



Research Article

Temporal-spatial distribution and synoptic patterns of storms with horizontal visibility less than 200 meters in western Iran

Zainab Mohammadi¹, Hassan Lashkari^{*1}

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

Received: 4 May 2022 Accepted: 8 Jan 2023

Extended Abstract

Introduction: Dust storms with visibility of less than 200 meters are dangerous storms for human life and activity. By knowing the behavioral characteristics and how these storms form and spread over the sources of dust production, it is possible to reduce its many damages.

Materials and methods: According to the purpose of the research, to investigate the historical trend of the occurrence of severe storms and the synoptic patterns that cause such storms, a statistical period of 33 years was selected. Based on this statistical basis, 16 synoptic stations were selected as sample stations. The days in which code was reported in at least two observatories with visibility less than 200 meters were selected as a day with a storm. To select synoptic systems, the days when this phenomenon was reported in at least one third of the sample stations were selected as a dust system. In this way, 68 study samples were extracted.

Results and discussion: The highest number of dust storms with visibility less than 200 meters occurs in two turbulent seasons in terms of weather, i. e. winter and autumn. In monthly terms, occurred in January (352 cases) and December. In terms of historical trends, from the beginning of the period to 2007, the number of storms has been almost constant. Since 2008, the number of such storms has increased significantly and this process continued until 2012. In terms of spatial distribution, the highest number of storms occurred in the cold period of the year, in the eastern stations of the region, on the contrary, in the warm period of the year, occurred in the western. Two recurring patterns are the main cause of dust storms in the cold period of the year. In the African gyre pattern, the significant northward expansion of this anticyclone ridge and the cold advection of the subpolar latitudes over the western region of Asia creates a severe temperature and pressure gradient in the entire lower and middle layer of the troposphere. In the Sudan low pattern, with the significant expansion of the Sudan low pressure tongue over the western region of Asia and the formation of a deep trough in the middle layers, it causes the instabilities to intensify over the dust sources of Syria and Iraq. Most summer dust storms have followed a general pattern. In these patterns, three low pressure systems, Saudi Arabia, Pakistan and sometimes Lut desert, are the main cause of dust storms in the lower layer (up to the level of 850hpa).

Conclusion: The result of this research showed that storms with visibility of less than 200 meters are increasing in the western region of Iran. In terms of spatial distribution, the highest number of such storms occurs in the cold period of the year in the eastern part of the region. From a synoptic point of view, dust particles rise from dust sources in Syria and western Iraq and enter the eastern part of the study area along the atmospheric currents of the middle layer of the troposphere. Meanwhile, the western part of the study area is affected by the highest number of dust storms in the hot period of the year.

Keywords: Dust storms, Horizontal visibility less than 200 meters, Western Iran, Synoptic.

Citation: Zainab Mohammadi, Hassan Lashkari (2023). Temporal-spatial distribution and synoptic patterns of storms, *Res. Earth. Sci.* 14(2), (44-60) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.103510

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





پراکنش زمانی - مکانی و الگوهای هم‌دید توفان‌های گردو خاک با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر در غرب ایران

زینب محمدی^۱، حسن لشکری^{۱*}

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

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۸

چکیده گسترده

مقدمه: توفان‌های گرد و خاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر از توفان‌های پرمخاطره برای زیست و فعالیت انسانی می‌باشد. با شناخت ویژگی‌های رفتاری و چگونگی شکل‌گیری و گسترش آن‌ها بر روی چشمه‌های تولید گرد و خاک می‌توان از آسیب‌های فراوان آن کاست.

مواد و روش‌ها: با توجه به هدف تحقیق، بررسی روند تاریخی وقوع توفان‌های شدید و الگوهای هم‌دید ایجاد کننده این گونه توفان‌ها، دوره آماری ۳۳ ساله انتخاب گردید. براساس این پایه آماری ۱۶ ایستگاه سینوپتیک به عنوان ایستگاه نمونه انتخاب گردید. تروزیایی که در آن حداقل در دو دیدبانی کد با دید کمتر از ۲۰۰ متر گزارش شده بود به عنوان یک روز همراه با توفان انتخاب گردید. برای انتخاب سامانه‌های هم‌دید روزهایی که این پدیده حداقل در یک سوم ایستگاه‌های نمونه گزارش شده بود، به عنوان یک سامانه گرد و خاک انتخاب گردید. به این ترتیب ۶۸ نمونه مطالعاتی استخراج شد.

بحث و نتایج: بالاترین تعداد توفان‌های گرد و خاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر در دو فصل پرتلاطم به لحاظ جوی یعنی زمستان و پاییز رخ می‌دهد. به لحاظ ماهانه نیز در ماه‌های ژانویه و دسامبر رخ داده است. از لحاظ روند تاریخی نیز از ابتدای دوره (۱۹۸۷) تا سال ۲۰۰۷ تعداد توفان‌ها، تقریباً روند ثابتی داشته است. از سال ۲۰۰۸ تعداد اینگونه توفان‌ها افزایش چشمگیری داشته و این فرایند تا سال ۲۰۱۲ ادامه داشته است. به لحاظ پراکنش مکانی نیز بالاترین تعداد توفان‌ها در دو فصل سرد سال در ایستگاه‌های شرق منطقه برعکس در دوره گرم سال در بخش غربی رخ داده است. دو الگوی پرتکرار عامل اصلی ایجاد توفان‌های گرد و خاک دوره سرد سال می‌باشند. در الگوی واچرخند آفریقایی گسترش شمال سوی قابل ملاحظه پشته این واچرخند و فرارفت سرد عرض‌های جنب قطبی بر روی منطقه غربی آسیا شیب دمایی و فشاری شدیدی را در تمام لایه زیرین و میانی وردسپهر ایجاد می‌کند. در الگوی کم فشار سودان نیز با گسترش قابل ملاحظه زبانه کم فشار سودان بر روی منطقه غربی آسیا و شکل‌گیری یک ناوه عمیق در لایه‌های میانی سبب تشدید ناپایداری‌ها بر روی چشمه‌های مستعد گرد و خاک سوریه و عراق می‌گردد. تقریباً اکثر توفان‌های گرد و خاک تابستانه از یک الگوی کلی پیروی کرده‌اند. در این الگوها سه سامانه کم فشار دمایی عربستان، پاکستان و گاه دشت لوت عامل اصلی ایجاد توفان‌های گرد و خاک در لایه زیرین (تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) می‌باشند.

نتیجه‌گیری: نتیجه این تحقیق نشان داد که توفان‌های گرد با دید کمتر از ۲۰۰ متر در منطقه غربی ایران در حال افزایش است. به لحاظ پراکنش مکانی بالاترین تعداد این گونه توفان‌ها در دوره سرد سال در بخش شرقی منطقه رخ می‌دهد. به لحاظ هم‌دید ذرات گرد و خاک از چشمه‌های گرد و خاک سوریه و غرب عراق خیزش پیدا کرده و در امتداد جریانات جوی لایه میانی وردسپهر وارد بخش شرقی منطقه مطالعاتی می‌شوند. در حالی که بخش غربی منطقه مطالعاتی در دوره گرم سال تحت تأثیر بیشترین تعداد توفان‌های گرد و خاک هستند.

واژگان کلیدی: توفان‌های گردو خاک، دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر، غرب ایران، هم‌دید.

استناد: زینب محمدی، حسن لشکری (۱۴۰۲). پراکنش زمانی - مکانی و الگوهای هم‌دید توفان‌های گردو خاک، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴ (۲)، (۴۴-۶۰)

DOI: 10.48308/ESRJ.2023.103510

مقدمه

هر اقلیمی متضمن رفتارها، ساختار و ویژگی‌های نسبتاً ثابت و در عین حال رفتارهای نابهنجار و ناگهانی است. انسان‌ها و سایر حیات جاندار و حتی محیط فیزیکی به تدریج و در روند تاریخی خود را با رفتارها و خصلت‌های ثابت اقلیم سازگار نموده‌اند. حتی با نوسانات جزئی آن نیز سازگاری نموده و منطبق می‌شوند. ولی وقتی این رفتارها یا خصلت‌ها دارای روندی در جهت تغییر یا دچار نوسانات ناهمگون و نابهنجار می‌شوند، محیط طبیعی و حتی محیط فیزیکی دچار آسیب می‌شوند. پدیده گردوخاک از جمله پدیده‌هایی است که در ذات اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. ولی وقتی فراوانی یا شدت آن‌ها دچار تغییر می‌گردد، محیط طبیعی و فیزیکی بستر اقلیم، به دلیل عدم توانایی در انطباق سریع با تغییرات ایجاد شده را ندارند، دچار آسیب‌های جدی می‌شوند. یکی از پدیده‌های بارز مناطق خشک و نیمه‌خشک، پدیده گردوغبار است. طوفان‌های گردوغبار نوعی رخداد اقلیمی است که در نتیجه بادهای آشفته حاصل از جریان‌های همرفتی ایجاد می‌شود و با وجود اینکه گردوغبار و طوفان‌های گردوخاک یک مفهوم تازه و پدیده نوظهوری نیست و این پدیده با زندگی ساکنان مناطق خشک و نیمه‌خشک عجین شده است. شواهد تاریخی نیز به فراوانی بیانگر ظهور و بروز این پدیده از دوره‌های تاریخی است. ولی چند مسئله توجه جدی به این پدیده را صدچندان می‌نماید. (۱) افزایش جمعیت و گسترش زندگی شهری و ظهور هسته‌های جمعیتی در قالب کلان‌شهرها و قطب‌های جمعیتی آسیب‌پذیری زندگی انسانی را در مقابل مخاطراتی مانند طوفان‌های گردوغبار بشدت بالا برده است. (۲) پدیدار شدن صنایع بزرگ و تأسیسات عظیم و گران‌قیمت و ایجاد زیرساخت‌های متناسب با این صنایع در عین حال حساس به این‌گونه مخاطرات توجه کارگزاران را به حفاظت و حراست از این تأسیسات پیچیده دوجندان نموده است. (۳) افزایش آگاهی‌های عمومی سبب شده است انسان‌ها نسبت به گذشته به سلامت و آسایش و رفاه خود توجه بیشتری داشته باشند. (۴) مطالعات بیانگر روند افزایشی این پدیده به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. طوفان‌های گردوخاک از پدیده‌های مخرب اقلیمی می‌باشند که همه ساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری به مزارع، تأسیسات، جاده‌ها، ترافیک وارد می‌نماید. این پدیده متأثر از شرایط

