



Research Article

Origin and path of horizontal dust storms with less than 1000 meters visibility in southwest Iran

Zainab Mohammadi¹, Hassan Lashkari^{*1}

1- Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 22 Jul 2023 Accepted: 26 Dec 2023

Extended Abstract

Introduction

The formation and occurrence of any climatic phenomenon require conditions that, when the sum of these atmospheric and environmental conditions occur simultaneously, make it possible for the phenomenon to form and occur. Depending on the type of phenomenon, some of these atmospheric or environmental factors are formed in the atmosphere alone, while others are formed in the physical environment under it. A phenomenon like a dust storm is a combined atmospheric-environmental phenomenon. The existence of dry and highly fragmented soils provides favorable conditions for the rise of dust. For this reason, dry deserts, bare plains with soft and granular soils are always prone to this phenomenon as sources of dust production. Therefore, physical substrates with this feature should always be studied and investigated as potential places for dust phenomenon to occur. What is related to atmospheric conditions, severe instabilities without moisture or with little moisture are the basis of dust storms. This weather pattern is more likely to appear in arid and semi-arid climates. It is not possible to control or change the structure of atmospheric phenomena with current human technology. Therefore, the best way to reduce the effects of destructive phenomena such as dust storms in a geographical area is to first identify the source and path of dust storms.

Materials and Methods

The selected study area for this research is the southwest of Iran, an area that has experienced an increasing trend in the frequency and intensity of dust storms in recent decades. The study area includes the three provinces of Kohgiluyeh, Boyer Ahmad, Chaharmahal and Bakhtiari. In the first step of the research, all synoptic stations with complete statistics for 33 years (1986-2019) in the study area were identified and extracted. In the second step, using the data (number of reports of dust phenomenon (nhz), number of reports with dust phenomenon (ndu), number of reports with sand and dust storm phenomenon (nbdu), wind speed and horizontal visibility less than 1000 meters and codes (06.07, 08.09, 30.31, 32.33, 34.35, 98) days with dust were extracted from the data of Meteorological Organization.

Citation: Mohammadi, Z. and Lashkari, H., 2024. Origin and path of horizontal dust storms with less than 1000 meters visibility in southwest Iran, *Res. Earth. Sci.* 15(2), (57-76) DOI: 10.48308/esrj.2024.104490

* Corresponding author E-mail address: h-lashkari@sbu.ac.ir





In the next step, using the website [<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT>, ↗] (<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT>,) the origin of dust storms in the southwest of Iran was plotted using the backward method from the GDAS data system with a resolution of 0.5 degrees. This data is available from 2007. Therefore, for all the dust reports with the above characteristics from each of the sample stations, the origin of the storm has been determined.

Results and Discussion

Statistical analysis of dust storm reports from selected stations showed that 3027 cases of dust storm have been reported during the 33-year statistical period from a total of selected stations. In terms of monthly distribution, the months of January, February and December respectively have reported the highest number of dust storms. In terms of seasonal distribution, the highest number of pollen reports were from winter (1153 cases, 38.1%) and spring (711 cases, 23.5%) respectively. The highest number of dust storms was reported from the two dry years of 2008 (225 cases) and 2009 (243 cases). In terms of stations, the highest number of dust storms was reported from Ahvaz and Abadan stations.

Based on the routing performed in this study, the input dust storms came from six areas: Iraq (from four parts), eastern Mediterranean countries, Saudi Arabia, central and northeast Africa, distant sources in eastern Europe, and local sources within the study area. The origin of 93.25% of the input dust storms to the study area was from sources in central Iraq, and about 20% of the dust storms originated from eastern Mediterranean countries, while 16% of the dust storms were from local sources in Khuzestan province. The origin of dust storms in high-altitude stations in the eastern part of the study area, such as Shahr-e Kord, Yasuj, and Kuhrang, was from distant sources in Syria and Jordan or northeastern Africa.

Conclusion

Given that, 84% of the dust storms entering the region originate from outside the border. Considering that the two sources of the west and the center of Iraq are the source of 35% of the storms entering the region. Diplomatic efforts for the cooperation of the country of Iraq to stabilize the soil in these resources are very necessary.

Keywords: Dust storm, Southwest of Iran, Dust sources, HYSPLIT.



منشأ و مسیر حرکت طوفان‌های گردو خاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر جنوب غرب ایران

زینب محمدی^۱، حسن لشکری^{۱*} 

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵

چکیده گسترده

مقدمه

شکل‌گیری و وقوع هر پدیده اقلیمی مستلزم شرایطی است که وقتی مجموع آن شرایط جوی و محیطی هم‌زمان رخ می‌دهد، امکان شکل‌گیری و وقوع آن پدیده فراهم می‌شود. بسته به نوع پدیده، پاره‌ای از این عناصر یا عوامل در جو شکل گرفته و پاره‌ای نیز در محیط فیزیکی زیر آن فراهم می‌شود. پدیده‌ای مانند توفان گردو خاک، به پدیده ترکیبی جوی - محیطی هست. در نتیجه، عوامل یا عناصر جوی به تنهایی قادر به شکل‌گیری چنین پدیده‌ای نخواهند بود. در این پدیده مخاطره‌آمیز، شرایط محیطی نقش غیرقابل‌انکاری در تبدیل یک ناپایداری شدید به یک توفان گردو خاک دارد. وجود خاک‌هایی با گسستگی بالا و خشک، شرایط مستعدی را برای خیزش گردو خاک فراهم می‌کند. به همین دلیل بیابان‌های خشک، دشت‌های برهنه با خاک‌های نرم و دانه‌ریز همواره به‌عنوان چشمه‌های تولید گردو خاک، مستعد وقوع چنین پدیده‌ای هستند؛ بنابراین، بسترهای فیزیکی با این ویژگی، همواره به‌عنوان مکان‌های بالقوه برای وقوع پدیده گردو خاک باید مورد مطالعه و بررسی قرار بگیرند. آنچه به شرایط جوی مربوط می‌شود، ناپایداری‌ها شدید فاقد رطوبت یا با رطوبت اندک زمینه‌ساز توفان‌های گردو خاک هستند. این الگوی جوی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک امکان بروز و ظهور بیشتری دارند. امکان کنترل یا تغییر ساختار پدیده‌های جوی با فناوری فعلی بشر ممکن نیست. در نتیجه، بهترین شیوه برای کاهش اثرات و سازگاری با پدیده‌های مخربی همچون توفان‌های گردو خاک در یک منطقه جغرافیایی، در قدم اول شناسایی منشأ و مسیر عبور توفان‌های گردو خاک است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی انتخابی برای این تحقیق جنوب غرب ایران است. منطقه‌ای که پدیده گردو خاک در دهه‌های اخیر، هم از لحاظ فراوانی وقوع و هم از لحاظ شدت، روندی افزایشی داشته است. با توجه به مشابهت ویژگی‌های توپوگرافیکی مشابه بخش شرقی استان خوزستان با استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال و بختیاری و همچنین ساختار مشابه سامانه‌های اقلیمی که این منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، منطقه مطالعاتی سه استان فوق انتخاب گردیده است. در گام اول تحقیق تمام ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مطالعاتی که دارای آمار کامل ۳۳ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۹) بوده‌اند شناسایی و استخراج گردید. در گام دوم با استفاده از داده‌های (تعداد گزارش‌ها پدیده غبار (nhz)، تعداد گزارش‌ها همراه با پدیده گردو خاک (ndu)، تعداد گزارش‌ها همراه با پدیده طوفان شن و گردو خاک (nbdu)، سرعت باد و دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر و کدهای (۰۶۰۷، ۰۸۰۹، ۳۰۳۱، ۳۲۳۳، ۳۴۳۵، ۹۸) روزهای همراه با گردو خاک از داده‌های سازمان هواشناسی استخراج گردید.

استناد: محمدی، ز. و لشکری، ح.، ۱۴۰۳. منشأ و مسیر حرکت طوفان‌های گردو خاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر جنوب غرب ایران، پژوهش‌های دانش زمین: ۱۵(۱)، (۵۷-۷۶)، DOI: 10.48308/esrj.2024.104490

E-mail: h-lashkari@sbu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



در گام بعد، با استفاده از سایت <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT> با روش (Backward) از سامانه داده‌های GDAS با گام ۰/۵ درجه منشأ طوفان‌های گردوخاک جنوب غرب ایران ترسیم گردید. این داده‌ها از سال ۲۰۰۷ موجود است. لذا برای تمام گزارش‌های گردوخاک با مشخصات فوق از هر یک از ایستگاه‌های نمونه منشأ یابی توفان صورت گرفته است.

نتایج و بحث

بررسی آماری گزارش‌های گردوخاک از ایستگاه‌های انتخابی نشان داد که در دوره آماری ۳۳ ساله ۳۰۲۷ مورد توفان گردوخاک از مجموع ایستگاه‌های انتخابی گزارش شده است. از لحاظ پراکنش ماهانه، ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر به ترتیب بالاترین تعداد توفان گردوخاک گزارش شده است. از لحاظ توزیع فصلی نیز بیشترین تعداد گزارش گردوخاک به ترتیب از فصول زمستان (۱۱۵۳ مورد ۳۸/۱ درصد) و بهار (۷۱۱ مورد ۲۳/۵ درصد) بوده است. بالاترین تعداد توفان گردوخاک از دو سال خشک ۲۰۰۸ (۲۲۵ مورد) و ۲۰۰۹ (۲۴۳ مورد) گزارش شده است. از لحاظ ایستگاهی، بالاترین تعداد توفان گردوخاک از ایستگاه‌های اهواز و آبادان گزارش شده است. براساس مسیریابی‌های انجام شده در این تحقیق، توفان‌های گردوخاک ورودی، از شش منطقه زیر بوده است:

کشور عراق (از چهار بخش)، کشورهای شرق دریای مدیترانه، عربستان، مرکز و شمال شرق آفریقا، منابع دوردست شرق اروپا و منابع محلی در درون منطقه مطالعاتی.

منشأ ۲۵/۹۳ درصد توفان‌های گردوخاک ورودی به منطقه، از منابع مرکز کشور عراق و منشأ حدود ۲۰ درصد توفان‌های گردوخاک از کشورهای حاشیه شرقی دریای مدیترانه و ۱۶ درصد توفان‌های گردوخاک نیز از منابع داخلی استان خوزستان بوده‌اند. منشأ توفان‌های گردوخاک ایستگاه‌های مرتفع شرق منطقه مطالعاتی همانند شهرکرد، یاسوج و کوهرنگ از منابع دوردست سوریه و اردن یا منابع شمال شرق آفریقا بوده است.

نتیجه‌گیری

با عنایت به این که، سرچشمه ۸۴ درصد توفان‌های گردوخاک ورودی به منطقه منشأ فرامزی دارند. با توجه به این که دو منبع غرب و مرکز عراق منشأ ۳۵ درصد از توفان‌های ورودی به منطقه می‌باشند، تلاش‌های دیپلماتیک برای همکاری کشور عراق برای تثبیت خاک در این منابع ضرورت صدچندان پیدا می‌کند.

واژگان کلیدی: توفان گردوخاک، جنوب غرب ایران، چشمه‌های گردوخاک، HYSPLIT.

