



Evaluation of meteorological data and satellite images in identifying dust phenomenon in desert areas (Case study: Kerman province)

Peyman Madanchi^a, Hamzeh Saeediyan^{b*}, Mahmood Damizadeh^c

^a Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

^b Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Kerman, Iran.

^c Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 8 April 2024

Revised: 6 July 2024

Accepted: 7 July 2024

Extended Abstract

Introduction

Dust storms have become a serious problem in Iran, and the scope of this issue is increasing steadily. The country of Iran, due to its geographical location and climatic conditions, is particularly susceptible to dust storms. Dust storms and the spread of haze in various regions of the country have been some of the most significant environmental challenges in recent years, affecting not only Iran but also the Middle East and Western Asia. These challenges have had adverse social, economic, environmental, and commercial effects on the people of this region, severely disrupting their daily lives. Additionally, dust is considered a significant source of heavy metals in the environment. The aim of the present research is to examine meteorological codes and evaluate the performance of detection algorithms in identifying dust storms in Kerman Province. This study aims to provide a better understanding of dust phenomena in this province and assesses the accuracy and efficiency of various algorithms in detecting dust storms. Furthermore, it identifies the most effective algorithm for this purpose.

*.Corresponding author: Hamzeh Saeediyan Email: Hamzah.4900@yahoo.com Tel:09163900827

How to cite this Article: Madanchi, P. , Saeediyan, H. , & Damizadeh, M. (2024). Evaluation of meteorological data and satellite images in identifying dust phenomenon in desert areas (Case study: Kerman province). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4),291-313



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Material and Methods

Kerman Province, with an area of 182,301 km², is located in the southern part of Iran between 53°26' to 59°29' east longitude and 25°55' to 32° north latitude. It is the largest province in terms of area. The northern boundary of the province is bordered by the provinces of Khorasan and Yazd, the southern boundary by Hormozgan Province, the eastern boundary by Sistan and Baluchestan Province, and the western boundary by Fars Province. The average annual rainfall in the province is 145 millimeters, which is approximately 58% of the national average and 19% of the global average rainfall.

To evaluate meteorological data and satellite images in detecting dust phenomena in Kerman Province, data from thirteen synoptic stations covering a period of 20 years (2000 to 2020) were obtained from IRIMO. MODIS images were used to analyze the dust phenomenon. To detect dust, codes 06 and 07 were applied, along with algorithms such as Ackerman, TDI, TIIDI, Roskovensky and Liou, NDDI, and Miller.

Results and Discussion

Dust storms are common phenomena in arid and semi-arid regions of the world. In recent years, the occurrence of frequent and intense dust storms has become one of the most destructive environmental disasters in the Middle East, with Kerman Province being one of the regions most severely affected. This province has been given particular focus in this research.

The results showed that Sirjan station has the highest occurrence of dust storms with both local and regional origins, while Golbaf station has the lowest occurrence. Bam station recorded the highest annual frequency, while the least occurrence was observed in Babak city, with only two days of dust per year. Among the studied algorithms, the TIIDI and TDI algorithms demonstrated better performance compared to others. Overall, the annual frequency data with a horizontal visibility of 1,000 meters or less indicates an increasing trend in dust storm occurrence from 2000 to 2011, followed by a decline until 2020.

Conclusion

Although the Ackerman algorithm showed relatively acceptable performance in detecting dust, it performed poorly in northern regions and near dust source areas. Studies on other algorithms indicate inadequate performance in detecting dust phenomena in the studied area. Therefore, it is recommended that, considering the specific conditions of Kerman Province, serious attention should be given to identifying dust source areas and planning strategies to control and mitigate the negative effects of dust storms. This is essential for future research projects to prevent potential damage to industrial and agricultural facilities and other vital infrastructure.

Keywords: Dust Storms, MODIS Data, Meteorological Codes, Detection Algorithms, Kerman Province Dust.



ارزیابی داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی پدیده گردوغبار مناطق بیابانی (مطالعه موردی: استان کرمان)

پیمان معدنچی - استادیار گروه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

حمزه سعیدیان^۱ - استادیار گروه تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران.

محمود دمی زاده - پژوهشگر حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (AREEO)، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۷

چکیده

توفان گردوغبار به یک معضل جدی در ایران تبدیل شده است و روزبه‌روز بر دامنه این معضل افزوده می‌شود. به‌منظور ارزیابی داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای در آشکارسازی بررسی وضعیت رخداد پدیده گردوغبار در استان کرمان، داده‌های ایستگاه‌های سیزده ایستگاه سینوپتیک استان برای یک دوره ۲۰ ساله از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ هجری شمسی مختلف از سازمان هواشناسی کشور (IRIMO) دریافت شد و تصاویر سنجنده مودیس (MODIS) مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور آشکارسازی گردوغبار کدهای ۰۶، ۰۷ و الگوریتم‌های Ackerman، TDI، TIIDI، Roskovensky and Liou، NDDI و Miller استفاده شد. نتایج نشان داد ایستگاه سیرجان بیشترین وقوع گردوغبار با منشأ محلی و منطقه‌ای را دارد و گلباف کمترین وقوع رخداد را دارد. ایستگاه بم بیشترین فراوانی سالانه را داراست و کمترین وقوع، شهر بابک با ۲ روز گردوغباری است. از میان الگوریتم‌های موردبررسی الگوریتم‌های TDI و TIIDI دارای عملکرد مناسب‌تری در میان سایر الگوریتم‌ها است. درمجموع بررسی داده‌های فراوانی سالانه دارای دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر بیانگر روند افزایشی وقوع طوفان‌های گردوغبار از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ است و بعدازآن تا سال ۱۳۹۹ روند کاهشی را طی کرده است.

کلیدواژه‌ها: طوفان‌های گرد و غبار، داده‌های MODIS، کدهای هواشناسی، الگوریتم‌های شناسایی، گرد و

غبار استان کرمان.

۱- مقدمه

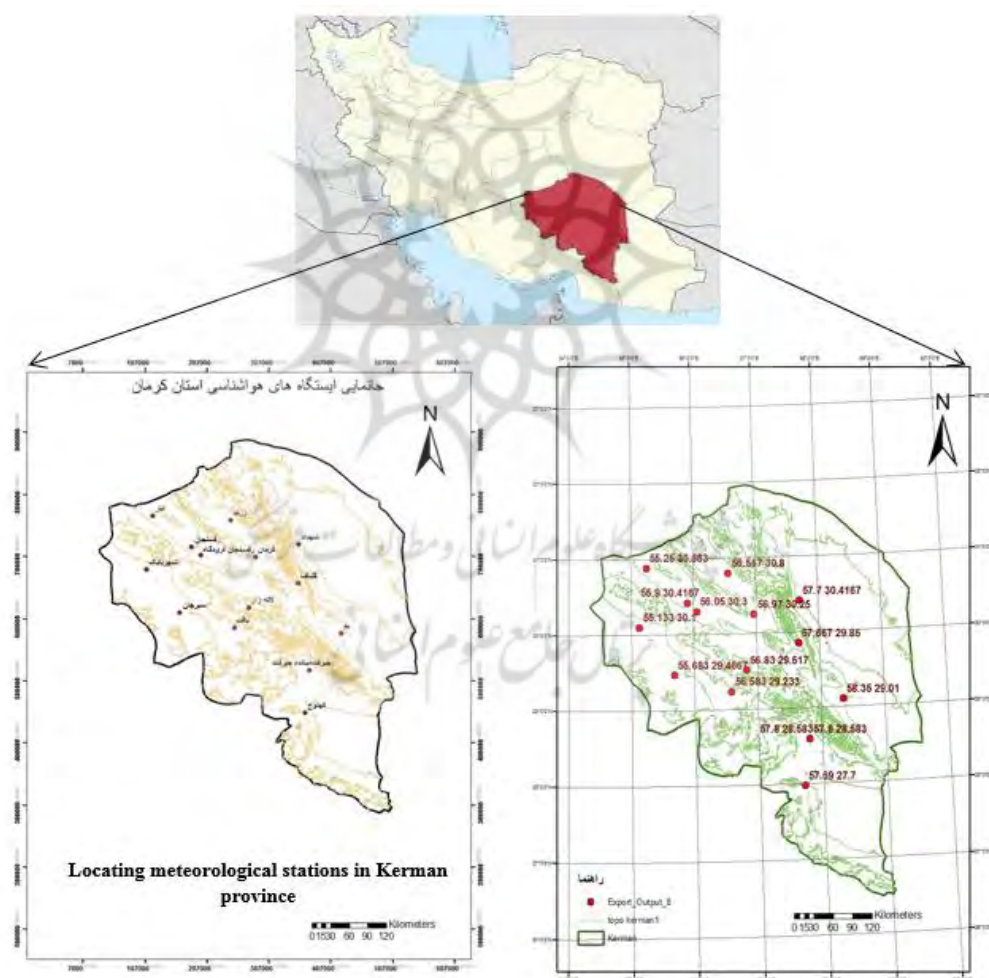
کشور ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی درگیر توفان گردوغبار است (Nabavi, Moradi & Sharifi Kia, 2019). توفان‌های گردوغبار و انتشار ریزگردها در مناطق مختلف کشور یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در سالیان اخیر در کشور و همچنین منطقه خاورمیانه و غرب آسیا بوده که اثرات نامطلوب اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و تجاری را برای مردم این منطقه به همراه داشته است و باعث اختلال در زندگی روزمره آن‌ها گردیده است. گردوغبار حتی یکی از منابع مهم فلزات سنگین در محیط‌زیست هم محسوب می‌شود (Makhfi, Karimi, Solgi & Bagherpor, 2022). پدیده‌های اقلیمی در مناطق مختلف جهان در ارتباط با ویژگی جغرافیایی هر منطقه متفاوت‌اند (Cheki Forak, Doostan & Minaei, 2023). بدون تردید دستیابی به مدیریت جامع سرزمین، نیازمند ارتباط مؤثر و هماهنگ، همکاری و هم‌افزایی تمام دست‌اندرکاران کلیدی است که دارای اهدافی مشترک ولی وظایف متمایزی هستند (Ghasemi Aryan, Sayed Akhlaghi, Farajollahi, Faiaz & Ganjali, 2021). تغییرات وسیع کاربری اراضی و تخریب مراتع و جنگل‌ها، استفاده نامطلوب از منابع طبیعی و محیط‌زیست و افزایش بیش‌ازحد فرسایش خاک در مناطق مختلف کشور را از علل افزایش و تشدید رخداد پدیده توفان‌های گردوغبار می‌توان دانست. با پیشرفت علم، ایجاد داده‌های ماهواره‌ای و همچنین مدل‌های انتقال ریزگرد و داده‌های جو بالا، شرایط طوری فراهم می‌باشد که در سطح جهانی امکان مطالعات علمی مختلف با دقت مناسب فراهم می‌باشد (Wald, Kaufman, Tanré & Gao, 1998; Gupta et al., 2006; Miller, 2003; Alam, Qureshi & Blaschke, 2011; Rashki et al., 2014). مطالعات مختلفی در سطح دنیا با توجه به اهمیت بالای شناسایی و کنترل غلظت گردوغبار که در سال‌های اخیر به یک بحران بین‌المللی تبدیل شده است، انجام شده و یا در حال انجام می‌باشد که هرکدام روش‌های مختلفی را در این زمینه مورد ارزیابی قرار داده‌اند و به نتایج مناسبی نیز رسیدند. همچنین ارزیابی عملکرد توده‌های گردوغبار و تکنیک‌های آشکارسازی تصویر نیز با استفاده الگوریتم‌های مختلف آشکارکننده در تمام دنیا در حال انجام می‌باشد که با توجه به وسعت مناطق مورد مطالعه می‌توانند نقش مهمی در شناسایی و ارزیابی توده‌های مختلف گردوغبار ایجاد کنند. از دهه ۱۹۷۰ میلادی و با شروع عرضه تصاویر ماهواره‌ای به جوامع علمی و دانشگاهی، پژوهش در زمینه استفاده از دانش سنجش‌ازدور در زمینه شناسایی توده‌های گردوغبار انجام گرفته است و افراد مختلفی نظیر روسکونسکی و لئو (Roskovensky & Liou, 2003)، میلر (Miller, 2003)، کیو و همکاران (Qu, Hao, Kafatos & Wang, 2006)، ژائو و همکاران (Zhao, Ackerman & Guo, 2010) با ابداع شاخص‌ها و الگوریتم‌های مختلف نسبت به بررسی پدیده گردوغبار از طریق تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای پرداختند. اژدري مقدم و رئیس‌پور (Azhdari Moghadam & Raispoor, 2011) نیز در پژوهش خود با عنوان تحلیل آماری و شناسایی منشأ

