOMS با عنوان ابزار نظارت بر ازن (OMI) شناخته می‌شود که از همان اصول مشابه TOMS اما با قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالاتری استفاده می‌کند. سنجنده نامبرده روی ماهواره EOS Aura در سال ۲۰۰۴ نصب گردید و تاکنون در حال فعالیت است (احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۸). در این تحقیق از سنجنده OMI برای ارزیابی شاخص جذب هواویز (AAI) با طول دوره ۲۰۱۵-۲۰۰۵ استفاده شد (شکل ۱-د).

## پردازش داده‌های ماهواره‌ای

همان‌طور که گفته شد در این تحقیق داده‌های سن جنده‌های OMI و MODIS با تفکیک  $0.25 \times 0.25$  درجه قوسی از پایگاه LAADS DAAC با فرمت NC دریافت شد؛ در گام بعدی با استفاده از قابلیت‌های برنامه‌نویسی MATLAB داده‌های AOD و AAI رمزگشایی (Decode) شدند. پس تبدیل داده‌های روزانه به فصلی؛ داده‌ها در غالب جداول اطلاعاتی وارد محیط نرم-افزاری ArcMap شدند و با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ به واسطه کمترین مقدار مربعات خطا نقشه‌های مربوط به تغییرات زمان-مکانی گردوغبار تهیه شد.

<sup>۱</sup>- Mann

<sup>۲</sup>- Kendall

<sup>۳</sup>-Earth Observing System (EOS)

<sup>۴</sup>-Justice et al.,

<sup>۵</sup>-Hsu et al.,

<sup>۶</sup>-Tao et al.,

## نتایج و بحث

### مشخصات آماری گردوغبار ایستگاهی و ماهواره‌ای در شرق و جنوب شرق ایران

جدول (۱) کمیت‌های آماری میانگین، بیشینه و کمینه شاخص‌های هواویز (AI)، عمق نوری هواویز (AOD) و گردوغبار ایستگاهی را در مقیاس فصلی نشان می‌دهد. بر اساس نتایج ارائه شده بیشینه گردوغبار در فصل تابستان ۴۵/۵۱ روز و کمینه آن با متوسط ۲ روز در فصل پاییز محاسبه شد. میانگین گردوغبار نیز از رفتاری مشابه با کمیت‌های آماری کمینه و بیشینه پیروی می‌کند. بطوریکه متوسط بلندمدت گردوغبار ۹/۲۴ روز و بیشینه گردوغبار در فصل تابستان با ۱۲/۲۶ روز محاسبه شد. متوسط شاخص هواویز نیز در فصل تابستان با ۱/۱۹ به دست آمد. اما بیشینه متوسط شاخص عمق نوری هواویز (AOD) با مقدار ۰/۱۵۰ در فصل بهار به دست آمد. علت افزایش گردوغبار ایستگاه، شاخص‌های هواویز و عمق نوری هواویز در فصل بهار نشان‌دهنده فعال شدن چشمه‌های گردوغبار مؤثر در منطقه مورد مطالعه است. بیشینه شاخص‌های هواویز و عمق نوری هواویز نیز در فصل بهار به ترتیب ۱/۴۴ و ۰/۲۴ محاسبه گردید. تغییرات درون سالانه AI و AOD جنوب شرق ایران با فاز دو حداکثر مشخص می‌شود: ۱- فصل بهار و ۲- فصل تابستان. این تغییرات در جنوب شرق ایران را می‌توان با انتقال بار ورودی هواویز در ارتباط دانست.

جدول ۱. مشخصات آماری شاخص‌های هواویز (AI)، عمق نوری هواویز (AOD) و گردوغبار مشاهداتی (ایستگاهی) در منطقه مورد مطالعه (واحد روز)

متغیر	آماره	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
گردوغبار ایستگاه	کمینه	۳/۳۹۳	۳/۸۷۵	۳/۶۸۹	۲/۰۰۰
	بیشینه	۱۳/۲۲۸	۲۳/۷۱۳	۴۵/۵۱۴	۱۳/۲۲۲
	میانگین	۷/۷۶۹	۱۱/۷۴۸	۱۲/۲۶۵	۵/۲۰۲
شاخص هواویز	کمینه	۰/۹۰۴	۱/۱۳۴	۱/۰۱۸	۰/۸۱۸
	بیشینه	۱/۰۱۴	۱/۴۴۸	۱/۳۷۶	۰/۹۳۸
	میانگین	۰/۹۵۵	۱/۲۸۷	۱/۱۹۲	۰/۸۵۴
عمق نوری هواویز	کمینه	۰/۰۸۱	۰/۰۸۷	۰/۰۶۴	۰/۰۶۲
	بیشینه	۰/۱۹۵	۰/۲۴۴	۰/۲۲۴	۰/۱۷۸
	میانگین	۰/۱۱۸	۰/۱۵۰	۰/۱۴۰	۰/۱۰۱

