

Investigating Flood-Induced Dust Generation: A GEE Analysis with OLI & Sentinel-1 Data (Anar-Rafsanjan Flood case study)

Ali Mehrabi

Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

E-mail: Mehrabi@uk.ac.ir



How to Cite: Mehrabi, A. (2025). Investigating Flood-Induced Dust Generation: A GEE Analysis with OLI & Sentinel-1 Data (Anar-Rafsanjan Flood case study). *Geography and Development*, 23 (78), 157-174.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2024.47784.3610>

Received:

20 January 2024

Received in revised form:

30 May 2024

Accepted:

8 June 2024

Published online:

27 March 2025

ABSTRACT

Today, the increasing occurrence of dust storms is one of the most important environmental hazards that plague many areas, especially desert and dry areas. One of the important factors in the occurrence of this phenomenon is the type of soil and the presence of fine-grained sediments as a source of dust, considering that the flood phenomenon plays an important role in the movement of soils and their deposition in flooded areas. This study attempts to analyze the role of seasonal floods in creating new sources of dust by investigating and analyzing this issue. In this regard, the OLI and Sentinel 1 sensor images were used. Analyses were performed using the GEE system environment, ENVI, and SNAP software. By applying the spectral thresholding method on Sentinel 1 images related to the flood of August 5, 1401, in Rafsanjan-Anar cities, the flooded areas were determined. By processing the OLI images, the clay sediments deposited as a result of the flood were highlighted. Drawing the graph of monthly average AOD during 10 years shows the increasing trend of dust masses, as well as examining this graph and comparing the map of dust masses with the map of sedimented areas as a result of the April 5 flood in the study area. It is a confirmation of the role of the mentioned flood in creating new and local sources in the studied area.

Keywords:

Dust mass,
AOD index,
Flood,
Sentinel image 1,
Anar-Rafsanjan Plain.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

According to the definition of the World Meteorological Organization, dust storms are defined as strong winds that carry large amounts of sand and dust from dry and bare soil into the atmosphere and carry them hundreds to thousands of kilometers away. This dynamic phenomenon includes four stages, land degradation, wind erosion, transport (movement) and deposition. Dust storms occur when wind erosion exceeds the soil's ability to resist surface erosion. The wind lifts the destroyed soil particles from the ground and takes them thousands of kilometers away. Satellite sensors, ground-based lidars, and radar systems can provide high spatial and temporal resolution data for various atmospheric parameters, including dust optical depth (AOD), dust concentration, wind speed, and wind direction. Satellite-based remote sensing platforms such as the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) are commonly used to estimate AOD. AOD measures the amount of light that is blocked by airborne particles from passing from the ground to the atmosphere. In the researches that have been conducted in the field of dust, some of which have been mentioned, in addition to regional and regional sources of dust, local sources have also been mentioned and it is considered as one of the important factors in the shape of

dust. The collection of dust masses has been mentioned. Based on this, according to the flood mechanism that washes the soil from the upstream areas and transports them in the lowland areas, Usually, the process of transportation and sedimentation in flooded areas can feed dust sources and as a result create new sources of dust in these areas. In this research, for the first time, this possible relationship was tried to be investigated in detail, in this regard, the area of Pomegranate Plain-Rafsanjan was chosen as the study area. In order to monitor dust masses, AOD index was prepared from OLI sensor satellite images. Sentinel 1 images were also used to identify sedimented areas caused by the flood of August 5, 1401.

2. Methods and Material

Anar - Rafsanjan plain with an area of approximately 4300 km and stretching northwest-southeast in the north of Kerman province, between latitudes 29 degrees 56 minutes to 31 degrees 20 minutes north and longitudes 54 degrees 50 minutes and 56 It is located 45 minutes east. This plain is limited to the heights of Badbakht Kouh and Davaran from the north side and to the heights of Miduk and Sarcheshmeh from the south side. The average height of the plain is 1480 meters. In terms of climate, the studied area is among arid and semi-arid areas and the average annual rainfall is 140 mm. In terms of structural zone, Anar-Rafsanjan plain is the down-dip part of a horst-graben structure. There are more than 50,000 hectares of pistachio agricultural land in this plain, which is irrigated with underground water. The location of the studied area is clear in Figure 1. On August 5, 2022, as a result of heavy rains, a devastating flood hit Anar and Rafsanjan cities in the north of Kerman province, as a result of which there was a lot of damage to agricultural fields, urban and rural infrastructures, and the death of several people.

3. Results and Discussion

The flood of August 5, 2022 in Rafsanjan and Anar cities flooded many areas of the Anar-Rafsanjan plain. By using the threshold limit method and applying it to the Sentinel 1 radar image of August 9, the flooded areas were identified. The raw image related to the studied area is shown in Figure 3 a, Figure 3 b shows the Sigma Naught image resulting from applying the threshold method; As can be seen in this picture, the flooded areas are highlighted with light color. Marked areas are areas where there is still water after 4 days of the event. By performing vectorization operations in ArcGIS software, a map of flooded areas was extracted on the Sigma Naught image (Figure 4). The flood of August 5 caused a lot of sediments to settle in the Anar-Rafsanjan Plain. By applying the OIF index on the OLI sensor image of August 12th and choosing the optimal combination, the educational sample and image classification are prepared. As a result, the sedimented areas were identified and mapped (Figure 5). As can be seen in Figure 5, many areas of the plain have been affected by floods and sedimentation has been carried out in them. To evaluate the accuracy of the sedimentation map, the error matrix was used, and the overall accuracy was 82% and the Kappa coefficient was 74, which shows that the accuracy of the map is acceptable. In order to monitor dust concentration in the study area, AOD index was extracted from OLI images by GEE system. The monthly AOD index over a period of 10 years is shown in Figure 6. The larger the AOD values, the higher the dust concentration. The lowest and highest average monthly dust amounts are on January 1, 2014 and July 12, 2023, respectively. Paying attention to the change trend of this index in Figure 6 shows that the dust concentration had an increasing trend. And as it is evident in the graph, despite the increasing trend in all data, after August 11, 2022 (20 Shahrivar 1401), the maximum values of the index reached 0.4 and after that, this maximum value in the year It has been repeated later; In general, since this date, the graph has had an impressive and significant upward trend.

4. Conclusion

The results of applying the threshold method on the Sentinel 1 image, four days after the event, identified the flooded areas. About 39% of the studied area (1700 square kilometers) has been affected by this flood. Also, the sedimented areas were identified by analyzing the OLI satellite image. In fact, these areas can be considered as new sources of dust in the region. In order to investigate the possible relationship and impact between these sedimented areas and the dust masses located in the study area, using the GEE system, the average monthly AOD

index of the last 10 years was prepared. Also, on the other hand, a map of sedimented areas was prepared as a result of the April 5 flood in the study area. Calculating the AOD index from OLI images, using the GEE system and the ERF machine learning model method, is a way that can replace the AOD product of MODIS images in many researches, because since the OLI sensor images have a spatial resolution of 30 meters and as a result, the dust masses can be detected well on a local scale, while the AOD product of MODIS images has a resolution of 1 km.

Keywords: Dust mass, AOD index, flood, Sentinel image 1, Anar -Rafsanjan Plain.

5. References

- Aragnou, E., SeanWatt, H., Nguyen, D., Cassandra, C., Matthew, R., Leys, J., White, S., Salter, D., Merched, A., Tzu-Chi, L. Morgan, G., Hannigan, I (2021). Dust transport from Inland Australia and its impact on air quality and health on the eastern coast of Australia during the February 2019 dust storm. *Atmosphere* 12(2), 141.
<https://doi.org/10.3390/atmos12020141>
- Bolorani, A.D., Shorabeh, S.N., Samany, N.N., Mousivand, A., Kazemi, Y., Jaafarzadeh, N., Zahedi, A., Rabiei, J (2021). Vulnerability mapping and risk analysis of sand and dust storms in Ahvaz, IRAN. *Environ. Pollut.*, 279, 116859.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116859>
- Cheki Forak, M., Doostan, R., Minaei, M (2023). Identification of Dust Centers in Birjand City. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 13(46), 61-84.
[doi: 10.22111/gaij.2023.42530.3034](https://doi.org/10.22111/gaij.2023.42530.3034)
- Chakraborty, S., Guan, B., Waliser, D. E., da Silva, A. M., Uluatam, S., Hess, P (2021). Extending the atmospheric river concept to aerosols: Climate and air quality impacts. *Geophysical Research Letters*, 48(9), e2020GL091827.
<https://doi.org/10.1029/2020gl091827>
- Congalton, R.G (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 37: 35-46.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Dezfuli, A., Bosilovich, M. G., Barahona, D (2021). A dusty atmospheric river brings floods to the Middle East. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL095441.
<https://doi.org/10.1029/2021GL095441>
- Filonchik, M (2021). Characteristics of the severe March 2021 Gobi Desert dust storm and its impact on air pollution in China. *Chemosphere*, 287, 13-27.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132219>
- Jafari, M., Zehtabian, G., Ahmadi, H., Mesbahzadeh, T., Norouzi, A. A (2020). Detecting and routing of dust event using remote sensing and numerical modeling in Isfahan Province. *Environmental Sciences*, 18(1), 105-116.
[doi: 10.29252/envs.18.1.105](https://doi.org/10.29252/envs.18.1.105)
- Jahantigh, M., Jahantigh, M., Iranmanesh, F (2023). Identification of Storms and Centers of Dust Production in Southeast of Iran (Case Study: Sistan Region). *E.E.R.* 13(3), 67-92.
[doi:20.1001.1.22517812.1402.13.3.4.0](https://doi.org/10.22517812.1402.13.3.4.0)
- He, M., Xiao, J., Shi, Y., Wu, Y (2021). Spatio-temporal distribution characteristics of aerosol optical depth in Guangdong, Hong Kong and Macao from 2010 to 2019. *J. Trop. Meteorol.*, 37, 647–655.
<https://doi.org/10.13227/j.hjxk.201908197>
- Karami, S., Nasim, H., Dimitris Kaskaoutis, D., Alireza Rashki, A., Khan Alam, K., and Abbas Ranjbar, A (2021). Numerical simulations of dust storms originated from dried lakes in central and southwest Asia: The case of Aral Sea and Sistan Basin. *Aeolian Research*, 50, 100679.
<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100679>
- Kunkelova, T., Crocker, A. J., Wilson, P. A., Schepanski, K (2024). Dust source activation frequency in the Horn of Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129, e2023JD039694.
<https://doi.org/10.1029/2023JD039694>

