

Sources Tracking of Dust Storms in the Western of Iran (Case Study Kermanshah City)

R. Bagherabadi¹, M. Moeinaddini^{2*}

1. MSc of Environmental Science, University of Tehran, Tehran, Iran.
2. Associate professor, Department of Environmental science, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: Moeinaddini@ut.ac.ir

Received date: 20/11/2022

Accepted date: 15/01/2023



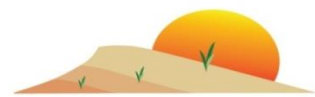
[10.22034/JDMAL.2023.1973881.1402](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.1973881.1402)

Abstract

The dust storm is recognized as a global problem which has a large-scale negative impact on the world. Dust strong winds transport them long distances. The dust storm caused a lot of damage to the economy, health and the environment. Therefore, an adequate understanding of the origin and time of dust storms can be effective in reducing dust damage. The purpose of the ongoing research is to identify the source of the dust storm events. For this purpose, the dust events in a period of 11 years were analyzed using the synoptic meteorological data of Kermanshah. The number of 646 dust storms were identified, and their detection operations and identifying of the areas affected by dust storm and areas of origin were performed using MODIS and Deep Blue. The HYSPLIT was used to route the dust storm and the entry routes of dust storm into the Kermanshah city. Based on the dust codes, the highest number of dust storms per year was registered in 2008 and 2009, respectively. Most dust storms were observed in summer and during May, June and January. The results of DRS, HYSPLIT have shown that the western directions have the largest amount of dust input in Kermanshah, and the MODIS and Deep Blue images also confirm this fact. Overall, the findings showed that most of the routes come from the north and centre of Iraq and the Syrian Desert. Dust storms originate at the border and arid lands of northern and central Iraq and Syria.

Keywords: Remote sensing; HYSPLIT; West of Iran; Source Dust Storm





ردیابی منابع طوفان‌های گردوغبار غرب ایران (مطالعه موردی شهر کرمانشاه)

رسول باقرآبادی^۱، مظاهر معین‌الدینی^{۲*}

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

* نویسنده مسئول: Moeinaddini@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

doi [10.22034/JDMAL.2023.1973881.1402](https://doi.org/10.22034/JDMAL.2023.1973881.1402)

چکیده

طوفان گردوغبار به عنوان یک معضل جهانی که تأثیر منفی گسترده‌ای بر مردم جهان گذاشته است. طوفان گردوغبار مسافت‌های زیادی را طی کرده و موجب خسارت‌های اقتصادی، بهداشتی و محیط‌زیستی گسترده‌ای می‌شود. از این رو، دانش کافی در مورد منشأ و زمان وقوع آنها می‌تواند در کاهش خسارت‌های ناشی از آن موثر باشد. هدف از پژوهش حاضر شناسایی منشأ رخدادهای طوفان گردوغبار شهر کرمانشاه است. به این منظور، رخدادهای گردوغبار در دوره زمانی ۱۱ ساله از داده‌های هواشناسی همدیدی کرمانشاه مورد واکاوی قرار گرفت. تعداد ۶۴۶ رخداد گردوغبار مشخص و آشکارسازی آنها با بهره‌گیری از تصاویر MODIS و Deep Blue انجام شد. برای مسیریابی حرکت گردوغبار و مسیره‌های ورودی آن به داخل شهر کرمانشاه و همچنین مسیره‌های حرکت آن و مناطقی که بیشترین تأثیر را در این زمینه داشتند از مدل HYSPLIT استفاده شد. بر اساس کدهای گردوغباری بیشترین تعداد پدیده گردوغبار به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ ثبت شده است. همچنین بیشترین تعداد روزهای گردوغبار در تابستان و ماه‌های خرداد، تیر و مرداد مشاهده شد. نتایج DRS، HYSPLIT و گل‌طوفان نشان داد جهت‌های غربی بیشترین سهم ورودی گردوغبار را به شهر کرمانشاه دارند؛ تصاویر MODIS و Deep Blue نیز این واقعیت را تصدیق می‌کنند. در کل نتایج نشان داد که بیشتر مسیره‌ها از مناطق شمال غربی و مرکزی عراق و بیابان‌های سوریه و منشأ گردوغبار، مناطق مرزی و خشک شمال و مرکز عراق و سوریه هستند.

واژگان کلیدی: سنجش از دور؛ مدل‌های اسپلیت؛ غرب ایران؛ منابع گردوغبار



■ مقدمه

مشخص شد که اغلب مسیرها مناطق شمالی و مرکزی عراق و سوریه بوده و منشأ طوفان‌های گردوغبار مناطق مرزی بیابانی شمال و سوریه هستند (۹). در مقاله‌ای با استفاده از DRS در شهر قم مشخص شد که منشأ جهتی در بیشتر فصل‌ها از جهت شرق بوده و برای کل دوره زمانی (۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷) نیز جهت شمال شمال شرقی مهم‌ترین و تأثیرگذارترین جهت در بین جهت‌ها است (۲۷). در مطالعه‌ای قابلیت‌های شاخص Deep Blue برای شناسایی طوفان‌های گردوغبار بر روی صحرای آفریقا، مناطق نیمه خشک خاورمیانه و آفریقا مورد بررسی قرار گرفت مشخص گردید شاخص Deep Blue انعطاف پذیری زیادی دارد و برای آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار مناسب است (۳۳). همچنین در بررسی طوفان گردوغبار در هندوچان مشخص شد که بیشتر گردوغبار ورودی به هندوچان از مرکز و شمال عراق و جنوب شرقی سوریه است (۳۸).

در سال‌های اخیر فراوانی و شدت طوفان گردوغبار در غرب ایران افزایش چشمگیری داشته است. شهر کرمانشاه نیز مانند استان‌های غربی و جنوبی کشور تحت تأثیر آثار زینبار این پدیده قرار گرفته است. از این‌رو با توجه به پیامدهای این پدیده بر سلامت و بهداشت، کشاورزی، محیط‌زیست مطالعات دقیق‌تر در مورد یافتن منشأ گردوغبار، شدت و تکرار این پدیده ضرورت دارد. در حالیکه تاکنون مطالعه جامع و کاملی بر روی خصوصیات این پدیده با استفاده از روش‌های مختلف و ترکیب با داده‌های ایستگاه پایش محیط‌زیست صورت نگرفته است. بنابراین در پژوهش حاضر از روش‌های DRS، HYSPLIT و داده‌های عمق نوری هواویز^۲ تصاویر MODIS، Deep Blue استفاده شده است. هدف از پژوهش حاضر تعیین منشأ و مسیر طوفان‌های گردوغبار شهر کرمانشاه با استفاده از مدل HYSPLIT و صحت‌سنجی آن با دیگر روش‌ها و داده‌ها بود.

■ مواد و روش

موقعیت منطقه مورد بررسی

شهر کرمانشاه در مختصات $34^{\circ} 17'$ تا $34^{\circ} 26'$ عرض شمالی و $46^{\circ} 59'$ تا $47^{\circ} 14'$ شرقی در شرق استان کرمانشاه

طوفان‌های گردوغبار توسط سازمان جهانی هواشناسی^۱ به‌عنوان نتیجه بادهای سطحی که مقادیر زیادی ذرات گردوغبار را در هوا بالا می‌برد و دید افقی را کاهش و به کمتر از یک کیلومتر تعریف می‌شود. این پدیده می‌تواند سطح وسیع و مسافت‌های طولانی را پوشش دهد و حتی کشورهای یک قاره را درگیر کند (۶، ۴۲، ۵۵). این پدیده در نتیجه فرسایش شدید بادی در مناطق فرا خشک، خشک و نیمه خشک شکل می‌گیرند و ارتباط نزدیکی با تغییرات آب و هوا دارند (۳۰، ۴۳) و در بسیاری از نقاط جهان گسترش دارند (۳۷). تقریباً ۲۵٪ از طوفان گردوغبار جهان در غرب آسیا تولید می‌شود (۲۴). ایران نیز مانند دیگر کشورهای غرب آسیا به دلیل قرارگرفتن در موقعیت کمربند خشک و نیمه خشک در معرض طوفان‌های گردوغبار محلی و منطقه ای قرار دارد (۵۰). طوفان‌های گردوغبار فراوان ترین نوع هواویز (آئروسول) در سطح جهان هستند و بر سلامت عمومی انسان، اقتصاد، رفاه عمومی جامعه، حاصلخیزی خاک، کشاورزی و محیط زیست تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵، ۳۴، ۴۳، ۵۸). بنابراین شناسایی و نظارت به موقع و دقیق طوفان‌های گردوغبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۶). روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی پراکندگی گردوغبار و تحلیل ردیابی نفوذ گردوغبار استفاده شده است (۱۸، ۲۳). در میان ابزارها، مدل HYSPLIT برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته و پتانسیل برتری از خود نشان داده است (۲۸). بررسی‌های زیادی برای کشف منشأ و تکامل طوفان گردوغبار خاورمیانه و جهان با استفاده از HYSPLIT انجام شده است (۵۹، ۶۰). در تحقیقی که برای بررسی مسیرهای طوفان‌های گردوغبار کرج واقع در استان البرز با استفاده از مدل HYSPLIT مورد بررسی قرار گرفت، به این نتیجه رسیدند که جهت‌های غرب و شمال بیشترین سهم ورودی گردوغبار به شهر کرج را دارند و کشورهای عراق و سوریه میدان‌های اصلی تشکیل گردوغبار به شهر کرج هستند (۱۲). در مطالعه‌ای دیگر، برای تعیین مسیر حرکت ذرات گردوغبار جنوب غرب ایران با استفاده از مدل HYSPLIT

^۲ Aerosol Optical Depth

^۱ World Meteorological Organization (WMO)

