



Examination of the spatial dispersion and trend of Dust Optical Depth (DOD) in West Asia and its relation with land use change


Shler Katorani¹  Mahmoud Ahmadi²  Abbasali Dadashi-Roudbari³ 

1. Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: sh.katorani99@gmail.com

2. Corresponding Author, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail:

Ma_ahmadi@sbu.ac.ir

3. Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: dadashiabbasali@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	The purpose of this study is to examine the changes in dust in the West Asia region and its association with land use changes. For this purpose, the Dust Optical Depth (DOD) from the open EAC4 dataset with a horizontal resolution of 0.75o and the Global Land Cover Classification System (LCCS) dataset with a horizontal resolution of 300 meters were used. The results showed that the maximum DOD in the spring and summer seasons is due to decreased soil moisture, reduced river water levels, lack of vegetation cover, and the dry climate in the Mesopotamian regions, the deserts of Iraq and Syria, and southeastern and southwestern Iran. Generally, DOD decreases with high latitude in the region; however, in northeastern Iran, due to the presence of the Kyzylkum, Karakum, Aral Karakum, and Garabogazköl deserts, this index has shown a significant increase. The analysis of the DOD trend indicates that this variable is on an increasing trend in most months of the year. The most significant increasing trend at the 0.05 level is observed in December, January, March, and November, especially in the western, southern, and northeastern parts of Iran. The examination of land use changes has revealed that the area of regions with dense vegetation cover has decreased from 7.6% to 3.7%, and pastures have decreased from 3.1% to 2.8%, while in contrast, the area of agricultural lands has increased from 16.1% to 16.25%, and these areas have experienced the highest amount of dust event.
Article history:	
Received: Apr. 1, 2024	
Revised: June. 15, 2024	
Accepted: July. 1, 2024	
Published online: Oct. 2024	
Keywords: Dust trend, Dust Optical Depth, LCCS, EAC4 Dataset.	
Cite this article: Katorani. Sh., Ahmadi. M., & Dadashi-Roudbari, A. (2024). Examination of the spatial dispersion and trend of Dust Optical Depth (DOD) in West Asia and its relation with land use change, <i>Iranian Journal of Soil and Water Research</i> , 55 (8), 1415-1432. https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374563.669685	
© The Author(s).	Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374563.669685	



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Global estimates indicate that land use changes and climate change have led to a 40 percent increase in mineral dust. Incorrect traditional farming techniques, rainfed agriculture, and severe, prolonged droughts result in loose soil being exposed to the wind, contributing to the emission of dust from these areas. These conditions cause about 2000 tons of dust to be transported to the atmosphere annually. Although dust is a common climate phenomenon in arid and semi-arid regions, evidence suggests that this event occurs in all climate regions, becoming one of the significant environmental challenges in recent years in the Middle East, particularly in Iran. This study aims to examine the changes in dust in West Asia and its relationship with land use changes. Most studies have confirmed the role of land use and anthropogenic in increasing the event of dust globally and emphasize that a considerable of the emission, transport, and deposition of dust is affected by land use changes and anthropogenic factors. Therefore, identifying and monitoring the Spatio-temporal analysis in dust events and examining the role of land use changes will be essential for preventing this phenomenon.

Materials and Methods

In this research, to examine the monthly trend of dust changes, the Dust Optical Depth (DOD) variable with a horizontal resolution of 0.75° on a monthly scale from the CAMS global reanalysis dataset (EAC4) has been used. Additionally, the global Land Cover Classification System (LCCS) dataset with a horizontal resolution of 300 meters has been utilized to investigate changes in land use. Moreover, the Modified Mann-Kendall test (MMK) has been employed to examine the trend of dust events, and Sen's Slope estimator test (SSE) has been used to assess the trend's slope.

Results and Discussion

The results indicate that the maximum dust optical depth (DOD) occurs in the spring and summer seasons due to decreased soil moisture, reduced river water levels, lack of vegetation cover, and the dry climate in the Mesopotamian regions, the deserts of Iraq and Syria, and southeastern and southwestern Iran. In general, DOD decreases with high latitude in the region; however, in northeastern Iran, due to the presence of the Kyzylkum and Karakum deserts, the Aral Karakum, and Garabogazköl, this index has shown a significant increase. The highest DOD is observed in July in the Mesopotamia region, where the climate average of this index reaches 0.75. The DOD value during the cold period of the year shows an increasing trend in most regions of West Asia, such that in December and January, significant parts of western Iran, central Iran, the south and southeast, and especially in the northeast of the country, the DOD value shows an increasing trend (0.06/decade), which is significant at the 0.05 level. The examination of land use changes has revealed that water bodies have undergone significant changes, including Parishan Lake in Iran, Hamun Lake and Hawizeh Marshes, and the water bodies of Aral Karakum and Garabogazköl in Turkmenistan. Consequently, the drying of rivers and wetlands has led to the emergence of new and active dust sources in this region. Additionally, the regions with dense vegetation cover have decreased from 7.6% to 3.7%, and pastures have decreased from 3.1% to 2.8%, while in contrast, the region of agricultural lands has increased from 16.1% to 16.25%.

Conclusions

The EAC4 dataset has shown high efficiency in examining the spatial distribution of dust, and its results can be used for dust studies. The examination of the DOD trend indicates a significant increasing trend at the 0.05 level in the active dust sources in Iraq (Mesopotamia region), desert regions of Saudi Arabia (Rub' al Khali, Ad-Dahna, Al Nufud deserts), Pakistan (Thar Desert), and Turkmenistan (Kyzylkum, Karakum deserts, the dried bed of Aral Karakum, and Garabogazköl). Notable portions of the land cover in southeastern Iraq and the west and southwest of Iran have been converted to barren lands from 2000 to 2020, and consequently, these regions have experienced the highest amount of dust events. Additionally, the examination of land use has shown that the extent of agricultural lands has increased, while the range of pastures, vegetation covers, and water bodies has decreased. Eroded soils, dried riverbeds, and barren lands have more dust emissions.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

بررسی پراکنش فضایی و روند ذرات گردوغبار در غرب آسیا و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی

شلیبر کاتورانی^۱ | محمود احمدی^۲ | عباسعلی داداشی رودباری^۳۱. دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: sh.katorani99@gmail.com۲. نویسنده مسئول، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: Ma_ahmadi@sbu.ac.ir۳. گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: dadashiabbasali@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف این مطالعه بررسی تغییرات گردوغبار در منطقه غرب آسیا و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی است. برای این منظور از داده‌های ماهانه عمق نوری ذرات گردوخاک (DOD) مجموعه داده باز تحلیل EAC4 با تفکیک افقی ۰/۷۵ درجه قوسی و کاربری اراضی سامانه طبقه‌بندی پوشش زمین (LCCS) استفاده شد. نتایج نشان داد بیشینه DOD در فصول بهار و تابستان به دلیل کاهش رطوبت خاک، کاهش آب رودها، کمبود پوشش گیاهی و اقلیم خشک در مناطق بین‌النهرین، بیابان‌های عراق سوریه، جنوب شرقی و جنوب غربی ایران است. بطور کلی DOD از جنوب به شمال در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد اما در شمال شرقی ایران به دلیل وجود بیابان قزل قوم، قره قوم، بستر خشکیده آرال قوم و قره بغاز این شاخص افزایش قابل توجهی را نشان داده است. بررسی روند DOD نشان می‌دهد که این متغیر در بیشتر ماه‌های سال دارای روند افزایشی است. بیشینه روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ در ماه‌های دسامبر، ژانویه، مارس و نوامبر بخصوص در غرب، جنوب و شمال شرقی ایران دیده شد. بررسی تغییرات کاربری اراضی نشان داد که مساحت مناطقی با پوشش گیاهی متراکم از ۷/۶ درصد به ۷/۳ درصد و مراتع از ۳/۱ درصد به ۲/۸ درصد کاهش یافته و در مقابل مساحت زمین‌های زراعی از ۱۶/۱ درصد به ۱۶/۲۵ درصد افزایش داشته است که این مناطق بیشینه مقدار رخداده گردوغبار را تجربه کردند.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۱۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۱

تاریخ انتشار: آبان ۱۴۰۳

واژه‌های کلیدی:

روند گردوغبار،

عمق نوری گردوغبار،

طبقه‌بندی پوشش زمین،

مجموعه داده EAC4.

استناد: کاتورانی، شلیبر؛ احمدی، محمود و داداشی رودباری، عباسعلی (۱۴۰۳). بررسی پراکنش فضایی و روند ذرات گردوغبار در غرب آسیا و ارتباط آن با تغییرات کاربری

اراضی، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۵ (۸)، ۱۴۳۲-۱۴۱۵. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374563.669685>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2024.374563.669685>

مقدمه

رخداد گردوغبار به عنوان یکی از بحران‌های زیست‌محیطی به شمار می‌رود که حتی می‌تواند به عنوان یک شاخص بیابان‌زایی نیز مورد توجه قرار گیرد (xu, 2006). پدیده گردوغبار، خاک فرسایش یافته توسط باد به سه شکل، غلتیدن، جهش و تعلیق است (Wang et al, 2015). لذا آنچه به عنوان رخداد گردوغبار شناخته می‌شود ناشی از جابجای ذرات خاک با قطر کمتر از ۰/۱ میلی‌متر به شکل معلق می‌باشد که تحت تأثیر تندی باد با طی مسافت‌های طولانی در منطقه‌ای وسیع نهشت می‌کند (Azizi et al, 2012). رخداد گردوغبار خسارات بی‌شمار و جبران‌ناپذیری را در ابعاد مختلف زیست‌محیطی وارد می‌کند که از آن جمله می‌توان به تأثیر بر محصولات کشاورزی (Taheri et al, 2020)، حمل و نقل (Al-Shidi et al 2022)، بارش (Li et al, 2016)، بهداشت و سلامت (Goudie & Middleton, 2006; Fan et al, 2020) و بیابان‌انرژی اشاره کرد.

