

## Investigation of dust emission caused by wind erosion in Hormozgan province

Rahnama, M.<sup>1</sup>  | Sehat kashani, S.<sup>2</sup>  | Karami, S.<sup>3</sup>  | Ranjbar, A.<sup>4</sup>  | Khoddam, N.<sup>5</sup> 

1. Assistant Professor, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran. E-mail: [meh.rahnama@gmail.com](mailto:meh.rahnama@gmail.com)

2. **Corresponding Author**, Assistant Professor, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran. E-mail: [savizsehat@yahoo.com](mailto:savizsehat@yahoo.com)

3. Assistant Professor, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran. E-mail: [karamis.62@gmail.com](mailto:karamis.62@gmail.com)

4. Associate professor, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran. E-mail: [aranjbar@gmail.com](mailto:aranjbar@gmail.com)

5. Ph. D, Research Institute of Meteorology and Atmospheric Science, Tehran, Iran. E-mail: [noushin\\_khoddam@ut.ac.ir](mailto:noushin_khoddam@ut.ac.ir)

(Received: 3 May 2023, Revised: 23 May 2023, Accepted: 28 Jun 2023, Published online: 3 Sep 2023)

### Abstract

In recent years, dealing with the phenomenon of dust has become one of the most important environmental challenges in different regions of the world, and many studies have been conducted in connection with the identification of sources of dust and the areas affected by them, as well as ways to deal with it. Iran, as one of the countries located in the global dust belt, is affected by the dust phenomenon, and its different provinces are involved in this phenomenon in different seasons. Hormozgan province, located on the northern shores of the Persian Gulf, is affected by dust events due to weather patterns. In this article, using different observational data, remote sensing products and numerical modeling, dust springs in Hormozgan province have been identified and the areas affected by them have been identified. The results showed that dust springs with intense activity are located in the southeast of Jask city, the border of Bandar Abbas and Khmer cities, and also east of Bandar Lange. The highest amount of vertical dust flux is related to Jask, south of Bandar Abbas, Bandar Khem and east of Bandar Lange, which also include the highest potential of dust with wind speed of 20 meters per second and humidity of 5%.

**Keywords:** Dust, wind erosion, remote sensing, Hormozgan province, vertical dust flux.

## بررسی گسیل گردو خاک ناشی از فرسایش بادی در استان هرمزگان

مهدی رهنما<sup>۱</sup> | ساویز صحت کاشانی<sup>۲</sup> | سارا کریمی<sup>۳</sup> | عباس رنجبر<sup>۴</sup> | نوشین خدام<sup>۵</sup>

۱. استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. رایانامه: [m-rahnama@irimo.ir](mailto:m-rahnama@irimo.ir)
۲. نویسنده مسئول، استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. رایانامه: [s-sehat@irimo.ir](mailto:s-sehat@irimo.ir)
۳. استادیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. رایانامه: [karamis.62@gmail.com](mailto:karamis.62@gmail.com)
۴. دانشیار، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. رایانامه: [aranjbar@gmail.com](mailto:aranjbar@gmail.com)
۵. دانش آموخته دکتری هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران. رایانامه: [Noushin\\_khoddam@ut.ac.ir](mailto:Noushin_khoddam@ut.ac.ir)

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲)

### چکیده

مواجهه با پدیده گردو خاک در سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در مناطق مختلف جهان تبدیل شده و مطالعات زیادی در ارتباط با شناسایی چشمه‌های گردو خاک و مناطق تحت تأثیر آن‌ها و نیز راه‌های مقابله با آن صورت گرفته است. ایران نیز به عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند گردو خاک جهانی، متأثر از پدیده گردو خاک است و استان‌های مختلف آن در فصول متفاوت درگیر این پدیده می‌شوند. استان هرمزگان واقع در سواحل شمالی خلیج فارس، با توجه به الگوهای جوی، تحت تأثیر رخدادهای گردو خاک قرار می‌گیرد. در این مقاله با استفاده از داده‌های مختلف دیدبانی، محصولات سنجش‌ازدور و مدل‌سازی عددی، چشمه‌های گردو خاک در استان هرمزگان شناسایی و مناطق تحت تأثیر آن‌ها مشخص شده است. نتایج نشان داد چشمه‌های گردو خاک با فعالیت شدید در جنوب شرقی شهرستان جاسک، مرز شهرستان‌های بندرعباس و خمیر و همچنین شرق بندر لنگه قرار دارند. بیشترین میزان شار قائم گردو خاک نیز مربوط به جاسک، جنوب بندرعباس، بندر خمیر و شرق بندر لنگه است که بیشترین پتانسیل غبارخیزی با تندی باد ۲۰ متر بر ثانیه و رطوبت ۵٪ را نیز شامل می‌شوند.

**کلمات کلیدی:** گردو خاک، فرسایش بادی، سنجش از دور، استان هرمزگان، شار قائم گردو خاک.

### ۱. مقدمه

بیشترین مساحت دارای شدت زیاد گردو خاک تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و طبیعی در نیمکره شمالی زمین است که به‌عنوان کمربند غبار معروف است و از ساحل غربی در شمال آفریقا، مناطق خاورمیانه مرکزی، جنوب آسیا تا چین امتداد می‌یابد. پدیده گردو خاک به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی رایج که آثار زیان‌بار انسانی و زیست‌محیطی در نواحی خشک و بیابانی جهان و ایران به جا می‌گذارد (Jafari et al., 2019) شناخته شده است و توفان‌های گردو خاک دارای ویژگی‌هایی هستند که با استفاده از پایش‌های زمینی و مدل‌های عددی قابل بررسی می‌باشند. با وجود گستره وسیعی از انواع سنجنده‌های نصب‌شده بر روی انواع ماهواره‌ها، می‌توان اطلاعات متنوع ارزشمندی را در اختیار داشت که در نبود ماهواره‌ها برای به‌دست آوردن هر کدام از آن‌ها نیاز به استقرار شبکه ایستگاه‌های زمینی مربوطه است. سنجش از دور (RS) یک روش مؤثر برای شناسایی منابع گردو خاک در مقیاس محلی و منطقه‌ای است (بدوک و همکاران، ۲۰۱۱؛ میلر و همکاران،

بیشترین مساحت دارای شدت زیاد گردو خاک تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی و طبیعی در نیمکره شمالی زمین است که به‌عنوان کمربند غبار معروف است و از ساحل غربی در شمال آفریقا، مناطق خاورمیانه مرکزی، جنوب آسیا تا چین امتداد می‌یابد. پدیده گردو خاک به‌عنوان یکی از بلایای طبیعی رایج که آثار زیان‌بار انسانی و زیست‌محیطی در نواحی خشک و بیابانی جهان و ایران به جا می‌گذارد (Jafari et al., 2019) شناخته شده است و توفان‌های گردو خاک دارای ویژگی‌هایی

بعد از ظهر رخ می‌دهد. یک توفان گردو خاک زمانی توسعه می‌یابد که یک سامانه جوی به ناحیه بیابانی حرکت کند. مدت زمان پایداری توفان با توجه به شرایط منطقه بین چند ساعت تا چند روز متغیر است (صمدی و همکاران، ۲۰۱۴). پدیده گردو خاک از نیمه دوم قرن بیستم در ابعاد مختلفی مورد توجه بسیاری از محققان در سطح جهان قرار گرفته و در کشورمان نیز از دهه ۷۰ به بعد به شکل گسترده‌ای مد نظر قرار گرفته است. برخی مطالعات با بیان اهمیت و چگونگی این پدیده، متغیرهایی که در شکل‌گیری آن مؤثر بوده‌اند را بررسی کرده‌اند. دسته‌ای از مطالعات به تحلیل مکانی و زمانی وقوع توفان‌ها و برخی به بررسی سامانه‌های همدیدی گردو خاک پرداخته‌اند و برخی دیگر در رابطه با پدیده‌های گردو خاک تحلیل‌های آماری انجام داده‌اند. متوسط ارتفاع توفان گردو خاک بین ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است (سانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ گودی، ۲۰۱۴؛ تن و همکاران، ۲۰۱۴). توفان‌های گردو خاک از جنبه‌های گوناگون دارای اهمیت بسیار زیادی هستند، چون در جوامع انسانی تبعات زیادی را به همراه می‌آورند که از جمله آنها می‌توان به آسیب ساختمان‌ها، تأثیر مخرب بر آب‌وهوای جهانی و منطقه‌ای و اثر بر سلامت فردی و اجتماعی اشاره نمود (هیکی و گودی، ۲۰۰۷). پدیده گرد و خاک از طریق فرآیند "اثر غیرمستقیم ذرات معلق"، می‌تواند شرایط ابرها مانند مقدار، تراکم و قطر قطرات ابر را تغییر دهد (رایگانی و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین مطالعات قبلی نشان داده‌اند که برخی از افراد که از التهاب ریوی رنج می‌برند، بیماری آن‌ها در طی رخدادهای توفان شن و گردو خاک تشدید می‌شود (Kuempel et al., 2003; Lei et al., 2004; Pun et al., 2017). در مورد استان هرمزگان نتایج تحقیقات پیشین از جمله (خواجه و همکاران، ۲۰۱۵) حکایت از روند افزایشی پدیده گردو خاک از سال ۲۰۰۰ به بعد دارد. بر اساس برآوردهای موجود، بیش از ۱.۵۶۵ میلیون هکتار از دشت‌های ساحلی استان هرمزگان را اراضی بیابانی تشکیل می‌دهد که از این میان ۲۰۹ هزار هکتار به عنوان کانون فرسایش بادی و ۴۷۵ هزار هکتار به عنوان مناطق تحت تأثیر فرسایش بادی شناخته شده است (اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان، دفتر نمایندگی، ۱۳۸۹). این مناطق در به وجود آمدن

(۲۰۱۲). مطالعات نشان می‌دهد که شدت و فراوانی توفان گردو خاک در مناطق خشک و نیمه خشک که بیش از ۳۰ درصد کره زمین را اشغال می‌کنند در حال افزایش است (نامداری و همکاران، ۲۰۱۸). در طول چند دهه اخیر، خاورمیانه به دلیل تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی دچار تخریب جدی زیست محیطی شده است (مرید نژاد و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین توفان‌های گردو خاک اتفاق افتاده در چند سال اخیر در ایران از نظر ویژگی‌هایی مانند غلظت، اندازه ذرات معلق و تداوم دوره زمانی از موارد مشابه قبلی متمایز است، به طوری که در گذشته معمولاً متوسط سالانه رخداد حدود ۱۵ روز یا کمتر بود، ولی در حال حاضر در حد ۱۰۰ روز و یا بیشتر هم گزارش می‌شود. وسعت منطقه تحت تأثیر هم ابتدا محدود به مناطقی از خوزستان و بوشهر بود، ولی در سال‌های اخیر به مناطق جنوب غرب، غرب و شمال غربی کشور و مناطق مرکزی گسترش یافته است. در حال حاضر ۲۲ استان کشور از جمله استان هرمزگان با شدت‌های متفاوت، تحت تأثیر این پدیده قرار دارند. همچنین وقوع پدیده گردو خاک به فصل گرم سال محدود می‌شد، ولی در چند سال اخیر در فصل زمستان هم وقوع این پدیده گزارش شده است (غفاری و نوری، ۲۰۱۶).