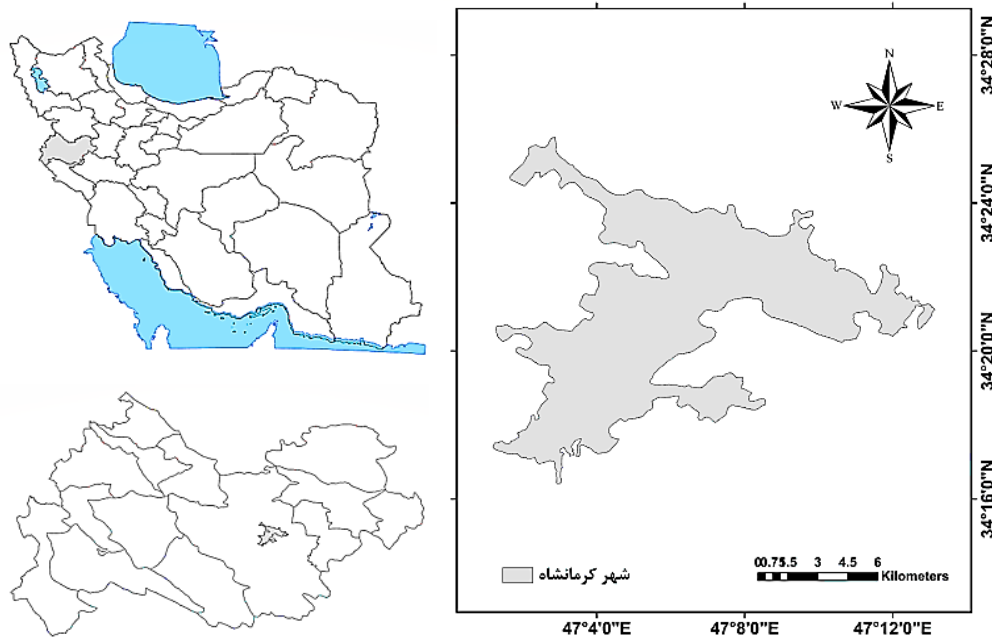
مدل HYSPLIT

در پژوهش حاضر به منظور ردیابی مسیر حرکت گردوغبار از مدل ترکیبی لاگرانژی با امکان ردیابی عقبگرد ذرات در ترازهای مختلف جو موسوم به مدل HYSPLIT استفاده شد. یکی از روش‌های شناسایی منابع گردوغباری علاوه بر تصاویر ماهواره‌ای استفاده از نرم‌افزارها مسیریابی HYSPLIT است که با تقریب خوبی قادر به تشخیص منابع تولید گردوغبار است. این مدل دوگانه برای محاسبه مسیر حرکت گردوغبار، پراکندگی، برای محاسبه مسیرها و پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای پف^۱ و ذرات است که در آن محاسبه مسیر و حرکت طوفان‌ها با استفاده از کمترین متغیرهای هواشناسی انجام می‌شود (۲۳، ۱۳). مدل HYSPLIT یکی از پرکاربردترین مدل‌های است که قادر به برقراری روابط منبع و گیرنده در فواصل طولانی است و قبلاً به طور گسترده برای شناسایی منابع و مسیره‌های انتقال طوفان گردوغبار استفاده شده است. چون مسیره‌ها در ارتفاعات مختلف می‌تواند متفاوت باشد، برای ردیابی به مدت ۷۲ ساعت قبل از ورود به شهر کرمانشاه و به صورت حرکت عقبگرد در سه ارتفاع ۱۰ m، ۵۰۰ m و ۱۰۰۰ m از سطح زمین انجام شد.

و تقریباً در مرکز شهرستان قرار گرفته است. شهر کرمانشاه با جمعیت ۸۵۷۰۴۸ نفر پرجمعیت‌ترین شهر منطقه غرب و شمال غربی کشور و بزرگ‌ترین شهر استان کرمانشاه است. مساحت شهر کرمانشاه ۹۰ km² و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۳۲۲ m است. دارای آب‌وهوای نیمه خشک با میانگین بارندگی سالانه ۴۴۴/۷ mm و میانگین دمای ۱۴/۳°C است (شکل ۱).

داده‌های مورد استفاده

به منظور مطالعه طوفان‌های گردوغبار شهر کرمانشاه، از داده‌های ایستگاه همدیدی در دوره زمانی ۱۱ ساله (۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶) بهره‌گیری شد. در ابتدا داده‌های ساعتی مربوط به پدیده‌های جوی از اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه به فاصله زمانی سه ساعت (هشت بار در شبانه روز) دریافت و سپس، از میان روزهای همراه با طوفان گردوغبار سرعت و جهت باد غالب استخراج شد. کدهای هواشناسی مورد استفاده برای تعیین روزهای همراه با گردوغبار پژوهش حاضر شامل کدهای ۰۶ و ۰۷ است. همچنین برای صحت‌سنجی و رسم نمودارهای مورد استفاده از داده‌های PM₁₀ (ساعتی) ایستگاه سنجش کیفیت هوا اداره کل محیط‌زیست شهر کرمانشاه استفاده گردیده است.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهر کرمانشاه)

^۱ PUFF

Reseize Mosaicking به هم متصل و با استفاده از ابزار Reseize برش داده شد و ترکیب سه باند ۱، ۴ و ۳ که تصویر رنگی از تصاویر MODIS نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر برای صحت سنجی روزهای گردوغبار از داده‌های AOD دو ماهواره اکوا و ترا استفاده شده، داده‌های روزانه AOD شهر کرمانشاه از وبگاه جیووانی ناسا دریافت شده است.

نمودار گل‌طوفان

برای تجزیه و تحلیل داده‌های آماری باد و ترسیم گل‌طوفان از نرم افزار WRPLOT View 5.2.1 استفاده شد. در پژوهش حاضر با استفاده از قابلیت‌های نرم افزار و با در نظر گرفتن سرعت پایه برابر با سرعت آستانه فرسایش بادی می‌توان گل‌طوفان را رسم کرد و آن را به صورت آماری تحلیل کرد (۴۸، ۴۹). برای تعیین رژیم بادی و طبقه‌بندی و توزیع سمت و سرعت بادهای همراه با گردوغبار گل‌غبار در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ استفاده شد.

مدل Directional Relative Strength (DRS)

در پژوهش حاضر همچنین برای تعیین سهم جهت‌های مختلف وزش باد از یک منبع خاص، سهم متوسط منبع از ۱۷ جزء باد از جمله جزء باد آرام با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه محیط‌زیست استفاده شد. سهم نسبی جهتی از یک منبع آلاینده‌های شاخص با استفاده از سهم متوسط آلاینده از ۱۷ جهت باد از جمله جزء باد آرام که از رابطه ۱ محاسبه شد (۱۹، ۴۱):

$$E_{Ki} = \sum_{i=1}^{16} (CK_i \cdot P_{i1}) / \sum_{i=1}^{16} CK_i \quad (1)$$

$$DRS_{ki} = E_{ki} / P_i$$

در رابطه ۱ E_{Ki} مقدار سهم منبع k در جهت باد i است P_{i1} فراوانی باد در طول دوره مورد بررسی در جهت i نمونه است. P_{ii} فراوانی باد در جهت i و DRS_{ki} میزان سهم نسبی جهتی منبع K در جهت i است (۱۹). نتایج بدست آمده برای DRS که در یک دوره زمانی ۱۱ ساله ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ و در بازه‌های زمانی مقرر محاسبه شد که DRS در یک

بررسی طوفان‌های گردوغبار در ارتفاع پایین ارتفاع ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m به دلیل تماس با سطوح زمین برای آشکارسازی منابع گردوغبار بسیار کمک کننده است انتخاب این سطوح ارتفاعی بر اساس روش کار بیشتر محققان (۱۲، ۵۰) بوده است. برای انجام مدل HYSPLIT از داده‌های هواشناسی کرمانشاه که بر اساس کدهای ۰۶ و ۰۷ روزهای همراه با طوفان گردوغبار استفاده شد.

تصاویر MODIS، Deep Blue و داده‌های عمق نوری هواویز
از دو تاریخ ۱۳۹۰/۰۴/۱۳ و ۱۳۹۵/۰۶/۱۸ به عنوان نمونه برای آشکارسازی تصاویر طوفان گردوغبار از MODIS استفاده شده است. همچنین در پژوهش حاضر از داده‌های AOD برای درک بهتری از وضعیت شدت و پراکنش توده گردوغبار استفاده شد. داده‌های AOD از محصولات آئروسول MODIS Collection 6 بر روی زمین از الگوریتم ترکیبی Dark Target و Deep Blue به دست می‌آید AOD در واقع به توزیع آئروسول‌های گردوغبار موجود در جو اشاره دارد. این کمیت وابسته به طول موج، به صورت کاهش نور (میرائی نوری) در واحد طول بر روی مسیر مشخص تعریف می‌شود (۲۱، ۴۷). بر این اساس مقدار AOD برابر با ۰/۴ به عنوان آستانه تشخیص روزهای همراه با گردوغبار استفاده شد (۴، ۱۴، ۲۰). به عبارتی، سلول‌هایی که دارای مقدارهای AOD بیشتر از یک مقدار مشخص (۰/۴) می‌باشند بیانگر وقوع گردوغبار در آن سلول‌ها در همان روز می‌باشد؛ داده‌های AOD استخراج شد^۱. داده‌های MODIS و AOD پوشش مکانی-زمانی گسترده‌ای دارند و به طور گسترده توسط محققان استفاده می‌شوند و توانایی خود را برای نظارت بر طوفان‌های گردوغبار نشان داده‌اند (۴۰). محصولات سنجنده MODIS در سطوح مختلف برای جو، خشکی‌ها و اقیانوس‌ها در دسترس است^۲. با توجه به ماهیت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های ترا و اکوا روش تفسیر چشمی تصاویر با دقت قابل قبولی برای شناخت منشأ، جهت و مناطق تحت تاثیر طوفان‌های گردوغبار دنبال شد. بدین منظور ابتدا تصاویر MODIS را از پایگاه استخراج، سپس در نرم افزار ENVI با استفاده از ابزار

² <https://Ipdaac.usgs.gov>

¹ <https://giovanni.gsfc.nasa.gov>

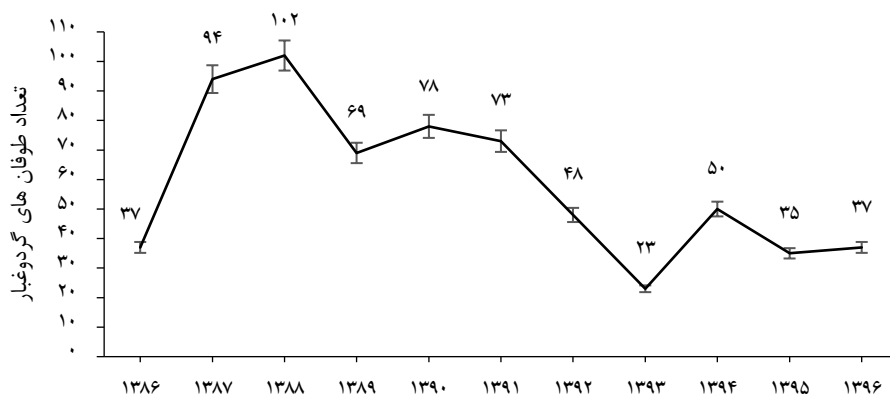
دوره زمانی ۱۱ ساله ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برای شهر کرمانشاه رسم گردیده است.