پدیده‌ی گردوغبار با استفاده از کدهای هواشناسی به بررسی رخداد‌های گردوغبار استان خوزستان طی دوره ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر متفاوت بودن منشأ، دوره تداوم و همچنین روند افزایشی امواج گردوغباری طی دوره آماری فوق در استان خوزستان بوده است. پور اصغریان و همکاران (Pour Asgharian, Nekoamal Kermani, Sisipour & Ranjbar Saadat abadi, 2014) در مطالعه خود با عنوان ارزیابی پدیده گردوغبار در استان هرمزگان به بررسی فراوانی این پدیده در استان هرمزگان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده بالا بودن تعداد روزهای گردوخاکی دهنده با منشأ داخلی می‌باشد؛ به‌طوری‌که از بین کدهای مورد مطالعه در تمام ایستگاه‌ها به جزء جاسک کد ۰۵ فراوانی بیشتری را داشته است. ساریخانی و همکاران (Sarikhani, Dehghani, Karimi-Jashni & Saadat, 2021) در مطالعه‌ای بر اساس تصاویر ماهواره‌ای مودیس، الگوریتمی جدید برای شناسایی خودکار طوفان‌های گردوغبار بر روی سطوح آب و زمین توسعه دادند. نتایج نشان داد که روش تشخیص طوفان گردوغبار در مناطق تحت پوشش با ویژگی‌هایی مانند سطح زمین روشن و ابرهایی که رفتار طیفی آن‌ها شبیه به گردوغبار است، عملکرد خوبی دارد. زند کریمی و همکاران (Zandkarimi, Fatehi & Shah-Hoseini, 2020) نسبت به توسعه یک الگوریتم آشکارسازی گردوغبار با عنوان IDII² بر روی تصاویر سنجنده مودیس پرداختند. آن‌ها از شاخص خود بر روی ۱۲۹ رخداد گردوغبار در غرب آسیا بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ استفاده نمودند و بیان نمودند نتایج پژوهش می‌تواند جهت شناسایی گردوغبار روی سطوح خشکی و آب، تغییرات فصول، تشخیص مناطق گردوغباری از مناطق ابری مورد استفاده قرار گیرد. پدیده گردوغبار همواره یکی از بلایای طبیعی در مناطق خشک از جمله در آفریقا، چین، استرالیا و ایران بوده است. برای کنترل پدیده گردوغبار نیاز به ایجاد مؤسسات و قوانین منطقه‌ای و بین‌المللی می‌باشد که مدیریت درست و علمی برای به حداقل رساندن بحران‌های زیست‌محیطی ناشی از آن را ایجاد کنند. ضمناً تأکید بر رویکرد سیاست‌گذاری و مدیریت کردن از سطوح بالا به پایین در منابع طبیعی جهت حل کردن بحران‌های سیاستی در سطوح منطقه‌ای و بالاتر مناسب نیست (Ghorbani, 2014; Naderi, 2014; Ghorbani & Yavari, 2014; Salari, 2014; Rasekhi, 2014) و نیاز به مدیریت علمی با در نظر گرفتن کلیه عوامل ایجاد پدیده گردوغبار در سطوح منطقه‌ای و بین‌المللی می‌باشد. هدف تحقیق حاضر بررسی کدهای هواشناسی و عملکرد الگوریتم‌های آشکارساز در شناسایی طوفان‌های گردوغبار در استان کرمان می‌باشد که می‌تواند باعث درک بهتر پدیده‌های گردوغبار در این استان شود و همچنین میزان دقت و کارایی الگوریتم‌های مختلف در شناسایی طوفان‌های گردوغبار در استان کرمان را نیز ارزیابی می‌نماید و بهترین الگوریتم را نیز از نظر میزان کارایی معرفی می‌نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

استان کرمان با مساحت ۱۸۲۳۰۱ کیلومترمربع، در جنوب شوقی ایران بین ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی و ۲۵ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی قرار دارد که پهناورترین استان از نظر وسعت است حد شمالی استان به استان‌های خراسان، یزد و حد جنوبی آن به استان هرمزگان و حد شرقی به استان سیستان و بلوچستان و حد غربی آن به فارس محدود است (شکل ۱). متوسط باران سالانه استان ۱۴۵ میلی‌متر می‌باشد که حدود ۵۸٪ متوسط بارش سالانه کشور و حدود ۱۹٪ میانگین بارش کره زمین می‌باشد. به‌طور کلی بادهای کرمان در فصول مختلف شامل باد شمالی، باد غربی، باد شرقی و باد جنوبی می‌باشد.



شکل ۱- مشخصات منطقه و ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig.1. Characteristics of the study area and stations

بیشترین میزان باد مربوط به فصل بهار و پس‌از آن مربوط به تابستان است و بادهای بسیار شدید با سرعت زیاد در دو فصل بهار و تابستان می‌وزد، جهت حاکم و غالب این بادهای از جنوب غرب به طرف شمال شرق و مشرق می‌باشد. میانگین سرعت باد در استان کرمان دارای تغییرات متفاوتی در سال‌های مختلف می‌باشد به‌طوری‌که ۱۲/۸ متر در ثانیه در سال ۱۳۹۹ تا ۱۳/۹ متر بر ثانیه در سال ۱۳۹۸ نیز گزارش شده است. نواحی داخلی ایران که غالباً خشک و بیابانی است دارای پوشش گیاهی بسیار ضعیف و پراکنده می‌باشد. در منطقه کرمان به علت جنس خاک، اختلاف شدید درجه حرارت، کمبود ریزش باران و بادهای شدید منطقه‌ای فقدان پوشش گیاهی به‌طور گسترده نمایان است.

۲-۲ روش تحقیق

شرح کدهای هواشناسی

در ابتدا به‌منظور بررسی وضعیت رخداد پدیده گردوغبار در استان کرمان، داده‌های ایستگاه‌های مختلف از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردیدند. جهت مطالعه رخدادهای گردوغبار استان کرمان، تعداد سیزده ایستگاه سینوپتیک استان برای یک دوره ۲۰ ساله از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ هجری شمسی انتخاب شدند. در این پژوهش در ابتدا با استفاده از کدهای هواشناسی روزهای گردوغبار مشخص شدند. روز گردوغبار در این پژوهش روزی است که در طی یک شبانه‌روز حداقل یک‌بار در طی ۸ بار دیده‌بانی عناصر جوی در ساعات دیده‌بانی اصلی (۰۰، ۰۶، ۱۲، ۱۸) و فرعی (۰۳، ۰۹، ۱۵، ۲۱) گردوغبار گزارش شده باشد. کدهای هواشناسی مورد استفاده در جدول ۱، برای تعیین روزهای گردوغبار در این تحقیق شامل کدهای ۰۶ و ۰۷ می‌باشند.

