



## Routing Dust Storms using Suspended Particulates Concentration and Meteorological Models in Hamadan Province

Kamran Shayesteh<sup>a\*</sup>, Shiva Gharibi<sup>b</sup>, Mohammad Parsimehr<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

<sup>b</sup> PhD Candidate in Environmental Science, Malayer University, Malayer, Iran

<sup>c</sup> PhD Candidate in Environmental Science, Malayer University, Malayer, Iran

**Received: 27 June 2021**

**Revised: 19 October 2021**

**Accepted: 21 October 2021**

### Abstract

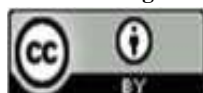
Dust is one of the natural hazards that occur mainly in arid and semi-arid areas of the world such as Iran. In recent years, dust storms have been one of the most important air pollution crises in Hamadan province. Identifying the dust and sand sources is the first step in controlling this phenomenon. Thus, this study tried to identify dust sources of Hamadan province using Aerosol Optical Depth (AOD) from the MODIS satellite images and numerical modeling to predict airflow from 2008 to the end of 2018. In the next step, using HYSPLIT model, the path of particles' moves and their source were determined at three levels of 500, 1000 and 1500 meters for 48 hours before the storm for external sources and 18 hours for internal sources. The meteorological data of the model was obtained from a 0.5-degree GDAS. Finally, its movement from source to Hamadan urban area was monitored using GIS and Spatial Analysis Tools. The results showed that the origin of the dust phenomena in this city are three sources including internal parts the province (Famenin, Malayer and Razan county), outside the province (such as Kurdistan, Markazi, and Khuzestan province) and out of Iran (Western parts of Iraq, Syria, Jordan and northern Saudi Arabia). So, it is necessary to monitor the spatial patterns of dust sources in the western regions of Iran for different years. The combination of remote sensing data, Hysplit model, and field based data could well show dust transport corridors.

**Keywords:** Dust, Modis, AOD, Hamadan

\* Corresponding author: Kamran Shayesteh E-mail: k.shayesteh@malayeru.ac.ir Tel: + 989123784864

**How to cite this Article:** Shayesteh, K., Gharibi, S., & Parsimehr, M. (2022). Routing Dust Storms using Suspended Particulates Concentration and Meteorological Models in Hamadan Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(1), 185-200.

DOI:10.22067/geoeh.2021.71200.1082



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

# Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 1 - Number 41, Spring 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>



<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71200.1082>



جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و یکم، بهار ۱۴۰۱، صص ۲۰۰-۱۸۵

مقاله پژوهشی

## مسیریابی حرکت گردوغبار بر اساس غلظت ذرات معلق و مدل هواشناسی در استان همدان

کامران شایسته<sup>۱</sup> - استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

شیوا غربی - دانشجوی دکتری، ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر

محمد پارسی مهر - دانشجوی دکتری، ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۶/۲۷ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۷/۲۹

### چکیده

گردوغبار یکی از مخاطرات طبیعی است که عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران رخ می‌دهد. در سال‌های اخیر، طوفان‌های گردوغبار به یکی از مهم‌ترین چالش‌های آلودگی هوای استان همدان تبدیل شده است و شناسایی کانون‌های تولیدکننده این پدیده اولین گام در مدیریت و کنترل آن به شمار می‌رود.؛ از این رو در این مقاله به شناسایی کانون‌های تولید گردوغبار در استان همدان با استفاده از شاخص عمق اپتیکی اخذشده از تصاویر سنجنده مادیس و همچنین، مدل‌سازی عددی پیش‌بینی جریان هوا در بازه زمانی سال ۲۰۰۸ تا پایان سال ۲۰۱۸ پرداخته شده است. مسیر باد در ۴۸ ساعت قبل از طوفان برای منشأ خارجی و ۱۲ ساعت برای منشأ داخلی تعیین شد. داده‌های هواشناسی مدل نیز از سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی دریافت شد. در نهایت با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی و ابزارهای تحلیل مکانی، نمایش حرکت گردوغبارها از منشأ شکل‌گیری تا داخل محدوده استان همدان ردیابی شد. نتایج نشان داد که منشأ پدیده‌های گردوغبار ورودی به این استان دارای سه منشأ داخل استان (شهرستان‌های فامنین، ملایر و رزن)، خارج از استان (استان‌های کردستان، خوزستان و مرکزی) و خارج از کشور (غرب عراق، سوریه، اردن و شمال عربستان) است که بیانگر لزوم مطالعه پایش مکانی

Email: k.shayesteh@malayeru.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۳۷۸۴۸۶۴

نحوه ارجاع به این مقاله:

شایسته، کامران؛ غربی، شیوا؛ پارسی مهر، محمد. (۱۴۰۱). مسیریابی حرکت گردوغبار بر اساس غلظت ذرات معلق و

مدل هواشناسی در استان همدان. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۰(۴). صص ۲۰۰-۱۸۵

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.71200.1082>

گردوغبارهای این منطقه است. در نهایت، ترکیب روش‌های سنجش‌ازدوری و مدل‌های اسپلیت به همراه اطلاعات زمینی گردوغبار می‌تواند دالان‌های تحت تأثیر گردوغبار را به‌خوبی نشان دهد.