توفان شن و گردو خاک پدیده‌ای رایج است که از زمین‌های خشک سرچشمه می‌گیرد و در اثر وزش بادهای شدید و جدا کردن ذرات ناپایدار خاک، از سطح خشک شده ایجاد می‌شود و ذرات معلق حاصل از آنها باعث کاهش دید می‌شود و می‌تواند بر حمل و نقل زمینی تأثیر منفی بگذارد (رایگانی و همکاران، ۲۰۲۰). طبق دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی می‌توان توفان گردو خاک را بر اساس تأثیر آن بر قابلیت دید و نیز شدت گردو خاک، به سه دسته تقسیم کرد (گودی، ۲۰۱۴؛ تن و همکاران، ۲۰۱۴؛ فورمن، ۲۰۰۳): گردو خاک وزشی (BD) که دید افقی به کمتر از ۱۱ کیلومتر می‌رسد، توفان گردو خاک (DS) که دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌رسد که همان توفان گردو خاک معمولی است، و توفان شدید گردو خاک (SDS) که دید افقی به کمتر از ۲۰۰ متر می‌رسد که میزان بسیار کمی است. در مناطق مختلف، توفان گردو خاک در زمان خاصی از روز متمرکز می‌شود و بیشتر در صبح و

پدیده گرد و خاک نقش شگرفی را ایفا می‌کنند.

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در درک چرخه گردوخاک انجام شده است، به‌ویژه پیشرفت‌های شگفت‌انگیز در مشاهدات ماهواره‌ای و پیش‌بینی عددی توفان‌های گردوخاک گزارش شده است (Gherboudj et al., 2017b). از جمله مطالعاتی که در زمینه شبیه‌سازی پدیده‌های گردوخاک در خردمقیاس صورت گرفته می‌توان به کار کرمی و همکاران (۲۰۱۷) در شبیه‌سازی توفان گردوخاک تهران در ۱۲ خرداد ۱۳۹۳ اشاره کرد. موقعیت جغرافیایی و شرایط طبیعی ایران، عامل وزش بادهای محلی می‌باشد. اثرات بادهای محلی که با توجه به زمان وزش و پهنه فعالیت آن دارای ویژگی‌های متفاوتی است، در برخی مناطق به دلیل تداوم و سرعت زیاد، نمایان و فعالیت‌های ساکنین منطقه را تحت‌الشعاع قرار می‌دهد؛ نمونه بارز آن در کشور دره لوت است. شرایط زمین‌شناختی موجود در اطراف دره لوت نقش بسزایی در گسترش جریان‌های کانالیزه ایفا می‌نماید. امکان این امر از طریق برهمکنش‌های بین واداشت‌های زمین‌شناختی پیچیده و شرایط هواشناختی صورت می‌پذیرد. به‌علاوه فرارفت هوای سرد از عرض‌های شمالی و گرادیان فشار از عوامل تعیین‌کننده این شارش محسوب می‌گردند (صحت کاشانی و همکاران، ۲۰۰۹). در فصل تابستان استقرار سامانه‌های تابستانی منجر به ایجاد گرادیان‌های فشاری شمالی- جنوبی در این منطقه می‌گردند. شب‌هنگام با توجه به سرمایش شبانه و افزایش پایداری استاتیکی، شاهد کاهش متوسط جریان درون‌دره نسبت به شارش‌های روزانه خواهیم بود. وزش بادهای شدید با توجه به نیروی گرادیان فشار موجود، رشد لایه مرزی به‌خصوص در طی ساعات بعد از ظهر و درگیر شدن شارش با جریان‌های تراز بالا منجر به دریافت تکانه بیشتر و افزایش سرعت شارش گشته که در ادامه توفان‌های گردوخاک شدید به‌مدت طولانی ۱۲۰ روز را در پی خواهد داشت (صحت کاشانی و همکاران، ۱۳۸۵). از ویژگی‌های بارز لایه مرزی در نواحی خشک بیابانی، تغییرات شدید شبانه‌روزی ارتفاع لایه مرزی است (تاکمی و همکاران، ۲۰۰۶) که به دلیل گرمایش شدید ناشی از تابش خورشیدی است؛ به‌طوری‌که این تغییرات در ارزیابی میزان گردوخاک در

این لایه اهمیت زیادی دارد. چرخه زندگی گردوخاک، شامل گسیل، انتقال و نشست آن به‌شدت با گردش‌های جوی و دینامیک اقلیم (سالوادور و همکاران، ۲۰۱۴؛ کاسکانوتیس و همکاران، ۲۰۱۴) در ارتباط است. علاوه بر این، وجود رطوبت در جو که با کومولوس همرفتی همراه است سبب افزایش غلظت گردوخاک در لایه مرزی شده و افزایش در جو آزاد را به‌دنبال دارد (تاکمی و همکاران، ۲۰۰۶). بی‌شک بازسازی توفان‌های گردوخاک، پایش سمت و سرعت حرکت آن و برآورد غلظت آن می‌تواند در کاهش صدمات ناشی از آن نقش مهمی ایفا نماید. به‌منظور تفکیک آلاینده‌های معدنی از عوارض زمینی، به‌ویژه اراضی بیابان که بازتابش مشابه دارند و به‌عنوان یک چالش در نظر گرفته می‌شود، تکیه بر رفتار طیفی ذرات گردوخاک و کاربرد ترکیبی دمای درخشندگی در طول موج‌های مرئی و فروسرخ گرمایی یاری‌رسان است (میلر، ۲۰۰۳؛ کو و همکاران، ۲۰۰۶؛ صحت کاشانی و همکاران، ۲۰۱۶). ژانگ و همکاران (۲۰۰۶) بر اساس مطالعات آماری دریافتند که میانگین سالانه رخداد توفان‌های گردوخاک در چین طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۷ روند کاهشی داشته است و پس از آن تا سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است. بسامد رخداد این توفان‌ها می‌تواند با کم بارشی و دمای زیاد ارتباط مستقیمی داشته باشد. گودی (۲۰۰۹) غرب چین و صحرای بزرگ آفریقا را به‌عنوان قوی‌ترین مناطق چشمه گردوخاک معرفی نموده‌اند و بیان کرده‌اند که پدیده گردوخاک در مقیاس‌های زمانی متفاوتی رخ می‌دهد. گودی و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات مکانی و زمانی گردوخاک در آسیای مرکزی در طول هفتاد سال گذشته را بررسی کردند. نتایج نشان داد که چشمه اصلی گردوخاک عمدتاً در بیابان‌های ماسه‌ای و بیابان‌هایی که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی است قرار دارد. این مناطق به‌صورت یک کمربند گردوخاک از غرب به شرق گسترده شده است و منطقه وسیعی از بیابان‌های شمالی دریای خزر، جنوب دریاچه بالکان و دریاچه آرال را شامل می‌گردد. در مطالعه مرشدی و همکاران (۲۰۱۸) نتایج نشان داد که استان هرمزگان یکی از مناطق بسیار قوی برای فرسایش بادی است. فرسایش بادی تقریباً در تمامی نوارهای ساحلی و جزایر استان قابل مشاهده است که

مدل HYSPLIT نشان دادند که کارایی الگوریتم TDI در شناسایی کانون های گرد و غبار بهتر است. همچنین با استفاده از مدل HYSPLIT، سه مسیر کلی ورود طوفان های گردوخاک به منطقه مشخص شد که شامل مسیر شمال شرقی، مسیر غربی و مسیر جنوب غربی منطقه کوهستک تا بندرعباس می باشند. در این مقاله نیز با استفاده از روش های مختلف به بررسی رخداد های گردوخاک در استان هرمزگان پرداخته شده و در نهایت نتایج این مطالعه به شناسایی چشمه های گردوخاک در استان هرمزگان منجر شده است.

## ۲. روش تحقیق

هدف اصلی از نگارش این مقاله بررسی تغییرات رخ داده در توفان های گردوخاک و ماسه به تفکیک مکانی و زمانی و شناسایی چشمه های گردوخاک در استان هرمزگان است؛ به طوری که در طول دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ به صورت فصلی و سالانه تغییرات مکانی توفان های رخ داده با استفاده از داده ها و روش های مختلف مورد بررسی قرار گرفته اند. در نهایت روند زمانی و مکانی آن ها مشخص و بیشترین و کمترین زمان ها و مکان های تحت تأثیر توفان های رخ داده تعیین و نقشه های پهنه بندی تغییرات زمانی و مکانی شدت پدیده های گردوخاک و توفان ماسه در استان هرمزگان ارائه شده است. برای مطالعه فراوانی و شدت پدیده گردوخاک از روش شاخص توفان های گردوخاک (DSI) استفاده شد که از دهه ۹۰ میلادی برای این منظور به کار گرفته شده است. استفاده از این شاخص روشی مناسب برای پایش فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است. با توجه به رابطه ۱، این شاخص ترکیبی از سه نمایه روزهای توفانی با گردوخاک محلی (LDE)، روزهای توفانی با گردوخاک متوسط (MDS) و روزهای توفانی با گردوخاک شدید (SDS) است که بر مبنای تعداد دفعات ثبت کدهای پدیده گردوخاک در ایستگاه های همدیدی محاسبه می شوند.

$$DSI = \sum_{i=1}^n [(5 \times SDS) + MDS + (0.05 \times LDE)] \quad (1)$$

می تواند منجر به پدیده گرد و خاک شود. همچنین رحمتی و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه سه الگوریتم پیشرفته یادگیری ماشینی (SVM، RF) و (MARS) برای شناسایی مکان های احتمالی منبع گردوخاک مورد ارزیابی قرار گرفتند. فلاح قاهری و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقی که با عنوان ارزیابی همدیدی-ماهواره ای پدیده گردوخاک جنوب غرب و جنوب ایران انجام دادند به این نتیجه رسیدند که در زمان وقوع توفان گردوخاک جریانات زیرین جو در یک حرکت شرق سو از جانب عراق به سمت غرب ایران می وزد. خروجی های مدل HYSPLIT نشان می دهد که به طور کلی منابع اصلی گردوخاک برای توفان گردوخاک در چهار روز مورد مطالعه از مرکز، شمال تا شمال غرب عراق و شرق سوریه به ایران منتقل شده اند. رنجبر فردویی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل HYSPLIT به این نتیجه رسیدند که حرکت گردوخاک بیشتر از کشورهای سوریه، عراق و عربستان به سمت این استان بوده و بعد از ورود به این استان، به استان های جنوب غربی وارد شده و از شمال شرق ایران خارج می شود. فرج زاده و علیزاده (۱۳۸۹) فراوانی زمانی و مکانی توفان های خاک را برای ۵۰ ایستگاه هواشناسی همدیدی در سراسر کشور در طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۰۶ بررسی و تحلیل کردند. نتایج حاصل از بررسی سالانه پدیده گردوخاک معلق در هوا نشان داد که ایستگاه زابل با میانگین فراوانی ۱۸۳ روز بیشترین تعداد روزها و پس از آن ایستگاه های زاهدان، بوشهر، طبس، بندرعباس، جاسک، ایرانشهر و اهواز به ترتیب بیشترین فراوانی ها را دارند. ملکوتی و همکاران (۱۳۹۲) از مدل HYSPLIT برای شناسایی منبع انتشار یک توفان شدید گردوخاک استفاده کردند و نشان دادند که نتایج این مدل مطابقت خوبی با تصاویر ماهواره ای سنجنده مودیس دارد. علی آبادی و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که در زمان وقوع توفان گردوخاک در غرب و جنوب غرب ایران، جریانات زیرین جو در یک حرکت شرق سو از جانب عراق به سمت غرب ایران می روند و به طور کلی منابع اصلی غبار برای توفان گردوخاک کشور، شمال تا شمال غرب عراق و شرق سوریه است. دمی زاده و همکاران (۱۴۰۰) با استفاده از چهار الگوریتم بارزسازی TDI، Ackerman، NDDI، TIIDI و

نوری هواویزها، پارامتری بی بعد است که میزان عبوردهی پرتو نور در جو را نشان می دهد و بیانگر میزان جذب و پراکنش ناشی از هواویزها در مسیر عبور نور است (دستورالعمل کدها و روش های دیدبانی سازمان هواشناسی جهانی، ۱۹۹۵) مقادیر بالای ضخامت نوری مبین انباشت بالای هواویزها در ستون جو و در نتیجه دیدافتی کمتر است (ونگ و کریستوفر، ۲۰۰۳). محصول ضخامت نوری هواویزهای سنجنده MODIS از ترکیب دو الگوریتم deep blue و dark target به ترتیب برای سطوح روشن و اراضی کشاورزی (لوی و همکاران، ۲۰۱۰؛ هسو و همکاران، ۲۰۰۴؛ شی و همکاران، ۲۰۱۳) با هدف بررسی توزیع مکانی و تغییرات فصلی مقادیر عمق نوری هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر در منطقه مورد مطالعه تولید می شود. الگوریتم dark target به بازیابی داده های ضخامت نوری هواویزها بر روی اراضی کشاورزی تحت شرایط هوای صاف که در آن بازتاب سطحی در کانال های مرئی (۰/۴۷ و ۰/۶۵ میکرومتر) و فروسرخ نزدیک (۲/۱ میکرومتر) دارای مقادیر کمی است، می پردازد (لوی و همکاران، ۲۰۱۰). این در حالی است که الگوریتم Deep Blue (DB) داده های ضخامت نوری هواویزها بر روی سطوح روشن با در نظر گرفتن خواص سطوح تیره در کانال های آبی (۰/۴۱۲ و ۰/۴۷ میکرومتر) و جذب ضعیف گردوغبار در طول موج قرمز را بازیابی می کند (هسو و همکاران، ۲۰۰۴؛ شی و همکاران، ۲۰۱۳).