جوی خاصی است که در صورت شناخت سازوکار تکوین و گسترش آن می‌توان از آسیب‌های فراوان آن کاست و یا با آن مقابله کرد (لشکری و کیخسروی، ۱۳۸۷). چاو و همکاران (۲۰۱۵) 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 (Cao et al, 2015). از جمله مطالعات انجام شده در سال ۲۰۲۰ می‌توان به تحقیقات سلیمانی و همکاران (۲۰۲۰) به مطالعه مروری بر بار بیوآئروسول و تأثیرات بهداشتی مرتبط با طوفان‌های گردوغبار با تمرکز بر خاورمیانه پرداختند و نتایج نشان دادند که غلظت ذرات و انواع بیوآئروسول در جو تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوا و عوامل هواشناسی قرار دارد (Soleimani et al, 2020). عطیه و جونز (۲۰۲۰) 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 (Attiya and Jones, 2020). زیو و همکاران (۲۰۲۰) 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 (Xu et al, 2020). الخدر و الکندری (2020) به بررسی تأثیر گردوغبار در عملیات فرودگاه بین‌المللی کویت برای سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۷ پرداختند و نتایج نشان داد که میانگین زمان ورود و خروج، در روزهایی که گردوغبار رخ داده است، به ترتیب ۴۲ و ۱۷ روز در مقایسه با روزهای مرجع کاهش یافته است (AIKheder and AIKandari, 2020). کسوفی و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تغییرات مکانی و فصلی گردوغبار شن و ارتباط آن‌ها با شرایط جوی و پوشش گیاهی در مناطق

منطقه شمال غرب کشور وجود دارد با همراهی موج بادهای غربی در سطوح میانی جو و فعالیت رودباد سطوح بالا، جریان هوا از روی کشورهای عراق و سوریه با سرعت زیاد به سمت شمال غرب ایران وزیده و موجبات رخداد طوفان گردو خاک در شمال غرب ایران در مهرماه ۱۳۹۲ را فراهم آورده است (صلاحی و همکاران، ۱۳۹۴). فرهادی پور و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی به بررسی طوفان‌های خاک در منطقه غرب و جنوب غرب ایران و تأثیر آن‌ها بر شارهای تابشی پرداختند، نتایج نشان داد که ذرات گردو خاک در بالای جو و سطح زمین دارای اثرهای سرمایشی، اما در میانه جو دارای اثر گرمایشی هستند (فرهادی پور و همکاران، ۱۳۹۶). خیراندیش و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به شناسایی مسیرهای عبور گردو خاک جنوب غرب ایران (مطالعه موردی: گردو خاک ۳۰ خرداد ۱۳۹۱) نتایج نشان داد که تصاویر مودیس می‌تواند گردو خاک و مسیر آن را در صورت مناسب بودن گستره دیداری تصاویر و ابری نبودن آن‌ها شناسایی کند، ولی به منظور تعیین دقیق‌تر مسیرها و تکمیل تحلیل‌ها به استفاده از سایر اطلاعات همچون مدل‌های عددی هواشناسی در کنار داده‌های سنسجس از دور نیاز است (خیراندیش و همکاران، ۱۳۹۷). خدام و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی اقلیم‌شناسی رخداد های طوفان گردو خاک در فصل تابستان در استان سیستان و بلوچستان در دوره ۳۰ ساله پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص شدت موسمی هند در طی گردو خاک کاهش پیدا کرده و بر شدت شاخص کاسپین - هندوکش افزوده شده که سبب تقویت جریان‌های شمالی در مرزهای شرقی ایران و غرب افغانستان شده است (خدام و همکاران، ۱۳۹۸). عزتیان (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به پایش پدیده گردو خاک، علل وقوع و پیامدهای آن در استان اصفهان پرداخت. ایشان از روش شاخص تجربی طوفان‌های گردو خاک در دوره ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۵ میلادی که براساس اندازه‌گیری میدان دید افقی توسط هواشناسی استرالیا طراحی شده است، استفاده کرده است و نتایج نشان داد که استقرار سامانه پرفشار، برودت هوا و حاکمیت شرایط پایدار از عوامل تشدید پدیده گردو خاک در فصل سرد سال بوده است (عزتیان، ۱۳۹۸). حسینی و همکاران (۱۳۹۸) پیش‌بینی احتمال روزهای گردو خاک در مناطق شرقی ایران با روش کریجینگ نشانگر فضایی - زمانی پرداختند و خروجی مدل نشان داد که

نیمه خشک مرکز ایران پرداختند و نتایج نشان داد که شدت گردو غبارها با بادهای سطحی فصل تابستان ارتباط مثبت و معناداری را دارد (Khsufi et al, 2020). علیجانی و رئیس پور (۱۳۹۰) به تحلیل آماری، هم‌دیدنی طوفان‌های گردو خاک در جنوب شرق ایران (مطالعه موردی: منطقه سیستان) پرداختند و نتایج حاصل از تحلیل هم‌دیدنی نشان داد: هنگام بروز طوفان گردو خاک در دوره گرم سال، بر روی نقشه فشار تراز دریا، با تقویت کم‌فشار موسمی هند، دو مرکز کم‌فشار فرعی‌تری در محدوده جنوب پاکستان و جنوب افغانستان با فشار مرکزی کم‌تر از ۱۰۰۰ هکتوپاسکال بسته می‌شوند. در مقابل مرکز پرفشاری بر روی دریای خزر که عموماً فشار مرکزی آن بیش از ۱۰۲۰ هکتوپاسکال است مستقر می‌شود (علیجانی و رئیس پور، ۱۳۹۰). فرج زاده و علیزاده (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به تحلیل زمانی و مکانی طوفان‌های گردو خاک در ایران پرداختند و نتایج حاصل از بررسی سالیانه طوفان‌های گردو خاک نشان داد که به‌طور کلی ایستگاه زابل بیش‌ترین فراوانی وقوع طوفان را در طی دوره آماری بررسی شده دارد. از نظر توزیع فراوانی ماهیانه به جز ایستگاه زابل که در ماه ژولای در طی دوره آماری بررسی شده بیش‌ترین فراوانی را دارد و ایستگاه زاهدان که در ماه‌های مارس و فوریه هرکدام با میانگین فراوانی یک طوفان بیش‌ترین فراوانی‌ها را دارند (فرج زاده و علیزاده، ۱۳۹۰). قوامی و همکاران (۱۳۹۳) به تحلیل الگوهای هم‌دید مؤثر بر رخداد طوفان‌های گردو خاک استان کردستان پرداختند و نتایج نشان داد که وجود ناوه نسبتاً عمیق بر روی شرقی‌ترین بخش دریای مدیترانه، گسترش هوا از روی مناطق خشک (بیابان‌های لیبی، مصر، شمال عربستان و عراق) به سوی ایران و پر ارتفاع عربستان نقش مهمی در ایجاد طوفان‌های گردو خاک مناطق جنوبی، جنوب غربی و غرب به‌ویژه شهر سندرچ دارد. طوفان‌های گردو خاکی که استان کردستان را در برمی‌گیرند عمدتاً در نیمه گرم سال رخ می‌دهند. این رویدادها از اواخر زمستان روند افزایشی پیدا می‌کنند و در تیرماه فراوانی و غلظت آن‌ها به اوج می‌رسد (قوامی و همکاران، ۱۳۹۳). صلاحی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به واکاوی شرایط هم‌دید - سنسجس از دور رخداد طوفان گردو خاک در شمال غرب ایران (مهر ۱۳۹۲) پرداختند و نتایج نشان داد که در شرایطی که شیو فشار زیاد بین مرکز پرفشار و کم‌فشار در

