Analysis of the spatial relationship between dust and wind erosion in the cities of Aradan and Garmsar

Fateme Emadoddin [a], **Ali Ahmadabadi** [b,*], **Ezatolah Ghanavati** [c]
[a]*PhD Student, Physical Geography Department, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.*
[b]*Associate professor, Physical Geography Department, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.*
[c]*Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran.*

Research Full Paper
Article History (Received: 2025/06/10 Accepted: 2025/07/24)

Extended abstract

1- Introduction

Wind erosion is one of the important natural processes of soil degradation, particularly in arid and semi-arid regions, which has extensive environmental and economic consequences. This phenomenon, through the transport of soil particles and the production of dust, has destructive effects on ecosystems and local economies. Decreased agricultural productivity, destruction of infrastructure, and reduced quality of water resources are among these impacts. Studies show that wind erosion occurs in three stages: particle detachment or removal, particle transport (suspension and surface creep), and deposition. In the last two decades, advancements in remote sensing technology and the increased processing power of computers have enabled the study of wind erosion with greater speed, accuracy, and on a larger scale. The Sentinel 2 satellite, with its 10-meter spatial resolution and 5-day revisit cycle, has become one of the most accessible and practical sources of remote sensing data for mapping and modeling soil erosion. Since no comprehensive studies have been conducted regarding the relationship between wind erosion and dust production in the Aradan and Garmsar counties, this issue highlights the necessity for a precise and targeted study. In addition, recent studies have shown that aerosol optical depth (AOD), derived from satellite sensors, can be used as an effective proxy for estimating dust concentration and atmospheric turbidity, particularly in regions lacking ground-based observation stations. This research aims to investigate and analyze the correlation between wind erosion and dust in the Aradan and Garmsar counties and to employ modeling and satellite data to improve natural resource management and reduce the consequences of this phenomenon.

2. Methodology

This study employed a combination of remote sensing, climatic, and field data to analyze wind erosion and dust phenomena in Aradan and Garmsar counties. Horizontal visibility, average rainfall, wind speed, and prevailing wind direction data (2009–2018) were collected from four meteorological stations: Garmsar, Semnan, Kashan, and Tehran-Mehrabad. Sentinel-2A imagery (2022) was preprocessed and analyzed in SNAP to assess vegetation changes and identify wind erosion-prone zones. MODIS images from Terra and Aqua satellites were used to detect and track dust sources and movement, applying Brightness Temperature Difference (BTD) and Aerosol Optical Depth (AOD) analysis in ENVI 5.1. Field surveys were conducted to validate remote sensing outputs, with GPS data and photographs collected from active dust sources and degraded areas.

3- Results

The majority of the Aradan and Garmsar counties exhibited very low, low, and moderate levels of dust dispersion, showing a clear north-south trend. The average dust concentration across these counties also follows this north-south gradient. Since dust concentration is inversely related to horizontal visibility, areas along the Mashhad-Qom and Mashhad-Tehran roads, as well as urban and rural centers located in zones with very low and

* **Corresponding Author:** ahmadabadi@khu.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

low visibility, experience very high dust levels. In contrast, the southern regions closer to Kavir National Park and the Salt Lake show higher visibility and correspondingly lower dust concentrations compared to the northern part of the study area.

The wind erosion zones were classified into a detachment zone covering 1060 km² (about 11%), a transport zone in the east of Aradan county and Kavir National Park covering 20 km² (0.02%), and a deposition zone of 112.3 km² (about 1%). Field visits confirmed the presence of active clay and sandy plains in the detachment zone and sand dunes, nebkhas, and sand tongues in the deposition zone. The resulting erosion zone maps highlight that the southern and eastern parts of the counties, especially near Kavir National Park, exhibit the most intensive erosion activities.

The spatial distribution of wind erosion zones on the dust dispersion map shows two distinct categories: the first is near urban and rural areas and infrastructure such as the Mashhad-Qom and Mashhad-Tehran roads; the second is in the southern and southeastern parts of the study area where all three wind erosion stages (detachment, transport, and deposition) occur.

4- Discussion & Conclusions

The analysis of satellite imagery combined with ground-based horizontal visibility data revealed that changes in vegetation cover, soil moisture, and human activities are the primary drivers intensifying wind erosion and decreasing horizontal visibility. This study demonstrated the valuable role of Aerosol Optical Depth (AOD) derived from satellite remote sensing as a complementary parameter to ground measurements. The integration of AOD data helped to overcome the limitations posed by the sparse distribution of ground monitoring stations, enabling the estimation of dust concentrations in regions lacking in situ observations. Such combination enhances the spatial and temporal coverage of dust assessment, providing a more comprehensive understanding of dust dynamics. The findings emphasize the importance of employing advanced remote sensing technologies and data fusion techniques for improved natural resource management. Practical measures, including soil stabilization, increasing vegetation cover, and minimizing destructive human activities, are critical to mitigating the adverse effects of wind erosion and dust pollution. The southern and central parts of the study area were identified as the most vulnerable zones due to their environmental conditions and anthropogenic pressures. This integrated approach can significantly contribute to regional planning and environmental policymaking by enabling better monitoring and management of dust-related hazards. Implementing sustainable management practices in these sensitive zones will help reduce the environmental degradation and adverse health effects associated with wind erosion and dust storms.

Key Words: Remote Sensing Indices, The Aradan and Garmsar counties, Wind Erosion, Dust, Detachment, Transition and sediment zone,.

Cite this article: Emadoddin, F., Ahmadabadi, A., & Ghanavati, E. (2026). Analysis of the spatial relationship between dust and wind erosion in the cities of Aradan and Garmsar. *Journal of Environmental Erosion Research. 2026; 15 (4):1-21*. http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.1

© The Author(s).
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.1
Published by Hormozgan University Press.
URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

تحلیل ارتباط مکانی گردوغبار و فرسایش بادی در شهرستان‌های آرادان و گرمسار

فاطمه عمادالدین: *دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.*
علی احمدآبادی*: *دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.*
عزت الله قنواتی: *استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکدهٔ علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲)
DOI: http//doi.org/10.61186/jeer.15.4.1

چکیده

پدیده فرسایش بادی و گردوغبار از چالش‌های اساسی مناطق خشک و نیمه‌خشک است که پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی گسترده‌ای به همراه دارد. این پژوهش با هدف بررسی رابطه میان فرسایش بادی و تولید گردوغبار در شهرستان‌های آرادان و گرمسار انجام شده است. شناسایی مناطق فرسایشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A انجام شد و برای شناسایی و پهنه بندی گردوغبار از داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های همدیدی، تصاویر ماهواره‌ای، عمق نوری هواویزها و میزان تیرگی جو ناشی از گردوغبار استفاده شده است. در این پژوهش، شاخص‌های سنجش از دوری (نسبت تفاضلی پوشش گیاهی و رطوبت خاک) نیز به‌کار گرفته شدند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که دید افقی در محدوده مطالعاتی به پنج طبقه از "بسیار کم" تا "بسیار زیاد" تقسیم می‌شود و روندشمال به جنوب دارد. به‌گونه‌ای که در بخش شمالی محدوده، که شامل مراکز شهرستان‌ها، روستاها و جاده مشهد-تهران می‌شود، دید افقی بسیار کم است. کاهش دید افقی در بسیاری از نواحی این دو شهرستان عمدتاً به دلیل افزایش گرد و غبار در این مناطق رخ می‌دهد. این موضوع به‌طور مستقیم با شدت فرسایش بادی در مناطق جنوبی و مرکزی شهرستان‌ها مرتبط است. همچنین نتایج پهنه‌های فرسایش بادی نشان داد پهنه برداشت ۱۱ درصد، رسوبگذاری ۱ درصد و پهنه حمل ۰/۲ درصد از مساحت دو شهرستان آرادان و گرمسار را در برگرفته است. تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات قابل توجه در توزیع پوشش گیاهی، رطوبت خاک و فعالیت‌های انسانی را تأیید می‌کند که از عوامل اصلی تشدید فرسایش بادی و کاهش دید افقی محسوب می‌شوند. پژوهش حاضر به اهمیت بکارگیری فناوری‌های نوین از جمله سنجش از دور برای مدیریت بهینه منابع طبیعی تاکید دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود نتایج این پژوهش به‌عنوان مبنایی علمی برای تدوین برنامه‌های اجرایی مدیریت فرسایش بادی در سطوح محلی و استانی به‌ویژه در قالب طرح‌های مدیریتی در مناطق بیابانی و حاشیه شهری به‌کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: شاخص‌های سنجش از دوری، شهرستان گرمسار و آرادان، فرسایش بادی، گردوغبار، منطقه برداشت، حمل و رسوب.

* نویسندهٔ مسئول: ahmadabadi@khu.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

۱ـ مقدمه

فرسایش بادی یکی از مهمترین فرآیندهای طبیعی تخریب خاک است که پیامدهای قابل توجهی بر محیط زیست، اقتصاد و سلامت انسان دارد (Sterk, Riksen & Goossens, 2001). رسوبات بادی گسترده نشان می‌دهد که پدیده فرسایش بادی در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی رخ داده است(Borrell, Panagos & Montanarella, 2015). از سویی دیگر بیابانزایی سبب افزایش آسیب‌پذیری زمین در برابر فرسایش بادی و توفان‌های گرد و غبار می‌شود (Secretariat of UNCCD, 1977). فرسایش بادی (Borrell, Panagos & Montanarella 2015) و توفان گرد و غبار یکی از پدیده‌های جوی است که بنا بر تعریف سازمان هواشناسی جهانی معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک همراه با سرعت باد بیش از ۱۵ متر بر ثانیه رخ می‌دهد (Goudie & Middelton, 2006). منشأ اصلی توفان‌های گرد و غبار اغلب در مناطقی است که پوشش‌گیاهی ضعیف، خاک‌های سست و خشک، و کاربری ناپایدار زمین مشاهده می‌شود (Goudie, 2014). تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های پی‌درپی، و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی، از مهم‌ترین عوامل افزایش وقوع این پدیده در دهه‌های اخیر هستند (UNEP, 2016). از نظر مکانی، کمربند گرد و غبار جهانی که از آفریقای شمالی، خاورمیانه، آسیای مرکزی تا چین امتداد دارد، بیشترین سهم در تولید این پدیده را داراست (Ginoux, Prospero, Gill & et al, 2012). پدیده فرسایش بادی در سه مرحله رخ می‌دهد: جدا شدن ذرات خاک یا برداشت، انتقال ذرات خاک (تعلیق و خزش سطحی) و رسوبگذاری (Lyles, 1983; Stallings, 1951). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که فرسایش بادی و انتشار گرد و غبار ارتباط مستقیمی دارند اما پیامدهای متفاوتی در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای ایجاد می‌کنند (Gillette, Fryrear, Gill & et al, 1997; Houser & Nickling, 2001). در مقیاس محلی، تغییرات کاربری اراضی، چرای بی‌رویه و تخریب پوشش‌گیاهی از عوامل اصلی تشدید فرسایش بادی هستند در حالی‌که گرد و غبار به انتقال ذرات در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌پردازد (Duniway, Pfennigwerth, Fick & et al, 2019). در این میان، منطقه خاورمیانه به‌ویژه ایران، به‌دلیل ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و مدیریت ناپایدار سرزمین، به‌طور فزاینده‌ای تحت تأثیر توفان‌های گرد و غبار قرار گرفته است (Sow, Alfaro, Rajot & et al, 2020).