جدول (۲) ارتباط بین جذب هواویز (AAI)، عمق نوری هواویز (AOD) و گردوغبار ایستگاهی را با مؤلفه‌های ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی نشان می‌دهد. رابطه گردوغبار فصلی در هر سه سطح مورد بررسی با ارتفاع رابطه معکوس دارد. گردوغبار ایستگاهی در فصول تابستان و پاییز در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. برای شاخص هواویز تنها فصل بهار با مقدار ۰/۹۱- در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

مقدار شاخص AOD در تمامی فصول با ارتفاع دارای رابطه معکوس معنی‌دار است. رابطه معکوس نشان می‌دهد که توزیع فضایی گردوغبار (برای هر دو سری داده‌های ایستگاهی و ماهواره‌ای) در مناطق مرتفع کم و در زمین‌های پست زیاد است. رابطه عرض جغرافیایی با مقادیر گردوغبار در تمامی فصول با شاخص‌ها معکوس است. این رابطه نشان می‌دهد که با افزایش در عرض جغرافیایی و دور شدن از منطقه کمربند گردوغبار، فراوانی روزهای گردوغباری، AAI و AOD به شدت کاهش می‌یابد. طول

جغرافیایی با شاخص‌های گردوغبار رابطه معکوس و مستقیم متفاوتی ارائه داد و تنها شاخص جذب هواویز (AAI) در فصل تابستان با عرض جغرافیایی رابطه مستقیم و معنی‌داری دارد. رابطه شاخص‌های ماهواره‌ای گردوغبار با گردوغبار ایستگاهی نیز در جدول (۲) ارائه شد که نشان می‌دهد ارتباط مناسبی بین داده‌های ماهواره‌ای و ایستگاهی وجود دارد.

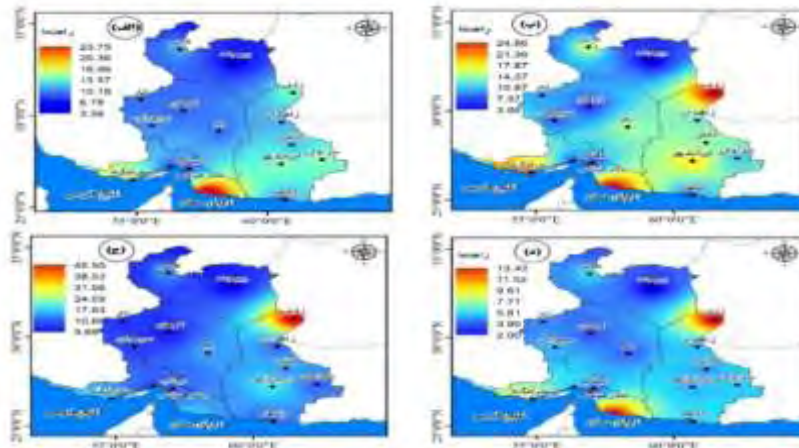
جدول ۲. ارتباط بین شاخص‌های هواویز (AI)، عمق نوری هواویز (AOD) و گردوغبار مشاهداتی (ایستگاهی) با ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی

متغیر	فصل	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	گردوغبار زمستان	گردوغبار بهار	گردوغبار تابستان	گردوغبار پاییز
گردوغبار ایستگاه	زمستان	-۰/۲۹۳	۰/۲۷۰	-۰/۲۴۰	۱	۰/۷۹۳	۰/۷۲۷	۰/۶۰۹
	بهار	-۰/۱۳۴	۰/۱۸۷	-۰/۵۲۵	۰/۷۹۳	۱	۰/۹۲۱	۰/۶۵۷
	تابستان	-۰/۳۲۸	۰/۳۲۳	-۰/۶۰۴	۰/۷۲۷	۱	۱	۰/۵۳۸
	پاییز	-۰/۱۱۴	-	-۰/۵۷۴	۰/۶۰۹	۰/۶۵۷	۰/۵۳۸	۱
شاخص هواویز	زمستان	۰/۲۲۷-	۰/۴۵۱	-۰/۴۵۱	-۰/۰۱۱	۰/۳۷۶	۰/۳۳۶	۰/۳۲۷
	بهار	-۰/۶۹۳	۰/۰۵۱	-۰/۹۱۲	۰/۱۶۵	۰/۳۵۴	۰/۴۵۹	۰/۳۷۶
	تابستان	-۰/۴۴۲	۰/۷۲۳	-۰/۵۳۰	۰/۴۲۴	۰/۴۴۲	۰/۶۰۴	۰/۲۵۳
	پاییز	۰/۷۰۰-	۰/۲۴۰	۰/۰۹۰	-۰/۳۱۹	-۰/۰۵۵	-۰/۲۰۰	-۰/۰۰۷
عمق نوری هواویز	زمستان	-۰/۲۵۱	۰/۴۳۷	-۰/۷۴۹	۰/۰۸۱	۰/۴۴۲	۰/۴۰۷	۰/۴۵۱
	بهار	-۰/۳۶۱	-	-۰/۸۸۶	۰/۲۳۱	۰/۵۷۸	۰/۵۴۷	۰/۵۹۱
	تابستان	-۰/۷۷۹	۰/۰۰۷	-۰/۹۰۸	۰/۲۲۲	۰/۴۰۷	۰/۵۴۷	۰/۳۶۳
	پاییز	-۰/۵۳۹	۰/۱۹۶	-۰/۹۳۴	۰/۱۴۳	۰/۴۸۱	۰/۵۲۵	۰/۴۷۳

مقادیر پررنگ در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار هستند.

### توزیع فصلی گردوغبار ایستگاهی و ماهواره‌ای در شرق و جنوب شرق ایران

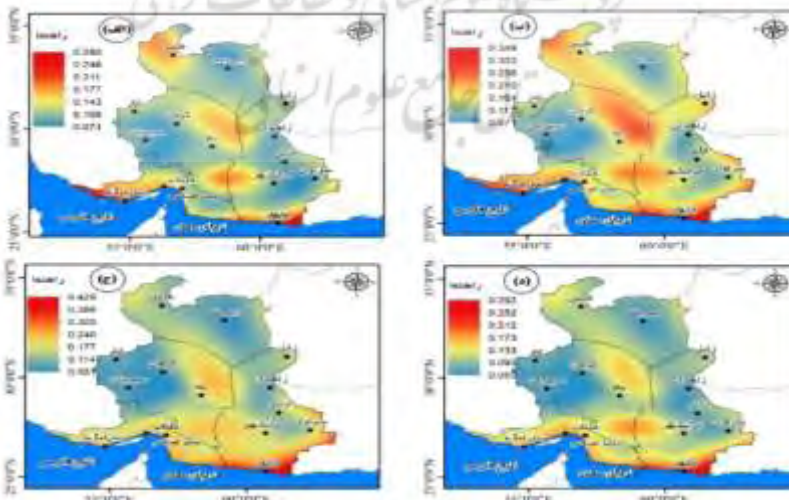
شکل (۲) توزیع فصلی گردوغبار را با استفاده از ۱۵ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک طی دوره ۲۰۱۵-۱۹۸۰ نشان می‌دهد. بیشینه گردوغبار در تمامی فصول به‌غیر از فصل زمستان در جنوب شرق ایران و شهر زابل به‌دست‌آمده است. بیشینه گردوغبار برای فصول گرم سال مشاهده شد. کمینه روزهای گردوغبار در فصل پاییز با متوسط ۲ روز در ارتفاعات استان‌های خراسان جنوبی و کرمان مشاهده گردید. تنها در فصل پاییز گردوغبار کمتر از ۲۰ روز در سال است.