نتایج

طوفان‌های گردوغبار کرمانشاه طی یک دوره آماری ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ به‌طور سالانه طوفان گردوغبار با کدهای گردوغباری ۰۶ تعداد پنج روز همراه با گردوغبار و ۰۷ تعداد ۶۴۱ روز همراه با گردوغبار استفاده شد. کدهای گردوغبار ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه در بازه فوق در سه دوره ماهانه، فصلی و سالانه مورد بررسی قرار گرفت. در دوره ماهانه کدهای گردوغبار، بر اساس نتایج بیشترین فراوانی طوفان گردوغبار در خرداد، تیر و مرداد رخ داده است و ماه‌های دی، آبان و آذر کمترین فراوانی طوفان‌های گردوغبار را دارند. نوسانات بزرگ سالانه در طوفان‌های گردوغبار مشاهده شد (جدول ۱). فعالیت گردوغبار طی سه دوره از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ رخ داد که معادل ۶۴۶ طوفان گردوغبار بود. اولین دوره سه ساله از ۱۳۸۶ تا ۱۳۸۸ با مجموع ۲۳۳ طوفان گردوغبار، دوره فعالیت

گردوغبار پنج ساله از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۳ با مجموع ۲۹۱ طوفان گردوغبار و دوره سوم فعالیت طوفان گردوغبار سه ساله از ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۶ با مجموع ۱۲۲ طوفان گردوغبار که کم فعال‌ترین دوره در میان سه دوره گردوغباری را دارد. علاوه بر این، نتایج کلی حاکی از روند کاهشی فعالیت گردوغباری از سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۶ بود (شکل ۲).

سال ۱۳۸۸ فعال‌ترین سال در دوره فعالیت شدید گردوغبار در دوره زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ بود که در آن تعداد طوفان‌های ۱۰۲ رخداد گردوغبار بود است (شکل ۲). و پس از سال ۱۳۸۸ سال ۱۳۸۷ با ۹۴ روز بیشترین تعداد روزهای همراه با گردوغبار داشته است و سال ۱۳۹۳ با ۲۳ کمترین میزان روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار را داشته است. در دوره فصلی کدهای گردوغبار در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج داد که فصل تابستان و بهار بیشترین مقدار را دارند، بنابراین با آغاز فصل تابستان میزان گردوغبار افزایشی است و در فصل پاییز و زمستان میزان گردوغبار کاهشی است که همزمان با شروع فصل بارندگی، میزان گردوغبار روند کاهشی دارد (جدول ۱).



شکل ۲. فراوانی روزهای همراه با گردوغبار در طول دوره مورد بررسی

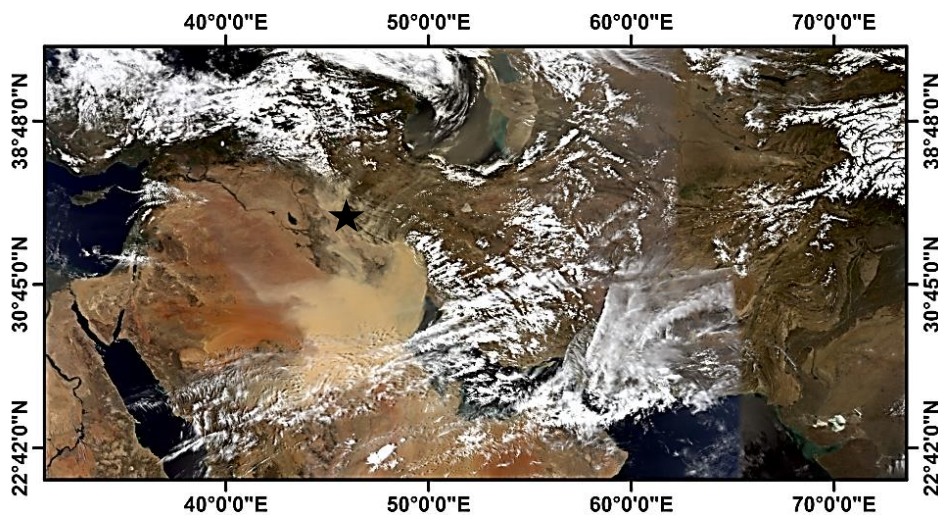
جدول ۱. ماه‌ها و فصل‌های همراه با گردوغبار

فصل	ماه	تعداد طوفان‌های گردوغبار	فصل	ماه	تعداد طوفان‌های گردوغبار
	فروردین	۶۰		مهر	۴۳
بهار (۲۳۶ مورد)	اردیبهشت	۷۴	پاییز (۷۶ مورد)	آبان	۲۶
	خرداد	۱۰۲		آذر	۷
	تیر	۱۱۹		دی	۷
تابستان (۲۸۵ مورد)	مرداد	۱۱۵	زمستان (۴۹ مورد)	بهمن	۴
	شهریور	۵۱		اسفند	۳۸

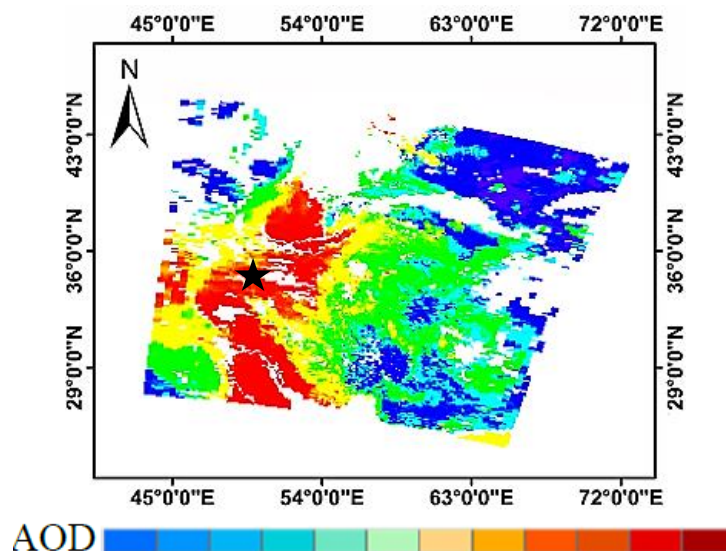
تعداد کل طوفان‌های گردوغبار ۶۴۶ مورد

همچنین نتایج نشان می‌دهد که قدرت طوفان گردوغبار از نظر فضایی ناهمگون است، پوشش‌های توده گردوغبار از جنوب غربی به سمت شمال غربی گسترش یافته و به سمت جنوب غرب، شمال غرب و غرب ایران و از جمله منطقه مورد پژوهش شهر کرمانشاه رسوب کرده است. در تصویر Deep Blue از گردوغبار در تاریخ فوق این واقعیت را به خوبی نشان داد (شکل ۴) و رنگ قرمز نشان از تشکیل پدیده گردوغبار بود. تصویر بعدی گردوغبار که انتخاب شده در تاریخ ۸ خرداد ۱۳۹۴ است طوفان گردوغبار بین کشورهای عراق و سوریه که شامل مناطق بیابانی است پدیدار و پس از عبور از عراق به تدریج به سمت غرب و جنوب ایران حرکت کرده و به کرمانشاه رسیده است.

در پژوهش حاضر برای تفسیر چشمی نحوه تشکیل و ورود طوفان‌های گردوغبار از تصاویر MODIS و Deep Blue در دو تاریخ ۱۳۹۴/۰۳/۰۸، ۱۳۹۰/۰۱/۲۴ به عنوان نمونه موردی از طوفان‌های گردوغبار انتخاب شده‌اند. نحوه نظارت بر طوفان گردوغبار توسط تصویر ترکیب رنگی واقعی MODIS RGB قابل مشاهده بود و می‌توان امتداد توده‌های گردوغبار در حال حرکت به سمت کرمانشاه را مشاهده نمود. تصویر گردوغبار که در ۲۴ فروردین ۱۳۹۰ (شکل ۳) نشان می‌دهد که توده گردوغبار بیش از ۱۰۰۰ km عرض و ۱۰۰۰ km طول داشت به وضوح قابل مشاهده است که بیش از نیمی از منطقه که شامل کشورهای ایران، عربستان، کویت و عراق است توسط طوفان گردوغبار در بر گرفته شده بود.



شکل ۳. تصویر ورود گردوغبار با استفاده از سنجنده MODIS ۱۳۹۰/۰۱/۲۴ (علامت ستاره موقعیت شهر کرمانشاه است)

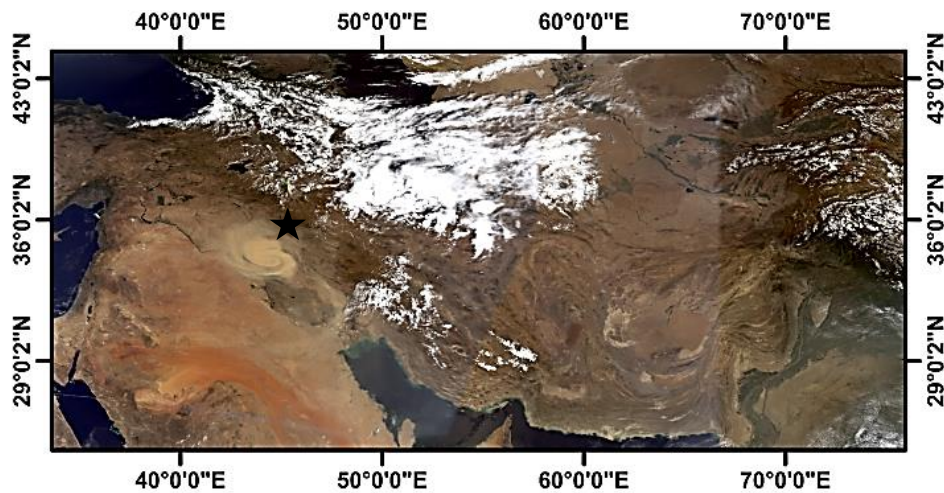


شکل ۴. تصاویر Deep Blue ۱۳۹۰/۰۱/۲۴ (علامت ستاره موقعیت شهر کرمانشاه است) شاخص هر چقدر به سمت ۱ تمایل کند نشان از افزایش غلظت گردوغبار است.