برای برآورد دید افقی و پایش میزان گرد و غبار در جو، از شاخص عمق نوری آئروسول[1] (AOD) استفاده می‌شود؛ افزایش مقدار آن معمولاً با کاهش دید افقی و شدت بیشتر آلودگی جوی همراه است. اساس اپتیکی آئروسول‌ها بر پایه برهم‌کنش تابش با ذرات معلق در جو است که منجر به پدیده‌های جذب و پراکنش می‌گردد (Kokhanovsky, 2008). یکی از پارامترهای کلیدی در این زمینه، عمق نوری آئروسول(AOD) است که بیانگر میزان تیرگی جو ناشی از حضور ذرات معلق می‌باشد (Tian & Chen, 2010). محاسبه AOD امکان تخمین غیرمستقیم دید افقی را فراهم می‌سازد، زیرا بین کاهش دید و افزایش تیرگی رابطه‌ای معکوس وجود دارد. در واقع، با استفاده از روابط تجربی مانند معادله Koschmieder یا مدل‌های رگرسیون بین AOD و غلظت ذرات معلق سطح زمین، می‌توان دید افقی را تخمین زد (Gupta, Christopher & Wang, 2006; Liu, Franklin, Kahn & et al, 2007). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای AOD و ترکیب آن با شرایط رطوبتی و نوع ذرات، می‌توان دید افقی را با دقت قابل قبولی مدل‌سازی نمود (Gupta & Christopher, 2008). استفاده از AOD برای برآورد دید افقی به دلیل دسترسی

[1] Aerosol Optical Depth: AOD

* نویسندهٔ مسئول: ahmadabadi@khu.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

گسترده به داده‌های ماهواره‌ای و پوشش مکانی مناسب، مزایای قابل توجهی دارد. این شاخص امکان تحلیل شرایط دید در مناطق فاقد ایستگاه‌های زمینی را فراهم ساخته و از آنجا که با غلظت ذرات معلق سطح زمین همبستگی دارد، به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تخمین کیفیت دید مطرح شده است (Chu, Kaufman, Ichoku & et al, 2002; Kumar, Chu & Foster, 2013). همچنین با تحلیل تغییرات زمانی و مکانی AOD، می‌توان روندهای فصلی و روزانه دید را بررسی کرد. با وجود مزایای فراوان، استفاده از شاخص عمق نوری آئروسول (AOD) برای برآورد دید افقی دارای محدودیت‌هایی است. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به فرض توزیع همگن ذرات معلق در ستون جو اشاره کرد که در شرایط واقعی ممکن است برقرار نباشد و باعث کاهش دقت برآوردها شود. همچنین، داده‌های AOD تنها در زمان عبور ماهواره‌ها قابل دسترسی هستند که این موضوع امکان پایش پیوسته و لحظه‌ای دید افقی را محدود می‌سازد. علاوه بر این، حساسیت AOD به پوشش ابر باعث می‌شود در شرایط ابری، داده‌های این شاخص ناقص یا نادرست گزارش شوند (Gupta, Christopher & Wang, 2006; Liu, Franklin, Kahn & et al, 2007; Kumar, Chu & Foster, 2013).

در مطالعات مختلف فرسایش بادی، از تکنیک‌هایی مانند اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی، میدانی، مدلسازی و استفاده از فناوری‌های سنجش از دور[1] (RS) استفاده شده است؛ روش‌هایی نظیر آزمایش تونل باد و اندازه‌گیری مستقیم، هر چند مفید، اغلب از نظر زمانی و مکانی محدود هستند و نمی‌توانند به طور کامل پیچیدگی‌های پویا و مکانی این پدیده را پوشش دهند. علاوه بر این، این روش‌ها هنوز از دقت و کارایی کافی برخوردار نیستند (Jarrah, Mayel, Tatarko & et al, 2020; Dwivedi, 2018). در در دو دهه اخیر، پیشرفت فناوری (Funk, 2015) RS و افزایش توان پردازش کامپیوترها امکان مطالعه فرسایش بادی را با سرعت بیشتر، دقت بالاتر و در مقیاس وسیع‌تری فراهم کرده است (Dwivedi, 2018; Shoshany, 2013; Senanayake, Pradhan, Huete & et al, 2020). به عنوان مثال، ماهواره Sentinel-2 که توسط آژانس فضایی اروپا (ESA) منتشر شده است، با وضوح مکانی ۱۰ متر و چرخه بازدید ۵ روزه، به یکی از قابل دسترس‌ترین و کاربردی‌ترین منابع داده‌های سنجش از دور برای نقشه‌برداری و مدل‌سازی فرسایش خاک تبدیل شده است (Sepuru & Dube, 2018). سازمان زمین‌شناسی آمریکا نیز از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، WiFS و GOES با رزولوشن مکانی متفاوت (به ترتیب ۳۰، ۲۰۰ و ۱۰۰۰ متر) برای نظارت بر توفان‌های گرد و غبار جنوب کالیفرنیا و غرب آریزونا استفاده کرده است (Chavez, Mackinnon, Reynolds & et al, 2022). مطالعه‌ای در آمریکای شمالی نشان داد که از ۶۰ میلیون هکتار اراضی آسیب‌پذیر در برابر فرسایش بادی، ۶۴ درصد آن توسط آژانس فدرال مدیریت می‌شود. این مطالعه تاثیر فعالیت‌های انسانی نظیر آتش‌سوزی، چرای دام و تردد وسایل نقلیه بر افزایش جریان افقی باد را تا ۴۰ برابر تائید کرد. همچنین گرد و غبار تولید شده می‌تواند آلبدوی پوشش برفی را تغییر دهد و در برخی موارد، تامین آب منطقه‌ای را تا حدود ۵ درصد کاهش دهد. این نتایج نشان می‌دهد که افزایش خشکی و تغییرات شدید اقلیمی مانند خشکسالی احتمالا موجب تشدید فرسایش بادی و تولید گرد و غبار خواهد شد (Duniway, Pfennigwerth, Fick & et al, 2019). در مطالعه‌ای دیگر در شرق اتریش، بررسی فرسایش بادی با مدل RWEQ[2] نشان داد که اراضی کشاورزی در این منطقه در معرض ریسک فرسایش بادی قرار ندارند. با این حال، نرخ فرسایش بادی در این منطقه ۳/۷ تن بر هکتار در سال برآورد شده است. این پژوهش همچنین نشان می‌دهد که در ماه

[1] Remote Sensing: RS
[2] Revised Wind Erosion Equation

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

آگوست، به دلیل کاهش پوشش‌گیاهی، افزایش دما و سرعت باد که به کاهش رطوبت خاک منجر می‌شود بیشترین نرخ فرسایش بادی رخ می‌دهد (Scheper, Weninger, Kitzler & et al, 2021). تأثیر شاخص پوشش‌گیاهی نرمال شده[1] (NDVI) و ارتباط آن با وقوع گرد و غبار استان خراسان رضوی طی دوره ۱۰ساله (۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳) توسط (Poorhashemi, Amir Ahmadi, Zangane & et al, 2019) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داد که تعداد وقوع گرد و غبار با پراکنش پوشش‌گیاهی ارتباط نزدیکی دارد و با کاهش پوشش‌گیاهی، بر تعداد وقوع گرد و غبار افزوده می‌شود. بررسی روند فرسایش بادی در ایران مرکزی توسط (Vali & Roustaei, 2018) نشان داد که شاخص توفان گرد و غبار طی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۴ بیش از سه برابر نسبت به دوره ۱۹۶۵ تا ۱۹۸۵ افزایش یافته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد بخش‌های مرکزی و جنوبی ایران مرکزی بیشترین شدت فرسایش بادی را تجربه کرده‌اند. درحالی‌که با نزدیک شدن به مناطق شمالی، از شدت این پدیده کاسته می‌شود. تفکیک و شناسایی طبقات سنگفرش بیابان در جنوب سمنان توسط (Ara, kianiyan, Sohrabi & et al, 2020) با استفاده از تصاویر لندست سنجنده ETM انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تصاویر لندست توانایی قابل توجهی در تفکیک طبقات مختلف سنگفرش بیابانی دارند. در میان روش‌های مختلف مورد استفاده، روش حداکثر احتمال در مقایسه با سایر روش‌ها (حداقل فاصله از میانگین، فاصله ماهالانویی و سطح موازی) بیشترین دقت را در تفکیک طیفی طبقات نشان داد. یافته‌ها این مطالعه اهمیت استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در شناسایی و تحلیل ویژگی‌های بیابانی را برجسته کرد. مطالعه دیگری توسط (Zahrabi, Khosravi, Mesbahzadeh & et al, 2020) به بررسی ویژگی‌های خاک و تاثیر آن بر فرسایش بادی و سرعت آستانه در کانون‌های گرد و غبار استان البرز پرداخت. نتایج نشان داد که پارامترهایی مانند رطوبت خاک، اندازه‌ی ذرات، میزان آهک و مقاومت برشی و فشاری خاک عوامل کلیدی در تعیین سرعت آستانه فرسایش بادی هستند. از میان این عوامل، رطوبت خاک به عنوان مهمترین پارامتر تاثیرگذار شناخته شد. پژوهش (Namdar Khojasteh & Moradi, 2021) با استفاده از شبیه‌ساز سازمان حفاظت محیط زیست به منشایابی گرد و غبار در روستای دلازیان، استان سمنان نشان داد منطقه مورد بررسی از نظر فرسایش بادی، با توجه به شاخص‌هایی از جمله خشکی، بارش اندک، پستی و بلندی و بافت خاک در وضعیت هشدار قرار دارد. با این حال، از دیدگاه منشا گرد و غبار منطقه در تراز عادی ارزیابی شده است. آسیب‌پذیری کانون‌های گرد و غبار طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و چهار شاخص BTD3132، BTD2931، NDDI و متغیر D در کویر مرکزی ۱۳۵ نقطه به‌عنوان کانون گرد و غبار توسط (Boroughani, Mirchooli & Mohammadi, 2022) ارزیابی شد. همچنین دو فاکتور کاربری اراضی و خاک‌شناسی به‌عنوان مؤثرترین عوامل بر آسیب‌پذیری گرد و غبار شناسایی شدند.