جدول ۱- شرح کدهای مربوط به توفان‌های گردوغبار

Table 1- Description of the codes related to dust storms (Zangeneh, 2014)

کد	تعریف
Code	Definition
06	گردوغبار معلق در هوا که در اثر توفان شن و خاک که از نقاط دور به ایستگاه آمده است. Dust suspended in the air caused by a sand storm and dust that came to the station from far away.
07	گردوخاک یا شنی که به‌وسیله باد در ایستگاه و یا نزدیکی آن در ساعت دیده‌بانی بلند شده است. Dust or sand that has been lifted by the wind at or near the station during the watch.
08	گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه و یا اطراف آن مشاهده شده است. Evolved tornadoes have been observed in or around the station itself.
09	توفان گردوخاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه. Dust storms watched around the station.
30	توفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت آن کم شده است. A mild or moderate storm of dust or sand that has decreased in intensity over the

past hour.	
31	توفان ملایم یا متوسط گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته شدت آن تغییر نکرده است. A mild or moderate storm of dust or sand whose intensity has not changed over the past hour.
32	توفان ملایم یا متوسط گردوخاک که طی ساعت گذشته شدت توفان افزایش یافته است. A mild or moderately dusty storm that has increased in intensity over the past hour.
33	توفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته از شدت توفان کاسته شده است. The severe dust storm or sand, which has reduced the intensity of the storm over the past hour.
34	توفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته، شدت توفان تغییر نکرده است. Severe dust or sand storm that the intensity of the storm has not changed over the past hour.
35	توفان شدید گردوخاک یا شن که طی ساعت گذشته از شدت توفان افزایش یافته است. Severe dust or sand storm that has increased in intensity over the past hour.

شرح استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

پس از بررسی‌های آماری، بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی کشور، تاریخ رخداد‌های شدید گردوغبار که دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش پیدا نموده بود استخراج گردیدند و آشکارسازی توده گردوغبار بر روی آن‌ها انجام گردید. برای آشکارسازی پدیده گردوغبار از تصاویر سنجنده مودیس (MODIS) در سطح پردازشی ۲ استفاده گردید. همچنین تصاویر این سنجنده از طریق وبسایت <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov> به صورت رایگان دانلود شد.

جدول ۲- مشخصات و کاربرد تصاویر ماهواره مودیس

Table 2 - Specifications and Application of MODIS Satellite Images

نسبت سیگنال به نویز (SNR ³) Signal-to-Noise Ratio	بازتاب طیفی ^۲ Spectral reflection	پهنای باند ^۱ Bandwidth	شماره باند Band	کاربرد اصلی Main Application
128	21/8	620-670	1	تعیین محدوده‌های ابرها و زمین‌ها Determining the boundaries of clouds and terrain
201	24/7	841-874	2	
243	35/3	459-479	3	شناخت ویژگی‌های ابرها و یا زمین‌ها Understanding the characteristics of clouds or terrain
228	29/0	545-565	4	
74	5/4	1240-1250	5	
275	7/3	1628-1652	6	
110	1/0	2105-2155	7	

880	44/9	405-420	8	
838	41/9	438-448	9	
802	32/1	483-493	10	رنگ اقیانوس‌ها، فیتوپلانکتونها و
754	27/9	526-536	11	بیوژئوشیمیایی
750	21/0	546-556	12	
910	9/5	662-672	13	Ocean Color, Phytoplankton and
1087	8/7	673-683	14	Biogeochemical
586	10/2	743-753	15	
516	6/2	862-877	16	
167	10/0	890-920	17	تعیین میزان بخار آب موجود در جو
57	3/6	931-941	18	Determining the amount of water
250	15/0	915-965	19	vapor in the atmosphere
0/05	0/45	3/660-3/840	20	تعیین درجه حرارت سطح زمین و ابر
2/00	2/38	3/929-3/989	21	
0/07	0/67	3/929-3/989	22	Determining the temperature of
0/07	0/79	4/020-4/080	23	the earth's surface and clouds
0/25	0/17	4/433-4/498	24	تعیین درجه حرارت جو
0/25	0/59	4/482-4/549	25	Determination of atmospheric
				temperature
1504	6/00	1/360-1/390	26	مطالعه ابرهای سیروس
				Study of cirrus clouds
0/25	1/16	6-535-6/895	27	تعیین میزان بخار آب
0/25	2/18	7/175-7/475	28	Determining the amount of water
0/05	9/58	8/400-8/700	29	vapor
0/25	3/69	9/580-9/880	30	Ozone ازن
0/05	9/55	10/780-11/280	31	تعیین درجه حرارت
0/05	8/94	11/770-12/270	32	Temperature Determination
0/25	4/52	13/185-13/485	33	
0/25	3/76	13/485-13/785	34	تعیین ارتفاع نوک ابر
0/25	3/11	13/785-14/085	35	Determining the height of the
0/25	2/08	14/085-14/385	36	cloud tip

* در باندهای ۱ تا ۱۹، پهنای باند برحسب نانومتر و در باندهای ۳۶-۲۰، پهنای باند برحسب میکرومتر می‌باشد.

بدین منظور از تعداد شش الگوریتم آشکارساز گردوغبار استفاده گردید. تصاویر تهیه شده پس از تصحیح هندسی و اعمال حدهای مناسب با توجه به ویژگی‌های دمای درخشایی موردبررسی و پردازش قرار گرفتند. سنجنده مودیس بر روی دو ماهواره ترا و اکوا نصب گردیده است و فعالیت خود را به ترتیب در دسامبر ۱۹۹۹ و می ۲۰۰۲ و در ۳۶ باند طیفی شروع نموده است (جدول ۲). این ماهواره به صورت روزانه سطح کره زمین را در تصاویری با دقت مکانی ۲۵۰ متر برای باندهای یک و دو، ۵۰۰ متر برای باندهای سه تا هفت و یک کیلومتر برای سایر باندها تصویربرداری می‌کند و به همین دلیل از قابلیت بالایی جهت پایش پدیده

گردوغبار برخوردار می‌باشد. داده‌های مورد استفاده از جدیدترین مجموعه داده سنجنده مودیس (نسخه ۶/۱) ماهواره‌های ترا (Terra) و در برخی موارد آکوا (Aqua) بودند که در فرمت HDF دریافت گردیدند که در نهایت جهت انجام پیش‌پردازش‌های لازم بر روی آن‌ها از افزونه MCTK و در محیط نرم‌افزار ENVI5.3 استفاده گردید. به منظور انجام این پژوهش از الگوریتم‌های آشکارسازی گردوغبار Ackerman, TDI^۳, TIIDI^۴ Roskovensky and Liou, NDDI^۵ و Miller استفاده شد. همچنین جهت درک بهتری از وضعیت شدت و پراکنش توده گردوغبار از محصول AOD^۶ این ماهواره نیز بهره‌گیری شد. عمق اپتیکی هواویزها (AOD) یک کمیت بی‌بعد وابسته به طول موج می‌باشد که به معنای کاهش عبور نور در واحد طول و بر روی یک مسیر مشخص می‌باشد به عبارت دیگر نشان‌دهنده میزان آتروسول در امتداد ستونی عمودی هوا و میزان دید در امتداد این ستون می‌باشد. ضمناً تصاویر روزانه سنجنده مودیس (MODIS) محصول AOD با استفاده از الگوریتم ترکیبی (Deep Blue, Dark Target) استفاده شد و برای بررسی غلظت و شدت گردوغبار نیز از محصول AOD تصاویر سنجنده مودیس استفاده گردید (جدول ۳). ضمناً جهت بررسی‌های اولیه و تفسیر چشمی در زمینه پراکنش گردوغبار در یک منطقه استفاده از ترکیب‌های رنگی متفاوت یکی از رایج‌ترین روش‌های تشخیص گردوغبار در یک منطقه می‌باشد که دو تا از مهم‌ترین آن‌ها که در این پژوهش نیز بکار برده شده ترکیب رنگی واقعی یک، چهار، سه (RGB143) سنجنده مودیس بوده و همچنین ترکیب رنگی کاذب یک، دو، هفت (RGB721) می‌باشد.