شکل ۲. توزیع فصلی روزهای گردوغباری (۲۰۱۵-۱۹۸۰): الف) فصل زمستان؛ ب) فصل بهار؛ ج) فصل تابستان و د) فصل پاییز

نواحی شرقی (به‌ویژه در استان سیستان) بعد از یک دوره خشک در دهه ۱۹۹۰ و به دلیل تغییرات در کاربری اراضی و خشک‌شده دریاچه هامون، فراوانی گردوغبار به‌سرعت افزایش‌یافته است؛ خشک شدن دریاچه هامون یکی از دلایل اصلی افزایش شدید گردوغبار بر روی این منطقه از ایران است (راشکی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲). تغییرپذیری فصلی گردوغبار در ایستگاه زابل، توسط داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نیز مورد تأیید قرار گرفته است. در ایستگاه زابل بیشینه سرعت باد در نزدیکی سطح زمین به هنگام صبح و کمینه مقدار آن در ساعات بعدازظهر مشاهده می‌شود. این تغییرات روزانه به دلیل گسترش جت سطح پایین در تشدید سرعت باد ارتفاع ده متری در صبح است (عیلزاده‌چوبری و همکاران، ۲۰۱۴). میدلتون<sup>۲</sup> (۱۹۸۶) دریافت که بالاترین میانگین سالانه روزهای همراه با توفان‌های گردوغبار در جنوب غرب آسیا در شهر زابل دیده می‌شود. هسته‌های بیشینه دیگر که همچون جزایری در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شوند در مناطق با ارتفاع کم از قبیل دشتهای ساحلی دریای عمان در جنوب شرق (سواحل مکران)، چاله جازموریان در جنوب شرق ایران و جنوب دشت لوت واقع شده‌اند. این مناطق را می‌توان به‌عنوان نواحی مهم چشمه‌های تولید گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران معرفی نمود.

شکل (۳) توزیع فصلی عمق نوری هواویز (AOD) را مبتنی بر خروجی سنجنده MODIS ماهواره Terra نشان می‌دهد. مقدار AOD در فصل زمستان بین ۰/۰۷۴ تا ۰/۲۸۰؛ فصل بهار بین ۰/۰۷۱ تا ۰/۳۴۹؛ فصل تابستان ۰/۰۵۱ تا ۰/۴۲۹ و درنهایت در فصل پاییز بین ۰/۰۵۳ تا ۰/۲۹۲ قرار دارد.



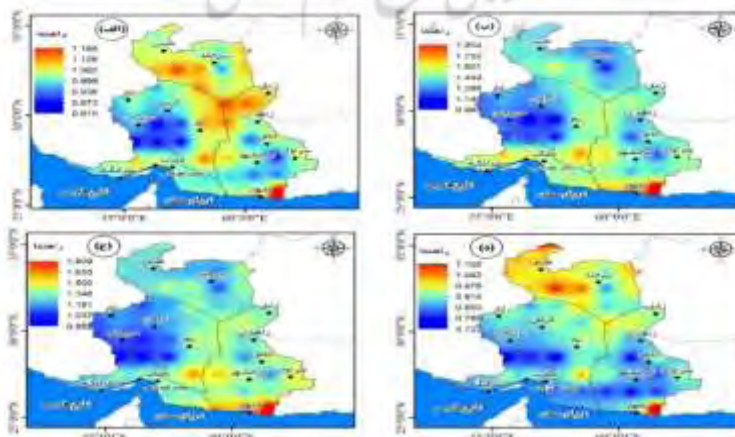
شکل ۳. توزیع فصلی عمق نوری هواویز (AOD) (۲۰۱۵-۲۰۰۵): الف) فصل زمستان؛ ب) فصل بهار؛ ج) فصل تابستان و د) فصل پاییز