(Jahantigh, Jahantigh & Iranmanesh , 2023) با استفاده از داده‌های سنجش از دور، نقشه زمین‌شناسی و تحلیل سرعت باد، کانون‌های گردوغبار جنوب شرق ایران را شناسایی کردند. نتایج نشان داد این کانون‌ها عمدتاً در اراضی بایر با پوشش گیاهی ضعیف، رطوبت کم و رسوبات ریزدانه واقع شده‌اند. همچنین طوفان‌های گردوغبار در این منطقه منشأیی داخلی و خارجی داشته و نیازمند مدیریت منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای هستند. مطالعه‌ای (Maghsoudi, Ghojehzadeh halani, allahveisi & et al, 2024) پیرامون تغییرات مکانی ریگ‌های آذربایجان با بهره‌گیری از

[1] Normalized Difference Vegetation

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

تصـاویر ماهواره‌ای انجام شـد، نشـان داد که میزان جابجایی در ریگ مقصودلو به طور میانگین برابر با ۳۱/۷ متر بوده اسـت. با این حال، حرکت تپه‌های ماسـه‌ای در ریگ قوم‌تپه به دلیل ضـعف در مدیریت منطقه‌ای، از الگوی مشخصی تبعیت نکرده و پیش‌بینی‌پذیر نبود. بنابراین نتیجه‌گیری شـد که منشـأ ماسه‌های بادی منطقه با توجه به جهت باد غالب که عمدتاً شـمالی اسـت؛ و همچنین حضـور رسـوبات ریزدانه در انتهای مخروط‌افکنه‌ها و مناطق پخش سـیلاب‌های صـفحه‌ای، بخش اعظم ماسه‌های بادی منطقه از همین نقاط تأمین می‌شود. به‌ویژه، گسترش سیلاب‌های صفحه‌ای و تجمع رسـوبات ریزدانه در انتهای مخروط‌افکنه‌ها، نقشی اساسی در تأمین مواد ماسه‌ای ایفا می‌کنند. تحلیل آسیب‌پذیری پدیده گرد و غبار در اسـتان کرمان (Ahmadabadi, Emadoddin & Kiani, 2024) نشان داد میانگین دید افقی بین ۰/۷۳ تا ۸/۷ متر است؛ و همه شهرستان‌های این استان نسبت به پدیده گرد و غبار آسیب‌پذیری یکسانی ندارند؛ زیرا پراکندگی معیارهای محیطی، اقتصـادی و اجتماعی در شهرستان‌ها یکسان نیست. نتایج این پژوهش نشان داد ۸۶ درصد از مساحت استان کرمان نسبت به آسیب‌پذیری پدیده گردوغبار در طبقات زیاد و خیلی زیاد قرار دارند.

بررسـی پژوهش‌های پیشـین نشان می‌دهد که استفاده از فناوری‌های نوین، به ویژه سنجش از دور، ابزاری کارآمد برای پایش و تحلیل فرسـایش بادی و مدیریت منابع طبیعی اسـت. شهرستان‌های آرادان و گرمسار در استان سمنان، به دلیل موقعیت جغرافیایی و شـرایط اقلیمی خاص، در معرض فرسـایش بادی و گرد و غبار قرار دارند. با توجه به نقش کلیدی اقتصـاد کشـاورزی در این منطقه، شـناسـایی الگوها و عوامل موثر بر فرسـایش بادی و گرد و غبار و ارائه راهکارهای مدیریتی جهت کاهش اثرات آن ضرورتی اجتناب ناپذیر است.

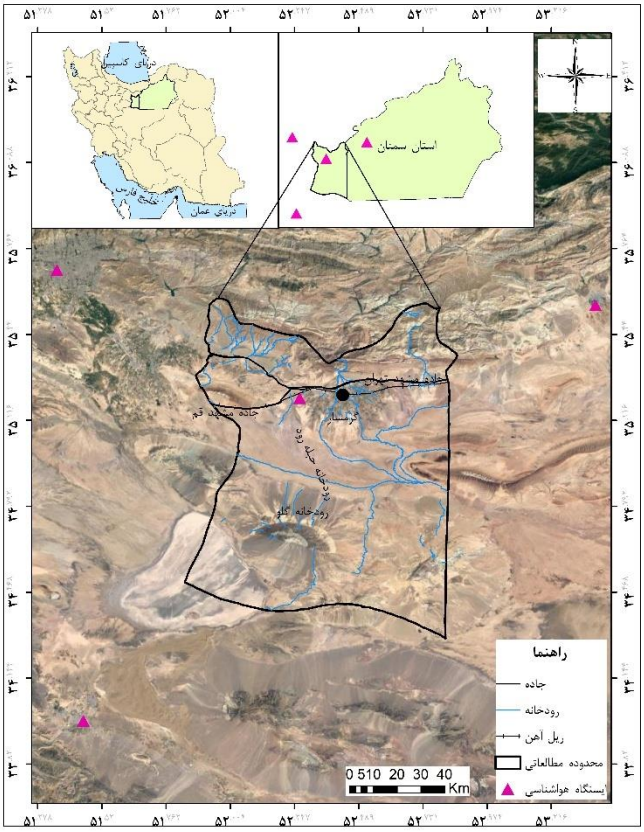
از سویی دیگر تاکنون مطالعات جامعی در خصوص ارتباط میان فرسایش بادی و تولید گرد و غبار در شهرستان‌های آرادان و گرمسـار انجام نشـده اسـت، که همین مسـئله ضرورت پژوهش دقیق و هدفمند را برجسته می‌سازد. پژوهش حاضـر با هدف بررسـی و تحلیل همبستگی میان فرسایش بادی و گرد و غبار در شهرستان‌های آرادان و گرمسار و به کـارگیری مدلسـازی و داده‌های ماهواره‌ای گامی در جهت مدیریت بهینه منابع طبیعی و کاهش پیامدهای این پدیده خواهد برداشت.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در جنوب رشـته‌کوه‌های البرز در استان سمنان و شامل شهرستان‌های آرادان و گرمسار است. این منطقه در مختصاتUTM ، زون ۳۹ شمالی، بین مختصات شرقی ۵۷۶۴۴۶ تا ۶۶۹۰۱۵ متر و مختصات شمالی ۳۷۹۶۲۱۹ تا ۳۹۳۷۴۴۲ متر واقع شده است. مساحت این دو شهرستان حدود ۹۵۱۲ کیلومتر مربع بوده و در ارتفاع متوسط ۸۵۶ متر از سـطح دریا قرار دارند. بیشـترین سرعت وزش باد در گرمسار به ۱۲۶ کیلومتر بر ساعت در سال ۱۴۰۳ گزارش شده است. از نظر زمین‌شناسی، این محدوده به دوره سنوزوئیک تعلق دارد. این منطقه دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بوده و میانگین بارندگی سـالانه آن تنها ۱۰۷ میلی‌متر است. اختلاف دمای شب و روز به دلیل موقعیت جغرافیایی و تأثیرات کویر مرکزی که در جنوب منطقه قرار دارد، بسیار زیاد است. جهت باد غالب شرق به غرب است. وزش بادهای شدید و فصـلی، علاوه بر کاهش رطوبت خاک، در برخی موارد موجب بروز توفان‌های شـن و گرد و غبار می‌شود (IMO, 2024). شـهرسـتان‌های آرادان و گرمسار از شمال به شهرستان‌های فیروزکوه و دماوند، از شرق به شهرستان سرخه، از جنوب به شـهرسـتان‌های آران و بیدگل و اردسـتان و از غرب به شهرستان‌های پاکدشت، پیشوا، ورامین و قم محدود

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

می‌شـوند. رودخانه‌های حبله‌رود، شور و گلو از مهم‌ترین منابع آبی منطقه هستند که نقش اساسی در کشاورزی و تأمین آب شـرب دارند (AJO, 2022). این محدوده از لحاظ اقتصـادی بر پایه کشاورزی و دامداری استوار است. محصولاتی مانند گندم، جو و پسـته از کشـت‌های اصـلی منطقه به‌شمار می‌روند. علاوه بر آن، مراتع طبیعی نیز بستر مناسبی برای دامپروری فراهم کرده‌اند. معادن گچ و آهک نیز از دیگر منابع اقتصادی منطقه محسوب می‌شوند. از نظر جمعیت‌شناسی، طبق آخرین سرشماری سال ۱۳۹۵، جمعیت مجموع دو شهرستان آرادان و گرمسار حدود ۷۰ هزار نفر بوده که در ۳۶۸ روسـتا پراکنده هسـتند (SCI, 2016). این منطقه همچنین به دلیل قرارگیری در مسـیر ارتباطی تهران-مشهد از اهمیت استراتژیک برخوردار است و این موقعیت به توسعه حمل و نقل و برخی صنایع کوچک کمک کرده است. این ترکیب از شـرایط جغرافیایی، اقلیمی، و اقتصادی، محدوده مطالعاتی را به یک منطقه منحصربه‌فرد برای بررسی پدیده‌هایی چون تغییرات اقلیمی، بادهای شدید و اثرات آنها بر کشاورزی و توسعه اقتصادی تبدیل کرده است.



شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی در استان سمنان

۳ـ مواد و روش

۳ـ۱ـ داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

در این پژوهش از داده‌های چندمنظوره جهت تحلیل فرسایش بادی و پدیده گرد و غبار در شهرستان‌های آرادان و گرمسار استفاده شد. داده‌های مورد استفاده شامل: میانگین دید افقی (بر حسب متر) طی سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸، میانگین بارندگی ده‌ساله، میانگین سرعت باد و جهت باد غالب از چهار ایستگاه هواشناسی گرمسار، سمنان، کاشان و مهرآباد تهران است. همچنین، از نقشه‌های پوشش‌گیاهی و زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که به ترتیب توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شده‌اند، بهره‌گیری شد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

برای تحلیل تغییرات پوشش‌گیاهی و شناسایی پهنه‌های حساس به فرسایش بادی، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2A سال ۲۰۲۲ در نرم‌افزار SNAP پیش‌پردازش و تفسیر شدند. جهت تحلیل رخدادهای گرد و غبار، تصاویر سنجنده MODIS از ماهواره‌های Terra و Aqua مربوط به سال ۲۰۲۲ به‌کار گرفته شد. این تصاویر برای شناسایی و بارزسازی چشمه‌های گرد و غبار در مناطق منشأ و پیگیری روند حرکت توده‌های گردوغبار در محدوده مطالعاتی استفاده شدند. پردازش‌های مرتبط با بارزسازی پدیده گرد و غبار با استفاده از الگوریتم دمای درخشایی (Brightness Temperature) در نرم‌افزار ENVI 5.1 انجام شد. در این راستا، محصولات MODIS شامل MYD02 L1B 1KM (ماهواره Aqua)، MOD02 L1B 1KM (ماهواره Terra) و MOD04 L1B جهت بررسی منابع مولد گرد و غبار، عمق نوری آئروسول‌ها (AOD) و شدت و تراکم توده‌های گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفتند (جدول ۱). شایان ذکر است که AOD کمتر از ۰/۱ نشان‌دهنده هوای صاف و AOD بالاتر از ۴ حاکی از وجود توده‌های متراکم گردوغبار است که باعث کاهش شدید دید افقی و عدم نفوذ نور خورشید حتی در میانه‌روز می‌شود. به‌منظور تکمیل تحلیل‌های مکانی و صحت‌سنجی نتایج حاصل از داده‌های سنجش از دور، مطالعات میدانی در مناطق حساس به فرسایش بادی و منشأهای احتمالی گردوغبار انجام شد. در این مطالعات، ویژگی‌های ژئومورفولوژیک مناطق (مانند نوع پوشش سطح زمین، نوع خاک، نشانه‌های فرسایش، مسیرهای باد غالب و اثرات رسوب‌گذاری گردوغبار) مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های میدانی با استفاده از GPS ثبت شده و به‌همراه عکس‌های مستند از چشمه‌های فعال گردوغبار و نواحی تخریب‌یافته گردآوری شدند.

جدول ۱: مراحل انجام و داده های پژوهش

مرحله اول	جمع آوری اطلاعات	داده‌های دید افقی، بارندگی، جهت باد غالب
		تصاویر Sentinel-2
		داده‌های AOD از سنجنده MODIS
مرحله دوم	پردازش تصاویر	تصحیات اولیه تصاویر Sentinel-2
		محاسبه شاخص‌های NDVI و NDWI
		استخراج داده‌های AOD از MODIS
مرحله سوم	شبیه‌سازی فرسایش بادی	تحلیل فضایی شاخص‌های NDVI وNDWI
		پهنه‌بندی فرسایش بادی (شناسایی مناطق برداشت، حمل و رسوبگذاری)
		مطالعات میدانی به منظور بررسی و تدقیق پهنه‌های فرسایش بادی
مرحله چهارم	شبیه‌سازی گرد و غبار	تحلیل داده‌های دید افقی
		تطبیق زمانی با مقادیر بالای AOD
		پهنه‌بندی گرد و غبار
مرحله پنجم	همپوشانی	تحلیل ارتباط فرسایش بادی و گرد و غبار

۲-۳- شبیه سازی گردوغبار

گام اول: تهیه و پردازش داده‌ها در سامانه Google Earth Engine (GEE)

ابتدا محدوده مطالعاتی و تصاویر چند طیفی ماهواره‌ای Sentinel-2A در سامانه Google Earth Engine (GEE) برای سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ از این سامانه فراخوانی گردید. این فرآیند امکان دسترسی به داده‌های سطح C۱ را فراهم ساخت که برای تحلیل‌های بعدی مورد استفاده قرار گرفت.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

گام دوم: انتخاب باندهای مناسب

برای شناسایی و تحلیل رخدادهای گردوغبار، باندهای طیفی مناسب انتخاب شدند. با توجه به اینکه گردوغبار عمدتاً در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک (NIR) قابل شناسایی است، باند قرمز (Red) و مادون قرمز نزدیک (NIR) مورد استفاده قرار گرفتند. باند NIR (باند ۸) به‌ویژه در شناسایی و تفکیک گردوغبار از سایر عناصر سطحی و جوّی مؤثر است.

گام سوم: تصحیح داده‌ها و استخراج ویژگی‌ها

پس از فراخوانی تصاویر، فرآیند تصحیح اتمسفری و هندسی برای کاهش تأثیرات جوی (مانند وجود ابر و ذرات معلق) و بهبود دقت مکانی داده‌ها انجام شد. سپس، به‌منظور تفکیک بهتر مناطق آلوده به گردوغبار، شاخص‌های مختلفی مانند NDVI (شاخص پوشش گیاهی) و NDWI[1] (شاخص آب) محاسبه گردید.

گام چهارم: تحلیل و پردازش داده‌ها

برای تحلیل داده‌ها، آمارهای مختلفی مانند حداقل، حداکثر، میانگین و میانه‌ی مقادیر شاخص‌های گردوغبار محاسبه شد. این داده‌ها به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی گردوغبار در شهرستان‌های گرمسار و آرادان طی سال‌های مختلف تجزیه‌وتحلیل گردید.

گام پنجم: شبیه‌سازی تغییرات مکانی گردوغبار

به‌منظور بررسی روند تغییرات گردوغبار، از روش تحلیل سری زمانی استفاده شد. در این گام، رگرسیون خطی برای شبیه‌سازی تغییرات AOD (Aerosol Optical Depth) در طول زمان به‌کار گرفته شد. این تحلیل به شناسایی روندهای افزایشی یا کاهشی گردوغبار در منطقه مطالعه کمک کرد. به‌طور معمول، AOD از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

رابطهٔ ۱

$$T_\lambda = -\ln\left(\frac{I_\lambda}{I_{\lambda_0}}\right)$$

که در آن: Tλ عمق نوری آئروسول در طول موج، I_λ شدت تابش دریافت‌شده در سطح زمین و I λ 0 شدت تابش بدون وجود ذرات.

برای استخراج AOD، ابتدا بازتابش سطح (Surface Reflectance) و اثرات گازهای جوی و بخار آب حذف می‌شوند، سپس باقیمانده به تأثیر آئروسول‌ها نسبت داده می‌شود. الگوریتم‌هایی مانند Deep Blue و Dark Target در MODIS یا الگوریتم‌های ترکیبی در Sentinel برای این هدف توسعه یافته‌اند (Remer et al, 2005; Levy et al, 2007).

گام ششم: تهیه نقشه‌های غلظت گردوغبار و تناوب رخداد

بر اساس داده‌های Sentinel-2A، نقشه‌های غلظت گردوغبار و تناوب رخداد آن تهیه شدند. غلظت گردوغبار در هر پیکسل تصاویر محاسبه و نقشه‌های مربوطه استخراج گردید. همچنین، تناوب رخداد گردوغبار با تعیین مقادیر آستانه‌ی AOD و پردازش سری زمانی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

[1] Normalized Difference Water Index

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

گام هفتم: صحت‌سنجی نتایج

برای ارزیابی دقت نتایج استخراج‌شده، داده‌های دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی شهرستان‌های گرمسار و آرادان مورد استفاده قرار گرفتند. این داده‌ها با نتایج تحلیل‌های ماهواره‌ای مقایسه شد و به‌منظور ارزیابی دقت مدل‌های شبیه‌سازی، از شاخص‌های آماری نظیر ضریب تعیین (R^2) استفاده گردید.

۳-۳- دید افقی

شاخص دید افقی یکی از معیارها برای ارزیابی میزان غبارناکی است (McTainsh et al., 2005). در این بخش از داده‌های دید افقی استفاده شده است که بر همین اساس، دید افقی در ایستگاه‌های هواشناسی منتخب موردمطالعه در کشور در چهارطبقه کمتر از ۸۰۰ متر، ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ متر، ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر و ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر طبقه بندی شده‌اند (NEO[1], 2019).