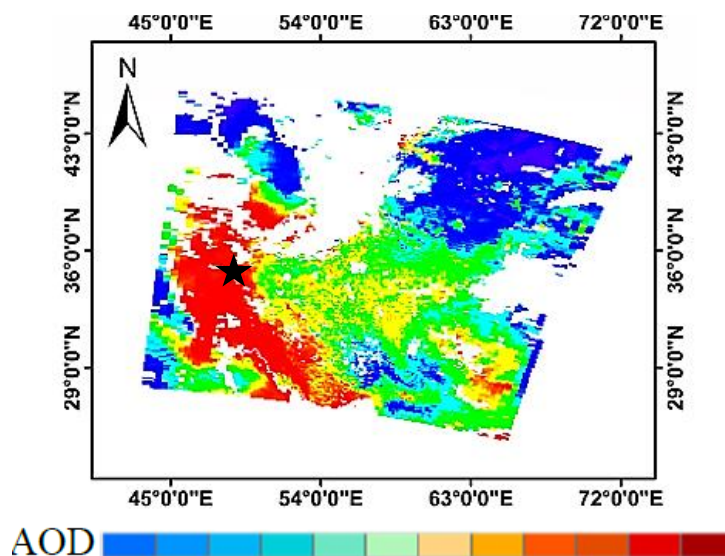
بارندگی و دما ماهانه از همبستگی پیرسون استفاده شده. شرط لازم برای استفاده از همبستگی پیرسون نرمال بودن داده‌ها است از این رو با توجه به نرمال بودن داده‌ها جهت بررسی همبستگی از همبستگی پیرسون استفاده شد. همبستگی بین AOD و دما در طول دوره مورد پژوهش معنی‌دار است $R=0/69$ در حالی که همبستگی بین بارندگی و AOD منفی و معنی‌دار است $R=-0/41$. همچنین به منظور درک بهتر ارتباط بین AOD و دما و بارندگی از رابطه رگرسیون استفاده و نشان داد که گردوغبار در سال-های ذکر شده دارای ارتباط خط مستقیمی با دما و با بارندگی دارای ارتباط خطی معکوس است که با نتایج مطابقت دارد.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که طوفان گردوغبار پوشش وسیعی از مناطق عراق را در بر گرفته است. توده‌های گردوغبار در تصاویر رنگی کاذب قرمز-سبز-آبی از Deep Blue به وضوح به رنگ قرمز در مناطق بیابانی دیده می‌شوند (شکل‌های ۵ و ۶). ویژگی‌های پراکندگی طوفان گردوغبار در تصاویر RGB نمایش داده شده است. مقادیر برای طوفان‌های گردوغبار رخ داده در ۸ خرداد ۱۳۹۴ در مقایسه با طوفان‌های گردوغبار ۲۴ فروردین ۱۳۹۰ کمتر بود.

همبستگی AOD، به همراه بارندگی و دما در سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برای کرمانشاه آورده شده است (شکل ۷). جهت بررسی ارتباط بین گردوغبار و متغیرهای هواشناسی



شکل ۵. تصویر ورود گردوغبار با استفاده از سنجنده MODIS ۱۳۹۴/۰۳/۰۸ علامت ستاره موقعیت شهر کرمانشاه است)



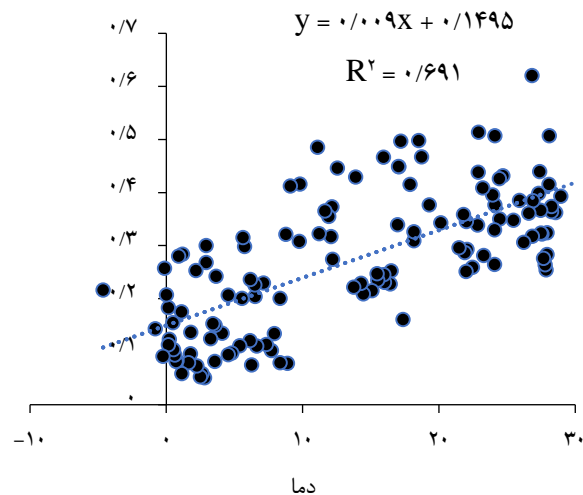
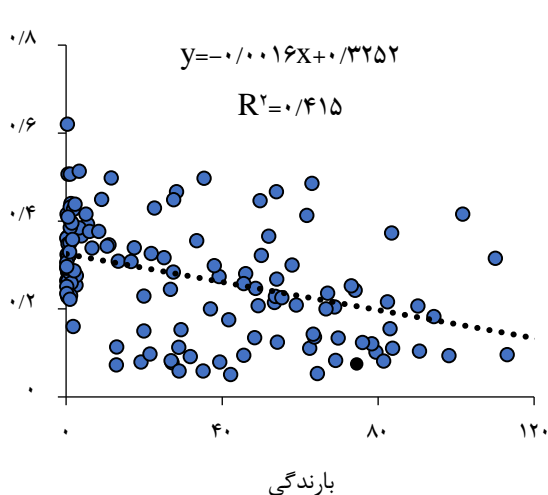
شکل ۶. تصاویر Deep Blue ۱۳۹۴/۰۳/۰۸ (علامت ستاره موقعیت شهر کرمانشاه است) شاخص هر چقدر به سمت ۱ تمایل کند نشان از افزایش غلظت گردوغبار است.

موجب افزایش غلظت طوفان گردوغبار می‌شود. مدت زمان عبور از عراق و سوریه به کرمانشاه نزدیک به ۲ تا ۳ روز می‌باشد. در تاریخ ۸ خرداد ۱۳۸۷ بسته‌های هوایی در ارتفاع ۱۰m از مناطق خشک اردن منشأ گرفته و قبل از رسیدن به کرمانشاه از طریق عراق عبور می‌کند. در ارتفاع ۵۰۰m و ۱۰۰۰m از صحرای عربستان سرچشمه گرفته و از خلیج فارس وارد شده است (شکل‌های ۸ و ۹).

مسیر طوفان گردوغبار توسط مدل HYSPLIT در تاریخ ۵ تیر ۱۳۹۱، ۷۲ ساعت قبل از ورود به کرمانشاه نشان می‌دهد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) که مسیر این طوفان گردوغبار از کشورهای عراق و روسیه بوده است که منابع اصلی گردوغبار و بیشترین سهم طوفان‌های گردوغبار را دارند. زمانی که طوفان‌های گردوغبار در ارتفاع ۱۰۰۰m از شرق سوریه و منطقه غرب عراق می‌گذرد، به سمت جنوب شرقی متمایل شده و گردوغبار را از منطقه عراق به شهر کرمانشاه منتقل می‌کنند. همچنین، بررسی نقشه‌های خروجی از مدل HYSPLIT نشان می‌دهد که طوفان گردوغبار در ارتفاع ۵۰۰m از جنوب کشور عراق می‌گذرد و سپس از منابع گردوغبار خوزستان و ایلام می‌گذرد و از جنوب وارد کرمانشاه می‌شود. از سوی دیگر در ارتفاع ۱۰m طوفان گردوغبار از جنوب از منابع داخلی ایران خوزستان و ایلام وارد کرمانشاه می‌شود.

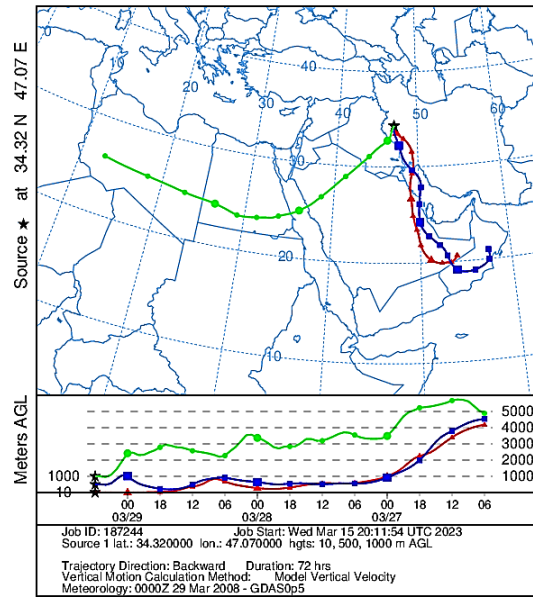
در پژوهش حاضر، منشأ و مسیر طوفان‌های گردوغبار پیش از ورود به کرمانشاه، با استفاده از یک مسیر عقبگرد^۱ استفاده شد. به‌طوریکه با آغاز طوفان گردوغبار در منطقه، مسیر باد تا سه روز قبل از ورود آن با استفاده از مدل HYSPLIT به دست آمده است. مسیر حرکت گردوغبار را در سه سطح ارتفاعی ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m نشان داده شده تا منابع ذرات گردوغبار در هنگام طوفان گردوغبار بر روی کرمانشاه پیدا شود. در مجموع سیر گردوغبار HYSPLIT برای کل ۵۰۹ روز گردوغبار در دوره ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ محاسبه شد. در پژوهش حاضر، تجزیه و تحلیل طوفان گردوغبار بر روی منابع طوفان گردوغبار در تاریخ ۸ خرداد ۱۳۸۷ و ۵ تیر ۱۳۹۱ مورد ردیابی و بررسی قرار گرفت که از شدیدترین طوفان‌های گردوغبار با غلظت بالا در شهر کرمانشاه بوده‌اند.