شاخص SPEI شاخص چند کمیتی است که در مقیاس های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل براساس رویکرد تورنتوایت استفاده می نماید. شاخص SPEI می تواند در مقیاس های زمانی ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه محاسبه می شود. این شاخص می تواند برای پایش دوره های خشک و مرطوب مورد استفاده قرار گیرد. خشکسالی هنگامی شروع می شود که مقادیر شاخص به منفی یک برسد و با مثبت شدن آن خاتمه می یابد. نحوه محاسبه شاخص همانند شاخص SPI است اما در شاخص SPEI مقادیر اختلاف بین تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) و بارش مد نظر است.

بر اساس محاسبات سازمان هواشناسی استرالیا معیار تعریف پدیده های توفان گردوخاک بر اساس میدان دید مشخص می شود. این مقدار برای توفان های گردوخاک متوسط کمتر از ۱۰۰۰ متر و برای توفان های شدید کمتر از ۲۰۰ متر در نظر گرفته می شود. برای محاسبه این شاخص از داده های دیدبانی ایستگاه های همدیدی موجود در استان هرمزگان استفاده شده است.

به منظور تحلیل دقیق تر از وضعیت بادناکی و شرایط دینامیکی آن، روش ها، کمیت ها، شاخص ها و نمودارهای متفاوتی ارائه شده اند که از جمله آن ها می توان به نمودارهای گلباد و گل توفان اشاره کرد (احمدی، ۱۳۸۷). در این مطالعه، به منظور در نظر گرفتن هم زمان سرعت و فراوانی باد در وقوع فرسایش بادی، شاخص بادناکی به صورت زیر محاسبه شده است:

(۲) شاخص بادناکی = سرعت باد × درصد فراوانی کلاس های سرعت با توجه به رابطه (۲)، این شاخص در کلاس های مختلف باد قابل استفاده است. بنابراین، هر چه این شاخص در هر یک از کلاس های سرعت باد بیشتر باشد، قدرت فرسایش بادی نیز بیشتر است.

دیدافتی بیشترین مسافتی است که یک دیدبان می تواند اشیاء را با نور معمولی به خوبی تشخیص دهد. دیدافتی در هوانوردی اهمیت فراوانی داشته و از آنجا که بر اثر پدیده های مختلف مانند انواع توفان ها و ریزش های جوی متغیر است، لازم است در هر ایستگاه هواشناسی برای تعیین دیدافتی علائم و نقطه نشان های مشخص از قبیل ساختمان، تپه یا کوه تعیین و فاصله آن ها تا محل دیدبانی را دقیقاً معلوم کرد تا دیدبان بتواند با در نظر گرفتن فواصل این قبیل نقطه نشان ها دیدافتی را تا حد امکان به طور دقیق گزارش نماید. بر این اساس تعداد روزهای همراه با کاهش دید افقی ناشی از وقوع توفان گردوخاک با استفاده از داده های دیدبانی استان هرمزگان مورد بررسی قرار گرفته است.

به منظور تحلیل ضخامت نوری هواویزها در کشور، سنجنده MODIS به کار گرفته شده است. در این مقاله از محصولات سطح ۳ سنجنده MODIS بعنوان ابزاری با هدف استخراج کمی ذرات معلق گردوغبار در جو، با پیکسل هایی با ابعاد ۱۰\*۱۰ کیلومتر مربع استفاده شده است. عمق نوری یا ضخامت

فرسایش پذیر در نظر می‌گیرد. شار قائم گردو غبار از سطح به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_p = C_G S_p S_p U_{10}^2 (U_{10} - U_t^*), \quad U_{10} > U_t^* \quad (4)$$

Dimensional tuning constant    horizontal wind speed at 10m  
Erodibility function    fraction of each size class    threshold velocity

که در آن  $C$  ثابتی تجربی است و برابر  $1.9 \frac{\mu\text{gs}^2}{\text{m}^5}$  در نظر گرفته شده،  $U_{10}$  سرعت باد تراز ۱۰ متری،  $U_t^*$  سرعت آستانه برای فرسایش بادی ذره به اندازه  $p$  است که در سرعت‌های پایین تر از آن هیچ گسیلی صورت نمی‌گیرد.  $S_p$  کسر هر دسته گردو خاک است که برای کوچکترین اندازه ذرات برابر ۰/۱ و برای سایر اندازه‌ها برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته می‌شود.  $S$  تابع فرسایش پذیری است که با رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S = \left( \frac{z_{\max} - z_i}{z_{\max} - z_{\min}} \right)^5, \quad (5)$$

که در آن  $z_i$  ارتفاع سلول شبکه،  $z_{\max}$  و  $z_{\min}$  به ترتیب ارتفاع بیشینه و کمینه توپوگرافی در فاصله ۱۰ درجه در ۱۰ درجه از مرکز سلول شبکه است.

با توجه به اقلیم هر منطقه، نوع خاک و پوشش گیاهی، مقادیر آستانه کمیت‌های مختلف مؤثر بر فعال‌سازی چشمه‌های گردو غبار متفاوت است. در برخی مناطق وقوع توفان‌های شدید سبب گسیل گردو خاک شده و در برخی دیگر وزش نسیم ملایم می‌تواند حجم زیادی از ذرات را از سطح به هوا منتقل نماید. در ادامه مقاله گسیل گردو خاک در آستانه‌های مختلف سرعت باد یا پتانسیل غبارخیزی مورد بررسی قرار گرفته است. برای ایجاد پدیده گردو خاک، جو باید تلاطمی و ناپایدار باشد. سرعت اصطکاکی کمیتی است که چیش قائم باد را نشان داده و بیانگر سرعت باد، تلاطم و میزان پایداری جو است. بنابراین در بیشتر مدل‌ها یک مقدار حدی برای سرعت اصطکاکی در نظر گرفته می‌شود که مقادیر بزرگ تر از آن نشان‌دهنده آغاز گسیل گردو خاک است. استفاده از سرعت باد برای محاسبه شار

## Di=Pi- PETi

$$PET = 16K \left( \frac{10T}{I} \right)^m \quad (3)$$

$$m = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2}$$

$$i = \left( \frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$K = \left( \frac{N}{12} \right) \left( \frac{NDM}{30} \right)$$

در روابط بالا  $T$  دمای میانگین ماهانه،  $M$  ضریب وابستگی به  $I$  و  $I$  شاخص گرما،  $K$  ضریب تصحیح بر حسب ماه و عرض جغرافیایی،  $NDM$  تعداد روزهای ماه و  $N$  بیشینه تعداد ساعات تابش هستند.

SPEI جدول ۱. طبقات مختلف وضعیت رطوبتی براساس شاخص

مقدار شاخص	طبقات خشکسالی
Index value	Drought classes
2.00 or more	ترسالی بسیار شدید Extremely Wet
1.50 to 1.99	ترسالی شدید Severely Wet
1.00 to 1.49	ترسالی متوسط Moderately Wet
-0.99 to 0.99	نرمال Normal
-1.49 to -1.00	خشکسالی متوسط Moderately Drought
-1.99 to -1.50	خشکسالی شدید Severely Drought
-2.00 or less	خشکسالی بسیار شدید Extremely Droughty

در ادامه با استفاده از مدل GOCART میزان گسیل گردو خاک از چشمه‌های مختلف در سطح کشور با تعیین شار قائم گردو غبار به صورت فصلی تعیین شد. داده‌های مورد نیاز در این بخش، درصد پوشش گیاهی، بافت خاک (۱۲ نوع متداول)، رطوبت خاک، سرعت اصطکاکی و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری است که از داده‌های زمینی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و داده‌های جوی با تفکیک افقی ۵ کیلومتر بر روی یک شبکه محاسباتی که در مراحل قبل آماده‌سازی شده است، بدست آمد. مدل GOCART، چشمه‌های بالقوه گردو خاک را بر پایه کسر

ناهمواری است.  $Z_0$  مقدار اصلاح شده برای محاسبه اثر ارتفاع میانگین عناصر ناهمواری روی زمین در نظر گرفته می‌شود) که مقدار آن بر روی آب‌های آزاد و سطوح هموار حدود  $0/0002$  متر، بر روی مراتع باز و مسطح حدود  $0/03$  متر، بر روی مزارع  $0/1$  تا  $0/25$  متر، بر روی جنگل‌ها  $0/5$  تا  $1$  متر بوده و مقادیر بیشتر از  $1$  نشان دهنده مناطق کوهستانی با شیب بیشتر از  $30\%$  است. مقادیر سرعت اصطکاک با افزایش طول ناهمواری افزایش می‌یابد و این افزایش در سرعت‌های باد کمتر به دلیل کوچک بودن صورت کسر در رابطه (۵) بیشتر قابل مشاهده است.

به منظور بررسی تغییرات ماهانه سرعت و جهت باد در سطح استان هرمزگان سه نقطه واقع در مناطقی که مقدار شار گردوغبار بیشینه است و با نقاط ۱ تا ۳ در شکل ۱ نشان داده شده را در نظر گرفته و با استفاده از داده‌های بازتحلیل مقیاس کاهشی شده گلباد این نقاط به صورت ماهانه ارائه می‌شود.

گردوخاک را نخستین بار جیلت (۱۹۷۸) بیان کرد. لیو و وستفال، (۲۰۰۱) آزمایش حساسیت مدل‌های گسیل گردوخاک را با محاسبه شار هم با استفاده از سرعت باد و هم با استفاده از سرعت اصطکاک انجام دادند و نتیجه گرفتند که استفاده از سرعت اصطکاک به مشاهدات نزدیک تر است. بسیاری از مدل‌های عددی پیش‌بینی و شبیه‌سازی گردوخاک در تعیین میزان شار قائم از سطح، به مقادیر آستانه سرعت اصطکاک بسیار حساس هستند. به نوعی می‌توان بیان کرد که هرچه سرعت اصطکاک بیشتر باشد، با افزایش تلاطم، تکانه وارد شده از طریق باد به سطح افزایش می‌یابد. مقدار سرعت اصطکاک با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$u^* = \frac{KU}{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \quad (6)$$

که در آن  $u^*$  سرعت اصطکاک،  $K \sim 0.4$  ثابت فون-کارمن،  $U$  سرعت باد میانگین در ارتفاع  $Z$  برابر با  $10$  متر و  $Z_0$  طول ناهمواری سطح بر جریان باد است (بین یک دهم تا یک سی‌ام



شکل ۱. موقعیت نقاط ۱ تا ۳.