- Kim, H., Chung, Y., Kim, J (2013). Spatio-temporal variations of optical properties of aerosols in East Asia measured by MODIS and relation to the ground-based mass concentrations observed in central Korea during 20012010. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 50, 191–200.
<https://doi.org/10.1007/s13143-014-0007-8>
- Liang, T., Liang, S., Zou, L., Sun, L., Li, B., Lin, H., He, T., Tian, F (2022) Estimation of Aerosol Optical Depth at 30 m Resolution Using Landsat Imagery and Machine Learning. *Remote Sensing*, 14(5), 1053.
<https://doi.org/10.3390/rs14051053>
- Liu, J., Freudenberger, D., Lim, S (2022). Mapping burned areas and land-uses in Kangaroo Island using an object-based image classification framework and Landsat 8 Imagery from Google Earth Engine. *Geomat Nat Hazards Risk*, 13(1), 1867–1897.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2098066>
- Luo, J., Huang, F., Gao, S., Liu, S., Liu, R., Devasthale, A (2021). Satellite Monitoring of the Dust Storm over Northern China on 15 March 2021. *Atmosphere* 2022, 13, 157.
<https://doi.org/10.3390/atmos13020157>
- Merdji, A.B., Xu, X., Lu, C., Habtemicheal, B.A., Li, J (2022). Accuracy assessment and climatology of MODIS aerosol optical properties over North Africa. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 30, 13449–13468.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-22997-8>
- Munoz, D.F., Munoz, P., Moftakhari, H., Moradkhani, H (2021). From local to regional compound flood mapping with deep learning and data fusion techniques. *Sci. Total Environ.*, 782, 146927.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146927>
- Opp, C., Groll, M., Abbasi, H., Ahmadi Foroushani, M (2022). Causes and Effects of Sand and Dust Storms: What Has Past Research Taught Us? A Survey. *Journal of Risk and Financial Management*, 14: 326.
<https://doi.org/10.3390/jrfm14070326>
- Otsu, N (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybernet.*, 9 (1), 62–66.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
- Shayesteh, K., Gharibi, S (2022). Application of GEE in Dust Actual Sources Detection using Sentinel- 5 and Modis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 1-16.
[doi: 10.22111/jneh.2022.38729.1813](https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38729.1813)
- Voss, K. K., Evan, A. T., Prather, K. A., Ralph, F. M (2020). Dusty atmospheric rivers: Characteristics and origins. *Journal of Climate*, 33(22), 9749-9762.
<https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0059.1>
- Wei, X., Chang, N.B., Bai, K., Gao, W (2020). Satellite remote sensing of aerosol optical depth: Advances, challenges, and perspectives. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 50, 1640–1725.
<https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1665944>
- Yuan, J., Wang, X., Feng, Z., Zhang, Y., Yu, M (2023). Spatiotemporal Variations of Aerosol Optical Depth and the Spatial Heterogeneity Relationship of Potential Factors Based on the Multi-Scale Geographically Weighted Regression Model in Chinese National-Level Urban Agglomerations. *Remote Sens.*, 15, 4613.
<https://doi.org/10.3390/rs15184613>
- Yarmoradi, Z., Nasiri, B., Karampour, M., Mohammadi, G. H (2022). Trend analysis of dusty days frequency in Eastern parts of Iran associated with Climate Fluctuations. *Desert Ecosystem Engineering*, 7(18), 1-14.
[doi: 10.22052/deej.2018.7.18.1](https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.18.1)
- Zheng, Y., Wang, X., Zhang, X., Hu, G., Liang, X., Niu, L., Han, H (2021). Spatiotemporal distribution of aerosol optical depth based on Landsat data in the hinterland of the Guanzhong Basin and its relationship with urbanization. *Environ. Sci.* 2021, 42, 2699–2712.
<https://doi.org/10.13227/j.hjcx.202010018>



بررسی تولید گرد و غبار ناشی از سیل: تحلیل «GEE» با داده‌های «OLI» و «Sentinel-1» مطالعه موردی: سیل انار - رفسنجان

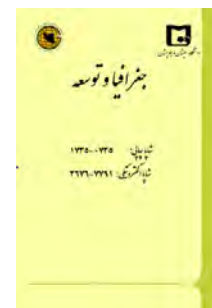
دکتر علی مهرابی

مقاله پژوهشی

چکیده

امروزه وقوع روزافزون طوفان‌های گرد و غبار، یکی از مهمترین مخاطرات زیست‌محیطی است که گریبان‌گیر بسیاری از مناطق به‌ویژه مناطق بیابانی و خشک شده است. از آنجایی که یکی از عوامل مهم در به‌وجود آمدن این پدیده، جنس خاک و وجود رسوبات ریزدانه به‌عنوان منبع گرد و غبار می‌باشد و با عنایت به این‌که پدیده سیلاب، نقش مهمی در جابجایی خاک‌ها و رسوب‌گذاری آن‌ها در مناطق سیل‌زده ایفا می‌کند؛ این پژوهش با بررسی و تحلیل این موضوع به واکاوی نقش سیلاب‌های فصلی در ایجاد منابع جدید احتمالی گرد و غبار پرداخته است. در این راستا از تصاویر سنجنده «OLI» و «سنیتینل ۱» استفاده شد. تحلیل‌ها در محیط سیستم «GEE» و نرم‌افزارهای «ENVI» و «SNAP» انجام گرفت. با اعمال روش آستانه‌گذاری طیفی بر روی تصاویر سنیتینل ۱ مربوط به سیل ۵ مرداد ۱۴۰۱ شهرستان‌های رفسنجان - انار، مناطق سیل‌زده مشخص شد. با پردازش تصاویر «OLI» رسوبات رسی‌ته‌نشین‌شده در نتیجه سیلاب بارزسازی شد. ترسیم نمودار میانگین ماهانه «AOD» در طول ۱۰ سال نشان از روند افزایشی توده‌های گرد و غبار دارد. همچنین بررسی این نمودار و مقایسه نقشه توده‌های گرد و غبار با نقشه مناطق رسوب‌گذاری شده در نتیجه وقوع سیلاب ۵ فروردین در منطقه مورد مطالعه، تأییدی بر نقش سیلاب مذکور در ایجاد منابع جدید و محلی در منطقه مورد مطالعه است.

جغرافیا و توسعه، شماره ۷۸، بهار ۱۴۰۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۹
صفحات: ۱۷۴-۱۵۷



واژه‌های کلیدی:

توده گرد و غبار، شاخص «AOD»، سیلاب، تصویر سنیتینل ۱، دشت انار - رفسنجان.