<sup>1</sup>-Rashki et al.,

<sup>2</sup>-Middleton

همان‌طور که در شکل (۳) و جدول (۱) نیز نشان داده شد؛ در فصل تابستان و سپس در فصل بهار بیشینه مقدار AOD را می‌توان با کمبود بارش، رطوبت خاک و تقویت کم‌فشارهای سطحی مرتبط دانست. جنوب شرق ایران در سواحل دریای عمان مقدار AOD بالایی را در تمام فصول سال نشان می‌دهند. بر اساس یافته‌های راشکی و همکاران (۲۰۱۴) در طول فصل زمستان مقادیر AOD بالایی در حوضه سند در پاکستان و برخی از مناطق همچون عربستان و سیستان مشاهده می‌شود؛ بر اساس نتایج این مطالعه مقدار بالای این شاخص در منطقه اول ناشی از هواویزهای مرتبط با فعالیت‌های انسان است و لذا مقدار بالای AOD این منطقه را می‌توان با کانون‌های گردوغباری حوزه سند در پاکستان، دشت سیستان و بستر خشکیده دریاچه هامون مرتبط دانست. مهم‌ترین کانون‌های AOD در شرق و جنوب شرق ایران را می‌توان به این ترتیب عنوان کرد: ۱- سواحل مکران؛ ۲- بسترهای خشک‌شده دریاچه‌های هامون و جازموریان ۳- دشت لوت و ۴- منطقه مرزی ایران، افغانستان و پاکستان که به دشت مارگو مشهور است. براتی و همکاران (۱۳۹۶) «غرب سو شدن جریان‌های هوا در ترازهای پایین و میانی جو در جنوب ایران»، «کاهش نم نسبی هوا به‌ویژه در لایه پایین» و «عمیق‌تر و متمرکز شدن کانون‌های کم‌فشار سند» را سه فراسنج جوی مهم برای برداشت و انتقال گردوغبار در شرق و جنوب شرق ایران عنوان کرده‌اند.

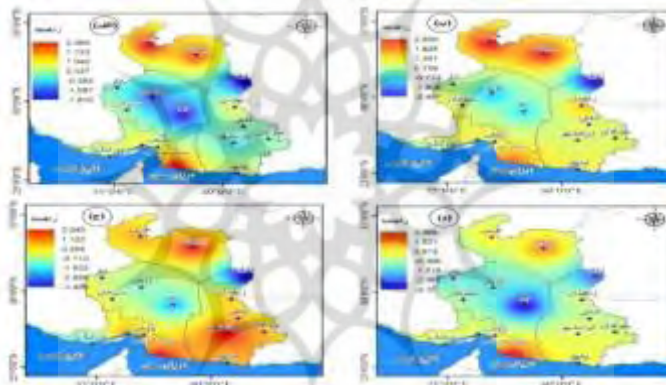
توزیع فصلی شاخص هواویز (AI) در شکل (۴) بر اساس سنجنده OMI ماهواره Aura نشان داده شد. مقدار AI در فصل زمستان بین ۰/۸۱۰ تا ۱/۱۸۹؛ فصل بهار بین ۰/۹۹۵ تا ۱/۹۰۴؛ فصل تابستان ۰/۸۸۲ تا ۱/۸۰۹ و در فصل پاییز بین ۰/۷۲۲ تا ۱/۱۰۶ محاسبه گردید. جنوب شرق ایران در حوالی چابهار در تمام فصول بیشینه شاخص AI را نشان داد. بستر خشک‌شده جازموریان نیز یکی از کانون‌های اصلی شاخص هواویز (AI) است که به‌عنوان یکی از کانون‌های اصلی گردوغبار داخلی نقش‌آفرینی می‌کند. گودی و میدلتون (۲۰۰۶) نیز با استفاده از شاخص هواویز سنجنده TOMS چهار منطقه منشأ اصلی هواویز با شاخص ریز گرد بیش از ۸ را در شرق و جنوب شرق ایران معرفی کردند که با نتایج به‌دست‌آمده از سنجنده OMI همخوانی دارد. این مناطق عبارت‌اند از: ۱- منطقه ساحلی مکران در جنوب شرق ایران که به سمت پاکستان گسترش دارد، ۲- منطقه وسیعی در مرکز پاکستان، ۳- منطقه وسیعی در مرز ایران، افغانستان و پاکستان در حوضه سیستان و ۴- منطقه‌ای که تا حدودی با حوضه سند در ارتباط است. تمامی این مناطق به‌عنوان کانون‌های مؤثر افزایش AI و توفان‌های گردوغباری فعال برای شرق، جنوب شرق و جنوب ایران مطرح هستند. در خصوص این که مکران در سواحل دریای عمان چرا به یکی از مناطق اصلی AI شرق و جنوب شرق ایران در تمامی فصول سال تبدیل شده است باید عنوان کرد که مکران منطقه‌ای فراخشک متعلق به اواخر دوره کواترنر است که مواد کوه‌های داخلی در قسمت نوار ساحلی ذخیره می‌شود و مواد ریزه به‌اندازه سیلت از رودخانه فصلی و مخروط افکنه‌ها به‌طرف جنوب خلیج فارس منتقل شده و در ساحل رسوب می‌کنند که به‌راحتی قابل بلند شدن از سطح زمین هستند.