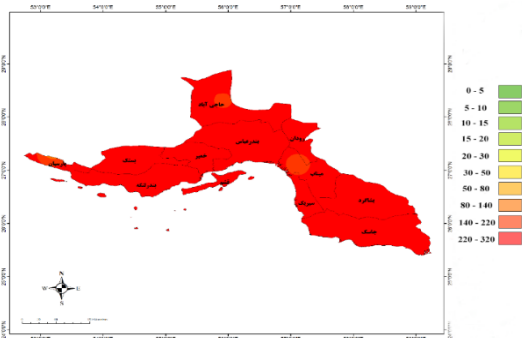
هر دو مورد گردوخاک‌های محلی و منشاءهای فرامرزی نمایه‌های جامع از روند تغییرات را در منطقه به دنبال دارد. بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که شاخص DSI در بیشتر استان به شدت به توفان‌های گردوخاک محلی (شاخص LDE) وابسته است و توفان‌های گردوخاک متوسط و یا فرامرزی تأثیر

### ۳. بحث و نتایج

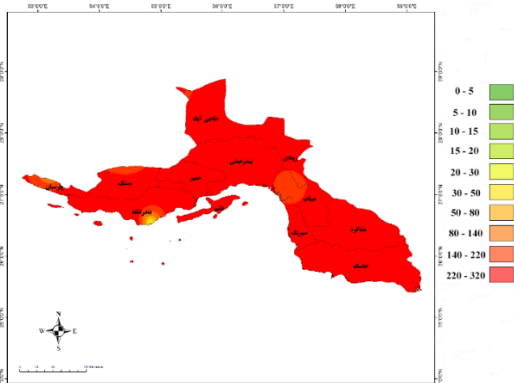
نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که تغییرات شاخص در دوره ۱۶ ساله به‌طور کلی به شکل کاهشی است (شکل ۲). این به این معنی است که روند تغییرات گردوخاک در استان هرمزگان با گذشت زمان کاهش یافته است. شاخص DSI با در نظر گرفتن



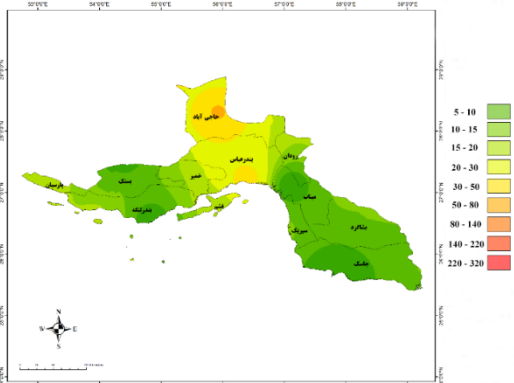
ذکر است الگوی شاخص بادناکی در کلاس باد ۲۵-۲۰ متر بر ثانیه در بندر عباس و جاسک متمایز از سایر نقاط استان است، بدین ترتیب که در مناطق مذکور این شاخص دارای مقادیر بین ۱۵-۵۰ و در سایر نقاط مقدار آن ۵-۰ است (شکل ۷). این در حالی است که برای کلاس های باد ۳۰-۲۵، ۳۵-۳۰، ۴۰-۳۵، ۴۵-۴۰ متر بر ثانیه میزان شاخص بادناکی دارای مقدار ۱۰-۵ است (شکل ۸).



شکل ۴. شاخص بادناکی استان هرمزگان برای کلاس باد ۵-۱۰ متر بر ثانیه در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۶

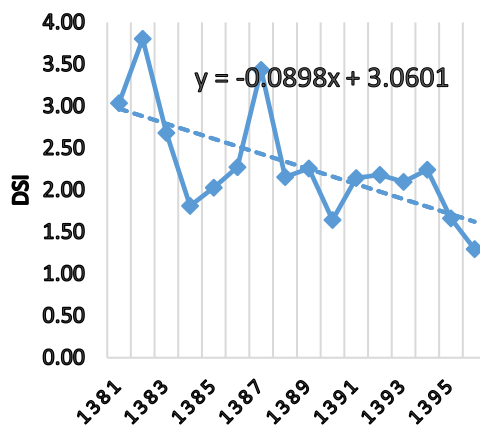


شکل ۵. شاخص بادناکی استان هرمزگان برای کلاس باد ۱۰-۱۵ متر بر ثانیه در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۶

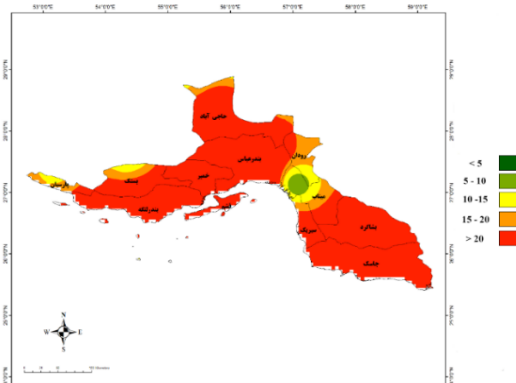


شکل ۶. شاخص بادناکی استان هرمزگان برای کلاس باد ۱۵-۲۰ متر بر ثانیه در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۶

کمتری بر روی این استان دارند. با توجه به شکل ۳، شاخص DSI در بیشتر مناطق استان مقادیر بیش از ۲۰ را دارا است به جز در برخی مناطق در شرق بندرعباس، رودان و شمال غربی میناب که مقادیر بین ۵ تا ۱۵ مشاهده می شود.



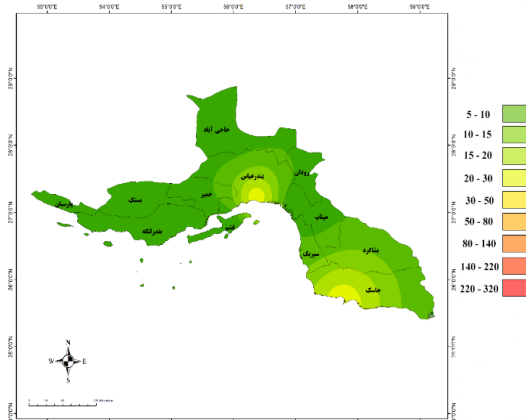
شکل ۲. روند میانگین شاخص DSI در طول دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی) در کل استان هرمزگان.



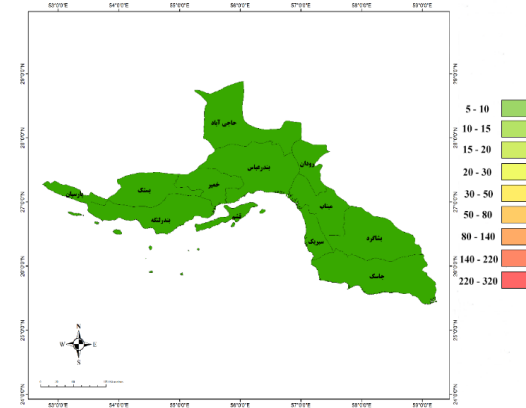
شکل ۳. شاخص DSI براساس ایستگاه های همدیدی استان هرمزگان برای دوره مطالعاتی ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۰۲-۲۰۱۷ میلادی)

همان گونه که در شکل ها نشان داده شده است میزان شاخص بادناکی در نقاط مختلف استان برای کلاس های باد ۵-۰ و ۱۰-۵ دارای مقدار ۲۲۰-۳۲۰ است (شکل ۴). در کلاس ۱۵-۱۰ بجز نواحی جنوبی بندر لنگه که شاخص بادناکی دارای مقدار ۲۰-۳۰ و ۳۰-۵۰ است، سایر نقاط دارای مقدار ۲۲۰-۳۲۰ است (شکل ۵). الگوی شاخص بادناکی در کلاس باد ۲۰-۱۵ متر بر ثانیه در حاجی آباد و بندرعباس متمایز از سایر نقاط استان و دارای مقادیر ۳۰-۲۰، ۵۰-۳۰ و ۸۰-۵۰ است (شکل ۶). شایان

هرمزگان گزارش تعداد روزهای بیش از ۱۵۰ روز با کاهش دید بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر را دارند. این در حالیست که تعداد روزهای گردو خاکی با کاهش دید بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر در سراسر استان بجز حاجی آباد، میناب، بندرعباس، رودان و بندر لنگه به بیش از ۱۵۰ روز می رسد که این موضوع در شکل ۱۲ بخوبی نمایان است. در فصل پاییز تعداد روزهای گردو خاکی با دید بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر در نیمه شمالی استان بین ۳۰ تا ۸۰ روز بویژه در حاجی آباد، بستک، میناب و پارسیان متغیر است؛ این در حالیست که در سایر نقاط تعداد روزها گردو خاکی با محدوده دید ذکر شده به بیش از ۱۵۰ روز می رسد (شکل ۱۱). شایان ذکر است در فصل پاییز تعداد روزهای گردو خاکی، همراه با توفان ماسه و یا گردو خاک معلق در هوا که منجر به کاهش دید بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر گشته‌اند، دارای الگوی مشابه محدوده دید ۱۵۰۰ متر تا ۵۰۰۰ متر را دارند با این تفاوت که تنها در جاسک، بشاگرد، سیریک و و بخشهای غربی بندر لنگه و بستک تعداد روز گردو خاکی در محدوده دید یاد شده به بیش از ۱۵۰ روز دز سال می رسد و در سایر نقاط بین ۲۰ تا ۱۰۰ روز متغیر است (شکل ۱۲). روند کاهش دید افقی ناشی از پدیده‌های مرتبط با گردو خاک در فصل زمستان از رژیم دیده شده در فصل پاییز، اما با شدت بیشتر تبعیت می نماید. بدین صورت که تعداد روزهای دارای کاهش دید بین ۱۵۰۰ متر تا ۵۰۰۰ متر و با فراوانی بیش از ۱۵۰ روز محدود به مناطق کمتری در جنوب استان در مقایسه با فصل پاییز هستند (شکل ۱۳). این موضوع جالب توجه است که با توجه به شکل گیری گردو خاک جبهه ای در نواحی جنوب غرب کشور و ترابرد آن به استان هرمزگان مناطق وسیع تری از جنوب استان با فراوانی تعداد ۱۵۰ روز گردو خاکی در مقایسه با کاهش دید بین ۱۵۰۰ متر تا ۵۰۰۰ دیده می شود (شکل ۱۴).



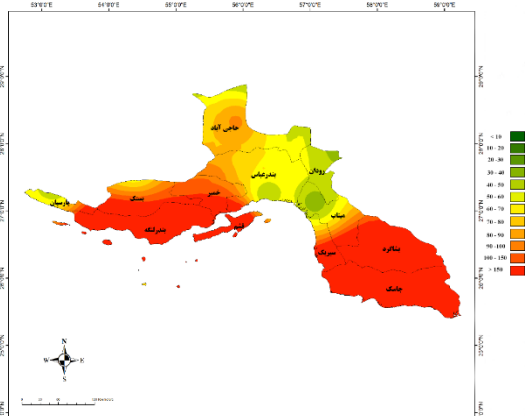
شکل ۷. شاخص بادناکی استان هرمزگان برای کلاس باد ۲۰-۲۵ متر بر ثانیه در دوره ۱۳۹۶-۱۳۸۱



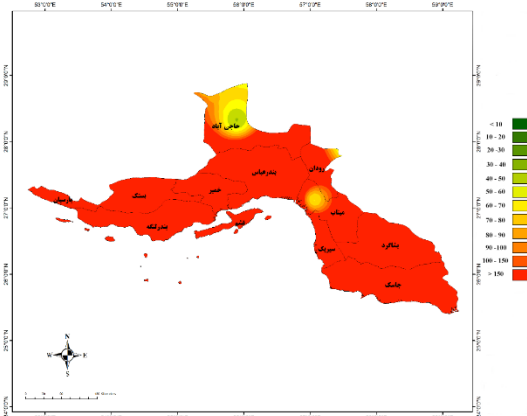
شکل ۸. شاخص بادناکی استان هرمزگان برای کلاس باد ۳۰-۳۵ متر بر ثانیه در دوره ۱۳۹۶-۱۳۸۱

بر اساس شکل ۹ گزارش تعداد روزهای گردو خاک به همراه کاهش دید بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر طی بهار ۱۳۹۶-۱۳۸۱ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی) در حاجی آباد و میناب بین ۴۰ تا ۷۰ روز و در سایر نقاط استان به بیش از ۱۵۰ روز در سال می رسد. همانگونه که در شکل ۱۰ مشخص است، تعداد روزهای گردو خاکی با کاهش دید بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر به صورت همگن و در سراسر استان هرمزگان بجز میناب به بیش از ۱۵۰ روز می رسد.