مقدمه

طوفان‌های گرد و غبار به‌دلیل تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر، به‌طور قابل توجهی افزایش یافته‌اند و جوامعی را که هزاران کیلومتر دورتر از مبدأ خود قرار دارند، تحت تأثیر قرار داده‌اند. طبق تعریف سازمان جهانی هواشناسی، طوفان گرد و غبار به‌عنوان بادهای قوی که مقادیر زیادی شن و غبار را از خاک‌های خشک و لخت به جو برده و آن‌ها را به صدها تا هزاران کیلومتر دورتر می‌برد، تعریف می‌شود (جعفری و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۰۵). این پدیده پویا شامل چهار مرحله؛ تخریب زمین، فرسایش بادی، حمل‌ونقل (حرکت) و رسوب‌گذاری است. طوفان‌های گرد و غبار زمانی رخ می‌دهند که توان فرسایش بادی از مقاومت خاک در مواجهه با آن فراتر رود. باد ذرات خاک تخریب‌شده را از زمین بلند کرده و هزاران کیلومتر دورتر می‌برد. طوفان‌های گرد و غبار تأثیرات گسترده‌ای بر مناطق شهری و روستایی دارند. اثرات طوفان‌های گرد و غبار در مناطق شهری به‌دلیل جمعیت زیاد، سطح زیرساخت‌ها و فعالیت‌های اقتصادی در شهرها به‌طور قابل توجهی بیشتر از مناطق روستایی است. در مناطق شهری، طوفان‌های گرد و غبار اثرات نامطلوب متعددی بر زندگی روزمره شهروندان و زیرساخت‌ها از جمله کاهش دید، آسیب‌رساندن به بخش حمل‌ونقل، ایجاد تصادفات جاده‌ای و تداخل با سیستم‌های ارتباطی دارد (Aragnou et al, 2021: 141).

پایش، مدل‌سازی و پیش‌بینی مکانی و زمانی پدیده‌های طوفان گرد و غبار و توسعه سیستم‌های هشدار اولیه می‌تواند نقش مهمی در کاهش و پیشگیری از پیامدهای زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی-اقتصادی آن‌ها در سکونتگاه‌های انسانی، داشته باشد. فناوری‌های نوین ماهواره‌ای در پایش طوفان‌های گرد و غبار، با وضوح‌های زمانی و مکانی مختلف و پیش‌بینی مسیرهای انتقال آن‌ها، بسیار مؤثر هستند. سنسورهای ماهواره‌ای، لیدارهای زمینی و سیستم‌های راداری می‌توانند داده‌های وضوح مکانی و زمانی بالا را برای پارامترهای جوی مختلف، از جمله؛ عمق نوری ریزگرد (AOD)، تراکم ریزگرد، سرعت باد و جهت باد ارائه‌دهند. پلتفرم‌های سنجش از راه دور مبتنی بر ماهواره مانند طیف‌سنج تصویربرداری با وضوح متوسط (MODIS) معمولاً برای تخمین (AOD) استفاده می‌شوند. (AOD) مقدار نوری را که توسط ذرات معلق در هوا از عبور از زمین به اتمسفر مسدود می‌شود، اندازه‌گیری می‌کند (Voss et al, 2020:4613; Yuan et al, 2023:9749). تصاویر ماهواره‌ای مودیس به‌علت وضوح مکانی متوسطی (۱ کیلومتری) که دارند بیشتر برای بررسی توده‌های گرد و غبار در مقیاس منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و در مقیاس محلی کاربرد کمتری دارند (Kim et al, 2013:2699; He et al, 2021:647; Zheng et al, 2021:2699). تاکنون مطالعات زیادی بر روی توده‌های گرد و غبار و عوامل ایجاد آن‌ها انجام شده است که در ادامه به‌مواردی اشاره می‌شود:

یارمرادی و همکاران (۱۴۰۱)، در تحقیقی، به تأثیر عامل نوسانات اقلیمی در افزایش روزهای گرد و غباری در نیمه شرقی کشور پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده ادامه روند خشکسالی و تشدید بیابان‌زایی یکی از عوامل اصلی در فراوانی توده‌های گرد و غبار در منطقه مذکور است. جعفری و همکاران (۱۳۹۹)، ضمن آشکارسازی و مسیریابی رخداد گرد و غبار در استان اصفهان، به بررسی منشأ این توده‌های گرد و غبار اشاره نموده‌اند. این پژوهش شرایط اقلیم حاکم بر منطقه را در فراوانی روزهای گرد و غبار امری مهم و سرنوشت‌ساز تلقی کرده است. چکی فورک و همکاران (۱۴۰۲)، با استفاده از پردازش تصاویر لندست به بررسی کانون‌های گرد و غبار شهر بیرجند پرداخته‌اند. این پژوهش داده‌های ۱۲۰ روزه سیستم را در انتقال ذرات گرد و غبار از دشت‌های داخلی مؤثر دانسته است. شایسته و غریبی (۱۴۰۱) با استفاده از پردازش تصاویر مودیس و سنتینل ۵ به بررسی و شناسایی کانون‌های فعال گرد و غبار در محدوده استان همدان پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این پژوهش، بیانگر وجود و افزایش روز افزون کانون‌های داخلی و محلی گرد و غبار است. جهان‌تیغ و همکاران (۱۴۰۲) براساس الگوریتم «BTD» و با استفاده از ۴۲ تصویر مودیس کانون‌های تولید گرد و غبار منطقه سیستم را مورد بررسی قرار داده و آبرفت‌های ریزدانه، رسوبات رودخانه‌ای و پهنه‌های نمکی را از کانون‌های اصلی تولید گرد و غبار منطقه سیستم تعیین کرده‌اند. لیو و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بر روی توده‌های گرد و غبار مناطق جنوبی چین تحقیق کردند؛ نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌داد که به‌علت خشکسالی، به منابع محلی گرد و غبار افزوده شده است (Luo et al, 2021:157).

اوپ و همکاران (۲۰۲۲) بر روی عوامل اصلی در ایجاد طوفان‌های گرد و غبار پژوهشی انجام داده‌اند، یافته‌های این تحقیق در نتیجه مطالعه مناطق مختلف جهان نشان‌دهنده که علاوه بر عوامل رطوبت خاک، باد، توده‌های هوا و پوشش گیاهی، وجود رسوبات ریزدانه انتقال‌یافته توسط عامل باد و آب، یکی از مهمترین عوامل ایجاد توده‌های گرد و غبار محسوب می‌شود (Opp et al, 2022:326). کونکلو و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از شاخص گرد و غبار اقدام به بارزسازی منابع گرد و غبار در بخش‌هایی از شاخ آفریقا کردند، نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌داد که

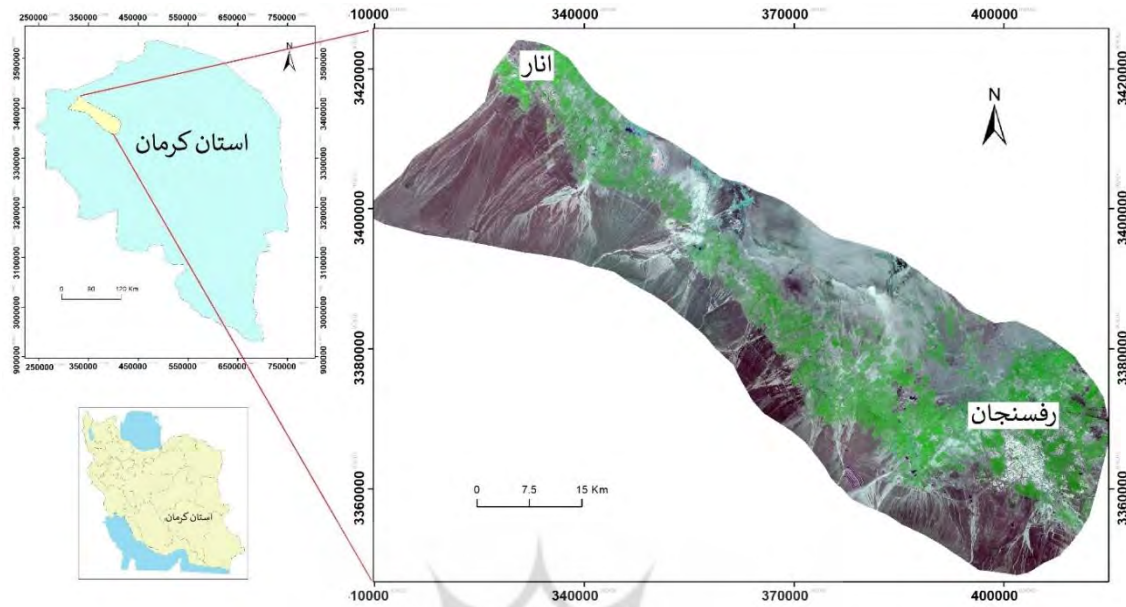
رودخانه محلی «آوش» یکی از مهمترین عوامل انتقال و ایجاد مراکز جدید ریزگرد در محدوده مورد مطالعه می‌باشد (Kunkelova et al, 2024:229).