نتایج مدل HYSPLIT منابع متعدد و مقدار انتقال گردوغبار را که شهر کرمانشاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد را نشان می‌دهد. برای نمونه طوفان گردوغبار ۸ خرداد ۱۳۸۷ منشأ منطقه عربستان سعودی و عراق را برای هر سه سطح نشان می‌دهد که به سمت غرب ایران و شهر کرمانشاه امتداد می‌یابد. بیشتر طوفان‌های گردوغبار قبل از ورود از بین منابع خارجی عراق و عربستان و منابع داخلی خوزستان و ایلام عبور می‌کنند پس از عبور از هسته‌ها و منابع داخلی گردوغبار در شهر کرمانشاه تقویت شده و

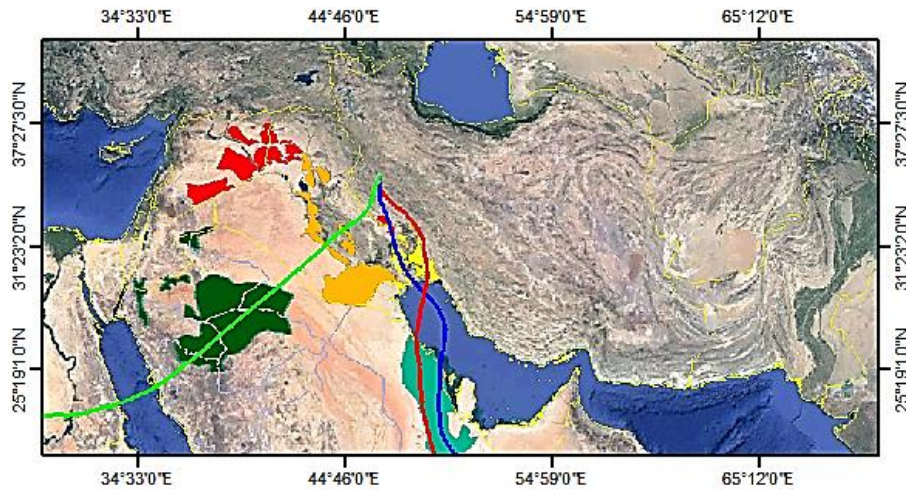


شکل ۷. رابطه رگرسیونی بین بارندگی-AOD و دما

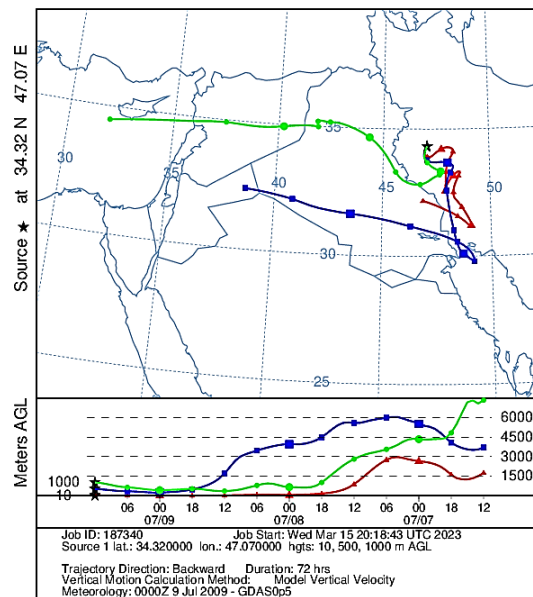
^۱ Backward



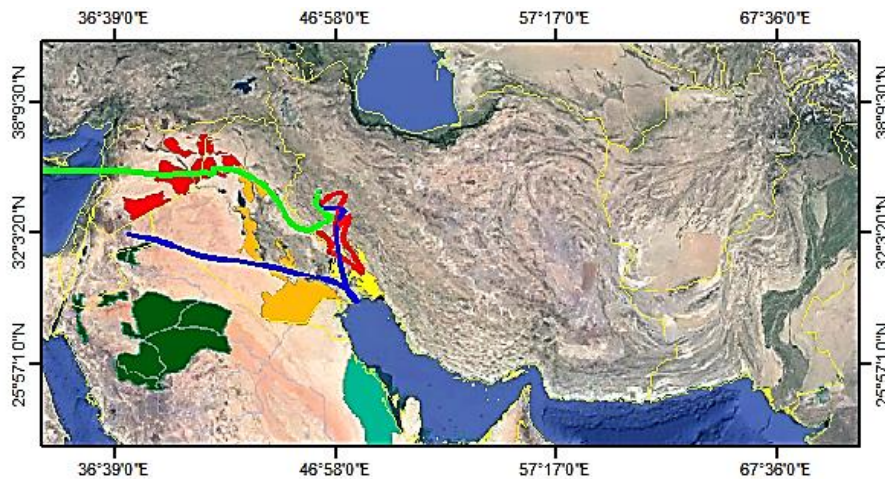
شکل ۸. مسیرهای عقب‌گرد HYSPLIT برای طوفان گردوغبار در تاریخ ۱۳۸۷/۰۳/۰۸



شکل ۹. سه سطح ارتفاعی ۱۰m (قرمز)، ۵۰۰m (سبز)، ۱۰۰۰m (آبی) برای HYSPLIT در تاریخ ۱۳۸۷/۰۳/۰۸



شکل ۱۰. مسیرهای عقب‌گرد HYSPLIT برای طوفان گردوغبار در تاریخ ۱۳۹۱/۰۴/۰۵



شکل ۱۱. سه سطح ارتفاعی ۱۰m (قرمز)، ۵۰۰m (آبی)، ۱۰۰۰m (سبز) برای HYSPLIT در تاریخ ۱۳۹۱/۰۴/۰۵

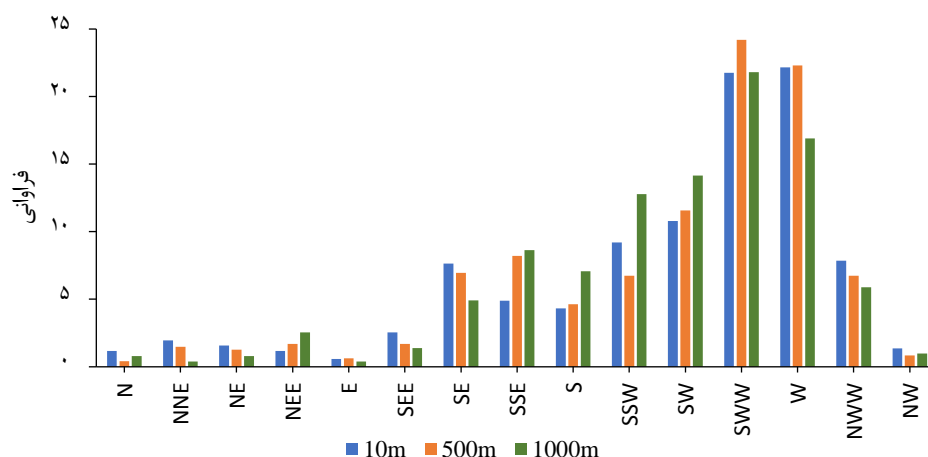
بیشتر طوفان‌های گردوغبار ارتفاع ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m از جهت غرب و شمال غربی از کشورهایمانند عربستان، عراق، سوریه و استان‌های خوزستان و ایلام عبور می‌کند و کمترین سهم ورودی به سمت شمال و شمال شرق است (شکل ۱۲). که احتمال مخلوط شدن طوفان‌های گردوغبار با منابع انسانی شهرها و مناطق مسکونی، شهرک‌های صنعتی و تحت تأثیر قرار گرفتن این ذرات را در طول انتقال را نمی‌توان نادیده گرفت.

منابع گردوغبار خارجی، شناسایی شده (۱۸، ۲۲، ۵۱، ۵۶، ۵۷، ۶۱) منابعی از عراق با شماره‌های منبع ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰ و سوریه ۹ و اردن ۴ و عربستان ۱، ۲، ۳ و منابع گردوغبار در استان‌های خوزستان ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ایلام ۱۴ نمایش داد شده است (شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ جدول ۳). اگرچه تعداد منابع گردوغبار می‌تواند نشانگر مناطق حساس برای تولید گردوغبار باشد، اما نمی‌تواند تنها عامل در شناسایی نقاط تولید کننده گردوغبار باشد. با این حال، منطقه مهم دیگری در عراق و سوریه وجود دارد. که شامل یک منطقه قابل توجهی از تمام منابع گردوغبار شناسایی شد. اگرچه تعداد منابع در این منطقه تکرار بالایی ندارد، اما دارای منطقه وسیعی از منابع گردوغبار است. از طرفی یک منبع، که دارای مساحت وسیعی است، ممکن است نقش مهمی در انتشار طوفان گردوغبار نداشته باشد. بنابراین، تمام نقاط منشأ گردوغبار شناسایی شده طی بازه زمانی بر اساس فراوانی وقوع آنها به دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (شکل‌های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ و جدول ۳).

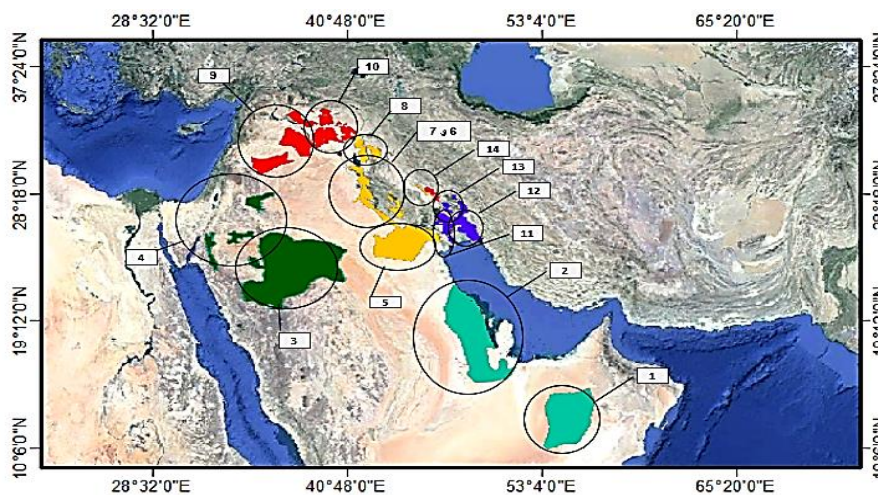
مدل HYSPLIT برای سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به شرح زیر است: بیشترین طوفان گردوغبار مربوط به سال ۱۳۸۸ با ۱۰۲ طوفان گردوغبار و سپس سال ۱۳۸۷ با ۹۴ طوفان گردوغبار و کمترین با ۲۳ طوفان گردوغبار مربوط به سال ۱۳۹۳ است. همچنین در بررسی طوفان‌های گردوغبار ماهانه، بیشترین طوفان‌های گردوغبار در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد کمترین طوفان گردوغبار در آذر، دی و بهمن است. نتایج حاصل از HYSPLIT نشان داد بیشتر گردوغبارها منشأ خارجی دارند و ۵۰۵ طوفان گردوغبار از ۵۰۹ طوفان گردوغبار با منشأ خارجی را تشکیل می‌دهند و شامل ۴ مورد طوفان گردوغبار داخلی است. بیشتر منبع طوفان‌های گردوغبار خارجی و سهم کمتری از منابع داخلی است. برای ارتفاع ۱۰m (جدول ۲) براساس ۱۶ جهت جغرافیایی، بیشترین سهم ورودی گردوغبار به کرمانشاه مربوط به جهت‌های غرب - شمال غرب با ۱۱۳ مورد ۲۲/۱٪ ورودی گردوغبار و غرب با ۱۱۱ مورد ۲۱/۷٪ ورودی گردوغبار است که مهم‌ترین جهت‌های ورود گردوغبار به شهر کرمانشاه هستند و کمترین سهم ورودی در جهت‌های شرقی-جنوب شرقی، شمالی، شمال شرقی و شمال-شمال غربی است. در ارتفاع ۵۰۰m (جدول ۲) بیشترین سهم ورودی مربوط به جهت‌های غرب با ۱۱۵ مورد ۲۴/۳٪ و غرب شمال غرب با ۱۰۶ مورد ۲۲/۳٪ است. در ارتفاع ۱۰۰۰m (جدول ۲) جهت‌های غرب با ۱۱۱ مورد ۲۱/۸٪ و شمال غرب غربی ۸۶ مورد ۱۶/۸٪ بیشترین سهم را دارند (جدول ۲). بنابراین

