



Institute of Geography



Research Paper

Critical Internal Dust Sources Over Ilam Province

Saviz Sehat Kashani ^a, Mehdi Rahnama ^{a*}, Sara Karami ^a, Abbas Ranjbar ^a, Noushin Khoddam ^b

^a. Assistant Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

^b. PhD Candidate in Meteorology, Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC), Tehran, Iran

Extended Abstract

Introduction

Sand and dust storms are the focus of much attention by governments and the international community because they affect health, agricultural land, infrastructure, and, generally, biological and economic resources. In this paper, critical sources of wind erosion, sand, and dust storms in Ilam province are identified, and environmental factors affecting their activating are determined. Also, the pattern of spatial and temporal changes in wind erosion, sand, and dust storms in this province has been studied according to national and international guidelines. Finally, the priority of critical sources of wind erosion, sand, and dust storm in Ilam province has been classified and determined.

Methodology

Observed data from the synoptic station of Ilam province were used from 2002 to 2017 to investigate active dust sources in Ilam province. Optical Thickness Aerosol (AOD) At 550 nm, the MODIS sensor product, as a dimensionless parameter, is directly related to the concentration of airborne particles and is considered as an important criterion for detecting aerosols in the atmosphere. In addition, re-analyzed Era5 data are used to examine meteorological patterns. Dust Storm Index (DSI), wind Index, and drought index (SPEI) are calculated during the mentioned period. Then, using the GOCART model, the vertical dust flux was investigated monthly and annually, and the amount of dust emission was obtained from different sources in Ilam province. The HYSPLIT Lagrangian model also is used to determine the transmission path of dust particles through a case study that occurred on March 14 and 15, 2012.

Results and Discussion

A study of the monthly and seasonal pattern of AOD in Ilam province showed that in the warm season, dust formation is strengthened by north, and northwest winds and canalization of wind fields due to geological forcing, especially in the Mesopotamian region. Also, using observation data from synoptic stations in Ilam province dust storm index (DSI) and wind index were calculated and investigated. The results indicate that the trend of dust event changes in Ilam

*. Corresponding author (s-sehat@irimo.ir)

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2022.340430.1007687>

Received: 28 June 2022; Received in revised form: 3 September 2022; Accepted: 29 October 2022

Copyright © 2022 The Authors. Published by University of Tehran. This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

province has decreased over time. The highest wind index in this province was observed in the class of 0-5 m / s. In addition, in the wind class of 5-10 m / s, the maximum values are observed in the northern and western half of the province. The decrease in horizontal visibility due to dust events in the southern and southeastern of the province reaches between 1500-5000 meters. In spring and summer, the number of dusty days with the mentioned decreased visibility in these areas is more than in the other seasons. By calculating the drought index (SPEI) for Ilam province, it was observed that the drought situation had gradually intensified since 2008 when it was in a normal state so that in 2013, moderate drought prevailed in the province, and then with the continuation of this trend moderate to severe drought has been observed in this province from 2015 to 2017. Then, using the GOCART model, the vertical dust flux was investigated monthly and annually, and the amount of dust emission was obtained from different sources in Ilam province. The results showed that the highest amount of vertical dust flux occurs from Dehloran city in spring and Mehran city in summer, while the lowest amount of dust emission occurs in winter. In general, dust flux is observed in Ilam province in the southern half of Dehloran city and a small area located in the center of Mehran city. A comparison of friction velocity and dust flux quantities also showed that in the southern half of Dehloran city, dust flux values are very high despite very low friction velocity values.

Finally, a case study of a dust storm on March 14 and 15, 2012, showed that during these days, the horizontal visibility at Abdanan station had reached less than 1000 meters, and at Darhshahr and Dehloran stations had reached less than 2500 meters. Establishment of the front in the southwestern regions of the country on March 14, 2012, at 12:00 UTC and in the western and southwestern regions on March 15, 2012, at 12:00 UTC, which was well observed with the change of direction and speed of the wind field in these areas, provided the conditions for dust emission in these areas so that a significant reduction in horizontal visibility occurred in many synoptic stations in the country and Ilam province on March 14 and 15, 2012. On the land surface, the establishment of a low-pressure center on the southwestern borders of the country and a high-pressure center on the southern half of the country provide the conditions for creating a strong pressure gradient in the southwestern regions of the country and strengthening the winds that finally, has caused the dust emission. The RGB image of the MSG satellite also shows the presence of dust mass on both days in the central regions of Iran.

Conclusion

Therefore, in Ilam province, two high and very high-intensity sources are located in the south (Mosian city) and southwest (Dehloran city) of this province. The prevailing wind direction in each season indicates the regions affected by each dust source. The dust source located in the south of Ilam, which has the highest intensity, is very active in all seasons. Due to the prevailing wind in spring, which is in the west, southwest, northeast, and northwest, Ilam and Khuzestan provinces are affected by this dust source. In summer, the prevailing wind is in the west, southwest, and northeast; this season, some areas of Ilam and Khuzestan provinces will be affected. Dominant northeasterly, westerly and easterly in autumn, and southwesterly winds in winter in this region cause Ilam and Khuzestan provinces to be affected by dust from this dust source. The second center, which is located in the southwest of Ilam province, is very active in spring, summer, and autumn. Due to the prevailing wind in spring and summer that blows from the west, southwest, northwest, and north, the provinces of Ilam, Khuzestan, and Lorestan are affected by this center. In autumn, northerly, northwesterly, northeasterly, easterly, and southwesterly prevail, and Ilam and Khuzestan provinces are affected by this center. Also, the annual review of the sources' activities showed that both had more intensity in 2013 than the other years.

Keywords: Dust, Ilam, Wind Erosion, Aerosol Optical Depth, Horizontal Visibility.

شناسایی چشمه‌های بحرانی گردو خاک داخلی در استان ایلام

ساویز صحت کاشانی^۱ - استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
مهدی رهنما - استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
سارا کرمی - استادیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
عباس رنجبر - دانشیار پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران
نوشین خدام - دکتری هواشناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، تهران، ایران

چکیده

در این مقاله چشمه‌های بحرانی گردو خاک در استان ایلام شناسایی و عوامل محیطی مؤثر بر فعال‌سازی و مناطق تحت تأثیر هر یک از آن‌ها تعیین شده است. به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی پدیده گردو خاک در سطح استان ایلام شاخص AOD، DSI و دید افقی در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶ بررسی شد. شاخص‌های بادناکی و SPEI به عنوان دو عامل مؤثر بر رخداد گردو خاک نیز در این دوره زمانی مورد مطالعه قرار گرفتند. مقدار شار گردو خاک گسیل شده از سطح استان با استفاده از مدل GOCART محاسبه شد. با بررسی گلباد در مناطق دارای شار گردو خاک بیشینه، مناطق تحت تأثیر هر یک از چشمه‌های گردو خاک به صورت ماهانه بررسی شد. در نهایت یک مورد مطالعاتی که در آن علاوه بر چشمه‌های گردو خاک کشورهای سوریه و عراق، چشمه‌های گردو خاک داخلی استان ایلام نیز فعال شدند، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که مقدار گردو خاک در نیمه جنوبی و غربی استان ایلام بیشتر از سایر مناطق بوده و بیشترین گردو خاک نیز به ترتیب در فصل‌های بهار و تابستان در سطح استان مشاهده شده است. در استان ایلام دو چشمه گردو خاک دارای شدت زیاد و خیلی زیاد هستند که در جنوب و مرکز شهرستان دهلران و مرکز شهرستان مهران واقع در غرب استان ایلام واقع شده‌اند. چشمه گردو خاک واقع در جنوب استان ایلام در همه فصول با شدت زیاد فعال بوده و دو استان ایلام و خوزستان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. چشمه گردو خاک واقع در جنوب غربی استان ایلام در فصول بهار، تابستان و پاییز فعال است و گردو خاک را به استان‌های ایلام و خوزستان و در بهار و تابستان علاوه بر این دو استان، به غرب استان لرستان نیز وارد می‌کند.

واژگان کلیدی: گردو خاک، استان ایلام، فرسایش بادی، ضخامت نوری هواویزها، دید افقی.

مقدمه

پدیده گردوخاک هنگامی رخ می‌دهد که بادهای متلاطم و قوی سبب جابه‌جایی ذرات ریز خاک خشک سطحی شوند. توفان‌های ماسه و گردوخاک کانون توجه بسیاری از دولتمردان و مجامع بین‌المللی است، زیرا بهداشت و سلامت، اراضی کشاورزی، زیرساخت‌ها و به‌طور کلی منابع زیستی و اقتصادی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. توفان‌های گردوخاک دارای ویژگی‌هایی هستند که با استفاده از پایش‌های زمینی و مدل‌های عددی قابل‌بررسی می‌باشند (به‌طور مثال سبحانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ تمسکی و همکاران، ۱۳۹۴). سرعت‌های بیش از هفت متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری در ایجاد شرایط توفانی و شکل‌گیری گردوخاک نقش مهمی دارند. متوسط ارتفاع توفان گردوخاک بین ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است (سانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ گودی، ۲۰۱۴؛ تن و همکاران، ۲۰۱۴). تغییرات اقلیمی نیز یکی از عوامل مهمی است که سبب افزایش خطر فرسایش بادی و توفان‌های گردوخاک می‌گردد (یاراحمدی و همکاران، ۱۳۹۳). ایران یکی از کشورهایی است که در قلب کمربند گردوخاک غرب آسیا قرار داشته و وقوع و استمرار پدیده خشک‌سالی در ایران، کشورهای منطقه و غرب آسیا به همراه تأثیر دیگر عوامل محیطی، زمینه‌ساز رخ داد بحران‌های منابع طبیعی و محیط زیستی در منطقه شده است، به‌طوری‌که امروز کشورمان با معضل جدی کم‌آبی و خشک‌سالی و رخداد‌های مکرر و ماندگار گردوخاک روبرو است (بروغانی و همکاران، ۱۳۹۸). در حال حاضر ۲۲ استان کشور با شدت‌های متفاوت، تحت تأثیر این پدیده قرار دارند. همچنین وقوع پدیده گردوخاک به فصل گرم سال محدود می‌شود، ولی در چند سال اخیر در فصل زمستان هم وقوع این پدیده گزارش شده است (غفاری و نوری، ۲۰۱۶). موقعیت جغرافیایی و شرایط طبیعی ایران، عامل وزش بادهای محلی است 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 دشت لوت است (مصباح زاده و همکاران، ۱۳۹۹). شرایط زمین‌شناختی موجود در اطراف دشت لوت نقش بسزایی در گسترش جریان‌های کانالیزه ایفا می‌نماید (علیزاده و همکاران، ۲۰۱۴).

استان ایلام که در غرب کشور ایران واقع شده است یکی از استان‌هایی است که به‌شدت در معرض رخداد‌های گردوخاک و خسارات ناشی از آن قرار گرفته است. خالدی (۱۳۹۲) نشان داد که خسارات ناشی از رخداد‌های گردوخاک در بخش کشاورزی شامل بخش‌های دامی، زراعی و باغی در استان ایلام برای بازه زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۵ با توجه به سناریوهای مختلف بین ۲۹۱۰ تا ۱۷۴۵۸ میلیارد ریال بوده است. همچنین زیان یک روز تعطیلی ناشی از گردوخاک بر مبنای ارزش‌افزوده استانی برابر با ۱۱۱ میلیارد ریال و بر مبنای ارزش‌افزوده کشوری برابر با ۶۹ میلیارد ریال برآورد شده است. شوهانی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تحلیل‌های آماری نشان دادند که در استان ایلام در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲، با افزایش غلظت ذرات معلق بیشتر از ۱۰ میکرون ناشی از حضور گردوخاک در جو، تعداد بیماران مراجعه‌کننده به بیمارستان‌ها با بیماری‌های قلبی-عروقی به‌طور معناداری افزایش یافته است. عمارلوئی و همکاران (۱۳۹۴) نیز با اندازه‌گیری غلظت ذرات معلق کوچک‌تر از ۱۰، ۲/۵ و ۱ میکرون برای سال ۱۳۹۱، به بررسی تعداد مرگ‌ومیر ناشی از افزایش گردوخاک در شهر ایلام پرداختند. نتایج این مطالعات نشان داد با افزایش غلظت گردوخاک در جو روند مرگ‌ومیر ناشی از بیماری‌های تنفسی و قلبی-عروقی نیز افزایش پیدا می‌کند. حیدری و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی داده‌های دیدبانی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۹۵ در دو ایستگاه همدیدی ایلام و دهلران و تحلیل‌های آماری نشان دادند که با افزایش تعداد رخداد‌های گردوخاک در این دو شهر، تعداد مراجعات بیماری‌های تنفسی به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است.