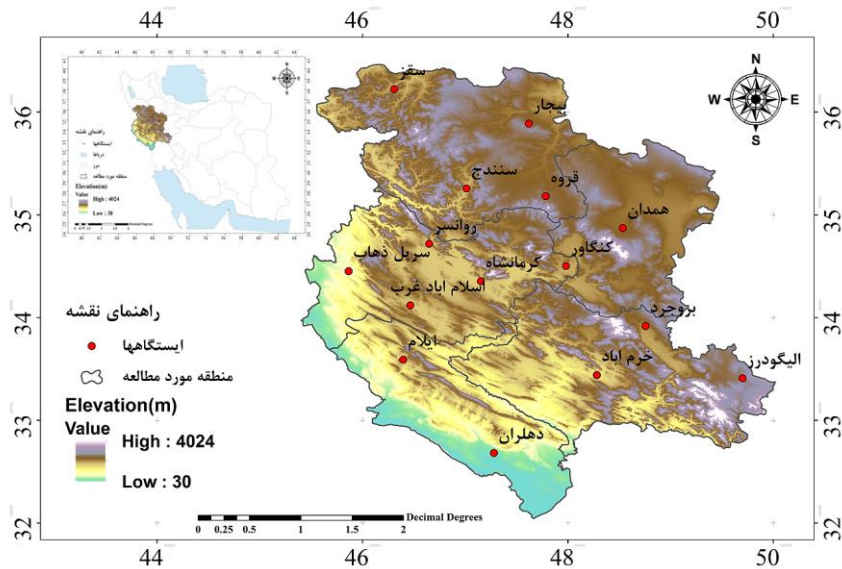
داده‌ها تا ۵ روز دارای وابستگی فضایی- زمانی هستند، لذا می‌توان از آخرین روز دوره آماری، احتمال وقوع روز گردوخاک را برای ۵ روز آینده پیش‌بینی کرد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۸). مبارک حسن و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی گردوخاک در گستره ایران توسط مدل باز تحلیل MERRA-2 NASA دوره آماری (۲۰۰۷-۲۰۱۷) پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تغییر زمانی گردوخاک ستون هوا در سه ایستگاه بوشهر، آبادان و اهواز بیشترین روند کاهشی را با ضریب $-0/035$ و $-0/034$ دارد و نشان‌دهنده کاهش اثر کانون‌ها فرامرزی گردوخاک است. در توزیع زمانی، سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۲ با شدیدترین فراگیرترین گردوخاک‌ها در گستره ایران تعیین کردند. توفان‌های گردوخاک شدید و به خصوص توفان‌های با دید کمتر از ۲۰۰ متریکی از مخاطرات مهم اقلیمی هستند. این پدیده ضمن به خطر انداختن زیست و سلامت حیات جاندار، فعالیت‌های روزمره ساکنان را دچار اختلال می‌نماید. حمل‌ونقل هوایی، زمینی دچار اختلال جدی شده و صنایع و محصولات کشاورزی در معرض آسیب قرار می‌گیرند. وقتی فراوانی وقوع و تکرار یک پدیده مخرب و تهدیدکننده‌ای همانند توفان‌های گردوخاک در منطقه‌ای روند افزایشی پیدا می‌کند، شایسته است متخصصان نسبت به این مسئله توجه نموده و قبل از این که این پدیده به یک بحران تبدیل شود با ارائه اطلاعات دقیق از ساختار و ویژگی‌های آن پدیده و تحلیل علت یا علل وقوع یا تشدید آن، مسئولین ذی‌ربط را برای روش‌های سازگاری با پدیده و کاهش اثرات مخرب آن یاری نمایند. این تحقیق با هدف شناخت روند وقوع این پدیده در غرب کشور ایران به‌عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی و جمعیتی کشور و همچنین الگو یا الگوهای هم‌دیدگی منجر به شکل‌گیری توفان و انتقال ذرات گردوخاک به منطقه تدوین شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به دو روش آماری و هم‌دیدگی انجام شده است. برای انجام بخش آماری تحقیق گام‌های از اجرایی زیر استفاده شده است. الف) استخراج ایستگاه‌های هم‌دید منطقه مطالعاتی از سایت سازمان هواشناسی کشور ایران. ب) بررسی طول دوره آماری هر یک از ایستگاه‌های هم‌دید (با توجه به این که هدف اولیه این تحقیق بررسی روند تاریخی توفان‌های گرد و خاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر که

۲۰۰۷) و بهترین نمایش پراش در داده‌ها تهیه و نمایش داده می‌شود (بری و کارلتون، ۲۰۰۱). بنابراین ۹ عامل ۹۱/۸۰ درصد از کل واریانس را تشکیل می‌دهند (جدول ۳). نمودار ScreePlot برای انتخاب تعداد بردارهای ویژه اصلی استفاده شد (شکل ۲).

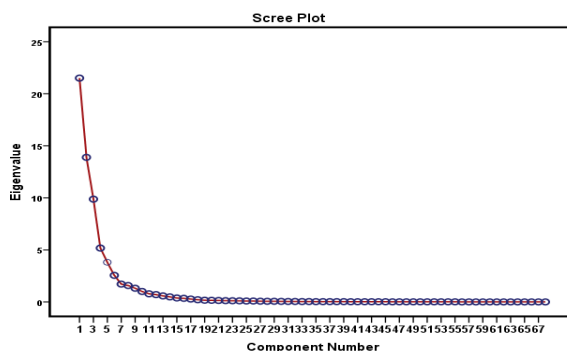
ماتریس داده‌ها از نظر آماری به‌عنوان آزمون (KMO) برابر با ۰/۸۶۹ (عالی) (جدول ۲) ارزیابی شد، معیاری که توانایی ماتریس را برای انجام تحلیل ارزیابی می‌کند. سپس برای استخراج بردارهای ویژه از ماتریس همبستگی استفاده شد. استفاده از ماتریس‌های همبستگی به این معنی است که داده‌ها نیازی به نرمال‌سازی ندارند (کاستوپولو و جونز،



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌ها در غرب ایران

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

ردیف	نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	بیجار	۳۵/۸۸	۴۷/۶۲	۱۸۸۳/۴
۲	بروجرد	۳۱/۹۱	۴۸/۷۵	۱۶۲۹
۳	دهلران	۳۲/۶۸	۴۷/۲۸	۲۳۲
۴	اسلام‌آباد غرب	۳۴/۱۱	۴۶/۴۶	۱۳۴۸/۸
۵	همدان	۳۴/۸۶	۴۸/۵۳	۱۷۴۰/۸
۶	ایلام	۳۳/۵۸	۴۶/۳۹	۱۳۳۷
۷	کنگاور	۳۴/۵	۴۷/۹۸	۱۴۶۸
۸	کرمانشاه	۳۴/۳۵	۴۷/۱۵	۱۳۱۸/۵
۹	خرم‌آباد	۳۳/۴۳	۴۸/۲۸	۱۱۴۷/۸
۱۰	قروه	۳۵/۱۸	۴۷/۷۸	۱۹۰۶
۱۱	روانسر	۳۴/۷۱	۴۶/۶۵	۱۳۸۰
۱۲	سنندج	۳۵/۲۵	۴۷/۰۱	۱۳۷۳/۴
۱۳	سقز	۳۶/۲۲	۴۶/۳۱	۱۵۲۲/۸
۱۴	سرپل ذهاب	۳۴/۴۵	۴۵/۸۶	۵۴۵
۱۵	الیگودرز	۳۳/۴	۴۹/۷	۲۰۲۲/۱



شکل ۲: نمودار اسکری گراف برای نمایش ارزش ویژه عوامل

پس از بررسی چشمی ۱۰ عامل در نهایت این طوفان‌ها در چهار الگوی کلی باعث ایجاد شرایط همدیدی منجر به خیزش گردو خاک از منابع گردو خاک سوریه، عراق و عربستان بوده‌اند.

جدول ۲: آزمون KMO و بارتلت به منظور اطمینان از مناسب بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی غرب

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		.869
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	156241.533
	df	2278
	Sig.	.000

جدول ۳: نمایش مقادیر ویژه، درصد واریانس و واریانس تراکمی برای نمونه‌های گزینش شده

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	21.508	31.630	31.630	21.508	31.630	31.630
2	13.895	20.434	52.064	13.895	20.434	52.064
3	9.874	14.520	66.584	9.874	14.520	66.584
4	5.174	7.608	74.192	5.174	7.608	74.192
5	3.808	5.600	79.793	3.808	5.600	79.793
6	2.558	3.762	83.555	2.558	3.762	83.555
7	1.716	2.523	86.078	1.716	2.523	86.078
8	1.578	2.320	88.399	1.578	2.320	88.399
9	1.318	1.938	90.336	1.318	1.938	90.336
10	1.002	1.473	91.810	1.002	1.473	91.810
11	.780	1.146	92.956			
12	.701	1.031	93.987			
68	.002	.003	100.000			

Extraction Method: Principal Component Analysis.

از محیط نرم‌افزار GRADS استفاده شده است. و اسکیتوی‌های هر الگو از سایت دانشگاه وایومینگ دریافت گردید.