**کلیدواژه‌ها:** گردوغبار، مادیس، عمق اپتیکی آئروسول، همدان.

#### ۱- مقدمه

تحقیقات نشان داده است که قدمت پدیده گردوغبار به بیش از ۷۰ میلیون سال می‌رسد (خان<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). سازمان جهانی هواشناسی نیز پدیده گردوغبار را کاهش سطح دید به زیر ۱۰۰۰ متر در اثر غبار برخاسته از بادهای شدید تعریف می‌کند (تقوی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷) که دارای تأثیرات منفی بسیار بزرگ اجتماعی-اقتصادی، بهداشتی و محیط‌زیستی است (ژانگ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۵)؛ به‌طوری‌که گردوغبار منجر به ایجاد اختلال در توازن تشعشعات، دمای هوا، مشخصات اپتیکی، طول عمر ابرها (ونگ و دسلر<sup>۴</sup>، ۲۰۰۵)، فرآیند بارش، ژئوشیمی خاک نواحی تحت تأثیر (مندز<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۷)، چرخه‌های بیوشیمیایی محیط‌های آبی، فرآیندهای هیدرولوژیکی و ویژگی‌های زیبایی‌شناختی می‌شوند. ذرات گردوغبار علاوه بر تأثیرگذاری بر شرایط جوی و تولیدات کشاورزی، بر سلامت انسان و اکوسیستم‌ها نیز اثرگذار هستند (هانبرگ و نیکول<sup>۶</sup>، ۲۰۱۲) به‌طوری‌که در بعضی از موارد ذرات گردوغبار موجب انتقال باکتری‌ها، ویروس‌ها و قارچ‌های بیماری‌زا نیز می‌گردد (جانسون<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین با تأثیر بر محصولات کشاورزی، خاک، علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها به‌طورکلی کشاورزی و امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار داده است که خود منجر به مهاجرت به شهرها و ایجاد مشکلات بعدی شده است (ممتاز و همکاران، ۲۰۱۹). به‌طورکلی، اکوسیستم‌های خشکی و سلامت جوامع تحت تأثیر گردوغبار قرار دارند (فاربردر<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۷؛ حیدریان<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). پدیده گردوغبار بر اساس شدت و اثرگذاری بر سطح دید افقی به سه دسته طوفان گردوغبار<sup>۱۰</sup> (بادهای شدید و کاهش دید افقی از صفر به ۱۰<sup>۳</sup> متر)، گردوغبار وزشی<sup>۱۱</sup> (بادهای ملایم‌تر و کاهش دید افقی تا ۱۰<sup>۳</sup>-۱۰<sup>۴</sup>) و گردوغبار معلق<sup>۱۲</sup> (کمترین شدت و کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰<sup>۴</sup> متر) تقسیم‌بندی می‌شود (کنه<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۸). با وجود اینکه گردوغبار یک پدیده طبیعی و شایع در مناطق خشک و