جدول ۳- پارامترهای قابل استفاده از داده‌های عمق اپتیکی هواویزهای سنجنده مودیس

Table 3- Applicable Parameters of Optical Depth Data of MODIS Sensor Aerosols

Optical Depth Land And Ocean	عمق اپتیکی هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از الگوریتم اهداف تیره
Aerosol Type Land	نوع ذرات معلق بر روی خشکی
Mass Concentration Land	غلظت ذرات معلق بر روی خشکی
Deep Blue Aerosol Optical Depth Land	عمق اپتیکی هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از الگوریتم دیپ بلو
Deep Blue Angstrom Exponent Land	نمای آنگستروم ذرات با استفاده از الگوریتم دیپ بلو
Dark Target Deep Blue Combined	عمق اپتیکی هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر با استفاده از ترکیب دو الگوریتم

3 Thermal-infrared Dust Index

4 Thermal Infrared Integrated Dust Index

5 Normalized Differences Dust Index

6 Aerosol Optical Depth

۳- نتایج و بحث

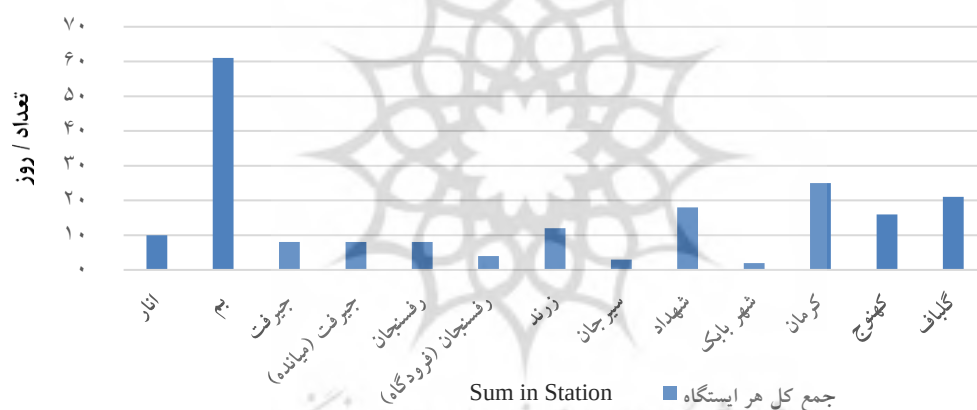
کرمان با توجه به اینکه پهناورترین استان ایران است طبیعی است بیشترین مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی را نیز دارا باشد بنابراین لازم که تحقیقات مختلفی در ارتباط با فرسایش بادی در آن صورت گیرد. از مجموع ۱۹۶ روز همراه با گردوغبار در همه ایستگاه‌های استان کرمان، ۱۰۶ روز دارای کد ۰۶ می‌باشند که نشان می‌دهد منشأ گردوغبار خارج از ایستگاه‌ها و به عبارتی فرا منطقه‌ای می‌باشد که حدود ۵۰ درصد گردوغبارها را شامل می‌شود و ۹۰ روز نیز دارای کد ۰۷ می‌باشد که نشان می‌دهد منشأ گردوغبار در اطراف ایستگاه‌ها و به عبارتی محلی و منطقه‌ای می‌باشد و حدود ۴۹/۹۵ درصد گردوغبار را شامل می‌شوند. در بین همه ایستگاه‌های مورد مطالعه استان کرمان، ایستگاه‌های گلباف دارای بیشترین درصد وقوع روزهای گردوغباری با کد ۰۶ می‌باشد که ۹۰/۴۷ درصد وقوع رخداد‌های فرا منطقه‌ای را شامل می‌شود و ایستگاه سیرجان روز گردوغباری با کد ۰۶ نداشته است و درصد وقوع رخداد فرا منطقه‌ای صفر داشته است. در بین همه ایستگاه‌های مورد مطالعه استان کرمان، ایستگاه‌های سیرجان دارای بیشترین درصد وقوع روزهای گردوغباری با کد ۰۷ می‌باشد که ۱۰۰ درصد وقوع رخداد‌های محلی و منطقه‌ای را شامل می‌شود و ایستگاه گلباف دارای درصد وقوع رخداد محلی ۹/۵۲ می‌باشد که کمترین درصد وقوع رخداد‌های محلی و منطقه‌ای در بین همه ایستگاه‌های استان کرمان را دارد (جدول ۴).

جدول ۴- فراوانی روزهای همراه با گردوغبار (۱۳۷۹-۱۳۹۹)

Table 4- Frequency of days with dust (2000-2020)

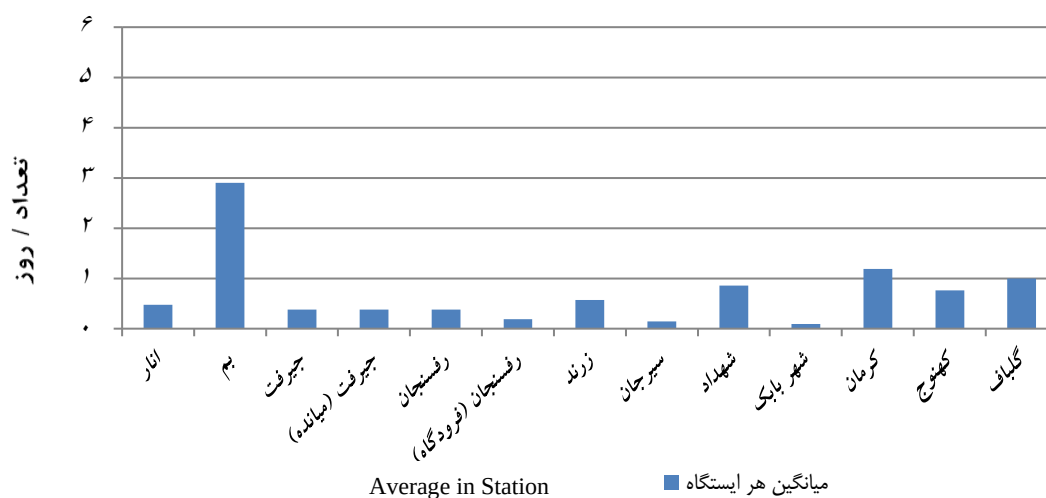
Table 1: Frequency of days with dust (2000-2020)					ایستگاه Station
جمع Sum	کد ۷ Code 7		کد ۶ Code 6		
	درصد Percentage	جمع Sum	درصد Percentage	جمع Sum	
10	60	6	40	4	انار Anar
61	53	32	47	29	بم Bam
8	25	2	75	6	جیرفت Jiroft
8	37.5	3	62.5	5	جیرفت (میانه) Jiroft (Miandeh)
8	75	6	25	2	رفسنجان Rafsanjan
4	50	2	50	2	رفسنجان (فرودگاه) Rafsanjan(Airport)
12	50	6	50	6	زرند Zarand
3	100	3	0	0	سیرجان

18	72.2	13	27.7	5	Sirjan شهداد
2	50	1	50	1	Shahdad شهر بابک
25	36	9	64	16	Sharehbabak کرمان
16	31.25	5	68.75	11	Kerman کهنوج
21	9.52	2	90.47	19	Kahnouj گلباف
196	49.95	90	50	106	Golbaft جمع
61	100	32	90.47	29	Plural حداکثر
1	9.52	1	0	0	Maximum حداقل
					Minimum



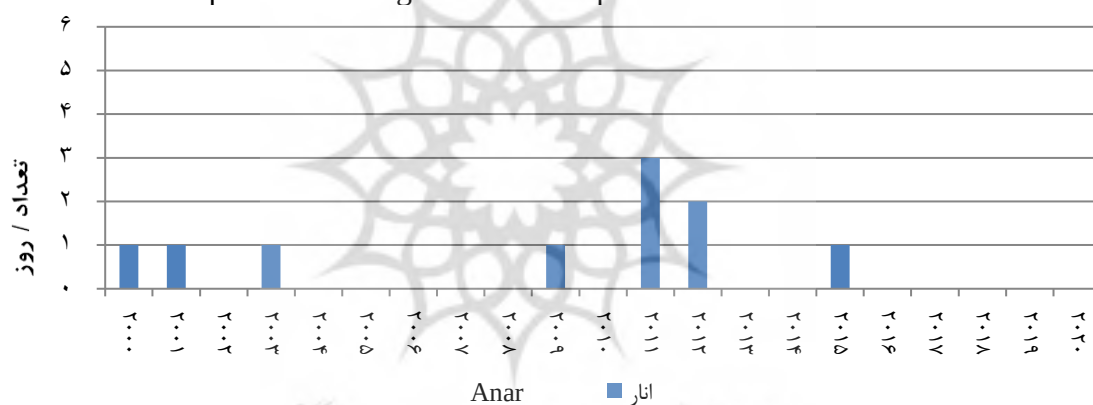
شکل ۲- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه‌های استان کرمان طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig. 2. The total annual frequency of dust occurrence for stations in Kerman province during the statistical period of 2000-2020



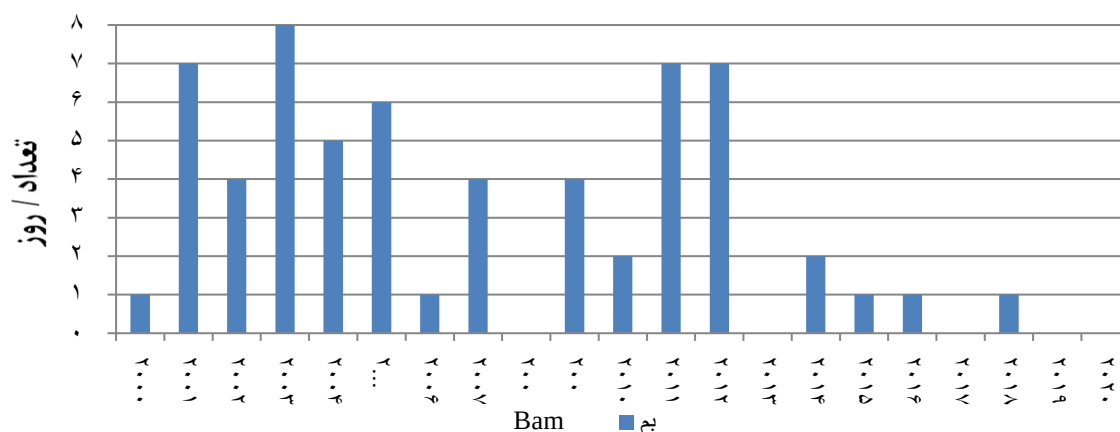
شکل ۳- میانگین سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه‌های استان کرمان طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig. 3. The annual average of the frequency of dust occurrence for stations in Kerman province during the statistical period of 2000-2020