جدول ۲. فراوانی طوفان‌های گردوغبار بر اساس جهت جغرافیایی و سه سطح ارتفاعی ۱۰۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m

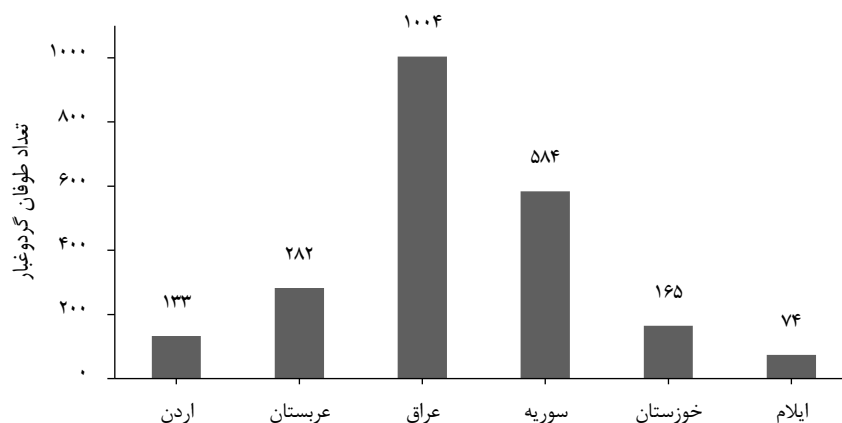
جهت جغرافیایی	۱۰m	در صد فراوانی ۱۰m	۵۰۰m	در صد فراوانی ۵۰۰m	۱۰۰۰m	در صد فراوانی ۱۰۰۰m
N	۵	۰/۹۸	۳	۰/۶۳	۳	۰/۵۸
NNE	۶	۱/۱۷	۲	۰/۴۲	۴	۰/۷۸
NE	۱۰	۱/۹۶	۷	۱/۴۷	۲	۰/۳۹
NEE	۸	۱/۵۶	۶	۱/۲۶	۴	۰/۷۸
E	۶	۱/۱۷	۸	۱/۶۸	۱۳	۲/۵۵
SEE	۳	۰/۵۸	۳	۰/۶۳	۲	۰/۳۹
SE	۱۳	۲/۵۴	۸	۱/۶۸	۷	۱/۳۷
SSE	۳۹	۷/۶۴	۳۳	۶/۹۴	۲۵	۴/۹۱
S	۲۵	۴/۹۰	۳۹	۸/۲۱	۴۴	۸/۶۴
SSW	۲۲	۴/۳۱	۲۲	۴/۶۳	۳۶	۷/۰۷
SW	۴۷	۹/۲۱	۳۲	۶/۷۳	۶۵	۱۲/۷
SWW	۵۵	۱۰/۷	۵۵	۱۱/۵	۷۲	۱۴/۱
W	۱۱۱	۲۱/۷	۱۱۵	۲۴/۲	۱۱۱	۲۱/۸
NWW	۱۱۳	۲۲/۱	۱۰۶	۲۲/۳	۸۶	۱۶/۸
NW	۴۰	۷/۸۴	۳۲	۶/۷۳	۳۰	۵/۸۹
NNW	۷	۱/۳۷	۴	۰/۸۴	۵	۰/۹۸



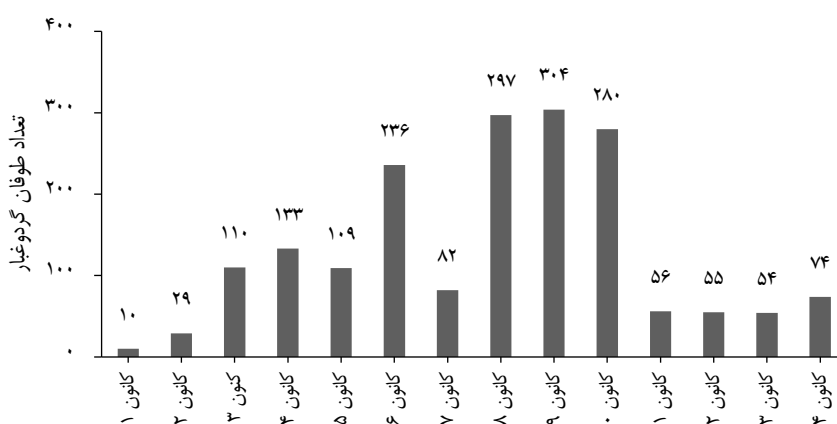
شکل ۱۲. فراوانی طوفان‌های گردوغبار بر اساس جهت جغرافیایی و سه سطح ارتفاعی ۱۰۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m



شکل ۱۳. منابع تولید کننده داخلی و خارجی گردوغبار



شکل ۱۴. منابع تولید کننده داخلی و خارجی گردوغبار



شکل ۱۵. منابع تولید کننده داخلی و خارجی گردوغبار

جدول ۳. فراوانی طوفان‌های گردوغبار از منابع داخلی و خارجی

منابع داخلی	منابع خارجی	داخلی خارجی
منبع ۱۴	منبع ۱	منابع
منبع ۱۳	منبع ۲	تعداد عبور از
منبع ۱۲	منبع ۳	روی منابع
منبع ۱۱	منبع ۴	
منبع ۱۰	منبع ۵	
منبع ۹	منبع ۶	
منبع ۸	منبع ۷	
منبع ۷	منبع ۸	
منبع ۶	منبع ۹	
منبع ۵	منبع ۱۰	
منبع ۴	منبع ۱۱	
منبع ۳	منبع ۱۲	
منبع ۲	منبع ۱۳	
منبع ۱	منبع ۱۴	

در استان ایلام و در نهایت منابع ۱، ۲ در بخش‌های شرقی عربستان کمترین میزان تولید گردوغبار را دارند. یکی از عوامل موثر بر وقوع طوفان‌های گردوغبار، سرعت باد است. سرعت باد بیش از مقدار آستانه منجر به تعلیق یا خزش ذرات می‌شود. باد می‌تواند طوفان‌های گردوغبار را با توجه به اندازه، شکل و چگالی ذرات و شرایط آب و هوایی، می‌تواند آنها را در فواصل طولانی از مبدأ منتقل کرد. از آنجایی که تجزیه و تحلیل داده‌های بادسنجی برای ارزیابی و تشخیص طوفان گردوغبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار

منابع در جنوب منبع ۵ و غرب منابع ۶، ۸ و ۹ عراق و در نواحی شرقی سوریه منبع ۹ قرار دارند، بیشترین فراوانی را در بین سایر منابع گردوغبار به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر این، در طبقه‌بندی بعدی مناطق، برخی از نقاط منبع ۱ غرب عربستان و منبع ۴ اردن و منبع ۵ جنوب عراق و منبع ۷ غرب عراق با فراوانی بیشتر وجود دارد که تعداد قابل توجهی از منابع گردوغبار را دارا هستند. سپس منابع گردوغبار منابع ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ که از منابع داخلی ایران هستند، منابع ۱۱، ۱۲ و ۱۳ در استان خوزستان و منبع ۱۴

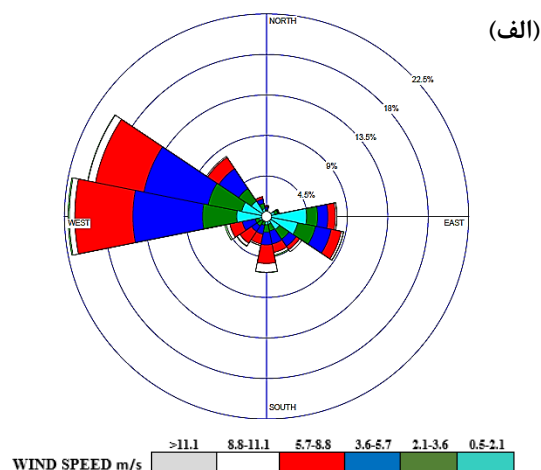
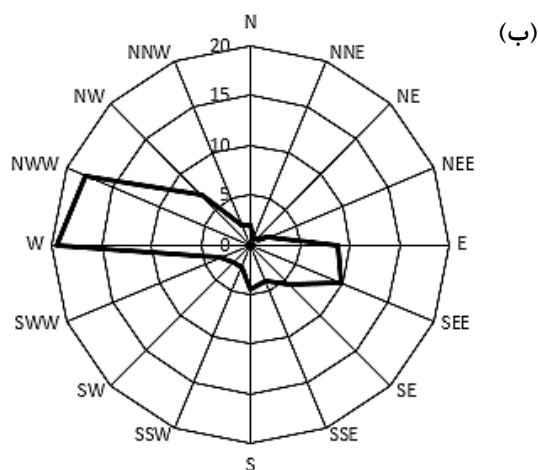
■ بحث و نتیجه‌گیری

طوفان‌های گردوغبار یک مشکل راهبردی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک است که می‌تواند بر بسیاری از جنبه‌های مختلف زندگی انسان تأثیر به‌گذارند (۳) و با توجه به پیامدهای طوفان‌های گردوغبار و خطرات ناشی از آن برای شهروندان، پژوهش گردوغبار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. بنابراین، در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی شهر کرمانشاه، تصاویر ماهواره‌ای DRS و HYSPLIT به بررسی طوفان‌های گردوغبار پرداخته شد.