مناطق خشک و اراضی با خاک خشک و کشت نشده و مناطق بیابانی منابع اصلی رخداد گردوغبار هستند (Prospero et al., 2002; Wang et al., 2016; Lyu et al., 2017; Gherboudj et al., 2017). همچنین تغییر اقلیم و خشکسالی‌های متوالی و فعالیت‌های غیراصولی و برداشت بی‌رویه و کنترل نشده انسان از طبیعت، احتمال رخداد گردوغبار را افزایش می‌دهد (Arami et al, 2018; Kermani et al, 2016). در دهه‌های اخیر رخداد گردوغبار در ایران روند افزایشی معنی‌داری داشته است (Dadashi-Roudbari & Ahmadi, 2021). بالاترین سهم گردوغبار ترابرد شده به ایران با منشأ فرامرزی است که از عمده‌ترین دلایل آن می‌توان به نقش کشورهای همسایه در راهبردهای ضعیف تثبیت شن‌های روان و تخریب پوشش‌های گیاهی و تغییر کاربری اراضی اشاره کرد (Ghatresamani, 2018). استفاده بی‌رویه انسان از طبیعت مشکلات عدیده‌ای را برای بشریت طی سال‌های اخیر ایجاد کرده است. برآوردهای جهانی نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم منجر به افزایش ۴۰ درصدی گردوغبارهای بیابانی شده است (Mahowald et al., 2010; Ginoux et al., 2012; Ramaswamy et al., 2018). فعالیت‌های بی‌رویه انسانی که از مدیریت ضعیف استفاده از زمین ناشی می‌شود، باعث تخریب پوشش گیاهی و خشک شدن رودخانه‌ها و تغییر ویژگی‌های سطح زمین شده است و منابع جدید فعال و مهمی از گردوغبار را ایجاد کرده است (Goudie, 2018; Gill, 1996; Kandakji et al., 2021). همچنین تکنیک‌های غلط کشاورزی سنتی و زراعت دیم و خشکسالی‌های شدید و طولانی مدت، منجر به قرار گرفتن خاک سست در معرض باد می‌شود و به انتشار گردوغبار از این مناطق کمک می‌کند (Field et al., 2010; Lee and Gill, 2015). این شرایط باعث می‌شود که هر ساله حدود ۲۰۰۰ تن گردوغبار وارد جو شود (Shao et al., 2011). اگر چه گردوغبار پدیده اقلیمی رایج در مناطق خشک و نیمه‌خشک است اما شواهد نشان می‌دهد که این رخداد در تمامی مناطق اقلیمی اتفاق می‌افتد (Fallah Zazuli et al., 2014) به طوری که به یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی در سال‌های اخیر در منطقه خاورمیانه و به‌ویژه ایران تبدیل شده است (Jafari et al., 2021).

انسان همواره نقشی محوری را در رخداد گردوغبار، شدت و حتی مهار آن داشته است. بر این اساس نقش انسان می‌تواند در رخداد گردوغبار دو جنبه متفاوت مثبت یا منفی داشته باشد. از آنجایی که انسان در وضع بوجود آمده از رخداد گردوغبار نقش محوری دارد بر همین اساس نیز تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است تا جایی که بررسی تغییرات کاربری اراضی و پیامدهای آن بر رخداد گردوغبار به یک موضوع تحقیقی ویژه تبدیل شده است که می‌توان به پژوهش‌های انجام شده توسط (Ginoux et al 2012; Xu, 2006; Xi and Sokolik, 2016; Pi et al., 2017; Chen et al., 2018, Chen et al., 2019; Amini, 2020) اشاره کرد. بیشتر این مطالعات نقش کاربری اراضی و عوامل انسانی را در افزایش رخداد گردوغبار در سطح جهان تأیید نموده‌اند و تأکید دارند که سهم قابل توجهی از انتشار، ترابرد و نهشت گردوغبار جهانی از تغییرات کاربری اراضی و تغییرات انسان‌ساخت متأثر می‌شود، به طوری که در مطالعات چن و همکاران (۲۰۱۸) مشخص شد که عوامل طبیعی انتشار گردوغبار ۸۱ درصد از انتشار گردوغبار جهانی و عوامل انسان‌ساخت ۱۹ درصد باقیمانده را تشکیل می‌دهند همچنین مشخص شد انتشار گردوغبار طبیعی عمدتاً در مناطق بسیار خشک و خشک مانند صحرای صحرا، عربستان و صحرای تکلیماکان واقع شده است در حالی که انتشار گردوغبار انسانی در مناطق نیمه‌خشک، نیمه مرطوب و مرطوب متمرکز است و ۷۵٫۹ درصد از انتشار گردوغبار ناشی از عوامل انسان‌ساخت در مناطق در حال توسعه بخصوص در مراتع منتشر می‌شود.

در تحقیقات ژینوکس و همکاران (۲۰۱۲) مشخص شد که منابع گردوغبار منشاء طبیعی و انسانی (عمدتاً کشاورزی) نیز دارد در واقع منابع طبیعی گردوغبار در سطح جهان ۷۵ درصد از انتشار را تشکیل می‌دهند و منابع انسانی ۲۵ درصد را به خود اختصاص می‌دهد شمال آفریقا ۵۵ درصد از انتشار گردوغبار جهانی را به خود اختصاص می‌دهد که تنها ۸ درصد آن انسان‌زا است. در جاهای دیگر، انتشار گردوغبار انسانی می‌تواند بسیار بیشتر باشد و گاهی در استرالیا به ۷۵ درصد می‌رسد. امینی (۲۰۲۰) در پژوهش خود عوامل طبیعی مانند خشکسالی



و فعالیت‌های انسانی را در تشدید پدیده گردوغبار مؤثر دانسته و بیان می‌کند طوفان‌های دهه اخیر در اکثر نقاط ایران از نظر شدت، گستردگی و فراوانی پدیده‌های نوپایی هستند. همچنین افشاری و والی (۲۰۲۴) با بررسی متغیرهای دما، بارش، سپیدایی، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، شاخص پوشش گیاهی EVI، شاخص رطوبت نرمال شده (NDMI)، شاخص تفاوت نرمال شده شوری (NDSI)، عوامل پیش‌بینی کننده و در نهایت، مدل MaxEnt را برای مدل‌سازی حساسیت به گردوغبار استفاده کردند و عملکرد مدل را با استفاده از مقدار AUC مشخص کردند. یافته‌ها حاکی از آن بود که مناطق مستعد گردوغبار عمدتاً اراضی بایر، شورزار و مرتع فقیر می‌باشد که بیشتر در شمال، شمال شرق تا بخش‌هایی از شرق و جنوب شرق استان اصفهان و همچنین بخش‌های مرکزی به سمت جنوب غربی استان قرار دارند.

گروه دوم از تحقیقات انجام شده با استفاده از داده‌ها و محصولات مختلف سنجش‌ازدور اعم از Himawari-8 AHI و CALIPSO و MODIS و VISI و FY-4A و AGRI به بررسی رخداد گردوغبار و ارتباط آن با کاربری اراضی، پوشش گیاهی و سایر مؤلفه‌های بیوفیزیکی سطح پرداختند (Boloorani et al 2023; Yang et al 2023; Lakshmi et al 2023; Chappell et al 2023; Li et al 2023). این مطالعات بکارگیری محصولات سنجش از دور را یکی از موثرترین روش‌های مطالعه انتشار گردوغبار دانسته‌اند، آن‌ها نشان دادند که افزایش زمین‌های کشاورزی به همراه کاهش و تغییر در پوشش گیاهی و پهنه‌ای آبی نقش مهمی را در افزایش رخداد گردوغبار داشته است. گروه سوم از مطالعات انجام شده شامل آن دسته از تحقیقاتی می‌شود که به مدل‌سازی و بررسی ارتباط پوشش گیاهی با طوفان‌های گردوغبار پرداخته‌اند (Khair et al 2024; Mohammadi et al 2024; haddad et al 2024). این تحقیقات نشان می‌دهند ارتباط معنی‌داری بین پوشش گیاهی و رخداد گردوغبار وجود دارد به طوری که پوشش گیاهی با تراکم کم می‌تواند فرسایش را تا حدود ۴۰ درصد کاهش دهد و ترکیب درختچه‌ها و علف‌های بالقوه نوظهور می‌تواند فرسایش بادی را تا ۷۰ درصد کاهش دهد در واقع کاشت و افزایش پوشش گیاهی می‌تواند به طور قابل توجهی از رخداد گردوغبار پیشگیری کند.

بسیاری از تحقیقات نیز تأثیر خشکسالی‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی و کشاورزی را در افزایش رخداد گردوغبار بررسی کرده‌اند. بلورانی و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که در دهه‌های اخیر، بخش بزرگی از حوضه دجله و فرات دو دوره خشکسالی برجسته را در سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۸ و ۲۰۲۲-۲۰۲۱ تجربه کرده است که منجر به افزایش ۲۱۴٪ و ۲۰۰٪ در رویدادهای گردوغبار، در مقایسه با میانگین ۲۳ ساله (۲۰۲۲-۲۰۰۰) شده است. به طور کلی، ۸۴ درصد، ۱۰ درصد و ۶ درصد از رویدادهای گردوغبار حوضه دجله و فرات را می‌توان به ترتیب به خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی نسبت داد (Boloorani et al 2024).

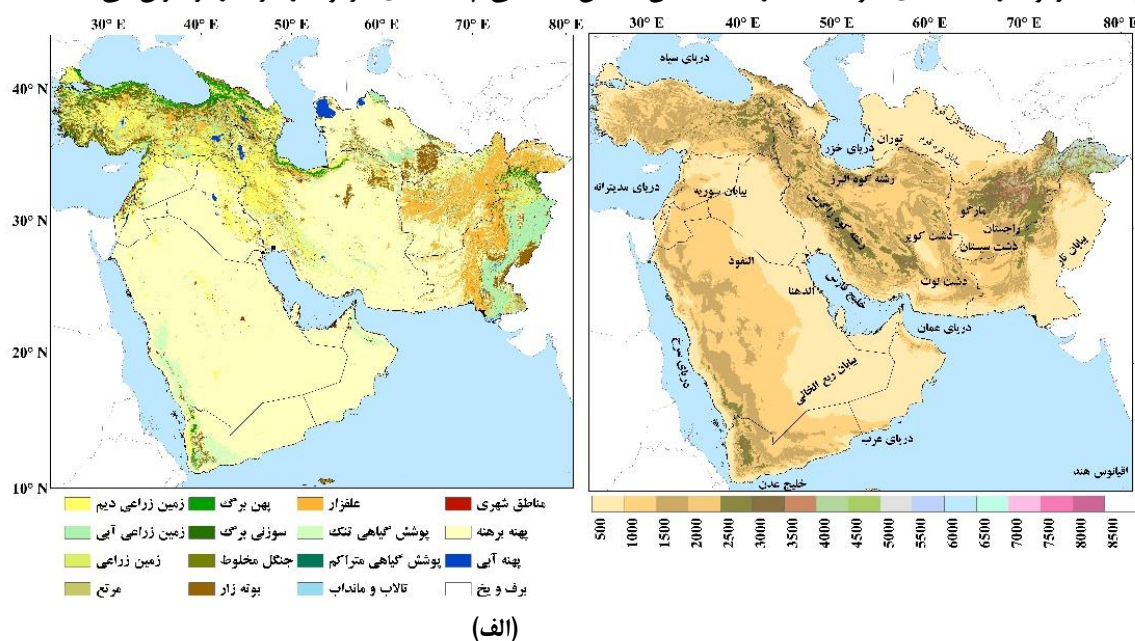
ناقی و همکاران (۲۰۲۴) در تحقیقی با مدل‌سازی مکانی و زمانی حساسیت منبع طوفان گردوغبار در حوضه رودخانه دجله-فرات، نشان دادند که در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۸، با تجربه یک خشکسالی گسترده در منطقه، منابع طوفان گردوغبار افزایش یافت. در تمامی دوره‌های این مطالعه و همچنین در مدل حساسیت بالایی نسبت به طوفان‌های گردوغبار در مناطقی که دریاچه‌ها و باتلاق‌ها به دلیل عوامل اقلیمی، مدیریت نامناسب آب خشک شده بودند شناسایی شد. استراتژی‌ها و سیاست‌های کاربری زمین نشان داد که ارتفاع، تندی باد، بارش، پوشش گیاهی، درجه شیب، فاصله از رودخانه‌ها و بافت خاک تأثیر زیادی بر حساسیت زمین به عنوان منبع طوفان گردوغبار دارند.