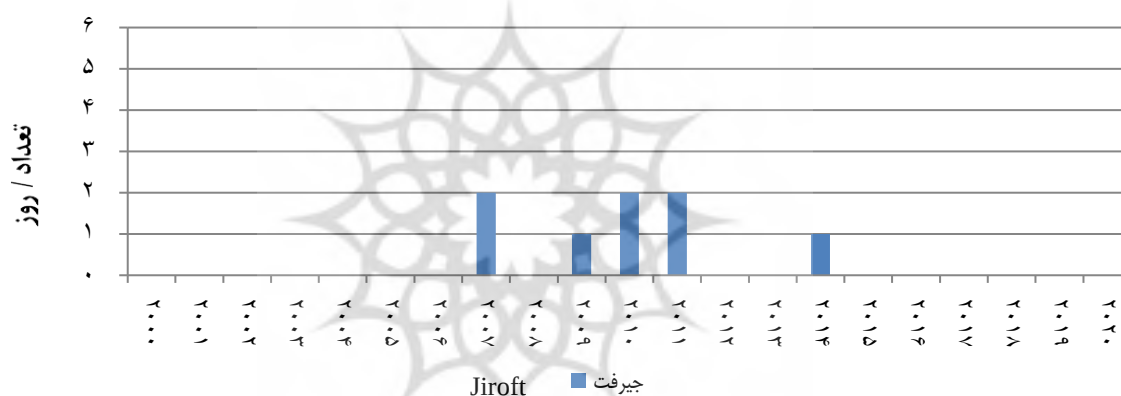
شکل ۴- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه انار طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig. 4. The total annual frequency of dust occurrence for Anar station during the statistical period of 2000-2020



شکل ۵- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه بم طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig. 5. The total annual frequency of dust occurrence for Bam station during the statistical period of 2000-2020



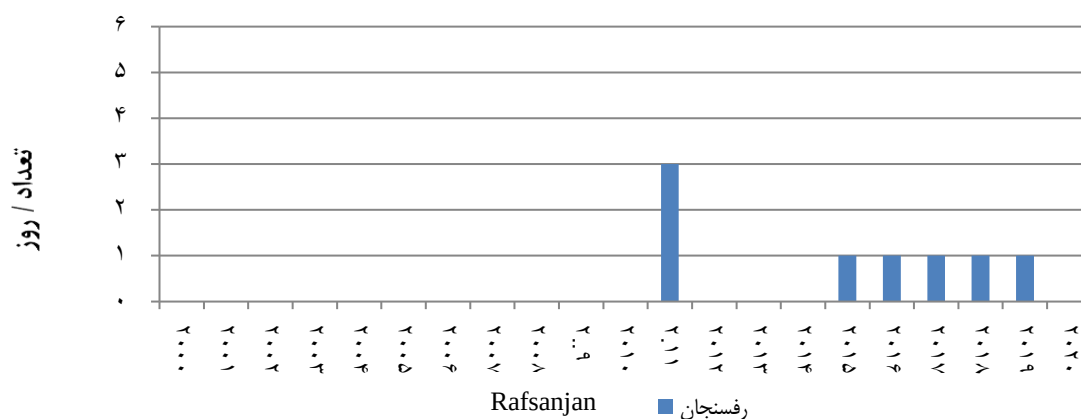
شکل ۶- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه جیرفت طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig. 6. The total annual frequency of dust occurrence for Jiroft station during the statistical period of 2000-2020



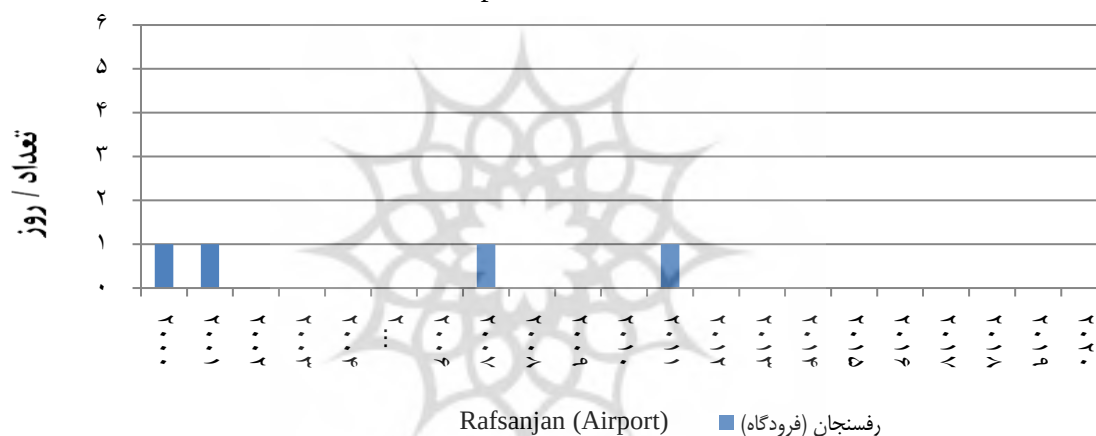
شکل ۷- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه جیرفت (میاندِه) طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig.7. The total annual frequency of dust occurrence for Jiroft (Miyandeh) station during the statistical period of 2000-2020



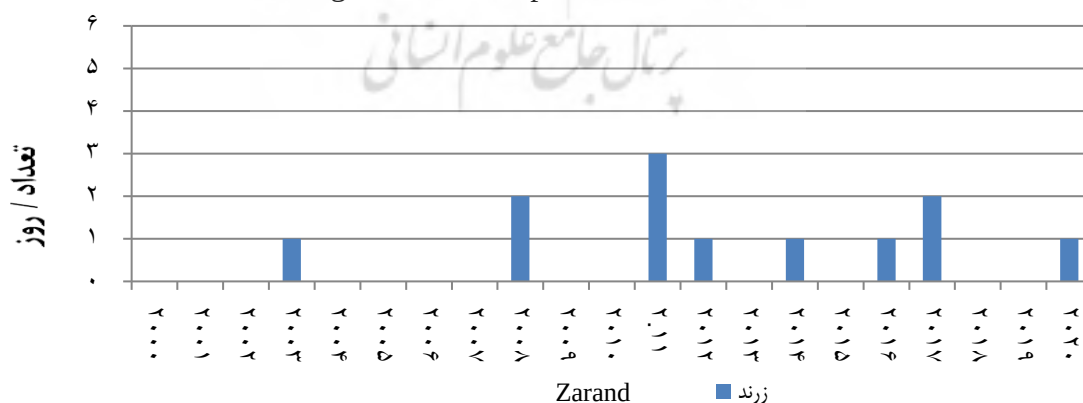
شکل ۸- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه رفسنجان طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig. 8. The total annual frequency of dust occurrence for Rafsanjan station during the statistical period of 2000-2020



شکل ۹- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه رفسنجان (فرودگاه) طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig.9. The total annual frequency of dust occurrence for Rafsanjan station (airport) during the statistical period of 2000-2020



شکل ۱۰- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه زرنند طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