در پژوهش‌هایی که در زمینه گرد و غبار انجام شده و به بعضی از آن‌ها اشاره شد، علاوه بر منابع ناحیه‌ای و منطقه‌ای گرد و غبار، به منابع محلی که در شکل‌گیری توده‌های گرد و غبار مؤثر هستند نیز اشاره می‌شود؛ بنابراین با عنایت به این‌که مکانیزم سیلاب باعث شست‌وشوی خاک‌ها از مناطق بالادست و انتقال آن‌ها در مناطق پست می‌شود (Dezfuli et al, 2021:148; Merdji et al, 2022:13449; Karami et al, 2021:233; Boloorani et al, 2021:421; Chakraborty et al, 2021:145)، معمولاً فرآیند حمل و جابجایی و رسوبگذاری در مناطق سیل‌زده، می‌تواند باعث تغذیه منابع گرد و غبار و در نتیجه ایجاد منابع جدید گرد و غبار در این مناطق شود. در این پژوهش سعی شد تا برای اولین بار این ارتباط احتمالی مورد بررسی دقیق قرار گیرد، در این راستا محدوده دشت انار-رفسنجان به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. به‌منظور پایش توده‌های گرد و غبار، اقدام به تهیه شاخص «AOD» از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده «OLI» گردید. همچنین برای شناسایی مناطق رسوب‌گذاری شده ناشی از سیلاب ۵ مرداد ۱۴۰۱ از تصاویر سنتینل ۱ استفاده شد.

داده‌ها و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

دشت انار-رفسنجان با مساحت تقریبی ۴۳۰۰ کیلومتر و کشیدگی شمال غربی-جنوب شرقی، در شمال استان کرمان واقع شده است. این دشت از طرف شمال به ارتفاعات بدبخت‌کوه و داوران و از طرف جنوب به ارتفاعات میدوک و سرچشمه محدود شده است. ارتفاع متوسط دشت ۱۴۸۰ متر است. منطقه مورد مطالعه به لحاظ آب‌وهوایی جزء نواحی خشک و نیمه‌خشک به شمار آمده و متوسط سالانه بارندگی آن ۱۴۰ میلی‌متر است. به‌لحاظ زون ساختاری، دشت انار-رفسنجان، بخش پایین‌افتاده یک ساختار هورست-گراونی است. در این دشت بالغ بر ۵۰۰۰۰ هکتار زمین کشاورزی پسته دایر است که با آب زیرزمینی آبیاری می‌شود. موقعیت محدوده مورد مطالعه در شکل شماره ۱ مشخص است. در تاریخ ۵ مرداد ۱۴۰۱ بر اثر بارندگی‌های شدید، سیلی ویرانگر دو شهرستان انار و رفسنجان در شمال استان کرمان را در نوردید که در نتیجه آن خسارات زیادی به مزارع کشاورزی و زیرساخت‌های شهری و روستایی وارد شد و به فوت چندین نفر انجامید (شکل ۲).



شکل ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۲



شکل ۲: تصاویری از سیل ۱۵ مرداد ۱۴۰۱ شهرستان های انار- رفسنجان

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۲

برای انجام پژوهش حاضر، از مجموعه‌ای از داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی و راداری، استفاده شده است. در این راستا از یک سین تصویر سنجنده OLI و یک سین تصویر راداری سنتینل ۱ با فرمت GRD و قطبش VV استفاده شد (جدول ۱). تحلیل‌های مورد نیاز در نرم‌افزارهای ENVI، SNAP 8 و محیط برنامه GEE انجام گرفت.

جدول ۱: ویژگی تصاویر به‌کار گرفته‌شده در پژوهش

تصاویر	نوع داده‌ها	زمان	فرمت	شماره گذر
سنتینل ۱	راداری	۲۰۲۲/۰۷/۳۱	GRD	۴۵۵
OLI	چندطیفی	۲۰۲۲/۰۸/۰۳	Tiff	۳۸۴

مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۲

روش تعیین شاخص AOD در نرم‌افزار GEE

موتور GEE^۱ یک پلتفرم تجزیه و تحلیل جغرافیایی مبتنی بر محاسبات ابری است که پردازش مؤثر داده‌های ماهواره‌ای جهانی را امکان‌پذیر می‌کند (Liu et al, 2022: 1867; Wei et al, 2020:1640). در این مطالعه، از مدل یادگیری ماشین ERF برای محاسبه شاخص AOD استفاده شد (Liang et al, 2022:1053). بدین‌منظور داده‌های TOA^۲ از باندهای ۲ تا ۷ سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ از GEE استخراج شدند. همچنین از اطلاعات زاویه‌ای، از جمله زوایای اوج و آزیموت خورشیدی، برای محاسبه تغییرات در پراکندگی یا جذب آروسول در زوایای مختلف استفاده شد. از آنجایی که داده‌های TOA حاوی اطلاعاتی در مورد بازتاب سطح زمین و میزان آروسول است، وجود دانش قبلی از بازتاب سطح کمک می‌کند تا سهم جو از سیگنال TOA جدا شود. باندهای مختلف به‌طور متفاوتی تحت تأثیر ذرات معلق در هوا قرار گرفته‌اند. اگر دانش سطح بتواند اطلاعات سطح را در طول موج‌های مختلف ارائه دهد، سهم ذرات معلق در هوا را می‌توان به‌طور جامع اندازه‌گیری کرد. به‌منظور تعیین سهم بازتاب سطح از داده‌های ماهواره GLASS استفاده شد. از داده‌های دیگری که استفاده شد، داده‌های مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری، SRTM است. به‌منظور محاسبه شاخص AOD از تصاویر OLI، تمامی داده‌های نام برده‌شده در بالا در GEE فراخوانی شده و با توجه به وضوح مکانی متفاوت داده‌ها، برای مطابقت با پیکسل‌های سنجنده OLI در یک شبکه با اندازه ۳۰ متر در ۳۰ متر، نمونه‌برداری شدند. در نهایت با استفاده از مدل یادگیری ماشین ERF مقادیر AOD با وضوح ۳۰ متر اندازه‌گیری شد.

روش حد آستانه در شناسایی سیلاب

روش حد آستانه بر این اساس استوار است که در ناحیه سیل‌زده مقادیر بازتاب طیفی، کم بوده و در نتیجه اگر پیکسل‌هایی که زیر یک مقدار آستانه معینی هستند، انتخاب شوند، مناطق سیل‌زده شناسایی می‌شوند. تعیین حد آستانه با استفاده از واریانس روشنایی قابل تخمین است و از طریق رابطه زیر پیکسل‌های سیل‌زده قابل شناسایی است (Otsu, 1979:62):

1. Google Earth Engine
2. Top of Atmosphere

$$PD = (\{\mu [D]\} - kf * \{\sigma [D]\}) \quad (۱)$$

که در آن μ میانگین پیکسل‌ها، PD پیکسل‌های سیل‌زده، و σ انحراف استاندارد پیکسل‌ها است. در طول کالیبراسیون مقدار kf معیارهای مختلفی از جمله نويز و پوشش زمین مورد آزمایش قرار گرفت. مقدار kf بهینه (حدآستانه) برای منطقه مورد مطالعه ۱/۶ تعیین شد.

کالیبره کردن رادیومتری تصویر در مرحله پیش‌پردازش انجام می‌گیرد. به منظور کاهش نويز از فیلتر لی که قابلیت رفع نويزهای بالا را دارد، استفاده شد (Munoz et al, 2021:146927). تصویر منطقه مورد مطالعه پس از فیلتر، به داده‌های Sigma Naught تبدیل شد. حذف اثر سایه در مرحله پس‌پردازش لازم است زیرا باعث ایجاد مناطق کاذب برای سیل می‌شود. بدین‌منظور مناطقی که در نقشه سیلاب، شیبی بیش از ۱۵ درجه دارند، سایه در نظر گرفته و حذف شدند.

شناسایی رسوبات سیلابی

روش طبقه‌بندی بیشترین احتمال به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای معرفی شده است (Filonchyk, 2021:13). در تحقیق حاضر به‌منظور شناسایی رسوبات ناشی از سیلاب، از این روش برای طبقه‌بندی استفاده شد. در روند طبقه‌بندی نظارت‌شده، می‌بایست ابتدا ترکیب رنگی مناسب از بین باندهای تصویر انتخاب شده و سپس بر اساس آن نمونه‌های تعلیمی تعریف شود و در آخر با به‌کارگیری این نمونه‌ها، طبقه‌بندی انجام گیرد. برای انتخاب ترکیب رنگی بهینه از شاخص بهینه OIF^۱ استفاده شد که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود (Congalton, 1991:35):

$$FFF = \frac{\sum_{i=1}^n DD}{\sum_{i=1}^n |R_i|} \quad (۲)$$

که در آن، |R| قدرمطلق ضریب همبستگی بین دو باند از ترکیب سه باندهای SD انحراف معیار باند، و n تعداد باندهای تصویر است. هرچه مقدار OIF بالاتر باشد نشان از ترکیب باندهای بهتر برای تهیه تصویر رنگی دارد. بر این اساس از بین انواع ترکیب‌های باندهای ممکن، ترکیب باندهای ۵۳۲ با بالاترین مقدار OIF برابر با ۷۷/۲۳ به‌عنوان مناسب‌ترین ترکیب انتخاب شد. سپس با استفاده از تصاویر Google Earth و بازدیدهای میدانی از سطح منطقه، نمونه‌های تعلیمی جمع‌آوری و سپس طبقه‌بندی تصویر با روش بیشترین احتمال در نرم‌افزار ENVI انجام گرفت.