مقدمه

پایین بودن سطح فناوری در این کشورها برای مقابله یا سازگاری با پدیده طوفان‌های گردوخاک و بسیاری از علل و عوامل دیگر این پدیده را به یک مخاطره تبدیل نموده است. کشور ایران نیز با توجه به شرایط اقلیمی و محیط طبیعی از جمله کشورهایی است که از گذشته‌های دور با این پدیده دست به گریبان بوده است. لذا پدیده طوفان‌های گردوخاک و گردوغبار یک پدیده نوظهور در این کشور نیست. ولی مسئله در ابتدا افزایش در فراوانی این پدیده در کشور در سال‌های اخیر و دوم ظهور و افزایش وقوع این پدیده در مناطقی از کشور است که در گذشته‌های نه چندان

طوفان گردوخاک همواره به‌عنوان یک پدیده جوی مخاطره‌آمیز و محدود کننده برای همه گونه فعالیت‌های انسانی و محیط طبیعی و انسانی است. همه‌ساله در مناطق مختلف جهان خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی فراوان و غیرقابل جبرانی به بار می‌آورد. به‌طور طبیعی این پدیده اقلیمی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک ظهور و بروز بیشتری از اقلیم‌های مرطوب دارد. بیابان‌های گسترده و فاقد پوشش گیاهی مناسب، استفاده نامطلوب از زمین و کاربری‌های ناسازگار با اقلیم منطقه،

دور، پدیده طوفان گردوخاک یک پدیده اتفاقی بوده است. منطقه جنوب غرب کشور به دلیل شرایط پوشش گیاهی و جنگلی و شرایط اقلیمی نسبتاً پربارش در قیاس با سایر نقاط کشور، در گذشته نه چندان دور کمتر با این پدیده مواجه بوده‌اند. البته مفروضاتی همچون پدیده تغییرات اقلیمی، تغییر در کاربری اراضی اتفاق افتاده در کشورهای هم‌جوار و سایر عوامل اتفاق افتاده در سال‌های اخیر را نیز در نظر گرفت. مطالعات زیادی در زمینه طوفان‌های گردوخاک در کشور و دنیا انجام شده است. ژیلت (Gillette, 1981) در کتاب خود تحت عنوان خاستگاه، خصوصیات و تأثیرات گردوغبار صحرا بر انسان به نقش اندازه‌گیری شار عمودی ذرات کوچک‌تر از 0.2 میلی‌متر بالاتر از خاک‌های در حال فرسایش، افزایش شدید تولید گردوغبار با سرعت باد اشاره می‌کند. نیپرتز و فینک (Knippertz and Fink, 2006) در مطالعه‌ای به جنبه‌های همدیدی و دینامیکی وقوع گردوغبارهای شدید در صحرا پرداختند و نتایج مطالعات ایشان نشان داد که همگرایی در ترازهای بالا، فرورفتگی و واگرایی شدید در ترازهای پایین و واچرخندی شدید از شمال غربی آفریقا باعث جریان قوی شمالی و گسترش سریع جبهه گردوغبار به جنوب و غرب شده است. فتاحی و همکاران (Fatahi et al, 2012) به بررسی همدیدی گردوغبارهای جنوب غرب ایران پرداختند و ویژگی روزهای همراه با گردوغبار را استقرار یک کم فشار بر روی شبه‌جزیره عربستان در تراز دریا معرفی کردند. حمیدی و همکاران (Hamidi et al, 2013) به تحلیل همدیدی طوفان‌های گردوغبار خاورمیانه پرداختند. تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که علت اصلی طوفان‌های گردوغباری در دجله و دشت آبرفت فرات از مرکز عراق به غرب، مرکز و شمال ایران و سواحل جنوبی دریای خزر گسترش یافته است. سیساکیان و همکاران (Sissakian et al, 2013) به بررسی طوفان‌های شن و گردوغبار در عراق پرداخت از مطالعه وی چنین نتیجه گرفته شد که یکی از دلایل اصلی توسعه طوفان‌های شن و گردوغبار تغییرات آب و هوایی در منطقه است، به‌ویژه کاهش شدید نرخ سالانه باران، علاوه بر تغییرات محیطی، مانند خشک شدن باتلاق‌ها، تخریب زمین و بیابان‌زایی. از دلایل محلی، مهم‌ترین دلیل، راندگی و عملیات نظامی تصادفی، به‌ویژه در کویر جنوبی عراق است. کومار و همکاران (Kumar et

al, 2014) اثرات آئروسول‌های گردوغبار بر روی شیمی ترپوسفری در طی طوفان گردوغبار قبل از فصل موسمی بررسی کردند و بیان داشتند که برای بهبود دقت و ضرایب جذب واکنش‌پذیر، رطوبت نسبی و پردازش جوی ذرات گردوغبار ضروری است. سائو و همکاران (Cao et al, 2015) مطالعه‌ای بر روی گردوغبارهای ایران انجام دادند و باتلاق‌های حور العظیم و هویزه را منبع اصلی گردوغبار اعلام کردند که به دلیل تخریب سریع زمین (عوامل طبیعی و انسانی) دچار مشکل شده‌اند را بحرانی دانستند و بیان کردند که در آینده این مناطق خشک خواهد شد. وانگ و همکاران (Wang et al, 2017) نیز به جای فرکانس طوفان گردوغبار (DSF) که اغلب به‌عنوان یک شاخص اولیه برای درک ویژگی‌های منطقه طوفان گردوغبار استفاده می‌شود، شاخص جدید فرکانس و مناطق شیوع یک طوفان ریز گرد (DSE) را با توجه به عواملی از جمله سمت باد، جهت باد و تنوع فضایی در طی یک‌روند طوفان ریز گرد تعریف کردند و با مقایسه این دو شاخص با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی شمال چین، DSE را شاخص بهتری برای شناسایی واقعیت فرکانس وقوع و منطقه وقوع دانستند. از جدیدترین مطالعات انجام شده در سال ۲۰۲۰ می‌توان به تحقیقات (Attiya and Jones, 2020) اشاره کرد. آن‌ها به بررسی اقلیم‌شناسی وقایع گردوغبار عراق طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۵ پرداختند و نتایج تحقیقات ایشان بیانگر آن بود که گردوغبار در تابستان در مقایسه با سایر فصول برای منطقه شمالی عراق فعال‌تر بود، درحالی که مناطق جنوبی و مرکزی عراق در معرض بیشترین فراوانی طوفان‌های گردوغبار در بهار و تابستان قرار دارند. شهرهای نزدیک مناطق کویری (به‌عنوان مثال ناصریه، بصره و بغداد) از بیشترین فراوانی برخوردار هستند. ژو و همکاران (Xu et al, 2020) به شناسایی و تحلیل کمی مسیرهای گردوغبار در کریدور هکسی پرداختند و سهم مسیرهای گردوغبار در سین کیانگ و مغولستان کمتر است، به دلیل پوشش گیاهی بالاتر، بارش بیشتر و اندازه ذرات بیشتر. از میان پنج منطقه اصلی که منطقه هکسی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، شدت گردوغبار در کویر تاکلیماکان بیشترین است. با این حال، سهم گردوغبار آن در منطقه مورد مطالعه کمتر است. الخدر و الکندری (AlKheder and AlKandari, 2020) به بررسی تأثیر گردوغبار در عملیات فرودگاه

حمل شده و طوفان‌های گردو خاک شکل می‌گیرد. بنابراین شناسایی مناطق یا چشمه‌های تولید گردو خاک یا ماسه از مهم‌ترین اقدامات برای برنامه‌ریزی تثبیت خاک در مقابل تندبادها است.

مواد و روش‌ها

منطقه انتخاب شده برای این تحقیق جنوب غرب ایران است. این منطقه یکی از مهم‌ترین مناطق جمعیتی، اقتصادی، صنعتی و کشاورزی ایران و غرب آسیا است. هرگونه مخاطره اقلیمی می‌تواند اثر نامطلوبی بر فعالیت‌های فوق داشته باشد. پدیده گردو خاک در این منطقه از کشور ایران که به نوعی بیانگر شرایط ایجاد شده در منطقه غرب آسیا است، در سال‌های اخیر تشدید شده است. این مسئله علاوه بر آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی، سلامت ساکنین منطقه را با خطر جدی مواجه کرده است. این تحقیق به دنبال شناسایی منشأ و مسیر حرکت این طوفان‌ها است. تا با شناسایی چشمه‌های تولید گردو خاک، مدیران را در جهت مقاوم‌سازی و عملیات تثبیت خاک یاری نماید. شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی و پراکنش ایستگاه‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

این تحقیق در گام‌های اجرایی زیر انجام شده است:

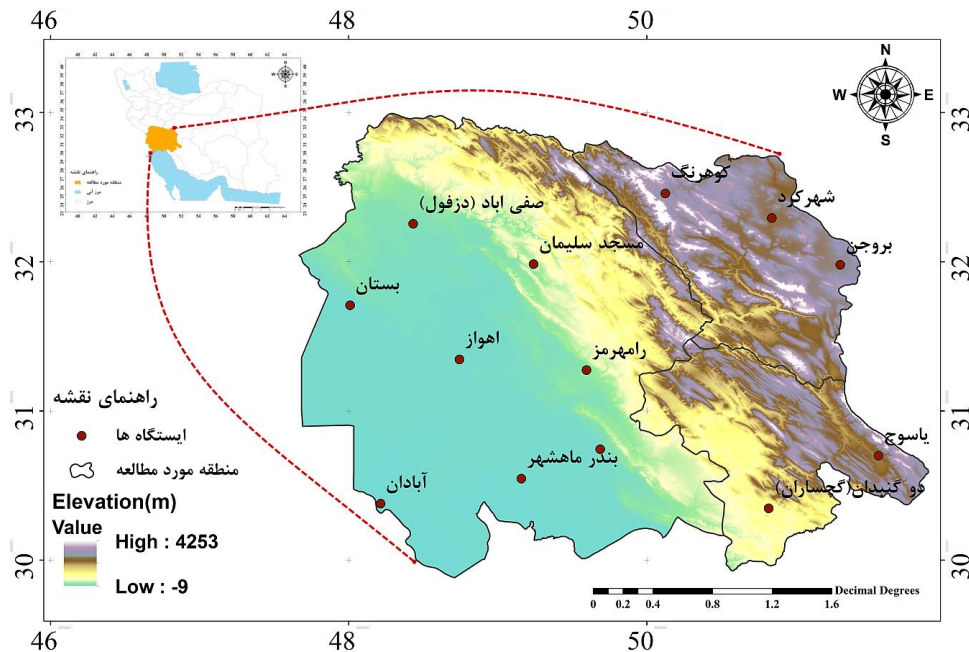
۱) ابتدا منطقه جغرافیایی تحقیق انتخاب گردید. جنوب غرب ایران از جمله مناطقی بود که به دلیل مسائل مختلف اجتماعی و اقتصادی، محیط طبیعی آن دچار تغییرات عظیمی گردید. این پدیده و تغییرات محیطی ایجاد شده در سرزمین‌های فرامرزی، پدیده توفان‌های گردو خاک به عنوان یک پدیده نوظهور پدیدار شده و به تدریج سیر صعودی پیدا کرد. طوری که بسیاری از فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی تحت‌الشعاع این پدیده قرار گرفت. منطقه انتخاب شده شامل استان‌های خوزستان، کهگیلویه و بویر احمد و چهارمحال و بختیاری است.

۲) جهت انتخاب ایستگاه‌های نمونه، داده‌های گردو خاک تمام ایستگاه سینوپتیک سه استان فوق از سازمان هواشناسی ایران دریافت شد. با توجه هدف مطالعه، که بررسی روند تغییرات پدیده گردو خاک شدید در سه سیکل خورشیدی اخیر (پایه آماری ۳۳ ساله) ۱۳ ایستگاه از ایستگاه‌های فوق، دارای شرایط موردنظر بودند. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های انتخابی را نشان می‌دهد.