1 Xuan

2 Taghavi

3 Zhang

4 Wong and Dessler

5 Menéndez

6 Hahnenberger and Nicoll

7 Johanston

8 Farebrother

9 Heidarian

10 Dust storm

11 Blowing dust

12 Floating dust

13 Kenneth

نیمه‌خشک است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۵) اما در برخاستگاه نشان‌دهنده یک فاجعه طبیعی است (تقوی و همکاران، ۲۰۱۷) و ایجاد کانون‌های تولید گردوغبار نشان‌دهنده وخامت و وضعیت قهقراپی محیط‌زیست در آن محدوده است. در سال‌های اخیر فعالیت‌های انسانی مانند جنگ، مشکلات اقتصادی، مدیریت ناصحیح منابع طبیعی، تالاب‌ها و دریاچه‌ها همانند تغییرات اقلیمی بر روی پوشش زمین تأثیرات گسترده‌ای داشته و باعث تشدید خشکسالی‌ها و کاهش ذخیره آب و رطوبت در برخی از کشورها بخصوص ایران و همسایگان غربی آن مانند سوریه و عراق شده است (نوری<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). ایران علاوه بر اینکه در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته که خود موجب ایجاد مناطق بیابانی شده است، در مجاورت آن نیز منابع اصلی ریزگردها مانند بیابان‌های عراق، عربستان و اردن قرار دارند (باغبانان<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). در یک دهه گذشته گردوغبار به یک پدیده غالب و شایع تبدیل شده (باغبانان و همکاران، ۲۰۲۰) و استان همدان نیز در ارتباط با این پدیده وضعیت بحرانی داشته است. استان همدان در سال‌های اخیر کاهش در میانگین سالانه رطوبت، میانگین عمق برف و میانگین بارش سالیانه و افزایش در میانگین تبخیر سالانه و تعداد روزهای همراه با غبار را تجربه کرده است (ممتاز<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). با این وجود همه آثار و نشانه‌های این پدیده پیش‌رونده، پژوهش‌های کافی در این زمینه بخصوص در مقیاس محلی انجام نشده است و این تغییرات اقلیمی-محیط‌زیستی آثار ویرانگر خود را روی مردم این نواحی گذاشته است؛ از این‌رو شناسایی برخاستگاه گردوغبار برای مقابله با این پدیده حائز اهمیت است و منجر به اتخاذ رویکردهای مدیریتی می‌شود (اسماعیلی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

مطالعات مشابهی نیز در خصوص بررسی وضعیت و منشأ یابی طوفان‌های گردوغباری در سایر استان‌های ایران صورت گرفته است. از جمله، فاریابی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از سنجه غبار آلودگی و داده‌های طیفی سنجنده مادیس به شناسایی گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران پرداختند. ارجمند و همکاران (۱۳۹۷) نیز در منطقه جازموریان طوفان‌های گردوغباری را به لحاظ مکانی و زمانی پایش و بررسی کردند. دانیالی و همکاران (۱۳۹۷) نیز جهت تحلیل مکانی گردوغبار استان خوزستان از تصاویر مودیس، شاخص عمق اپتیکی آئروسول و مدل‌های اسپلیت استفاده کردند. یارمرادی و همکاران (۱۳۹۸) مسیرهای ورود طوفان‌های گردوغباری در نیمه شرقی ایران را با استفاده از مدل‌های اسپلیت ردیابی کردند. جبالی و همکاران (۱۳۹۹) تغییرپذیری مکانی دید افقی مناطق درگیر با طوفان‌های گردوغبار در استان یزد را با سنجنده مودیس و الگوریتم دیپ‌بلو ارزیابی کردند. رایگانی و خیراندیش (۱۳۹۶) با بهره‌گیری از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای به اعتبارسنجی کانون‌های گردوغبار در استان البرز پرداختند. به‌طور کلی، اجرا و به‌کارگیری روش‌های کنترل نیازمند شناسایی دقیق منابع تولید ریزگرد است؛ زیرا

---

1 Nouri  
2 Baghbanan  
3 Momtaz  
4 Esmaili

خصوصیات فیزیکی - شیمیایی گردوغبار در منبع تولید وابسته به خصوصیات سطح زمین است (ونگ<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵) و این رویکرد منجر به درک مکانیسم‌های تولید و انتشار گردوغبار و انتخاب بهترین استراتژی مدیریتی منطقه می‌شود (کا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). بر اساس مطالعات صورت گرفته در سال‌های اخیر، روش‌های مختلفی جهت شناسایی کانون‌های گردوغبار از جمله تحلیل داده‌های هواشناسی (زو<sup>۳</sup> همکاران، ۲۰۲۰)، فن‌آوری RS-GIS (بلورانی<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۰)، اطلاعات زمین‌شناسی (موه<sup>۵</sup>، ۲۰۱۳) و مدل‌سازی (اشرفی<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۴) استفاده شده است. با این حال در پژوهش‌های گذشته این نکته وجود دارد که در بیشتر آن‌ها منبع گردوغبار در سطح منطقه‌ای و جهانی بررسی و شناسایی شده است، در صورتی که این رویکرد نمی‌تواند پاسخگوی نیازهای مدیریتی در سطح محلی باشد (حیدریان و همکاران، ۲۰۱۸). در این راستا، با توجه به نیاز مبرم بخش‌های مدیریتی به درک شرایط و وضعیت بحرانی محدوده مورد مطالعه، برای اولین بار با یک رویکرد جامع در سناریوهای مختلف، شناسایی کانون‌ها و مسیرهای تولید گردوغبار در داخل استان همدان مورد بررسی قرار گرفت.