نتایج و بحث

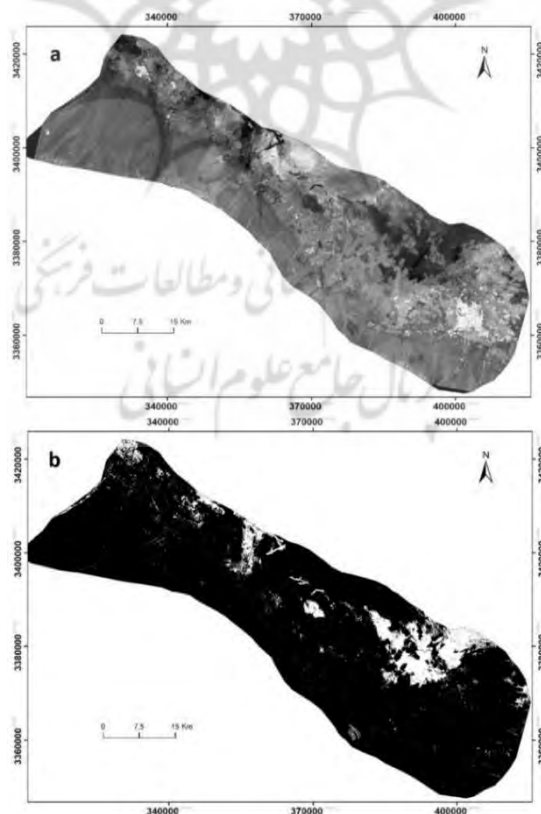
پهنه‌بندی سیلاب ۵ مرداد ۱۴۰۱

سیل ۵ مرداد ۱۴۰۱ شهرستان‌های رفسنجان و انار باعث آبگرفتگی بسیاری از مناطق دشت انار-رفسنجان شد. توسط متد حد آستانه و با اعمال آن بر روی تصویر راداری سنتینل ۱ مربوط به ۹ مرداد، مناطق سیل‌زده مشخص شد. تصویر خام مربوط به محدوده تحت بررسی در شکل شماره ۳ a نمایش داده شده است، شکل شماره ۳ b تصویر Sigma Naught حاصل از اعمال روش حد آستانه را نمایش می‌دهد؛ به طوری که در این تصویر دیده شد

مناطق سیل‌زده به رنگ روشن مشخص شده است. مناطق مشخص شده، نواحی هستند که پس از گذشت ۴ روز از واقعه هنوز در آنجا آب وجود دارد. با انجام عملیات برداری‌سازی در نرم‌افزار ArcGIS، بر روی تصویر Sigma Naught نقشه مناطق سیل‌زده استخراج شد (شکل ۴).

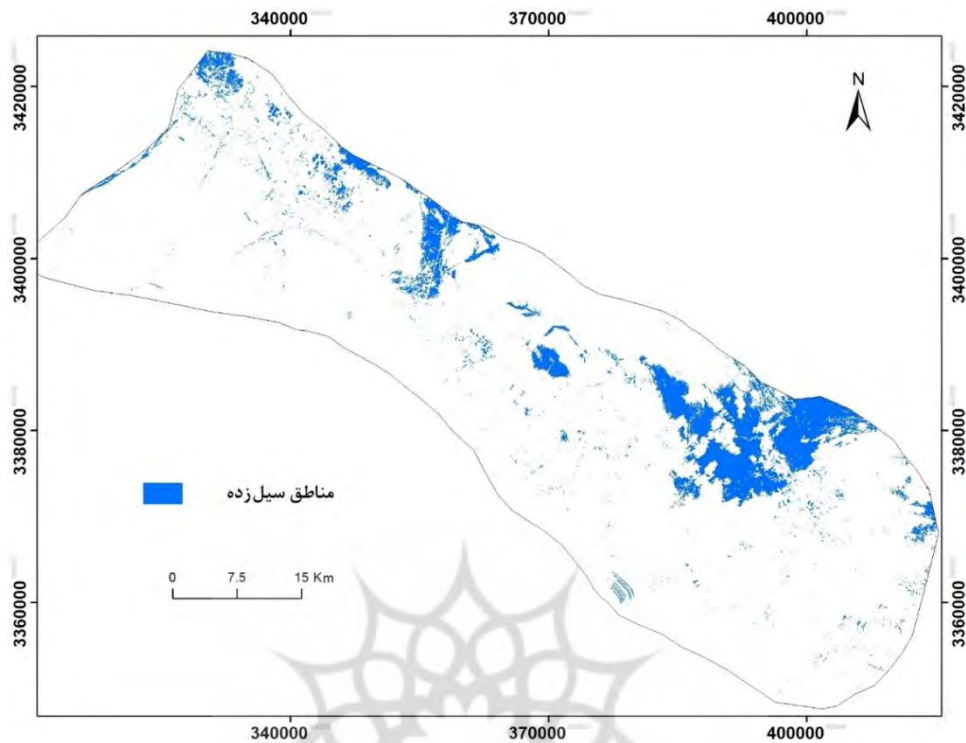
تهیه نقشه مناطق رسوب‌گذاری

سیلاب ۵ مرداد باعث ته‌نشست رسوبات گل و لای زیادی در دشت انار-رفسنجان شد. با اعمال شاخص OIF بر روی تصویر سنجنده OLI مربوط به تاریخ ۱۲ مرداد و انتخاب ترکیب بهینه، اقدام به تهیه نمونه تعلیمی و طبقه‌بندی تصویر گردید. در نتیجه مناطق رسوب‌گذاری شده شناسایی شد (شکل ۵). همان‌طور که در شکل شماره ۵ مشاهده می‌شود مناطق بسیاری از محدوده دشت، تحت تأثیر سیلاب قرار گرفته و رسوب‌گذاری در آنها انجام شده است. برای ارزیابی دقت نقشه رسوب‌گذاری، به‌جز نمونه‌های تعلیمی که در طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای استفاده شد، از یکسری نمونه‌های تعلیمی دیگر به‌عنوان نقاط چک در محاسبات ماتریس خطا استفاده شد، ماتریس خطا، حاصل مقایسه پیکسل‌های معلوم در واقعیت زمینی با پیکسل‌های متناظر در نتیجه طبقه‌بندی است. در ماتریس خطا، داده‌های زمینی به‌صورت ستون‌ها و داده‌های مربوط به نتایج طبقه‌بندی به‌صورت سطرها ظاهر می‌شوند و تعداد پیکسل‌هایی که درست طبقه‌بندی شده‌اند در روی قطر اصلی قرار گرفته و عناصر غیر قطری مجموعه خطاها می‌باشد. در نتیجه ماتریس خطا (جدول ۲)، دقت کلی ۸۲ درصد و ضریب کاپا ۷۴ به‌دست آمد که نشان از قابل قبول بودن دقت نقشه دارد.

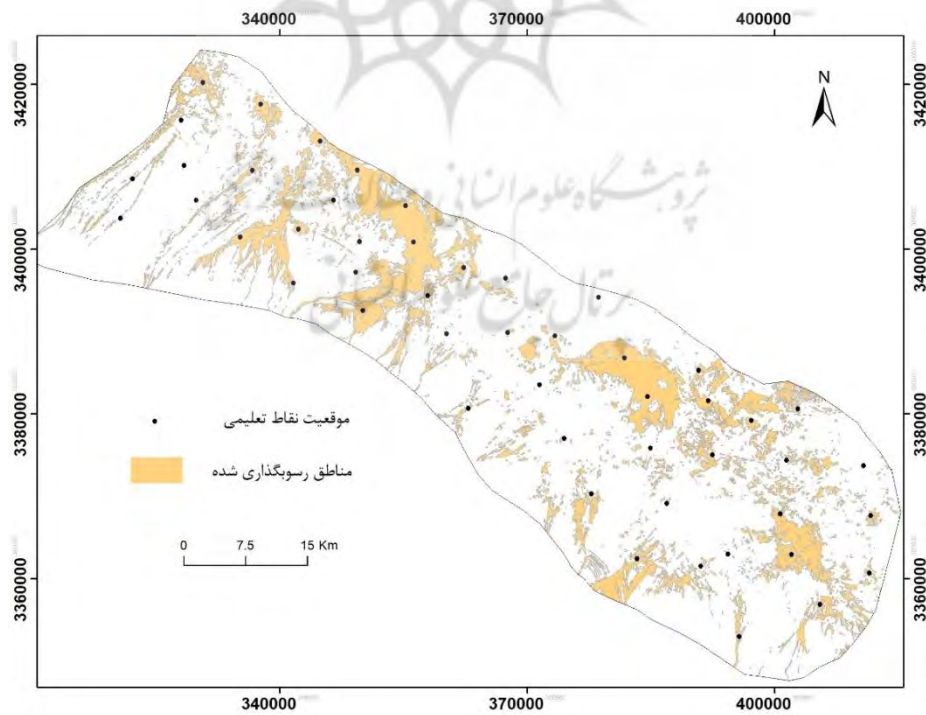


شکل ۳: تصاویر خام (a) و پردازش‌شده (b) از منطقه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۲