بین‌المللی کویت برای سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ پرداختند و نتایج نشان داد که میانگین زمان ورود و خروج، در روزهایی که گردو غبار رخ داده است، به ترتیب ۴۲ و ۱۷/۲ روز در مقایسه با روزهای مرجع کاهش یافته است. کسوفی و همکاران (Khsufi et al, 2020) به بررسی تغییرات مکانی و فصلی گردو غبار شن و ارتباط آن‌ها با شرایط جوی و پوشش گیاهی در مناطق نیمه‌خشک مرکز ایران پرداختند و نتایج نشان داد که شدت گردو غبارها با بادهای سطحی فصل تابستان ارتباط مثبت و معناداری را دارد. مطالعاتی که از لحاظ زمانی و مکانی به بررسی پدیده گردو غبار پرداختند شامل مطالعات حسینی و همکاران (Hosseini et al, 2018) بابایی فینی و همکاران (Babaei Fini et al, 2013)؛ مدبارپور و همکاران (Madbarpour et al, 2017)؛ اصغری پوده و همکاران (Asghari PODEH et al, 2014)؛ آرامی و همکاران (Arami et al, 2017)؛ فرج زاده و علیزاده (Farajzadeh and Alizadeh, 1390) از جمله مطالعاتی که بادید مسیریابی و منشأ یابی به رخداد پدیده گردو غبار پرداختند، شامل مطالعات مک‌گرنند و کریک (McGrand and Crick, 2008)؛ لشکری و کیخسروی (Lashkari and Keikhosravi, 2010)؛ اندیش (Andish, 2017)؛ محمودی مهپاش و سوری (Mahmoudi Mehparash and Suri, 2019)؛ مبارک حسن و همکاران (Mubarak Hassan et al., 2018)؛ عزیزی و همکاران (Azizi et al, 2013)؛ ناصرپور و ضیاییان (Nasserpour and Ziaian, 2015)؛ رایگانی (Raygani, 2018)؛ صحت و کاشانی (Saht and Kashani, 2012)؛ صلاحی و بهروزی (Salahi and Behrouzi, 2019)؛ ریوندی و همکاران (Riwandi et al, 2012)؛ دمیزاده و همکاران (Demizadeh et al, 2019)؛ جعفری و همکاران (Jaafari et al, 2019) است. با توجه به این‌که تغییر ساختار دینامیکی و همدیدی سامانه‌های جوی منجر به خیزش گردو خاک خارج از توان تکنیکی بشر است. در نتیجه به لحاظ اقلیمی، نمی‌توان از وقوع طوفان‌های گردو خاک جلوگیری کرد. بهترین گزینه تثبیت و مقاوم‌سازی خاک چشمه‌های تولید گردو خاک است. اصولاً وقتی سرعت باد در ترازهای زیرین از حد معینی بالاتر می‌رود بر چسبندگی دانه‌های خاک یا ماسه غلبه کرده و ذرات به حرکت واداشته می‌شوند. در نهایت این ذرات معلق در جو به وسیله جریان‌های جوی به نقاط دورتر

(nbdu)، سرعت باد و دید افقی و کدهای (۰.۸، ۰.۹، ۰.۶، ۰.۷)، ۳۰.۳۱، ۳۲.۳۳، ۳۴.۳۵، ۹۸) از داده‌های سازمان هواشناسی استخراج گردید. جدول ۲ نمونه‌ای از کدهای مرتبط با گردوخاک و گردوغبار را نشان می‌دهد.

۳) داده‌های ۱۳ ایستگاه همدیدی با دوره آماری ۳۳ ساله مرتب گردید. سپس داده‌های (تعداد گزارش‌ها پدیده غبار (nhz)، تعداد گزارش‌ها همراه با پدیده گردوخاک (ndu)، تعداد گزارش‌ها همراه با پدیده طوفان شن و گردوخاک



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های انتخابی در جنوب غرب ایران.

جدول ۱: ایستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش و موقعیت جغرافیایی آن‌ها.

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	آبادان	۳۰/۳۷	۴۸/۲۱	۶/۶
۲	اهواز	۳۱/۳۴	۴۸/۷۴	۲۲/۵
۳	بندر ماهشهر	۳۰/۵۴	۴۹/۱۵	۶/۲
۴	بروجن	۳۱/۹۷	۵۱/۳۹	۲۲۶۰
۵	بستان	۳۱/۷۰	۴۸/۰۱	۷/۸
۶	دو گنبدان	۳۰/۳۴	۵۰/۸۱	۷۲۶
۷	کوهرنگ	۳۲/۴۵	۵۰/۱۲	۲۳۶۵
۸	مسجد سلیمان	۳۱/۹۸	۴۹/۲۴	۳۲۰/۵
۹	امیدیه (آغاجری)	۳۰/۷۴	۴۹/۶۸	۲۷
۱۰	رامهرمز	۳۱/۲۷	۴۹/۵۹	۱۵۰/۵
۱۱	صفی‌آباد (دزفول)	۳۲/۲۵	۴۸/۴۳	۸۲/۹
۱۲	شهرکرد	۳۲/۲۹	۵۰/۸۳	۲۰۴۸/۹
۱۳	یاسوج	۳۰/۶۹	۵۱/۵۵	۱۸۱۶/۳

منبع: (سازمان هواشناسی کشور)

جدول ۲: کدهای سازمان جهانی هواشناسی مرتبط با فرسایش بادی و پدیده‌های گردوغبار

کد	وضعیت
۰۶	مه ناشی از گردوغبار
۰۷	غبار یا شن بر خواسته از زمین
۰۸	طوفان گردوغبار
۰۹	طوفان گردوغبار اتفاق افتاده در گذشته (اتفاق افتاده در یک ساعت قبل از مشاهده ایستگاه)
۳۰	گردوغبار خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش دید کمتر از ۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۲۰۰ متر

گردوغبار پایدار یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش دید کمتر از ۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۲۰۰ متر	۳۱
شروع یا افزایش گردوغبار خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش دید کمتر از ۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۲۰۰ متر	۳۲
طوفان گردوغبار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر	۳۳
طوفان گردوغبار پایدار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر	۳۴
شروع یا افزایش طوفان گردوغبار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر	۳۵
رعدوبرق با گردوغبار و یا طوفان شن و ماسه	۹۸

منبع: لوینگ سا و همکاران (Loingsigh et al, 2014)

استفاده از سایت HYSPLIT وجود نداشت. به این ترتیب فقط برای ۳۳ روز (نمونه مطالعاتی) امکان ترسیم نقشه منشأ وجود داشت.

(۱۲) پس از بررسی همه hysplit ها، مشخص شد که طوفان‌های گردوغبار از ۷ چشمه اصلی که عموماً بر روی سه کشور (عراق، عربستان و سوریه) قرار دارند، منشأ می‌گیرند.

(۱۳) پرتکرارترین چشمه‌های تولید گردو خاک در این سه کشور شامل (شرق، مرکز و غرب عراق، بخش شرق و شمال سوریه، شمال غرب عربستان، می‌باشند. برای نمایش چشمه‌های تولید گردو خاک نقشه‌های توپوگرافی این کشورها تهیه شده و محدوده بیابان‌ها بر روی آن‌ها نشان داده شده است.

(۱۴) در نهایت نقشه منشأ و مسیرهای عبور طوفان‌ها یک‌بار براساس مناطق تولید گردو خاک (مبدأ) و یک‌بار براساس ایستگاه‌های دریافت‌کننده گردو خاک در محیط نرم‌افزار ArcGis10.6 ترسیم شده است.

بحث و نتایج

گردوغبار، گردو خاک و طوفان شن از پدیده‌های جوی است که، حاصل عملکرد مشترک عوامل محیطی و انسان است. محیط تخریب شده توسط انسان و مستعد خیزش گردو خاک و شرایط جوی مجموع عواملی هستند که یک طوفان گردو خاک یا طوفان شن را رقم می‌زند. این پدیده با وجود اینکه یک پدیده نوظهور نیست، ولی استفاده نادرست و غیراصولی انسان از محیط، به شدت این پدیده را تشدید کرده است. با وجود اینکه جنوب غرب ایران از مناطق نسبتاً پرباران و پر آب کشور ایران است و از پوشش گیاهی و جنگلی نسبتاً خوبی برخوردار است. در سال‌های اخیر با تشدید پدیده گردو خاک مواجه شده است. گاه شدت طوفان‌های گردو خاک و گردوغبار به قدری زیاد است که زندگی عادی مردم مختل شده و بسیاری از فعالیت‌های

(۴) پس از مرتب‌سازی داده‌ها: طوفان گردو خاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ (کدهای ۳۰ تا ۳۵) از سایر کدها جدا شد. (Ezzatian, 2017; McTainsh and Tews, 2007; Khadam et al, 2019).

(۵) در مرحله بعد روزهای همراه با گردو خاک گزارش شده از هر ایستگاه به صورت روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه استخراج در محیط Excel وارد شد. لذا ستون‌های نمایش داده شده بر روی نقشه‌های ترسیمی تعداد دفعات طوفان گردو خاک گزارش شده در هر ایستگاه برحسب روز، ماه، فصل یا سال است.

(۶) در گام بعدی با استفاده از نرم‌افزار ArcGis 10.6. نقشه‌های فراوانی ماهانه و فصلی ترسیم شده است. بدین صورت که، توپوگرافی منطقه به صورت پهنه و ویژگی‌های کمی رخدادهای گردو خاک به صورت Bar/Column نمایش داده شده است.

(۷) در گام بعدی، روزهایی که دارای دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر بودند، برای هر ۱۳ ایستگاه در یک فایل Excel کنار هم مرتب شد.

(۸) به این ترتیب، ۶۲۷ روز -گرد و خاک بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر از ایستگاه‌های انتخاب شده گزارش شده بود.

(۹) سپس با اعمال این معیار که پدیده گردو خاک حداقل در بیش از نصف ایستگاه‌ها گزارش شده باشد، نمونه‌های نهایی انتخاب گردید.

(۱۰) با اعمال این معیار (تکرار پدیده طوفان در بیش از نصف ایستگاه‌ها) ۶۴ روز دارای این شرایط بودند. این طوفان‌ها به‌عنوان نمونه مطالعاتی انتخاب شدند.

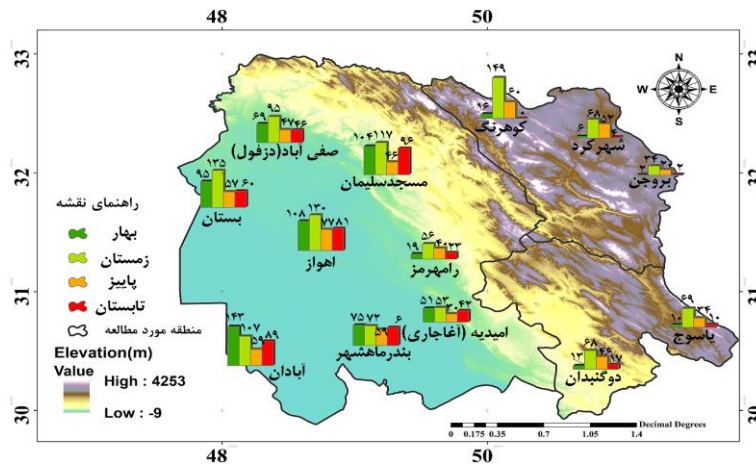
(۱۱) در گام بعدی، با استفاده از سایت <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT> با روش (Backward) از سامانه داده‌های GDAS با گام ۰/۵ درجه منشأ طوفان‌های گردو خاک جنوب غرب ایران ترسیم گردید. این داده‌ها از سال ۲۰۰۷ موجود است. لذا برای همه ۶۴ روز (نمونه مطالعاتی) امکان ترسیم منشأ طوفان‌ها با