سنجنده مادیس با دارا بودن ۱۶ باند حرارتی برای پایش گردوغبار در سراسر جهان کاربرد و قابل استفاده است. هر تصویر رده آئروسول سنجنده مادیس حاوی طیفی از شاخص‌های عمق اپتیکی<sup>۷</sup> در طول موج‌های مختلف بوده که عموماً توسط الگوریتم‌های دیپ بلو<sup>۸</sup>، هدف‌های تیره<sup>۹</sup> و یا ترکیب آن‌ها تهیه گردیده است. باندهای ۱-۷ برای مطالعه آئروسول‌ها تعبیه شده و باندهای ۱، ۳ و ۷ در بازیابی اطلاعات گردوغبار پر کاربردتر هستند. شاخص عمق اپتیکی آئروسول نیز یک پارامتر کمی بدون بعد جهت نشان دادن تراکم و تمرکز ذرات موجود و معیاری از ممانعت ذرات معلق گردوغبار در برابر رسیدن نور خورشید به زمین است (رجبلو و همکاران، ۱۳۹۷). این شاخص در طول یک مسیر عمودی بر روی تصاویر مادیس محاسبه می‌شود و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ذرات، اندازه و روشنایی قابل اندازه‌گیری است. مقدار عمق اپتیکی می‌تواند با تراکم تعداد آئروسول‌ها و ویژگی‌های آن ذرات متفاوت باشد (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۷). به‌طور کلی، سنجنده مادیس دارای چهار محصول برای تعیین AOD است.

پروداکت (Aerosol Optical Depth (1km) اطلاعات روزانه چگالی گردوغبار را برای نواحی آبی و خشکی با توان تفکیک یک کیلومتری برای محصول و توان تفکیک ۱۰ کیلومتری برای الگوریتم ارائه شده در اختیار کاربر قرار می‌دهد که از سال ۲۰۰۰ برای ماهواره ترا و سال ۲۰۱۲ برای آکوا در دسترس است.

1 Wang

2 Cao

3 Xu

4 Boloorani

5 Muhs

6 Ashrafi

7 Aerosol Optical Depth: AOD

8 Deep Blue: DB

9 Dark Target: DT

پروداکت Aerosol Optical Depth (3km) از سال ۲۰۰۲ برای ماهواره آکوا و سال ۲۰۰۰ برای ماهواره ترا در دسترس است. توان تفکیک ۳ کیلومتری الگوریتم ارائه شده در این محصول امکان مطالعه گردوغبارها را در مناطق شهری به صورت بسیار مطلوب و کاربردی ارائه می دهد.

پروداکت Merged DT/DB AOD با ترکیب دو الگوریتم DT و DB امکان مطالعه بهتری از تغییرات AOD را در مقیاس جهانی و در هر دو محیط خشکی و آبی فراهم می آورد که از سال ۲۰۰۰ برای ماهواره ترا و آکوا در دسترس است. این پروداکت با توان تفکیک دو کیلومتری تصاویر و ۱۰ کیلومتری الگوریتم برای نواحی خشکی، اقیانوسی و پوشش گیاهی مورداستفاده قرار می گیرند.

پروداکت Deep Blue AOD از سال ۲۰۰۰ در دسترس اما تنها برای نواحی خشکی قابل استفاده است. مقدار آئروسول توسط الگوریتم DB برآورد شده که مختص نواحی خشکی و بیابانی است. توان تفکیک این الگوریتم ۱۰ کیلومتری و توان تفکیک پروداکتها دو کیلومتری است.