مطالعات نشان داد که تعداد روزهای همراه با توفان گردوخاک در شهر ایلام از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ روند صعودی داشته که به نظر می‌رسد ناشی از افزایش انتقال گردوخاک از نواحی غربی این استان در کشورهای عراق و سوریه باشد

که به دلیل خشک شدن بستر دریاچه‌ها در این کشورها و تشدید فعالیت چشمه‌های گردوخاک در این نواحی است (مهریزی، ۲۰۲۲). کرمی و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل‌های MACC-ECMWF, NASA-GEOS, NCEP-NGAC, NMMB-BSC, and BSCDREAM8b یک رخداد گردوخاک در تاریخ سوم تا ششم ژوئیه ۲۰۱۶ را شبیه‌سازی کردند و نشان دادند عملکرد مدل NASA-GEOS در پیش‌بینی غلظت گردوخاک نسبت به سایر مدل‌ها بهتر بوده است. همچنین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و برون‌داد مدل‌های WRF-Chem و HYSPLIT، منشاء این توفان را در نواحی شرقی سوریه و بخش‌های مرکزی عراق شناسایی کردند. مطالعات دیگری نشان داد که غالباً سامانه‌های ایجادکننده بارش فاقد رطوبت می‌توانند سبب گسیل و انتقال گردوخاک به نواحی غربی ایران شوند (خوشحال دستجردی و همکاران، ۱۳۹۰). بحیرایی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان دادند که با استقرار هسته کم‌فشار بر روی دریای مدیترانه در ماه ژوئیه و نفوذ زبانه‌های کم ارتفاع روی بیابان‌های عراق، سوریه و عربستان شرایط برای گسیل و انتقال گردوخاک به سمت غرب ایران فراهم می‌شود. همچنین نشان دادند که بیشترین فراوانی رخدادهای گردوخاک در شهر ایلام مربوط به ماه مه و در شهر دهلران مربوط به ماه ژوئیه است. علاوه بر این عناصر اقلیمی مانند دما و باد همبستگی معنی‌داری با تعداد روزهای گردوخاکی در این دو شهر دارند. با توجه به اینکه توفان گردوخاک ناشی از فرسایش بادی می‌تواند منجر به تخریب سرزمین و سبب بیابان‌زایی شود (ژو، ۲۰۰۶)، میرحسینی و همکاران (۱۳۹۷) میزان هدر رفت خاک غلظت گردوخاک را با استفاده از تونل باد و دستگاه Microdust pro برای استان ایلام بررسی کردند. از آنجاکه فرسایش بادی در خاک‌های مختلف متفاوت است و به بافت خاک، جرم مخصوص، ساختمان خاک، مواد آلی، رطوبت خاک و شکل ذرات بستگی دارد (صالحی و همکاران، ۲۰۱۴)، نتایج این مطالعه نشان داد که در استان ایلام فرسایش در اراضی مرتعی با چرای بیش‌ازحد دام بیشتر از سایر نواحی بوده و سبب از بین رفتن مواد آلی و کاهش مقاومت خاک شده که بر اثر بارندگی و وزش بادهای تند به شدت فرسایش می‌یابد. در نتیجه با کاهش پایداری بین خاکدانه‌ها، خاک به راحتی در معرض باد بردگی قرار می‌گیرد. برای تثبیت خاک و نیز افزایش پایداری و قطر خاکدانه‌ها استفاده از خاک‌پوش‌های زیستی مرسوم شده است (قتورا و اوینچکوه، ۲۰۱۵). با توجه به بررسی مقاومت فشاری، پایداری خاکدانه‌ها و تونل باد در استان ایلام ترکیبات پلیمر زانتان-کربنات کلسیم، پلیمر پلی‌ونیل استات-کربنات و زانتان-پلی‌ونیل استات به‌عنوان خاک‌پوش برای این استان مناسب است (بازگیر و نامدار، ۱۳۹۶) و می‌توان در چشمه‌های گردوخاک این استان از آن‌ها استفاده کرد.

آرامی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از ترکیب طیف‌های بازتابی و گرمایی MODIS به مطالعه منشاء توفان‌های گردوخاک در جنوب غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که منطقه مرزی بین سوریه و عراق، غرب و جنوب غرب عراق، شمال شرق و شرق عربستان به‌عنوان چشمه‌های اصلی گردوخاک منطقه جنوب غرب کشور شناسایی شده‌اند و شرایط همدیدی هم‌زمان با رخدادهای گردوخاک، نقش برجسته سامانه‌های چرخندی را به‌ویژه در فصل گرم سال در گسیل و انتقال گردوخاک نشان می‌دهد. رنجبر و همکاران (۱۳۹۷) با تهیه نقشه پوشش گیاهی و ریخت‌شناسی استان ایلام و نیز نمونه‌برداری خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری در برخی نقاط استان و تلفیق آن‌ها با نقشه‌های اقلیمی، چشمه‌های بحرانی و فوق بحرانی گردوخاک در سطح استان را شناسایی کردند. بر این اساس منطقه بهرام‌آباد از بخش مرکزی شهرستان مهران و مناطق ابوقریب و ابوغویر از بخش موسیان شهرستان دهلران به‌عنوان چشمه‌های فوق بحرانی استان ایلام شناسایی شده‌اند.

بیشتر مطالعات انجام‌شده در ارتباط با گردوخاک در استان ایلام به بررسی میزان اثرپذیری این استان از چشمه‌های گردوخاک کشور عراق واقع در غرب این استان و استان خوزستان واقع در جنوب استان ایلام پرداخته‌اند. هدف این مقاله شناسایی چشمه‌های گردوخاک در داخل استان ایلام است. به این منظور از مجموعه‌ای شامل داده‌های ایستگاه‌های

هواشناسی همدیدی استان ایلام، داده‌ها و محصولات ماهواره‌ای و برون‌داد مدل عددی گردوخاک GOCART استفاده شده است. همچنین بررسی عوامل مؤثر بر فعال‌سازی این چشمه‌های گردوخاک و چگونگی انتقال ذرات گردوخاک از محل این چشمه‌ها به مناطق اطراف نیز از جمله اهداف جانبی این مطالعه است. در نهایت پس از شناسایی چشمه‌های گردوخاک واقع در استان، یک مورد مطالعاتی که در آن این چشمه‌ها نیز فعال بوده‌اند، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

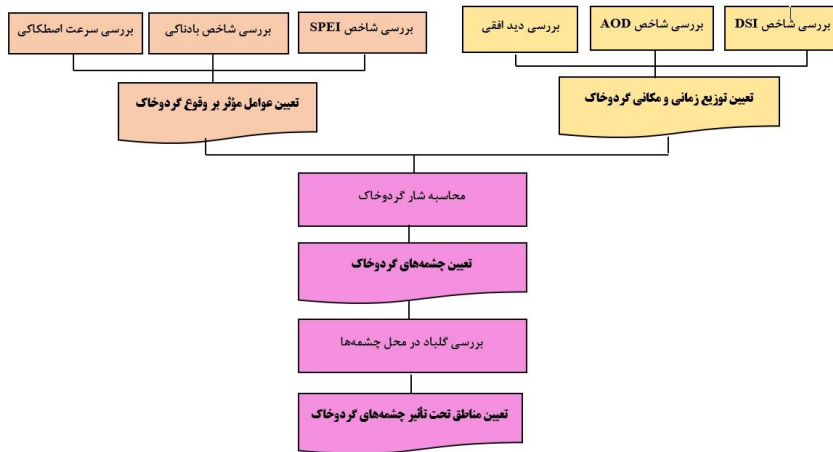
روش پژوهش

در این مقاله نخست به منظور مطالعه فراوانی و شدت پدیده گردوخاک، شاخص توفان گردوخاک (DSI) برای ایستگاه‌های سرآبله، مهران، لومار، ایلام، دهلران و دره‌شهر واقع در استان ایلام (شکل ۱) در بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۸۱ مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی توزیع مکانی و زمانی گردوخاک در منطقه، عمق نوری هواویزها به صورت میانگین ماهانه و فصلی محاسبه و تحلیل شده است. علاوه بر آن تعداد روزهای همراه با رخداد‌های گردوخاک که منجر به کاهش دید افقی شده بر اساس طبقه‌بندی ایکائو^۲ و ضمیمه ۳ دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی^۳ در دودسته دید افقی بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر و بیشتر از ۵۰۰۰ متر به صورت فصلی بررسی شده است. با توجه به اینکه سرعت باد و خشک‌سالی دو عامل مؤثر بر رخداد گردوخاک هستند؛ شاخص بادناکی نیز با توجه به مقادیر و بیشینه و کمینه تندی باد و نیاز مطالعه حاضر، در ۱۰ کلاس سرعت ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۰-۲۵، ۲۵-۳۰، ۳۰-۳۵، ۳۵-۴۰، ۴۰-۴۵، ۴۵-۵۰ متر بر ثانیه، تهیه و نتایج آن ارائه شده است. در ادامه شاخص خشک‌سالی SPEI به صورت سالانه تحلیل شده است. از آنجاکه سرعت اصطکاکی کمیتی مهم در میزان گسیل گردوخاک از سطح بوده و اثر ناهم‌واری و سرعت باد را ترکیب می‌کند، میانگین سرعت اصطکاکی در سطح استان ایلام نیز بررسی شده است. در گام بعدی شار قائم گردوخاک به تفکیک ماهانه، فصلی و سالانه مورد ارزیابی قرار گرفت و با استفاده از آن، موقعیت چشمه‌های فعال شناسایی و معرفی شد. همچنین با بررسی گلباد در محل چشمه‌های شناسایی شده، مناطق تحت تأثیر این چشمه‌ها مشخص شدند. به منظور بررسی دقیق‌تر چشمه‌های گردوخاک تعیین شده، رخداد گردوخاک روزهای ۲۴ و ۲۵ اسفند سال ۱۳۹۰ که در آن این چشمه‌ها نیز فعالیت داشته‌اند، بررسی و تحلیل شد. در مورد مطالعاتی، میزان دید افقی در ایستگاه‌های استان ایلام و تصویر ماهواره‌ای ارائه شده است. همچنین به منظور شناسایی الگوهای جوی حاکم بر منطقه در زمان رخداد این پدیده گردوخاک تحلیل همدیدی انجام شده و در نهایت برای تعیین مسیر انتقال ذرات گردوخاک در جو مدل HYSPLIT به صورت ماتریسی و به دو روش پیش رو و پس‌رو اجرا شده است. شکل ۱ نمودار فرآیندی مراحل انجام کار را نشان می‌دهد.

1 . Dust Storm Index

2 . ICAO: International Civil Aviation Organization

3 . Annex 3 WMO



شکل ۱. نمودار فرایندی مراحل انجام کار

شاخص توفان گردوخاک

معادله DSI از دهه ۹۰ میلادی برای تعیین شدت و فرکانس توفان گردوخاک به کار گرفته شده است. شاخص DSI روشی مناسب برای پایش فرسایش بادی در مقیاس وسیع با استفاده از سوابق هواشناسی است. این شاخص ترکیبی از سه نمایه روزهای توفانی با گردوخاک محلی (LDE) (کدهای ۰۷ تا ۰۹)، روزهای توفانی با گردوخاک متوسط (MDS) (کدهای ۳۰ تا ۳۲ و کد ۹۸) و روزهای توفانی با گردوخاک شدید (SDS) (کدهای ۳۳ تا ۳۵) است که برمبنای تعداد دفعات ثبت کدهای پدیده گردوخاک در ایستگاه‌های همدیدی محاسبه می‌شوند. درنهایت برای محاسبه شاخص DSI از معادله ذیل استفاده شد:

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

که در آن شاخص DSI توفان گردوخاک در n ایستگاه همدیدی منتخب است که در آن‌ها رویداد گردوخاک در یک بازه زمانی مشخص ضبط و مشاهده شده است. مدت‌زمان موردنظر یک دوره نرمال، یک سال است اما می‌تواند چند ماه در یک سال هم باشد. در جدول ۱ کدهای وضع هوای دیدبانی شده مرتبط با گردوخاک که به صورت ساعتی ثبت شده‌اند مطابق با دستورالعمل‌های WMO ارائه شده است. بر اساس این کدها در یک بازه زمانی ۱۵ ساله شاخص توفان گردوخاک تعیین و درنهایت نسبت به ارائه الگوی تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه گردوخاک موجود در جو و طبقه‌بندی آن‌ها در سطح استان در طی این دوره زمانی اقدام گردیده است.

جدول ۱. کدهای سازمان جهانی هواشناسی مرتبط با فرسایش بادی و پدیده‌های توفان‌های گردوخاک.

کد	توضیحات
۰۶	مه ناشی از گردوخاک
۰۷	غبار یا شن برخاسته از زمین
۰۸	توفان گردوخاک
۰۹	توفان گردوخاک اتفاق افتاده در گذشته (اتفاق افتاده در یک ساعت قبل از مشاهده یا در ایستگاه)
۳۰	گردوخاک خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۱	گردوخاک پایدار یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۲	شروع یا افزایش گردوخاک خفیف یا متوسط شن و ماسه همراه با کاهش میدان دید کمتر از ۱۰۰۰ متر اما بیشتر از ۲۰۰ متر
۳۳	توفان گردوخاک شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر

- 1 . Local Dust Events
- 2 . Moderate Dust Storms
- 3 . Severe Dust Storms

توفان گردوخاک پایدار شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر	۳۴
شروع یا افزایش توفان گردوخاک شدید همراه با کاهش دید کمتر از ۲۰۰ متر	۳۵
رعدوبرق با گردوخاک و یا توفان شن و ماسه	۹۸

شاخص بادناکی

یکی از مهم‌ترین فرآیندهای طبیعی در مناطق نیمه‌خشک، خشک و فراخشک، فرسایش بادی است.

$$\text{شاخص بادناکی} = \text{سرعت باد} \times \text{درصد فراوانی کلاس‌های سرعت} \quad (۲)$$

در محاسبه شاخص بادناکی، سرعت و فراوانی باد هم‌زمان در نظر گرفته می‌شوند؛ بنابراین هر چه این شاخص در هر یک از کلاس‌های سرعت باد بیشتر باشد، قدرت فرسایش بادی بیشتر است. شاخص بادناکی می‌تواند در کلاس‌های مختلف سرعت مانند سرعت ۵-، ۱۰-، ۱۵-، ۲۰-، ۲۵- متر بر ثانیه تهیه شود.

شاخص SPEI

شاخص SPEI شاخص چند کمیتی است که در مقیاس‌های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل بر اساس رویکرد تورنتوایت استفاده می‌نماید. شاخص SPEI می‌تواند در مقیاس‌های زمانی ماهانه مانند ۱، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماه محاسبه شود. این شاخص می‌تواند برای پایش دوره‌های خشک و مرطوب مورد استفاده قرار گیرد. خشک‌سالی هنگامی شروع می‌شود که مقادیر شاخص به منفی یک برسد و با مثبت شدن آن خاتمه می‌یابد (نصرتی، ۱۳۹۳). نحوه محاسبه شاخص همانند شاخص SPI است اما در شاخص SPEI مقادیر اختلاف بین تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) و بارش مدنظر است (ویسنت-سرانو و همکاران، ۲۰۱۰).

$$D_i = P_i - PET_i \quad (۳)$$

$$PET = 16K \left(\frac{10T}{I} \right)^M \quad (۴)$$

$$i = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}, K = m = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \left(\frac{N}{12} \right) \left(\frac{NDM}{30} \right)$$

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

جدول ۲. طبقات مختلف وضعیت رطوبتی بر اساس شاخص SPEI (نصرتی، ۱۳۹۳)

خشک‌سالی	ترسالی	ترسالی	ترسالی متوسط	نرمال	خشک‌سالی متوسط	خشک‌سالی شدید	خشک‌سالی بسیار شدید
مقدار شاخص ۲ یا بیشتر	-۱/۹۹	-۱/۴۹	-۰/۹۹	-۰/۹۹	-۱	-۱/۵۰	بسیار شدید
۱/۵۰	-۱/۴۹	-۰/۹۹	-۱/۴۹	-۱	-۱/۵۰	-۲ یا کمتر	

بررسی‌ها نشان داده که شاخص SPEI به دلیل استفاده از کمیت‌های بیشتر و مؤثرتر در برآورد شدت خشک‌سالی نتیجه بهتری را در بر دارد (ریچارد و هیلم، ۲۰۰۲؛ ویسنت سرانو و همکاران، ۲۰۱۰؛ حسینی پژوه و همکاران، ۲۰۱۹) و بنابراین در این مقاله از این شاخص جهت مطالعه خشک‌سالی استفاده گردیده است.