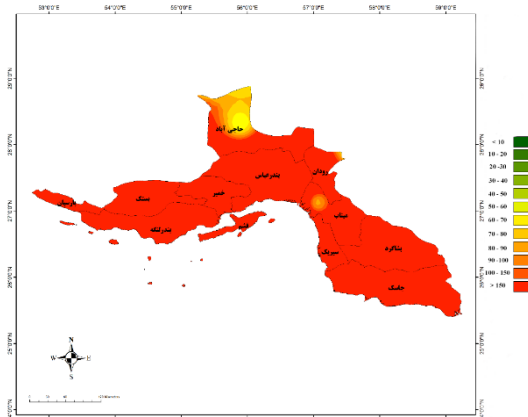
الگوی مشابه فصل بهار و البته با شدت بیشتر بویژه در نواحی شمال غرب و جنوب شرق این استان بر تعداد روزهای گردو خاکی با کاهش دید بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر، حاکم است؛ به طوری که در مقایسه با فصل بهار، مناطق بیشتری از سطح استان



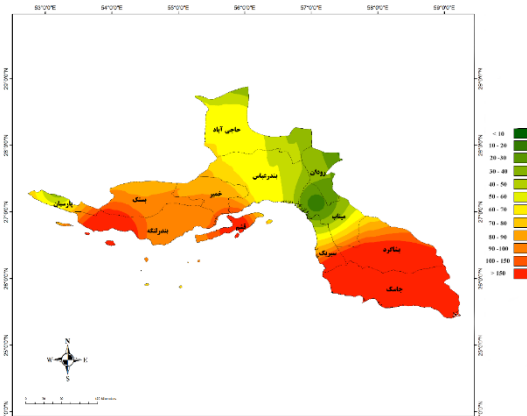
شکل ۱۴. تعداد روزهای گزارش شده پدیده گردو خاک، همراه با توفان ماسه و یا گردو خاک معلق در هوا در سطح استان هرمزگان با بین ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر در زمستان ۱۳۹۶-۱۳۸۱ (۲۰۰۲-۲۰۱۷ میلادی دیدافتی)



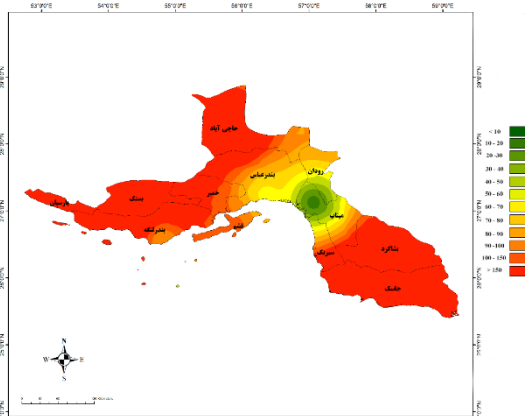
شکل ۹. تعداد روزهای گزارش شده پدیده گردو خاک، همراه با توفان ماسه و یا گردو خاک معلق در هوا در سطح استان هرمزگان با دید افقی بین ۱۵۰۰ و ۵۰۰۰ متر در بهار ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۰۲-۲۰۱۷ میلادی)



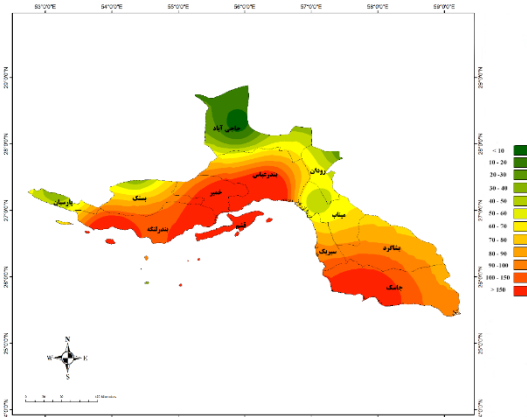
شکل ۱۵. تعداد روزهای گزارش شده پدیده گردو خاک، همراه با توفان ماسه و یا گردو خاک معلق در هوا در سطح استان هرمزگان با دیدافتی بین ۱۵۰۰ و ۵۰۰۰ متر در تابستان ۱۳۹۶-۱۳۸۱ (۲۰۰۲-۲۰۱۷ میلادی)



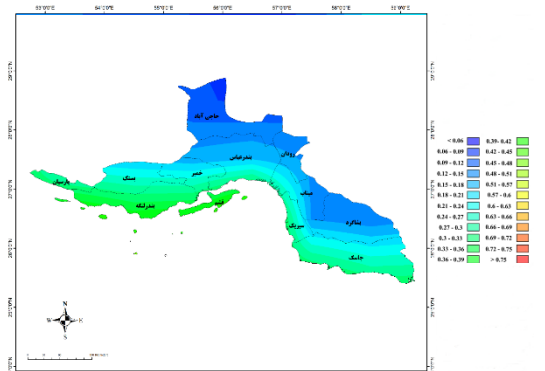
شکل ۱۲. تعداد روزهای گزارش شده پدیده گردو خاک، همراه با توفان ماسه و یا گردو خاک معلق در هوا در سطح استان هرمزگان با دیدافتی بین ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر در پاییز ۱۳۹۶-۱۳۸۱ (۲۰۰۲-۲۰۱۷ میلادی)



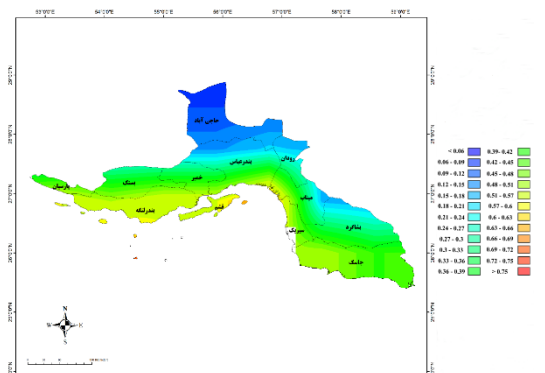
شکل ۱۶. تعداد روزهای گزارش شده پدیده گردو خاک، همراه با توفان ماسه و یا گردو خاک معلق در هوا در سطح استان هرمزگان با دیدافتی بین ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متر در تابستان ۱۳۹۶-۱۳۸۱ (۲۰۰۲-۲۰۱۷ میلادی)



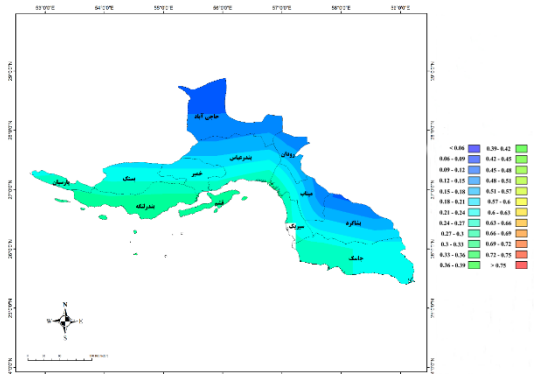
شکل ۱۳. تعداد روزهای گزارش شده پدیده گردو خاک، همراه با توفان ماسه و یا گردو خاک معلق در هوا در سطح استان هرمزگان با دیدافتی بین ۱۵۰۰ و ۵۰۰۰ متر در زمستان ۱۳۹۶-۱۳۸۱ (۲۰۰۲-۲۰۱۷ میلادی)



شکل ۱۸. عمق نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر در استان هرمزگان برای فصل بهار ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی)



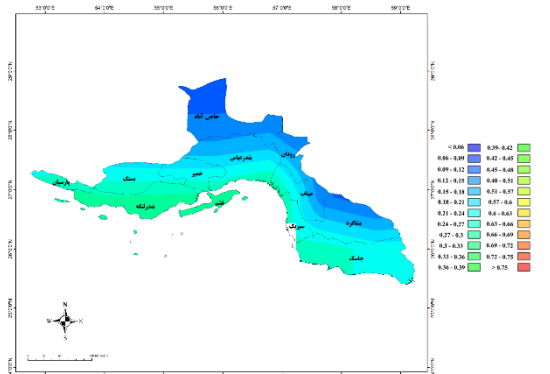
شکل ۱۹. عمق نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر در استان هرمزگان برای فصل تابستان ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی)



شکل ۲۰. عمق نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر در استان هرمزگان برای فصل پاییز ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی)

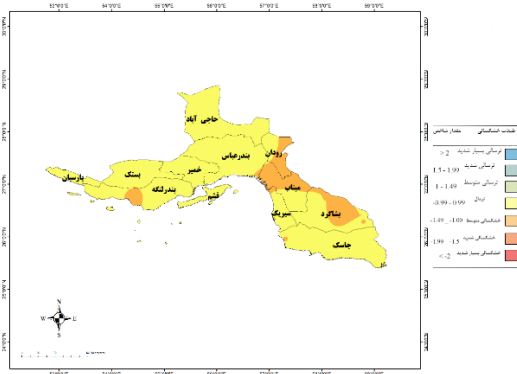
بررسی‌ها نشان داد که شاخص SPEI به دلیل استفاده از کمیت‌های بیشتر و مؤثرتر در برآورد شدت خشکسالی، نتیجه بهتری را در بر دارد و بنابراین در این طرح از این شاخص جهت مطالعه خشکسالی استفاده شده است. براساس شاخص SPEI در سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۶ شرایط خشکسالی در کل استان هرمزگان در شرایط نرمال است (شکل‌های ۲۱ تا ۲۶). در سال

شکل‌های (۱۷) تا (۲۰) نقشه‌های میانگین فصلی مقادیر عمق نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر طی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ را در استان هرمزگان نشان می‌دهند، که تغییرات این کمیت در فصول مختلف سال در این استان متأثر از الگوهای همدیدی، خرد و میان مقیاس مؤثر بر شکل‌گیری و فعال‌سازی چشمه‌های گردوخاک در منطقه است. در فصول سرد سال بیشینه مقادیر عمق نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر با الگوی گردوخاک جبهه‌ای به‌ویژه در مناطق جنوب غرب و غرب کشور همخوانی دارد. وزش بادهای جنوب شرقی بر فراز خلیج فارس ناشی از پیدایش جبهه در مناطق جنوب غرب کشور، شرایط را برای فعال‌سازی چشمه‌های موجود در جنوب شرق خوزستان فراهم می‌نماید که این موضوع افزایش مقادیر عمق نوری هواویزها را به‌ویژه در بهمن ماه برای استان هرمزگان در پی دارد (شکل‌های ۱۷ تا ۲۰). به تدریج با نزدیک شدن به فصل گرم سال در سطح استان هرمزگان الگوی شکل‌گیری گردوخاک با وزش بادهای شمالی، شمال غربی و کانالیزه شدن میدان باد ناشی از واداشت زمین شناختی بوئیه در منطقه بین‌النهرین تقویت می‌شود. شایان ذکر است الگوی وزش بادهای شمال تابستانه حاکم بر نواحی شرق سوریه، عراق و بیابان ربیع‌الخالی عربستان منجر به افزایش تدریجی مقادیر عمق نوری هواویزها به‌ویژه در مناطق غرب و جنوب غرب کشور و در پی آن در بخش‌های جنوبی استان هرمزگان از اواخر بهار تا اواسط تابستان می‌شود. این در حالی است که در ایستگاه‌هایی مانند قشم در فصل گرم علاوه بر گردوخاک فرامحلی، شاهد شکل‌گیری گردوخاک محلی نیز هستیم.