نتایج پژوهش یاراحمدی و خسروشاهی (۲۰۲۴) نشان داد دوره‌های طولانی خشکسالی، کاهش پوشش گیاهی و بزرگ شدن پلاهای نمکی دریاچه ارومیه منجر به تشکیل کانون‌های گردوغبار محلی در حاشیه دریاچه ارومیه در استان آذربایجان شرقی شده است. گردوغبار یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در غرب آسیا است که تأثیر قابل توجهی بر سلامت عمومی، کیفیت هوا و فعالیت‌های اقتصادی دارد. این منطقه به دلیل وجود بیابان‌های بزرگ، پس از آفریقا دومین منبع بزرگ گردوغبار در جهان است (Jin et al., 2021). در حالی که عوامل طبیعی در وقوع این توفان‌ها نقش دارند، تغییرات کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های انسانی به عنوان عامل مؤثری در افزایش گردوغبار شناخته می‌شود. با این وجود، درک جامع از توزیع مکانی و روند زمانی ذرات گردوغبار در غرب آسیا و ارتباط دقیق بین تغییرات کاربری اراضی و تولید گردوغبار همچنان مبهم است. این پژوهش با هدف پر کردن این شکاف، سه جنبه کلیدی توصیف توزیع مکانی ذرات گردوغبار، شناسایی روند ذرات گردوغبار و سنجش رابطه بین کاربری اراضی و گردوغبار را دنبال می‌کند. در سنجش رابطه بین کاربری اراضی و گردوغبار به تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به تغییرات کاربری اراضی در کنار داده‌های گردوغبار، به ارزیابی رابطه بین کاربری اراضی و الگوهای تولید گردوغبار پرداخته شد. با دستیابی به این اهداف، این تحقیق بینش ارزشمندی در مورد دینامیک فعالیت گردوغبار در غرب آسیا و ارتباط بالقوه آن با کاربری اراضی ارائه خواهد داد. این دانش در توسعه راهبردهایی برای کاهش تولید گردوغبار، بهبود کیفیت هوا و ترویج شیوه‌های مدیریت پایدار اراضی در منطقه نقش اساسی خواهد داشت.

روش‌شناسی پژوهش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش کشورهای واقع در غرب آسیا شامل ایران، عراق، عربستان، ترکیه، سوریه، اردن، بحرین، آذربایجان، قطر، لبنان، فلسطین، عمان، یمن، امارات و همچنین پاکستان و افغانستان از آسیای جنوبی و ترکمنستان از آسیای مرکزی است. این منطقه دارای بیابان‌های وسیعی مانند بیابان تار، دشت مارگو، بیابان قره قوم، بیابان قزل قوم، ربع الخالی، بیابان سوریه، النفوذ، دشت سیستان، دشت لوت و دشت کویر در ایران می‌باشد و توپوگرافی بسیار پیچیده و تنوع اقلیمی بالایی دارد. بررسی نقشه کاربری اراضی (شکل ۱-ب) نشان می‌دهد که گستره زیادی از منطقه مورد مطالعه را زمین‌های بایر تشکیل داده است. همچنین زمین‌های زراعی دیم نیز در بخشی غربی منطقه بخش قابل توجهی از کل پهنه‌های سرزمینی را به خود اختصاص داده‌اند که این پهنه‌ها در فصل غیر برداشت می‌توانند به عنوان چشمه گردوغبار طبقه‌بندی شود. هدف از انتخاب این مناطق شناسایی چشمه‌های گردوغبار اثرگذار بر ایران می‌باشد.



(ب)

شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه؛ (الف) مدل رقومی ارتفاعی (DEM) (واحد: متر)؛ (ب) سامانه طبقه‌بندی پوشش زمین (LCCS) با تفکیک افقی ۳۰۰ متر

داده‌های مورد استفاده

عمق نوری ذرات گردوغبار (DOD) از مجموعه داده باز تحلیل ترکیبات جوی (EAC4)

در این پژوهش برای بررسی روند تغییرات ماهانه گردوغبار از داده‌های مجموعه داده باز تحلیل ترکیبات جوی (EAC4) استفاده شده است، این مجموعه داده زیرگروه سرویس نظارت بر جو کوپرنیک (CAMS) طبقه‌بندی می‌شود. این مجموعه داده باز تحلیل ترکیبات جوی نسخه چهارم ECMWF از ترکیبات جوی است. باز تحلیل EAC4 همانند بسیاری از باز تحلیل‌ها، داده‌های یک مدل عددی پیش‌بینی جوی (NWP) را با مشاهدات زمینی، جو، بالا و ماهواره‌ها از سراسر جهان بر اساس قوانین فیزیک و شیمی ترکیب می‌کند. این اصل که داده‌گذاری (DA) نامیده می‌شود، مبتنی بر روشی است که توسط مراکز عددی پیش‌بینی اقلیم یا هوا و مراکز پیش‌بینی کیفیت هوا استفاده می‌شود (Jin et al., 2022). سامانه داده‌گذاری EAC4 قادر به برآورد اربیبی بین مشاهدات و غربال کردن داده‌های باکیفیت بالا از داده‌هایی باکیفیت پایین است. مدل جوی موجود در EAC4 برآوردهایی را در مکان‌هایی که پوشش داده‌ها کم است یا برای آلاینده‌های جوی که هیچ مشاهدات مستقیمی برای آن‌ها وجود ندارد، امکان‌پذیر می‌کند. داده‌های EAC4 برآوردهایی را هر ۳ ساعت در سراسر جهان با تفکیک افقی ۰/۷۵ درجه قوسی از سال ۲۰۰۳ تا امروز ارائه می‌کند. این امر با روش داده‌گذاری 4D-Var ارائه می‌شود. در این پژوهش از متغیر عمق نوری ذرات گردوغبار (DOD) برای دوره آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۳ با تفکیک افقی ۰/۷۵ درجه قوسی در مقیاس ماهانه استفاده شده است.



داده‌های کاربری اراضی و تغییرات آن مبتنی بر برون‌داد سامانه طبقه‌بندی پوشش زمین (LCCS)

برای بررسی تغییرات کاربری اراضی از مجموعه داده جهانی سامانه طبقه‌بندی پوشش زمین (LCCS) مورد تأیید سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) استفاده شد. برای تولید این مجموعه داده از داده‌های سنجنده‌ها و ماهواره‌های MERIS طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲، AVHRR از ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۹، سری زمانی SPOT-Vegetation (SPOT-VGT) از ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ و سری زمانی PROBA-Vegetation (PROBA-V) و Sentinel-3 OLCI (S3 OLCI) از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ استفاده شده است. تفکیک افقی این داده‌ها ۳۰۰ متر است که در این تحقیق برای نمایش بهتر تغییرات کاربری اراضی دوره‌های ۵ ساله آن برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ انتخاب شده است.

بررسی روند رخداد گردوغبار با استفاده از روش من کندال تصحیح شده

برای بررسی روند رخداد گردوغبار در این پژوهش از روش من کندال تصحیح شده (MMK) و همچنین جهت بررسی شیب روند از آزمون سنس (SSE) استفاده شده است. آزمون من کندال (MK) یک آزمون ناپارامتریک جهت بررسی روند است در آزمون من-کندال تصحیح شده برای جلوگیری از تأثیر خودهمبستگی سری زمانی داده‌ها یک ضریب تصحیح بر اساس اندازه نمونه مؤثر (ESS) به محاسبات واریانس اضافه می‌شود (Hamed et al., 1998). آزمون من کندال تصحیح شده برای محاسبه روند داده‌های اقلیمی نسبت به آزمون من کندال کلاسیک قابل اعتمادتر است (Daufresne et al., 2009). روش ناپارامتریک سنس نیز جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی است که بزرگی روند را نشان می‌دهد.

آزمون من کندال تصحیح شده طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases}$$

آماره s در فرمول من کندال تصحیح شده به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

در این رابطه، n تعداد داده‌ها، x_j و x_i مقادیر سری زمانی به ترتیب نشان‌دهنده j و i هستند و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت است که

به صورت زیر محاسبه می‌شود.

در رابطه فوق فرض می‌شود که آماره S به طور متناوب نرمال است و مقدار مورد انتظار $E(S) = 0$ برای اندازه نمونه $n \geq 8$ باشد که

واریانس مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$V(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)]$$

در این رابطه q نشان‌دهنده تعداد گروه‌ها و t_p تعداد مقادیر داده را در گروه p نشان می‌دهد در نهایت، آماره آزمون استاندارد شده Z به

صورت زیر محاسبه می‌شود (Hamed et al., 1998).