ا) سرعت اصطکاکی

برای ایجاد پدیده گردوخاک، جو باید تلاطمی و ناپایدار باشد. سرعت اصطکاکی کمیتی است که چینی 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 بزرگ‌تر از آن نشان‌دهنده آغاز گسیل گردو خاک است. استفاده از سرعت باد برای محاسبه شار گردو خاک را نخستین بار جیلت (۱۹۷۸) بیان کرد. لیو و وستفال (۲۰۰۱) آزمایش حساسیت مدل‌های گسیل گردو خاک را با محاسبه شار هم با استفاده از سرعت باد و هم با استفاده از سرعت اصطکاکی انجام دادند و نتیجه گرفتند که استفاده از سرعت اصطکاکی به مشاهدات نزدیک‌تر است. مقدار سرعت اصطکاکی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$u^* = \frac{KU}{\ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)} \quad (۸)$$

که در آن u^* سرعت اصطکاکی، $K \sim 0.4$ ثابت فون-کارمن، U سرعت باد میانگین در ارتفاع Z برابر با 10 متر و Z_0 طول ناهمواری است. Z_0 مقدار اصلاح‌شده برای محاسبه اثر ناهمواری سطح بر جریان باد است (بین یک‌دهم تا یک‌سی‌ام 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 نشان‌دهنده مناطق کوهستانی با شیب بیشتر از 30% است (پریگنت و همکاران، ۲۰۰۵).

شار قائم گردو خاک

زندر و همکاران (۲۰۰۳) طرح‌واره‌های گسیل گردو خاک را از نظر پیچیدگی به سه دسته طرح‌واره‌های ساده، متوسط و سخت تقسیم کردند. در مدل‌های ساده، میزان شار برابر با توانی از سرعت باد یا سرعت اصطکاکی است که رابطه آن را به صورت زیر می‌توان بیان کرد: (شائو و همکاران، ۲۰۰۶).

$$F = \alpha_H (u_*^n - u_{*t}^n) \quad (۵)$$

که در آن u^* سرعت اصطکاکی، n توان با مقداری بین 3 تا 5 ، u_{*t} سرعت اصطکاکی آستانه α_H ضریبی تجربی است. در طرح‌واره‌های متوسط مانند زندر و همکاران (۲۰۰۳) اطلاعات فیزیکی فرسایش باد ساده‌شده با داده‌های مشاهداتی ماهواره‌ها از میزان گسیل ترکیب شده است. طرح‌واره‌های سخت یا پیچیده، طرح‌واره‌های گسیل طیفی بر پایه فیزیک پیچیده فرسایش بادی هستند، از جمله شائو (۲۰۰۴).

در ادامه مقاله، با استفاده از مدل GOCART میزان گسیل گردو خاک از چشمه‌های مختلف استان ایلام با تعیین شار قائم گردو خاک به صورت ماهانه و سالانه تعیین می‌شود. داده‌های مورد نیاز در این بخش، درصد پوشش گیاهی، بافت خاک (۱۲ نوع متداول)، رطوبت خاک، سرعت اصطکاکی و سرعت باد در ارتفاع 10 متری است که از داده‌های زمینی با مقیاس $1:250000$ و داده‌های جوی با تفکیک افقی 5 کیلومتر بر روی یک شبکه محاسباتی که در مراحل قبل آماده‌سازی شده است، به دست می‌آید. مدل GOCART، چشمه‌های بالقوه گردو خاک را بر پایه کسر فرسایش‌پذیر در نظر می‌گیرد. شار قائم گردو خاک از سطح به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$F_P = C_G S_{Sp} U_{10}^2 (U_{10} - U_T^*), U_{10} > U_T^* \quad (۶)$$

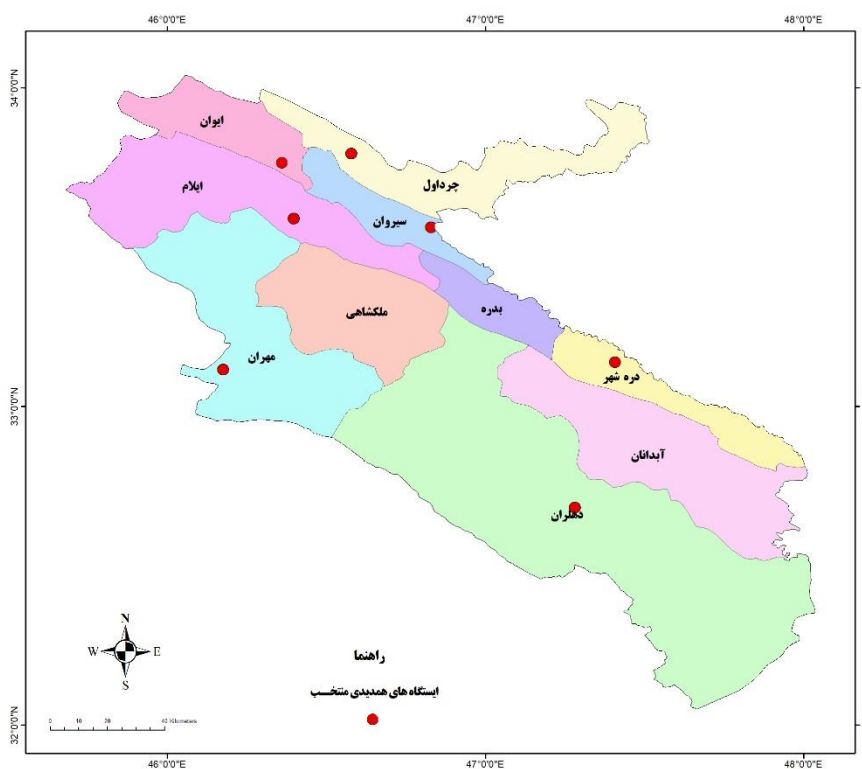
که در آن: C ثابتی تجربی است و برابر $1.9 \frac{\mu g s^2}{m^5}$ در نظر گرفته شده، u_{10} سرعت باد تراز 10 متری، u_T^* سرعت آستانه برای فرسایش بادی ذره به اندازه p است که در سرعت‌های پایین‌تر از آن هیچ گسلی صورت نمی‌گیرد. S_p کسر هر دسته گردو خاک است که برای کوچک‌ترین اندازه ذرات برابر 0.1 و برای سایر اندازه‌ها برابر 0.25 در نظر گرفته می‌شود. S تابع فرسایش‌پذیری است که با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$S = \left(\frac{Z_{\max} - Z_i}{Z_{\max} - Z_{\min}} \right)^5 \quad (7)$$

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.

داده‌ها

در این مقاله از داده‌های دیدبانی ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی استان ایلام در دوره زمانی ۱۵ ساله (۱۳۹۶-۱۳۸۱) استفاده شده است. به منظور تعیین فراوانی و شدت وقوع پدیده گردوخاک در سطح استان ایلام داده‌های دید افقی و کد پدیده بکار رفته است. از آنجاکه باد و بارش دو عامل مهم در وقوع رخداد گردوخاک هستند، این دو کمیت نیز در ایستگاه‌های همدیدی استان ایلام برای محاسبه دو شاخص خشک‌سالی و بادناکی مورد استفاده قرار گرفتند. کلیه داده‌های ایستگاهی با روش IDW پهنه‌بندی شده و برای ترسیم نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. توزیع مکانی ایستگاه‌های همدیدی استان ایلام در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. توزیع مکانی ایستگاه‌های همدیدی استان ایلام

داده ماهواره‌ای ضخامت نوری هواویزها^۱ (AOD) در طول موج ۵۵۰ نانومتر سنجنده MODIS^۲ 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) باهدف بررسی توزیع مکانی و تغییرات ماهانه و فصلی مقادیر عمق نوری هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر در منطقه مورد مطالعه بکار رفته است.

برای محاسبه مقادیر میانگین ماهانه شار قائم گردوخاک، نخست داده‌های آماری مورد نیاز شامل بافت خاک، رطوبت

1 . Aerosol Optical Depth

2 . Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

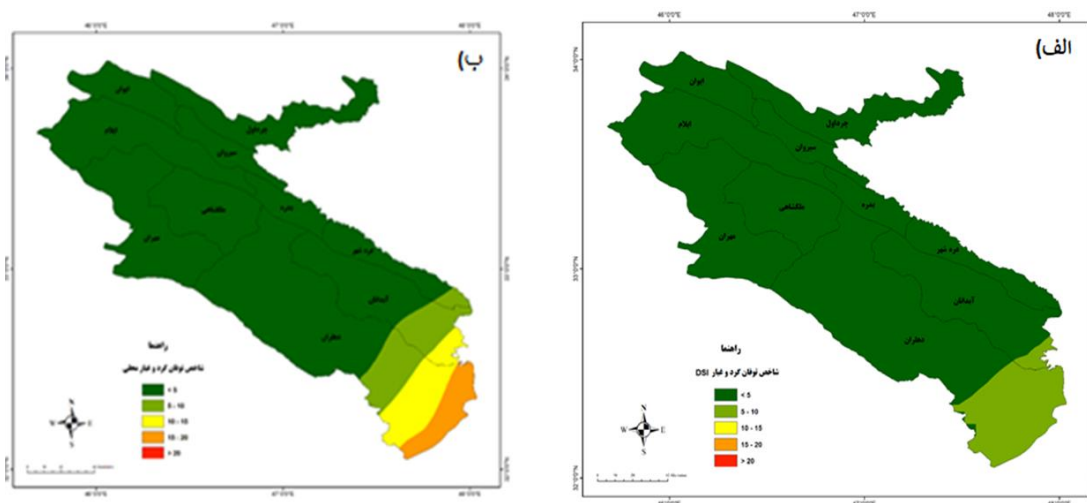
خاک، درصد پوشش گیاهی و فرسایش‌پذیری سرزمین که در مدل WRF-Chem مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بر روی یک شبکه محاسباتی با تفکیک افقی ۵km استخراج شده است. داده‌های سرعت باد تراز ۱۰ متری و رطوبت خاک در ساعت ۱۲:۰۰ UTC هرروز نیز از مقیاس گاهی دینامیکی داده‌های ERA-INTERIM با مدل WRF به دست آمده است. با استفاده از این کمیت‌ها نخست مقادیر شار روزانه، محاسبه و با میانگین‌گیری از این مقادیر برای هرماه، مقادیر میانگین ماهانه برای هر سال به دست می‌آید.

برای تعیین مناطق تحت تأثیر چشمه‌های گردو خاک شناسایی شده، گلباد این مناطق ترسیم شده است. از آنجاکه در این مناطق ایستگاه هواشناسی وجود ندارد، برای رسم گلباد از داده‌های باد تراز ۱۰ متری باز تحلیل شده مقیاس گاهی شده، استفاده شده است.

در بخش مطالعه موردی داده‌های دید افقی ایستگاه‌های همدیدی استان ایلام که کد پدیده مرتبط با گردو خاک گزارش کرده‌اند و تصاویر RGB ماهواره MSG استفاده شده است. در تحلیل همدیدی، کمیت‌های میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیلی، دما و سرعت باد در تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال از داده‌های باز تحلیل شده ERA5 بکار رفته است. برای داده‌های جوی مورد نیاز در اجرای مدل HYSPLIT، از داده‌های تحلیل GDAS با تفکیک افقی نیم درجه استفاده شده است.

بحث و یافته‌ها

میانگین شاخص توفان گردو خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. بیشترین مقادیر شاخص در مناطق جنوبی استان ایلام مشاهده می‌شود. از آنجاکه در این مقاله، هدف شناسایی چشمه‌های گردو خاک است، شاخص توفان گردو خاک محلی نیز در شکل ۳ ب مشاهده می‌شود. الگوی مقادیر شاخص محلی نیز مشابه شاخص DSI (شکل ۳ الف) بوده، ولی مقادیر آن به صورت قابل توجهی بیشتر از DSI است.