این تعداد ۱۱۷ مورد آن در فصل زمستان رخ داده است. فصول بهار با (۱۰۴ مورد)، تابستان با (۹۶ مورد) و پاییز با (۴۶ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در سایر ایستگاه‌ها، تعداد طوفان‌های ثبت شده کمتر از ۲۰۰ مورد بوده است. برای پرهیز از طولانی شدن حجم مقاله از توضیح آن‌ها صرف نظر شده است. ایستگاه رامهرمز در مجموع ۱۳۸ مورد طوفان ثبت شده با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر داشته است. در این ایستگاه نیز فصل زمستان با ۵۶ مورد بالاترین تعداد طوفان ثبت را داشته است. فصول پاییز با (۴۰ مورد) تابستان با (۲۳ مورد) و بهار با (۱۹ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه امیدیه در مجموع ۱۷۶ مورد طوفان ثبت شده با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر داشته است. در این ایستگاه نیز فصل زمستان با ۵۳ مورد بالاترین تعداد طوفان ثبت را داشته است. فصول بهار با (۵۱ مورد) تابستان با (۴۲ مورد) پاییز با (۳۰ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه کوه‌رنگ ۲۲۵ مورد طوفان گردوخاک زیر ۱۰۰۰ متر را در طول دوره آماری ثبت کرده است. فصل زمستان با ۱۴۹ مورد طوفان رتبه اول را دارد. فصول پاییز (۶۰ مورد) بهار (۱۶ مورد) و تابستان با (۰ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه دو گنبدان ۱۴۴ مورد طوفان ثبت شده در دوره آماری داشته است. که فصل زمستان با ۶۸ مورد در رتبه نخست قرار داشته است. فصل پاییز با (۴۶ مورد)، فصل تابستان با (۱۷ مورد) و فصل بهار با (۱۳ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه شهرکرد در دوره مطالعاتی ۱۳۰ مورد طوفان گردوخاک ثبت کرده است. از این تعداد فصل زمستان با ۶۸ مورد طوفان بالاترین سهم طوفان‌ها را در دوره آماری ثبت کرده است. فصول پاییز (۵۲ مورد)، فصل بهار با (۶ مورد) و فصل تابستان (۴ مورد) در ردیف‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه بروجن در مجموع طول دوره آماری ۵۸ مورد طوفان با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر را ثبت کرده است. از این تعداد ۳۴ مورد آن در فصل زمستان ثبت شده است. فصل‌های پاییز با (۲۰ مورد) تابستان و بهار با (۲ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه یاسوج ۱۲۳ مورد طوفان ثبت شده در دوره آماری داشته است که فصل زمستان با ۶۹ مورد در رتبه نخست قرار داشته است. فصل پاییز با (۳۴ مورد)، فصل تابستان با (۱۰ مورد) و فصل بهار با (۱۰ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

اجتماعی و اقتصادی تعطیل می‌شود. مزید بر آن سلامت ساکنان این منطقه در معرض خطر جدی قرار گرفته است. در این بخش طوفان‌های بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر که تقریباً فعالیت‌های روزمره را مختل می‌کند، مورد بررسی قرار گرفته است. این یافته‌ها در دو بخش به تفکیک زیر ارائه می‌شود.

پراکنش مکانی طوفان‌های گردوغبار و گردوخاک بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر پراکنش فصلی طوفان‌ها

شکل ۲ و جدول ۳ توزیع فصلی طوفان‌های گردوخاک را در کل دوره آماری (۱۹۸۷-۲۰۱۹) به تفکیک هر یک از ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. ایستگاه بستان در مجموع طول دوره آماری، ۳۱۱ مورد طوفان بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر را ثبت کرده است. از این تعداد ۱۳۵ مورد آن در فصل زمستان ثبت شده است. فصل‌های بهار با (۹۵ مورد) تابستان با (۶۰ مورد) و پاییز با (۵۷ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه دزفول ۲۵۷ مورد طوفان گردوخاک زیر ۱۰۰۰ متر را در طول دوره آماری ثبت کرده است. فصل زمستان با ۹۵ مورد طوفان رتبه اول را دارد. فصول بهار (۶۹ مورد) پاییز (۴۷ مورد) و تابستان با (۴۶ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه آبادان در جنوب غرب منطقه مطالعاتی، در طول دوره آماری، ۳۹۸ مورد طوفان گردوخاک رو ثبت کرده است. بیشترین تعداد طوفان‌های آن در فصل بهار (۱۴۳ مورد) اتفاق افتاده است. فصول زمستان (۱۰۷ مورد)، تابستان (۸۹ مورد) و پاییز (۵۹ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه اهواز در طول دوره مطالعاتی، ۳۹۶ مورد طوفان گردوخاک ثبت کرده است. از این تعداد فصل زمستان با ۱۳۰ مورد طوفان بالاترین سهم طوفان‌ها را در دوره آماری ثبت کرده است. فصول بهار (۱۰۸ مورد)، فصل تابستان با (۸۱ مورد) و فصل پاییز (۷۷ مورد) در ردیف‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه بندر ماهشهر در طول دوره آماری، ۲۷۲ مورد طوفان گردوخاک ثبت کرده است. فصل بهار با ۷۵ مورد در رتبه نخست قرار داشته است. فصل زمستان با اختلاف اندک (۷۲ مورد)، فصل تابستان با (۶۶ مورد) و فصل پاییز با (۵۹ مورد) در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه مسجدسلیمان ۲۷۳ مورد طوفان ثبت شده در طول دوره آماری داشته است. از



شکل ۲: توزیع فصلی طوفان‌های گردوخاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر جنوب غرب (۱۹۸۷-۲۰۱۹)

جدول ۳: توزیع فصلی طوفان‌های گردوخاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر جنوب غرب (۱۹۸۷-۲۰۱۹)

ردیف	ایستگاه	بهار	زمستان	پابیز	تابستان	سالانه
۱	آبادان	۱۴۳	۱۰۷	۵۹	۸۹	۳۹۸
۲	اهواز	۱۰۸	۱۳۰	۷۷	۸۱	۳۹۶
۳	بندر ماهشهر	۷۵	۷۲	۵۹	۶	۲۷۲
۴	بروجن	۲	۳۴	۲۰	۲	۵۸
۵	بستان	۹۵	۱۳۵	۵۷	۶۰	۲۴۷
۶	دو گنبدان	۱۳	۶۸	۴۶	۱۷	۱۴۴
۷	کوه‌رنگ	۱۶	۱۴۹	۶۰	۰	۲۲۵
۸	مسجدسلیمان	۱۰۴	۱۱۷	۴۶	۹۶	۳۶۳
۹	امیدیه (آعاجری)	۵۱	۵۳	۳۰	۴۲	۱۷۶
۱۰	رامهرمز	۱۹	۵۶	۴۰	۲۳	۱۳۸
۱۱	صفی‌آباد (دزفول)	۶۹	۹۵	۴۷	۴۶	۲۵۷
۱۲	شهرکرد	۶	۶۸	۵۲	۴	۱۳۰
۱۳	ياسوج	۱۰	۶۹	۳۴	۱۰	۱۲۳
	مجموع	۷۱۱	۱۱۵۳	۶۲۷	۵۳۶	۳۰۲۷

طوفان ثبت‌شده در رتبه دوم قرار دارد. فصل پابیز نیز با ۶۲۷ مورد (حدود ۲۰/۷ درصد) طوفان گردوخاک در رتبه سوم قرار دارد. فصل تابستان با ۵۳۶ مورد (حدود ۱۷/۷ درصد) کمترین تعداد طوفان گردوخاک را دارد.

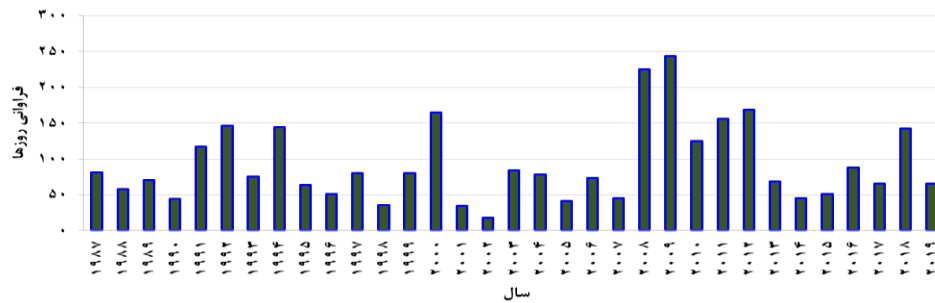
تحلیل تغییرات زمانی طوفان‌های گردوخاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در جنوب غرب

شکل ۳ تغییرات زمانی طوفان‌های گردوخاک را در جنوب غرب ایران نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، پراکنش طوفان‌های بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر، دارای نوسانات دوره‌ای بوده است. این طوفان‌ها از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ افزایش کاملاً محسوسی را نشان می‌دهند. سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بدترین شرایط را از لحاظ تعداد طوفان‌های گردوخاک در دوره آماری ۳۳ ساله داشته‌اند. در سال

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت، منطقه جنوب غرب یک منطقه آلوده از لحاظ پدیده طوفان گردوخاک و گردوغبار می‌باشد. این پدیده در سال‌های اخیر و به خصوص در ماه‌های سرد سال، رشد فزاینده‌ای داشته است. کشور ایران یکی از مناطق درگیر طوفان‌های گردوخاک به خصوص در سال‌های اخیر بوده است. در دوره مطالعاتی ۳۳ ساله در مجموع ۳۰۲۷ مورد طوفان گردوخاک بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر گزارش شده است. از این تعداد ۱۱۵۳ مورد (حدود ۳۸/۱ درصد) آن در فصل زمستان رخ داده است. به این ترتیب بالاترین تعداد طوفان‌های گردوخاک در این منطقه در فصل زمستان رخ می‌دهد. در این فصل فراوانی سامانه‌های ناپایدار ورودی به منطقه در بالاترین حد خود قرار دارد. فصل بهار با ۷۱۱ مورد (حدود ۲۳/۵ درصد)

صرف نظر از سال ۲۰۱۸) کاهش محسوسی در تعداد طوفان‌های گردوخاک رخ داده است. این سال‌ها در منطقه مطالعاتی با ترسالی و یا در دوره زمستان دارای بارش‌های خوبی همراه بوده‌اند (Mohammadi et al, 2018).

۲۰۰۸ حدود ۲۲۵ مورد در سال ۲۰۰۹ تعداد ۲۴۳ مورد طوفان گردوخاک بادید افقی زیر ۱۰۰۰ متر را ثبت کرده‌اند. این دو سال از سال‌های بسیار خشک در منطقه مطالعاتی و کل کشور ایران بوده است (Mohammadi et al, 2021; Lashkari et al, 2015). بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۹ (با



شکل ۳: تغییرات زمانی طوفان‌های گردوخاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر جنوب غرب (دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۹)

می‌باشد. همان‌طور که دیده می‌شود، تعداد روزهای گردوخاک گزارش شده، براساس موقعیت جغرافیایی و ارتفاعی ایستگاه‌ها، بسیار متفاوت است. بیشترین تعداد طوفان گردوخاک بادید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر (از سال ۲۰۰۷ به بعد)، ۳۳ مورد از ایستگاه‌های آبادان و اهواز در منطقه کم ارتفاع استان خوزستان و کمترین تعداد با ۵ مورد از ایستگاه کوه‌رنگ با ارتفاع ۲۳۶۵ متر در استان چهارمحال و بختیاری بوده است.