شکل ۴: نقشه مناطق سیل زده
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۲



شکل ۵: محدوده‌های رسوب‌گذاری شده توسط سیلاب ۱۵ مرداد ۱۴۰۱
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۲

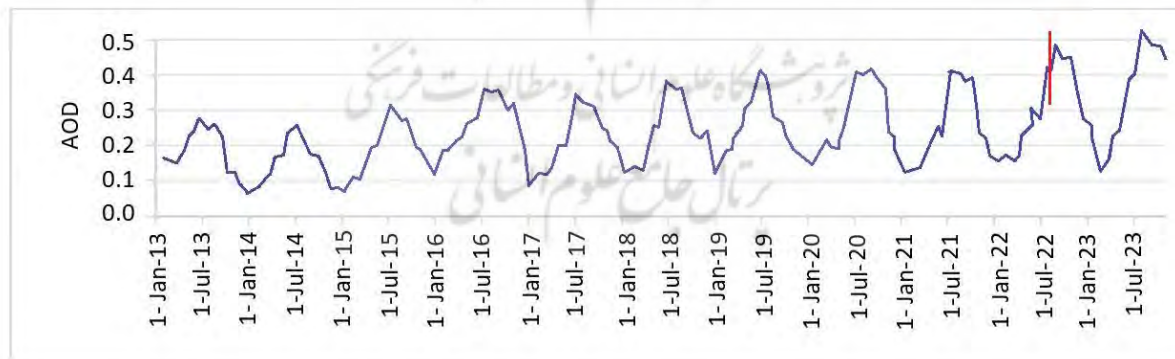
جدول ۲: ماتریکس خطا

واقعیت زمینی			رسوب گذاری	رسوب گذاری	عدم رسوب گذاری	مجموع
مجموع	عدم رسوب گذاری	رسوب گذاری				
۳۴	۵	۲۹	رسوب گذاری	نقشه طبقه بندی شده		
۱۶	۱۲	۴	عدم رسوب گذاری			
۵۰	۱۷	۳۳	مجموع			
			۸۲	دقت کلی		
			۷۴	ضریب کاپا		

مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۲

پایش غلظت گرد و غبار با استفاده از تصاویر OLI

به منظور پایش غلظت ریزگرد در محدوده مورد بررسی، اقدام به استخراج شاخص AOD از تصاویر OLI توسط سامانه GEE شد. شاخص AOD ماهیانه طی یک دوره زمانی ۱۰ ساله، در شکل شماره ۶ نمایش داده شده است. هر چه مقادیر AOD بزرگتر باشد، غلظت گرد و غبار بیشتر است. کمترین و بیشترین میانگین میزان گرد و غبار ماهانه به ترتیب مربوط به ۱ ژانویه ۲۰۱۴ و ۱۲ جولای ۲۰۲۳ است. توجه به روند تغییرات این شاخص در شکل شماره ۶ نشان می‌دهد که غلظت گرد و غبار یک روند افزایشی داشته است و همان‌طور که در نمودار مشهود است، علی‌رغم وجود روند افزایشی در کل داده‌ها، بعد از تاریخ ۱۱ آگوست ۲۰۲۲ (۲۰ شهریور ۱۴۰۱) مقادیر حداکثر شاخص به عدد ۰/۵ رسیده و پس از آن، این مقدار بیشینه در سال بعد نیز تکرار شده است؛ به‌طور کلی از این تاریخ به بعد، نمودار یک روند افزایشی چشمگیر و با معنی داشته است.



شکل ۶: میانگین تغییرات AOD ماهیانه در منطقه مورد مطالعه طی ۱۰ سال اخیر

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۲

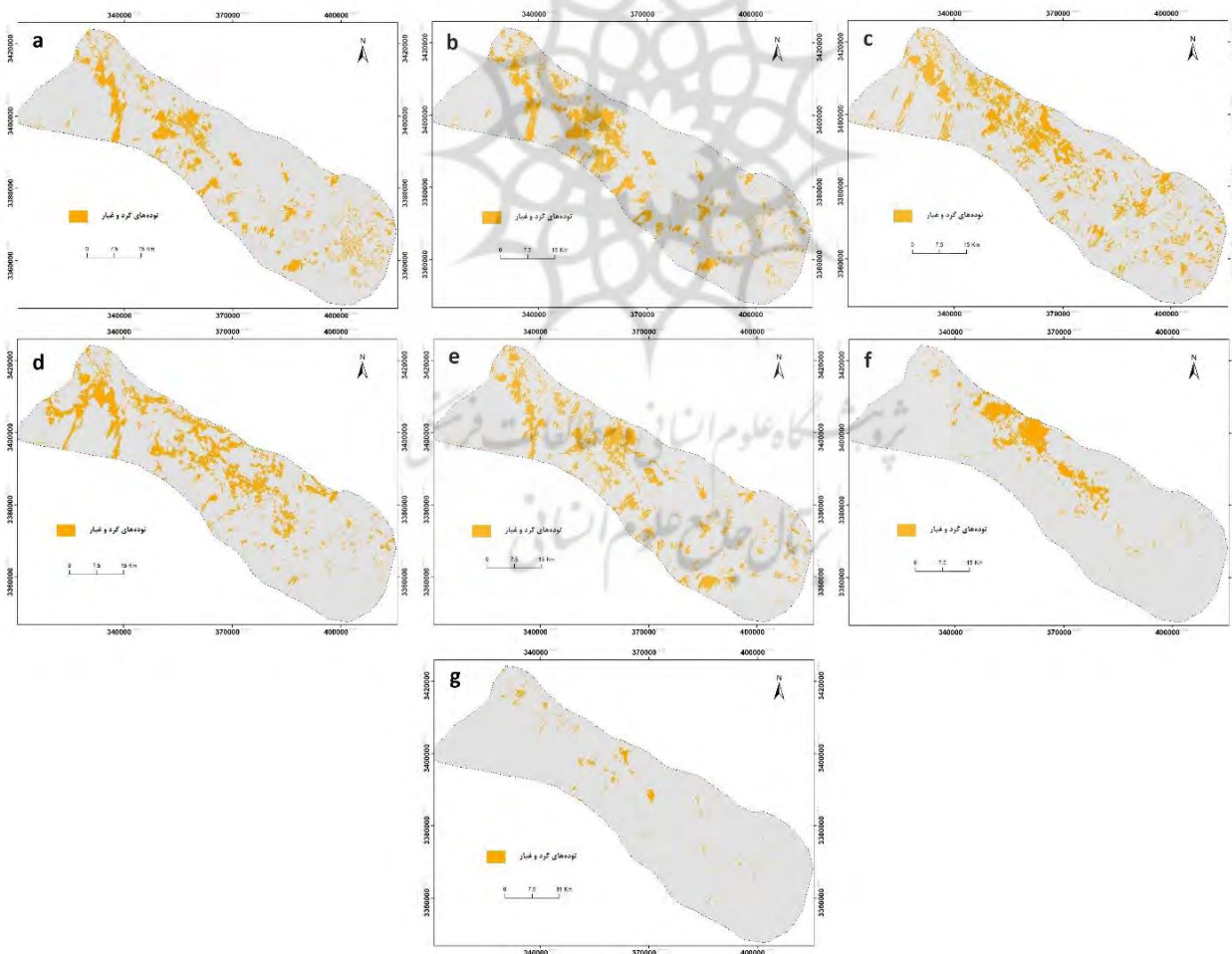
به منظور بررسی بیشتر ارتباط احتمالی بین رسوب گذاری سیل ۵ مرداد با افزایش روزهای گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه، اقدام به أخذ اطلاعات مربوط به روزهای گرد و غباری با تاریخ بعد از سیل ۵ مرداد ۱۴۰۱ از دو ایستگاه هواشناسی انار و رفسنجان شد (جدول ۳). اطلاعات أخذ شده نشان داد، در بین بازه زمانی ۵ مرداد ۱۴۰۱ تا ۲۷ مهر ۱۴۰۲ آمار روزهای گرد و غباری نسبتاً شدید با منشأ داخلی به تعداد ۱۵ مورد به ثبت رسیده است. با

بررسی تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI، مشخص شد که تنها در ۷ مورد تصویر ماهواره‌ای همان روز وجود دارد؛ بنابراین با استفاده از سامانه GEE اقدام به تهیه نقشه AOD مربوط به آن روزها شد. نقشه‌های توده‌های گرد و غبار مربوط به روزهای مذکور در شکل شماره ۶ مشاهده می‌شوند، شدت گرد و غبار در روزهای ۱۲ فروردین ۱۴۰۲ و ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۲ بیشتر از روزهای دیگر است. کمترین شدت گرد و غبار در تاریخ ۹ شهریور ۱۴۰۲ رخ داده است. مقایسه اجمالی بین شکل شماره ۷ با نقشه محدودده‌های رسوب‌گذاری ناشی از سیلاب ۱۵ مرداد (شکل ۵) نشان داد که موقعیت توده‌های گرد و غبار با موقعیت محدودده‌های رسوب‌گذاری انطباق زیادی دارد.