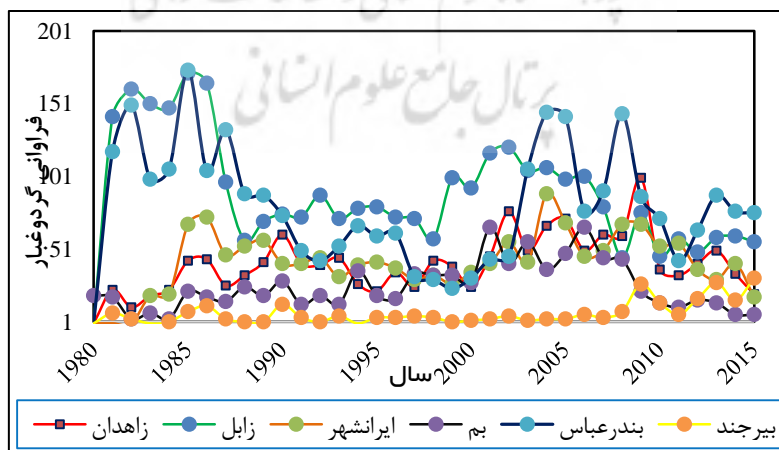
شکل ۴. توزیع فصلی شاخص هواویز (AI) (۲۰۰۵-۲۰۱۵): الف) فصل زمستان؛ ب) فصل بهار؛ ج) فصل تابستان و د) فصل پاییز

روند فصلی گردوغبار ایستگاهی در شرق و جنوب شرق ایران

روند فصلی گردوغبار با استفاده از ۱۵ ایستگاه سینوپتیک طی دوره (۲۰۱۵-۱۹۸۰) در شرق و جنوب شرق ایران با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندل (MK) در شکل (۵) و سری سالانه ۶ ایستگاه در شکل (۶) نشان داده شد. غالب روند روزهای گردوغباری در شرق و جنوب شرق ایران افزایشی است. مناطقی با روند کاهشی گردوغبار در تمامی فصول در زابل (شکل ۶ خط آبی‌رنگ)، بم (شکل ۶ خط سیاه‌رنگ) و کرمان مشاهده شد. این روند کاهشی به‌غیر از فصل زمستان در سایر فصول در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است. در تأیید نتایج به‌دست‌آمده برای تغییر کاهشی گردوغبار میدلتون (۲۰۱۹) ابراز داشت گردوغبار در زابل از سال ۲۰۰۴ کاسته شده است. در خصوص علت این امر می‌توان به نقش متغیرهای اقلیمی و انسانی اشاره کرد که در این میان، فرآیندهای طبیعی (همچون بارش و شدت باد) تأثیر بیشتری نسبت به اقدامات انسانی داشته‌اند. در تمامی فصول مناطق شمالی (بیرجند تا طبس (شکل ۶)) و مناطق جنوبی (چابهار تا بندرعباس (شکل ۶)) روند افزایشی را نشان داده‌اند. بیشینه شدت روند در فصل بهار با مقدار  $Z = 2/808$  محاسبه شد. فصول پاییز و زمستان در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند. به لحاظ پهنه‌های هم‌روند افزایشی، فصل تابستان بیشینه پهنه‌هایی با روند افزایشی معنادار را نشان داده است. منطقه سیستان دارای عوامل محیطی منحصر به فردی است که می‌تواند در افزایش طوفان‌های گردوغباری مؤثر باشند. افزایش سرعت و گستره فعالیت بادهای منطقه‌ای سیستان از ۱۲۰ روزه ۱۶۵ روز نیز عاملی است که در تغییرپذیری منطقه‌ای گردوغبار در این محدوده از ایران نقش چشمگیری دارد. به‌طور کلی خصوصیات خاک، آشفته‌گی جوی، مقدار آب دریاچه هامون و تغییرپذیری بارش را می‌توان عوامل اساسی تغییرات گردوغبار در جنوب شرق و شرق ایران عنوان کرد.