پراکنش مکانی منشأ و فراوانی طوفان‌های گردوخاک
جدول ۴ پراکنش مکانی منشأ طوفان‌های گردوخاک را به تفکیک هر ایستگاه نشان می‌دهد. برای منشأ یابی، طوفان‌هایی مورد استفاده قرار گرفتند که سامانه طوفانی در بیش از نصف ایستگاه‌های انتخابی گزارش شده بود. همچنین طوفان‌های رخ داده بعد از سال ۲۰۰۷ منشأ یابی شده‌اند. چون داده‌های سایت‌های اسپلیت از سال ۲۰۰۷ به بعد دارای داده بوده است. بنابراین مغایرت تعداد طوفان‌های ایستگاهی در جدول و نقشه‌های بالا با جدول ۴ به این دلیل

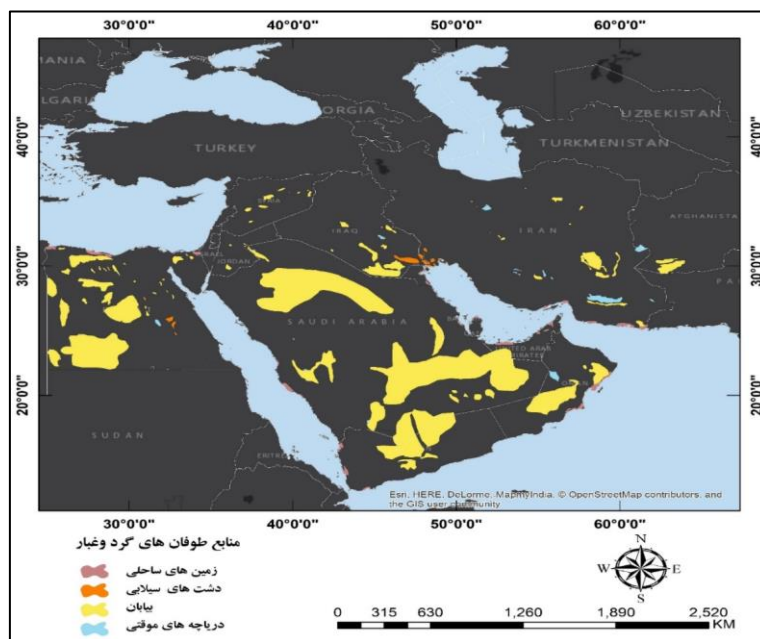
جدول ۴: پراکنش مکانی منشأ طوفان‌های گردوخاک به تفکیک هر ایستگاه

ایستگاه	شرق عراق	جنوب عراق	سوریه و اردن	مرکز عراق	عربستان	غرب عراق	محلی	مجموع
آبادان	۰	۶۱/۰۶	۱۲/۱۲	۴۲/۴۲	۱۲/۱۲	۲۴/۲۴	۳/۰۳	۱۰۰
امیدیه	۰	۱۹/۳۵	۳/۲۲	۴۱/۹۳	۹/۶۷	۳/۲۲	۲۲/۵۸	۱۰۰
اهواز	۰	۹/۰۹	۱۵/۱۵	۳۳/۳۳	۳/۰۳	۱۵/۱۵	۲۴/۲۴	۱۰۰
بروجن	۱۴/۲۸	۷/۱۴	۳۵/۷۱	۰	۲۸/۵۷	۷/۱۴	۷/۱۴	۱۰۰
بستان	۰	۶/۴۵	۳۵/۴۸	۳۵/۴۸	۳/۲۲	۹/۶۷	۹/۶۷	۱۰۰
بندر ماهشهر	۱۳/۳۳	۶/۶۶	۱۰	۳۶/۶۶	۳/۳۳	۱۳/۳۳	۱۶/۶۶	۱۰۰
دو گنبدان	۱۵/۷۸	۲۶/۳۱	۱۰/۵۲	۰	۵/۲۶	۵/۲۶۳	۳۶/۸۴	۱۰۰
رامهرمز	۳۸/۸۸	۰	۵/۵۵	۲۷/۷۷	۰	۲۲/۲۲	۵/۵۵	۱۰۰
شهرکرد	۱۰	۱۰	۵۰	۰	۱۰	۰	۲۰	۱۰۰

۳۰	۱۲	۲	۱	۵	۴	۱	۵	صفی‌آباد دزفول
۱۰۰	۴۰	۶/۶۶	۳/۳۳	۱۶/۶۶	۱۲/۳۳	۳/۳۳	۱۶/۶۶	
۵	۰	۰	۰	۰	۳	۱	۱	کوه‌رنگ
۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۶۰	۲۰	۲۰	
۳۱	۱۰	۱	۲	۵	۲	۴	۷	مسجدسلیمان
۱۰۰	۳۲/۲۵	۳/۲۲	۶/۴۵	۱۶/۱۲	۶/۴۵	۱۲/۹۰	۲۲/۵۸	
۸	۱	۱	۲	۱	۳	۱	۰	یاسوج
۱۰۰	۲۵	۱۲/۵	۲۵	۱۲/۵	۱۲/۱۵	۱۲/۵	۰	
۲۹۳	۵۹	۳۱	۲۱	۷۶	۴۷	۲۹	۳۰	مجموع
۱۰۰	۲۰/۱۳	۱۰/۵۸	۷/۱۶۷	۲۵/۹۳	۱۶/۰۴	۹/۸۹	۱۰/۲۳	

گنبدان، صفی‌آباد دزفول، مسجدسلیمان طوفان‌ها بیشتر منشأ محلی داشته‌اند. برای ایستگاه‌های شهرکرد، کوه‌رنگ و یاسوج که در بخش مرتفع غرب منطقه مطالعاتی قرار دارند منشأ طوفان‌های گردو خاک از روی کشورهای سوریه و اردن بوده است. در مجموع ۲۵/۹۳ درصد طوفان‌های گردو خاک بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر از مرکز عراق منشأ گرفته‌اند. منشأ حدود ۲۰ درصد از طوفان‌های این منطقه از محیط اطراف یا منشأ محلی داشته‌اند. کشورهای سوریه و اردن منشأ حدود ۱۶ درصد از طوفان‌های منطقه بوده‌اند. فراوانی و مسیر طوفان‌های گردو خاک در هر یک از منشأها در این بخش از تحقیق تعداد طوفان‌هایی که از هر منشأ وارد منطقه مطالعاتی شده است، بررسی و تحلیل شده است. شکل ۴ چشمه‌های اصلی تولید گرد و خاک را در مرزهای بیرون از کشور را نشان می‌دهد.

بررسی‌های اولیه نشان داد که طوفان‌های گردو خاک که در ایستگاه‌های مختلف گزارش شده است دارای منشأ متفاوت بوده‌اند. در مجموع عمده این طوفان‌ها از ۷ منطقه مختلف منشأ گرفته‌اند. در بررسی اولیه مشخص شد این طوفان‌ها از ۹ منطقه متفاوت شروع شده و وارد ایستگاه‌های انتخابی شده‌اند. (مرکز عراق، غرب عراق، جنوب عراق، شرق عراق، کشورهای حاشیه شرقی دریای مدیترانه، عربستان، مرکز و شمال شرق آفریقا، منابع دوردست شرق اروپا و منابع محلی در درون منطقه مطالعاتی). در عمل چون تعداد طوفان‌های با منشأ آفریقا و منابع دوردست شرق اروپا بسیار اندک بود. این دو منشأ از جدول محاسبات کنار گذاشته شد. جدول ۴ منشأ اصلی این طوفان‌ها را در هر یک از ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های آبادان، امیدیه، بستان و بندر ماهشهر منشأ بیشترین تعداد طوفان‌های شدید بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر از شمال عراق بوده است. در ایستگاه دو



شکل ۴: پراکنش چشمه‌های گرد و خاک منطقه جنوب غرب آسیا (Rostami, 2023)

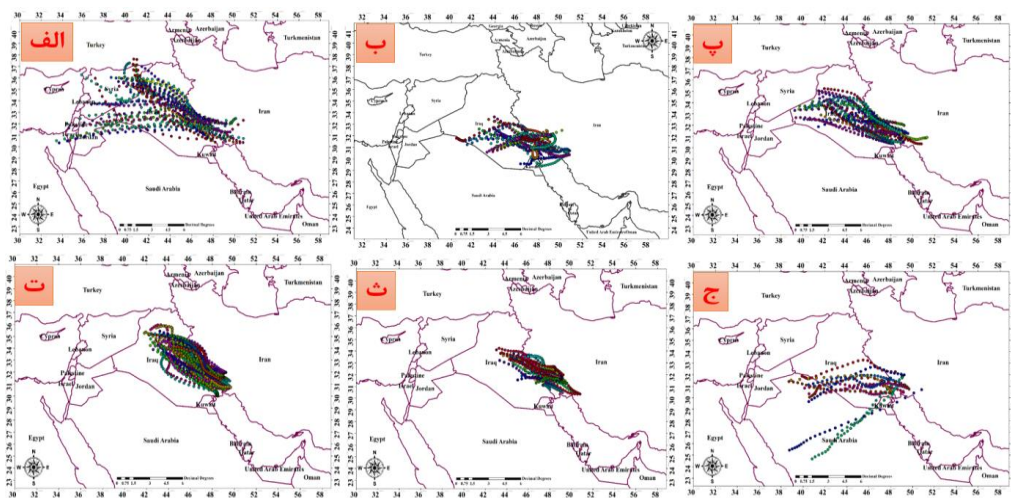
منشأ کشورهای شرق دریای مدیترانه

شکل ۵ الف این منطقه کشورهای سوریه، لبنان، فلسطین، اسرائیل و اردن را شامل می‌شود. کشورهای حاشیه شرقی دریای مدیترانه، به خصوص کشورهای سوریه و اردن منشأ تعداد زیادی از طوفان‌های گردو خاک شدید منطقه جنوب غرب ایران است. با وجود اینکه به ظاهر این کشورها فاصله زیادی از منطقه مطالعاتی دارند. ولی بررسی‌های اولیه نشان داد که تعداد زیادی از طوفان شدید منطقه از این منابع سرچشمه می‌گیرند. همان‌طور که دیده می‌شود بیشترین تعداد از این طوفان‌ها از شمال سوریه می‌باشند. خصوصیات زمین‌شناختی و اقلیمی و توپوگرافی و مهم‌تر از پدیده جنگ در یک دهه اخیر، این بخش از کشور سوریه را مستعد برای خیزش گردو خاک نموده است. تقریباً نیمی از طوفان‌های با منشأ شرق دریای مدیترانه از شمال سوریه منشأ گرفته‌اند. با وجود اینکه طوفان‌های این منطقه وارد تمام ایستگاه‌های منطقه شده است. ولی طوفان‌های ایستگاه‌های مرتفع شرق منطقه مطالعاتی همانند ایستگاه‌های کوه‌رنگ، یاسوج، شهرکرد و بروجن به‌جز چند مورد اندک فقط از این منطقه سرچشمه گرفته‌اند. در مجموع تعداد ۴۷ مورد از طوفان‌ها از این منطقه شروع شده و وارد ایستگاه‌های جنوب غرب ایران شده است.

چشمه‌های گردو خاک با منشأ کشور عراق: چهار منطقه بر روی عراق وجود دارد که منبع تولید گردو خاک طوفان‌های ورودی به جنوب غرب ایران می‌باشند. این مناطق عبارت‌اند از:

چشمه‌های منطقه جنوب عراق: این چشمه در بخش جنوبی عراق قرار دارد و شامل (استان‌های المثنی، نجف، کربلا و بخش‌هایی از استان الانبار) است که به Al-Hajarah شهرت دارد. پهنه زیادی از آن در هم‌جواری بیابان شام و صحرای النفود در شمال کشور عربستان سعودی قرار دارند. در مجموع تعداد ۲۹ طوفان بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر در دوره ۳۳ ساله از این منطقه سرچشمه گرفته و وارد جنوب غرب ایران شده است (شکل ۵ ب).

چشمه‌های منطقه غرب عراق: این چشمه تولید گردو خاک در غرب عراق قرار دارد. از لحاظ جغرافیایی این منطقه شامل استان‌های الانبار و نینوا است. این منطقه منطبق با مناطق بیابانی غرب عراق و مشترک با بیابان "Bādiyah Ash-Shām" در مرز کشور سوریه در برمی‌گیرد. این منطقه نیز در سال‌های اخیر به شدت از آثار تخریبی جنگ با گروه داعش متأثر شده است. از لحاظ اقلیمی نیز این بخش از کشور عراق از بارش کمی برخوردار است. پوشش گیاهی نیز به تبعیت از شرایط اقلیمی بسیار فقیر است. در مجموع تعداد ۳۱ از طوفان‌های گزارش شده در ایستگاه‌های جنوب غرب ایران در دوره مطالعاتی از این منطقه سرچشمه گرفته‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود منشأ اولیه این طوفان‌ها از نزدیک مرز با کشور سوریه است. مقصد عمده این طوفان‌ها به سمت ایستگاه‌های کم ارتفاع استان خوزستان بوده است. به ندرت طوفانی از این منطقه وارد ایستگاه‌های شرقی و مرتفع منطقه شده است (شکل ۵ پ).