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{v(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{v(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

و برای محاسبه شیب روند داده‌ها (آزمون ناپارامتریک سنس SSE) از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$(t) = Qt + B$$

که Q در رابطه فوق، شیب خط روند و B، مقدار ثابت است. جهت محاسبه شیب خط روند یعنی Q، ابتدا بایستی شیب بین هر

جفت داده مشاهداتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردد:

$$Q_i = \frac{x_i - x_j}{j - k}$$

در معادله فوق $i = 1, 2, 3, \dots, N$ است؛ زمان با j و k ($j > k$)، x_j ، x_i مقادیر داده هستند.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات ماهانه عمق نوری گردوغبار (DOD) طی دوره ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ بر اساس برون‌داد مجموعه داده بازتحلیل EAC4 نشان

می‌دهد در بخش‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه و در فصول گرم سال به دلیل وجود مناطق وسیع بیابانی شامل بیابان ربع‌الخالی، النفود و الدهنا در عربستان و بین‌النهرین و مناطق بیابانی عراق و سوریه مقادیر قابل توجهی از گردوغبار را شاهد هستیم که هسته‌های بیشینه آن در ماه‌های فصل بهار با مقدار بیشینه ۰/۵۷ دیده می‌شود (شکل ۲). افزایش دما در فصول گرم سال، اقلیم بیابانی خشک و نیمه‌خشک در عراق و عربستان و بخش‌هایی از سوریه و اردن، گرادیان فشار بین مناطق با دمای کمتر و مناطقی با دمای بیشتر، شرایط را برای صعود هوا در سطح زمین فراهم می‌کند و رخداد گردوغبار را در این مناطق افزایش داده است همچنین مقدار بالای شاخص DOD در منطقه بین‌النهرین واقع در کشور عراق در نتیجه سیاست‌های گسترده سدسازی کشور ترکیه در بالادست است که آورد دجله و فرات را به شکل قابل توجهی بخصوص در دوره گرم سال کاهش می‌دهد که در نتیجه به دلیل بافت نرم خاک در بستر خشکیده رودخانه باعث شکل‌گیری هسته‌های قابل توجه گردوغبار شده است.

هسته‌های بیشینه گردوغبار در ماه‌های مارس تا آگوست (فصول بهار و تابستان) با میانگین بلند مدت ۰/۴ و ۰/۵۷ رخ داده است. بیشینه مقادیر DOD در دوره گرم سال بخصوص در بین‌النهرین که به کل یک کانون قابل توجه در شکل (۲) نشان داده شده است. مقدار DOD در بخش‌های شمالی منطقه به شدت کاهش می‌یابد. به طوری که ترکیه و کشورهای واقع در قفقاز جنوبی کمینه شاخص را در طول سال دارند و مقدار شاخص DOD در این مناطق حتی به ۰/۰۵ هم نمی‌رسد. این مناطق طبیعتاً چون از بیابان‌های خشک جنب حاره فاصله زیادی دارند نباید مقدار DOD بالایی داشته باشند که این قاعده کلی را می‌توان در ترکیه و کشورهای واقع در قفقاز جنوبی مشاهده کرد. اما کشور ترکمنستان واقع در شمال شرق منطقه مورد مطالعه به عنوان یکی از کشورهای آسیای مرکزی در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات گسترده در کاربری اراضی، تغییر مسیر رودها و عوامل بسیار دیگر باعث شده است تا در مدار ۴۰ درجه شمالی شاهد مقدار بالای شاخص DOD حدود ۰/۳ تا ۰/۳۵ در دوره گرم سال باشیم (شکل ۲). در این منطقه به دلیل وجود بیابان‌های بزرگی همانند بیابان قزل قوم و قره قوم از یکسو و خشک شدن آرال و قره‌بغاز در شرق دریای خزر از سوی دیگر باعث شده است تا مقدار DOD به شکل قابل توجهی افزایش یابد.

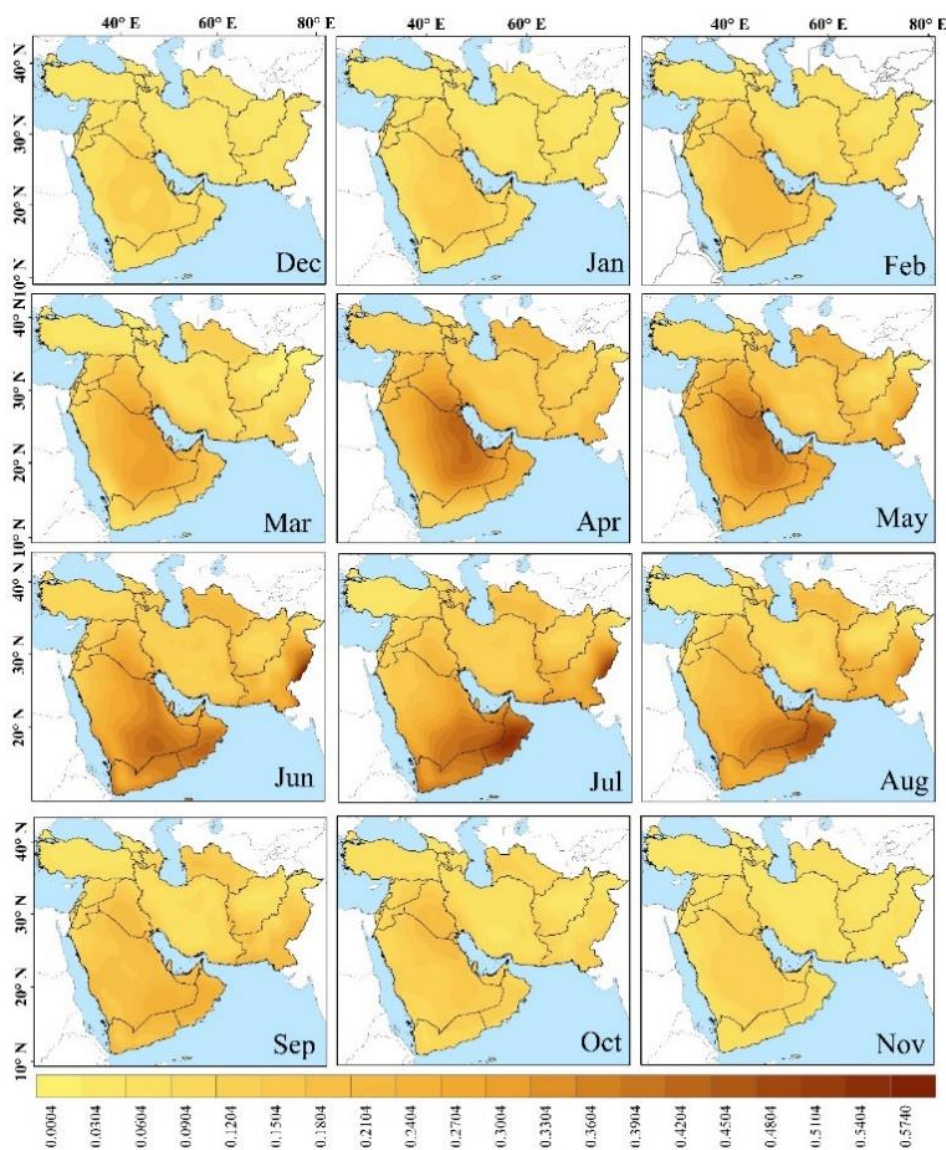
غلظت گردوغبار در راستای از غرب به شرق منطقه مورد مطالعه نیز تغییرات زیادی را نشان می‌دهد. به طوری که شاخص DOD از غرب به شرق در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. اما به دلیل وجود بیابان تار در پاکستان و دشت مارگو در افغانستان و دشت سیستان در ایران باعث شده است تا ماه‌های فصل تابستان از ژوئن تا آگوست مقدار شاخص DOD در این منطقه افزایش یابد. دشت سیستان ایران نیز در نتیجه تغییرات کاربری و پوشش زمین به دلیل سیاست‌های سدسازی افغانستان و همچنین تغییر مسیر آب در مرز با ایران (همانند آنچه که برای گودزره شاهد آن هستیم) باعث شده است تا این منطقه مقدار زیادی از شاخص DOD را داشته باشد به طوری که مقدار شاخص در ماه‌های می تا ژوئن در این منطقه افزایش می‌یابد. مقدار بیشینه DOD در پاکستان و بخش‌هایی از کشور افغانستان در مرز پاکستان که در ماه‌های می تا ژوئن بیشینه را نشان می‌دهد اما در ماه‌های آگوست تا سپتامبر تقریباً از بین می‌رود و شاخص به کمتر از مقدار ۰/۱ می‌رسد (شکل ۲). این تغییرپذیری سریع از شاخص در نتیجه فعالیت موسمی تابستانه آسیایی است که باعث کاهش مقدار گردوغبار می‌شود.

کمینه شاخص DOD در ماه‌های فصل زمستان و پاییز در سراسر منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. فعالیت سامانه‌های مؤثر در رخداد گردوغبار همان‌طور که در شکل (۲) نیز دیده می‌شود در فصل پاییز در ماه‌های سپتامبر و اکتبر در منطقه بین‌النهرین و بخش‌های کوچکی از ایران نیز دیده می‌شود و مقدار شاخص در این ماه‌ها به ۰/۲ می‌رسد.

ماه‌های آوریل تا ژانویه مقادیر بالای گردوغبار را در منطقه مورد مطالعه دارند و بیشینه گردوغبار از نظر زمانی از ماه مارس در منطقه غرب آسیا دیده می‌شود از نظر جغرافیایی نیز هسته‌های بیشینه DOD در مناطق بین‌النهرین، بیابان‌های الدهنا و النفود در عربستان دیده می‌شود.

بررسی تغییرات ماهانه عمق نوری گردوغبار (DOD) نشان می‌دهد که تغییرات DOD در غرب آسیا فصلی است. ارزیابی پراکنش فضایی DOD نشان می‌دهد که از ماه‌های میانی فصل بهار و ماه‌های فصل تابستان این شاخص به بیشینه مقدار خود با ۰/۵۷ می‌رسد. ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه را می‌توان ماه‌هایی با کمینه رخداد فعالیت گردوغبار در منطقه غرب آسیا عنوان کرد که مقدار شاخص حتی در چشمه‌های گردوغبار به ۰/۱ می‌رسد، چرا که عمده بارش‌های این منطقه در دوره سرد سال و فصل زمستان است. در فصل زمستان به دلیل فعالیت گسترده کم‌فشارهای مدیترانه‌ای بارش در سراسر منطقه وجود دارد و باعث افزایش رطوبت خاک می‌شود که در چنین شرایطی به دلیل انسجام در بافت خاک از رخداد گردوغبار جلوگیری می‌شود. اما در فصل بهار به دلیل افزایش دما و تبخیر از سطح خاک،

رطوبت خاک به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد و این روند کاهشی در رطوبت خاک باعث افزایش فعالیت رخدادهای گردو خاک بخصوص در منطقه بین‌النهرین می‌شود.



شکل ۲. تغییرات ماهانه عمق نوری گردو غبار (DOD) طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ بر اساس برونداد مجموعه داده باز تحلیل EAC4 (واحد: بی‌مقیاس، بین صفر و یک)

بررسی روند تغییرات مقدار گردو غبار (DOD) در منطقه مورد مطالعه به شکل ماهانه مورد آزمون قرار گرفت. از آنجایی که داده‌های بازتحلیل دارای عدم قطعیت هستند لذا روند این داده‌ها می‌تواند در دوره‌های آماری مختلف و بسته به نوع داده‌گذاری و داده‌های مشاهداتی مورد استفاده در این مجموعه داده‌ها نتایج را تا حدی تحت تأثیر قرار دهد. با این حال، بررسی نتایج آزمون روند نشان می‌دهد که مقدار DOD در دوره سرد سال در بیشتر مناطق غرب آسیا دارای روند افزایشی است. بطوریکه در ماه‌های دسامبر و ژانویه در بخش‌های قابل توجهی از غرب ایران، ایران مرکزی، جنوب و جنوب شرقی و بخصوص در شمال شرقی کشور مقدار DOD روند افزایشی (مقدار ۰/۰۶ به ازای هر دهه) را نشان داده است که این روند در سطح ۰/۰۵ نیز معنی‌دار است.