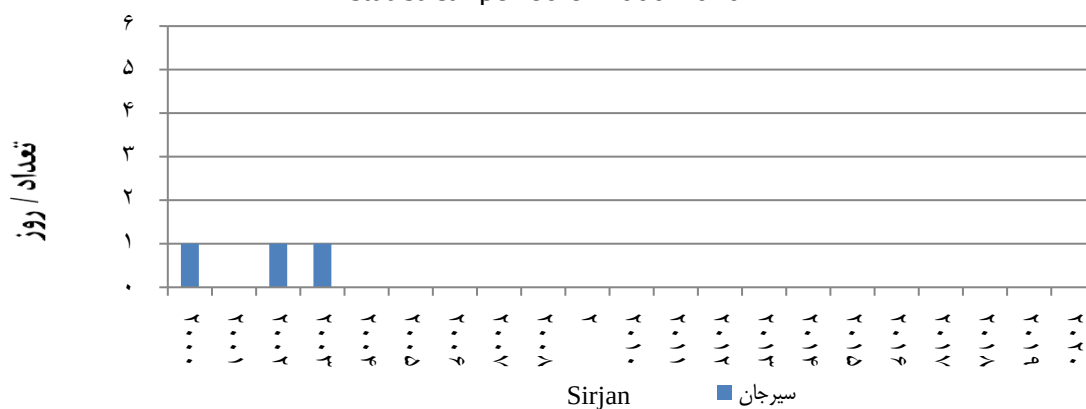
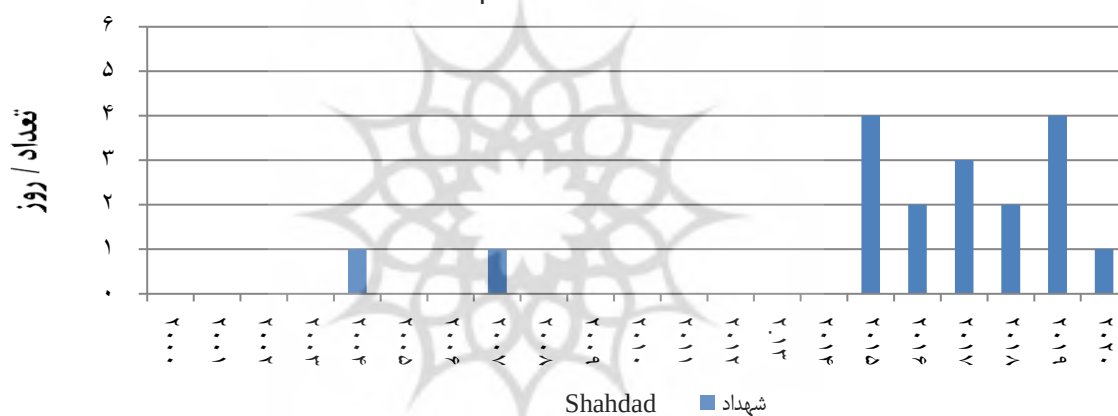
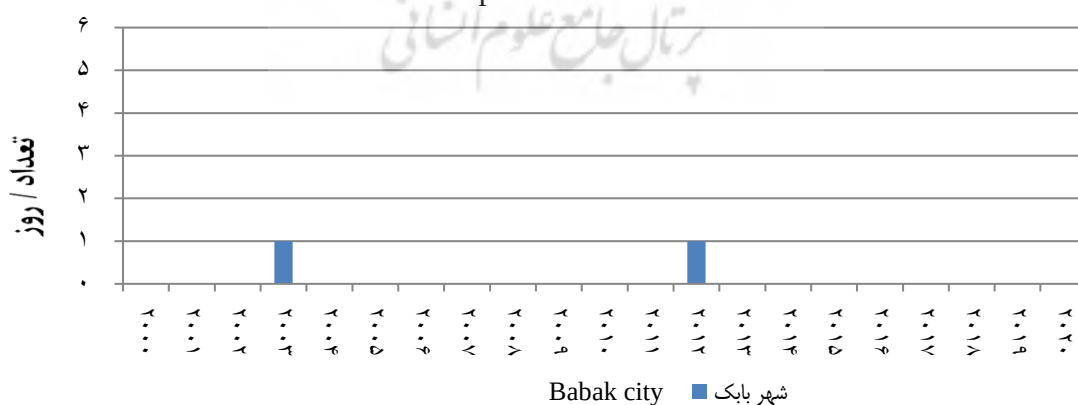
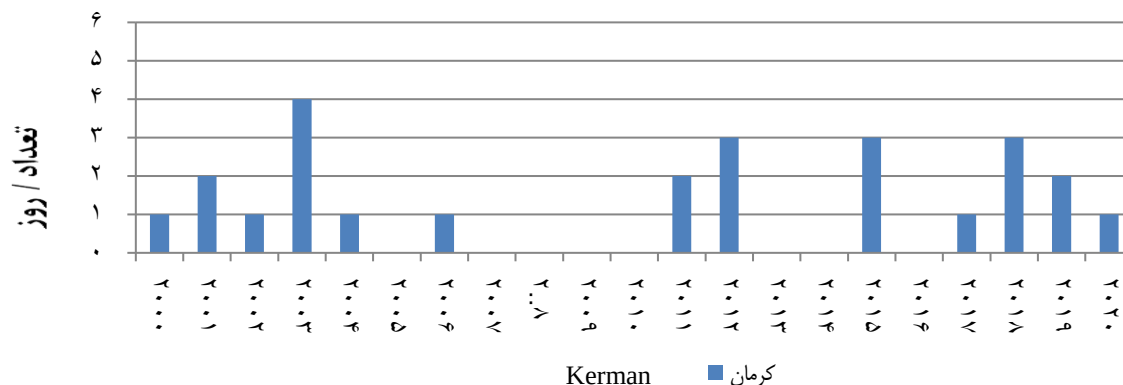
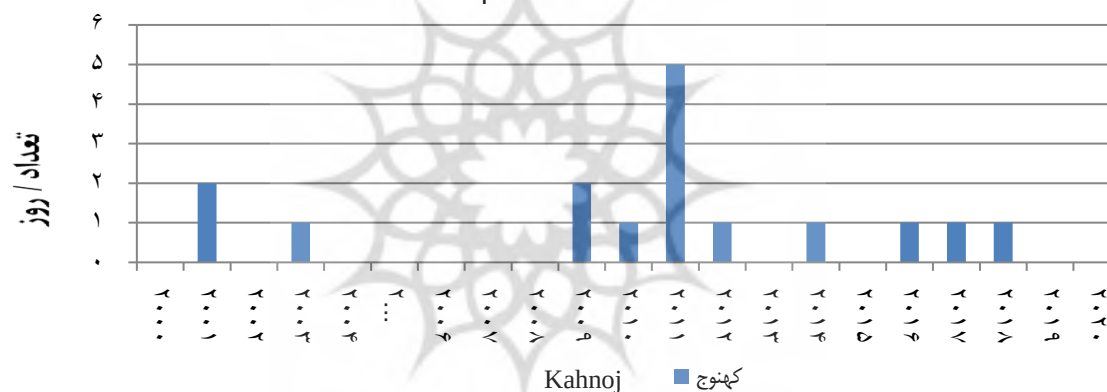
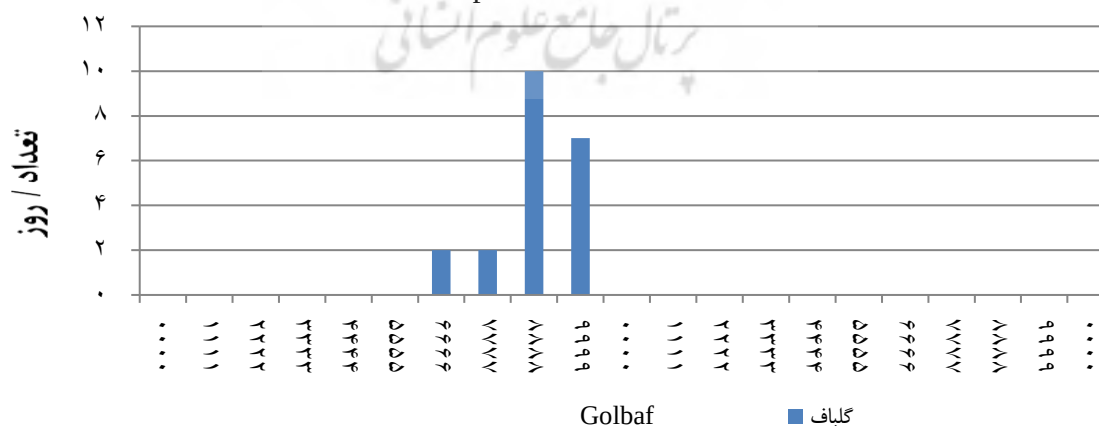
Fig.10. The total annual frequency of dust occurrence for Zarand station during the statistical period of 2000-2020**شکل ۱۱-** مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه سیرجان طی دوره آماری ۱۳۷۹ - ۱۳۹۹**Fig.11.** The total annual frequency of dust occurrence for Sirjan station during the statistical period of 2000-2020**شکل ۱۲-** مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه شهداد طی دوره آماری ۱۳۷۹ - ۱۳۹۹**Fig. 12.** The total annual frequency of dust occurrence for Shahdad station during the statistical period of 2000-2020**شکل ۱۳-** مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه شهر بابک طی دوره آماری ۱۳۷۹ - ۱۳۹۹

Fig.13. The total annual frequency of dust occurrence for Shahre Babak station during the statistical period of 2000-2020

شکل ۱۴- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه کرمان طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig.14. The total annual frequency of dust occurrence for Kerman station during the statistical period of 2000-2020

شکل ۱۵- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه کهنوج طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

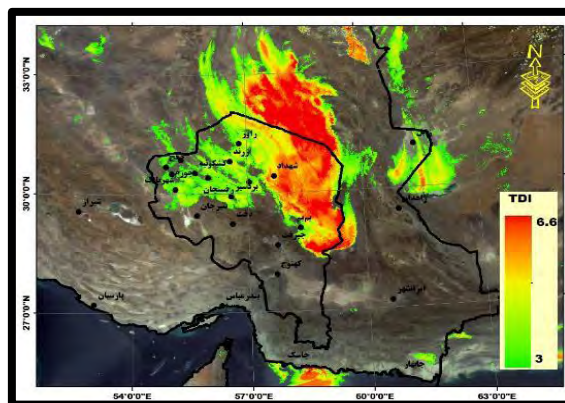
Fig.15. The total annual frequency of dust occurrence for Kahnouj station during the statistical period of 2000-2020

شکل ۱۶- مجموع سالانه فراوانی رخداد گردوغبار برای ایستگاه گلباف طی دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۹۹

Fig.16. The total annual frequency of dust occurrence for Golbaf station during the statistical period of 2000-2020