شکل ۵. توزیع فصلی روند روزهای گردوغباری (۲۰۱۵-۱۹۸۰) با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندل (MK)؛ الف) فصل زمستان؛ ب) فصل بهار؛ ج) فصل تابستان و د) فصل پاییز



شکل ۶. سری زمانی سالانه روزهای گردوغباری در ایستگاه‌های منتخب

## نتیجه‌گیری

تغییرات فصلی شاخص‌های AOD، AI و گردوغبار ایستگاهی در جنوب‌شرق و شرق ایران نشان داد زابل، منطقه مرزی ایران و پاکستان، سواحل مکران و بستر خشکیده دریاچه جازموریان به‌عنوان کانون‌های اصلی گردوغبار هستند. از منظر فصلی، فصول تابستان و بهار بیشینه شدت رویدادهای گردوغباری را به خود اختصاص داده‌اند. متوسط بلندمدت گردوغبار ۹/۲۴ روز و در فصل تابستان با ۱۲/۲۶ روز بیشینه میانگین گردوغبار فصلی را نشان دادند. گردوغبار در جنوب شرق و شرق ایران با ارتفاع و عرض جغرافیایی رابطه معکوس نشان داده است بطوریکه با افزایش ارتفاع و عرض جغرافیایی و دوری از چشمه‌های گردوغباری از مقدار هواویزها موجود در جو و روزهای گردوغباری در منطقه مورد مطالعه کاسته می‌شود. پارامترهای جوی، خشک شدن رودها و دریاچه‌ها و تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان سه عامل کارا در تولید و انتشار گردوغبار در شرق و جنوب‌شرق ایران نقش‌آفرینی می‌کنند.

شاخص هواویز (AI) و عمق نوری هواویز (AOD) در دوره گرم سال به‌ویژه در فصل تابستان مقدار بیشینه را نشان داده است علت این افزایش قابل‌توجه به دلیل کمبود بارش، رطوبت خاک و تقویت کم‌فشارها است. روند فصلی گردوغبار ایستگاهی در شرق و جنوب‌شرق ایران با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندل (MK) نشان داد روند غالب در ۱۵ ایستگاه موردبررسی افزایشی است. در بین فصول موردبررسی ایستگاه‌های زابل، بم و کرمان دارای روند کاهشی هست که در خصوص ایستگاه زابل و در تأیید نتایج به‌دست‌آمده میدلتون (۲۰۱۹) ابراز داشته است روند گردوغبار در زابل از سال ۲۰۰۴ به دلیل شرایط آب‌وهوایی و انسانی روندی کاهشی داشته است. بیشینه شدت روند روزهای گردوغباری نیز در فصل بهار و از نظر مکانی در فصل تابستان اتفاق افتاده است.



## منابع

- احمدی، محمود؛ چترچی، پرسیا؛ داداشی رودباری، عباسعلی (۱۳۹۷). مدل سازی روند بارش در منطقه غرب آسیا تحت واداشت دگرگونی آب‌وهوایی، پژوهش‌های دانش زمین، سال ۹، شماره ۳۵، صص ۶۸-۸۰.
- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۸). توزیع زمانی- مکانی ذرات معلق (PM2.5) با رویکرد محیط‌زیست در غرب و جنوب ایران بر مبنای سنجنده های SeaWifs، MISR و MODIS، محیط‌شناسی، ۴۵(۳)، ۳۸۰-۳۹۵.
- احمدی، محمود؛ شکیبا، علیرضا؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۸). بررسی نقش شاخص‌های پوشش گیاهی و مؤلفه‌های جغرافیایی مکان بر عمق نوری هواویزهای فصلی ایران. فیزیک زمین و فضا، ۴۵(۱)، ۲۱۱-۲۳۳.
- براتی، غلامرضا؛ مرادی، محمد؛ شامخی، عایشه؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۶). تحلیل روابط توفان‌های غباری جنوب ایران با کم‌فشار سند، مخاطرات محیط طبیعی، ۶(۱۳)، ۹۱-۱۰۸.
- تقوی، فرحناز؛ اولاد، الهه؛ صفر راد، طاهر؛ ایران‌نژاد، پرویز. (۱۳۹۲). تشخیص و پایش توفان گردوغبار غرب ایران با استفاده از روش‌های سنجنش‌ازدور، فیزیک زمین و فضا، ۳۹(۳)، ۸۳-۹۶.
- داداشی رودباری، عباسعلی؛ احمدی، محمود. (۱۳۹۸). وردایی زمانی- مکانی و نقطه تغییر شاخص جذب هواویز (AAI) ایران مبتنی بر برون‌داد سنجنده های TOMS و OMI، فیزیک زمین و فضا، ۴۵(۳)، ۵۰۳-۴۸۶.