از پایگاه داده‌های NCEP/NCAR (https://psl.noaa.gov/) برای دریافت داده‌های ترازهای ۵۰۰، ۷۰۰، ۸۵۰، ۹۲۵ هکتوپاسکال و همچنین جهت ترسیم نقشه‌ها

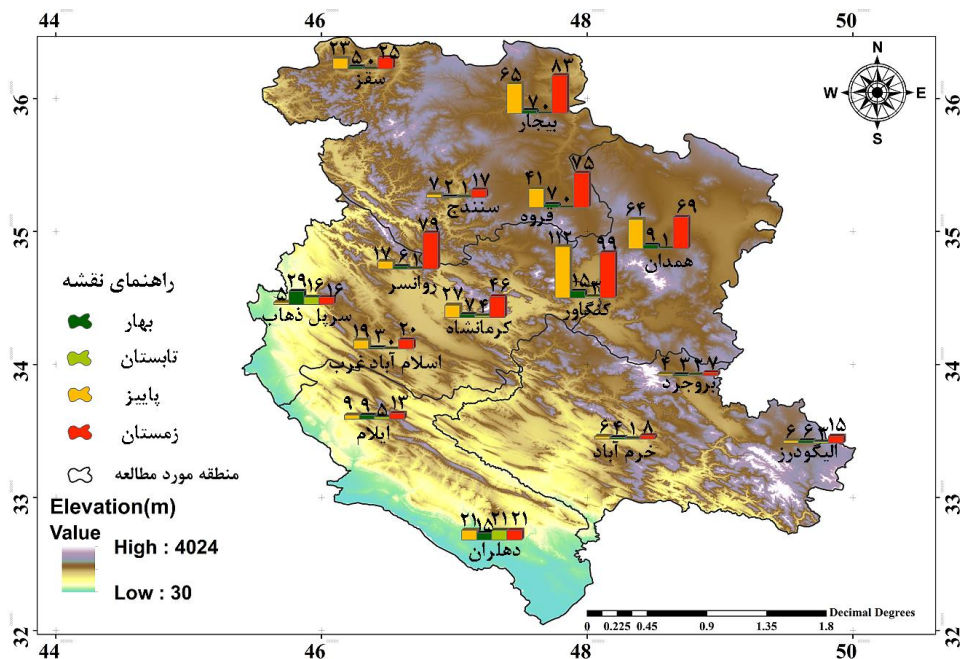
بحث و نتایج

یافته‌های تحقیق در دو بخش جداگانه ارائه شده است. در بخش اول پراکنش زمانی - مکانی توفان‌های گردوخاک در قالب پراکنش ماهانه و فصلی ارائه شده است. در بخش دوم الگوهای همبندی که عامل اصلی وقوع این توفان‌های گردوخاک است، ارائه خواهد شد.

پراکنش زمانی - مکانی توفان‌های غرب ایران

شکل ۳ پراکنش فصلی روزهای همراه با گردوخاک در هر یک از ایستگاه‌های نمونه انتخابی را در طول دوره آماری نشان می‌دهد. در کل دوره ۳۳ ساله در منطقه غرب ایران که شامل استان‌های ایلام، کرمانشاه، کردستان، همدان و لرستان است، ۱۲۰۴ مورد روز - توفان گزارش شده است. از این تعداد ۵۹۳ مورد در فصل زمستان (رتبه اول)، ۴۲۶ مورد در فصل پاییز (رتبه دوم) ۱۲۷ مورد در فصل بهار

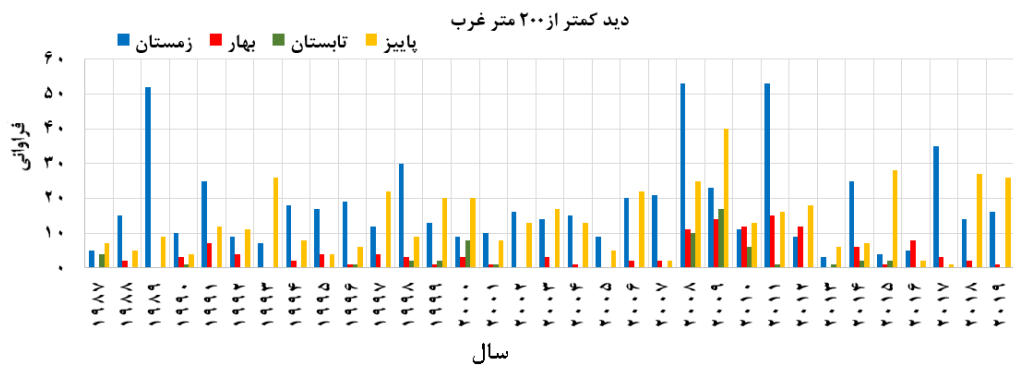
(رتبه سوم) و ۵۸ مورد در فصل تابستان (رتبه چهارم) اتفاق افتاده است. همان‌طور که بر روی نقشه نیز دیده می‌شود بالاترین تعداد توفان‌های گردوخاک در بخش شرقی منطقه مطالعاتی و به خصوص در استان‌های همدان، شرق استان‌های کرمانشاه و کردستان اتفاق افتاده است. کمترین تعداد توفان‌ها در استان‌های لرستان و ایلام رخ داده است. ایستگاه کنگاور با ۲۲۹ مورد توفان گردوخاک آلوده‌ترین ایستگاه از لحاظ تعداد روزهای همراه با گردوخاک است. ایستگاه بیجار با ۱۵۵ مورد توفان در رتبه دوم و ایستگاه همدان با ۱۴۳ مورد در رتبه سوم قرار دارند. بیشترین تعداد رخداد توفان‌های گردوخاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر در دوره سرد سال در بخش شرقی منطقه مطالعاتی و در دوره گرم سال در بخش غربی منطقه قرار دارد.



شکل ۳: توزیع فصلی توفان‌های گرد و خاک با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر در غرب ایران ۱۹۸۷-۲۰۱۹.

۱۹۹۸، سایر سال‌ها روند متعادلی را نشان می‌دهند. ولی در فاصله زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ خیزش قابل ملاحظه‌ای در تعداد توفان‌های گردوخاک دیده می‌شود. ولی بعد از سال ۲۰۱۲ تا انتهای دوره کاهش قابل توجه در توفان‌های گرد خاک دیده می‌شود. از این سال به بعد در قیاس با دوره قبل از سال ۲۰۰۷ بر تعداد توفان‌های دو فصل زمستان و پاییز افزوده شده است.

تغییرات زمانی توفان‌های گرد و خاک غرب ایران در طول دوره آماری ۳۳ ساله: شکل ۴ تغییرات زمانی توفان‌های گردوخاک با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر را در غرب ایران نشان می‌دهد. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد از ابتدای دوره آماری تا سال ۲۰۰۷ روند وقوع توفان‌های گردوخاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر تقریباً شرایط تثبیت‌شده‌ای دارد. صرف‌نظر از برخی نوسانات در زمستان سال‌های ۱۹۸۹ و



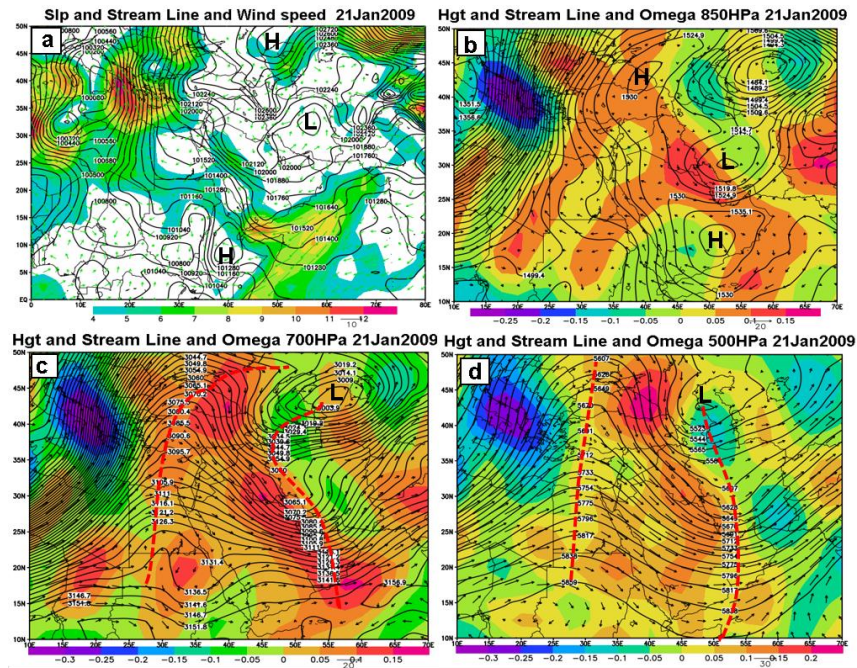
شکل ۴: تغییرات زمانی طوفان‌های گردوخاک با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر در غرب ایران (دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۹).

منطقه غرب ایران نشان می‌دهد. این شرایط دینامیکی و فرونشینی و پایداری قوی حاصل از آن در لایه‌های میانی جو سبب تشدید پایداری جوی در لایه زیرین را فراهم کرده است. آرامش هوا و جریان‌ات با تندی کمتر از ۱ تا ۲ نات بر روی نقشه تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال بر روی غرب ایران مؤید این مسئله است. نقشه ترکیبی تاوایی، جریان و ارتفاع ژئوپتانسیل نیز وجود دو میدان با تاوایی مثبت قوی بر روی دریاچه خزر و جنوب و جنوب غرب ایران را در تمام ترازهای زیرین و میانی جو را نشان می‌دهد. ماندگاری چندین روزه ناوه بر روی غرب و میانه ایران و فرارفت تاوایی مثبت به درون مرکز کم ارتفاع مستقر بر روی دریاچه خزر و فرارفت گرم عرض‌های جنوبی به جلو ناوه روی ایران سبب تقویت هر چه بیشتر مرکز کم ارتفاع درون ناوه و تشدید شیو ارتفاعی و فشاری در غرب ایران و کشورهای عراق و سوریه شده است. با تشدید جریانات شمالی بر روی این منطقه و تزریق تاوایی منفی بر روی منطقه غرب آسیا از طریق میدان‌های گسترده تاوایی منفی در محدوده دریای سیاه تا شمال عربستان مؤید این پدیده است. شکل ۶ d نمودار اسکیتوی را برای ساعت ۱۲ روز نمونه نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در ترازهای زیرین وردسپهر جوی آرام بر روی ایستگاه کرمانشاه به‌عنوان نماینده منطقه غرب ایران حاکم است. با توجه به وجود یک ناوه عمیق بر روی ایران و شرایط رطوبتی حاکم در روزهای قبل بر روی منطقه جوی نسبتاً مرطوب بر روی منطقه غرب حاکم است. موقعیت نمودار دما و دمای نقطه شبنم نشان‌دهنده این پدیده است. ولی از تراز ۹۰۰ تا ۹۵۰ هکتوپاسکال جوی خشک و نسبتاً پایدار بر روی منطقه غربی حاکم می‌شود. شاخص‌های ناپایداری سمت راست نمودار نیز این پدیده را تأیید می‌کند.