بررسی روند گردو غبار در مناطق ایران با مشاهدات میدانی موجود در سطح کشور همخوانی دارد بطوریکه در سال‌های اخیر رخداد گردو غبار در کلان‌شهری همچون مشهد باعث تعطیلی مدارس و مراکز آموزشی در این شهر واقع در شمال شرقی ایران شده است (شکل ۳).

بررسی آزمون روند نتیجه جالبی را برای DOD نشان داده است. بطوریکه این شاخص در ماه‌های انتقالی از دوره سرد به گرم سال

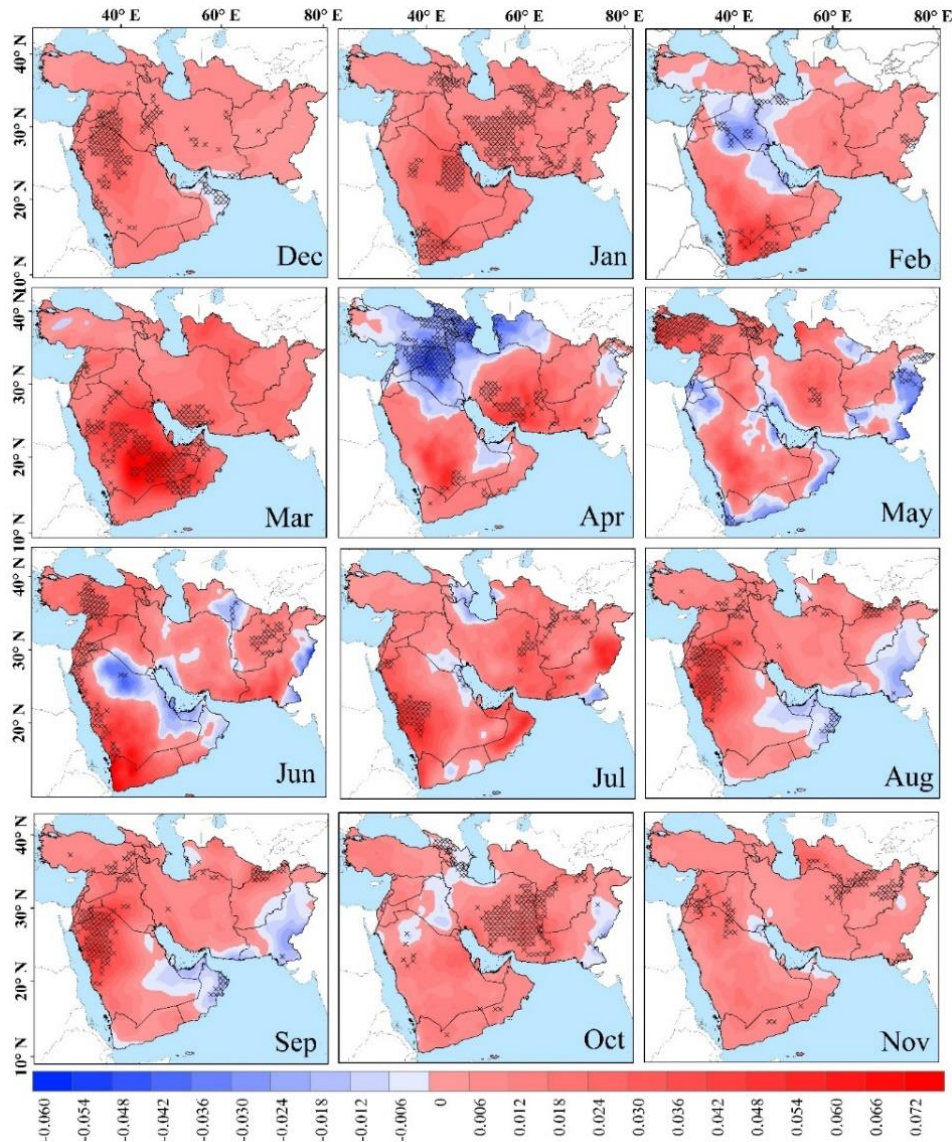
همانند ماه‌های مارس و نوامبر روند سراسر افزایشی را دارد. مقدار روند برای شاخص در این دو ماه تا $0.7/0$ به ازای هر دهه نیز می‌رسد. روند افزایشی DOD در ماه مارس در بخش‌های بزرگی از شبه‌جزیره عربستان و جنوب ایران دارای روند افزایشی معنی‌دار در سطح $0.5/0$ است (شکل ۳)، به همین ترتیب روند افزایشی گردوغبار در ماه نوامبر در منطقه شمال شرقی ایران نیز دارای روند افزایشی است که این روند یک تهدید جدی برای منطقه شمال شرق کشور خواهد بود.

بیشینه روند کاهشی DOD را در ماه آوریل می‌توان دید. در این ماه از سال شاخص در بخش‌های بزرگی از گرجستان، آذربایجان، ارمنستان، شرق ترکیه، شمال و شمال غرب ایران و عراق روند کاهشی را نشان می‌دهد که این روند در سطح $0.5/0$ معنی‌دار است. روند کاهشی معنی‌دار را می‌توان در ماه فوریه در بخش‌هایی از کشور عراق، در ماه‌های آگوست و سپتامبر در کشور عمان و همچنین در ماه می در شرق پاکستان مشاهده کرد. روند کاهشی DOD نتیجه اقلیمی جالبی را نشان می‌دهد با توجه به شکل (۳) در ماه‌های آگوست تا سپتامبر DOD در بخش‌های بزرگی از پاکستان، جنوب شرقی ایران و بخصوص در سواحل مکران، کشورهای امارات متحده عربی و عمان و حتی بخش‌های از کشور عربستان دارای روند کاهشی است که همان‌طور که گفته شد این روند در کشور عمان دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح $0.5/0$ است. بررسی اولیه این نتایج و دوره مورد بررسی نقش احتمالی موسمی تابستانه آسیایی را نشان می‌دهد. بررسی یافته‌های تحقیقات پیشین نشان داده است که موسمی تابستانه آسیایی در پاکستان و جنوب شرق ایران افزایش یافته است همچنین تغییرپذیری بارش‌های مرتبط با موسمی تابستانی جنوب آسیا در دهه‌های اخیر، به‌ویژه بر روی پاکستان و عمان افزایش یافته است (Adnan et al. 2021)، لذا این روند افزایشی در بارش‌های دوره گرم سال باعث روند کاهشی معنی‌دار قابل توجه DOD در مناطق تحت تأثیر این سامانه شده است (شکل ۳).

در دوره گرم سال شاخص DOD از یک سو روند افزایشی با سطح معنی‌داری $0.5/0$ را در مناطق بین‌النهرین، بیابان‌های عراق، سوریه و بیابان ربع الخالی در عربستان و غرب و جنوب غرب ایران و همچنین دشت مارگو در افغانستان و بیابان تار در پاکستان نشان می‌دهد همچنین در بیابان‌های قره قوم و قزل قوم و بسترهای خشکیده آرال قوم و قره بغاز در ترکمنستان در دوره گرم سال (فصول بهار و تابستان) مقدار شاخص DOD افزایش معنی‌داری را نشان می‌دهد و شمال شرق ایران را تحت تأثیر قرار می‌دهند و از سوی دیگر روند کاهشی معنی‌دار را در سطح $0.5/0$ در مناطق شمال و شمال غرب ایران، ترکیه و آذربایجان برای این شاخص مشاهده می‌شود.

در دوره سرد سال با افزایش بارش‌ها و افزایش رطوبت خاک کانون‌های فعال گردوغبار ضعیف شده و شاخص DOD روند کاهشی با سطح معنی‌داری $0.5/0$ را در مناطق بین‌النهرین و عراق و سوریه و غرب و جنوب غرب ایران نشان می‌دهد همچنین افزایش ناچیز شاخص DOD در این دوره در مناطق مرکزی، شرقی و جنوب شرقی ایران منشأ محلی دارد و بیشتر به دلیل افزایش تندی باد در ماه‌های اکتبر به چشم می‌خورد از منظر اقلیمی می‌توان ادعان داشت که تمامی کانون‌های فعال گردوغبار در منطقه غرب آسیا و حتی آسیای جنوبی در پهنه بیابانی خشک و بسیار گرم (BWh) قرار گرفته‌اند.

به طور کلی بررسی روند عمق نوری گردوغبار نشان می‌دهد روند افزایشی معنی‌دار در سطح $0.5/0$ در چشمه‌های فعال گردوغبار در عراق (منطقه میانرود یا بین‌النهرین)، مناطق بیابانی کشور عربستان (بیابان ربع الخالی، الدهنا، النفود)، پاکستان (بیابان تار)، ترکمنستان (بیابان قزل قوم، قره قوم، بستر خشکیده آرال قوم و قره بغاز) دیده می‌شود. از نظر زمانی نیز ماه‌های سرد سال بیشینه روند افزایشی را برای DOD نشان داده‌اند که ماه‌های دسامبر، ژانویه، مارس و نوامبر بالاترین روند افزایشی معنی‌دار در سطح $0.5/0$ را برای DOD بخصوص در غرب، جنوب و شمال شرق ایران نشان داده‌اند.



شکل ۳. روند ماهانه عمق نوری گردوغبار (DOD) طی دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۰ بر اساس برون‌داد مجموعه داده باز تحلیل EAC4 مناطق همراه با هاشور در نقشه معنی‌داری روند را در سطح 0.05 بر اساس روش من-کندال تصحیح‌شده نشان می‌دهند (واحد بی‌مقیاس، مقدار شاخص/دهه).

برای بررسی نقش پوشش زمین و بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در رخداد گردوغبار در منطقه جنوب غرب آسیا نقشه‌های پوشش زمین از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴). بر اساس نقشه سیستم طبقه‌بندی پوشش زمین (LCCS) چند ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه از لحاظ نوع پوشش زمین و کاربری اراضی به ۱۶ طبقه تقسیم می‌شود. طبق این تقسیم‌بندی ۵۹ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه را زمین‌های برهنه یا بایر تشکیل می‌دهند که بیشترین گستره را به خود اختصاص داده است و طبقات پوشش درختی مخلوط و پوشش درختی متراکم به ترتیب با 0.07 و 0.08 درصد کمترین مساحت را در منطقه مورد مطالعه دارند. با توجه به درصد بالای زمین‌های بایر در مناطق بین‌النهرین، بیابان‌های عربستان، فلات مرکزی ایران و بیابان‌های عراق و سوریه، فعالیت چشمه‌های گردوغبار در این مناطق دور از انتظار نخواهد بود و وجود بیابان‌ها وسیع با خاک‌های سست و در مواجهه با فرسایش بادی برای رخداد گردوغبار در نیمه گرم سال فراهم می‌نماید.