شکل ۳. الف) شاخص DSI (ب) شاخص LDE در ایستگاه‌های همدیدی استان ایلام برای دوره مطالعاتی ۱۳۸۱-۱۳۹۶

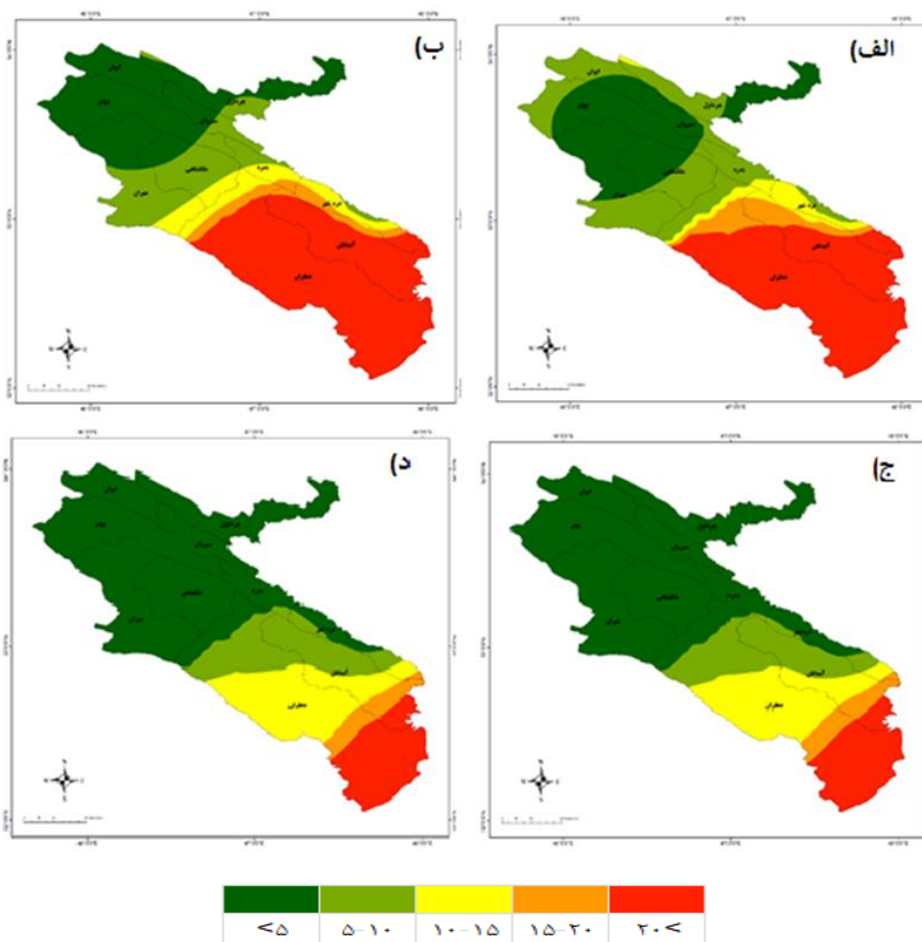
میانگین بلندمدت شاخص DSI برای ایستگاه‌های مختلف استان ایلام در دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۹۶ به تفکیک محاسبه شده و در نمودار شکل ۴ ارائه شده است. بیشترین مقادیر DSI مربوط به شهر دهلران بوده که در جنوب استان واقع شده است. ایستگاه هواشناسی دهلران از یک طرف در نزدیکی عراق و استان خوزستان قرار دارد و از طرف دیگر تحت

تأثیر چشمه‌های گردوخاک داخلی استان ایلام در نیمه جنوبی این استان واقع شده است.



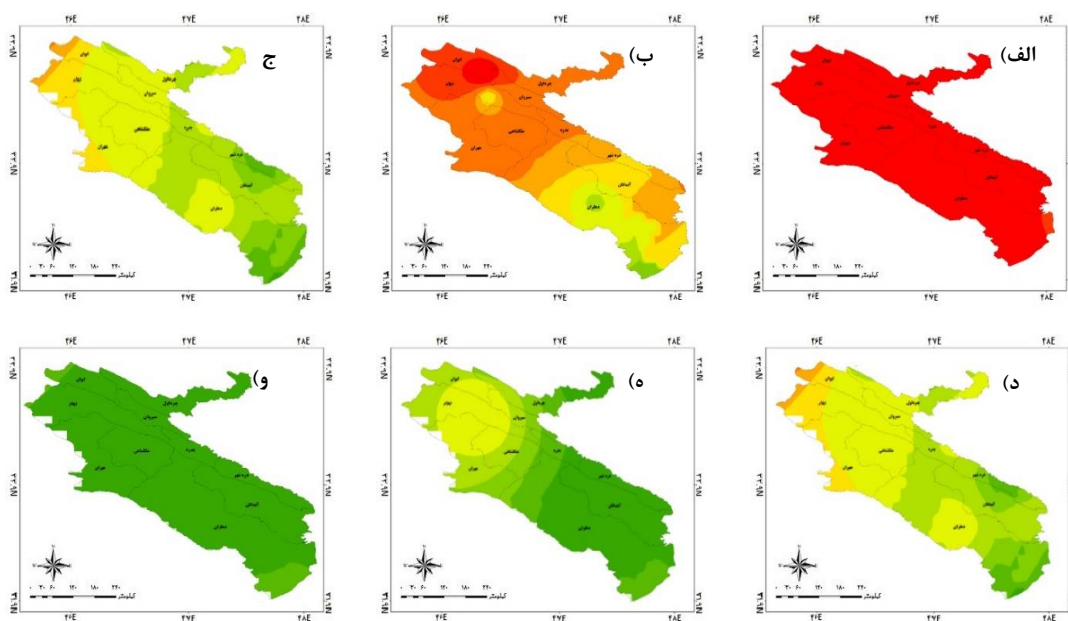
شکل ۴. میانگین شاخص DSI در طول دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی) در استان ایلام

علاوه بر بررسی تغییرات مکانی شاخص‌های گردوخاک، به منظور بررسی زمانی این کمیت‌ها، میانگین فصلی شاخص LDE نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است بیشترین مقادیر مربوط به فصل تابستان و سپس بهار است. در نواحی جنوبی شهرستان دهلران در تمام فصول مقادیر LDE زیاد است. در فصل بهار در نواحی شمالی استان در شهرستان‌های چرداول و ایوان نیز افزایش شاخص توفان گردوخاک محلی مشاهده می‌شود.



شکل ۵. میانگین فصلی شاخص LDE در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی) برای (الف) بهار، (ب) تابستان، (ج) پاییز، (د) زمستان.

میزان شاخص بادناکی در نقاط مختلف استان ایلام برای کلاس باد ۵-۱۰ متر بر ثانیه (شکل ۶-الف) دارای مقدار ۱۴۰-۲۲۰ است. این در حالی است که برای کلاس‌های باد ۲۵-۳۰ (شکل ۶-ه) و ۳۵-۳۰ (شکل ۶-و)، متر بر ثانیه میزان شاخص بادناکی دارای مقدار ۵-۱۰ است. الگوی شاخص بادناکی در کلاس باد ۱۰-۱۵ (شکل ۶-ب) و ۲۰-۱۵ متر بر ثانیه (شکل ۶-ج) در نواحی نیمه شمالی و جنوب شرق استان متمایز از سایر نقاط استان است. شایان ذکر است الگوی شاخص بادناکی در کلاس باد ۲۰-۲۵ (شکل ۶-د) در نیمه غربی استان متمایز از سایر نقاط استان است. شاخص بادناکی استان ایلام برای کلاس باد ۳۰-۳۵ متر بر ثانیه، کلاس باد ۳۵-۴۰ متر بر ثانیه و شاخص بادناکی استان ایلام برای کلاس باد ۴۰-۴۵ متر بر ثانیه و ۴۵-۵۰ متر بر ثانیه دارای الگوی مشابه شاخص بادناکی ۳۰-۲۵ متر بر ثانیه (شکل ۶-ه) است.

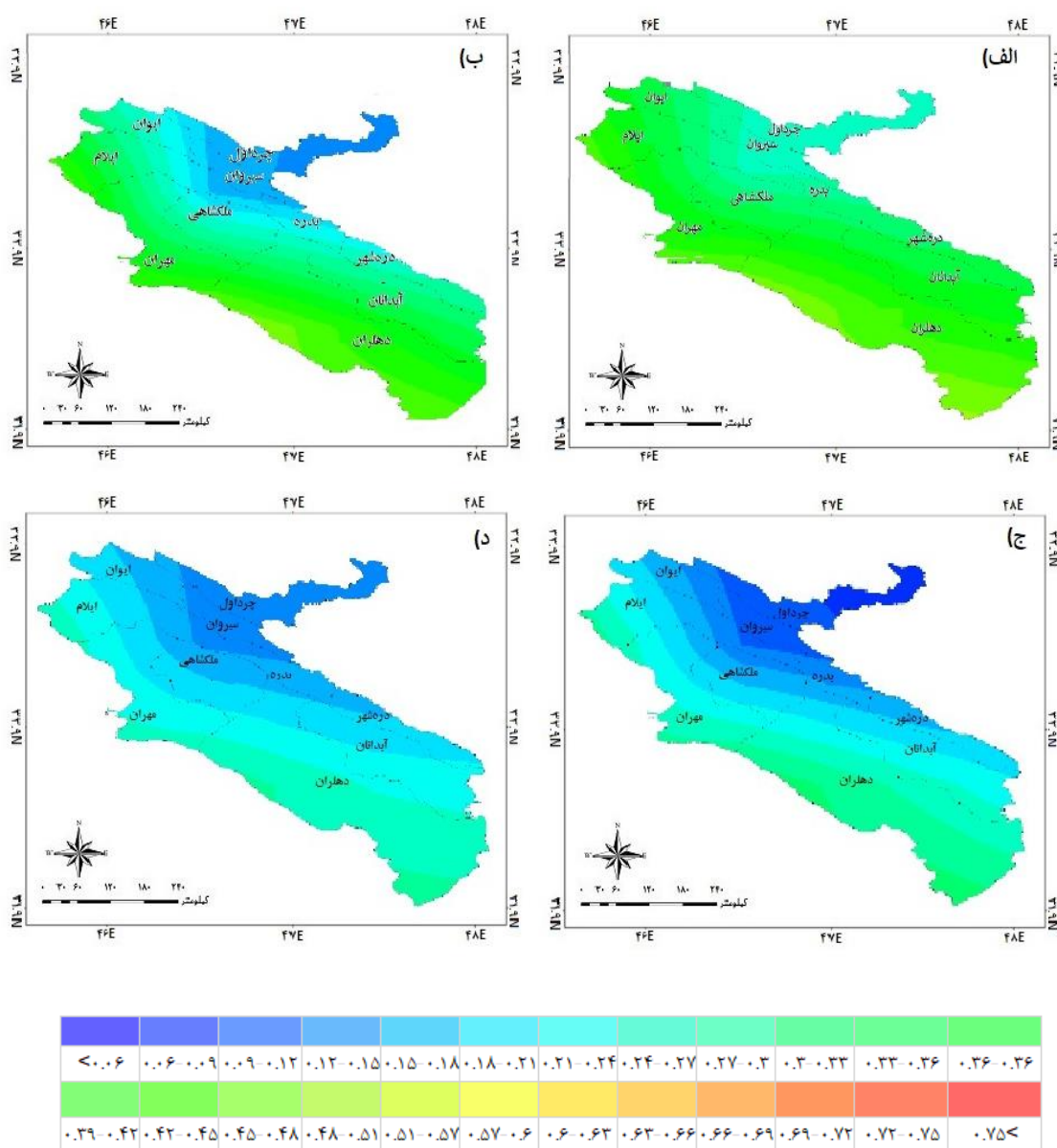


۲۲۰-۲۲۰	۱۴۰-۲۲۰	۸۰-۱۴۰	۵۰-۸۰	۳۰-۵۰	۲۰-۳۰	۱۵-۲۰
۱۰-۱۵	۵-۱۰					

شکل ۶. میانگین شاخص بادناکی استان ایلام برای کلاس باد (الف) ۵-۱۰، (ب) ۱۰-۱۵، (ج) ۱۵-۲۰، (د) ۲۰-۲۵، (ه) ۲۵-۳۰ و (و) ۳۰-۳۵ متر بر ثانیه در دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۶

استان ایلام علاوه بر چشمه‌های محلی گردو خاک، تحت تأثیر چشمه‌های خارج از استان نیز واقع می‌شود. وزش بادهای جنوب شرقی بر فراز خلیج فارس ناشی از جبهه در مناطق جنوب غرب کشور، شرایط را برای فعال‌سازی چشمه‌های موجود در جنوب شرق خوزستان فراهم می‌کند (مه‌ریزی و همکاران، ۲۰۲۲؛ کرمی و همکاران، ۲۰۱۹؛ خوشحال دستجردی و همکاران، ۱۳۹۰؛ بحیرایی، ۱۳۹۰) که این موضوع می‌تواند افزایش مقادیر عمق نوری هواویزها را برای استان ایلام در پی داشته باشد. در ماه‌های سرد که فعالیت جبهه‌های جوی همراه با افزایش تندی باد سبب فعال شدن چشمه‌های گردو خاک می‌شود؛ بنابراین با توجه به الگوی میانگین شاخص فصلی LDE، بیشینه مقادیر ضخامت نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر به‌ویژه در مناطق جنوب غرب و غرب استان ایلام مشاهده می‌شود (شکل ۷). به تدریج و با نزدیک شدن به فصل گرم سال و در سطح استان ایلام الگوی شکل‌گیری گردو خاک با وزش بادهای شمالی، شمال غربی و کانالیزه شدن میدان باد ناشی از واداشت زمین‌شناختی به‌ویژه در منطقه بین‌النهرین تقویت

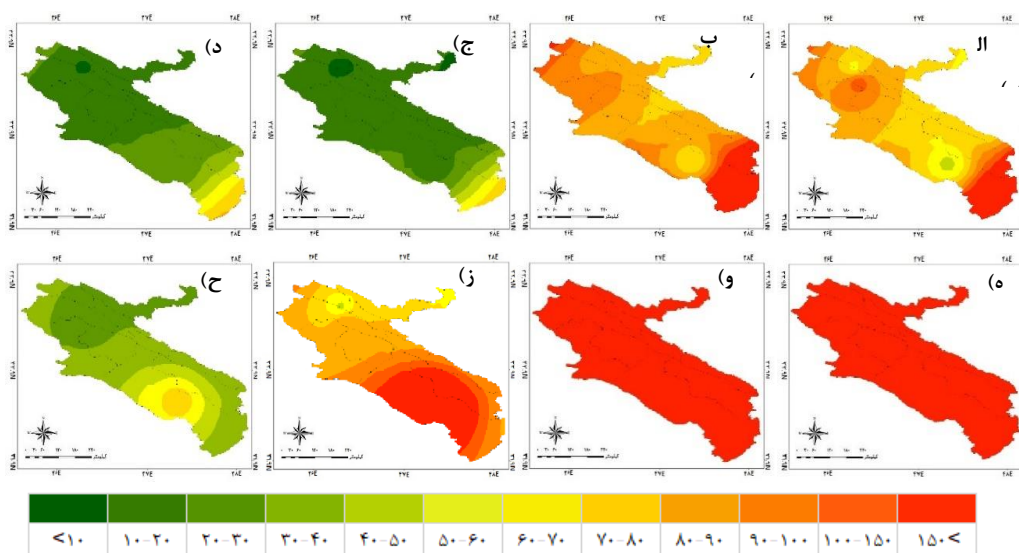
می‌شود. شایان ذکر است علاوه بر فعال شدن چشمه‌های محلی گردوخاک، الگوی وزش بادهای شمال تابستانه حاکم بر نواحی شرق سوریه، عراق و بیابان ربع الخالی عربستان منجر به افزایش تدریجی مقادیر عمق نوری هواویزها به‌ویژه در مناطق غرب و جنوب غرب کشور و در پی آن استان ایلام می‌شود.