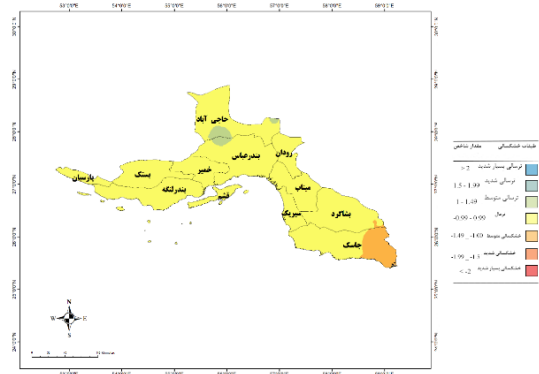


شکل ۱۷. عمق نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر در استان هرمزگان برای فصل زمستان ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی)

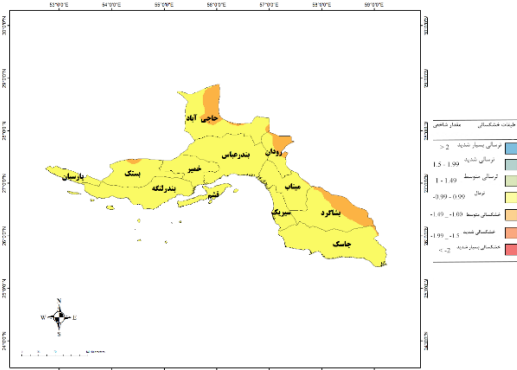
های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹، تقریباً تمام نواحی استان دارای شرایط خشکسالی متوسط تا شدید بوده‌اند (شکل های ۲۷ تا ۲۹). در سال ۱۳۹۰ شرایط نرمال مشاهده شد اما در سال های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ شرایط خشکسالی ملایم در نیمه جنوبی استان حکم فرما بوده است (شکل های ۳۰ تا ۳۲). در سال ۱۳۹۳ شرایط نرمال بوده است. در سه سال ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ شاخص SPEI شرایط خشکسالی متوسط تا شدید را در سطح استان هرمزگان نشان می دهد (شکل های ۳۳ تا ۳۶).



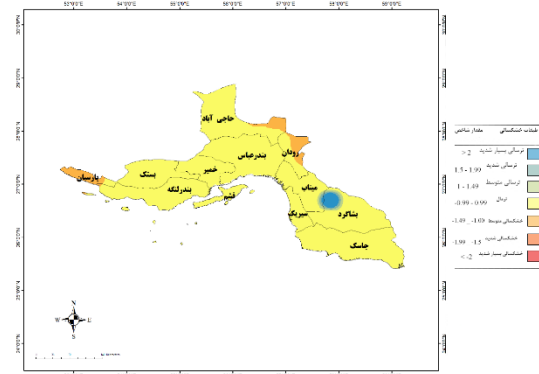
شکل ۲۴. شاخص SPEI سال ۱۳۸۴



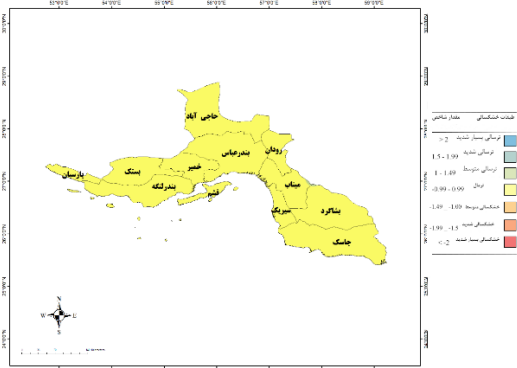
شکل ۲۱. شاخص SPEI سال ۱۳۸۱



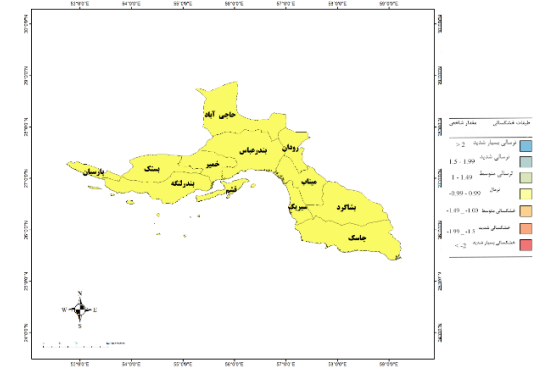
شکل ۲۵. شاخص SPEI سال ۱۳۸۵



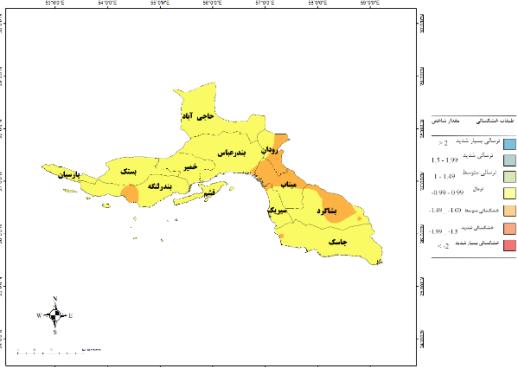
شکل ۲۲. شاخص SPEI سال ۱۳۸۲



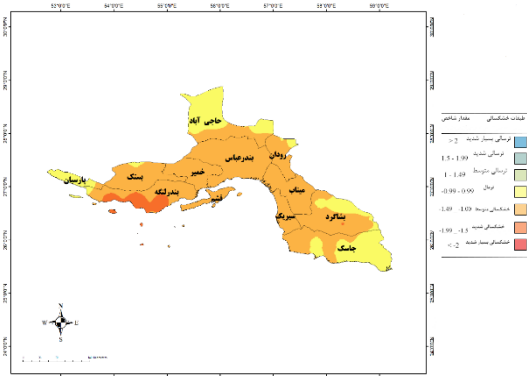
شکل ۲۶. شاخص SPEI سال ۱۳۸۶



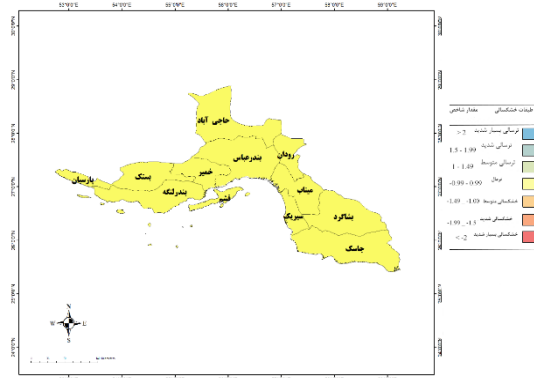
شکل ۲۳. شاخص SPEI سال ۱۳۸۳



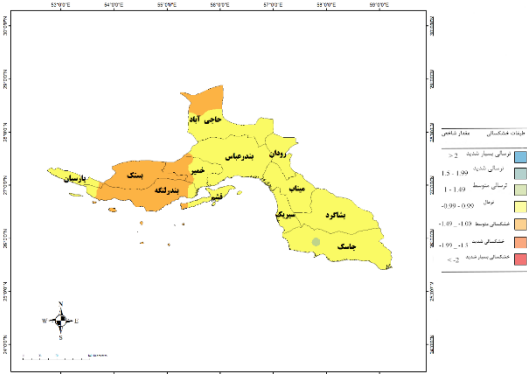
شکل ۲۷. شاخص SPEI سال ۱۳۸۷



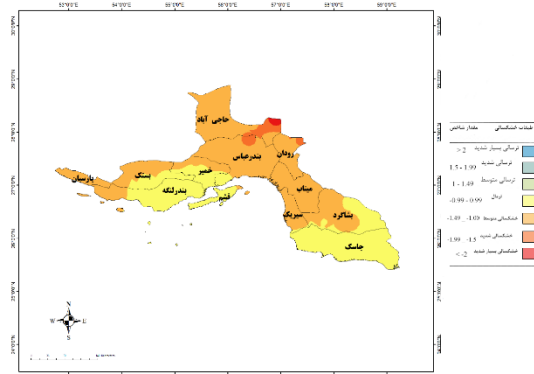
شکل ۳۱. شاخص SPEI سال ۱۳۹۱



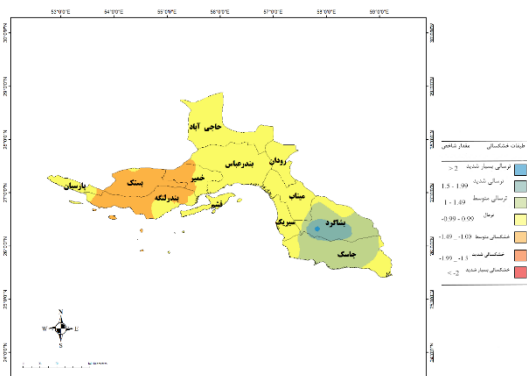
شکل ۲۸. شاخص SPEI سال ۱۳۸۸



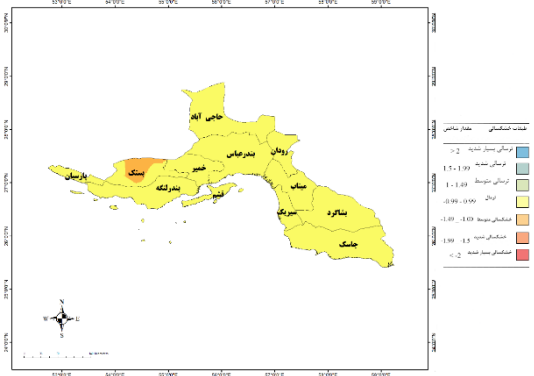
شکل ۳۲. شاخص SPEI سال ۱۳۹۲



شکل ۲۹. شاخص SPEI سال ۱۳۸۹



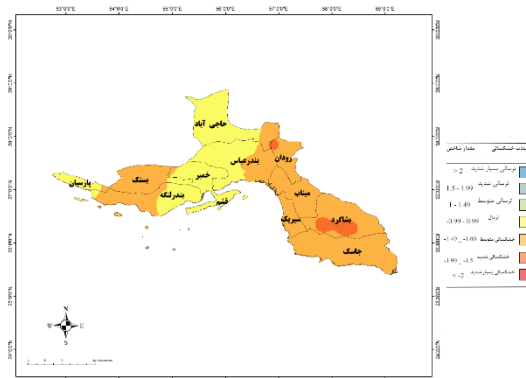
شکل ۳۳. شاخص SPEI سال ۱۳۹۳



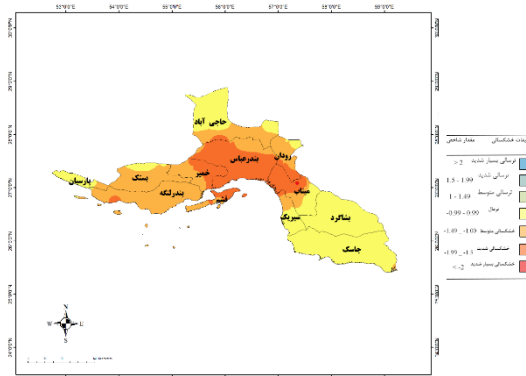
شکل ۳۰. شاخص SPEI سال ۱۳۹۰

میانگین فصلی شار قائم گردوخاک در شکل تا شکل نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان شار قائم گردوخاک از استان هرمزگان در فصل بهار و پس از آن در فصل تابستان رخ می‌دهد. کمترین مقدار گسیل گردوخاک مربوط فصل پاییز است.