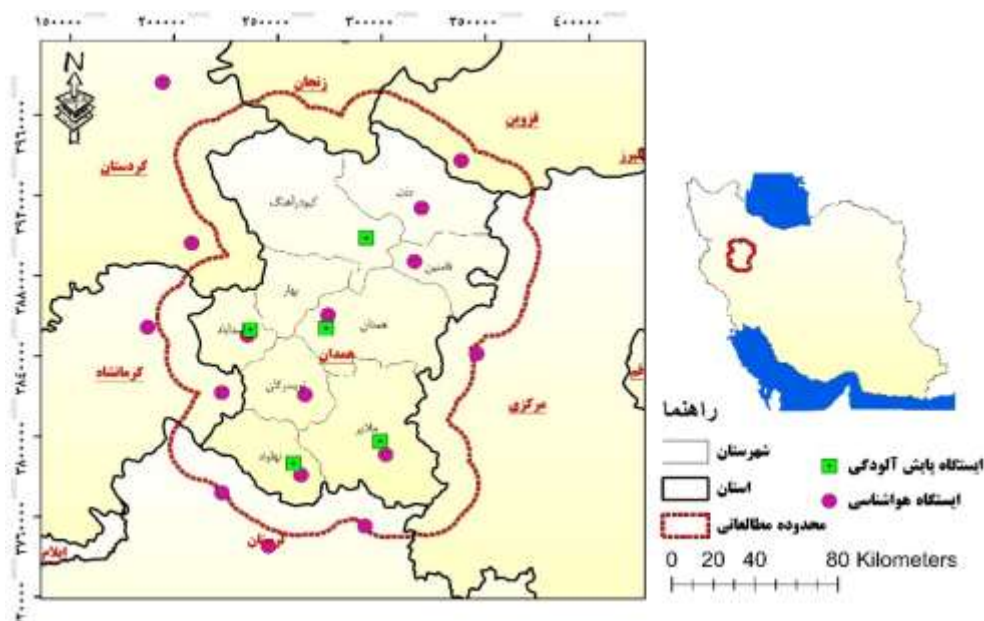
از طرفی دیگر، از جمله مهم ترین مدل های شناسایی مناطق خاستگاه و پیش بینی گردوغبار می توان به مدل های DREAM، NAPPs، COAMPS، CALIPSO، WRF، HYSPLIT، RegCM، MM5، امسفری های اسپلت<sup>۱</sup> جهت شبیه سازی خطوط سیر گردوغبار و شناسایی برخاستگاهها و کانال های گردوغبار به کار گرفته می شود که از مدل های معروف جهت محاسبات انتقال جرم در اتمسفر است و کاربرد گسترده ای جهت مدل سازی های مربوط به نحوه پخش و پراکنش بسته های هوا و محاسبات غلظت دارد. از ویژگی های این مدل، قابلیت استفاده از داده های هواشناسی جهانی، مدل سازی انتقال آلاینده ها در فواصل بسیار زیاد (بیش از ۱۰۰ کیلومتر) و محاسبات پخش و پراکنش گردوغبار است.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- منطقه مطالعاتی

استان همدان در گستره ای به مساحت ۱۴۹۴۱ کیلومتر مربع، منطقه ای کوهستانی و همراه با رودخانه های متعددی است که در غرب ایران قرار گرفته است. آثار خشکسالی های چندساله و تشنگی زمین در استان همدان در سال ۱۳۸۸ آغاز شده و مناطق شمال غربی تقریباً جزء مناطقی هستند که با خشکسالی مواجه است. وضعیت کیفی هوای استان همدان توسط پنج دستگاه سنجش کیفیت هوای اداره محیط زیست در ایستگاه های همدان، نهاوند، ملایر، کبودرآهنگ و اسدآباد مورد سنجش قرار می گیرد. اطلاعات هواشناسی از ایستگاه های سینوپتیک همدان، ملایر، تویسرکان، نهاوند، اسدآباد، فامنین و رزن دریافت و برای تکمیل اطلاعات هواشناسی از ایستگاه های مجاور و خارج از استان نیز استفاده می شود. همچنین، جهت تحلیل پدیده گردوغبار در سطح استان، محدوده ای فراتر از مرزهای

سیاسی استان همدان (محدوده ۱۵ کیلومتری) به عنوان محدوده اثرگذار در نظر گرفته شد که بخش‌هایی از استان‌های کردستان، کرمانشاه، لرستان، مرکزی، زنجان و قزوین را شامل می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه؛ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و سنجش ذرات معلق در محدوده استان همدان

## ۲-۲- روش پژوهش

### دریافت اطلاعات مورد نیاز از ایستگاه‌های سینوپتیک و سازمان محیط‌زیست

در ابتدا روزهای همراه با گردوغبار از ایستگاه‌های هواشناسی و سپس داده‌های غلظت ساعتی ذرات معلق (Pm10 و Pm2.5) در ایستگاه‌های سنجش و پایش کیفیت هوای سازمان حفاظت محیط‌زیست برای ۱۰ سال اخیر (۲۰۱۸-۲۰۰۸) در محدوده استان همدان دریافت شد. موقعیت و مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و سنجش ذرات معلق در جدول (۱) نشان داده شده است.

### جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک و سنجش ذرات معلق در استان همدان و سال شروع ثبت اطلاعات

ایستگاه سنجش ذرات معلق- سال شروع ثبت داده- موقعیت جغرافیایی ایستگاه				ایستگاه سینوپتیک- سال شروع ثبت داده- موقعیت جغرافیایی ایستگاه			
عرض	طول	سال	نام ایستگاه	عرض	طول	سال	نام ایستگاه
۳۴/۸۰	۴۸/۵۲	۲۰۱۰	همدان	۳۴/۸۶	۴۸/۵۳	۲۰۰۷	همدان
۳۴/۱۹	۴۸/۳۷	۲۰۱۲	نهادند	۳۴/۱۴	۴۸/۴۱	۲۰۰۷	نهادند
۳۴/۲۹	۴۸/۸۲	۲۰۱۳	ملایر	۳۴/۲۴	۴۸/۸۵	۲۰۰۷	ملایر

ایستگاه سنجش ذرات معلق- سال شروع ثبت داده- موقعیت جغرافیایی ایستگاه				ایستگاه سینوپتیک- سال شروع ثبت داده- موقعیت جغرافیایی ایستگاه			
عرض	طول	سال	نام ایستگاه	عرض	طول	سال	نام ایستگاه
۳۵/۲۱	۴۸/۷۲	۲۰۱۳	کبودرآهنگ	۳۴/۵۰	۴۸/۴۲	۲۰۰۷	تویسرکان
۳۴/۷۹	۴۸/۱۲	۲۰۱۵	اسدآباد	۳۴/۷۶	۴۸/۱۱	۲۰۱۱	اسدآباد
				۳۵/۱۱	۴۸/۹۸	۲۰۱۱	فامنین
				۳۵/۳۵	۴۹/۰۱	۲۰۱۱	رزن

### تعیین سناریوهای موردبررسی جهت شناسایی کانونها و مدل‌سازی جهت حرکت گردوغبار

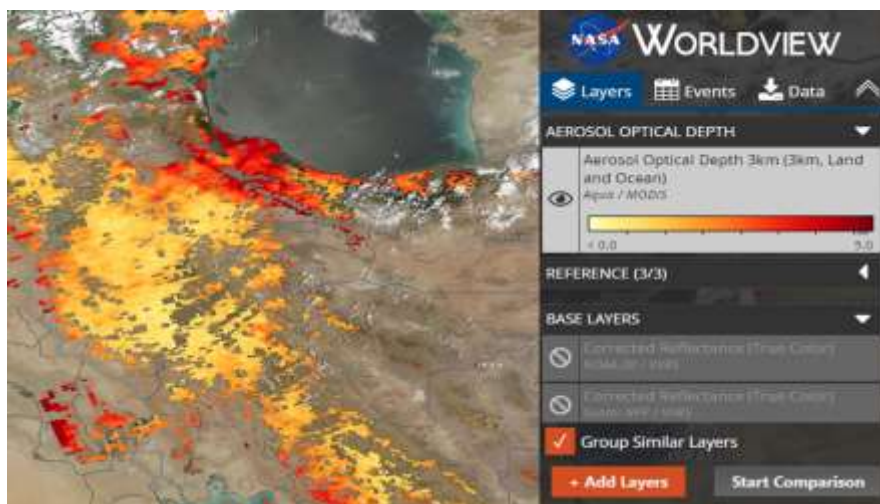
سناریو اول- شامل روزهایی از ۱۰ سال اخیر که مقدار هر دو شاخص PM10 و PM2.5 بالاتر از استاندارد است (استاندارد PM10 برابر ۱۵۰ و استاندارد PM2.5 برابر ۳۵ است) و هم‌زمان توسط اداره هواشناسی نیز به‌عنوان روز آلوده (قابلیت دید زیر ۱۰۰۰ متر) ثبت شده است. سناریو دوم- شامل روزهایی از ۱۰ سال اخیر است که در آن مقدار هر دو شاخص PM10 و PM2.5 به‌طور هم‌زمان بالاتر از استاندارد هستند. سناریو سوم- این سناریو شامل روزهایی از ۱۰ سال اخیر است که به‌صورت پیوسته (بیش از دو روز) دارای مقادیر بالاتر از استاندارد در هر دو شاخص PM2.5 و Pm10 هستند.

### استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

در مرحله بعد اقدام به دانلود تصاویر سنجنده مادیس از ماهواره‌های ترا و آکوا مربوط به روزهای آلوده در سه سناریو فوق گردید. جهت تعیین چگالی ذرات معلق و همچنین تعیین کانون‌های احتمالی گردوغبار بر روی تصاویر مادیس از پروداکت Aerosol Optical Depth (3km) استفاده و برای هر روز دو تصویر دانلود شد. استخراج اطلاعات مربوط به شاخص AOD با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 و افزونه MCTK انجام شد. از الگوریتم Optical Depth Land and Ocean جهت بازسازی غلظت ذرات معلق استفاده و خروجی به فرمت dat تهیه شد. سپس، چگالی ذرات معلق در هر تصویر مشخص شد. مقدار شاخص AOD در محدوده ۰/۵-۰/۱ است؛ از این‌رو محدوده ۰/۲-۰/۱ به‌عنوان شاخص آسمان صاف و کاملاً آبی و بدون گردوغبار و شفاف و با حداکثر قابلیت دید در نظر گرفته می‌شود. با افزایش شاخص از ۰/۱ به سمت ۰/۵ و ۱ میزان تراکم آئروسول نیز افزایش یافته و قابلیت دید کاهش و عمق اپتیکی افزایش می‌یابد. فراوانی عمق اپتیکی بالاتر از ۰/۵ نیز به‌عنوان معیاری از وقوع طوفان گردوغباری در نظر گرفته می‌شود (ناسا، ۲۰۱۹)؛ بنابراین، آستانه ۰/۳ به بالا بیانگر آسمانی کدر و تاریک با حجم متراکمی از آئروسول‌ها در جو و حداقل دید است؛ از این‌رو مقادیر بالاتر از ۰/۳ بر روی تصاویر به‌عنوان منشأ و کانون گردوغبار در نظر گرفته



شدند. در شکل (۲) تصویری از چگونگی بازسازی میزان غلظت ذرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس بر روی سایت ناسا نشان داده شده است (تصویر مربوط به ۱۲ ژوئن ۲۰۱۴ است).



شکل ۲- بازسازی گردوغبار با استفاده از سنجنده مادیس؛ با حرکت از طیف رنگی زرد به سمت قرمز شاخص AOD افزایش می‌یابد

### مدل‌سازی به روش‌های اسپلیت

به‌منظور بررسی خط سیر ذرات گردوغبار در مدت‌زمان وقوع طوفان گردوغباری در ۱۰ سال اخیر نیز از مدل‌های اسپلیت استفاده شد. مدل‌های اسپلیت مدلی دوگانه برای شناسایی مسیرهای گردوغبار، پراکندگی و ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات و با استفاده از حداقل پارامترهای هواشناسی است. این مدل یک سیستم مبتنی بر وب است که توسط اداره ملی اقیانوسی و جوی آمریکا<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۷ راه‌اندازی گردید. شیوه محاسباتی این مدل ترکیبی میان دیدگاه‌های اویلری<sup>۲</sup> و لاگرانژی<sup>۳</sup> است (شن<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). مناسب‌ترین رویکرد برای مسیرهای گردوغبار رهیافت لاگرانژی است، به‌طوری‌که هر ذره در زمان‌های مختلف موقعیت‌های متفاوتی خواهد داشت، بنابراین رهیافت لاگرانژی این امکان را فراهم می‌کند که مدل‌های پایه لاگرانژی پس از انتخاب ذره در موقعیت مکانی و زمانی خاص، حرکت آن را در گام‌های زمانی دلخواه به سمت پیش‌بینی آینده روش<sup>۵</sup> (پیشرو) و یا به سمت

1 NOAA  
2 Eulerian  
3 Lagrangian  
4 Shen  
5 Forward

زمان‌های گذشته<sup>۱</sup> (روش پسگرد) ردیابی نمایند (اسکادرو<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). برای ردیابی مسیر ورود گردوغبار در روزهای همراه با این پدیده و همچنین شناسایی کانون‌های گردوغباری، با مراجعه به تارنمای NOAA، داده‌های روزانه تهیه شده توسط این سازمان با فرمت BIN دریافت و با استفاده از مدل‌های اسپلیت مسیر حرکت ذرات و منشأ آن‌ها در سه ارتفاع مختلف از سطح ایستگاه موردنظر (۱۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ متری) مورد ردیابی قرار گرفت. داده‌های هواشناسی مدل نیز از سامانه یکپارچه‌سازی داده‌های جهانی<sup>۳</sup> و نیم درجه به‌عنوان ورودی مدل انتخاب شدند. با روش پسگرد، هم‌زمان با آغاز اولین گردوغبار در منطقه مورد مطالعه، مسیر باد در ۴۸ ساعت قبل از طوفان برای منشأ خارجی و ۱۲ ساعت قبل از طوفان برای منشأ داخلی تعیین شد. مدل برای تمامی تصاویر در هر سه سناریو اجرا و خروجی آن با نقشه‌های همدیدی و تصاویر ماهواره‌ای مقایسه شد. خروجی مدل منشأ شکل‌گیری و نحوه‌ی انتشار و حرکت طوفان‌ها را با دقت بسیار زیادی بازیابی می‌کند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تعیین روزهای آلوده و تصاویر ماهواره‌ای در هر سه سناریو