بررسی تغییرات کاربری اراضی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد پهنه‌های آبی در گذر زمان دچار تغییرات محسوسی شده است از جمله دریاچه‌های بخت یا پریشان در ایران، دریاچه و تالاب‌های هامون و هورالعظیم، پهنه‌های آبی آرال قوم و قره بغاز در ترکمنستان در گذر زمان دستخوش تغییرات قابل توجهی شده‌اند. بنابراین بستر خشکیده رودها و تالاب‌ها و مانداب‌ها خود منجر به ظهور چشمه‌های جدید و فعال گردوغبار در این مناطق شده است که در سال‌های اخیر از عوامل تجدید رخداد گردوغبار در جنوب غرب آسیا به شمار می‌روند. مناطقی که دارای تغییر در کاربری اراضی هستند در شکل (۴) با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. مقایسه این مناطق با فعالیت DOD به روشنی

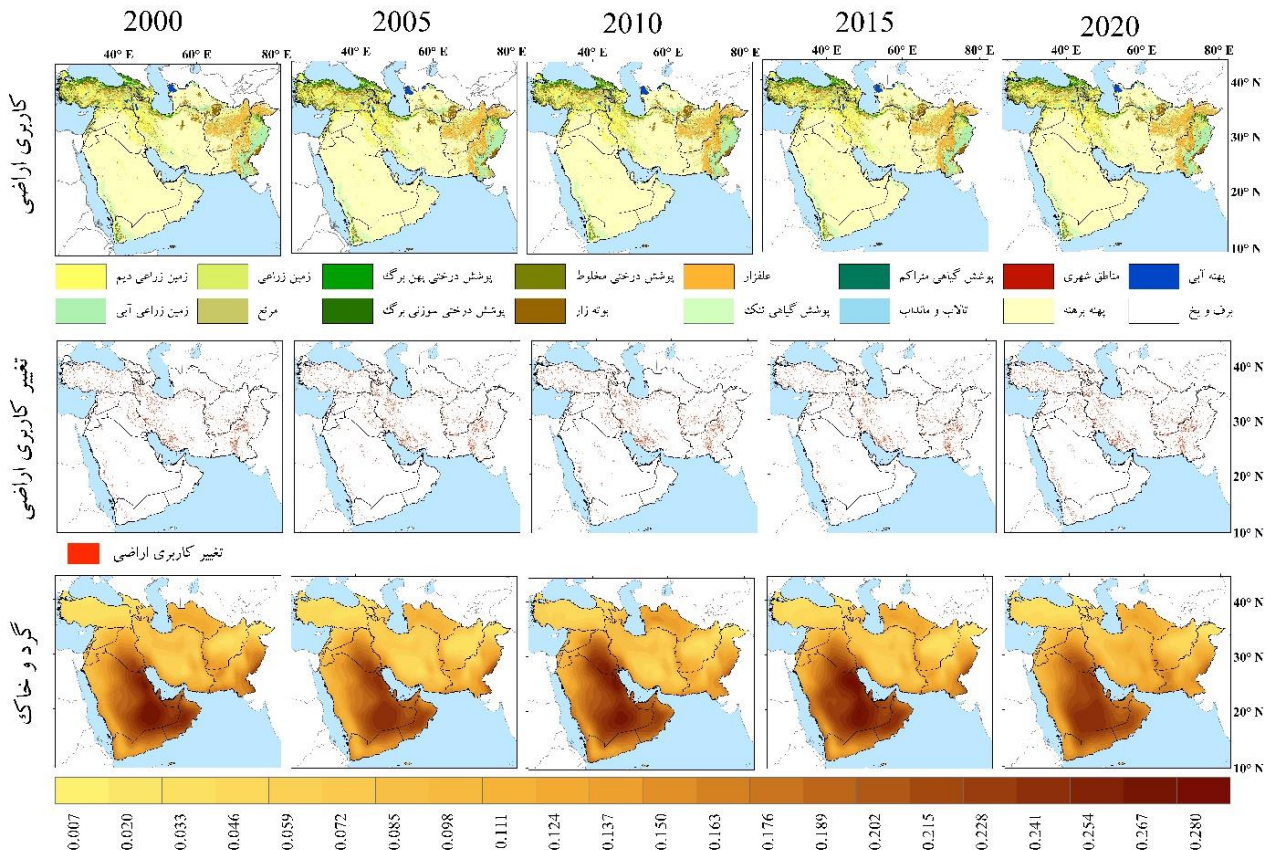
نشان می‌دهد که عوامل انسان‌ساخت تا چه مقدار در تغییرات گردوغبار نقش دارند.

همان‌طور که پیش‌تر نیز بحث شد زمین‌های کشاورزی و بخصوص زمین‌های کشاورزی دیم یا رهاشده به عنوان یک منبع بالقوه برای انتشار گردوغبار هستند. بررسی مقادیر مربوط به مساحت زمین‌های کشاورزی نشان می‌دهد با گذر زمان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ مساحت مناطقی با پوشش گیاهی متراکم از ۷/۶ درصد به ۷/۳ درصد و مراتع از ۳/۱ درصد به ۲/۸ درصد کاهش یافته است و در مقابل مساحت زمین‌های زراعی از ۱۶/۱ درصد به ۱۶/۲۵ درصد افزایش داشته است (شکل ۴). در خصوص نوع زمین‌های کشاورزی نیز مساحت زمین‌های کشاورزی آبی کاهش یافته و در مقابل مساحت زمین‌های کشاورزی دیم به دلیل بازدهی بالاتر و سود بیشتر برای کشاورزان افزایش یافته است با توجه به اینکه در کشورهای در حال توسعه بجای بهره‌گیری از کشاورزی مکانیزه از کشاورزی سنتی استفاده می‌شود این روند افزایشی صدمات جبران‌ناپذیری به خاک این مناطق وارد کرده است. هر گونه تغییر در خاک بخصوص شخم در جهت شیب زمین یا فرسایش خاک در نتیجه کشاورزی غیر اصولی و چرای بیش از حد دام‌ها و... می‌تواند منجر به تبدیل شدن این مناطق به چشمه گردوغبار شود.

برای بررسی دقیق‌تر نقش تغییرات کاربری اراضی در انتشار گردوغبار در منطق غرب آسیا تغییرات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ به کمک الگوریتم بررسی تغییرات پوشش زمین (Change count) که به صورت یک متغیر جدا در نقشه‌های پوشش زمین LCCS در دسترس می‌باشد ترسیم شده است. این نقشه مناطقی را که در آن تغییرات کاربری اراضی اتفاق افتاده است به صورت تجمعی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان داده است. بررسی تغییرات کاربری اراضی نشان داده است که در این ۲۰ سال تعداد و مساحت مناطق تغییر یافته روند افزایشی و گسترش قابل توجهی داشته است. نکته حائز اهمیت در این نقشه تطابق مکانی نقاط تغییر یافته با کانون‌های گردوغبار فعال در مناطق بین‌النهرین، شمال شرق ایران، بیابان‌های عراق و سوریه و بیابان تار می‌باشد که پیش‌تر در شکل (۲) پراکنش فضایی آن‌ها و در شکل (۳) روند آن‌ها مورد بحث قرار گرفته است. با توجه به افزایش گستره فعالیت گردوغبار از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ می‌توان چنین استنباط کرد که دست‌کاری‌های انسان‌ساخت و تغییرات کاربری اراضی از عوامل افزایش رخداد گردوغبار در منطقه مورد مطالعه بوده است.

جهت مقایسه بصری تغییرات گردوغبار در این سال‌ها نقشه سالانه عمق نوری گردوغبار از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ ترسیم شده است (شکل ۴) با توجه به اینکه مجموعه داده بازتحلیل EAC4 برای عمق نوری گردوغبار از سال ۲۰۰۳ در دسترس است اولین نقشه سالانه عمق نوری گردوغبار در این شکل مربوط به سال ۲۰۰۳ می‌باشد.

با گذر زمان از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ پراکنش مکانی و گستره فعالیت گردوغبار افزایش یافته است به طوری که تغییرات کاربری اراضی و دست‌کاری انسان در مناطق مستعد گردوغبار باعث افزایش گستره جغرافیایی و حتی ایجاد چشمه‌های جدید گردوغبار شده است. چشمه‌های گردوغبار تأثیرگذار بر غرب و جنوب غرب ایران مانند عراق و بین‌النهرین و بیابان‌های سوریه و عربستان با گذر زمان گستره‌ی بیشتری را تحت تأثیر قرار داده است و از لحاظ ابعاد مکانی و گسترش فضایی استان‌های غربی و جنوب غربی ایران را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ چشمه‌های فعال گردوغبار در شرق و شمال شرق ایران توسعه پیدا کرده است. بنابراین نقش بیابان‌های قره قوم و قزل قوم و کاهش پهنه‌های آبی آرال قوم و قره بغاز در ترکمنستان با گذر زمان در ایجاد و گسترش چشمه‌های گردوغبار در شرق و شمال شرق ایران به خوبی نمایان می‌شود (شکل ۴). با وجود تغییرات قابل توجه کاربری اراضی در مناطق شمال ترکیه و شمال و شمال غرب ایران از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با توجه به نوع اقلیم و پوشش گیاهی مناسب در این مناطق هیچ چشمه فعال گردوغباری مشاهده نشده است بنابراین با توجه به نقش حائز اهمیت اقلیم و پوشش گیاهی در رخداد گردوغبار باید به این مهم توجه نمود که تغییرات کاربری اراضی در مناطق بیابانی و مناطق مستعد رخداد گردوغبار تأثیرات قابل توجهی بر افزایش فعالیت چشمه‌های گردوغبار دارد و اندک تغییری در این مناطق می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری را ایجاد نماید.