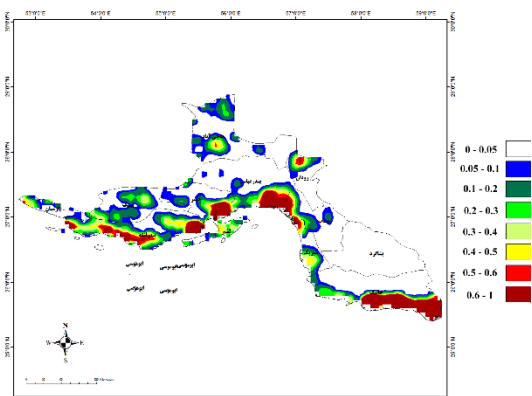
شکل ۴۱ مقدار میانگین شار گردوخاک در کل دوره ۵ ساله (۱۳۹۱-۱۳۹۴) را نشان می‌دهد. بیشترین شار گردوخاک در سطح استان هرمزگان، در مناطق ساحلی شامل جنوب شهرستان‌های جاسک، بندرعباس، خمیر و شرق بندر لنگه مشاهده می‌شود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که گردوخاک از بخش‌های وسیعی از استان هرمزگان گسیل می‌شود.



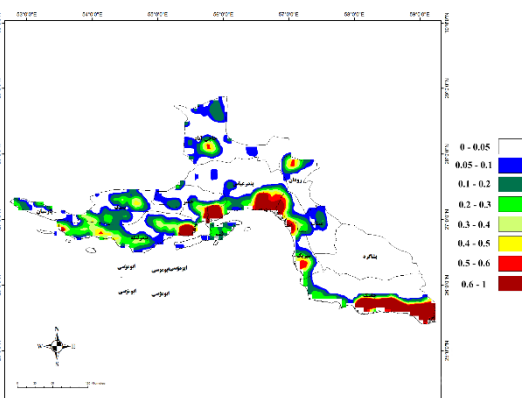
شکل ۳۴. شاخص SPEI سال ۱۳۹۴



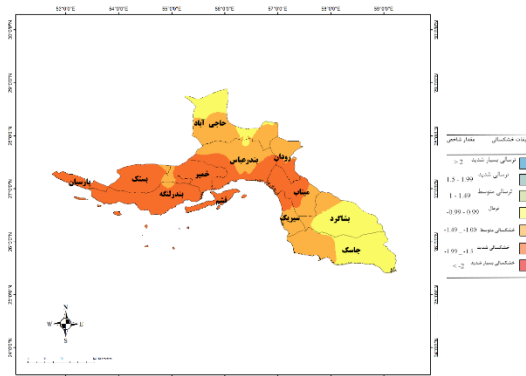
شکل ۳۵. شاخص SPEI سال ۱۳۹۵



شکل ۳۷. میانگین شار گرد و غبار فصل بهار سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴



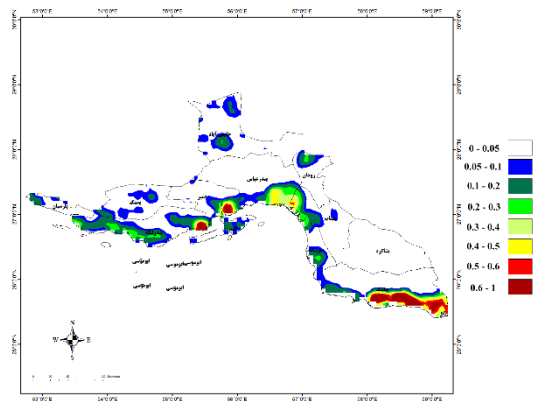
شکل ۳۸. میانگین شار گرد و غبار فصل تابستان سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴



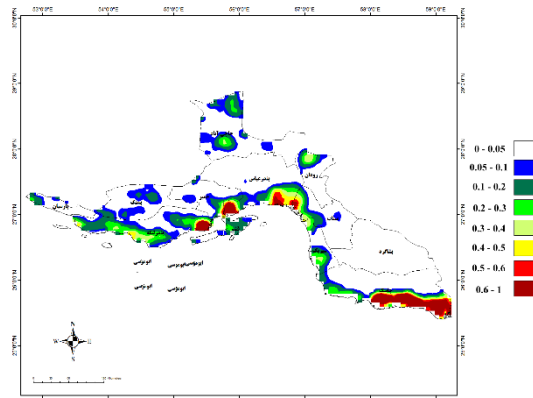
شکل ۳۶. شاخص SPEI سال ۱۳۹۶

در سرعت باد  $5\text{m/s}$  هیچ شار گردو خاکی در سراسر استان هرمزگان مشاهده نمی‌شود و به این دلیل در شکل نشان داده نشده است. در سرعت باد  $10\text{m/s}$  مقادیر کوچک شار در برخی مناطق ساحلی شامل جنوب شهرستان‌های جاسک، میناب، بندرعباس و لنگه قابل مشاهده است (شکل ۴۲). با افزایش سرعت باد تا  $15\text{m/s}$  مقادیر شار در مناطق ساحلی افزایش یافته و علاوه بر آن، گسیل گردو خاک از مناطق کوچکی در شهرستان‌های حاجی‌آباد، رودان، بستک و قشم نیز صورت می‌گیرد (شکل ۴۳). در سرعت باد  $20\text{m/s}$  مقادیر شار گردو خاک در مناطق قبلی افزایش قابل توجهی نشان داده و گسیل گردو خاک در غرب شهرستان پارسیان و مرکز بندرعباس و میناب نیز مشاهده می‌شود (شکل ۴۴). از آنجا که احتمال وقوع سرعت باد بیشتر از  $20\text{m/s}$  کم است، شار گردو خاک برای سرعت‌های باد بیشتر از این مقدار محاسبه نشده است.

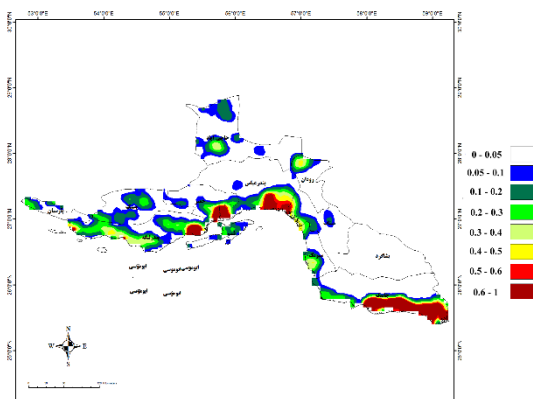
شکل مقدار شار گردو خاک با سرعت باد  $20$  متر بر ثانیه و رطوبت خاک  $5$  درصد را نشان می‌دهد. میزان شار گردو خاک با سرعت باد  $20$  متر بر ثانیه و رطوبت خاک  $20$  درصد در شکل نشان داده شده است. مقایسه دو شکل نشان می‌دهد که دو الگوی شار گردو خاک شباهت زیادی دارند و تنها در مناطقی واقع در جنوب غربی شهرستان بندرعباس و جنوب جاسک که در شکل ۴۶ با مربع مشکی نشان داده شده، مقادیر شار گردو خاک با افزایش رطوبت خاک کاهش یافته است. از آنجا که میزان رطوبت خاک در محاسبه فرسایش پذیری در نظر گرفته شده، در محاسبه شار گردو خاک این کمیت تاثیر گذاری زیادی ندارد و بیشتر به صورت ماسک عمل کرده و مقادیر شار در رطوبت بالای  $25$  درصد برابر صفر در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۳۹. میانگین شار گرد و غبار فصل پاییز سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴

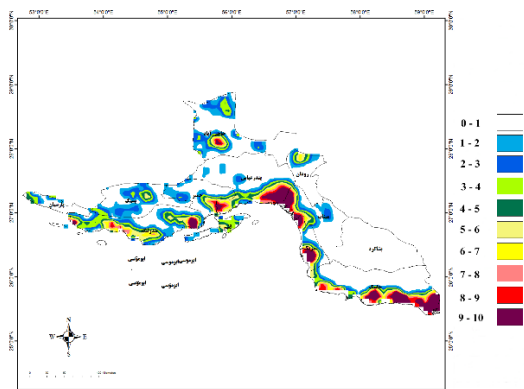


شکل ۴۰. میانگین شار گرد و غبار فصل زمستان سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴



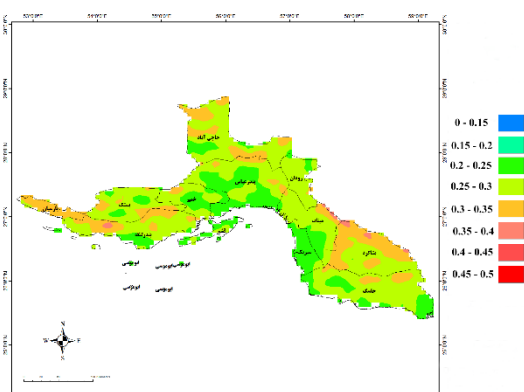
شکل ۴۱. میانگین شار گردو خاک در دوره سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴





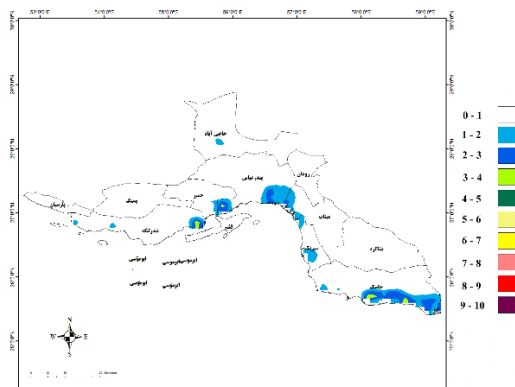
شکل ۴۶ پتانسیل غبارخیزی با سرعت باد ۲۰ متر بر ثانیه و رطوبت خاک ۲۰ درصد

مقادیر میانگین سرعت اصطکاکی در سطح استان هرمزگان در دوره مطالعاتی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۴ در شکل نشان داده شده است. به طور کلی مقادیر سرعت اصطکاکی در سراسر استان هرمزگان به دلیل عدم وجود ناهمواری های شدید کوچک است. کمترین مقادیر سرعت اصطکاکی در مناطق ساحلی استان مشاهده می شود. مقایسه کمیت های سرعت اصطکاکی و شار گردو خاک نشان می دهد، در بخش هایی از جنوب شهرستان بندرعباس و جنوب شرقی جاسک با وجود مقادیر بسیار کم سرعت اصطکاکی مقادیر شار گردو خاک بسیار زیاد است.