جدول ۳: آمار روزهای گرد و غباری ۱۰ سال اخیر

۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۰	۱۳۹۹	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۶	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	
۱۵	۱۳	۹	۱۰	۱۱	۷	۹	۱۱	۸	۶	۷	ایستگاه انار
۱۵	۱۲	۸	۱۰	۱۰	۸	۹	۱۰	۷	۶	۸	ایستگاه رفسنجان

مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۲

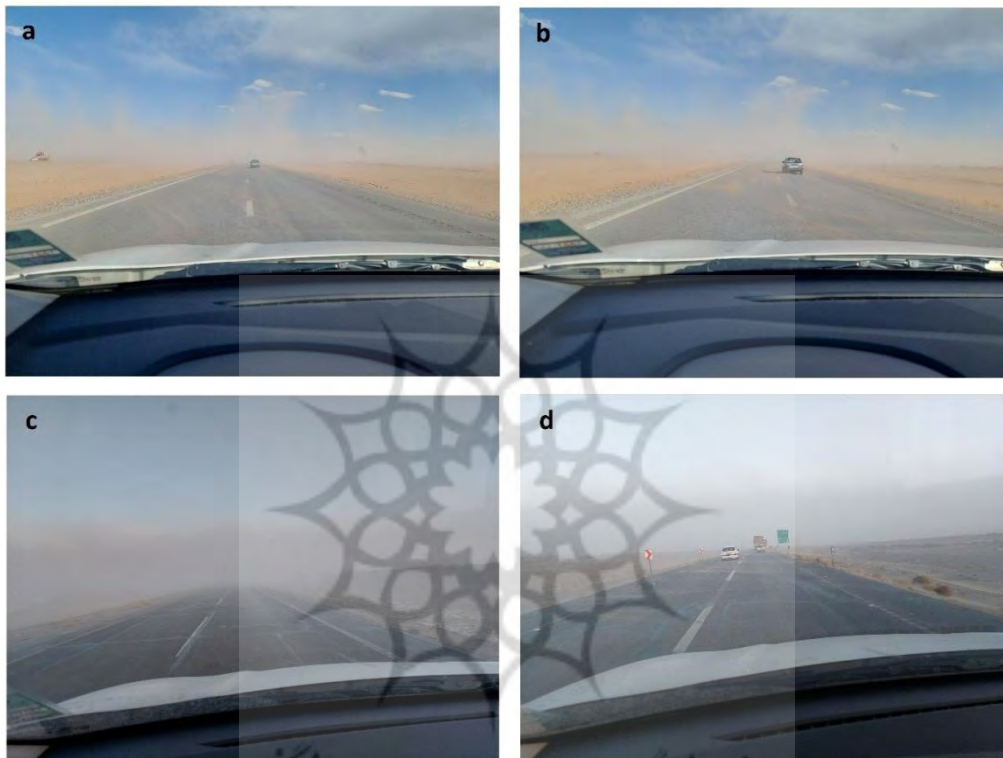


شکل ۷: نقشه توده‌های گرد و غبار مربوط به روزهای a: ۲۰ مرداد ۱۴۰۱؛ b: ۱۶ اسفند ۱۴۰۱؛ c: ۱۲ فروردین ۱۴۰۲

d: ۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۲؛ e: ۱۳ خرداد ۱۴۰۲؛ f: ۱۵ مرداد ۱۴۰۲؛ g: ۹ شهریور ۱۴۰۲

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۲

در شکل شماره ۸ عکس‌های میدانی مربوط به دو روز از روزهای گرد و غباری منطقه مورد مطالعه که در شکل شماره ۶ به آن‌ها اشاره شد، مشاهده می‌شود. این تصاویر مربوط به روزهای ۱۶ اسفند ۱۴۰۱ و ۱۲ فروردین ۱۴۰۲ است. موقعیت عکس‌ها در مسیر جاده آسفالتی رفسنجان به انار، گرفته شده است. همان‌طور که در این عکس‌ها به‌خصوص طوفان ۱۲ فروردین مشاهده می‌شود، شدت گرد و غبار به قدری بالاست که آسمان به کلی تیره شده است.



شکل ۸: عکس میدانی از طوفان گرد و غبار روزهای a و b: ۱۶ اسفند ۱۴۰۱، b و c: ۱۲ فروردین ۱۴۰۲

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۲

نتیجه

وجود منابع گرد و غبار که غالباً رسوبات ریزدانه و رسی هستند، یکی از مهمترین عوامل ایجاد طوفان‌های ریزگرد در نواحی خشک محسوب می‌شود. از آن جایی که یکی از عوامل انتقال رسوبات ریزدانه، سیل‌های قوی می‌باشد. وقوع سیل‌های مخرب مخصوصاً در مناطق بیابانی و خشک به‌واسطه وجود خاک یا پوشش فقیر از گیاه، می‌تواند با شست‌وشوی خاک‌ها از مناطق بالادست، و ته‌نشست آن‌ها در مناطق پست، باعث ایجاد منابع جدید گرد و غبار شود. به‌منظور بررسی این موضوع، سیل مخرب ۵ فروردین ۱۴۰۱ شهرستان‌های انار و رفسنجان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از اعمال روش حد آستانه بر روی تصویر سنتینل ۱، چهار روز پس از واقعه، محدوده‌های سیل‌زده را مشخص کرد. در حدود ۳۹ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه (۱۷۰۰ کیلومتر مربع) تحت تأثیر این سیل قرار گرفته است. همچنین با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای OLI مناطق رسوب‌گذاری شده شناسایی شد. در واقع این مناطق می‌توانند به‌عنوان منابع جدید گرد و غبار در منطقه قلمداد شوند. به‌منظور بررسی وجود ارتباط و تأثیر احتمالی بین این محدوده‌های رسوب‌گذاری شده و توده‌های ریزگرد واقع شده در ناحیه مورد مطالعه، به‌وسیله سامانه

GEE نسبت به تهیه شاخص AOD متوسط ماهیانه ۱۰ سال اخیر اقدام شد. همچنین از طرف دیگر، نقشه محدوده‌های رسوب‌گذاری شده در نتیجه سیل ۵ فروردین در منطقه مورد مطالعه تهیه شد. محاسبه شاخص AOD از تصاویر OLI، با استفاده از سامانه GEE و از روش مدل یادگیری ماشین ERF راهی است که می‌تواند در بسیاری از پژوهش‌ها جایگزین پروداکت AOD تصاویر MODIS شود زیرا از آنجایی که تصاویر سنجنده OLI دارای رزولوشن مکانی ۳۰ متر بوده، توده‌های گرد و غبار در مقیاس محلی به‌خوبی قابل رهگیری است در حالی که پروداکت AOD تصاویر MODIS رزولوشن ۱ کیلومتری دارند.

بررسی نمودار شاخص AOD متوسط ماهیانه ۱۰ سال اخیر نشان داد که روند تغییرات شاخص، در طول دوره مطالعاتی، روند افزایشی آرامی دارد. در نتیجه رخداد طوفان‌های گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه به‌طور روزافزون افزایش داشته است. این روند با وجود خشکسالی‌های پی‌درپی در منطقه مورد مطالعه قابل توجیه و تفسیر است. همچنین نمودار مذکور نشان‌دهنده تمرکز وقوع طوفان‌های گرد و غبار در طول ماه‌های اسفند تا شهریورماه در منطقه مورد مطالعه است که با مطالعات دیگر در این زمینه مطابقت دارد. علاوه بر این، با کمی دقت در نمودار مذکور، وجود یک افزایش حداکثری نسبتاً مشخص و سریع از تاریخ ۱۱ آگوست ۲۰۲۲ (۲۰ شهریور ۱۴۰۱) به بعد مشخص و واضح است؛ به‌طوری که این افزایش ناگهانی در ادامه نمودار نیز باقی مانده است و در حقیقت گویای این واقعیت است که عامل افزایش شاخص، یک عامل موقت و زودگذر نیست بلکه پایدار و ماندنی است و از آنجایی که سیل ۵ مرداد دقیقاً ۴۵ روز قبل از تاریخ این افزایش شاخص بوده است، می‌تواند با ایجاد نواحی جدید تغذیه گرد و غبار، عامل این موضوع شده باشد. برای بررسی بیشتر موضوع، نقشه توده‌های گرد و غبار بعد از تاریخ سیلاب تهیه شد (شکل ۶). مقایسه بصری نقشه توده‌های گرد و غبار با نقشه محدوده‌های رسوب‌گذاری شده در نتیجه سیل، نشان از تطبیق موقعیت و وابستگی این توده‌ها از مناطق جدید رسوب‌گذاری شده دارد. در نتیجه همه این شواهد، می‌توان چنین برداشت کرد که محدوده‌های رسوب‌گذاری شده توسط سیلاب، می‌تواند به‌عنوان منابع جدید گرد و غبار عمل کند. از آنجایی که جابه‌جایی رسوبات و رسوب‌گذاری آن‌ها در مناطق سیل‌زده، از عملکردهای عمومی سیلاب‌ها محسوب می‌شود، در نتیجه به‌نظر می‌رسد که بروز سیلاب در فصول سرد سال نیز به‌مانند نتایج حاصل از این سیلاب، می‌تواند باعث ایجاد مراکز جدید و پایدار گرد و غبار باشد؛ بنابراین علاوه بر خسارات زیادی که سیل‌های مخرب به‌طور مستقیم بر روی مزارع کشاورزی و زیرساخت‌های شهری و روستایی وارد می‌کنند، به‌طور غیر مستقیم می‌توانند باعث ایجاد کانون‌های جدید و پایدار گرد و غبار شوند که این مسئله به‌راحتی قابل حل نیست و می‌تواند تا مدت‌ها باعث آلودگی‌های زیست‌محیطی شود.