لازم به توضیح است که در پدیده شناختی هواشناسی یا در واقع همان وضع هوا، کدهای ۰۴ تا کد ۰۹، ۳۰ تا ۳۵ از بین ۱۰۰ کد وضعیت هوا مربوط به وضعیت گردوغبار و توفان گردوغبار و شن است. کد ۰۴ برای حالتی که آلودگی هوا با دود و مه ترکیب شود در انگلیسی واژه ترکیبی smog ترکیب smoke و fog و در فارسی واژه‌ی "مه‌دود" بکار برده شده است. کد ۰۵ را برای غبار معادل Haze انگلیسی و برای بیان حالتی که دید افقی به دلیل افزایش ذرات جامد معلق در جو به کمتر از ۱۰ کیلومتر کاهش یابد، بکار می‌رود که هر دو خارج از موضوعات موردمطالعه در این پژوهش هستند. اما مطابق جدول ۲ که مربوط به کدهای هواشناسی مربوط به پدیده‌ی گردوغبار است؛ کد ۰۶ حالتی است که به دلیل تعلیق ذرات در هوا علاوه بر دید افقی، دید عمودی نیز کاهش‌یافته که مصداق حالتی است که از سطوح فوقانی گردوغبار به لایه‌های سطح زمین فرود آمده و لزوماً وزش باد محلی شرط نیست و لذا در منابع هواشناسی، معادل گردوغبار با منشأ خارجی در نظر گرفته می‌شود. اما در کدهای ۰۷، ۰۸ و ۰۹ گردوغبار ناشی از وزش باد در محل و یا مجاورت ایستگاه هواشناسی بوده و لازمه‌ی آن وزش باد محلی است. طوفان‌های شن نیز با کدهای ۳۰ تا ۳۵ اعلام می‌گردند (WHO, 2019).

جدول ۲: کدهای هواشناسی وضعیت هوای حاضر مربوط به پدیده گردوغبار (WHO, 2019)

شماره کد	تعریف کد
۰۶	گردوغبار در هوا که در اثر طوفان شن و خاک که از نقاط دور به ایستگاه آمده است.
۰۷	گردوخاک یا شنی که به‌وسیلهٔ باد در ایستگاه و یا نزدیکی آن در ساعت دیده‌بانی بلند شده است.
۰۹	طوفان گردوخاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه
۳۰	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت آن کم شده است.
۳۱	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت آن تغییر نکرده است.
۳۲	طوفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت آن افزایش‌یافته است.
۳۳	طوفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت توفان کاسته شده است.
۳۴	طوفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته، شدت توفان تغییر نکرده است.
۳۵	طوفان شدید گردوخاک یا شن، طی ساعت گذشته بر شدت توفان افزوده شده است.

[1] سازمان محیط زیست کشور

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

۴-۳- شناسایی مناطق برداشت، حمل و رسوب با پردازش تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2

برای مطالعه‌ی فرسایش بادی منطقه مطالعاتی، از داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی سنتینل ۲ مربوط به مرداد ماه سال ۲۰۲۲ استفاده شده است. این ماهواره به دلیل تصویربرداری چند طیفی، ابزاری کارآمد برای تحلیل پوشش گیاهی، خاک و منابع آبی است. این ویژگی‌ها، آن را برای نقشه برداری و نظارت بر فرسایش خاک در مقیاس وسیع مناسب ساخته است. ویژگی‌های تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 در جدول ۳ ارائه شده است. تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 از پلتفرم داده‌های علمی آژانس فضایی اروپا (ESA) دانلود شدند. این تصاویر که بدون اعوجاجات و سطح بازتاب بالای جو بودند، با استفاده از نرم افزار SNAP و پردازشگر جوی Sen2cor نسخه ۲/۴ تصاویر پردازش و به سطح بازتاب در سطح زمین تبدیل شد. به منظور شناسایی بهتر مناطق برداشت، انتقال و رسوبگذاری بازدید صحرایی صورت گرفت و موقعیت مکانی هر کدام به وسیله دستگاه موقعیت یاب جهانی بررسی و تدقیق شده است. از شاخص NDVI جهت پایش پوشش گیاهی و باند مادون قرمز کوتاه (SWIR) برای تحلیل رطوبت خاک و بازتاب سطحی از شاخص NDWI استفاده شد تا مناطق مستعد فرسایش بادی شناسایی شوند. در نهایت با استفاده از ترکیب باندهای مختلف، نواحی تحت تاثیر رسوبات بادی شناسایی و پهنه‌بندی شدند (Wang, Wan, Qiu & et al, 2018).

جدول ۳: ویژگی تصویر ماهواره سنتینل ۲-A (Wang, Wan, Qiu & et al, 2018)

Sentinel 2-A			
نام باند	طول موج (نانومتر)	عرض موج (نانومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)
باند ۱	۴۴۲/۳	۴۵	۶۰
باند ۲	۴۹۲/۱	۹۸	۱۰
باند ۳	۵۵۹	۴۶	۱۰
باند ۴	۶۶۵	۳۹	۱۰
باند ۵	۷۰۳/۸	۲۰	۲۰
باند ۶	۷۳۹/۱	۱۸	۲۰
باند ۷	۷۷۹/۷	۲۸	۲۰
باند ۸	۸۳۳	۱۳۳	۱۰
باند ۸ آ	۸۶۴	۳۲	۲۰
باند ۹	۹۴۳/۲	۲۷	۶۰
باند ۱۰	۱۳۷۶/۹	۷۶	۶۰
باند ۱۱	۱۶۱۰/۴	۱۴۱	۲۰
باند ۱۲	۲۱۸۵/۷	۲۳۸	۲۰

۵-۳- شاخص نسبت تفاضلی پوشش گیاهی

شاخص نسبت تفاضلی پوشش گیاهی به عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها در مطالعات بیشماری برای ارزیابی پوشش گیاهی استفاده شده است. مبنای ساختاری این شاخص وجود کلروفیل در گیاهان مختلف است که نور قرمز

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

(باند ۴ در تصـــویر ماهواره‌ای ســـنتینل ۲) را جذب و لایه مزوفیل برگ، نور مادون قرمز کوتاه (باند ۸ در تصـــویر ماهواره‌ای ســـنتینل ۲) را منعکس می‌کند. مقدار عددی این شـــاخص بین مثبت و منفی متغیر اســـت و مقادیر بالای این شـــاخص نشـــان دهنده افزایش پوشـــش گیاهی اســـت و بالعکس. شـــاخص NDVI برای تصاویر سنتینل ۲ از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Hodel, 2012).

رابطهٔ ۲

$$NDVI = \frac{Band\ 8a - Band\ 4}{Band\ 8a + Band\ 4'}$$

۶-۳- شاخص رطوبت خاک

شـــاخص رطوبت خاک برای به حداکثر رســـاندن بازتاب آب با استفاده از طول موج سبز، به حداقل رساندن بازتاب کم باند مادون قرمز کوتاه با ویژگی‌های آب و بازتاب زیاد باند مادون قرمز کوتاه توســـط پوشـــش گیاهی و خاک طراحی شده‌اند. جایی که باند مادون قرمز و سبز به ترتیب مقادیر بازتابی طیفی بدست آمده در بخش مادون قرمز کوتاه و ســـبز طیف الکترومغناطیســـی هستند. مقادیر NDWI بین مثبت و منفی یک است که مقادیر منفی یا نزدیک صفر به معنای بدون آب اســـت در حالیکه مقادیر نزدیک به مثبت یک نشـــان دهنده رطوبت بسیار زیاد است. شاخص NDWI برای تصاویر سنتینل ۲ از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (McFeeters, 1996).