شکل ۷. میانگین فصلی ضخامت نوری هواویزها در محدوده ۵۵۰ نانومتر ۱۳۹۶-۱۳۸۱ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی) برای الف) بهار، ب) تابستان، ج) پاییز، و د) زمستان

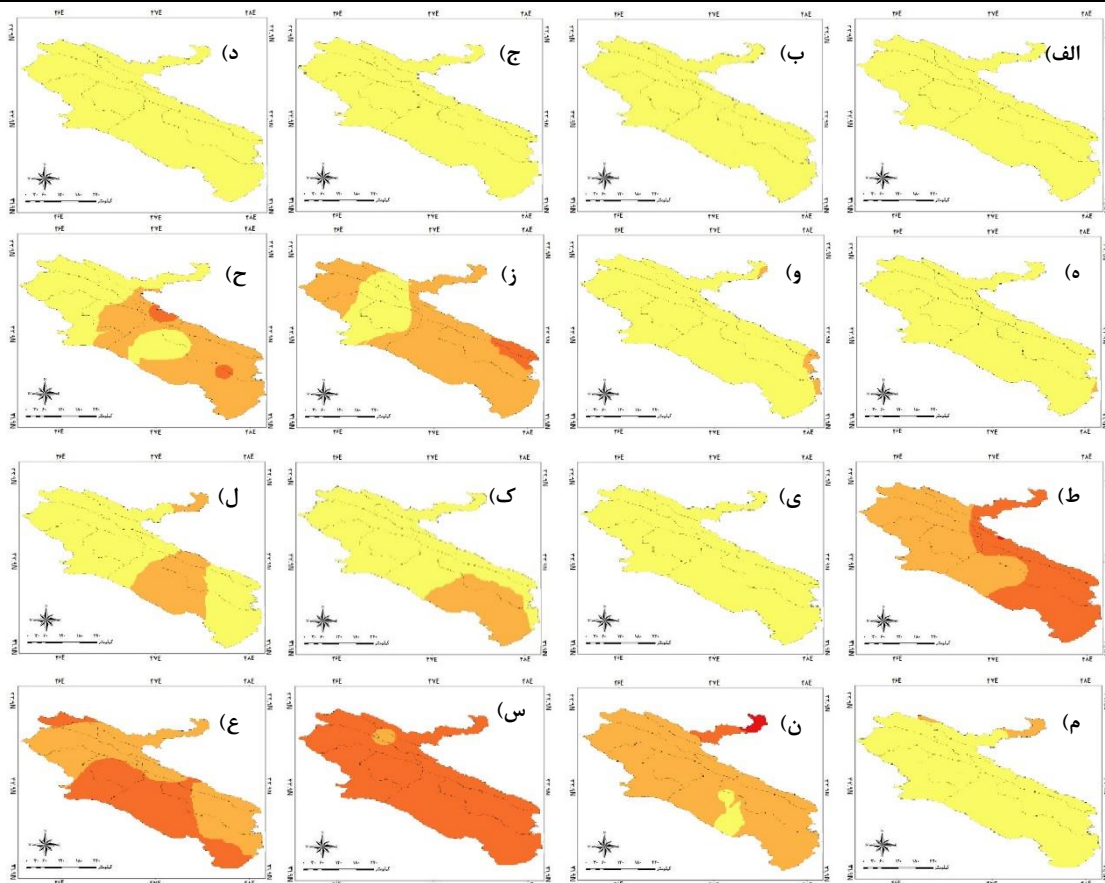
بر اساس شکل ۸ گزارش تعداد روزهای گردوخاک به همراه کاهش دید بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر طی بهار ۱۳۸۱-۱۳۹۶ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی) در نیمه جنوبی استان ایلام به بیش از ۱۵۰ روز در سال می‌رسد. همان‌گونه که در شکل ب مشخص است، تعداد روزهای گردوخاکی با کاهش دید بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر به‌صورت همگن و در سراسر استان به بیش از ۱۵۰ روز می‌رسد. الگوی مشابه فصل بهار و البته با شدت بیشتر به‌ویژه در نواحی شمال غرب و جنوب شرق، بر تعداد روزهای گردوخاکی با کاهش دید بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر، حاکم است؛ به‌طوری‌که در مقایسه با فصل بهار، مناطق بیشتری از سطح استان گزارش تعداد روزهای بیش از ۱۵۰ روز با کاهش دید بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر را دارند.

این در حالی است که تعداد روزهای گردوخاکی با کاهش دید بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر در سراسر استان به بیش از ۱۵۰ روز می‌رسد. در فصل پاییز تعداد روزهای گردوخاکی با دید بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر در نواحی جنوبی استان بین ۵۰ تا ۸۰ روز متغیر است؛ هرچند الگوی توزیع آن مشابه فصل بهار و محدود به بخش‌هایی از جنوب استان و با شدت کمتر نواحی شمال شرق استان می‌شود. شایان‌ذکر است در فصل پاییز تعداد روزهای گردوخاک، همراه با توفان ماسه و یا گردوخاک معلق در هوا که منجر به کاهش دید بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر گشته‌اند، در نواحی یادشده و در مقایسه با محدوده دید افقی ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر افزایش می‌یابد، به‌گونه‌ای که در نواحی جنوب غرب استان به بیش از ۱۵۰ روز نیز می‌رسد. روند کاهش دید افقی ناشی از پدیده‌های مرتبط با گردوخاک در فصل زمستان از رژیم دیده‌شده در فصل پاییز، اما با شدت کمتری تبعیت می‌کند. بدین‌صورت که تعداد روزهای دارای کاهش دید بین ۱۵۰۰ متر تا ۵۰۰۰ متر و با فراوانی بیش از ۵۰ تا ۸۰ روز محدود به مناطق کمتری در مقایسه با سایر فصول در نواحی جنوبی استان می‌شود. شایان‌ذکر است که مناطق وسیع‌تری از جنوب استان با فراوانی تعداد روزهای گردوخاکی منجر به کاهش دید بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر در مقایسه با کاهش دید بین ۱۵۰۰ متر تا ۵۰۰۰ درگیر هستند.



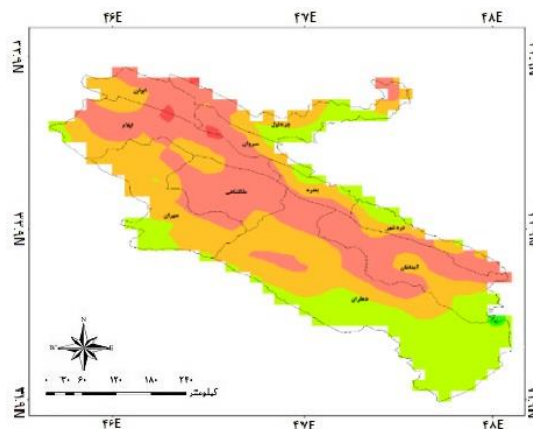
شکل ۸. تعداد روزهای گزارش‌شده پدیده گردوخاک، همراه با توفان ماسه و یا گردوخاک معلق در هوا در سطح استان ایلام با دید افقی بین ۱۵۰۰ و ۵۰۰۰ متر برای الف) بهار، ب) تابستان، ج) پاییز، د) زمستان و ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر برای ه) بهار، و) تابستان، ز) پاییز و ح) زمستان ۱۳۹۶-۱۳۸۱ (۲۰۱۷-۲۰۰۲ میلادی).

بر اساس شاخص SPEI در سال‌های ۱۳۸۱ الی ۱۳۸۶ شرایط خشک‌سالی در کل استان ایلام در شرایط نرمال است (شکل ۹). در سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹، تقریباً تمام نواحی استان دارای شرایط خشک‌سالی متوسط تا شدید بوده‌اند. در سال ۱۳۹۰ شرایط نرمال مشاهده شد اما در سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ شرایط خشک‌سالی ملایم در نیمه جنوبی استان حکم‌فرما بوده است. 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 ایلام نشان می‌دهد.



شکل ۹. شاخص SPEI برای سال‌های (الف) ۱۳۸۱، (ب) ۱۳۸۲، (ج) ۱۳۸۳، (د) ۱۳۸۴، (ه) ۱۳۸۵، (و) ۱۳۸۶، (ز) ۱۳۸۷، (ح) ۱۳۸۸، (ط) ۱۳۸۹، (ی) ۱۳۹۰، (ک) ۱۳۹۱، (ل) ۱۳۹۲، (م) ۱۳۹۳، (ن) ۱۳۹۴، (س) ۱۳۹۵ و (ع) ۱۳۹۶.

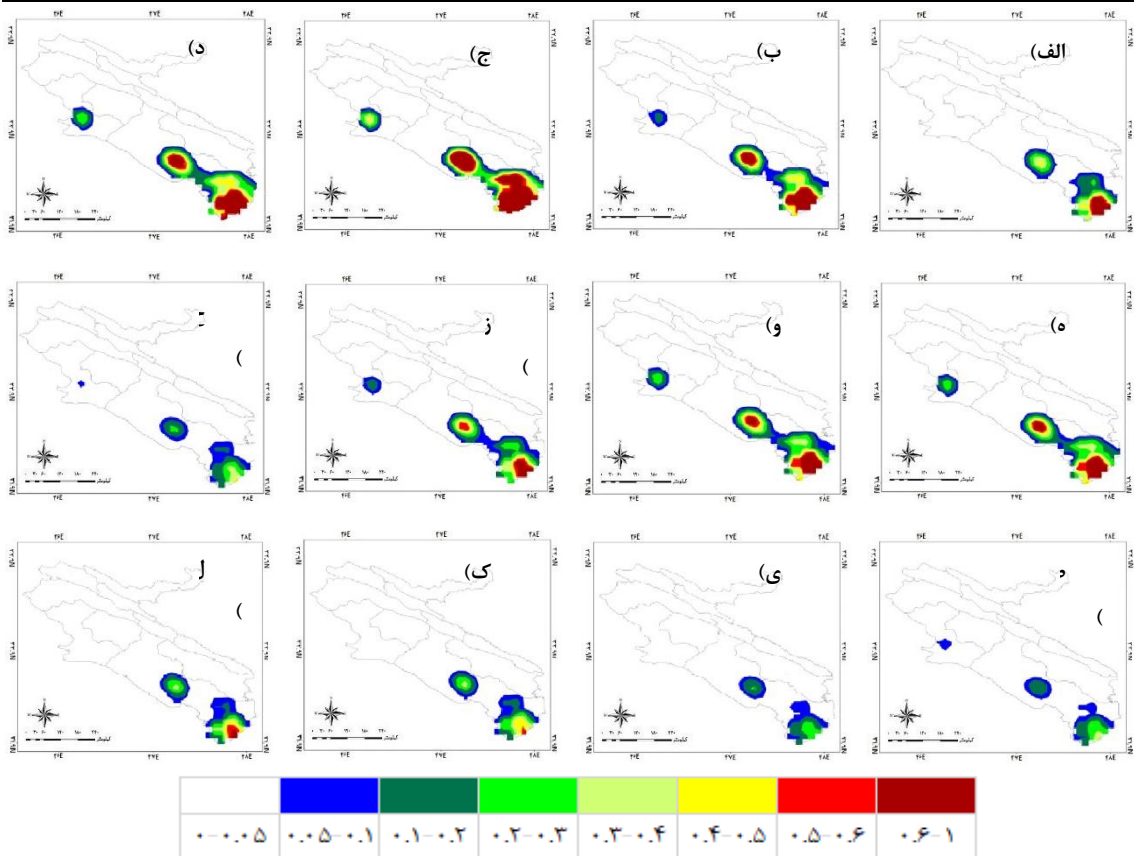
مقادیر میانگین سرعت اصطکاکی در سطح استان ایلام در دوره مطالعاتی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۴ در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در محل رشته‌کوه‌های زاگرس بیشترین مقادیر سرعت اصطکاکی مشاهده می‌شود که ناشی از وجود ناهمواری زیاد به دلیل کوهستانی بودن منطقه است. کمترین میزان سرعت اصطکاکی نیز در منطقه‌ای واقع در جنوب شهرستان دهلران، مرز استان‌های ایلام و خوزستان وجود دارد که به دلیل ارتفاع کمتر این منطقه است.



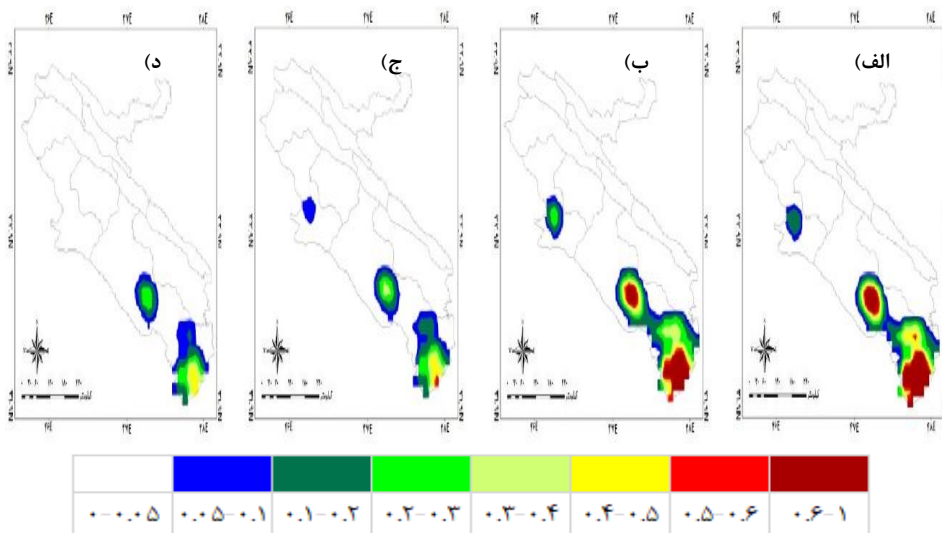
۰-۰.۱۵	۰.۱۵-۰.۲	۰.۲-۰.۲۵	۰.۲۵-۰.۳	۰.۳-۰.۳۵	۰.۳۵-۰.۴	۰.۴-۰.۴۵	۰.۴۵-۰.۵
--------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

شکل ۱۰. میانگین سرعت اصطکاکی (m/s) در دوره مطالعاتی سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۴.