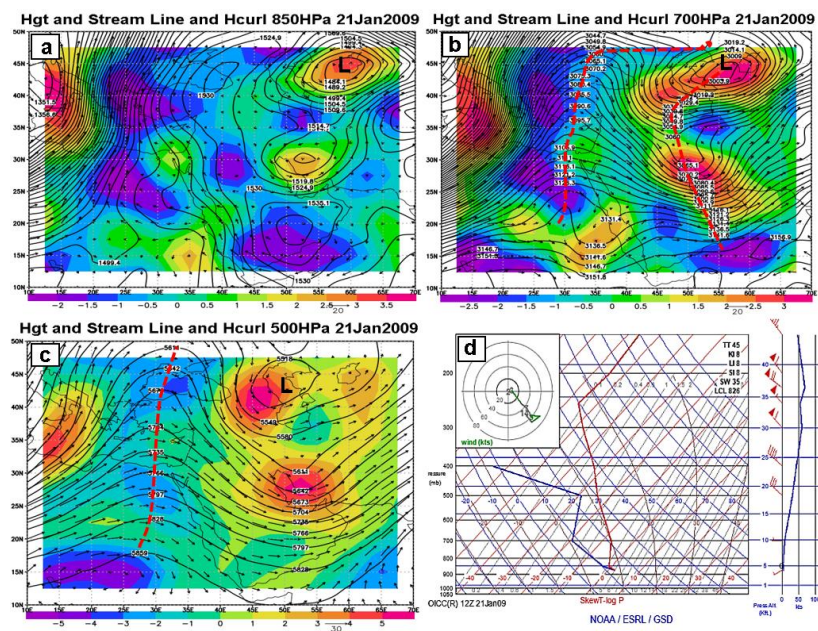
الگوهای همدیدی طوفان‌های گردوخاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر در غرب ایران

الگوی همدیدی طوفان‌های دوره سرد سال

الگوی همدیدی پرفشار آفریقا: این نمونه نماینده طوفان‌هایی است که کنترل‌کننده اصلی طوفان سامانه واچرخندی آفریقا و الگوی گسترش آن است. همان‌طور که بر روی نقشه ترازهای مختلف این روز نمونه دیده می‌شود، در این الگو از چند روز قبل (دو تا چهار روز) قبل از وقوع طوفان پشت‌های از واچرخند آفریقا با راستایی تقریباً جنوبی - شمالی در محدوده غرب دریای سرخ تا کشور لیبی یا الجزایر با گسترش شمال سوی تمام پهنه صحرای آفریقا تا شرق اروپا (عرض ۶۰ تا ۶۵ درجه شمالی) را در برمی‌گیرد. در این الگو جریانات در تمام ترازهای ۸۵۰ تا ۵۰۰ هکتوپاسکال و بالاتر مؤلفه‌ای تقریباً نصف‌النهاری پیدا می‌کنند. این الگوی گسترش شمالی - جنوبی علاوه بر این که با سدکردن امتداد جریانات غربی سبب کندی حرکت ناوه‌های قبل و بعد از پشته می‌گردد. تداوم فرارفت سرد قطبی و جنب قطبی دامنه شرقی این پشته، ناوه کاملاً عمیقی را بر روی غرب آسیا در محدوده شرق دریای مدیترانه تا غرب ایران ایجاد می‌نماید. با جابجایی شرق سوی پشته واچرخندی آفریقا و استقرار آن بر روی کشور عراق و غرب ایران در لایه زیرین، جوی پایدار ایجاد شده و این پدیده بر ماندگاری بیشتر ذرات گردوغبار انتقالی کمک می‌کند. در حالی که در لایه‌های میانی و به خصوص در تراز ۷۰۰ هکتوپاسکال جریانات و تندبادهای پشت ناوه ذرات گردوخاک برخاسته از روی چشمه‌های گردوخاک کشور سوریه و غرب عراق را بر روی غرب ایران فرارفت می‌نماید. نقشه‌های ترکیبی امگا، جریان و ژئوپتانسیل به خوبی استقرار یک میدان گسترده با امگای مثبت قوی را بر روی غرب آسیا و جریانات شمال و شمال غربی غالب بر روی



شکل ۵: نقشه تراز دریا (کنتور)، میدان باد (بردار) و سرعت باد (سایه‌دار) در سطح دریا (a)، ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتور)، میدان باد (بردار) و امگا (سایه‌دار) در سطح ۸۵۰ (b)، ۷۰۰ (c)، ۵۰۰ (d) ژانویه ۲۰۰۹.



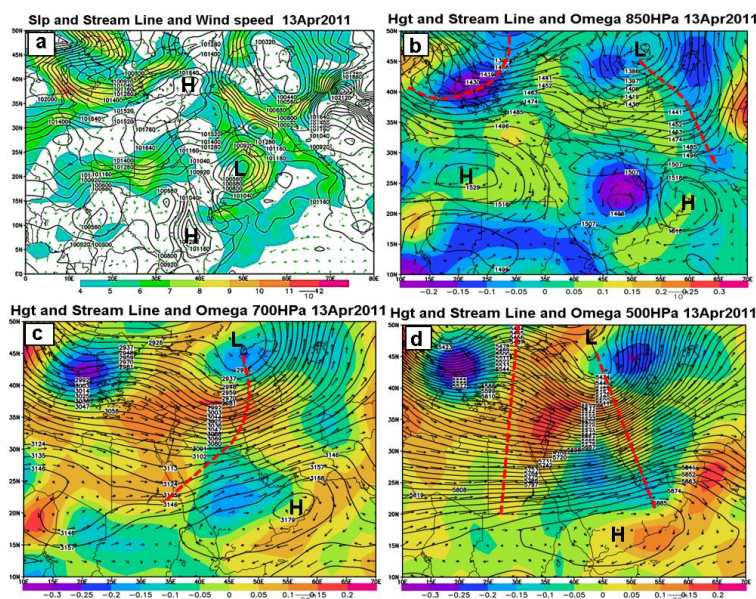
شکل ۶: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتور)، میدان باد (بردار) و تاوایی (سایه‌دار) در سطح ۸۵۰ (a)، ۷۰۰ (b)، ۵۰۰ (c) و نمودار اسکیتوتی شهر کرمانشاه روز ۲۱ ژانویه ۲۰۰۹ ساعت ۱۲ Z.

پهنه شمال صحرای آفریقا، مدیترانه شرقی و در ادامه تمام پهنه شرقی اروپا را در بر گرفته است. فرارفت گرم عرض‌های جنوبی به خصوص از روی بیابان‌های گرم عربستان توسط سامانه سودانی و فرارفت سرد عرض‌های جنب قطبی به وسیله سامانه واچرخندی، شیو دمایی و فشار شدیدی را بر روی آسیای غربی به خصوص بر روی بخش غربی عربستان

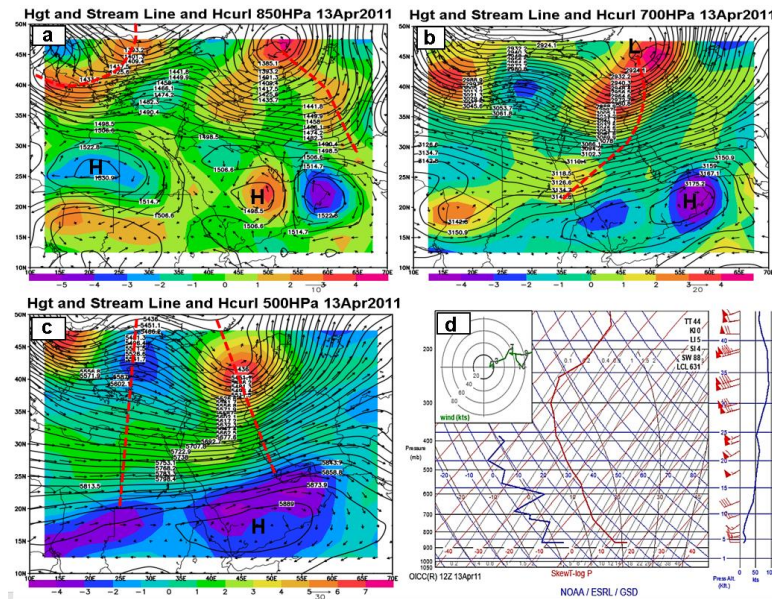
الگوی همیدی کم‌فشار سودان: در این الگو سامانه اصلی، به خصوص در لایه زیرین و ردسپهر سامانه کم‌فشار سودان است. همان‌طور که بر روی نقشه تراز دریا دیده می‌شود در این الگو سامانه سودانی با جابجایی شمال سو تمام پهنه شبه جزیره عربستان را در بر می‌گیرد. در مقابل مرکز واچرخندی با راستای جنوب غربی - شمال شرقی تمام