شکل ۵: منشأ، مقصد و مسیر حرکت طوفان‌های گردو خاک در هریک از منشأها: شرق مدیترانه (الف)، جنوب عراق (ب)، غرب عراق (پ)، مرکز عراق (ت)، شرق عراق (ث)، شمال عربستان (ج).

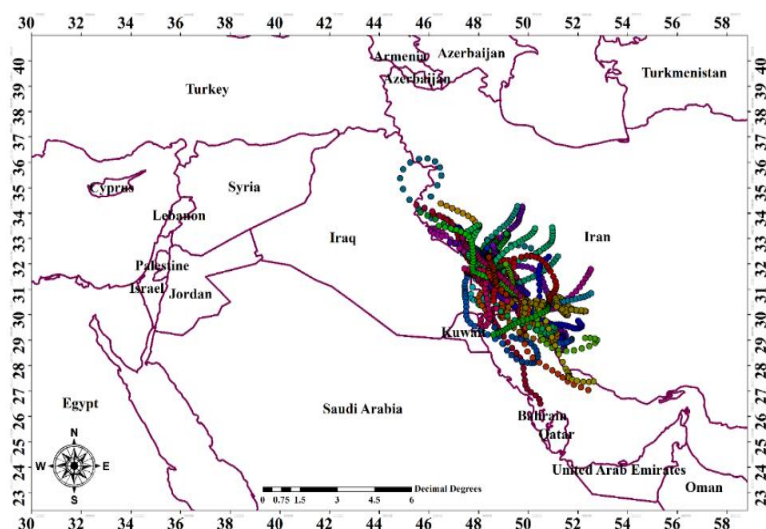
شده است. طوفان‌هایی که از کشور عربستان وارد این منطقه شده است، از دو بخش از این کشورم نشاء گرفته است. بیشترین طوفان‌ها از بیابان‌های شمال غربی آن و در هم‌جواری با بیابان‌های جنوبی کشور عراق شروع شده‌اند. این بیابان‌ها به نام بیابان‌های بادیه الشام و بیابان نفود معروف هستند. تعداد کمتری نیز از بیابان‌های جنوبی این کشور منشأ گرفته است. (شکل ۵ ج).

منابع محلی در داخل کشور ایران: در مجموع تعداد ۵۹ مورد از طوفان‌های گردوخاک گزارش شده از ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی از چشمه‌های داخلی منشأ گرفته‌اند. منابع خاک و پوشش گیاهی این منطقه از کشور ایران به خصوص در چهار دهه اخیر دچار تغییرات شدیدی شده است. بخشی از این تغییرات در کاربری اراضی، به تغییرات ایجاد شده در تقسیم و توزیع آب در حوضه‌های آبریز این منطقه مربوط می‌شود. انتقال آب و احداث سد بر روی سرشاخه‌های دو رودخانه کارون و کرخه و کاهش آب این رودخانه‌ها، پوشش گیاهی جلگه‌های این دو حوضه را به شدت آسیب‌پذیر نموده است. پدیده دوم آثار تخریبی حاصل از ۸ سال جنگ، خاک و پوشش گیاهی جلگه خوزستان را به شدت متأثر نموده و شرایط را برای خیزش گردوخاک مستعدتر نموده است. همان‌طور که دیده می‌شود منشأ اکثر این طوفان‌ها از بخش جنوبی و غربی استان خوزستان است. این بخش در هم‌جواری کشور عراق قرار دارد و بیش از سایر نقاط استان از آثار جنگ متأثر بوده است. تعدادی از این طوفان‌های گردوخاک حتی ایستگاه‌های مرتفع بخش شرقی منطقه را نیز متأثر نموده است (شکل ۶).

چشمه‌های منطقه مرکزی کشور عراق: این بخش با مرکز کشور عراق که با سرزمین‌های استان‌های کرکوک، اربیل، موصل و سامرا منطبق است. این منبع در امتداد چشمه‌های غرب عراق قرار دارد. گاه تفکیک این دو منبع از یکدیگر دشوار بود. تعداد ۷۶ مورد از طوفان‌های ثبت شده در ایستگاه‌های جنوب غرب ایران از این منطقه سرچشمه گرفته‌اند. تقریباً تمام این طوفان‌ها به ایستگاه‌های کم ارتفاع و پست استان خوزستان وارد شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود از طوفان‌های گردوخاک مرکز عراق نیز هیچ طوفانی به ایستگاه‌های مرتفع همانند یاسوج یا شهرکرد در منطقه جنوب غرب ایران وارد نشده است (شکل ۵ ت).

چشمه‌های منطقه شرق عراق: این منطقه از کشور عراق در همسایگی استان‌های خوزستان و ایلام است. به عبارت دیگر این منطقه از کشور عراق نزدیک‌ترین چشمه‌های تولید گردوخاک نسبت به منطقه مورد مطالعه است. این منطقه شامل استان‌های دیاله و Maysan و wasit در شرق کشور عراق است، که همه این استان‌ها به مدت ۸ سال درگیر جنگ بوده‌اند. در نتیجه زمین‌های این استان‌ها به شدت از جنگ تخریب شده و مستعد تولید گردوخاک شده‌اند. بیشتر طوفان‌های برخاسته از این منطقه از عراق وارد استان خوزستان و به خصوص شمال و غرب این استان شده‌اند. جالب این‌که به ندرت از طوفان‌های این چشمه‌ها وارد بخش جنوبی استان خوزستان و ایستگاه‌های مرتفع شرق منطقه مطالعاتی شده است (شکل ۵ ث).

چشمه‌های گردوخاک از کشور عربستان: در مجموع از این منطقه ۲۱ مورد طوفان گردوخاک وارد جنوب غرب ایران

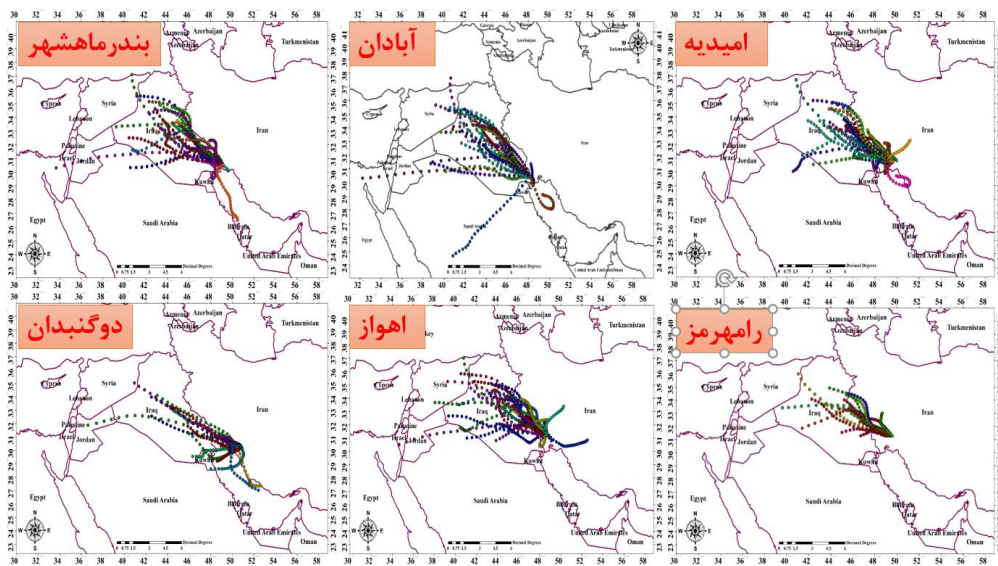


شکل ۶: منشأ، مقصد و مسیر حرکت طوفان‌های گردوخاک از داخل کشور

ایستگاه از مرکز عراق (۳۶ درصد) منشأ می‌گیرند. حدود ۱۷ درصد از طوفان‌های گردو خاک وارد شده به این ایستگاه منشأ محلی دارند. تعدادی از طوفان‌ها نیز از غرب و شرق کشور عراق وارد این ایستگاه شده‌اند. ایستگاه آبادان، در این ایستگاه ۴۲ درصد طوفان‌ها از منبع مرکز عراق منشأ گرفته‌اند. طوفان‌های با منشأ غرب عراق با ۲۴ درصد در رتبه دوم قرار دارد. طوفان‌های با منشأ عربستان و سوریه هر کدام با ۱۲ درصد در رتبه سوم قرار دارند.

منشأ، مقصد و مسیر حرکت طوفان‌های گردو خاک به تفکیک مراکز ایستگاهی

در این بخش از تحقیق منشأ، مقصد و مسیر حرکت طوفان‌های گردو خاک براساس مناطق ایستگاهی بررسی شده است. منشأ و مسیر حرکت طوفان‌های گردو خاک در ایستگاه‌ها براساس عرض جغرافیایی به صورت زیر بوده است. ایستگاه بندر ماهشهر، این ایستگاه در جنوبی‌ترین بخش منطقه مطالعاتی و در ساحل شمالی خلیج فارس قرار دارد. بیشترین تعداد طوفان‌های گردو خاک ورودی به این

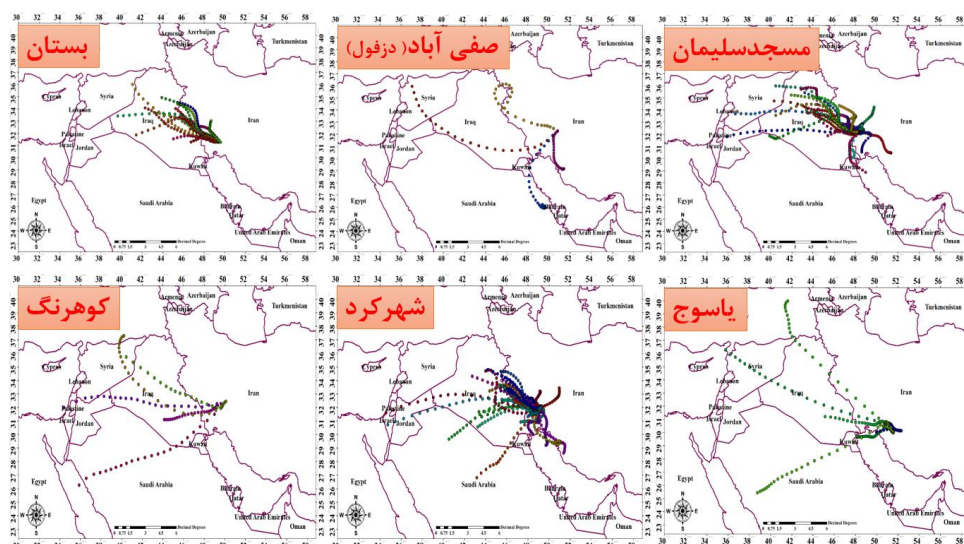


شکل ۷: منشأ، مقصد و مسیر حرکت طوفان‌های گردو خاک ورودی ایستگاه‌های (بندر ماهشهر، آبادان، امیدیه، دو گنبدان، اهواز و رامهرمز)

ایستگاه اهواز، این ایستگاه در کلان شهر اهواز و مرکز استان خوزستان قرار دارد. ۳۳ درصد از طوفان‌های ورودی به این ایستگاه از مرکز عراق منشأ گرفته‌اند. ۲۴ درصد طوفان‌های با منشأ محلی یا از چشمه‌های جنوب شرقی شهرستان اهواز منشأ گرفته‌اند. طوفان‌های با منشأ غرب عراق و سوریه هر کدام ۱۵ درصد از طوفان‌های ورودی را به خود اختصاص داده‌اند.

ایستگاه رامهرمز، این ایستگاه در شمال شهر اهواز و در وسط استان خوزستان قرار دارد. در مجموع ۱۸ طوفان بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر از این ایستگاه گزارش شده است. که ۳۹ درصد این طوفان‌ها از چشمه‌های تولید گردو خاک شرق عراق و ۲۸ درصد آن‌ها از مرکز عراق و ۲۲ درصد آن‌ها از غرب عراق منشأ گرفته‌اند.