شار قائم گردوخاک کشور خروجی مدل گسیل GOCART به صورت میانگین ماهانه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. میزان شار گردوخاک در ماه فروردین، نسبت به ماه اسفند هم در جنوب و هم در مرکز دهلران افزایش نشان می‌دهد. بر اساس میانگین شار گردوخاک در ماه اردیبهشت، میزان گسیل گردوخاک نسبت به ماه فروردین به شدت افزایش یافته و شار گردوخاک در بخش وسیع‌تری از جنوب شهرستان دهلران مشاهده می‌شود. در این ماه علاوه بر نیمه جنوبی دهلران از مرکز شهرستان مهران واقع در غرب استان ایلام نیز گردوخاک گسیل می‌شود. در ماه خرداد الگوی شار گردوخاک نسبت به ماه اردیبهشت تغییر قابل‌توجهی نشان نداده ولی مقادیر آن افزایش یافته است. در ماه تیر نسبت به ماه خرداد مقادیر شار در جنوب دهلران اندکی کاهش یافته ولی در مرکز شهرستان مهران افزایش یافته است. الگوی شار گردوخاک در ماه مرداد با ماه تیر تشابه زیادی دارد. با این وجود در جنوب شهرستان دهلران کاهش نسبی گسیل گردوخاک مشاهده می‌شود. مقادیر شار گردوخاک در ماه شهریور بسیار مشابه ماه مرداد است و تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود. در ماه مهر نسبت به شهریور، مقادیر گسیل گردوخاک در شهرستان مهران کاهش یافته است. در ماه آبان شار گردوخاک به شدت کاهش می‌یابد که این کاهش در شهرستان مهران بسیار قابل‌توجه است و فقط در منطقه بسیار کوچکی در مرکز این شهرستان مقادیر بسیار کم شار گردوخاک مشاهده می‌شود. در ماه آذر میزان گسیل گردوخاک در شهرستان دهلران کاهش یافته ولی در مهران اندکی افزایش نشان می‌دهد. در ماه دی مقادیر کوچک شار در مرکز و جنوب شهرستان دهلران واقع در جنوب استان ایلام مشاهده می‌شود. الگوی شار گردوخاک در ماه بهمن مشابه ماه دی است با این تفاوت که میزان گسیل گردوخاک در ماه بهمن نسبت به ماه دی افزایش نشان می‌دهد. در ماه اسفند مقادیر شار گردوخاک در جنوب شهرستان دهلران اندکی افزایش یافته است. میانگین فصلی شار قائم گردوخاک در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان شار قائم گردوخاک از شهرستان دهلران در فصل بهار و از شهرستان مهران در فصل تابستان مشاهده می‌شود. کمترین مقدار گسیل گردوخاک در فصل زمستان رخ داده است، به گونه‌ای که در این فصل گسیل گردوخاک از شهرستان مهران صورت نمی‌گیرد. طبق معادله ۶ که چگونگی محاسبه شار گردوخاک در مدل GOCART را نشان می‌دهد، میزان شار گردوخاک متناسب با توان بالایی سرعت باد و مقدار فرسایش‌پذیری خاک است، که خود تابعی از بافت خاک، پوشش گیاهی و رطوبت خاک است؛ بنابراین تغییر هر یک از این عوامل بر مقدار شار گردوخاک گسیل شده از سطح تأثیرگذار است که در این میان سرعت باد بیشترین سهم را دارد. دلیل تفاوت زمانی و مکانی مقدار شار گردوخاک، تغییر هر یک از این عوامل می‌تواند باشد. به طور کلی هدف از محاسبه شار گردوخاک بررسی تلفیقی این عوامل در تعیین مقدار گردوخاکی است که از واحد سطح در واحد زمان از سطح زمین بلند می‌شود.

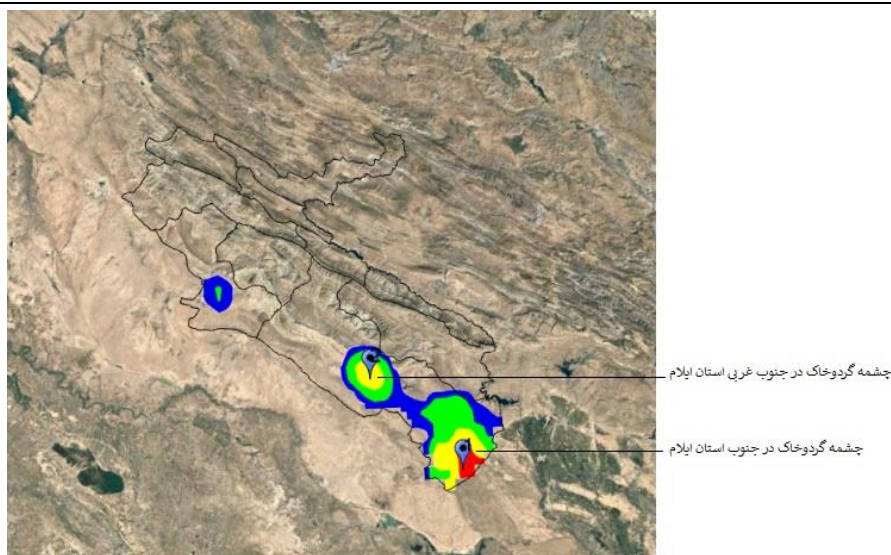


شکل ۱۱. میانگین ماهانه شار قائم گردوخاک ($\frac{\mu g}{m^2 s}$) برای (الف) فروردین، (ب) اردیبهشت، (ج) خرداد، (د) تیر، (ه) مرداد، و شهریور، (ز) مهر، (ح) آبان، (ط) آذر، (ی) دی، (ک) بهمن، (ل) اسفند سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴.



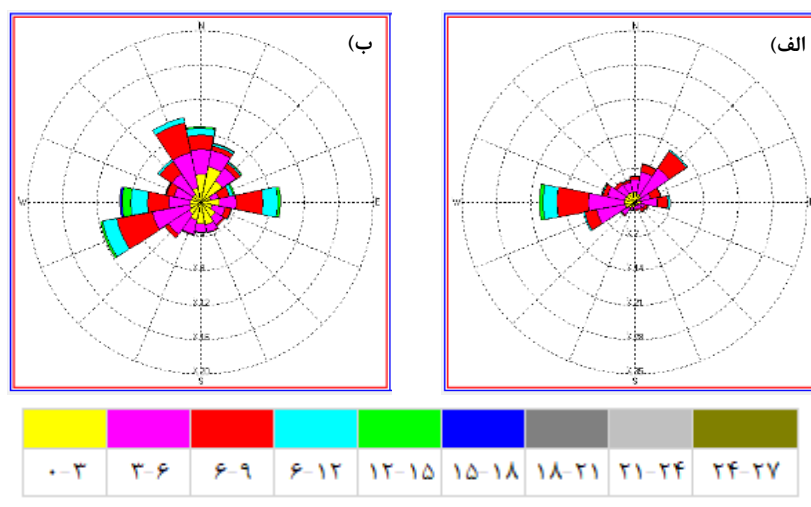
شکل ۱۲. میانگین شار قائم گردوخاک ($\frac{\mu g}{m^2 s}$) برای (الف) بهار، (ب) تابستان، (ج) پاییز و (د) زمستان سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴.

به‌منظور تعیین مناطق تحت تأثیر این چشمه‌های گردوخاک، تغییرات ماهانه سرعت و جهت باد در ارتفاع ۱۰ متری، در دونقطه واقع در مناطقی که مقدار شار گردوخاک بیشینه است، در جنوب و جنوب غربی استان، در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



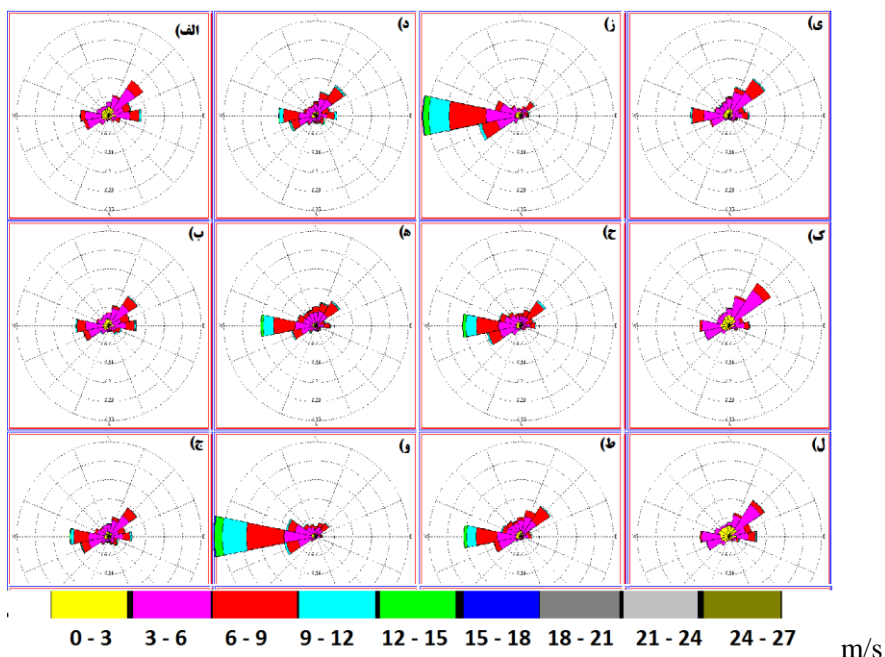
شکل ۱۳. موقعیت چشمه‌های گردوخاک در استان ایلام.

بررسی گلباد سالانه (شکل ۱۴) در ارتفاع ۱۰ متری در این نقاط نتیجه می‌دهد که در نقطه ۱ بادهای غالب، باد غربی، شمال شرقی و جنوب غربی هستند. در جنوب غربی استان ایلام باد جنوب غربی، شمال غربی، غربی، شمالی و شرقی بیشترین فراوانی را دارند.



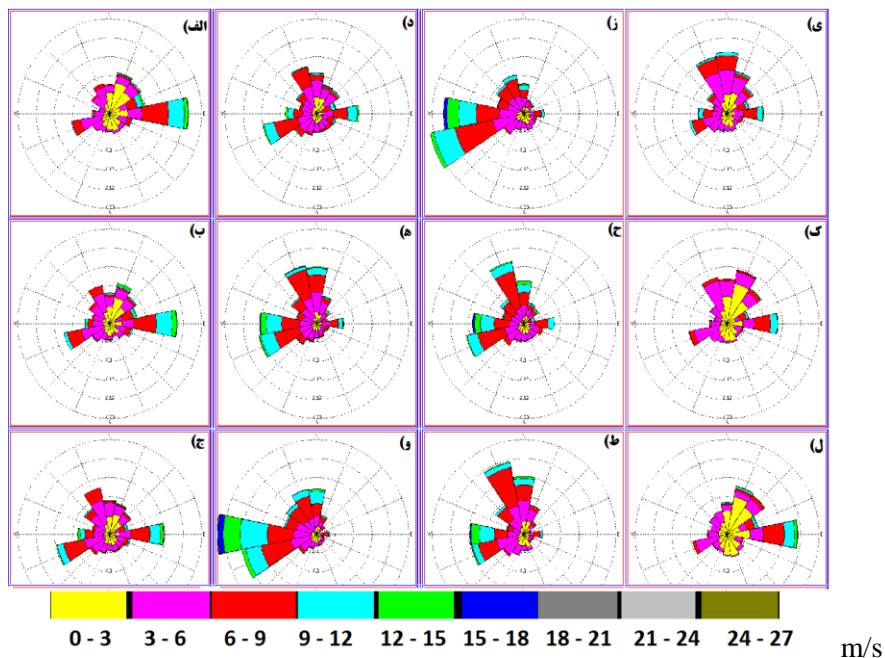
شکل ۱۴. گلباد در چشمه واقع در الف) جنوب و ب) جنوب غربی استان ایلام در سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۴

گلباد منطقه جنوب استان ایلام در ماه‌های مختلف سال در شکل ۱۵ نشان داده شده است. در ماه‌های فصل زمستان بیشترین فراوانی مربوط به بادهای شمال شرقی و پس‌از آن غربی است و بیشترین سرعت باد به مقدار ۹ تا ۱۲ متر بر ثانیه نیز رسیده است. در فصل گرم بادهای غالب باد غربی و جنوب غربی هستند و بیشینه سرعت باد برابر ۱۲ تا ۱۵ متر بر ثانیه است. به‌طور کلی می‌توان گفت در این منطقه سرعت باد در فصل گرم سال بیشتر است.



شکل ۱۵. گلباد در منطقه جنوب استان ایلام در ماه (الف) دی (ب) بهمن (ج) اسفند (د) فروردین (ه) اردیبهشت (و) خرداد (ز) تیر (ح) مرداد (ط) شهریور (ی) مهر (ک) آبان (ل) آذر سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۴

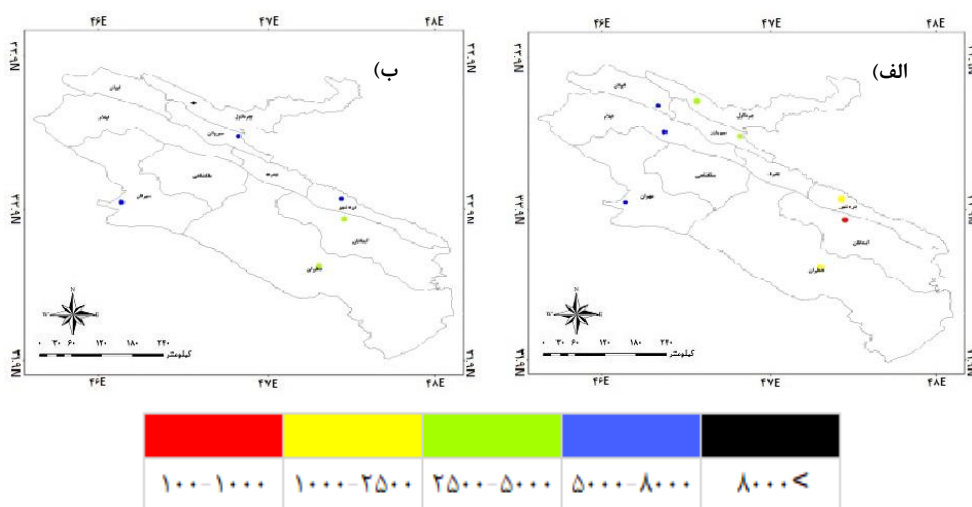
در شکل ۱۶ گلباد ماه‌های مختلف سال مربوط به منطقه جنوب غربی را نشان می‌دهد. در ماه‌های فصل سرد سال بیشترین فراوانی مربوط به بادهای شرقی، شمال شرقی، جنوب غربی و شمال غربی است ولی در ماه‌های فصل تابستان بادهای غالب شمال غربی، جنوب غربی و غربی هستند و سرعت باد به ۱۵ تا ۱۸ متر بر ثانیه نیز رسیده است.