منابع

جعفری، مهدی؛ غلامرضا زهتابیان؛ حسن احمدی؛ طیبیه مصباح زاده؛ علی اکبر نوروزی (۱۳۹۹). آشکارسازی و مسیریابی رخدادهای گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور و مدل عددی در استان اصفهان. فصلنامه علوم محیطی. دوره ۱۷. شماره ۱. صفحات ۱۱۶-۱۰۵.

[doi: 10.29252/envs.18.1.105](https://doi.org/10.29252/envs.18.1.105)

جهان تیغ، معین؛ منصور جهان تیغ؛ فاضل ایرانمنش (۱۴۰۲). شناسایی طوفان‌ها و کانون‌های تولید گرد و غبار در جنوب شرقی ایران (مطالعه موردی: منطقه سیستان)، پژوهش‌های فرسایش محیطی. دوره ۱۳. شماره ۳. صفحات ۹۲-۶۷.

[doi: 20.1001.1.22517812.1402.13.3.4.0](https://doi.org/20.1001.1.22517812.1402.13.3.4.0)

چکی فورک، محمد؛ رضا دوستان؛ مسعود مینائی (۱۴۰۲). شناسایی کانون‌های گرد و غبار شهر بیرجند، جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای. دوره ۱۳. شماره ۴۶. صفحات ۸۴-۶۱.

[doi: 10.22111/gaij.2023.42530.3034](https://doi.org/10.22111/gaij.2023.42530.3034)

شایسته، کامران؛ شیوا غربی (۱۴۰۱). کاربرد سامانه GEE در شناسایی کانون‌های بالفعل گردوغبار با استفاده از تصاویر مادیس و سنتینل-۵، مخاطرات محیط طبیعی. دوره ۱۱. شماره ۳۴. صفحات ۱۶-۱.

[doi: 10.22111/jneh.2022.38729.1813](https://doi.org/10.22111/jneh.2022.38729.1813)

یارمادی، زهرا؛ بهروز نصیری؛ مصطفی کرمپور؛ غلام حسن محمدی (۱۴۰۱). تحلیل روند فراوانی روزهای گردوغباری در نیمه شرقی ایران در ارتباط با نوسانات اقلیمی، مهندسی اکوسیستم بیان. دوره ۷. شماره ۱۸. صفحات ۱۴-۱.

[doi: 10.22052/deej.2018.7.18.1](https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.18.1)

References

- Aragnou, E., SeanWatt, H., Nguyen, D., Cassandra, C., Matthew, R., Leys, J., White, S., Salter, D., Merched, A., Tzu-Chi, L. Morgan, G., Hannigan, I (2021). Dust transport from Inland Australia and its impact on air quality and health on the eastern coast of Australia during the February 2019 dust storm. *Atmosphere* 12(2), 141.
<https://doi.org/10.3390/atmos12020141>
- Bolorani, A.D., Shorabeh, S.N., Samany, N.N., Mousivand, A., Kazemi, Y., Jaafarzadeh, N., Zahedi, A., Rabiei, J (2021). Vulnerability mapping and risk analysis of sand and dust storms in Ahvaz, IRAN. *Environ. Pollut.*, 279, 116859.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116859>
- Chakraborty, S., Guan, B., Waliser, D. E., da Silva, A. M., Uluatam, S., Hess, P (2021). Extending the atmospheric river concept to aerosols: Climate and air quality impacts. *Geophysical Research Letters*, 48(9), e2020GL091827.
<https://doi.org/10.1029/2020gl091827>
- Congalton, R.G (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*. 37: 35-46.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Dezfuli, A., Bosilovich, M. G., Barahona, D (2021). A dusty atmospheric river brings floods to the Middle East. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL095441.
<https://doi.org/10.1029/2021GL095441>
- Filonchyk, M (2021). Characteristics of the severe March 2021 Gobi Desert dust storm and its impact on air pollution in China. *Chemosphere*, 287, 13-27.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132219>
- He, M., Xiao, J., Shi, Y., Wu, Y (2021). Spatio-temporal distribution characteristics of aerosol optical depth in Guangdong, Hong Kong and Macao from 2010 to 2019. *J. Trop. Meteorol.*, 37, 647-655.
<https://doi.org/10.13227/j.hjlx.201908197>

- Karami, S., Nasim, H., Dimitris Kaskaoutis, D., Alireza Rashki, A., Khan Alam, K., and Abbas Ranjbar, A (2021). Numerical simulations of dust storms originated from dried lakes in central and southwest Asia: The case of Aral Sea and Sistan Basin. *Aeolian Research*, 50, 100679.
<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100679>
- Kim, H., Chung, Y., Kim, J (2013). Spatio-temporal variations of optical properties of aerosols in East Asia measured by MODIS and relation to the ground-based mass concentrations observed in central Korea during 2001-2010. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 50, 191–200.
<https://doi.org/10.1007/s13143-014-0007-8>
- Kunkelova, T., Crocker, A. J., Wilson, P. A., Schepanski, K (2024). Dust source activation frequency in the Horn of Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129, e2023JD039694.
<https://doi.org/10.1029/2023JD039694>
- Liang, T., Liang, S., Zou, L., Sun, L., Li, B., Lin, H., He, T., Tian, F (2022) Estimation of Aerosol Optical Depth at 30 m Resolution Using Landsat Imagery and Machine Learning. *Remote Sensing*, 14(5), 1053.
<https://doi.org/10.3390/rs14051053>
- Liu, J., Freudenberger, D., Lim, S (2022). Mapping burned areas and land-uses in Kangaroo Island using an object-based image classification framework and Landsat 8 Imagery from Google Earth Engine. *Geomat Nat Hazards Risk*, 13(1), 1867–1897.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2098066>
- Luo, J., Huang, F., Gao, S., Liu, S., Liu, R., Devasthale, A (2021). Satellite Monitoring of the Dust Storm over Northern China on 15 March 2021. *Atmosphere* 2022, 13, 157.
<https://doi.org/10.3390/atmos13020157>
- Merdji, A.B., Xu, X., Lu, C., Habtemicheal, B.A., Li, J (2022). Accuracy assessment and climatology of MODIS aerosol optical properties over North Africa. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 30, 13449–13468.
<https://doi.org/10.1007/s11356-022-22997-8>
- Munoz, D.F., Munoz, P., Moftakhari, H., Moradkhani, H (2021). From local to regional compound flood mapping with deep learning and data fusion techniques. *Sci. Total Environ.*, 782, 146927.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146927>
- Opp, C., Groll, M., Abbasi, H., Ahmadi Foroushani, M (2022). Causes and Effects of Sand and Dust Storms: What Has Past Research Taught Us? A Survey. *Journal of Risk and Financial Management*, 14: 326.
<https://doi.org/10.3390/jrfm14070326>
- Otsu, N (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybernet.*, 9 (1), 62–66.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
<https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2020.100655>
- Voss, K. K., Evan, A. T., Prather, K. A., Ralph, F. M (2020). Dusty atmospheric rivers: Characteristics and origins. *Journal of Climate*, 33(22), 9749–9762.
<https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0059.1>
- Wei, X., Chang, N.B., Bai, K., Gao, W (2020). Satellite remote sensing of aerosol optical depth: Advances, challenges, and perspectives. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 50, 1640–1725.
<https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1665944>
- Yuan, J., Wang, X., Feng, Z., Zhang, Y., Yu, M (2023). Spatiotemporal Variations of Aerosol Optical Depth and the Spatial Heterogeneity Relationship of Potential Factors Based on the Multi-Scale Geographically Weighted Regression Model in Chinese National-Level Urban Agglomerations. *Remote Sens.*, 15, 4613.
<https://doi.org/10.3390/rs15184613>
- Zheng, Y., Wang, X., Zhang, X., Hu, G., Liang, X., Niu, L., Han, H (2021). Spatiotemporal distribution of aerosol optical depth based on Landsat data in the hinterland of the Guanzhong Basin and its relationship with urbanization. *Environ. Sci.* 2021, 42, 2699–2712.
<https://doi.org/10.13227/j.hjcx.202010018>