## References

- Alam, K., Qureshi, S., & Blaschke, T. (2011). Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmospheric environment*, 45(27), 4641-4651.
- Alizadeh-Choobari, O., Zawar-Reza, P., & Sturman, A. (2014). The “wind of 120 days” and dust storm activity over the Sistan Basin. *Atmospheric Research*, 143, 328-341.
- Badarinath, K. V. S., Kharol, S. K., Kaskaoutis, D. G., & Kambezidis, H. D. (2007) Dust storm over Indian region and its impact on the ground reaching solar radiation—a case study using multi-satellite data and ground measurements, *Science of the Total Environment*, 384, 316-332.
- Bellouin, N., Boucher, O., Haywood, J., & Reddy, M. S. (2005). Global estimate of aerosol direct radiative forcing from satellite measurements. *Nature*, 438(7071), 1138.
- Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). Desert dust in the global system. Springer Science & Business Media.
- Hsu, N. C., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A. M., Hansell, R., Seftor, C. S., ... & Tsay, S. C. (2013). Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(16), 9296-9315.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). *Climate Change: Physical Science Basis*. Cambridge University Press, New York. pp. 131–216.
- Jish Prakash, P., Stenchikov, G. L., Kalenderski, S., Osipov, S., & Bangalath, H. K. (2015). The impact of dust storms on the Arabian Peninsula and the Red Sea.
- Justice, C. O., Vermote, E., Townshend, J. R., Defries, R., Roy, D. P., Hall, D. K., ... & Lucht, W. (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land remote sensing for global change research. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 36(4), 1228-1249.

- Kaufman, Y. J., Tanré, D., & Boucher, O. (2002). A satellite view of aerosols in the climate system. *Nature*, 419(6903), 215.
- Kaufman, Y. J., Koren, I., Remer, L. A., Tanré, D., Ginoux, P., & Fan, S. (2005). Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D10).
- Kendall, M. (1975). *Multivariate analysis*. Charles Griffin.
- Lyles, M. B., Fredrickson, H. L., Bednar, A. J., Fannin, H. B., Griffin, D. W., & Sobecki, T. M. (2012, April). Medical geology in the Middle East: potential health risks from mineralized dust exposure. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (Vol. 14, p. 1668).
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
- Middleton, N. J. (1986). A geography of dust storms in South-west Asia. *Journal of Climatology*, 6(2), 183-196.
- Middleton, N. (2019). Variability and Trends in Dust Storm Frequency on Decadal Timescales: Climatic Drivers and Human Impacts. *Geosciences*, 9(6), 261.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Rautenbach, C. D., Eriksson, P. G., Qiang, M., & Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, 5, 51-62.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. D. W., Flamant, C., & Vishkaee, F. A. (2014). Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations. *Natural hazards*, 71(1), 563-585.
- Remer, L. A., Kleidman, R. G., Levy, R. C., Kaufman, Y. J., Tanré, D., Mattoo, S., ... & Holben, B. N. (2008). Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D14).
- Tao, M., Chen, L., Wang, Z., Tao, J., Che, H., Wang, X., & Wang, Y. (2015). Comparison and evaluation of the MODIS Collection 6 aerosol data in China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(14), 6992-7005.
- Tariq, S., & Ali, M. (2015). Spatio-temporal distribution of absorbing aerosols over Pakistan retrieved from OMI onboard Aura satellite. *Atmospheric Pollution Research*, 6(2), 254-266.
- Torres, O., Bhartia, P. K., Herman, J. R., Ahmad, Z., & Gleason, J. (1998). Derivation of aerosol properties from satellite measurements of backscattered ultraviolet radiation: Theoretical basis, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D14), 17099-17110.
- Yang, Q., Yuan, Q., Li, T., Shen, H., & Zhang, L. (2017). The relationships between PM<sub>2.5</sub> and meteorological factors in China: Seasonal and regional variations. *International journal of environmental research and public health*, 14(12), 1510.
- Zhang, M., Ma, Y., Wang, L., Gong, W., Hu, B., & Shi, Y. (2018). Spatial-temporal characteristics of aerosol loading over the Yangtze River Basin during 2001–2015. *International Journal of Climatology*, 38(4), 2138-2152.