و کشورهای عراق و سوریه ایجاد نموده است. تندبادهای سطحی در این محدوده، به خوبی مؤید این پدیده است. با تشدید جریانات جنوبی در ضلع شرقی سامانه سودانی، در شرق عربستان و جریانات شمالی در دامنه شرقی و اچرخند در شرق سوریه و غرب عراق شرایط لازم برای خیزش گردوخاک از روی این بیابانها فراهم نموده است. ولی به تدریج از لایه مرزی ۸۵۰ هکتوپاسکال و ترازهای ۷۰۰ هکتوپاسکال و بالاتر پشته گسترده‌ای در امتداد شمالی و اچرخند آفریقا با گسترش شمال سوی تا شمال دریای سیاه امتداد یافته است. با تشدید جریانات شمالی در ضلع شرقی پشته و فرارفت سرد عرض‌های جنب قطبی و تداوم این ریزش برای دو تا سه روز در برخی از نمونه‌ها، ناوه عمیقی بر روی آسیای غربی و بر روی کشورهای سوریه تا مرکز ایران شکل می‌گیرد. با تداوم فرارفت سرد به درون ناوه مرکز کم ارتفاع بریده‌ای در محدوده دریای مازندران تا دریای سیاه تکوین یافته و تقویت می‌شود. شکل‌گیری و تقویت میدانی از امگای منفی قوی در این محدوده جغرافیایی و در مقابل با تکوین میدانی از امگای مثبت در امتداد پشته عمیق و اچرخند آفریقا در تمام ترازهای لایه مرزی تا لایه میانی، شیو توپوگرافی (ارتفاع ژئوپتانسیل) قوی را در غرب آسیا، و به تبع آن تندبادهای قوی را بر روی این منطقه ایجاد کرده است. این جریانات شمال - شمال غربی گردوخاک برخاسته از چشمه‌های گردوغباری می‌افتند.

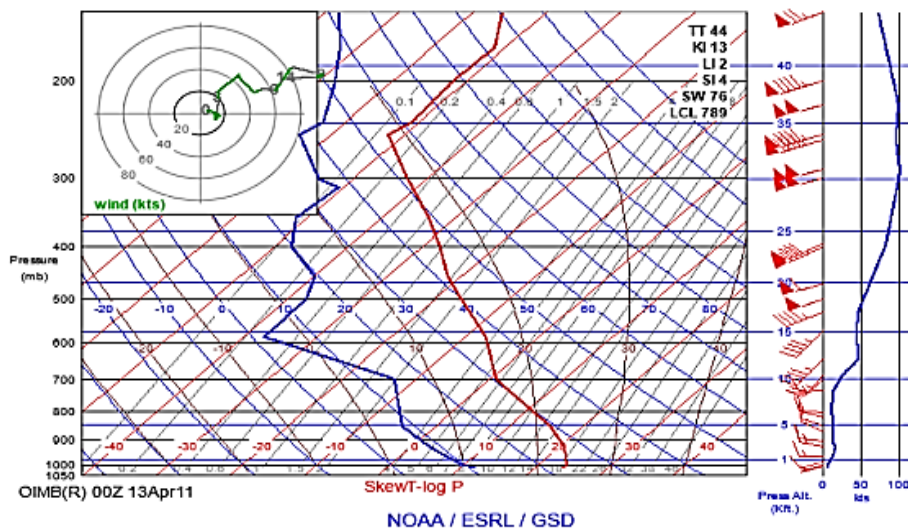
کشورهای سوریه و عراق را بر روی منطقه غربی ایران فرارفت نموده است. میدانی با تاوایی مثبت با بزرگی ۰/۲۵ تا ۰/۳۵ متر بر ثانیه که با یک چینش مناسبی به ترازهای بالاتر رو به افزایش است شرایط بسیار مناسبی برای خیزش ذرات گردوخاک در لایه‌های زیرین و انتقال آن در یک جریان بالاسو به ترازهای میانی فراهم نموده است. این میدان با تاوایی مثبت قوی تمام پهنه دریای مدیترانه تا غرب ایران را فرا گرفته است. شکل ۱۰ نمودار اسکویوتی شهر کرمانشاه را برای این روز نمونه نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در لایه زیرین و ردسپهر (در محدوده ۹۰۰ تا ۶۰۰ هکتوپاسکال) جوی نسبتاً مرطوب حاکم است. با توجه به الگوی همدیدی حاکم در روزهای قبل و وجود یک ناوه عمیق بر روی منطقه و فرارفت رطوبتی مناسب (موقعیت مناسب و اچرخند عربستان و جابجایی شرق سوی این و اچرخند) بر روی منطقه، جوی مرطوب حاکمیت دارد. چینش قائم باد نیز بر روی نمودار اسکویوتی ساعت صفر، و مقادیر مناسب شاخص‌های ناپایداری مؤید این پدیده است. در صورتی که بر روی نمودار ساعت ۱۲ با عبور سامانه بارشی، و نزدیک شدن پشته، جوی خشک بر روی منطقه حاکم شده است. نمودار دما و دمای نقطه شبنم نمودار ساعت ۱۲ مؤید این مسئله است. بررسی شرایط بارشی سامانه‌های متأثر از این الگو نشان می‌دهد عمده این توفان‌های گردوخاک بعد از عبور یک سامانه بارشی اتفاق



شکل ۷: نقشه تراز دریا (کنتور)، میدان باد (بردار) و سرعت باد (سایه‌دار) در سطح دریا (a)، ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتور)، میدان باد (بردار) و امگا (سایه‌دار) در سطح ۸۵۰ (b)، ۷۰۰ (c)، ۵۰۰ (d) ۱۳ آوریل ۲۰۱۱.



شکل ۸: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتور)، میدان باد (بردار) و تاوایی (سایه‌دار) در سطح (a) ۸۵۰، (b) ۷۰۰، (c) ۵۰۰ و نمودار اسکیتوی شهر کرمانشاه روز ۱۳ آوریل ۲۰۱۱ ساعت ۱۲ Z.



شکل ۹: نمودار اسکیتوی شهر کرمانشاه ۱۳ آوریل ۲۰۱۱ ساعت ۰۰ Z.

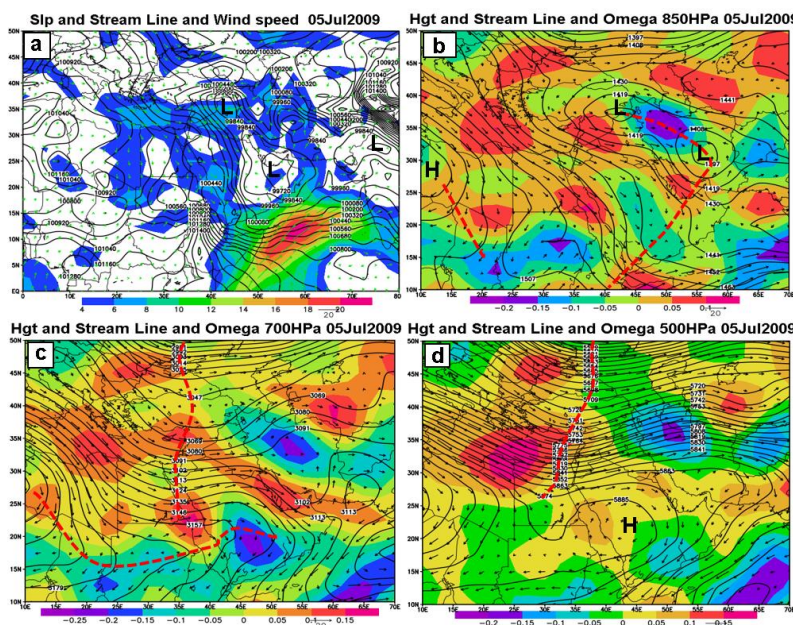
مدیترانه شرقی و در ادامه تا جنوب دریای سیاه را در بر گرفته است. در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال کم‌فشارهای پاکستان و لوت پدیده غالب منطقه می‌باشند. فرارفت گرم از روی بیابان‌های گرم عربستان و ایران و فرارفت هوای خنک عرض‌های جنب قطبی در قالب گردش چرخندی زبانه کم‌فشار در ترازهای زیرین و ردسپهر سبب شکل‌گیری دو میدان امگای منفی و مثبت قوی به ترتیب بر روی جنوب دریای خزر و کشور سوریه و غرب عراق شده است. وجود تندبادهایی با سرعت بیش از ۱۰ نات بر روی کشور سوریه در ترازهای دریا و ۸۵۰ هکتوپاسکال زمینه مناسبی برای خیزش گردوخاک از روی بیابان‌های این منطقه فراهم

الگوی همدیدی توفان‌های دوره گرم سال

الگوی کم‌فشار ترکیبی عربستان، پاکستان و دشت لوت: در این الگو که نماینده الگوی طوفان‌های تابستانه غرب کشور است، در تراز زیرین و ردسپهر با توجه شرایط تابستانه حاکم بر منطقه، در لایه زیرین و ردسپهر سامانه‌های حرارتی و در لایه‌های میانی و ردسپهر سامانه‌های دینامیکی نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. همان‌طور که بر روی نقشه‌های ترکیبی تراز دریا و ۸۵۰ هکتوپاسکال دیده می‌شود، در تراز زیرین کم‌فشار حرارتی عربستان عامل غالب منطقه غرب آسیا است. زبانه این سامانه با راستایی جنوب شرقی - شمال غربی تمام پهنه شبه‌جزیره عربستان، غرب ایران تا

در برخی نمونه‌ها این سامانه در حالتی کاملاً ادغامی با واچرخند آفریقا عمل می‌کند. ولی همان‌طور که بر روی نقشه‌های ترازهای مختلف مشاهده می‌شود واچرخند آفریقا به صورت یک سامانه دینامیکی در تمام ترازها حاکمیت خود را نشان می‌دهد (شکل ۱۰).