رابطهٔ ۳

$$NDWI = \frac{Band\ 8a - Band\ 12}{Band\ 8a + Band\ 12'}$$

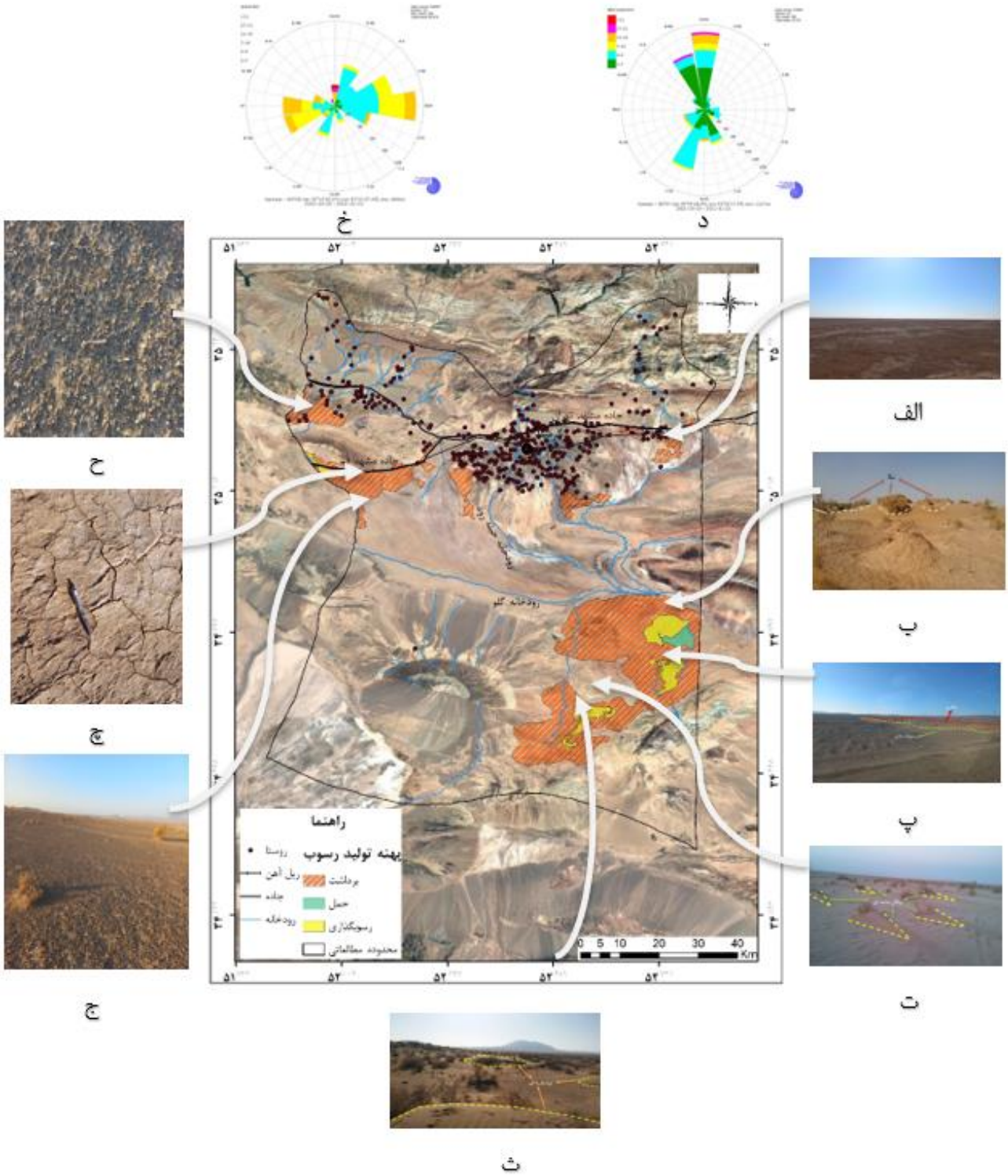
۴-یافته‌ها

۱-۴- پهنه‌بندی فرسایش بادی

پهنه‌های فرســـایش بادی در شـــهرســـتان‌های آرادان و گرمســـار شـــامل سه نوع پهنه‌ی عملکردی برداشت، انتقال و رسوبگذاری هستند که همراه با فرم‌های فرسایشی شاخص در هر یک این پهنه‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. پهنه برداشـــت با مســـاحتی بالغ بر ۱۰۶۰ کیلومتر مربع حدود ۱۱ درصـــد از مســـاحت شـــهرســـتان‌ها آرادان و گرمسار را در برگرفته‌اند. پهنه برداشـــت عمدتا در بخش‌های جنوب شـــرق و جنوب منطقه مطالعاتی، به‌ویژه در محدوده پارک ملی کویر، گسترش دارد. علاوه بر آن، پهنه‌های برداشت به صورت پراکنده در حاشیه جاده مشهد- قم و جاده مشهد-تهران و جنوب روســـتاهای محدوده مطالعاتی توســـعه یافته‌اند. فرم‌های غالب در پهنه برداشت شامل دشت رسی و دشت ریگی فعال هســـتند (جدول ۴)، که به دلیل بافت خاک در این مناطق عمدتا شـــنی و رســـی که به دلیل وزن کم ذرات، مستعد برداشـــت توســـط بادهای غالب در منطقه مطالعاتی هســـتند. کاهش تراکم پوشـــش‌گیاهی، وزش بادهای شدید و کمبود رطوبت خاک از جمله مهم‌ترین عوامل موثر در گســـترش پهنه برداشـــت در منطقه مطالعاتی به‌شـــمار می‌روند. شـــرایط توپوگرافی نســـبتا هموار و کم ارتفاع در بخش جنوبی و و مرکزی منطقه مطالعاتی (مانند حاشیه دشت کویر) همراه با بافت خاک ســـبک، موجب افزایش پتانسیل فرسایش‌پذیری بادی شده‌اند. در مقابل، دشته کوه‌های البرز در شمال منطقه همچون مانعی طبیعی در برابر گسترش بادهای فرسایش عمل کرده و از انتقال فرسایش بادی به سمت شمال جلوگیری کرده‌اند. پهنه انتقال در شـــرق شـــهرســـتان آرادان و مجاورت با پارک کویر ملی شـــناسایی شده و با وسعتی حدود ۲۰ کیلومتر مربع، تنها ۰/۲ درصـــد از کل محدوده مطالعاتی را در برگرفته اســـت. مجاورت نزدیک پهنه انتقال با پهنه‌های برداشـــت بویژه در پارک ملی کویر نشـــان می‌دهد فرآیند جابجایی ذرات خاک بســـیار سریع بوده و بستر مناسبی برای

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

آغاز رسوبگذاری فراهم می‌شود. پهنه رسوبگذاری با وسعتی در حدود ۱۱۲/۳ کیلومتر مربع (حدود ۱ درصد) از کل محدوده مطالعاتی عمدتا در پارک کویر ملی و اطراف جاده مشهد-قم پراکنده است. در بازدیدهای میدانی تپه‌های ماسه‌ای، نبکا و پیکان ماسه‌ای در پهنه رسوبگذاری مشاهده شد. همچنین علی رغم فعالیت‌های احیا و کاشت گونه‌های گیاهی در تثبیت تپه‌های ماسه‌ای موثر واقع نشده و روند بیابان‌زایی در این پهنه فعال است.



شکل ۲: پهنه‌های فرسایش بادی در شهرستان‌های آرادان و گرمسار

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

جدول ۴: شناسایی فرم‌های موجود در مناطق فرسایش بادی

شماره عکس	فرم
الف	منطقه برداشت دشت رسی
ب	منطقه رسوبگذاری نبکا
پ	رسوبات به دام افتاده در منطقه انتقال در پشت خاکریز
ت	منطقه رسوبگذاری پیکان ماسه‌ای
ث	منطقه رسوبگذاری تپه ماسه‌ای
ج	منطقه برداشت دشت ریگی
چ	دق رسی منطقه برداشت
ح	دشت ریگی منطقه برداشت
خ	گلباد ایستگاه ینوپتیک گرمسار
د	گلباد ایستگاه سینوپتیک سمنان

۲-۴- پهنه بندی گردوغبار

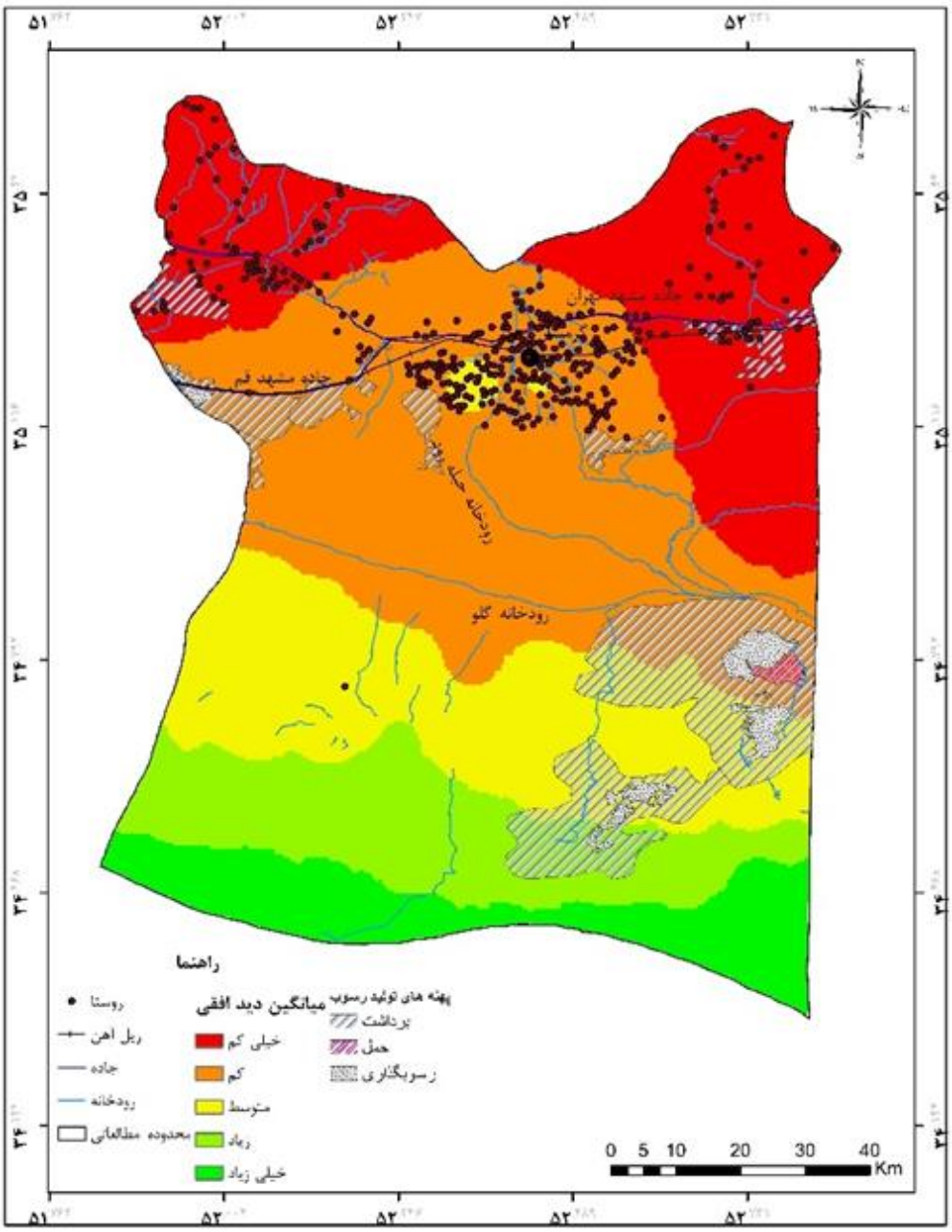
در این پژوهش، به‌منظور دستیابی به نقشه‌ای دقیق‌تر از پراکنش فضایی گردوغبار در شهرستان‌های آرادان و گرمسار، از ترکیب داده‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی استفاده شد. شاخص عمق نوری آئروسول که از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شود، معیار قابل اطمینانی برای سنجش تیرگی جو و میزان ذرات معلق در جو است و پوشش گسترده زمانی و مکانی آن امکان تحلیل‌های دقیق در مقیاس وسیع را فراهم می‌آورد. از سوی دیگر، دید افقی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های همدیدی یکی از پارامترهای مستقیم و محلی غلظت گردوغبار در سطح زمین، دقت مکانی بالایی دارد و به شناخت بهتر شرایط واقعی محیطی کمک می‌کند. با ترکیب این دو شاخص (عمق نوری آئروسول و دید افقی) از طریق روش استانداردسازی و همپوشانی مکانی، نقشه‌ای تلفیقی از شدت گردوغبار در منطقه مورد مطالعه استخراج شد. این نقشه مزیت‌هایی چون تلفیق دقت مکانی بالا در داده‌های ایستگاهی و پوشش وسیع زمانی و مکانی داده‌های ماهواره‌ای را فراهم می‌سازد. شکل ۳ میانگین دید افقی در شهرستان‌های آرادان و گرمسار را نمایش می‌دهد. الگوی مکانی میانگین دید افقی در این منطقه دارای روند شمالی-جنوبی است؛ به‌طوری که از شمال به جنوب میانگین دید افقی افزایش می‌یابد. در بخش‌های شمالی منطقه، به‌ویژه در امتداد جاده‌های مشهد–قم و مشهد–تهران و نیز نواحی شهری و روستایی، میانگین دید افقی در طبقه "خیلی کم" تا "کم" قرار دارد. در مقابل، نواحی جنوبی محدوده مطالعاتی، شامل پهنه‌هایی از پارک ملی کویر و دریاچه نمک، دارای پراکندگی "زیاد" هستند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در شمال منطقه مطالعاتی، میزان گردوغبار بسیار زیاد و در نواحی جنوبی، این مقدار به‌طور محسوس کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، بخش عمده‌ای از منطقه در پهنه با غلظت بالای گردوغبار قرار گرفته است.