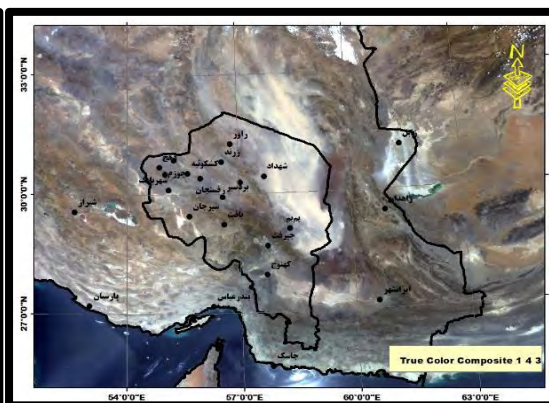
نتایج نشان داد که ایستگاه بم بیشترین فراوانی وقوع پدیده گردوغبار سالانه را در استان با ۶۱ روز دارا می‌باشد و همچنین کمترین فراوانی وقوع این پدیده در ایستگاه شهر بابک با ۲ روز گردوغباری در استان می‌باشد (شکل ۲). همچنین بررسی سالانه نشان داد که بدون در نظر گرفتن شدت وقوع این پدیده، سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰ بیشترین رخداد این پدیده را در بین سال‌های مورد مطالعه دارا می‌باشد و همچنین سال ۱۳۹۲ به‌عنوان سال بدون روز گردوغبار در استان ثبت شده است. بررسی میانگین سالانه رخداد گردوغبار در استان بیانگر بالا بودن وقوع این پدیده در شهرهای نظیر بم، کرمان، گلباف، شهداد و کهنوج می‌باشد و کمترین میانگین سالانه رخداد گردوغبار در استان مربوط به شهرهای رفسنجان (فرودگاه)، سیرجان و شهر بابک می‌باشد (شکل ۳). در مجموع بررسی داده‌های فراوانی سالانه بیانگر روند افزایشی وقوع طوفان‌های گردوغبار از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ می‌باشد و بعد از آن تا سال ۱۳۹۹ روند کاهشی را طی کرده است. در طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹، در ایستگاه انار سال ۱۳۹۰ با ۳ روز (شکل ۴) و در ایستگاه بم در سال ۱۳۸۲ با ۸ روز (شکل ۵) و در ایستگاه جیرفت در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ با ۲ روز (شکل ۶) و ایستگاه جیرفت میانه در سال ۱۳۸۶ با ۵ روز (شکل ۷) و ایستگاه رفسنجان در سال ۱۳۹۰ با ۳ روز (شکل ۸) و ایستگاه رفسنجان (فرودگاه) در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۸۶، ۱۳۹۰ با ۱ روز (شکل ۹) و ایستگاه زرنند در سال ۱۳۹۰ با ۳ روز (شکل ۱۰) و ایستگاه سیرجان در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۲ با ۱ روز (شکل ۱۱) و ایستگاه شهداد در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۸ با ۴ روز (شکل ۱۲) و ایستگاه شهر بابک در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۹۱ با ۱ روز (شکل ۱۳) و ایستگاه کرمان در سال ۱۳۸۲ با ۴ روز (شکل ۱۴) و ایستگاه کهنوج در سال ۱۳۹۰ با ۵ روز (شکل ۱۵) و ایستگاه گلباف در سال ۱۳۸۷ با ۱۰ روز (شکل ۱۶)، بیشترین روزهای گردوغباری را در سال مورد نظر داشته‌اند و روزهای بدون گردوغبار در تمام ایستگاه‌ها در سال‌های متعدد مختلف وجود داشته است. با توجه به اینکه بیشتر مشکلات ناشی از پدیده گردوغبار در دیدهای ۱۰۰۰ متر و کمتر می‌باشد بنابراین مورد بررسی قرار گرفتند. قابل ذکر است زمانی که شدت گردوغبار با اندازه‌ای باشد که دید افقی به ۱۰۰۰ متر و کمتر برسد مشکلات زیادی چون تعطیلی مدارس، ادارات دولتی، لغو فرودگاه‌ها و غیره به وجود می‌آید. در ایستگاه‌های استان کرمان در همه ۱۳ ایستگاه سینوپتیک داده‌های به دست آمده دارای دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر می‌باشند. در ایستگاه بم، ۶۱ روز دارای دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر می‌باشد که بیشترین میزان در میان ایستگاه‌های مختلف استان کرمان است و همچنین ایستگاه شهر بابک با ۲ روز دارای دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر دارای کمترین میزان در ایستگاه‌های مختلف استان کرمان می‌باشد. بررسی میانگین سالانه رخداد گردوغبار دارای دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر در استان بیانگر بالا بودن وقوع این پدیده در شهرهای نظیر بم، کرمان، گلباف، شهداد و کهنوج می‌باشد و کمترین میانگین سالانه رخداد گردوغبار در استان مربوط به

شهرهای رفسنجان (فرودگاه)، سیرجان و شهر بابک می‌باشد. درمجموع بررسی داده‌های فراوانی سالانه دارای دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر بیانگر روند افزایشی وقوع طوفان‌های گردوغبار از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ می‌باشد و بعدازآن تا سال ۱۳۹۹ روند کاهشی را طی کرده است.



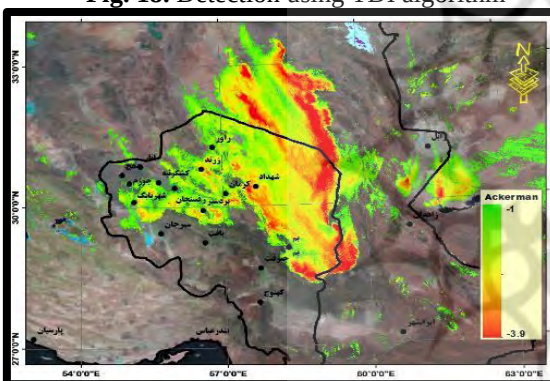
شکل ۱۸- آشکارسازی با استفاده از الگوریتم TDI

Fig.18. Detection using TDI algorithm



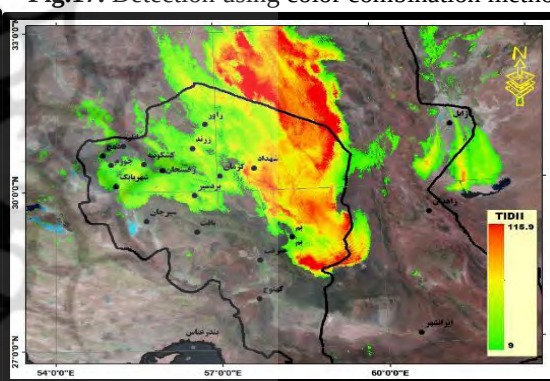
شکل ۱۷- آشکارسازی با استفاده از روش ترکیب رنگی

Fig.17. Detection using color combination method



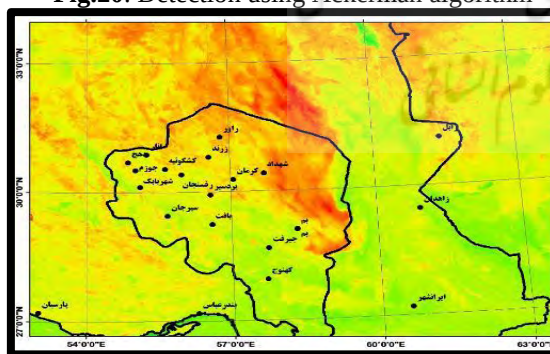
شکل ۲۰- آشکارسازی با استفاده از الگوریتم Ackerman

Fig.20. Detection using Ackerman algorithm



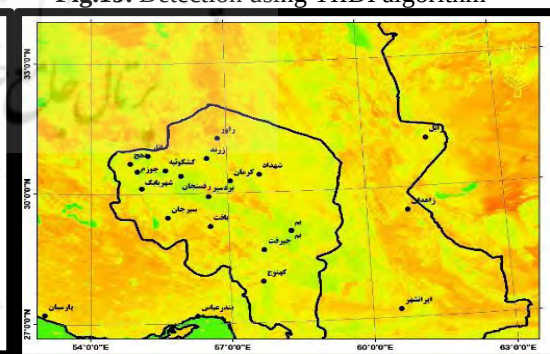
شکل ۱۹- آشکارسازی با استفاده از الگوریتم TIIDI

Fig.19. Detection using TIIDI algorithm



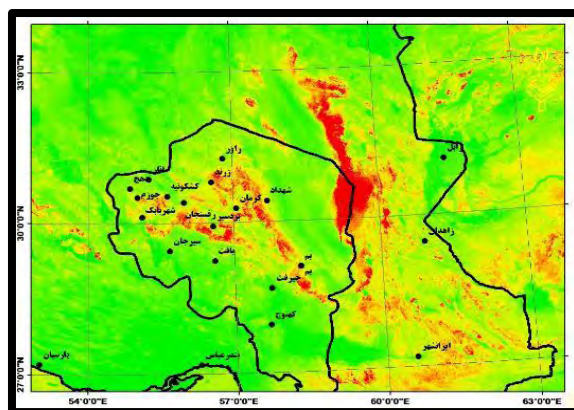
شکل ۲۲- آشکارسازی با استفاده از الگوریتم Miller

Fig.22. Detection using Miller algorithm



شکل ۲۱- آشکارسازی با استفاده از الگوریتم NDDI

Fig. 21. Detection using NDDI algorithm



شکل ۲۳- آشکارسازی با استفاده از الگوریتم Roskovensky

Fig. 23. Detection using Roskovensky's algorithm

الگوریتم اکرمن از اختلاف دمای درختایی باند ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس جهت تشخیص و آشکارسازی پدیده گردوغبار استفاده می‌کند. اساس الگوریتم TIDI بر پایه چهار باند طیفی در محدوده ۳/۷، ۸/۶، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر معادل باندهای ۲۰، ۲۹، ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس بوده و مقادیر بالای صفر معرف وجود گردوغبار در تصویر می‌باشد (Liu & Liu, 2011). شاخص TDI از باندهای ۲۰، ۲۹، ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس و ضرابی که در این خصوص طراحی شده‌اند استفاده می‌نماید. شاخص NDDI بر اساس استفاده از اختلاف طیف‌های ۰/۴۶۹ و ۲/۱۳ میکرومتر سنجنده مودیس حاصل می‌گردد؛ به‌طوری‌که از نسبت اختلاف باندهای انعکاسی سه و هفت این سنجنده آشکارسازی گردوغبار فراهم می‌شود. شاخص روسکونسکی و لئو یکی از معروف‌ترین شاخص‌های آشکارسازی گردوغبار بوده که بر پایه اختلاف دمای درختندگی طول‌موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر نسبت به طول‌موج‌های ۱/۳۸ و ۰/۶۵ میکرومتر می‌باشد. الگوریتم Miller بر پایه تفاوت ویژگی‌های بازتابش ذرات گردوغبار و ابر و اختلاف دمای درختندگی معکوس بنا نهاده شده است. نتایج به‌کارگیری از الگوریتم‌های استفاده شده در این پژوهش نشان می‌دهد از میان الگوریتم‌های موردبررسی الگوریتم‌های TIIDI و TDI دارای عملکرد مناسب‌تری در میان سایر الگوریتم‌های موردبررسی برخوردار بوده است (شکل‌های ۱۹ و ۱۸)، که با نتایج تحقیق جبالی و همکاران (Jebali, Zare, Ekhtesasi & Jafari, 2022) که معتقد است الگوریتم‌های TIIDI و TDI قادر به آشکارسازی تمامی رخداد‌های گردوغبار در استان یزد نخواهد بود، مغایرت دارد و با نتایج تحقیق قادری نسب و راهنما (Qaderi Nasab & Rahnama, 2018) که معتقد است الگوریتم TIIDI عملکرد مناسبی در شناسایی پیکسل‌های آلوده به گردوغبار در حوزه آبریز جازموریان داشته است، مطابقت دارد و همچنین با نتایج تحقیق خیراندیش و همکاران (Kheirandish, Jamali & Rayegani, 2018) که معتقد است روش TIIDI قابلیت تفکیک گردوغبار از سایر پدیده‌ها را بر روی زمین دارا می‌باشد، مطابقت دارد و همچنین با نتایج تحقیق شمشیری و همکاران (Shamshiri, Jafari, Soltani & Ramazani, 2014) که معتقد است کارایی شاخص‌های موردبررسی از

رویدادی به رویداد دیگر متفاوت بوده و شاخص آکرمین بهترین کارایی را داشته ولی بعد از آن شاخص TDI می‌باشد، مطابقت دارد.