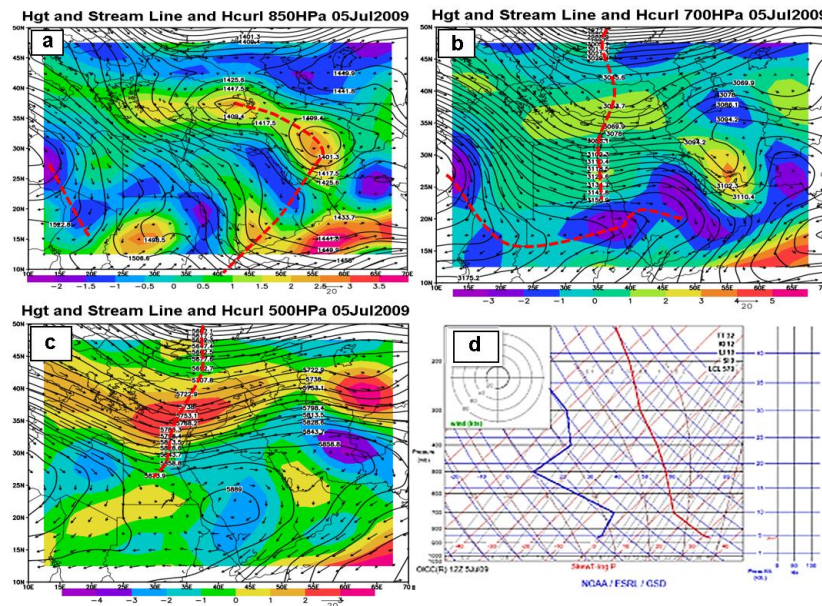
نموده است. در حالی که هوا بر روی غرب ایران آرام بوده و یا تندی کمی دارد. در ترازهای ۷۰۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال آرایش همدیدی کاملاً تغییر پیدا کرده و سامانه غالب بر روی شبه‌جزیره عربستان مرکز و زبانه واچرخندی عربستان است. این سامانه با گسترش مداری تمام پهنه شبه‌جزیره عربستان و در ادامه جنوب شرق ایران را در بر گرفته است.



شکل ۱۰: نقشه تراز دریا (کنتور)، میدان باد (بردار) و سرعت باد (سایه‌دار) در سطح دریا (a)، ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتور)، میدان باد (بردار) و امگا (سایه‌دار) در سطح ۸۵۰ (b)، ۷۰۰ (c)، ۵۰۰ (d) ژولای ۲۰۰۹.

ایران ذرات گرد خاک به تدریج به لایه‌های زیرین فرونشست کرده‌اند. چینش قائم باد این کاهش سرعت را از لایه‌های پایین به لایه‌های میانی بر روی منطقه غربی ایران نشان می‌دهد (شکل ۱۱). همان‌طور که بر روی نقشه‌های همدیدی ترازهای زیرین ورسپهر مشاهده شد، غرب ایران در این الگو در تراز زیرین و میانی جو در شرایط ناپایدار قرار دارد. ولی همان‌طور که بر روی نمودار اسکیوتی دیده می‌شود در تمام ضخامت جو بر روی منطقه غربی کشور جوی خشک حاکمیت دارد. نمودارهای دما و دمای نقطه شبنم به خوبی این پدیده را نشان می‌دهد. با وجود اینکه انتظار جوی ناپایدار بر روی منطقه می‌رود ولی الگوی همدیدی حاکم بر روی دریاهای جنوبی و موقعیت ناوه بر روی مدیترانه، سبب شده است رطوبت مناسب به درون سامانه فرارفت نشده و تندبادهای ایجاد شده در لایه زیرین ذرات گردو خاک را از خاک‌های خشک و گسسته کشورهای سوریه و عراق بلند کرده است (شکل ۱۱).

از تراز زیرین ورسپهر پشته واچرخند آفریقا با گسترش شمال سوی در محدوده مدیترانه میانی و شرقی تا بالای عرض ۶۰ درجه شمالی گسترش دارد. با گسترش شمال سوی پشته و گسترش مؤلفه نصف‌النهاری جریانات در بخش شرقی پشته، جریانات با مؤلفه نصف‌النهاری ضمن فرارفت سرد و تزریق تاوایی مناسب میدان قوی با امگای مثبت بر روی مدیترانه مرکزی و شرقی و کشور سوریه ایجاد کرده است. در حالی که با غلبه جریانات جنوبی بر روی غرب و مرکز ایران میدانی از امگای منفی بر روی شمال غرب و غرب ایران شکل گرفته است. شیو فشاری و ارتفاعی حاصل از این شرایط دینامیکی ایجاد شده بر روی آسیای غربی سبب تشدید و ایجاد تندبادهایی با سرعت بیش از ۳۰ تا ۳۵ نات بر روی عراق و سوریه شده است. این جریانات غربی گردو خاک برخاسته از روی بیابان‌های سوریه و غرب عراق را در لایه‌های میانی جو به سمت غرب ایران فرارفت می‌نماید. ولی به دلیل آرامش جوی حاکم بر روی غرب



شکل ۱۱: نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل (کنتور)، میدان باد (بردار) و تاوایی (سایه‌دار) در سطح ۸۵۰ (a)، ۷۰۰ (b)، ۵۰۰ (c) و نمودار اسکیتوی شهر کرمانشاه روز ۰۵ ژوئای ۲۰۰۹ ساعت ۱۲ Z

نتیجه‌گیری

است. تقریباً در سیکل ۲۳ خورشیدی تعداد توفان‌های گردو خاک افزایش قابل توجهی داشته است. از سال ۲۰۱۲ تعداد توفان‌های با این ویژگی کاهش محسوسی داشته است، ولی به شرایط قبل از سال ۲۰۰۷ برنگشته است. به عبارت دیگر توفان‌های با دید کمتر از ۲۰۰ متر یا توفان‌های خطرناک سیر صعودی پیدا کرده است. به لحاظ پراکنش مکانی نیز بالاترین تعداد توفان‌ها در دو فصل سرد سال در ایستگاه‌های شرق منطقه رخ می‌دهد. بدین جهت ایستگاه کنگاور (۲۲۹ مورد) از لحاظ ثبت توفان‌های با دید کمتر از ۲۰۰ متر در بالاترین رتبه قرار دارد. بعد از آن ایستگاه بیجار با ثبت ۱۵۳ مورد در رتبه دوم قرار دارد. برعکس در دوره گرم سال بیشترین تعداد توفان‌ها از بخش غربی منطقه مطالعاتی گزارش شده است. به طوری که بیشترین تعداد توفان‌ها از دو ایستگاه دهلران و سرپل ذهاب گزارش شده است. این پدیده بیانگر آن است که سامانه‌های هم‌دید منجر به ایجاد توفان گردو خاک در منطقه غرب ایران در دوره گرم و سرد سال دارای تفاوت اساسی از لحاظ هم‌دید و ساختار قائم می‌باشند. از لحاظ هم‌دید دو الگوی پرتکرار عامل اصلی ایجاد توفان‌های گردو خاک دوره سرد سال می‌باشند. در الگوی و اچرخند آفریقایی گسترش شمال سوی فراوان پشته این و اچرخند و فرارست سرد عرض‌های جنب قطبی بر روی منطقه غربی آسیا شیب دمایی و فشاری شدیدی را در تمام لایه زیرین و میانی

توفان‌های گردو خاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر از جمله توفان‌های خطرناک چه به لحاظ زیست و سلامت انسان و چه به لحاظ سایر فعالیت‌های روزمره ساکنین شهرها و حمل‌ونقل شهری و جاده‌ای و هوایی است. همان‌طور که در ابتدا نیز بیان شد، هدف این تحقیق در وهله اول استخراج پراکنش زمانی وقوع توفان‌های گردو خاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر بود که بتوان با استخراج این پراکنش اقدامات لازم چه به لحاظ ایجاد زیرساخت‌های مناسب توسط دست‌اندرکاران برای کاهش اثرات مخرب گردو خاک بر زیست، سلامت و فعالیت‌های روزمره مردم و چه از لحاظ برنامه‌ریزی بلندمدت برای سازگاری بهتر با این شرایط فراهم نمایند. در این بخش ملاحظه شد که در انطباق با فراوانی ورود سامانه‌های ناپایدار به منطقه غرب آسیا و منطقه مورد مطالعه، بالاترین تعداد توفان‌های گردو خاک با دید کمتر از ۲۰۰ متر در دو فصل پرتلاطم به لحاظ جوی یعنی زمستان (۵۹۳ مورد) و پاییز (۴۲۶ مورد) رخ می‌دهد. به لحاظ ماهانه نیز بالاترین تعداد توفان‌های گردو خاک از این نوع در ماه‌های ژانویه با ۳۵۲ مورد و دسامبر با ۲۳۶ مورد رخ داده است. از لحاظ روند تاریخی توفان نیز تعداد این‌گونه توفان‌ها تا سال ۲۰۰۷ تقریباً روند ثابتی داشته است. از سال ۲۰۰۸ تعداد این‌گونه توفان‌ها افزایش چشمگیری داشته و این فرایند تا سال ۲۰۱۲ ادامه داشته