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی و تغییر کاربری اراضی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ برونداد (LCCS) و عمق نوری گردوغبار سالانه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ برود داد مجموعه داده بازتحلیل (EAC4)

بحث و نتیجه گیری

رخداد گردوخاک یکی از مشخصه‌های اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک کره زمین است. با توجه به اینکه مساحت زیادی از منطقه مورد مطالعه در این پژوهش در پهنه اقلیمی بیابانی گرم و خشک قرار دارد بنابراین غرب آسیا یکی از مناطق مورد تهدید جدی گردوخاک است. این مطالعه گردوغبارهای غرب آسیا را از سه منظر تغییرات زمانی- مکانی عمق نوری ذرات گردوغبار (DOD)، بررسی روند ماهانه DOD و نقش تغییرات کاربری اراضی بر رخداد گردوغبار مورد بررسی قرار داده است. مهم‌ترین یافته‌های این تحقیق به شرح زیر است:

تغییرات ماهانه عمق نوری گردوغبار بر اساس برونداد مجموعه داده EAC4 نشان داد که این مجموعه داده کارایی بالایی را در بررسی پراکنش فضایی و روند گردوغبار دارد و از نتایج آن می‌تواند برای مطالعات گردوغبار استفاده کرد.

بیشینه DOD در ماه ژوئیه و در منطقه بین‌النهرین دیده می‌شود که میانگین اقلیمی این شاخص به ۰/۷۵ نیز می‌رسد. این نتیجه در توافق با یافته‌های پیشین داداشی رودباری در سال ۲۰۲۰ از اقلیم‌شناسی رخداد گردوغبار در منطقه مورد مطالعه است.

بیشینه عمق نوری گردوغبار در فصول بهار و تابستان به دلیل کاهش رطوبت خاک، کاهش جریان آبی رودخانه‌های مهم بخصوص در منطقه بین‌النهرین، کمبود پوشش گیاهی و اقلیم بیابانی خشک و به موجب آن افزایش دما و تندی باد مشاهده می‌شود.

کاهش روند DOD در بخش‌های بزرگی از کشور پاکستان، جنوب شرق ایران در سواحل مکران و در کشورهای عمان و امارات متحده عربی در ماه‌های آگوست و سپتامبر می‌تواند در نتیجه روند افزایشی بارش‌های موسمی باشد.

تغییرات زمانی- مکانی پوشش زمین بر رخداد گردوغبار تأثیر می‌گذارد و این پدیده متعاقباً بر پارامترهای آب و هوایی (نیروی تابشی، دما، ابر و بارش) تأثیر خواهد گذاشت. نتایج این تحقیق نشان داد بخش‌های قابل توجهی از پوشش زمین در جنوب شرقی عراق و غرب و جنوب غرب ایران از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ به زمین‌های بایر تبدیل شدند و متعاقباً این مناطق بیشترین مقدار رخداد گردوغبار را تجربه کردند، این نتیجه یافته‌های داداشی رودباری و همکاران را در سال ۲۰۲۱ که گزارش کرده‌اند حدود ۱۳ درصد از پهنه‌های این منطقه به زمین‌های بایر تغییر کرده است را تأیید می‌نماید.

نتایج حاکی از افزایش منابع گردوغبار در بیابان‌های عراق، عربستان سعودی و عمان در سال‌های اخیر و بخصوص سال ۲۰۲۰ است،

در حالی که وضعیت در کشورهای پاکستان، ارمنستان و ترکمنستان ثابت مانده است. چهار منطقه اصلی به عنوان تولیدکنندگان گردوغبار با شدت بالا شناسایی شدند که شامل بخش شمالی عراق در نزدیکی موصل و بغداد، مرز مشترک کویت، عربستان سعودی و عراق، جنوب شرقی عربستان سعودی و مرز غربی امارات متحده عربی و منطقه بین‌النهرین و میان‌رود می‌باشد این نتایج یافته‌های پژوهش مهاجری و همکاران (۲۰۲۴) را تأیید می‌کند و از لحاظ شناسایی مناطق با کانون فعال گردوغبار با هم همپوشانی دارند.

تغییرات کاربری اراضی و کاهش پوشش‌های گیاهی در سوریه و عراق باعث افزایش رخداد گردوغبار در این مناطق شده است، این نتیجه یافته‌های Rocha-Lima و همکاران (۲۰۲۴) را تأیید می‌کند چرا که نتایج پژوهش آن‌ها نیز نشان داد که شاخص پوشش گیاهی NDVI کاهش متوسط ۸ درصد را در سال در منطقه سوریه و عراق داشته است و متعاقباً افزایش رخداد گردوغبار را در مناطق فوق‌الذکر در پی داشته است.

همچنین بررسی کاربری اراضی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد وسعت زمین‌های زراعی افزایش یافته است و از گستره مراتع، پوشش‌های گیاهی و پهنه‌های آبی کاسته شده است. این تغییرات شرایط را برای رخداد گردوغبار در منطقه مورد مطالعه فراهم نموده است و باعث تشدید و افزایش گستره فعالیت رخداد گردوغبار می‌شود.

با توجه به اینکه در کاربری‌های مختلف میزان هدر رفت و فرسایش خاک متفاوت است بنابراین انتشار و ترابرد گردوغبار در کاربری‌های مختلف متفاوت خواهد بود. رطوبت و پوشش گیاهی به عنوان عوامل بازدارنده فرسایش خاک مانع از رخداد گردوغبار و تعدیل آن می‌شوند در مقابل خاک فرسایش‌یافته، بستر خشکیده رودخانه‌ها و زمین‌های بایر گردوغبار بیشتری را به شکل بالقوه تولید خواهند کرد. روشن است که در اثر بهره‌برداری بیش از حد از خاک پایداری بین خاکدانه‌ها از بین می‌رود و خاک به راحتی در مواجهه با فرسایش بادی قرار می‌گیرد. همچنین در اثر به هم خوردگی خاک، جرم مخصوص ظاهری نیز تغییر می‌کند، به طوری که با افزایش جرم مخصوص ظاهری، کیفیت خاک کاهش می‌یابد، لذا می‌توان نتیجه گرفت تغییر کاربری اراضی، بهره‌برداری بیش از حد و دست‌کاری خاک به افزایش فرسایش‌پذیری آن منجر می‌شود که در نتیجه شاهد افزایش فعالیت‌های گردوغبار هستیم.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

منابع

- جمال پور بیرگانی، سهراب، احمدی، حسن، معینی، ابوالفضل & فرجی، محمد. (۱۴۰۰). شناسایی کانون‌های گرد و غبار به تفکیک نوع کاربری با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و منطق فازی، مطالعه موردی: جنوب شرق اهواز. مهندسی و مدیریت آب‌خیز، ۱۳(۲) ۲۵۵-۲۶۸.
- داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۹). واکاوی وردایی زمانی-مکانی الگوهای قائم و افقی ریزگردها و ارزیابی بازخوردهای آب هوایی آن در ایران. رساله دکتری دانشگاه شهید بهشتی. تهران، ایران.
- عزیزی، قاسم، شمسی‌پور، علی‌اکبر، میری، مرتضی & صفرراد، طاهر. (۱۳۹۱). تحلیل آماری - همدیدی پدیده گرد و غبار در نیمه غربی ایران. محیط‌شناسی ۳۸(۳) ۱۲۳-۱۳۴.
- فلاح ززولی، محمد، وفایی نژاد، علیرضا، خیرخواه زرشک، میرمسعود، و احمدی دهکا، فریبرز. (۱۳۹۳). منشاء یابی گرد و غبار غرب و جنوب غرب ایران و تحلیل سینوپتیکی آن با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش‌ازدور و GIS در علوم منابع طبیعی)، ۵(۴)، ۶۱-۷۷.
- قطره سامانی، مهرداد، ۱۳۹۷، افزایش پدیده گردوغبار در ایران و ابعاد آن از منظر حقوق بین‌الملل، دومین همایش بین‌المللی گرد و غبار، ایلام.
- میرحسینی مرضیه، رستمی نورالدین، بازگیر مسعود، توکلی محسن. بررسی تأثیر کاربری اراضی بر غلظت گرد و غبار و میزان هدررفت خاک در مناطق بیابانی (مطالعه موردی: عین خوش - دهلران، ایلام). پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۳۹۷؛ ۸(۱) ۱-۲۰

REFERENCES

- Afshari, M., & Vali, A. (2024). Application of Maximum Entropy Model and Remote Sensing Technique to predict susceptible areas to dust storms in Isfahan Province, Iran. *ECOPERSIA*, 12(1), 25-37.
- Al-Shidi, H. K., Al-Reasi, H. A., & Sulaiman, H. (2022). Heavy metals levels in road dust from Muscat, Oman: relationship with traffic volumes, and ecological and health risk assessments. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(2), 264-276.
- Adnan, M., Khan, F., Rehman, N., Ali, S., Hassan, S. S., Dogar, M. M., ... & Hasson, S. (2021). Variability and predictability of summer monsoon rainfall over Pakistan. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric*