ایستگاه امیدیه، این ایستگاه قدری شمالی‌تر از دو ایستگاه قبل قرار دارد. از لحاظ توپوگرافی نیز مرتفع‌تر از دو ایستگاه قبل است. همان‌طور که دیده می‌شود بالاترین تعداد طوفان‌های گردو خاک ورودی به ایستگاه با سهم ۴۲ درصد از منطقه مرکزی منشأ می‌گیرند. حدود ۲۳ درصد طوفان‌های این ایستگاه منشأ محلی دارند. و طوفان‌های با منشأ جنوب عراق با ۱۹ درصد در رتبه سوم قرار دارد. ایستگاه دو گنبدان، این ایستگاه در جنوب شرق منطقه مطالعه قرار دارد. پدیده جالب در این ایستگاه غلبه طوفان‌ها با منشأ محلی است. در مجموع در این ایستگاه ۱۹ طوفان بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر گزارش شده است که از این تعداد ۳۷ درصد آن منشأ محلی داشته‌اند. یعنی منشأ این طوفان در داخل استان خوزستان ایران بوده است. طوفان‌های با منشأ جنوب عراق با ۲۶ درصد در رتبه دوم قرار دارد.



شکل ۸: منشأ، مقصد و مسیر حرکت طوفان‌های گردوخاک ورودی به ایستگاه‌های (بستان، صفی‌آباد دزفول، مسجدسلیمان، کوهرنگ، شهرکرد و یاسوج)

ایستگاه‌های بخش مرتفع منطقه مطالعاتی: در بخش شرقی منطقه مطالعاتی سه ایستگاه یاسوج، شهرکرد و کوهرنگ قرار دارند. ارتفاع این ایستگاه‌ها به ترتیب ۱۸۱۶/۳، ۲۰۴۸/۹ و ۲۳۶۵ متر است. همان‌طور که می‌بینیم. در طول دوره آماری از مجموع این سه ایستگاه ۲۳ طوفان گزارش شده است که در مقایسه با ایستگاه‌های منطقه پست استان خوزستان بسیار کاهش یافته است. بالاترین تعداد طوفان‌های ورودی به این ایستگاه‌ها از منشأ سوریه و اردن (کشورهای شرق مدیترانه) به ترتیب برای ایستگاه کوهرنگ ۶۰ درصد، شهرکرد ۵۰ درصد و یاسوج ۳۷/۵ درصد بوده است.

نتیجه‌گیری

اگرچه طوفان‌ها از پدیده‌های ذاتی هر اقلیمی است. ولی طوفان‌های گردوخاک به دلیل آثار مخرب بر سلامت و زیست‌جانداران و محدودیت‌هایی که برای فعالیت‌های روزمره انسان ایجاد می‌کند، یک مخاطره اقلیمی قلمداد می‌شود. این مسئله در اقلیم مناطق خشک و نیمه‌خشک که با مشکل کم‌آبی نیز دست به‌گریبان هستند، امروزه به یک بحران اجتماعی تبدیل شده است. با توجه به این‌که وقوع بادهای شدید در ذات این اقلیم‌ها نهفته است، و نمی‌توان مانع ایجاد آن‌ها شد. به ناچار باید با کنترل و مقاوم‌سازی خاک این مناطق از بلند شدن ذرات خاک در این مناطق جلوگیری کرد. برای دستیابی به این هدف ابتدا

ایستگاه بستان، این ایستگاه در منتهی‌الیه غربی استان خوزستان و هم‌مرز با کشور عراق قرار دارد. در مجموع ۳۱ طوفان گردوخاک از این ایستگاه گزارش شده است. بیشترین تعداد طوفان‌های گردوخاک از مرکز عراق و کشورهای سوریه و اردن وارد این منطقه شده است. در مجموع بیش از ۷۰ درصد طوفان‌های این منطقه از منشأ‌های سه چشمه گردوغبار فوق‌وارد ایستگاه شده است. ایستگاه صفی‌آباد دزفول، این ایستگاه شمالی‌ترین ایستگاه استان خوزستان و در منتهی‌الیه جلگه پست خوزستان قرار دارد. بعد از این شهر ارتفاعات زاگرس مرکزی شروع می‌شود. در مجموع ۳۰ طوفان بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر گزارش شده است. حدود ۴۰ درصد این طوفان‌های گردوخاک ورودی با این ایستگاه منشأ محلی داشته است. به عبارت دیگر بیشترین تعداد طوفان‌های گردوخاک در این بخش از استان در داخل استان و اطراف این ایستگاه تولید شده‌اند. دو چشمه شرق و مرکز عراق با مجموع ۳۲ درصد طوفان‌ها در رتبه‌های بعدی قرار دارند. ایستگاه مسجدسلیمان، از این ایستگاه نیز حدود ۳۱ طوفان گردوخاک گزارش شده است. بنابراین، این ایستگاه نیز از مناطق مستعد طوفان گردوخاک در این منطقه از کشور است. در این ایستگاه نیز بالاترین تعداد طوفان‌های گردوخاک منشأ محلی دارند. ۳۲ درصد طوفان‌ها در داخل خود استان تولید شده‌اند. شرق عراق با حدود ۲۲ درصد طوفان‌ها در رتبه دوم و مرکز عراق با ۱۲ درصد طوفان‌ها در رتبه سوم قرار دارند.

توزیع ارتفاعی نیز تعداد طوفان‌ها با افزایش ارتفاع کاهش شدیدی را نشان داده است.

۶) چشمه‌های مرکز عراق با اختصاص منشأ ۲۵ درصد از طوفان‌های ایجاد شده در منطقه، بالاترین سهم را در میان سایر چشمه‌های تولید گردوغبار دارا است. که با اضافه شدن چشمه‌های غرب عراق که بسیار به این چشمه‌ها نزدیک می‌باشند. ۳۵ درصد طوفان‌های این منطقه از غرب و مرکز عراق سرچشمه می‌گیرند. این منطقه با استان‌های آل - انبار، نینوا و صلاح دین عراق منطبق است. بیابان‌های غربی عراق در این استان‌ها قرار دارند.

۷) چشمه‌های محلی و به خصوص چشمه‌هایی که در بخش‌های جنوبی استان خوزستان ایران و در اطراف شهر اهواز قرار دارند، در رتبه دوم از لحاظ منشأ طوفان‌های ورودی به منطقه مورد مطالعه است.

۸) در جمع‌بندی کلی، منشأ اصلی طوفان‌های گردوخاک ایستگاه‌های جنوبی و مرکزی استان خوزستان از منشأ مرکز و غرب عراق است. برای ایستگاه‌های شمالی‌تر استان منشأ طوفان‌ها از چشمه‌های شرق کشور عراق است. ولی در ایستگاه‌های شرق منطقه مطالعاتی، یعنی ایستگاه‌های مرتفع‌تر منشأ طوفان‌ها در کشورهای دوردست‌تر مانند سوریه، اردن و شمال غرب عربستان قرار دارد. به نظر می‌رسد این نتایج با یافته‌های بیرانوند و همکاران (Beyranvand et al, 2023) و کامیابی (kamyabi, 2020) همخوانی دارد. شرایط همدیدی طوفان‌های مناطق پست‌تر استان خوزستان با شرایط همدیدی توفان‌هایی که منجر به انتقال ذرات خاک از چشمه‌های دوردست سوریه و اردن به مناطق مرتفع ایران می‌شود متفاوت است. بنابراین توصیه می‌شود تفاوت این الگوها در مطالعه دیگری مورد بررسی قرار گیرد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت نزدیک ۸۰ درصد طوفان‌های ورودی به منطقه جنوب غرب ایران از چشمه‌ها و بیابان‌های کشورهای پیرامون منطقه و منشأ خارجی دارند. که در این میان بیابان‌های مرکزی عراق با اختصاص ۲۵ درصد طوفان‌های ورودی بالاترین سهم را در تولید توفان‌های ورودی دارد. اگرچه در قدم اول توجه به چشمه‌های تولید گرد و خاک داخلی، که روز بروز در حال گسترش و افزایش می‌باشند، بسیار با اهمیت است. رایزنی- های سیاسی از طریق سازمان‌ها و نهادهای مرتبط همانند وزارت خارجه، سازمان ملی یونسکو، سازمان حفاظت محیط

باید منشأ یا چشمه‌های تولید ذرات گردوخاک را شناسایی نمود. تا با انجام اقدامات و روش‌های مناسب، خاک را برای بادهای با شدت مختلف مقاوم نمود. مسئله دوم شناسایی مسیر حرکت این طوفان‌ها است. همان‌طور که بیان شد، در این تحقیق ابتدا طوفان‌های بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر که از طوفان‌های شدید گردوخاک است شناسایی و استخراج گردید. سپس با استفاده از سایت <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT> با روش (Backward) از سامانه داده‌های GDAS با گام ۰/۵ درجه منشأ و مسیر حرکت طوفان‌ها شناسایی گردید.

نتایج این تحقیق نشان داد که:

۱) در یک دوره آماری ۳۳ ساله مجموعاً ۳۰۲۷ مورد گزارش - دیده‌بانی طوفان بادید کمتر از ۱۰۰۰ متر از ایستگاه‌های انتخابی گزارش شده است. از این تعداد ۱۱۵۳ مورد در فصل زمستان رخ داده است که حدود ۳۸ درصد طوفان‌ها را شامل می‌شود. فصل بهار با ۷۱۱ گزارش - دیده‌بانی (۵/۲۵ درصد طوفان‌ها) در رتبه دوم قرار دارد. به این ترتیب بالاترین طوفان‌ها در زمانی اتفاق می‌افتد که سامانه‌های ناپایدار بر روی منطقه حاکمیت دارند.

۲) از لحاظ پراکنش ماهانه نیز بیشترین طوفان‌ها به ترتیب در ماه‌های ژانویه (۵۰۱ گزارش) فوریه (۳۴۴ گزارش) و دسامبر (۳۱۹ گزارش) اتفاق افتاده است. این نتایج یافته‌های بهرامی و همکاران (Bahrami et al, 2013)، در ارتباط با این یافته که تیرماه بالاترین فراوانی توفان‌های گرد و خاک و (کامیابی و همکاران، ۱۳۹۹)، که فصل تابستان بالاترین فراوانی طوفان‌های گرد و خاک در استان‌های جنوب غرب ثبت شده است، تایید نمی‌کند.

۳) از لحاظ ایستگاهی بالاترین تعداد طوفان‌ها با ۳۹۸ و ۳۹۶ گزارش - دیده‌بانی به ترتیب به ایستگاه‌های آبادان و اهواز تعلق دارد. این نتایج با یافته‌های بهرامی و همکاران (Bahrami et al, 2013)، در مقاله مدلسازی مکانی - زمانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در استان خوزستان در ارتباط فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و خاک همخوانی داشته و آن نتایج را تایید می‌کند.

۴) در طول دوره آماری بالاترین تعداد طوفان‌ها در محدوده سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ رخ داده است.

۵) در مجموع تعداد طوفان‌ها از جنوب به سمت شمال و از غرب به شرق منطقه مطالعاتی کاهش می‌یابد. از لحاظ

سپاسگزاری

این تحقیق خروجی طرح پسادکتری شماره ۹۸۰۲۶۸۶۸ و تحت حمایت صندوق Iran National Science Foundation INSF انجام شده است.

زیست و سایر سازمان‌های موثر نظامی و امنیتی چه از طریق بین‌المللی و چه از طریق توافقی‌های دو جانبه و چند جانبه با کشورهای همسایه غربی، باید به‌طور جدی در دستور کار مقامات کشور قرار گیرد.