در پژوهش حاضر نتایج کدهای ۰۶ و ۰۷ گردوغبار در دوره زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه نشان می‌دهد که بیشترین مقدار وقوع گردوغبار در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ و ماه‌های خرداد، تیر و مرداد رخ داده است. همچنین فصل تابستان بیشترین وقوع گردوغبار را دارد که به دلیل گرمای بیش از حد و از دست دادن رطوبت سطحی خاک و وزیدن بادهای گرم و خشک و گذر آنها از روی بیابان عراق و سوریه است. اما در فصل‌های پاییز و زمستان با توجه به شروع فصل بارندگی، میزان وقوع گردوغبار کاهش چشمگیری داشته است که با نتایج محققان (۲۹، ۳۶، ۳۹، ۵۲، ۴۰) مطابقت دارد و داده‌های AOD نیز این واقعیت را تصدیق می‌کند. در پژوهش حاضر شناسایی منبع و شبیه‌سازی مسیر طوفان‌های گردوغبار بر فراز کرمانشاه از مدل HYSPLIT برای طوفان گردوغبار مورد بررسی قرار گرفته است.

است، بنابراین در پژوهش حاضر، از داده‌های ایستگاه همدیدی کرمانشاه در بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ برای ترسیم گل‌طوفان استفاده شده است سرعت 11m/s به‌عنوان سرعت آستانه در نظر گرفته شد. از این‌رو با توجه به اینکه شناسایی و جداسازی بادهای طوفانی و شدید در مطالعات فرسایش بادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بررسی دقیق‌تر و درک بهتر این بادهای در منطقه مورد پژوهش با ترسیم گل‌طوفان حاصل شد. از تفاوت‌های نمودار گل‌طوفان با گلباد در این است که در نمودار گل‌طوفان فقط از روزهای همراه با گردوغبار که دارای کدهای گردوغباری ۰۶ و ۰۷ هستند استفاده می‌شود ولی در نمودار گلباد از تمام روزهای سال استفاده می‌شود و در آن تفکیکی وجود ندارد.

نمودار گل‌طوفان ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ در ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه رسم شد (شکل ۱۶ الف). در طول سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ بیشترین جهت ثبت شده در ایستگاه کرمانشاه سمت غرب 270° و شمال غرب-غربی 300° بود. مهمترین جهت‌های بعدی از سمت شرق 90° به سمت شهر کرمانشاه می‌وزد. همچنین مدل DRS شهر کرمانشاه برای بازه زمانی ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ رسم شد. نتایج با توجه به شکل ۱۶ ب نشان می‌دهد که جهت شمال غربی-غرب و غرب دارای بیشترین تأثیر در بین دیگر جهت‌ها هستند که این واقعیت را نشان می‌دهد که سهم هر بخش باد از میزان گردوغبار ورودی برابر و همسو نیستند و جهت‌های غرب و شمال غرب-غربی جهت‌های ورود گردوغبار به منطقه مورد پژوهش یعنی شهر کرمانشاه هستند.



شکل ۱۶. الف. گل‌طوفان شهر کرمانشاه ب. DRS شهر کرمانشاه

خشکسالی است بررسی‌های مشابه دیگری نیز ارتباط بین افزایش غلظت ذرات با افزایش دمای محیط و به تبع آن کاهش بارندگی و کاهش رطوبت نسبی را عنوان کرده‌اند (۴۱، ۴۶، ۵۳). در حالیکه همبستگی بین مقدار بارندگی و AOD معنی‌دار است و این دو متغیر با هم مرتبط هستند. افزایش رطوبت هوا با کاهش غلظت گردوغبار دارای ارتباط معنی‌داری است به‌طوری‌که با افزایش رطوبت غلظت گردوغبار به همان نسبت کاهش می‌یابد که این به دلیل جذب رطوبت توسط ذرات و سنگین تر شدن و ته نشینی آنها است. دمای زیاد، بارندگی کم و بادهای شدید شرایط آب و هوایی مناسب برای توسعه طوفان‌های گردوغبار در منطقه هستند که با نتایج (۱، ۷، ۱۰، ۲۶، ۲۵، ۳۶، ۴۷) این پژوهش همسو است. نتایج حاصل از پژوهش گل طوفان و DRS نشان داد که جهت‌های شمال‌غربی-غرب و غرب در انتقال ذرات گردوغبار بسیار تأثیر گذار هستند که با نتایج (۱۲، ۵۴، ۵۸) همسو است و نتایج HYSPLIT نیز این موضوع را تصدیق می‌کند. بنابراین می‌توان گفت که جهت اصلی ورود گردوغبار به کرمانشاه از جهت شمال غرب و شمال غرب و کشورهای سوریه و عراق به‌عنوان منابع اصلی گردوغبار در کرمانشاه هستند که با نتایج (۵، ۹، ۱۵، ۱۷، ۱۵، ۳۵، ۴۴، ۴۷، ۵۵) که ورود طوفان‌های گردوغبار را از سمت شرق سوریه و غرب عراق به‌ویژه در مناطق مرزی این دو کشور را دلیل عمده وقوع طوفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب عراق می‌دانند مطابقت و همخوانی دارد.

نتایج نشان داد که در ارتفاع ۱۰m، ۵۰۰m و ۱۰۰۰m بیشترین سهم ورود گردوغبار به کرمانشاه در جهت‌های اصلی شمال غرب غربی و غرب است که از روی کانون‌های اصلی گردوغبار در عراق و سوریه می‌گذرد. بنابراین بررسی ارتفاع گردوغبار نشان داد که ذرات گردوغبار در لایه‌های بالایی به سمت غرب ایران سرازیر شده و در سطوح پایین به کرمانشاه می‌رسد. همچنین بیشترین تعداد طوفان‌های گردوغبار شبیه‌سازی شده از عراق و سوریه آغاز شده است که با نتایج مطالعه‌ای (۲، ۵، ۸، ۱۵، ۴۵، ۵۳، ۵۵) همسو است که جهت غربی را جهت اصلی ورود گردوغبار در نظر گرفته‌اند. برای نمایش گردوغبار تشکیل شده و ورود آن به کشور از جمله شهر کرمانشاه از سنجنده MODIS و Deep BLUE در دو تاریخ ۱۳۹۰/۰۱/۲۴، ۱۳۹۴/۰۳/۰۸ استفاده شده است که نشان‌دهنده ورود گردوغبار از سمت کشورهای عراق، سوریه و عربستان است که منشأ گردوغبارهای خارجی را تشکیل داده‌اند. که شهر کرمانشاه در دو تاریخ ذکر شده همراه با وقوع دو طوفان گردوغبار شدید همراه بوده است. که با کد ۰۶ ایستگاه همدیدی شهر کرمانشاه که منشأ فرا محلی خارج از کشور را نشان می‌دهد. برای درک علل تغییرات روند شدت طوفان‌های گردوغبار در کرمانشاه بین سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶، پژوهش حاضر به بررسی پارامترهای موثر بر پیدایش گردوغبار از جمله بارندگی، دما پرداخته شد نتایج نشان می‌دهد که AOD نسبت به دما در فصل گرم همبستگی مثبت دارد، علت آن تولید بیش از حد گردوغبار به دلیل کاهش رطوبت و پدیده

■ References

1. Afzali, A., Rashid, M., Sabariah, B., & Ramli, M. (2014). PM10 pollution: its prediction and meteorological influence in Pasir Gudang, Johor. *Earth and environmental science: Conference Series*, 18(1), 012100.
2. Ahmadi-Molaverdi, M., Jabbari, I., & Fathnia, A. (2020). Identification, evaluation and the management of dust sources in western Iran. *Physical Geography Research*, 52(3), 445-465. (in Farsi)
3. Al-Ameri, I. D., Briant, R. M., & Engels, S. (2019). Drought severity and increased dust storm frequency in the Middle East: a case study from the Tigris-Euphrates alluvial plain, central Iraq. *Weather*, 74(12), 416-426.
4. Al-Dabbagh, S. K. (2020). The use of aerosol optical properties in identification of dust sources in Iraq. *Physics: Conference Series*, 1660(1), 012049.

5. Alizadeh, T., Rezaie Banafsheh, M., & Sharifi, R. (2021). Detection and simulation of dust storm in different levels of Kermanshah atmosphere using HYSPLIT and WRF-chem models Case Study: Dust Storm October 26-28, 2018. *Environmental Science Studies*, 6(4), 4266-4279. (in Farsi)
6. Al-Khalidi, J., Bakr, D., & Abdullah, A. A. (2021). Synoptic analysis of dust storm in Iraq. *Environment Asia*, 14(1), 13-22.
7. Amgalan, G., Liu, G. R., Kuo, T. H., & Tang-Huang, L. (2017). Correlation between dust events in Mongolia and surface wind and precipitation. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 28(1), 24-32.
8. Ansari, A., & Jamshidi, R. (2018). Identification of sources and tracking dust storm routes entering from domestic sources to Arak metropolitan using HYSPLIT model. *Environmental Sciences*, 16(1), 101-110. (in Farsi)
9. Arami, S. A., Karimi Sangchini, E., & Dinarvand, M. (2022). Tracking severe dust storms phenomenon in southeast Iran by using HYSPLIT. *Application of Geography information system and remote sensing in planning*, 13(1), 7-17. (in Farsi)
10. Bagherabadi, R. (2021). Analysis the change trend dust events and its relationship with SPI index (case study: Ahvaz). *Geography and Human Relationships*, 4(3), 224-237. (in Farsi)
11. Bagherabadi, R. (2022). Assessment of tropospheric NO₂ changes in Kermanshah using OMI sensor and its relationship with meteorological parameters. *Environmental Research and Technology*, 9(6), 129-142. (in Farsi)
12. Bagherabadi, R., & Moeinaddini, M. (2021). Dust storms directional source identification of Karaj. *Climate Research*, 12(47), 141-155. (in Farsi)
13. Behyar, M. B. (2015). Zoning risk degree of climatic phenomena and dust storms in roads network of the country using satellite data. *Geographical Researches*, 30(2), 103-112.
14. Bogan, M. A. B., Kul, S., Zengin, S., Oktay, M., Sabak, M., Gumusboga, H., & Bayram, H. (2021). The effects of desert dust storms, air pollution, and temperature on morbidity due to spontaneous abortions and toxemia of pregnancy: 5-year analysis. *Biometeorology*, 65(10), 1733-1739.
15. Broomandi, P., Dabir, B., Bonakdarpour, B., & Rashidi, Y. (2017). Identification of dust storm origin in South–West of Iran. *Environmental Health Science and Engineering*, 15(1), 1-14.
16. Butt, M. J., & Mashat, A. S. (2018). MODIS satellite data evaluation for sand and dust storm monitoring in Saudi Arabia. *Remote Sensing*, 39(23), 8627-8645.
17. Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., & Zhou, N. (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502, 224-235.
18. Cao, H., Liu, J., Wang, G., Yang, G., & Luo, L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Arid Land*, 7(5), 567-578.
19. Chan, Y. C., Hawas, O., Hawker, D., Vowles, P., Cohen, D. D., Stelcer, E., Simpson, R., Golding, G., & Christensen, E. (2011). Using multiple type composition data and wind data in PMF analysis to apportion and locate sources of air pollutants. *Atmospheric Environment*, 45(2), 439-449.
20. Ciren, P., & Kondragunta, S. (2014). Dust aerosol index (DAI) algorithm for MODIS. *Geophysical Research: Atmospheres*, 119(8), 4770-4792.
21. Dagsson-Waldhauserova, P., Magnusdottir, A. Ö., Olafsson, H., & Arnalds, O. (2016). The spatial variation of dust particulate matter concentrations during two Icelandic dust storms in 2015. *Atmosphere*, 7(6), 1-12.
22. Darvishi Bolorani A, Nabavi SM, Bahrami, H. A., Mirzapour, F., Kavosi, M., Abasi, E., Azizi R. (2014). Investigation of dust storm entering the west of Iran using remotely sensed data and synoptic analysis. *Environmental Health Science and Engineering*, 1(12), 1-12.
23. Draxler, R. R., & Rolph, G. D. (2010). HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), NOAA Air Resources Laboratory. *Journal of Silver Spring, MD*, 25.