ناپایداری‌های سطحی بر روی منطقه شمال غربی عربستان، غرب عراق و سوریه تشدید می‌شود. تندبادهای حاصل از این ناپایداری سطحی عامل اصلی خیزش گردوخاک از چشمه‌های گردوخاک منطقه است. در صورتی که در لایه‌های میانی عموماً جوی آرام بر روی منطقه حاکمیت دارد. به همین دلیل توفان‌های گردوخاک دوره گرم سال در منطقه غرب ایران در ایستگاه‌های کم ارتفاع غربی رخ می‌دهد. ایستگاه‌های مرتفع غربی عموماً فاقد این نوع توفان‌های گردوخاک هستند. یا به عبارت دیگر در این ترازها جریانی که بتواند ذرات ریز گرد را بر روی ایستگاه‌های شرقی منطقه منتقل نماید وجود ندارد یا بسیار ضعیف است. نتایج این تحقیق با مطالعه افضلی، ۱۳۹۳ در زمینه بیشترین رخداد دید افقی در ماه ژانویه و دسامبر همخوانی دارد. از لحاظ رخداد سال‌های همراه با گردوغبار سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ با مطالعات عزیززی و همکاران، ۱۳۹۱؛ رنجبر و همکاران، ۱۳۹۵؛ آرامی و همکاران، ۱۳۹۷؛ لشکری و محمدی، ۱۴۰۱ همخوانی دارد. این تحقیق نشان داد که توفان‌های گردوخاک در منطقه غرب ایران ارتباط نزدیکی با تعداد سامانه‌های ناپایدار ورودی به منطقه دارد. به همین دلیل بیشترین تعداد توفان‌ها هم‌زمان با ورود سامانه‌های ناپایدار در دوره سرد سال رخ می‌دهد. همچنین عمده توفان‌های دوره سرد سال بعد از عبور یک سامانه بارشی رخ می‌دهند. از دیگر یافته‌های جدید این تحقیق این بود که ذرات گردوخاک در دوره سرد سال در لایه‌های میانی وردسپهر و در دوره گرم سال در لایه زیرین وردسپهر منتقل می‌شوند. به همین دلیل فراوانی توفان‌های گردوخاک در فصل سرد در ایستگاه‌های شرقی و در فصل گرم در ایستگاه‌های غربی بیشتر است.

سپاسگزاری

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

وردسپهر ایجاد می‌کند. در این الگو ناوه بسیار عمیقی از چند روز قبل از شروع توفان در غرب ایران شکل می‌گیرد. ناپایداری تشدید ایجاد شده عامل اصلی تندبادهای شدید بر روی بیابان‌های سوریه و غرب عراق و خیزش گردوخاک از این منطقه است. این‌گونه توفان‌ها با توجه به سرعت جابجایی ناوه عموماً یک تا دو روز بعد از پایان بارش در غرب ایران شروع می‌شوند. در الگوی کم‌فشار سودان نیز با گسترش قابل‌ملاحظه زبانه کم‌فشار سودان بر روی منطقه غربی آسیا در دامنه غربی آن در تمام ترازهای زیرین و میانی وردسپهر پشته عمیقی با گسترش شمال سوی، با فرافت سرد جنب قطبی سبب شکل‌گیری ناوه عمیقی در منطقه غربی آسیا در لایه‌های میانی و تشدید ناپایداری‌ها بر روی چشمه‌های مستعد گردوخاک سوریه و عراق می‌گردد. در این الگو نیز در تعدادی از نمونه‌ها قبل از شروع توفان گردوخاک منطقه غربی ایران دارای بارش بوده است. ولی در زمان وقوع توفان منطقه غربی ایران در پهنه پشت ناوه قرار داشته است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در الگوهای زمستانه گردوخاک‌های شدید در غرب ایران، با استقرار یک ناوه عمیق در غرب آسیا ناپایداری به تمام لایه‌های زیرین و میانی جو گسترش می‌یابد. در نتیجه تندبادهای سطحی بر روی چشمه‌های گردوخاک سوریه و عراق موجب خیزش این ذرات شده و در ادامه جریانات غربی پشت ناوه این ذرات را در لایه‌های میانی بر روی غرب ایران منتقل نموده است. به همین دلیل ایستگاه‌های مرتفع شرق منطقه مطالعاتی بیشترین تعداد روزهای درگیر توفان را تجربه کرده‌اند. منشأیابی انجام شده بر روی نمونه‌های توفان که نتیجه آن در مقاله دیگری ارائه شده است عموماً از چشمه‌های خارج از ایران است. تقریباً اکثر توفان‌های گردوخاک تابستانه از یک الگوی کلی پیروی کرده‌اند. در این الگوها سه سامانه کم‌فشار دمایی عربستان، پاکستان و گاه دشت لوت عامل اصلی ایجاد توفان‌های گردوخاک در لایه زیرین (تا تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال) می‌باشند. با گسترش شمال غرب سوی زبانه‌های این سامانه‌های ترکیبی که گاه تا میانه دریای مدیترانه و شرق اروپا را نیز در بر می‌گیرد، و فرافت گرم بیابان‌های گرم عربستان و شرق ایران

منابع (References)

-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(7), p. 3467-3474.

- Afzali, M., 2013. Investigating the occurrence of horizontal visibility of less than 2 km and dusty days in Khuzestan province, International Conference on Engineering, Art and Environment, <https://civilica.com/doc/372335> (in Persian).
- Alijane, B. and Raeispor, K., 2011. Statistical, Synoptical Analysis of Sand Storms in SE IRAN. (Study Case: region of sistan), p. 107-130 (in Persian).
- Arami, S.A., Ownegh, M., Mohammadian Behbahani, A., Akbari, M. and Zarasvandi, A., 2018. Statistical analysis of spatio-temporal pattern of dust storms in west and southwest of Iran, Journal of Water and Soil Conservation, v. 25(1), p. 61-83 (in Persian).
- Attiya, A. and Jones, B.G., 2020. Climatology of Iraqi dust events during 1980-2015. SN Applied Sciences, v. 2(5), p. 1-16.
- Azizi, Q., Miri, M. and Nabavi, S.O., 2012. Tracing the phenomenon of dust in the western half of Iran, Geographical studies of dry areas, v. 2(7), p. 63-81 (in Persian).
- Barry, R.G. and Carleton, A.M., 2013. Synoptic and dynamic climatology. Routledge.
- 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.
- Ezzatian, V., 2019. Surveying the Dust Phenomenon, Causes of its Occurrence and Consequences in Isfahan province Case Study: 2013-2014. Nivar, v. 43(104-105), p. 45-61 (in Persian).
- Farajzadeh, M. and Alizadeh, K., 2011. Temporal and spatial analysis of dust storms in Iran, The Journal of Spatial Planning, v. 15(1), p. 65-84 (in Persian).
- Farhadipour, S., Azadi, M., Aliakbari Bidokhti, A., Alizadeh Choobari, O. and Sayari, H.A., 2017. Dust storms in west and southwest Iran and their impact on radiation fluxes: A case study, Iranian Journal of Geophysics, v. 11(3), p. 75-89 (in Persian).
- Hosseini, A., Alijani, B. and Waghei, Y., 2019. Probability of SDS Days Prediction in Iran's Eastern Region Using Spatio-Temporal Indicator Kriging model, Journal of Natural Environmental Hazards, v. 8(20), p. 197-216 (in Persian).
- Kheirandish, Z., Bodaghjamali, J. and Raygani, B., 2018. Identification of Dust corridors of south-west of Iran (Case study: dust on June 19, 2012). Nivar, v. 42(100-101), p. 1-10 (in Persian).
- Khodam, N., Tajbakhsh, S., Beydokhti, A., Sehat, S. and Ranjbar, A., 2020. Dust Storm Climatology in Sistan and Baluchestan Province over a 30-year period (1987-2016). Journal of Climate Research, v. 1398(40), p. 81-89 (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. 114225.
- Kostopoulou, E. and Jones, P.D., 2007. Comprehensive analysis of the climate variability in the eastern Mediterranean. Part I: Map-pattern classification, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, v. 27(9), p. 1189-1214.
- Lashkari, H. and Keykhosravi, G., 2008. Statistical synoptic analysis of dust storm in khorasan razavi province (1993-2005), v. 65, p. 17-33 (in Persian).
- Lashkari, H. and Mohammadi, Z., 2022. Comparison and analysis of the temporal and spatial distribution of dust storms with visibility of fewer than 200 meters in western and southwestern Iran, Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, v. 9(1), p. 129-150 (in Persian).
- Mobarak Hassan, E., Saadatabadi, A. and Fattahi, E., 2020. Dust Investigation by MERRA-2 Model in Iran:(during 2007-2017). Iranian Journal of Soil and Water Research, v. 51(9), p. 2203-2219 (in Persian).
- Qhavami, S., Kaboodvandpour, S., Mohammadi, B. and Amanollahi, J., 2014. Analysis of synoptic patterns affecting the occurrence of dust storms in Kurdistan province, Journal of Climate Research, v. 1393(19), p. 67-80 (in Persian).
- Ranjbar, A., Mihanparast, M. and Nouri, F., 2015. Investigating the phenomenon of dust in western Iran from a meteorological point of view (long-term and short-term study). Newar, v. 40(92-93), p. 53-66 (in Persian).
- Salahi, B., Moradi, M. and Aligahan, M., 2015. Analyzing the simultaneous conditions -remote sensing of the dust storm event in the northwest of Iran (October 2012), Geography, v. 13(44), p. 73-93 (in Persian).
- Soleimani, Z., Teymouri, P., Bolorani, A.D., Mesdaghinia, A., Middleton, N. and Griffin,

D.W., 2020. An overview of bioaerosol load and health impacts associated with dust storms: A focus on the Middle East. *Atmospheric Environment*, v. 223, doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117187.

-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, Doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107987