۳-۴- تحلیل ارتباط فرسایش بادی و گردوغبار

از همپوشانی نقشه‌های پهنه‌های فرسایش بادی و پراکنش گردوغبار ارتباط بین این دو پدیده بدست آمد (شکل۳). پهنه‌های فرسایش بادی (برداشت، حمل و رسوب) در پهنه‌های با دید افقی خیلی کم، کم، متوسط و زیاد و با گردوغبار

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

خیلی زیاد تا زیاد قرار دارند؛ که نشـان دهنده ارتباط مستقیم دو پدیده گردوغبار و پهنه‌های فرسایش بادی است. بطور کلی می‌توان پهنـه‌هـای فرسـایشـی را در دو طبقـه در محدوده مطالعاتی دسـته‌بندی کرد. طبقه اول که در اطراف زیرسـاختهای بین شـهری بویژه جاده مشهد-تهران، جاده مشهد قم و اطراف روستاها و مرکز شهر قرار گرفته و عمدتا مناطق برداشـت اسـت. می‌توان گفت بدلیل تغییر کاربری و توسـعه مناطق شهری و زیرساختهای شهری و بین شهری عوامل انسانی همراه با عوامل محیطی در فرسایش محیطی و افزایش میزان گردوغباردخیل هستند. طبقه دوم در جنوب و جنوب شـرقی محدوده مطالعاتی و هر سه مرحله فرسایش بادی (برداشت، حمل و رسوبگذاری) در آن دیده می‌شود. در حالیکه علت اصلی فرسایش بادی در جنوب و جنوب شرقی شهرستان‌های آرادان و گرمسار را محیطی بیان کرد.



شکل ۳: توزیع پهنه‌های تولید رسوب بر روی نقشه میانگین دید افقی در شهرستان‌های آرادان و گرمسار

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش بادی یک چالش زیست‌محیطی مهم برای مناظر طبیعی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. فعالیت‌های انسانی، از جمله از بین بردن پوشش گیاهی، شیوه‌های کشاورزی و چرای بی‌رویه دام، منجر به تخریب زمین و افزایش نرخ فرسایش خاک می‌شود. در پژوهش حاضر، به پهنه‌بندی فرسایش بادی و گردوغبار در شهرستان‌های آرادان و گرمسار پرداخته شد تا ارتباط بین فرسایش بادی و گردوغبار در محدوده مطالعاتی مشخص شود. پهنه‌های فرسایشی نشان می‌دهد که مناطق جنوبی، به‌ویژه نواحی نزدیک به پارک ملی کویر، دارای بیشترین شدت فرسایش بادی هستند. این مناطق به علت کمبود رطوبت خاک، پوشش گیاهی ضعیف و قرار گرفتن در معرض بادهای غالب، مستعد تولید گردوغبار هستند. از سوی دیگر، فعالیت‌های انسانی مانند چرای بی‌رویه دام، کشاورزی نامناسب، تعریض جاده امام رضا و توسعه شهری بدون برنامه‌ریزی، در بسیاری از مناطق مرکزی شهرستان‌ها، به‌ویژه در نزدیکی کانون‌های فرسایش بادی، منجر به تخریب پوشش گیاهی و افزایش حساسیت خاک به باد شده است. به همین خاطر، بسیاری از پهنه‌های برداشت در مجاورت بزرگراه امام رضا، آزادراه غدیر و اطراف روستاها مشاهده می‌شود که سبب بروز گردوغبار و کاهش دید برای رانندگان و ساکنان این مناطق می‌گردد.

کانون‌های اصلی فرسایش بادی، به علت ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی و اقلیمی مانند بافت شنی خاک، کمبود رطوبت و نبود پوشش گیاهی کافی، به‌شدت در معرض فرسایش بادی قرار دارند. این شرایط در نقشه دید افقی نیز منعکس شده است؛ به‌گونه‌ای که مناطق نزدیک به کانون‌های فرسایش بادی دارای دید افقی کم‌تری هستند. این کاهش دید ناشی از افزایش تراکم ریزگردها در هواست. در این میان، استفاده از شاخص عمق نوری آئروسول (AOD) نقش مهمی در تحلیل تیرگی جو ایفا نموده است. این شاخص که بر پایه میزان جذب و پراکنش تابش توسط ذرات معلق در جو محاسبه می‌شود، توانسته است در این تحقیق خلأ داده‌های زمینی را در مناطق فاقد ایستگاه اندازه‌گیری پوشش دهد. با ترکیب داده‌های AOD با اطلاعات دید افقی ایستگاهی، نقشه‌ای استاندارد از شدت گردوغبار در سطح منطقه استخراج شد که نه‌تنها پیوستگی فضایی بالاتری دارد، بلکه قابلیت تخمین دقیق گردوغبار در نواحی بدون داده زمینی را نیز فراهم ساخته است. این رویکرد ترکیبی، ابزاری کارآمد برای پایش محیطی و پشتیبانی تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در مناطق در معرض خطر فرسایش بادی و گردوغبار فراهم می‌آورد.

نتایج این پژوهش در زمینه تاثیر فرسایش بادی بر تولید گردوغبار با یافته‌های مشابه در مطالعات قبلی همخوانی دارد. به عنوان مثال پژوهش (abbasi et al, 2022) با استفاده از شاخصNDVI، کاهش پوشش گیاهی منجر به افزایش حساسیت به فرسایش بادی می‌شود. همچنین، مناطق دارای خاک‌های سبک، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، نسبت به فرسایش بادی حساس‌تر بودند. این مطالعه بر اهمیت استفاده از شاخص‌های سنجش از دور مانند NDVI در ارزیابی و مدیریت خطر فرسایش بادی تأکید دارد که می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در این مناطق کمک کند. نتایج پژوهش آنان با یافته‌های پژوهش حاضر در خصوص تأثیر کاهش رطوبت خاک و پوشش گیاهی کم بر افزایش حساسیت به فرسایش بادی همخوانی دارد. همچنین پژوهش (Vali & Roustaei, 2018) در ایران مرکزی نشان داد که افزایش شدت فرسایش بادی با کاهش پوشش گیاهی و افزایش خشکسالی رابطه مستقیم دارد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر در مورد مطابقت دارد. بطوریکه در مناطق نزدیک به رودخانه‌های موجود مانند حبله رود

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

و گلو به دلیل وجود رطوبت خاک و پوشش گیاهی طبیعی پهنه فرسایشی وجود ندارد و در حقیقت تاثیر بازدارنده‌ای بر فرسایش بادی دارد. در بررسی گردوغبار استان البرز (Zahrabi et al, 2020) مشخص شد که ویژگی‌های خاک مانند اندازه ذرات و رطوبت مهم‌ترین عوامل موثر در فرسایش بادی هستند.

در این پژوهش نیز مشخص شد که مناطق با خاک‌های شنی و ماسه‌ای بیشترین حساسیت به فرسایش بادی دارند. در مطالعه‌ای که در مناطق خشک هند (Liu et al., 2023) انجام شده است، تاثیر داده‌های ماهواره‌ای بر تحلیل دقیق کانون‌های فرسایش بادی بررسی شده است. استفاده از شاخص NDVI و تصاویر ماهواره Sentinel-2در مطالعه حاضر نیز دقت تحلیل را افزایش داده و پهنه‌های فرسایش بادی را با موفقیت شناسایی کرده است. این مقایسه نشان می‌دهد که یافته‌های پژوهش حاضر ضمن تایید دستاوردهای مطالعات پیشین بر اهمیت استفاده از فناوری سنجش از دور و داده‌های دید افقی برای تحلیل جامعتر و دقیقتر تاکید دارد. در نهایت، اجرای راهکارهای مدیریت پایدار، از جمله تثبیت خاک و افزایش پوشش گیاهی، می‌تواند به‌طور چشمگیری از میزان گردوغبار، کاهش دید، و تخریب اراضی در شهرستان‌های آرادان و گرمسار بکاهد و به بهبود کیفیت زندگی ساکنان و حفظ اکوسیستم‌های منطقه کمک شایانی نماید.