24. Ebrahimi-Khusfi, Z., Taghizadeh-Mehrjardi, R., & Mirakbari, M. (2021). Evaluation of machine learning models for predicting the temporal variations of dust storm index in arid regions of Iran. *Atmospheric Pollution Research*, 12(1), 134-147.
25. Farsani, M. H., Shirmardi, M., Alavi, N., Maleki, H., Sorooshian, A., Babaei, A., Asgharnia, H., Marzouni, M & Goudarzi, G. (2018). Evaluation of the relationship between PM10 concentrations and heavy metals during normal and dusty days in Ahvaz, Iran. *Aeolian Research*, 33, 12-22.
26. Fengmei, Y., & Chongyi, E. (2010). Correlation analysis between sand-dust events and meteorological factors in Shapotou, Northern China. *Environmental Earth Sciences*, 59(6), 1359-1365.
27. Ghouchizadeh, A., Moeinaddini, M., Shahbazi, R., Ahmadi, N., & Navour, N. M. (2018). Study of the importance of quaternary dust sources emission on Qom air quality. *Quaternary*, 3, 341-360. (in Farsi)
28. Givchchi, R., Arhami, M., & Tajrishy, M. (2013). Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran. *Atmospheric Environment*, 75, 287-295.
29. Goudarzi, G., Daryanoosh, S., Godini, H., Hopke, P., Sicard, P., De Marco, A., Rad, H. D, Harbizadeh, A., Jahedi, F., Mohammadi, M, Savari, J., Sadeghi, S., Kaabi, Z., & Omodi Khaniabadi, Y. (2017). Health risk assessment of exposure to the Middle-Eastern Dust storms in the Iranian megacity of Kermanshah. *Public Health*, 148, 109-116.
30. Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). Desert dust in the global system. *Springer Science & Business Media*.
31. Hamzehee, M. R., Babaei, M. H., & Papzan, A. (2021). Zoning of dust-affected areas in Kermanshah province. *Geography and Environmental Planning*, 32(4), 107-134. (in Farsi)
32. Hejazi, A., Mobasheri, M.R., & Majidi, D., (2014). Using satellite images to calculate atmospheric visibility. *Climate Research*, 5(17), 47-56. (in Farsi)
33. Hsu, N. C., Jeong, M. J., Bettenhausen, C., Sayer, A. M., Hansell, R., Seftor, C. S., Huang, J., & Tsay, S.C. (2013). Enhanced Deep Blue aerosol retrieval algorithm: The second generation. *Geophysical Research: Atmospheres*, 11, 1-14.
34. Hu, T., Wu, D., Li, Y., & Wang, C. (2017). The effects of sandstorms on the climate of Northwestern China. *Advances in Meteorology*, 2017. 1-15.
35. 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(9), 1301-1311.
36. Jamshidi, A., Karimzadeh, K., & Raiganshirazi, A. (2006). Investigation of suspended particles pollution in Gachsaran air. *Armaghan of Danesh*, 12(2), 89-97.
37. Javadian, M., Behrangi, A., & Sorooshian, A. (2019). Impact of drought on dust storms: case study over Southwest Iran *Environmental Research Letters*, 14(12), 1-9.
38. Jooybari, S. A., Peyrowan, H., Rezaee, P., & Gholami, H. (2022). Evaluation of pollution indices, health hazards and source identification of heavy metal in dust particles and storm trajectory simulation using HYSPLIT model (Case study: Hendijan center dust, southwest of Iran). *Environmental Monitoring and Assessment*, 194(2), 1-17.
39. Karegar, E., Hamzeh, N. H., Jamali, J. B., Abadi, A. R. S., Moeinaddini, M., & Goshtasb, H. (2019). Numerical simulation of extreme dust storms in east of Iran by the WRF-Chem model. *Natural Hazards*, 99(2), 769-796.
40. Kim, J. (2008). Transport routes and source regions of Asian dust observed in Korea during the past 40 years (1965–2004). *Atmospheric Environment*, 42(19), 4778-4789.
41. Lau, A. K. H., Yuan, Z., Yu, J. Z., & Louie, P. K. K. (2010). Source apportionment of ambient volatile organic compounds in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 408(19), 4138-4149.
42. Li, X., & Song, W. (2009). Dust storm detection based on Modis Data. *Geo-spatial Solutions for Emergency Management: Conference Series*, 16(9), 01720.

43. Miri, A., Maleki, S., & Middleton, N. (2021). An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of the Total Environment*, 757(1), 1-13.
44. Mohammadi, F., Kamali, S., & Eskandary, M. (2016). Tracing dust sources in different atmosphere levels of Tehran using hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory (HYSPLIT) model. *Geography and Environmental Hazards*, 4(4), 39-54. (in Farsi)
45. Nabi Bidhendi, G., Javanmard, S., Zehtabian, G., & Mousavi, S. M. (2021). Application of WRF-Chem and HYSPLIT models in the study of Dust Hotspot and path (Cases study: The dust storm on September, 2015 in the metropolitan Tehran). *Meteorology and Atmospheric Science*, 4(1), 30-44. (in Farsi)
46. Naddafi K, Ehrampush MH, Jafari V, Nabizadeh Nodehi R, Yonesyan M. (2008). Investigation of total suspended particles and its ingredients in the central part of Yazd. *University of Medical Sciences Health Services of Shahid Sadoughi Yazd*, 16(4), 21-25. (in Farsi)
47. Namdari, S., Valizade, K. K., Rasuly, A. A., & Sari Sarraf, B. (2016). Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), 1-11.
48. Nazari Samani, A., Dadfar, S., & Shahbazi, A. (2013). A study on dust storms using wind rose, storm rose and sand rose (Case study: Tehran province). *Desert*, 18(1), 9-18.
49. Omidvar, K., & Nekoonam, Z. (2011). An application of wind rose and dust rose in the analysis of dust phenomenon and determining the seasonal regime of dust winds (case study: Sabzevar city). *Physical Geography Research Quarterly*, 43(76), 85-104. (in Farsi)
50. Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Rautenbach, C. D., Eriksson, P. G., Qiang, M., & Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, 5, 51-62.
51. Rasooli, A., Sarisarraf, B., & Mohamadi GhH. (2010). Analysis of dust phenomenon occurrence trend in west part of country over the past 55 years by using non-parametric statistics. *Natural Geography*, 3(9), 15-28. (in Farsi)
52. Rezazadeh, M., Irannejad, P., & Shao, Y. (2013). Climatology of the Middle East dust events. *Aeolian Research*, 10, 103-109.
53. Rostami, D., & Hosseini, S A. (2018). Analysis and tracking dust phenomenon in south and southeast of Iran by using HYSPLIT model and the principles of remote sensing. *Isaeh*, 5(3), 103-119. (in Farsi)
54. Sabr, A., Moeinaddini, M., & Azarnivand, H. (2018). Effects of land use/cover changes on Tehran's air quality. *Environmental Sciences*, 16(3), 79-100. (in Farsi)
55. Salahi, B., Nohegar, A., & Behrouzi, M. (2019). Tracking of dust at levels of atmospheric in Sanandaj Using HYSPLIT model in order to manage environmental hazards. *Geography (Regional Planning)*, 9(2), 83-95. (in Farsi)
56. Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Jafarzade Haghhighifard, N., Naimabadie, A., Mahmoudian, M., Saki, H., Sowlat, M. H., Soleimani, Z., Naddafi, K. (2011). Dust Storms: Environmental and Health impacts. *North Khorasan University of Medical Sciences*, 2(4), 45-56. (in Farsi)
57. Sissakian, Varoujan, Nadhir Al-Ansari, & Sven Knutsson. (2013). Sand and dust storm events in Iraq. *Natural Science*, 5, 84-94.
58. Yahya, B. M., & Seker, D. Z. (2019). The impact of dust and sandstorms in increasing drought areas in Nineveh province, north-western Iraq. *Asian and African Studies*, 54(3), 346-359.
59. Yang, H., Fang, Z., Cao, Y., Xie, C., Zhou, T., Wang, B., Xing, K., & Lolli, S. (2021). Impacts of transboundary dust transport on aerosol pollution in the western Yangtze River delta region, China: insights gained from ground-based lidar and satellite observations. *Earth and Space Science*, 8(3), 1-17.
60. Yassin, M. F., Almutairi, S. K., & Al-Hemoud, A. (2018). Dust storms backward Trajectories and source identification over Kuwait. *Atmospheric Research*, 212(4), 158-171.
61. Zolfaghari, H., & Abedzadeh, H. (2005). Synoptic analysis of dust systems in West Iran, *Geography and Development*, 3(6), 173 - 188. (in Farsi)