۴- نتیجه‌گیری

توفان‌های گردوغبار یکی از پدیده‌هایی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان رخ می‌دهد. طی سال‌های اخیر وقوع توفان‌های گردوغبار با تعداد بالا ازجمله مخرب‌ترین بلایای زیست‌محیطی در منطقه خاورمیانه است که یکی از مناطقی که به‌شدت تحت تأثیر آن می‌باشد استان کرمان است که در این پژوهش موردتوجه جدی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد ایستگاه سیرجان بیشترین وقوع گردوغبار با منشأ محلی و منطقه‌ای را دارد و گلباف کمترین وقوع رخداد را دارد. ایستگاه بم بیشترین فراوانی سالانه را دارا می‌باشد و کمترین وقوع، شهر بابک با ۲ روز گردوغباری می‌باشد. از میان الگوریتم‌های موردبررسی الگوریتم‌های TDI و TIIDI دارای عملکرد مناسب‌تری در میان سایر الگوریتم‌ها است. درمجموع بررسی داده‌های فراوانی سالانه دارای دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر بیانگر روند افزایشی وقوع طوفان‌های گردوغبار از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۰ می‌باشد و بعد از آن تا سال ۱۳۹۹ روند کاهشی را طی کرده است. الگوریتم اکرمین اگرچه دارای عملکرد نسبتاً قابل قبولی در آشکارسازی گردوغبار بوده ولی در مناطق شمالی منطقه و محدوده چشمه‌های گردوغبار دارای عملکرد نامناسبی بوده است. بررسی‌های انجام شده بر روی سایر الگوریتم‌ها بیانگر عملکرد نامناسب آن‌ها در زمینه آشکارسازی پدیده گردوغبار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد؛ بنابراین توصیه می‌شود که با توجه به شرایط استان کرمان لزوم توجه جدی به شناسایی کانون‌های تولید گردوغبار و برنامه‌ریزی جهت کنترل و کاهش اثرات منفی وقوع توفان‌های منطقه ازجمله ضروریات طرح‌های تحقیقاتی در آینده - باشد تا از خسارات احتمالی به تأسیسات صنعتی و کشاورزی و غیره جلوگیری شود.

References

- Alam, K., Qureshi, S., & Blaschke, T. (2011). Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmospheric Environment*, 45(27), 4641-4651. [https://doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.055](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.055)
- Azhdari Moghadam, M., & Raispoor, K. (2011). *Statistical Analysis and Identification of the Origin of Dust Phenomenon Using Meteorological Codes (Case Study: Khuzestan Province)*. Paper presented at the 11th Iranian Congress of Geographers, Tehran. [In Persian] <https://civilica.com/doc/336497/>
- Cheki Forak, M., Doostan, R., & Minaei, M. (2023). Identification of Dust Centers in Birjand City. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 13(46), 61-84. [In Persian] <https://doi.org/10.22111/gaij.2023.42530.3034>

- Ghasemi Aryan, Y., Sayed Akhlaghi, S. J., Farajollahi, A., Faiaz, M., & Ganjali, M. (2021). Challenges and strategies towards combating dust storm in Sistan based on the institutional stakeholders viewpoint. *Water and Soil Management and Modelling*, 1(4), 48-56. [In Persian] <https://doi.org/10.22098/mmws.2021.9436.1044>
- Ghorbani, M. (2014). *National social network analysis project; modeling, policy making and implementation of participatory management of natural resources* (First phase). Final report of a national project, University of Tehran. [In Persian]
- Gupta, P., Christopher, S. A., Wang, J., Gehrig, R., Lee, Y. C., & Kumar, N. (2006). Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Atmospheric Environment*, 40(30), 5880-5892. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.03.016>
- Jebali, A., Zare, M., Ekhtesasi, M. R., & Jafari, R. (2022). Performance Evaluation of Detector Algorithms of Dust Storms in Arid Lands (Case Study: Yazd Province). *Desert Ecosystem Engineering*, 8(23), 85-105. [In Persian] https://deej.kashanu.ac.ir/article_112676.html?
- Kheirandish, Z., Jamali, J., & Rayegani, B. (2018). Identification of the best algorithm for dust detection using MODIS data. *Journal of Natural Environment Hazards*, 7(15), 207- 220. [In Persian] <https://doi.10.22111/jneh.2017.3363>
- Liu, Y., & Liu, R. (2011). *A thermal index from MODIS data for dust detection*. Paper presented at the 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, BC, Canada, 3783-3786. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6050054>
- Makhfi, G., Karimi, A., Solgi, E., & Bagherpor, S. (2022). Evaluation and determination of the ecological risk of lead, zinc and cadmium in the atmospheric dust of Isfahan city. *Journal of Environmental Health Engineering*, 9(4), 485-501. [In Persian] <http://dx.doi.org/10.61186/jehe.9.4.485>
- Miller, S. D. (2003). A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS. *Geophysical Research Letters*, 30(20). <https://doi.org/10.1029/2003GL018279>
- Nabavi, S., Moradi, H. M., & Sharifi Kia, M. (2019). Evaluation of dust storm temporal distribution and the relation of the effective factors with the frequency of occurrence in Khuzestan Province from 2000 to 2015. *Quarterly of Geographical Data*, 28(111), 191-203. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25883860.1398.28.111.13.4>
- Naderi, M., Ghorbani, M., & Yavari, A. (2014). Network Analysis of Information Exchange and Key Actors in Policy-making and Sustainable Management of Sarkeh-Hesar National Park. *Researches in Earth Sciences*, 5(4), 16-28. [In Persian] <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20088299.1393.5.4.2.5>
- Pour Asgharian, A., Nekoamal Kermani, M., Sisipour, M., & Ranjbar Saadat abadi, A. (2014). *Assessment of Dust Phenomenon Frequency in Hormozgan Province*. Paper presented at the Second National Conference on Deserts with Approach of Management of Arid and Desert Areas. [In Persian] <https://civilica.com/doc/329506/>
- Qaderi Nasab, F., & Rahnama, M. B. (2018). Detection of dust storms in Jazmoriyan drainage basin using multispectral techniques and MODIS image. *Physical Geography Research*, 50(3), 545-562. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2018.248345.1007159>

- Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M., & Wang, L. (2006). Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(4), 484-486. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2006.877752>
- Rasekhi, S. (2014). *Social network analysis in range management and participatory management planning (Case study: Fars Province)*. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran. [In Persian]
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Eriksson, P. G., de W. Rautenbach, C. J., Flamant, C., & Abdi Vishkaee, F. (2014). Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations. *Natural Hazards*, 71, 563-585. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0927-0>
- Roskovensky, J. K., & Liou, K. N. (2003). Detection of thin cirrus from 1.38 μm /0.65 μm reflectance ratio combined with 8.6 –11 μm brightness temperature difference. *Geophysical Research Letters*, 30(19). <https://doi.org/10.1029/2003GL018135>
- Salari, F. (2014). *Modeling and analysis of water resources management network in the watershed (Case study: Kermanshah resin watershed)*. Master's thesis, University of Tehran. [In Persian]
- Sarikhani, A., Dehghani, M., Karimi-Jashni, A., & Saadat, S. (2021). A New Approach for Dust Storm Detection Using MODIS Data. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 45, 963-969. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00508-4>
- Shamshiri, S., Jafari, R., Soltani, S., & Ramazani, N. (2014). Identification and zonation of dust storms in Kermanshah Province by using MODIS images. *Applied Ecology*, 3(8), 23-35. [In Persian] <http://dorl.net/dor/20,1001.1.24763128.1393.3.8.3.3>
- Wald, A. E., Kaufman, Y. J., Tanré, D., & Gao, B. C. (1998). Daytime and nighttime detection of mineral dust over desert using infrared spectral contrast. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103, 32307-32313. <https://doi:10.1029/98JD01454>
- Zandkarimi, A., Fatehi, P., & Shah-Hoseini, R. (2020). An improved dust identification index (IDII) based on MODIS observation. *International Journal of Remote Sensing*, 41(20), 8048-8068. <https://doi:10.1080/01431161.2020.1770366>
- Zangeneh, M. (2014). Climatological Analysis of Dust Storms in Iran. *Journal of Applied Climatology*, 1(1), 1-12. [In Persian] https://jac.ui.ac.ir/article_15593.html
- Zhao, T. X. P., Ackerman, S., & Guo, W. (2010). Dust and smoke detection for multi-channel imagers. *Remote Sensing*, 2(10), 2347-2368. <https://doi.org/10.3390/rs2102347>