منابع

1. Abbasi, H. Gohardoust, A. khaksarian, F. & Baranizadeh, M. (2022). Identification of land sensitivity to wind erosion using field data in Hamoun-e Baringak, Sistan. *Natural Environmental Hazards*, 11 (33), 121–134. doi: 10.22111/jneh.2022.37186.1750. (in persian)
2. Ahmadabadi, A. Emadoddin, F. & Kiani, S. (2024). Vulnerability Analysis due to Dust Phenomenon in Kerman Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 14 (1), 119–101. https://doi.org/10.22126/ges.2024.9855.2707. (in persian)
3. Ara, H. kianiyan, M K. Sohrabi, H. & Ahmadabadi, A. (2020). Studying Effectiveness of Landsat ETM+ Satellite Images Classification Methods in Identification of desert pavements (Case study: South of Semnan). *Environmental Erosion Research*, 10 (20), 20–1. http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-531-fa.html. (in persian)
4. Boroughani, M. Mirchooli, F. & Mohammadi, M. (2022). Dust source mapping using satellite imagery and machine learning models. *Arid Regions Geographic Studies*, 13 (47), 13–1. (in persian)
5. Borrelli, P. Panagos, P. & Montanarella, L. (2015). New insights into the geography and modelling of wind erosion in the European agricultural land. Application of a spatially explicit indicator of land susceptibility to wind erosion. *Sustainability*, 7 (7), 8836–8823. https://doi.org/10.3390/su7078823
6. Chavez, P S. Mackinnon, D J. Reynolds, R L. & Velasco, M G. (2002). Monitoringg dust storms and mapping landscape vulnerability to wind erosion using satellite and ground-based digital images. ARID LANDS, 51.
7. Chepil, W.S. & Woodruff, N.P. (1963). The Physics of Wind Erosion and its Control. *Advances in Agronomy*, 15, 302–211. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60400-9

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

8. Chu, D. A. Kaufman, Y. J. Ichoku, C. Remer, L. A. Tanré, D. & Holben, B. N. (2002). Validation of MODIS aerosol optical depth retrieval over land. Geophysical Research Letters, 29 (12). https://doi.org/10.1029/2001GL013205
9. Duniway, M. C. Pfennigwerth, A. A. Fick, S. E. Nauman, T. W. Belnap, J. & Barger, N. N. (2019). Wind erosion and dust from US drylands: a review of causes, consequences, and solutions in a changing world. *Ecosphere*, 10 (3). https://doi.org/10.1002/ecs2.2650
10. Dwivedi, R.S. (2018). *Geospatial Technologies for Land Degradation Assessment and Management*. 1st ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA
11. Funk, R. (2015). *Assessment and measurement of Wind Erosion. In Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia.* Springer Water Book Series; Springer: Cham, Switzerland, 449–425. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24409-9_18
12. Gillette, D. A. Fryrear, D. Gill, T. E. Ley, T. Cahill, T. A. & Gearhart, E. A. (1997). Relation of vertical flux of particles smaller than 10 lm to total aeolian horizontal mass flux at Owens Lake. *Geo-physical Research: Atmospheres*, 102 (22), 26015–26009. 10.1029/97JD02252
13. Goudie, A. S. & Middleton, N. J. (2006). Saharan Dust Storms: Nature and Consequences. *Earth-Science Reviews*, 56 (1-4), 204–179. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(01)00067-8
14. Gupta, P. Christopher, A. Wang, J. & Gehrig, R. (2006). Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Atmospheric Environment*, 40, 5892–5880. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.016
15. Gupta, P. & Christopher, S.A. (2008). Seven year particulate matter air quality assessment from surface and satellite measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(1), 3324–3311. https://doi.org/10.5194/acp-8-3311-2008
16. Hodel, Elias. (2012). *Analysing Land Cover Change in Mongolia Using Terra MODIS Satellite Data supervisor Hans Hurni*, Masterarbeit der Philosophisch, Universität Bern.
17. Houser, C. A. & Nickling, W. G. (2001). The emission and vertical flux of particulate matter < 10 lm from a disturbed clay-crusted surface. *Sedimentology*, 48, 267–255.
18. Iran Meteorological Organization. (2024). *Annual Weather Report of Garmsar County*. (in persian)
19. Jarrah, M. Mayel, S. Tatarko, J. Funk, R. & Kuka, K. (2020). A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity. *CATENA*, 187, 388–104. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104388.
20. Jahantigh, M. Jahantigh, M. & Iranmanesh, F. (2023). Identification of Storms and Centers of Dust Production in Southeast of Iran (Case Study: Sistan Region). *Environmental Erosion Research*, 13(3), 92-67. http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-772-fa.html
21. Kokhanovsky, A. A. (2008). *Aerosol Optics: Light Absorption and Scattering by Particles in the Atmosphere*. Springer. DOI:10.1007/978-3-540-49909-1
22. Kumar, N. Chu, A. & Foster, A. (2013). An empirical relationship between PM2.5 and aerosol optical depth in Delhi Metropolitan. Atmospheric Environment, 41 (21), 4503–4492. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.01.046
23. Liu, Y. Zhao, H. Zhao, G. Cao, X. Zhang, X. & Xiu, A. (2023). Estimates of Dust Emissions and Organic Carbon Losses Induced by Wind Erosion in Farmland Worldwide from 2017 to 2021. *Agriculture*, 13(4). https://doi.org/10.3390/agriculture13040781

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

24. Liu, Y. Franklin, M. Kahn, R. & Koutrakis, P. (2007). Using aerosol optical thickness to predict ground-level PM2.5 concentrations in the St. Louis area: A comparison between MISR and MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 107 (1-2), 44–33. https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.05.022
25. Lyles, L. (1983). Erosive wind energy distributions and climatic factors for the West. *Soil and Water Conservation*, 38, 109–106.
26. Maghsoudi, M. Ghojehzadeh halani, A. allahveisi, A. & barati, Z. (2024). Studying the morphology and spatial changes of Azerbaijan Ergs using satellite images and analysis of erosive winds(case study: Qomtape and Maghsudlu Ergs). *Arid Regions Geographic Studies, 15*(57), 22–1. doi: 10.22034/jargs.2024.403993.1044. (in persian)
27. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Remote Sensing*, 17(7), 1432–1425. https://doi.org/10.1080/01431169608948714.
28. McTainsh, G.H. Chan, Y.C. McGowan, H.A. Leys, J.F. & Tews, E.K. (2005). The 23rd October, 2002 dust storm in eastern Australia: characteristics and meteorological conditions. *Atmospheric Environment*, 39(7), 1236–1227. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.10.016
29. Namdar Khojasteh, D. & Moradi, E. (2021). The Application of USEPA Model for Identification of Dust Sources in the Delazan District, Semnan County. *Watershed Management Research, 34*(3), 181–165. doi: 10.22092/wmej.2021.352562.1371. (in persian)
30. Poorhashemi, S. Amir Ahmadi, A. Zangane, M. A. Salehi, M. (2019). Identification and Characterization of Dust Source in Khorasan Razavi Province. *Geographical Research*, 34 (1), 9–1. URL: http://georesearch.ir/article-1-381-en.html. (in persian)
31. Ravi, S. D'Odorico, P. Breshears, D.D. Field, J.P. Goudie, A.S. Huxman, T.E. Li, J. Okin, G.S. Swap, R.J. Thomas, A.D. Pelt, S. V. Whicker, J.J. & Zobeck, T.M. (2011). Aeolian Processes and the Biosphere. *Reviews of Geophysics*, 49(3). 45–1. https://doi.org/ 10.1029/2010RG000328
32. Scheper, S. Weninger, T. Kitzler, B. Lackóová, L. Cornelis, W. Strauss, P. & Michel, K. (2021). Comparison of the Spatial Wind Erosion Patterns of Erosion Risk Mapping and Quantitative Modeling in Eastern Austria. *Land*, 10 (9), 974. https://doi.org/10.3390/land10090974.
33. Secretariat of the United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). (1977). *Desertification: its causes and consequences.* Pergamon Press, New York.
34. Semnan Province Agricultural Jihad Organization. (2022). *Agriculture and Livestock Report of Aradan and Garmsar Counties*. (in persian)
35. Senanayake, S., Pradhan, B., Huete, A., & Brennan, J. (2020). A review on assessing and mapping soil erosion hazard using geo-informatics technology for farming system management. *Remote Sensing*, 12 (24), 4063. https://doi.org/10.3390/rs12244063
36. Sepuru, T.K. & Dube, T. (2018). An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. *Environmental Science*. 9, 9–1. DOI: 10.1016/j.rsase.2017.10.005
37. Shoshany, M. Goldshleger, N. & Chudnovsky, A. (2013). Monitoring of agricultural soil degradation by remote-sensing methods: A Review. *Remote Sensing*, 34 (17), 6181–6152. DOI: 10.1080/01431161.2013.793872

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]
[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]

38. Stallings, J.H. (1951). *Mechanics of Wind Erosion, Soil Conservation*. Government Publishing Office: Washington, DC, USA.
39. Statistical Center of Iran. (2016). *Results of the 2016 National Population and Housing Census*. (in persian)
40. Sterk, G. Riksen, M. & Goossens, D. (2001). Dryland Degradation by wind erosion and its control. *Annuals of Arid Zone*, 41 (3), 367–351.
41. Tian, J. & Chen, D, (2010). A semi-empirical model for predicting hourly round-level fine particulate matter (PM2.5) concentration in southern Ontario from satellite remote sensing and ground-based meteorological measurements. *Remote Sensing of Environment*, 114 (2), 229–221. https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.09.011
42. The National Environmental Organization. (2019). *National Report on the Source Identification of Internal Wind Erosion*, Sandstorms, and Dust Storms in the Country. (in Persian)
43. UNEP. (2016). *Global Assessment of Sand and Dust Storms. United Nations Environment Programme*. https://wedocs.unep.org
44. Vali, A. & Roustaei, F. (2018). Investigation of the Wind Erosion Trend in Central Iran using Dust Storm Index in the Last Fifty Years. *Water and Soil Science*, 21 (4), 200–189. URL: http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-3326-fa.html. (in persian)
45. Wang, D. Wan, B. Qiu, P. Su, Y. Guo, Q. Wang, R. Sun, F. & Wu, X. (2018). Evaluating the Performance of Sentinel-2, Landsat 8 and Pléiades-1 in Mapping Mangrove Extent and Species. *Remote Sensing*, *10*(9), 1468. https://doi.org/10.3390/rs10091468.
46. World Meteorological Organization (WMO). (2019). Manual on codes. 1 (306).
47. Zahrabi, S. Khosravi, H. Mesbahzadeh, T. Jafari, M. & Dastorani, M. (2020). Investigating wind erosion threshold velocity and the effect of soil characteristics in dust production centers in Alborz province. *Arid Regions Geographic Studies*, 10 (38), 13–1. SID. https://sid.ir/paper/381956/en. (in persian)
48. Goudie, A. S. (2014). Desert dust and human health disorders. *Environment International*, 63, 113–101. https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.10.011
49. Ginoux, P. Prospero, J. M. Gill, T. E. Hsu, N. C. & Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50 (3). https://doi.org/10.1029/2012RG000388
50. Sow, M. Alfaro, S. C. Rajot, J. L. & Marticorena, B. (2020). Dust emissions from West African drylands: An analysis of changes between 2006 and 2015. *Atmospheric Environment*, 220, 117057. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117057

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2025-12-15]

[DOI: 10.61186/jeer.15.4.1]