شکل ۱۶. گلباد در منطقه جنوب غربی استان ایلام در ماه (الف) دی (ب) بهمن (ج) اسفند (د) فروردین (ه) اردیبهشت (و) خرداد (ز) تیر (ح) مرداد (ط) شهریور (ی) مهر (ک) آبان (ل) آذر سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۹۴

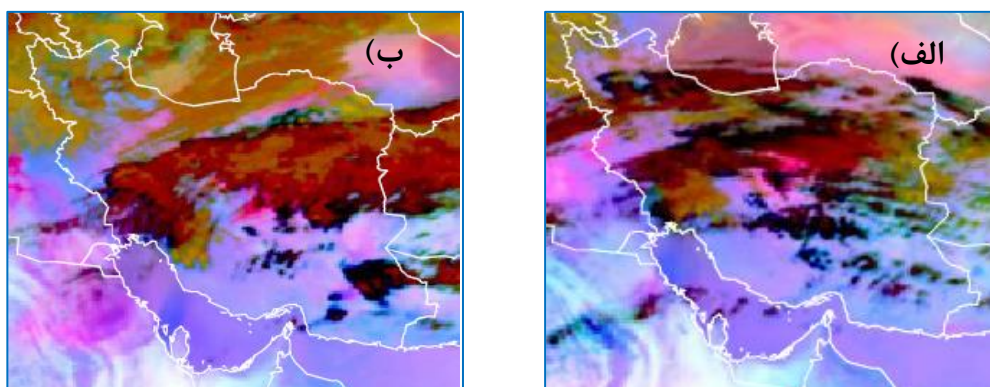
مطالعه موردی (رویداد گردوخاک ۲۴ و ۲۵ اسفند سال ۱۳۹۰):

در روزهای ۲۱ تا ۲۵ اسفندماه سال ۱۳۹۰ کاهش دید قابل توجهی در بسیاری از ایستگاه‌های همدیدی سراسر کشور گزارش شده است. شکل ۱۷ دید افقی ایستگاه‌های همدیدی استان ایلام که با کد پدیده‌های مرتبط با گردوخاک همراه بوده را در ساعت ۱۲:۰۰ UTC یا ۱۵ محلی در روز ۲۴ اسفندماه سال ۱۳۹۰ و شکل ۱۷ ب در روز ۲۵ اسفند را نشان می‌دهد. در روز ۲۴ اسفند در بیشتر ایستگاه‌های واقع در استان ایلام، پدیده گردوخاک گزارش شده است. دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر در ایستگاه آبدانان مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های دره‌شهر و دهلران نیز دید افقی به کمتر از ۲۵۰۰ متر رسیده است و در روز ۲۵ اسفند دید افقی در بیشتر ایستگاه‌ها بهبود یافته است ولی همچنان در کلیه ایستگاه‌ها به جز ایستگاه‌های ایلام و ایوان پدیده گردوخاک مشاهده شده است.



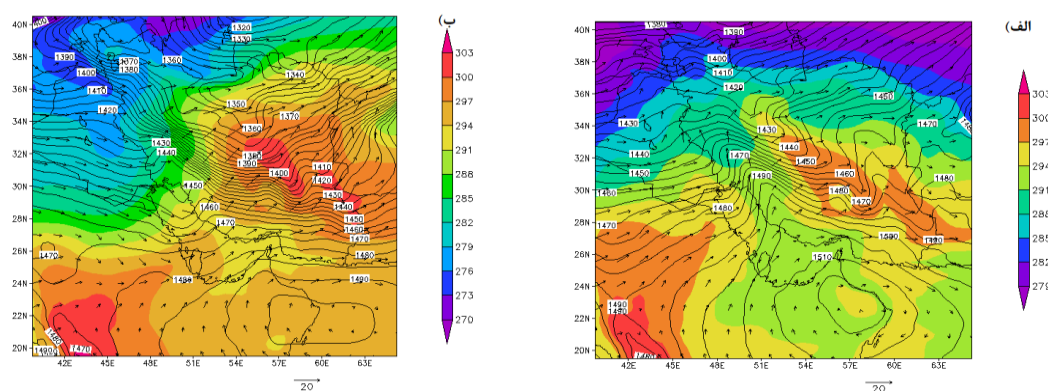
شکل ۱۷. الف دید افقی در ایستگاه‌های همدیدی استان ایلام در ساعت ۱۲:۰۰ UTC روز الف) ۲۴ و ب) ۲۵ اسفند سال ۱۳۹۰.

تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۱۸) توده گردوخاک غلیظی (رنگ صورتی) را در هر دو روز ۲۴ و ۲۵ اسفند در مناطق مرکزی ایران نشان می‌دهد، اگرچه به دلیل پوشش ابر در این مناطق وسعت ناحیه تحت تأثیر گردوخاک به خوبی مشخص نیست ولی در بخش وسیعی از استان ایلام به‌ویژه در روز ۲۴ اسفند گردوخاک مشاهده می‌شود.



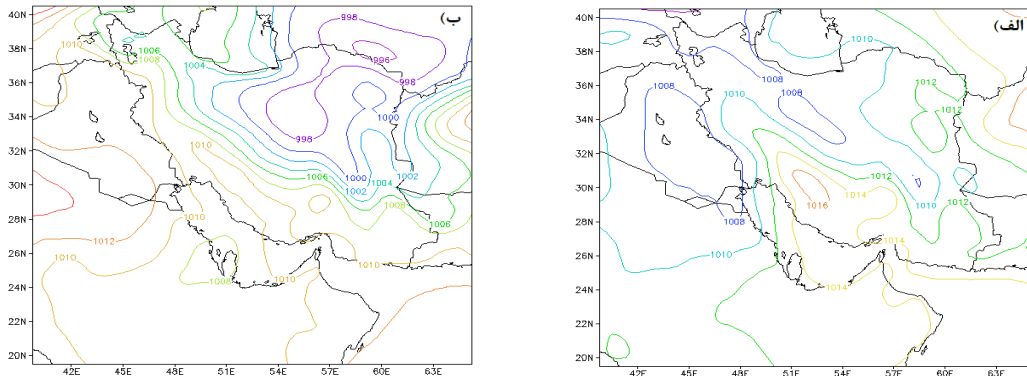
شکل ۱۸. تصویر RGB ماهواره MSG در ساعت ۱۲:۰۰ UTC روز الف) ۲۴ اسفند ب) ۲۵ اسفند سال ۱۳۹۰

طی روزهای ۲۱ تا ۲۵ اسفندماه سال ۱۳۹۰ گردوخاک استان‌های واقع در جنوب غرب و غرب کشور، به تدریج استان‌های آذربایجان غربی، کردستان، همدان، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد و نیز غرب استان فارس را با شدت کمتر تحت تأثیر قرار داد. در روزهای پنج‌شنبه و جمعه معادل ۲۵ و ۲۶ اسفند ۱۳۹۰ در بیشتر استان‌های کشور به‌ویژه استان‌های واقع در جنوب غرب، جنوب، جنوب شرق، شرق، شمال شرق، تهران و ایلام وزش باد شدید رخ داد. از طرفی مطابق شکل ۱۹ استقرار جبهه به ترتیب در روز ۲۴ اسفند ۱۳۹۰، ساعت UTC ۱۲:۰۰ در نواحی جنوب غرب کشور و ۲۵ اسفند ۱۳۹۰ ساعت UTC ۱۲:۰۰ در نواحی غرب و جنوب غرب کشور که همراه با تغییر سمت و سرعت میدان باد در این نواحی به‌خوبی نمایان است، شرایط را برای گسیل گردوخاک در کشور فراهم نمود که کاهش قابل توجه دید افقی در بسیاری از ایستگاه‌های همدیدی کشور طی روزهای ۲۴ و ۲۵ اسفندماه سال ۱۳۹۰ مبین این مطلب است. این در حالی است که سامانه بارشی ناشی از جبهه طی روزهای پنج‌شنبه ۲۵ اسفند تا ۲۷ اسفند ۱۳۹۰ منجر به بارش باران و برف در نواحی شمال غرب به‌ویژه استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، اردبیل و کردستان شد.



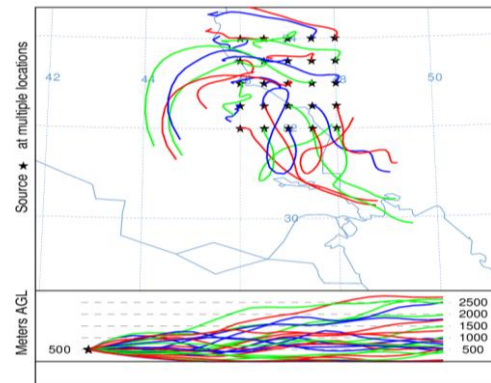
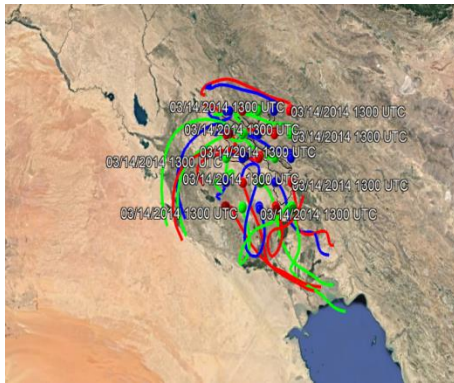
شکل ۱۹. ارتفاع ژئوپتانسیلی (متر، پربندها) و دما (کلوین، بخش رنگی) در تراز ۸۵۰ میلی باری برای روز الف (۲۴ و ب) ۲۵ اسفند ۱۳۹۰ ساعت UTC ۱۲:۰۰

بر روی سطح زمین نیز مطابق **Reference source not found !Error** در روز ۲۴ اسفند ۱۳۹۰ ساعت UTC ۱۲:۰۰ استقرار مرکز کم‌فشار با هسته ۱۰۰۸ میلی بار بر روی مرزهای جنوب غرب کشور و از طرفی استقرار مرکز پرفشار با هسته ۱۰۱۶ میلی بار بر نیمه جنوبی کشور شرایط را بر ایجاد شیو فشاری قوی در نواحی جنوب غرب کشور فراهم می‌نماید که در روز ۲۵ اسفند ۱۳۹۰ ساعت UTC ۱۲:۰۰ از شیو فشاری در نواحی جنوب غرب کشور کاسته شده و به تدریج شاهد شیو فشاری قابل توجهی در نواحی شمال غرب کشور ناشی از استقرار هسته ۱۰۱۰ میلی بار بر روی مرزهای شمال غرب و به‌طور هم‌زمان هسته ۹۹۶ میلی باری بر روی شمال شرق کشور خواهیم بود. شایان ذکر است ورود جبهه و استقرار آن در نواحی شمال غرب کشور با ایجاد شیو دمایی قابل توجه و شکست میدان باد در منطقه همراه است.



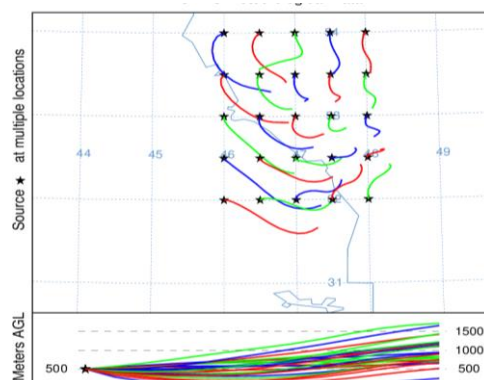
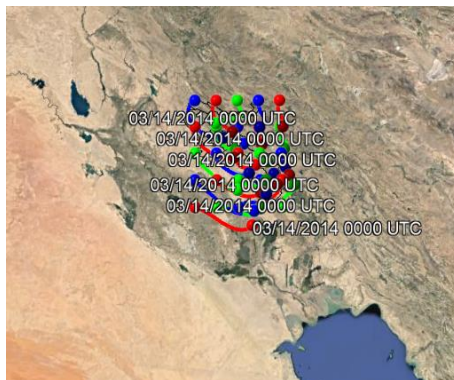
شکل ۲۰. وضعیت میدان فشار در سطح زمین برای روز الف) ۲۴ و ب) ۲۵ اسفند ۱۳۹۰ ساعت ۱۲:۰۰ UTC

برای اجرای مدل HYSPLIT منطقه‌ای شامل استان ایلام در نظر گرفته شد. با توجه به خروجی مدل به روش پیش‌رو برای روز ۲۴ اسفند سال ۱۳۹۰ برای ساعت ۲۴ که در شکل ۲۱ نشان داده شده، در صورت فعالیت چشمه‌های گردو خاک موجود در جنوب استان، ذرات گردو خاک، تحت تأثیر جریانات شمال غربی وارد استان خوزستان شده و گردو خاک مناطق مرکزی استان ایلام، تحت تأثیر جریانات جنوب شرقی وارد مناطق شمالی این استان می‌شوند.



شکل ۲۱. خروجی مدل HYSPLIT به روش پیش‌رو برای ساعت ۱۲:۰۰ UTC روز ۲۴ اسفند سال ۱۳۹۰

خروجی مدل HYSPLIT به روش پس‌رو در شکل ۲۲ برای ۶ ساعت نشان می‌دهد که در رویداد ۲۴ اسفند سال ۱۳۹۰، باد غالب در شمال استان ایلام باد جنوبی بوده و احتمال ورود گردو خاک از جنوب استان وجود دارد. در نیمه جنوبی استان جریان غالب شرقی و شمال شرقی است.