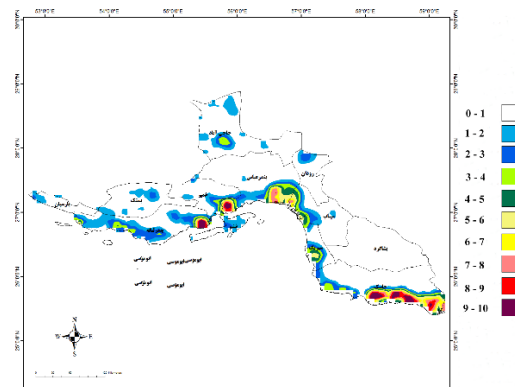


شکل ۴۷ میانگین سرعت اصطکاکی (m/s) در دوره مطالعاتی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۹۱

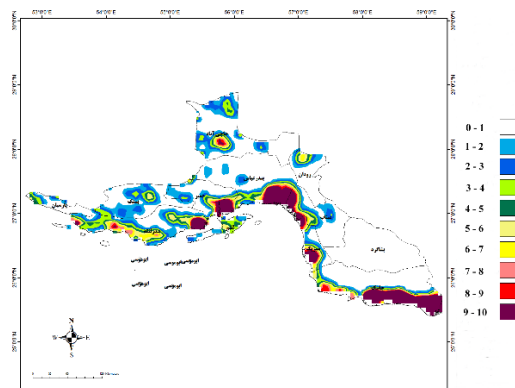
با توجه به شکل، بررسی گلباد سالانه در نقاط منتخب نتیجه می دهد که در نقطه ۱ بادهای غالب، باد شمالی، شمال شرقی، جنوب غربی، جنوبی و غربی هستند. در نقطه ۲ باد شمال غربی،



شکل ۴۲ پتانسیل غبارخیزی با سرعت باد ۱۰ متر بر ثانیه



شکل ۴۳ پتانسیل غبارخیزی با سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه



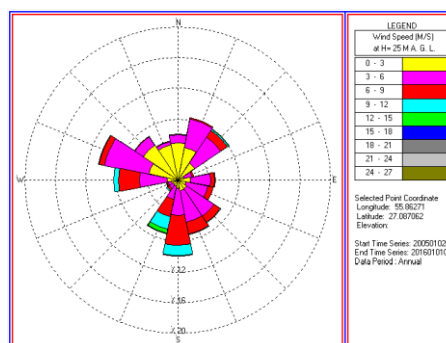
شکل ۴۵ پتانسیل غبارخیزی با سرعت باد ۲۰ متر بر ثانیه و رطوبت خاک ۵ درصد

#### ۴. نتیجه گیری

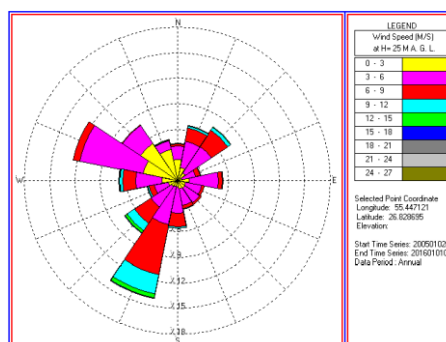
همان طور که مشاهده شد شاخص DSI که روشی مناسب برای پایش فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است، بنابراین نمایه‌هایی از فراوانی و شدت توفان گردوخاک در استان هرمزگان براساس روش‌های درون‌یابی زمین آماری عکس مجذور فاصله با قدرت تفکیک مکانی یک در یک کیلومتر محاسبه شده است. از طرف دیگر، شاخص بادناکی با هدف تحلیل دقیق‌تر از وضعیت بادناکی در سطح استان و با استفاده از حاصلضرب سرعت باد در درصد فراوانی کلاس‌های سرعت بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد شاخص DSI در بیشتر مناطق مقادیر زیادی را دارا است و سهم نمایه گردوخاک محلی نسبت به سایر نمایه‌ها بیشتر است. همچنین در روزهای گردوخاکی، توفان ماسه و گردوخاک معلق در هوا طی بازه ۱۳۹۶-۱۳۸۱، بیشینه تندی باد در ایستگاه‌های همدیدی استان هرمزگان در محدوده ۵ تا ۱۸ متر بر ثانیه متغیر است. در مناطقی در جنوب بندرعباس، جنوب و جنوب غربی جاسک تندی باد در محدوده ۲۵-۲۵ متر بر ثانیه ثبت شده است. کمترین کاهش دید افقی مربوط به نواحی شمال غربی میناب، شرق بندرعباس و رودان است که کمترین مقادیر DSI و کمترین مقادیر عمق نوری هواویزها را نیز به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین میزان شار قائم گردوخاک نیز مربوط به جاسک، جنوب بندرعباس، بندر خمیر و شرق بندر لنگه است که بیشترین پتانسیل غبارخیزی با تندی باد ۲۰ متر بر ثانیه و رطوبت ۵٪ را نیز شامل می‌شوند.

شکل ۴۹ نقشه کانون‌های داخلی فرسایش بادی، توفان ماسه و گردوخاک با شدت‌های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد در سطح استان هرمزگان را با استفاده از نتایج بدست آمده نشان می‌دهد. براساس نتایج، چشمه‌های شدید شناسایی شده در این استان، در جنوب شرقی شهرستان جاسک، مرز شهرستان‌های بندرعباس و خمیر و همچنین غرب بندر لنگه قرار دارند.

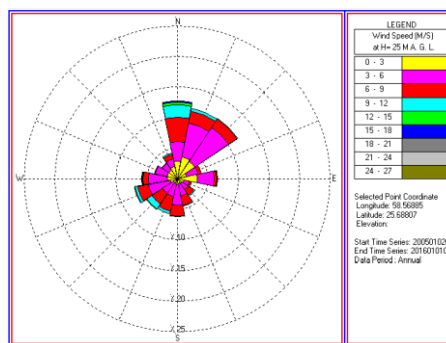
جنوبی، شمال شرقی، غربی، جنوب شرقی و جنوب غربی بیشترین فراوانی را دارند. در نقطه ۳ بادهای جنوب غربی، شمال غربی و شمال شرقی بیشترین فراوانی را دارند.



نقطه (۱)



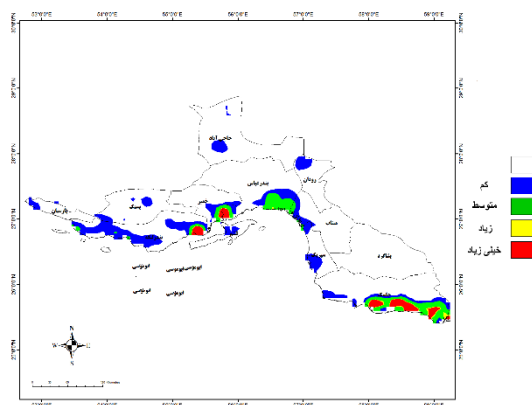
نقطه (۲)



نقطه (۳)

شکل ۴۸. گلباد نقاط ۱، ۲ و ۳ در سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۴.

- Geophysical Research Letters, 30(20), pp. 2071-2075 (2003).
7. Qu, J.J., Hao, X., Kafatos, M. and Lingli Wang, L. "Asian dust storm monitoring combining terra and aqua MODIS SRB measurements", IEEE Geosciences and Remotesensing Letters, 3(4), (2006).
  8. Salvador, P., Alonso-Prez, S., Pey, J., de Bustos, J. J., Alastuey, A., and Querol X., 2014: African dust outbreaks over the western Mediterranean basin: 11-year characterization of atmospheric circulation patterns and dust source areas. Atmos. Chem. Phys., 14, 6759-6775.
  9. Sehatkashani S., Sedaghatkarder A., Bidokhti A.A., Kamali Gh.A., Ranjbar A., Salehi Barough M., The Numerical Evaluation of Low level Jets Formation in Lut Valley Region in Winter, Envochealth, Bangalore, India, 2009.
  10. Sehatkashani, S., Vazifedoust M., Kamali G., M., Bidokhti A.A., Dust detection and AOT estimation using combined VIR and TIR satellite images in urban areas of Iran, Scientia Iranica A (2016) 23(5), 1984-1993
  11. Takemi, T., Seino, N., 2006, Dust storms and cyclone tracks over the arid regions in East Asia in spring. Journal of geophysical research Vol110, pp.11-18.
  12. Zhang, H., Sato, N., Izumi, T., Hanaki, K., Aramaki, T., 2006. Modified RAMS urban canopy model for heat island simulation in Chongqing, China. J. Appl. Meteorol. 47, 509-524.
  13. Baddock, M.C., Gill, T.E., Bullard, J.E., Dominguez, Acosta, M., Rivera Rivera, N.I., 2011. Geomorphology of the Chihuahuan desert based on potential dust emissions. J. Maps. 7(1), 249-259. <https://doi.org/10.4113/jom.2011.1178>.
  14. Miller, M.E., Bowker, M.A., Reynolds, R.L., Goldstein, H.L., 2012. Post-fire land treatments and wind erosion lessons from the Milford flat fire, UT. USA. Aeolian Res. 7(4), 29-44. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2012.04.001>.



شکل ۴۹. نقشه منشاء بادی کانون‌های داخلی فرسایش بادی، توفان ماسه و گرد و غبار و طبقه بندی آن با شدت‌های کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد

## ۵. منابع

۱. صحت کاشانی س.، عباسعلی علی اکبری بیدختی، عباس رنجبر، مطالعه عددی میدان باد در دره لوت با استفاده از شبیه سازی عددی در دو فصل گرم و سرد سال، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه هواشناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۸۵.
۲. فرج زاده اصل م.، عزیززاده خاطره، تحلیل زمانی و مکانی توفان‌های خاک در ایران، ۱۳۸۹، برنامه ریزی و آمایش فضا: دانشگاه تربیت مدرس، دوره ۱۵، شماره ۱، ۲۰۱۱، ISSN 1605-9689
3. Goudie, A.S., 2009: Dust storms, Recent developments. Journal of Environmental Management, Vol 90, Iss 1, PP.89-94.
4. Karami, S., Ranjbar, A., Mohebalhojeh, A.R. and Moradi, M., 2017. A rare case of haboob in Tehran: Observational and numerical study. Atmospheric Research, 185, pp.169-185.
5. Kaskaoutis, D. G., Rashki, A., Houssos, E. E., Mofidi, A., Goto, D., Bartzokas, A., Francois, P., and Legrand, M., 2014: Meteorological aspects associated with dust storms in the Sistan region, southeastern Iran. Clim. Dyn., 45, 407-424.
6. Miller, S.D. "A consolidated technique for enhancing dust storms with MODIS",

21. Pun, V.C., Tian, L., Ho, K.-F., 2017. Particulate matter from re-suspended mineral dust and emergency cause-specific respiratory hospitalizations in Hong Kong. *Atmos. Environ.* 165, 191–197.
22. Department of Natural Resources and Watershed Management of Hormozgan Province, Delegation Office, 2010. Review Plan for Critical Wind Erosion Centers in Hormozgan Province. (221 pp, in persian).
23. Gherboudj, I., Naseema Beegum, S., Ghedira, H., 2017b. Identifying natural dust source regions over the Middle-East and North-Africa: Estimation of dust emission potential. *Earth Sci. Rev.* 165, 342–355.
24. T. Morshedi N., M. Rezazadeh., 2018, The spatial distribution of critical wind erosion centers according to the dust event in Hormozgan province (south of Iran), *CATENA*, 167, 340-352, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.008>.
25. O. Rahmati, F. Mohammadi, S. S. Ghiasi, J. Tiefenbacher, D. Davoudi M., F. Coulon, O. Asadi N., D. Tien Bui, 2020, Identifying sources of dust aerosol using a new framework based on remote sensing and modelling, *Science of The Total Environment*, 737, 139508, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139508>.
26. Damizadeh, M., Miri, M., Zand, M. (2021). Dust Storms Trajectories and Identification of the Internal Sources over Hormozgan Province: A Case Study on Kohestak- Bandar Abbas, south of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 47(3), 501-518. doi: 10.22059/jesphys.2021.316614.1007275.
15. Namdari, S., Karimi, N., Sorooshian, A., Mohamadi, G.H., Sehatkashani, S., 2018. Impacts of climate and synoptic fluctuations on dust storm activity over the Middle East. *Atmos. Environ.* 173, 265–276. [10.1016/j.atmosenv.2017.11.016](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.11.016).
16. Moridnejad, A., Karimi, N., Ariya, P., 2015. Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: significant novel sources of global dust particles. *J. Arid Environ.* 116, 1–10, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.01.008>.
17. B. Rayegani., S. Barati., H. Goshtasb., S. Gachpaz., J. Ramezani., H. Sarkheil., (2020). Sand and dust storm sources identification: A remote sensing approach, *Ecological Indicators*, Volume 112, 106099, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106099>.
18. A. S. Goudie, Desert dust and human health disorders, 2014, *Environment International*, 63, 101-113, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.10.011>.
19. Kuempel, E., Attfield, M., Vallyathan, V., Lapp, N., Hale, J., Smith, R., Castranova, V., 2003. Pulmonary inflammation and crystalline silica in respirable coal mine dust: dose response. *J. Biosci.* 28, 61.
20. Lei, Y.-C., Chan, C.-C., Wang, P.-Y., Lee, C.-T., Cheng, T.-J., 2004. Effects of Asian dust event particles on inflammation markers in peripheral blood and bronchoalveolar lavage in pulmonary hypertensive rats. *Environ. Res.* 95, 71–76.