- Sciences, 57(1), 89-97.
- Amini, A. (2020). The role of climate parameters variation in the intensification of dust phenomenon. *Natural Hazards*, 102(1), 445-468.
- Arami, S. A., Ownegh, M., MohammadianBehbahani, A., Akbari, M., & Zarasvandi, A. (2018). The analysis of dust hazard studies in southwest region of Iran in 22 years (1996-2017). *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 5(1), 39-66.
- Azizi, G.; Shamsipour, A. A.; Miri, M.; & T. Safarrad, 2012. Statistic and Synoptic Analysis of Dust Phenomena in West of Iran, *Journal of Environmental Studies*, 38 (3), 123-134. doi: 10.22059/jes.2012.29154 (inPersian).
- Bell, B., Hersbach, H., Simmons, A., Berrisford, P., Dahlgren, P., Horányi, A., ... & Thépaut, J. N. (2021). The ERA5 global reanalysis: Preliminary extension to 1950. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 147(741), 4186-4227. <https://doi.org/10.1002/qj.4174>.
- Bolloorani, A. D., Soleimani, M., Papi, R., Nasiri, N., Samany, N. N., Mirzaei, S., & Al-Hemoud, A. (2024). Assessing the role of drought in dust storm formation in the Tigris and Euphrates basin. *Science of The Total Environment*, 171193.
- Bolloorani, A. D., Papi, R., Soleimani, M., Al-Hemoud, A., Amiri, F., Karami, L., ... & Mirzaei, S. (2023). Visual interpretation of satellite imagery for hotspot dust sources identification. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 29, 100888.
- Chappell, A., Webb, N. P., Hennen, M., Schepanski, K., Ciais, P., Balkanski, Y., ... & Leys, J. F. (2023). Satellites reveal Earth's seasonally shifting dust emission sources. *Science of the Total Environment*, 883, 163452.
- Chen, S., Jiang, N., Huang, J., Xu, X., Zhang, H., Zang, Z., Huang, K., Xu, X., Wei, Y., Guan, X., Zhang, X., Luo, Y., Hu, Z., & Feng, T. (2018). Quantifying contributions of natural and anthropogenic dust emission from different climatic regions. *Atmospheric Environment*, 191, 94-104.
- Chen, S., Jiang, N., Huang, J., Zang, Z., Guan, X., Ma, X., Luo, Y., Li, J., Zhang, X., & Zhang, Y. (2019). Estimations of indirect and direct anthropogenic dust emission at the global scale. *Atmospheric Environment*, 200, 50-60.
- Dadashi-Roudbari, A., & Ahmadi, M. (2021). An assessment of change point and trend of diurnal variation of dust storms in Iran: a multi-instrumental approach from in situ, multi-satellite, and reanalysis dust product. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 133, 1523-1544.
- Dadashi-Roudbari, A. (2020). Analysis of spatiotemporal variations of vertical and horizontal patterns of aerosols and evaluation of its Climate feedback in Iran, Ph.D. Thesis Urban Climatology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (In Persian).
- Darvishi Bolloorani, A., Najafi, M. S., & Mirzaie, S. (2021). Role of land surface parameter change in dust emission and impacts of dust on climate in Southwest Asia. *Natural Hazards*, 109(1), 111-132. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04828-0>
- Daufresne, M., Lengfellner, K., & Sommer, U. (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(31), 12788-12793. <https://doi.org/10.1073/pnas.0902080106>
- Fallah Zazuli, M., Vafaeinezhad, A., Kheirkhah Zarkesh, M. M., & Ahmadi Dehka, F. (2014). Source routing of dust haze phenomenon in the west and southwest of Iran and its synoptic analysis by using remote sensing and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(4), 61-78. (In Persian).
- Fan, Y., Xu, W., Wang, Y., Wang, Y., Yu, S., & Ye, Q. (2020). Association of occupational dust exposure with combined chronic obstructive pulmonary disease and pneumoconiosis: a cross-sectional study in China. *BMJ Open*, 10(9), e038874.
- Field, J. P., Belnap, J., Breshears, D. D., Neff, J. C., Okin, G. S., Whicker, J. J., ... & Reynolds, R. L. (2010). The ecology of dust. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(8), 423-430.
- Ghatresamani, M. (2018). Increasing the Dust t in Iran and Its Dimensions in International Law. In *The 2nd International Conference on Dust*, Ilam University, Ilam, Iran. (in Persian).
- Gherboudj, I., Beegum, S. N., & Ghedira, H. (2017). Identifying natural dust source regions over the Middle-East and North-Africa: Estimation of dust emission potential. *Earth-science reviews*, 165, 342-355. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.12.010>
- Gill, T. E. (1996). Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas: human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human system. *Geomorphology*, 17(1-3), 207-228. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00104-D](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00104-D)
- 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), RG3005. <https://doi.org/10.1029/2012RG000388>
- 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).
- Goudie, A. (2018). Dust storms and ephemeral lakes. *Desert*, 23(1), 153-164.
- Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.
- Haddad, M., Akramkhanov, A., Worqlul, A., Strohmeier, S., de Jong, S., Zakhadullaev, A., ... & Stathopoulos, C. (2024). Vegetation Scenarios to Improve the Conditions at the Desiccated Aral Seabed and to Reduce the Impacts of Sand and Dust Storms (No. EGU24-19118). *Copernicus Meetings*.
- Hamed, K. H., & Rao, A. R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of hydrology*, 204(1-4), 182-196. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Mohammadi, Z., Rahimi, D., Najafi, M. R., & Zakerinejad, R. (2024). The impact of environmental degradation and climate change on dust in Khuzestan province, Iran. *Natural Hazards*, 1-20.
- Mohajeri, S. H., Eydi, Z., & Mirshafiei, S. R. (2024). Mapping the distribution and temporal trends of dust storm sources in the Middle East using satellite data. *Natural Hazards*, 120(1), 389-407.
- Naghbi, A., Hashemi, H., Zhao, P., Brogaard, S., Eklund, L., Hassan, H. H., & Mansourian, A. (2024). Spatiotemporal variability of dust storm source susceptibility during wet and dry periods: The Tigris-Euphrates River Basin. *Atmospheric Pollution Research*, 15(1), 101953.
- Jafari, M., Mesbahzadeh, T., Masoudi, R., Zehtabian, G., & Amouei Torkmahalleh, M. (2021). Dust storm surveying and detection using remote sensing data, wind tracing, and atmospheric thermodynamic conditions (case study: Isfahan Province, Iran). *Air Quality, Atmosphere & Health*, 14, 1301-1311. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01021-x>.
- jamalpour bergai, S., ahmadi, H., Moeini, A., & faraji, M. (2021). Detection of dust sources by land use type, using remote sensing techniques and fuzzy logic, case study: south-east Ahwaz. *Watershed Engineering and Management*, 13(2), 255-268. doi: 10.22092/ijwmse.2020.125229.1602(inPersian)
- Jin, C., Wang, Y., Li, T., & Yuan, Q. (2022). Global validation and hybrid calibration of CAMS and MERRA-2 PM2.5 reanalysis products based on OpenAQ platform. *Atmospheric Environment*, 274, 118972.
- Jin, Q., Wei, J., Lau, W. K., Pu, B., & Wang, C. (2021). Interactions of Asian mineral dust with Indian summer monsoon: Recent advances and challenges. *Earth-Science Reviews*, 215, 103562. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103562>
- Kandakji, T., Gill, T. E., & Lee, J. A. (2021). Drought and land use/land cover impact on dust sources in Southern Great Plains and Chihuahuan Desert of the US: Inferring anthropogenic effect. *Science of the Total Environment*, 755, 142461. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142461>
- Kermani, M., Taherain, E., & Izanloo, M. (2016). Analysis of dust and dust storms in Iran, Investigation Internal and external origin of dust storms in Iran using satellite images and Control methods. *Rahavard Salamat Journal*, 2(1), 39-51.
- Khair, M. S. G., Borna, R., Morshedi, J., & Ghorbanian, J. (2024). Revealing the role of changes in vegetation cover and soil moisture in the annual distribution of dust events in Khuzestan province. *Scientific Journal of Golestan University*, 5(16).
- Lakshmi, N. B., Babu, S. S., & Nair, V. S. (2023). Mineral dust aerosols over the Himalayas from polarization-resolved satellite lidar observations. *Atmospheric Environment*, 296, 119584.
- Lee, J. A., & Gill, T. E. (2015). Multiple causes of wind erosion in the Dust Bowl. *Aeolian Research*, 19, 15-36.
- Li, J., Wong, M. S., & Nazeer, M. (2023). Integrating physical index and self-organizing mapping for aerosol dust detection (PISOM) over Himawari-8 AHI satellite images. *Atmospheric Environment*, 119921.
- Li, Z., Lau, W. M., Ramanathan, V., Wu, G., Ding, Y., Manoj, M. G., ... & Brasseur, G. P. (2016). Aerosol and monsoon climate interactions over Asia. *Reviews of Geophysics*, 54(4), 866-929.
- Lyu, Y., Qu, Z., Liu, L., Guo, L., Yang, Y., Hu, X., ... & Liu, Q. (2017). Characterization of dustfall in rural and urban sites during three dust storms in northern China, 2010. *Aeolian Research*, 28, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2017.06.004>
- Mahowald, N. M., Kloster, S., Engelstaedter, S., Moore, J. K., Mukhopadhyay, S., McConnell, J. R., Albani, S., Doney, S. C., Bhattacharya, A., Curran, M. A. J., Flanner, M. G., Hoffman, F. M., Lawrence, D. M., Lindsay, K., Mayewski, P. A., Neff, J., Rothenberg, D., Thomas, E., Thornton, P. E., & Zender, C. S.



- (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 10875-10893. <https://doi.org/10.5194/acp-10-10875-2010>
- Mirhasani, M., Rostami, N., Bazgir, M., & Tavakoli, M. (2018). An investigation of land-use effect on dust concentration and soil loss in desert areas: a case of Ein Khosh-Dehloran, Ilam. *Environmental Erosion Research Journal*, 8(1), 1-20. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1397.8.1.3.0>. (inPersian)
- Pi, H., Sharratt, B., & Lei, J. (2017). Atmospheric dust events in central Asia: Relationship to wind, soil type, and land use. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(12), 6652-6671.
- Prospero, J. M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S. E., & Gill, T. E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40(1), 1002. <https://doi.org/10.1029/2000RG000095>
- Ramaswamy, V., Collins, W., Haywood, J., Lean, J., Mahowald, N., Myhre, G., Naik, V., Shine, K. P., Soden, B., Stenchikov, G., & Storelvmo, T. (2018). Radiative Forcing of Climate: The Historical Evolution of the Radiative Forcing Concept, the Forcing Agents and their Quantification, and Applications. *A Century of Progress in Atmospheric and Related Sciences: Celebrating the American Meteorological Society Centennial, Meteorological Monographs*, 59, 14.1-14.101. <https://doi.org/10.1175/AMSMONOGRAPHS-D-19-0001.1>
- Rocha-Lima, A., Colarco, P. R., Darmenov, A. S., Nowottnick, E. P., da Silva, A. M., & Oman, L. D. (2024). Investigation of observed dust trends over the Middle East region in NASA Goddard Earth Observing System (GEOS) model simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24(4), 2443-2464.
- Shao, Y., Wyrwoll, K. H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G. H., ... & Yoon, S. (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4), 181-204. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.02.001>
- Taheri, F., Forouzani, M., Yazdanpanah, M., & Ajili, A. (2020). How farmers perceive the impact of dust phenomenon on agricultural production activities: A Q-methodology study. *Journal of Arid Environments*, 173, 104028.
- Wang, H.; Jia, X.; Li, K.; & Y. Li, (2015). Horizontal wind erosion flux and potential dust emission in arid and semiarid regions of China: A major source area for East Asia dust storms, *Catena*, 133, 373-384.
- Wang, X., Wang, T., Dong, Z., Liu, X., & Qian, G. (2006). Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China. *Journal of Arid Environments*, 65(1), 129-141. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.030>
- Xi, X., & Sokolik, I. N. (2016). Quantifying the anthropogenic dust emission from agricultural land use and desiccation of the Aral Sea in Central Asia. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(20), 12-270.
- Xu, J., 2006. Sand-dust storms in and around the Ordos Plateau of China as influenced by land use change and desertification, *Catena*, 65 (3), 279-284. doi: 10. 1016 /j. catena. 2005. 12.6.
- Yang, L., She, L., Che, Y., He, X., Yang, C., & Feng, Z. (2023). Analysis of Dust Detection Algorithms Based on FY-4A Satellite Data. *Applied Sciences*, 13(3), 1365.
- Yarahmadi, J., & Khosroshahi, M. (2024). Analysis of the Trend of the Dust Storm Index in the Lake Uromia Playa. *Hydrogeomorphology*.