شکل ۲۲. خروجی مدل HYSPLIT به روش پس‌رو برای ساعت ۱۲:۰۰ UTC روز ۲۴ اسفند سال ۱۳۹۰

نتیجه‌گیری

در این مقاله، مطالعه‌ای جامع از گردوخاک در سطح استان ایلام با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های دیدبانی، ماهواره‌ای و برون‌داد مدل عددی انجام شده که در نهایت به شناسایی چشمه‌های گردوخاک استان ایلام و مناطق تحت تأثیر آن‌ها منجر شده است. پس از بررسی گردوخاک در دوره مطالعاتی ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۶، یک مورد پدیده شدید و فراگیر گردوخاک که در آن تعداد زیادی از چشمه‌های گردوخاک در کشورهای سوریه، عراق و ایران از جمله چشمه‌های گردوخاک استان ایلام فعال بوده‌اند بررسی شده است. بررسی میانگین شاخص‌های گردوخاک و گردوخاک محلی نشان داد که مقادیر این شاخص‌ها در نیمه جنوبی استان بیشتر از نیمه شمالی بوده است. بر اساس بررسی میانگین فصلی شاخص LDE فراوانی پدیده‌های گردوخاک محلی در دو فصل بهار و تابستان بیشتر بوده است. در شمال استان مقدار این شاخص در فصل بهار اندکی بیشتر بوده و در مرکز استان در فصل تابستان نسبت به بهار اندکی بیشتر است. شاخص بادناکی نشان می‌دهد که برخلاف شاخص DSI مقدار آن در نیمه شمالی استان در همه کلاس‌های سرعت باد اندکی بیشتر بوده است. مقادیر AOD در نیمه غربی و جنوبی استان ایلام بیشتر بوده و بیشینه آن مربوط به فصل بهار و پس‌از آن تابستان است. فراوانی دید افقی کمتر در نیمه جنوبی استان بیشتر است و بیشترین فراوانی آن در فصل تابستان و پس‌از آن بهار بوده است. شاخص SPEI نیز نشان می‌دهد که در برخی سال‌ها مانند سال ۱۳۸۹ در حالی که در نیمه جنوبی خشک‌سالی شدید مشاهده شده، نیمه شمالی خشک‌سالی متوسط داشته است. الگوی میانگین کمیت سرعت اصطکاکی در سطح استان بیشتر ناشی از ناهم‌واری است، ولی به‌طور کلی در نیمه شمالی بیشتر از نیمه جنوبی است که با شاخص بادناکی نیز هماهنگ است. بررسی مقادیر شار گردوخاک با الگوی AOD و DSI هماهنگی دارد و بیشترین مقدار آن در جنوب و جنوب غربی استان نشان داده شده است. به‌طور کلی در استان ایلام دو چشمه گردوخاک دارای شدت زیاد و خیلی زیاد هستند که در جنوب (شهرستان دهلران) و جنوب غربی (شهرستان مهران) این استان واقع شده‌اند. چشمه واقع در جنوب استان ایلام که دارای بیشترین شدت است، در همه فصل‌ها با شدت زیاد فعال است. باد غالب در این منطقه در فصل بهار در جهت غربی، جنوب غربی، شمال شرقی و شمال غربی است که می‌تواند استان‌های ایلام و خوزستان را تحت تأثیر قرار دهد. در فصل تابستان باد غالب در جهت غربی، جنوب غربی و شمال شرقی است و در این فصل نیز مناطقی از استان ایلام و استان خوزستان متأثر از این چشمه خواهند شد. در فصل پاییز بادهای شمال شرقی، غربی و شرقی بر این منطقه حاکم بوده و در فصل زمستان وزش بادهای جنوب غربی غالب خواهد شد و در این دو فصل نیز همچنان استان ایلام و استان خوزستان از گردوخاک برخاسته از این چشمه متأثر می‌شوند. چشمه دوم که در جنوب غربی استان ایلام واقع شده است در فصول بهار، تابستان و پاییز با شدت زیاد فعال است. با توجه به باد غالب در فصل بهار و تابستان که در جهت غربی، جنوب غربی، شمال غربی و شمالی می‌وزد، استان‌های ایلام، خوزستان و لرستان تحت تأثیر این چشمه قرار می‌گیرند. در فصل پاییز بادهای شمالی، شمال غربی، شمال شرقی، شرقی و جنوب غربی حاکم هستند و استان‌های ایلام و خوزستان متأثر از این چشمه هستند.

تقدیر و تشکر

بنا به اظهار نویسنده مسئول، این مقاله حامی مالی نداشته است.

منابع

- 1) Abdi Vishkaee, F. Flamant, C. Cuesta, J. Flamant, P. and Khaledifard, H.R., 2011: Multiplatform servations of dust vertical distribution during transport over northwest Iran

- in the summertime, *Geophysical Research*, 1-13.
- 2) Aliabadi, K., Dadashiroudbari, A.A. & Asadizangeneh, M.A. (2015). Evaluation and monitoring of dust storms using remote sensing methods. *J. of rescue and relief*, 25(1), 1-12.
 - 3) Alijani, B., (1997). *Iran Climate*. University of Payame Nour press.
 - 4) Alizadeh-Choobari, O., Zavar-Reza, P., & Sturman, A. (2014). The “wind of 120 days” and dust storm activity over the Sistan Basin. *Atmospheric research*, 143, 328-341.
 - 5) Amarloei A, Jonidi Jafari A, Asilian Mahabadi H, Asadollahi K. (2015). Health outcomes attributed to PM10 due to dust storms in Ilam city, *in Iran from 2012 to 2013. SJKU*, 20 (2), 51-61.
 - 6) Arami, S. A., Ownegh, M., MohammadianBehbahani, A., Akbari, M., & Zarasvandi, A. (2018). The analysis of dust hazard studies in southwest region of Iran in 22 years (1996-2017). *Jsaeh*, 5 (1), 39-66.
 - 7) Ashrafizadeh, Kh., Shafeepourmotlagh, M. Aslmand, A. (2011). Investigation of causes and factors of dust storm and modeling of this phenomenon using HYSPLIT. *5th conference and exhibition on environmental engineering, Tehran*.
 - 8) Barkan, J., (2008). synopsis patterns associated with dusty and non-dusty seasons in the Sahara. *theor.appl.climatolo*, 10, 354-364.
 - 9) Bazgir, M., & Namdar Khojasteh, D. (2018). Biological, chemical and mineral mulches effect on stabilization of dust storm sources, case study: Ilam Province. *Watershed Engineering and Management*, 10(4), 701-713.
 - 10) Bohiraei, H., Ayazi, S.M.H., Rajaei, M.A., & Ahmadi, H. (2011) Synoptic statistical analysis of dust phenomenon in Ilam province. *New attitudes in human geography*, 4(1), 47-67.
 - 11) Boroghani, M., moradi, H., Zangane Asadi, M., Pourhashemi, S. (2019). Evaluation of the role of drought in frequency of dust in Khorasan Razavi province. *Journal of Environmental Science and Technology*, 21(5), 109-121.
 - 12) Chopani, M. H., (2009). *Ecosystem pollutants and Protect of environment*. Training and equipping the manpower of the National Iranian Gas Company.
 - 13) Elham Mehrizi. An Investigation about the Sources of Ilam Dust. (2022). hal-02861791v2.
 - 14) Falah-Ghalhari, Gh. Dadashiroudbari, A., A. & Rahimi, A.H. (2014). Synoptic-satellite evaluation of dust phenomenon in southwestern and southern Iran. *The First National Conference on Geography, Tourism, Natural Resources and Sustainable Development, Tehran*.
 - 15) Ghaffari, D., & Nouri, H. (2016). Relative Humidity and Moisture Flux Convergence during the Dusty Days in Alvand Mountain. *Ecopersia*, 4(4), 1527-1540.
 - 16) Gillette, D.A., (1977). Fine particle emissions due to wind erosion. *Trans. ASAE*, 20, 891-897.
 - 17) Goudie A. S., (2009) Dust storms: Recent developments. *Journal of Environmental Management*, 90 (1), 89-94.
 - 18) Goudie A. S., (2014). Desert dust and human health disorders. *Environment International*, 63, 101–113.
 - 19) Heidari, M., Khaledi, Sh., & Akbari Azirani, T. (2015) Analysis of the frequency of dusty days in Ilam province and its effect on public health. *Natural geography research*, 51(1), 123-134.
 - 20) Hosseini Pazhouh, N., Ahmadaali, Kh. & Shokoohi, A.R. (2019). Assessment of standardized precipitation and standardized precipitation -evapotranspiration indices for wet period detection. *Jornal of water and Soil Conservation*, 25(6), 207 -222.
 - 21) Hsu, N.C., Tsay, S. C., King, M.D., & Herman, J.R. (2004) Aerosol properties over brightreflecting source regions. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 42, 1-12.

- 22) Karami, S., Hossein Hamzeh, N., Noori, F., & Ranjbar, A. (2019). Investigation of dust storms in Ilam and the performance analysis of simulation of 6 numerical prediction models at a severe dust storm in west of Iran. *Journal of Air Pollution and Health*, 4(2), 133-146.
- 23) Khaledi, K. (2012). Economic losses of dust storm on western provinces of Iran (case study: Ilam, Khuzestan and Kermanshah). *Economic Modeling Quarterly*, 7(3), 105-125.
- 24) Khoshhal, J., Mousavi, S. H., Kashki, A. (2012). Synoptic analysis of Ilam dust storms (1987 - 2005). *Geography and Environmental Planning*, 46 (2), 2-12.
- 25) Liu, M., & Westphal, DL. (2001) A study of the sensitivity of simulated mineral dust production to model resolution. *J. Geophys. Res*, 106(D16), 18,099–18,112.
- 26) Maghrabi, A., Alharbi, B. & Tapper, N., (2011). Impact of the March 2009 dust event in Saudi Arabia on aerosol optical properties, meteorological parameters, sky temperature and emissivity. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2164-2173.
- 27) Mirhasani, M., Rostami, N., Bazgir, M., & Tavakoli, M. (2018). An Investigation of Land-Use Effect on Dust Concentration and Soil Loss in Desert Areas: A Case of Ein Khosh-Dehloran, *Ilam. E.E.R*, 8 (1), 1-20.
- 28) Nosrati, K. (2014). Assessment of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) for Drought Identification in Different Climates of IranK. *Environmental Sciences*, 12(4), 63-74.
- 29) Prigent, C., I. Tegen, Aires, F., Marticorena B., & Zribi, M. (2005). Estimate of the aerodynamic roughness length in arid and semi-arid regions over the glob with the ERS scatterometer. *J. Geophy. Res., Atmosphere*, 110(D9), 1-12.
- 30) Ranjbar, H., Bazgir, M., Namdar Khojasteh, D. & Rostami Nia, M. (2019). Identification of dust sources in Ilam province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 26 (3), 675-688.
- 31) Rashki, A., (2013). Investigation of temporal and spatial changes of aerosols in Southwest Asia and its relationship with drying of Hamoon lakes. *3rd National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, Yazd*.
- 32) Richard, R. & Heim, J.R. (2002). A review of twentieth - century drought indices used in the United States. *American meteorological society*, 123, 1149 -1165.
- 33) Sehatkashani, S., Sedaghatkerdar, A., Bidokhti, A.A., Kamali, Gh.A., Ranjbar, A., & Salehi Barough, M., (2009). *The Numerical Evaluation of Low level Jets Formation in Lut Valley Region in Winter*, Envochealth, Bangalore, India.
- 34) Shahsavani, A., Yarahmadi, M., Mesdaghinia, A., Yonesian, M., Jafarzadeh, N., & Nadafi, K. (2012). Analysis of the trend of dust entering Iran with emphasis on Khuzestan province, *J. Hakim*, 15, 192-202.
- 35) Shao, Y., (2001). A model for mineral dust emission. *Journal of Geophysical Research*, 106(D17), 20239-20254.
- 36) Shi, Y., Zhang, J., Reid, J.S., Hyer, E.J., Hsu, N.C., (2013). Critical evaluation of the MODIS deep Blue aerosol optical depth product for data assimilation over North Africa. *Atmos. Meas. Tech.*, 6, 949–969.
- 37) Shohani, N., Shohani, F., Shohani, F., Bokrizadeh, H. (2020). Investigating the role of particulate matter on the hospitalization rate of cardiovascular patients in Ilam city between 88 and 92. *Journal of Spatial Analysis of Environmental Hazards*, 7(4), 165-186.
- 38) Sobhani, B., Safavian zangir, v., Feyzollah zadeh, S. (2020). Modeling and prediction of dust in western Iran. *Natural geography research*, 52(1), 17-35.
- 39) Song, Z., Wang, J. & Wang, S., (2007). Quantitative classification of northeast Asian dust events. *Geophysical Research*, D04, 1-8.
- 40) Tamassoki1, E., Khoorani, A., Dervishi Bolorany, A., & noheghar, A. (2016). Dust storms monitoring and predicting, using remote sensing, geographic information systems and

- observational data based on NDVI and climate elements A Case Study: (South and South East of Iran). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 7(4), 27-44.
- 41) Tan, M., Li, X., & xin, L., (2014) Intensity of dust storms in China from 1980 to 2007: A new definition. *Atmospheric environment*, 85, 215-222.
- 42) Vicente -Serrano, S., Begueria, M.S. & Lopezmoreno, J.I. (2010). A multi -scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index - SPEI, *Journal of Climate*, 23(7): 1696 -1718.
- 43) Yar Ahmadi, d., Nasiri, b. Khoshkish, A. Nikbakht, H. (2014) The effect of climate fluctuations on the dust event (a case study of dust in the west and southwest of Iran). *desert ecosystem engineering*, 5(3), 19-28.
- 44) Zender, C.S., Bian, H., Newman, D., (2003a). The Mineral Dust Entrainment and Deposition (DEAD) Model: Description and 1990s Dust Climatology. *Journal of Geophysical Research*, 108(D14), 4416-4439.