پانویس

1-Dust Storm Event

References

- Alijani, B. and Raispour, K., 2019. Statistical analysis, synopsis of dust storms in southeast Iran (case study: Sistan region). *Geographical Studies of Dry Areas*, v. 2, p. 107-113 (in Persian).
- AlKheder, S. and AlKandari, A., 2020. The impact of dust on Kuwait International Airport operations: a case study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 17 p. 1-8.
- Arami, S.A.H., Ong, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M. and Zarasundi, A.R., 2017. Statistical analysis of spatio-temporal pattern of dust storm in west and southwest of Iran. *Water and Soil Protection Research Journal*, v. 1, p. 83-6 (in Persian).
- Asghari Podesh, Z., Shafiizadeh, M., Fakhara, S. and Gilani, A.R., 2014. Evaluation and zoning of spatial-temporal changes of dust storms using DSI index in Khuzestan province. The second national conference on climate change and engineering for sustainable development of agriculture and natural resources, Tehran (in Persian).
- Attiya, A. and B. Jones, G., 2020. Climatology of Iraqi dust events during 1980–2015. *SN Applied Sciences*, v. 2, p. 1-16.
- Azizi, Q., Miri, M. and Nabavi, S.A., 1391. Tracing the phenomenon of dust in the western half of Iran. *Geographical studies of arid regions*, vo. 2(7), p. 63-81 (in Persian).
- Baaqideh, M. and Ahmadi, H., 2014. Analysis of dust risk and its changes in the west and southwest of Iran. *Relief and Rescue Magazine*, v. 6, p. 1-16 (in Persian).
- Babai Fini, A.A., Safar Rad, T. and Karimi, M., 2014. Spatio-temporal analysis of dust event in western Iran. *Environment*, v. 40, p. 375-388 (in Persian).
- Beyranvand, A., Azizi, G., Alizadeh, O. and Darvishi Boloorani, A., 2023. Dust in Western Iran: the emergence of new sources in response to shrinking water bodies. *Scientific Reports*, v. 13(1), doi.org/10.1038/s41598-023-42173-3.
- Brun, A., Zahorian Pardel, M., Lashkari, H., Shakiba, A.R. and Mohammadi, Z., 2018. Collaborative analysis of the role of Saudi high pressure in heat waves in Khuzestan province, *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, v. 2, p. 55-67 (in Persian).
- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J. and Zhou, N., 2015. Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, v. 502, p. 224-235.
- Demizadeh, M., Mahdavi, R., Nowrozi, A.A., Gholami, H. and Halisaz, A., 2019. Investigating dust emission routes in Hormozgan province using a model, *Hysplit Watershed Engineering and Management*, v. 13(2), p. 431-444 (in Persian).
- Ezzatian, V., 2018. Monitoring dust phenomenon, its causes and consequences in Isfahan province, a case study: 2013-2014 period. *Newar*, v. 4, p. 45-61 (in Persian)
- Farajzadeh Asl, M. and Alizadeh, KH., 2018. Temporal and spatial analysis of dust storms in Iran. *Space planning and preparation*, p. 64-85 (in Persian).
- Fattahi, E., Noohi, K. and Shiravand, H., 2012. Study of dust storm synoptical patterns in southwest of Iran. *Desert*, v. 17, p. 49-55.
- Gillette, D.A., 1981. Production of dust that may be carried great distances. *Desert dust: Origin, characteristics, and effect on man*. American Association for the Advancement of Science, v. 186, p. 11-26.
- Hamidi, M., Kavianpour, M. and Shao, Y., 2013. Synoptic analysis of dust storms in the

- Middle East. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, v. 49, p. 279-286.
- Hosseini, A., Alijani, B. and Akhari, Y., 2018. Forecasting the probability of dusty days in the eastern regions of Iran using spatio-temporal kriging method, *Natural Environment Hazards*, v. 8, p. 197-216 (in Persian).
- Jafari, M., Zahtabian, G.R., Ahmadi, H., Misbahzadeh, T. and Nowrozi, A.A., 2019. Detection and routing of dust event using remote sensing and numerical model in Isfahan province. *Environmental Sciences*, v. 18(1), p. 105-116 (in Persian).
- Jahanbakhsh, S., Zinali, B. and Asghari, M., 2014. Analysis and zoning of the frequency of dust storms in Iran using fuzzy clustering (FCM). *Two Quarterly Journals of Urban Ecology Research (former Geography and Regional Planning)*, v. 10, p. 85-98 (in Persian).
- Jamalizadeh, N., Zahorian Pardel, M., Lashkari, H., Shakiba, A.R. and Mohammadi, Z., 2018. Analysis of anomalies and changes in the dynamic structure of summer synoptic patterns of Khuzestan province. *Geography Quarterly (Regional Planning)*, v. 9, p. 874-863 (in Persian).
- Khairandish, Z., Badagh Jamali, J. and Raigani, B., 2017. Identifying the dust passage routes in southwest Iran (Case study: Dust 30 Khordad), v. 42(101-100), p. 1-10 (in Persian).
- Khodam, N., Tajbakhsh, S., Aliakbari Bidakhti, A.A., Sehat Kashani, S. and Ranjbar Saadatabadi, A., 2019. Climatology of dust storm events in the summer season in Sistan and Baluchistan province in a period of 30 years (1987-2016), *Climatology Research*, v. 40, p. 81-89 (in Persian).
- Khosravi, M., Tavossi, T. and Raispour, K., 2018. Collaborative analysis of dust collection systems in Khuzestan province. *Geography and Development*, v. 8, p. 118-97 (in Persian).
- Khusfi, Z.E., Khosroshahi, M., Roustaei, F. and Mirakbari, M., 2020. Spatial and seasonal variations of sand-dust events and their relation to atmospheric conditions and vegetation cover in semi-arid regions of central Iran. *Geoderma*, v. 365, p. 114-225.
- Ki Khosravi, Q. and Hasli, H., 2016. Simulation of the trajectory of several examples of severe dust storms in Kermanshah province from the viewpoint of observation and model. *HYSPLIT Natural Geography*, v. 10, p. 59-82 (in Persian).
- Knippertz, P. and Fink, A.H., 2006. Synoptic and dynamic aspects of an extreme springtime Saharan dust outbreak, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, v. 132, p. 1153-1177.
- Kumar, R., Barth, M.C., Madronich, S., Naja, M., Carmichael, G.R., Pfister, G.G. and Sarangi, T., 2014. Effects of dust aerosols on tropospheric chemistry during a typical pre-monsoon season dust storm in northern India. *Atmospheric Chemistry & Physics*, v. 14, p. 6813-6834.
- Lashkari, H. and Jafari, M., 2021. The role of spatial displacement of Arabian subtropical high pressure in the annual displacement of the ITCZ in East Africa. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 143, p. 1543-1555.
- Lashkari, H. and Mohammadi, Z., 2014. The effect of high pressure location of Saudi Arabia on precipitation systems in south and southwest of Iran. *Natural Geography Research*, v. 47, p. 73-90 (in Persian).
- Lashkari, H. and Saboui, M., 2012. Synoptic analysis of patterns governing dust storms in Khuzestan province. *Sepehr Geographical Scientific-Research Quarterly*, v. 22, p. 32-38 (in Persian).
- Lashkari, H., 1382. Mechanism of formation, strengthening and development of low pressure center in Sudan and its role on rainfall in South and Southwest of Iran, *Journal of Geographical Research*, v. 46, p. 1-18. (in Persian).
- Lashkari, H. and Kikhsravi, Q., 2019. Statistical analysis of thunderstorms and dust storms during the statistical period of 1990-2004 in Hamadan province (1). *Sepehr Scientific-Research Quarterly of Geographical Information*, v. 19(75), p. 60-66 (in Persian).
- Lashkari, H., Matkan, A.A., Azadi, M. and Mohammadi, Z., 2016. Collaborative analysis of the role of the high pressure of the Arabian monsoon and the monsoon monsoon in severe droughts in the south and southwest of Iran. *Earth Science Research*, v. 8, p. 141-163 (in Persian).
- Lashkari, H., Mohammadi, Z. and Jafari, M., 2020. Investigation on dynamical structure

- and moisture sources of heavy precipitation in south and south-west of Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, v. 13, p.1-15.
- Madbarpour, A., Gandhamkar, A. and Morteza, K.Q., 2017. Investigating the temporal-spatial trend of dust risk in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad provinces. *Natural Geography*, v. 11, p. 99-122 (in Persian).
- Mahmoudi Mehpash, N. and Souri, B., 2019. Dust origination using ion ratio and particle morphology in the western half of Iran. *Journal of Natural Environment*, v. 73(2), p. 355-367 (in Persian).
- McGowan, H. and Clark, A., 2008. Identification of dust transport pathways from Lake Eyre, Australia using Hysplit. *Atmospheric Environment*, v. 42, p. 6915-6925.
- Mobarak Hassan, A., Tajbakhsh, S., Ghafarian, P., Pegahfar, N. and Karimkhani, M., 2018. Study of effective synoptic structures in pollinators in the Persian Gulf region. *Scientific-research journal of oceanography*, v. 10(37), p. 53-64 (in Persian).
- Mohammadi, Z. and Lashkari, H., 2017. The role of high-pressure spatial displacement of Arabia and the Junbhari current in synoptic and thermodynamic patterns of severe traslation in the south and southwest of Iran. *Natural Geography Research*, v. 50, p. 451-509 (in Persian).
- Mohammadi, Z. and Lashkari, H., 2018. Synoptic, thermodynamic analysis of the spatial displacement of the jet in the Sudanese low pressure activity (case study of Tarsali in Fars province). *Earth Science Research*, v. 10, p. 85-103 (in Persian).
- Mohammadi, Z., Lashkari, H. and Mohammadi, M.S., 2021. Synoptic analysis and core situations of Arabian anticyclone in shortest period precipitation in the south and southwest of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, v. 14, p. 1-18.
- Naser Zadeh, M.H. and Fathi, H.A., 2015. Identification of synoptic and local scale factors in dust events in Ilam province. *Scientific-Research Quarterly of Regional Planning*, v. 6, p. 57-74 (in Persian).
- Naserpour, S., Alijani, B. and Ziaian, P., 2014. Finding the origin of dust storms in southwest Iran using satellite images and weather maps. *Natural Geography Research*, v. 47, p. 21-36.
- O'Loingsigh, T., McTainsh, G.H., Tews, E.K., Strong, C.L., Leys, J.F., Shinkfield, P. and Tapper, N.J., 2014. The Dust Storm Index (DSI): a method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, v. 12, p. 29-40.
- Raigani, B., 2018. Identification of potential foci of dust production using remote sensing data (case study: Alborz province). *Natural environment hazards*, v. 8(20), p. 1-20 (in Persian).
- Rivandi, A., Mir Rukni, M. and Mohammadiha, A., 2012. Investigating the formation and propagation of dust storms entering the west and southwest of Iran using the HYSPLIT particle Lagrangian diffusion model. *Climatology Research*, v. 13, p. 1-16 (in Persian).
- Salahi, B. and Behrouzi, M., 2019. Identification of dust centers and physical and chemical analysis of its particles in Dezful region. *Natural environment hazards*, v. 9(23), p. 187-208 (in Persian).
- Sehat Kashani, S., Kamali, G.A., Tazefi Dost, M. and Vakbari Bidakhti, A.A., 2013. Routing of dust events in the western and southwestern regions of Iran (September 2008). *Environmental Sciences*, v. 12(1), p. 95-102 (in Persian).
- Sissakian, V., Al-Ansari, N. and Knutsson, S., 2013. Sand and dust storm events in Iraq, *Journal of Natural Science*, v. 5, p. 1084-1094.
- Wang, R., Liu, B., Li, H., Zou, X., Wang, J., Liu, W., Cheng, H., Kang, L. and Zhang, C., 2017. Variation of strong dust storm events in Northern China during 1978–2007, *Atmospheric Research*, v. 183, p. 166-172.
- Xu, C., Guan, Q., Lin, J., Luo, H., Yang, L. and Wang, Q., 2020. Identification and quantitative analysis of dust trajectories in the Hexi Corridor. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 291, p. 107-987.