بر اساس سناریو اول، در ۵ ایستگاه همدان، نهاوند، ملایر، تویسرکان و اسدآباد ۳۰۷ روز دارای مقدار بالاتر از استاندارد در هر دو شاخص PM10 و PM2.5 بودند (ایستگاه همدان ۱۹ روز، نهاوند ۶۶ روز، ملایر ۸۷ روز و کبودرآهنگ ۱۳۵ روز). بر اساس گزارش اداره هواشناسی نیز تعداد رخدادهای ریزگرد گزارش شده با قابلیت قدرت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر ۴۲۰ روز شناسایی شد (شکل ۳). تعداد روزهای آلوده به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۳، ۲۰۱۴، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۴۸، ۶۵، ۵۶، ۴۲، ۴۹، ۳۶، ۱۵، ۳۳، ۲۹، ۱۷ و ۱۶ روز ثبت شده است. با مطابقت اطلاعات هواشناسی و محیط‌زیست تنها ۲۴ روز در هر دو ارگان به‌عنوان روز آلوده ثبت شده است. در سناریو دوم، ۳۰۷ روز گردوغباری در ۱۰ سال اخیر دارای ذرات معلق بالاتر از استاندارد بوده و توسط دستگاه‌های سنجش کیفیت هوای اداره محیط‌زیست ثبت شده است (ایستگاه همدان ۱۹ روز، نهاوند ۶۶ روز، ملایر ۸۷ روز، کبودرآهنگ ۱۳۵ روز). در سناریو سوم، ۲۳۱ روز آلوده ثبت شده است که در ایستگاه همدان ۴ روز، در ایستگاه نهاوند ۴۹ روز (به‌صورت ۱۹ دوره چندروزه)، ایستگاه ملایر ۷۹ روز (به‌صورت ۶ دوره چندروزه) و ایستگاه کبودرآهنگ ۹۹ روز (به‌صورت ۱۲ دوره چندروزه) مشاهده شده است. جهت تهیه نقشه رقومی شدت غلظت ذرات در برخاستگاه‌های استان و محدوده اثرگذار، در مجموع، برای سناریو اول ۴۸ تصویر، برای سناریو دوم ۶۱۰ تصویر و برای سناریو سوم ۳۲۲ تصویر از ماهواره‌های ترا و آکوا دانلود و پردازش شد. سایر تصاویر به دلیل پوشش ابر و یا عدم وجود ذرات معلق بر روی تصاویر حذف شدند.

1 Backward

2 Escudero

3 GDAS: Global Data Administration System

### ۳-۲- غلظت ذرات معلق، شناسایی برخاستگاه و مدل‌سازی حرکت طوفان‌های گردوغبار با تصاویر مادیس

نتایج مربوط به بازسازی غلظت ذرات معلق (شاخص AOD) بر روی تصاویر پردازش شده در بازه زمانی ۱۰ ساله نشان داد که چگالی ذرات در محدوده ۰/۹۸-۰/۲ متغیر است. تراکم آئروسول زیر ۰/۳ نشان‌دهنده آسمانی صاف و شفاف و فاقد گردوغبار و تراکم بالاتر از ۰/۵ بیانگر وقوع گردوغبار، کاهش دید و افزایش عمق اپتیکی است. برآیند مسیر حرکت ذرات برای تمام‌روزهای گردوغباری در هر سه سناریو به‌عنوان مسیر حرکت طوفان‌های گردوغبار تعیین شد. نتایج تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در سناریوهای مختلف و مدل‌سازی روند حرکت ذرات گردوغبار با مدل‌های اسپلینت نشان داد که به‌طورکلی تمامی مسیرهای گردوغبار استان همدان از سه الگوی داخل استان، خارج استان و خارج از کشور تبعیت می‌کنند. -خطوط رنگی (آبی، قرمز و سبز) مسیرهای پیش‌بینی شده حرکت طوفان‌های گردوغبار را در تاریخ‌های مشخصی نشان می‌دهند؛ به‌طوری‌که مدل‌های اسپلینت برای هر روز آلوده سه مسیر طوفان گردوغباری را پیش‌بینی می‌کند و برآیند مسیرهای پیش‌بینی شده به‌عنوان کانون مولد گردوغبار معرفی می‌شوند.

**الگوی داخل استان:** با توجه به برآیند تحلیل‌های انجام شده، جهت‌های وزش باد، سطح اثرگذاری رخدادهای گردوغبار و مدل‌سازی انجام شده موارد معدودی از رخدادهای گردوغباری استان همدان دارای منشأ داخل استانی هستند. عمده‌ترین احتمال وقوع الگوی داخل استان در **شکل (۳)** نمایش داده شده است.

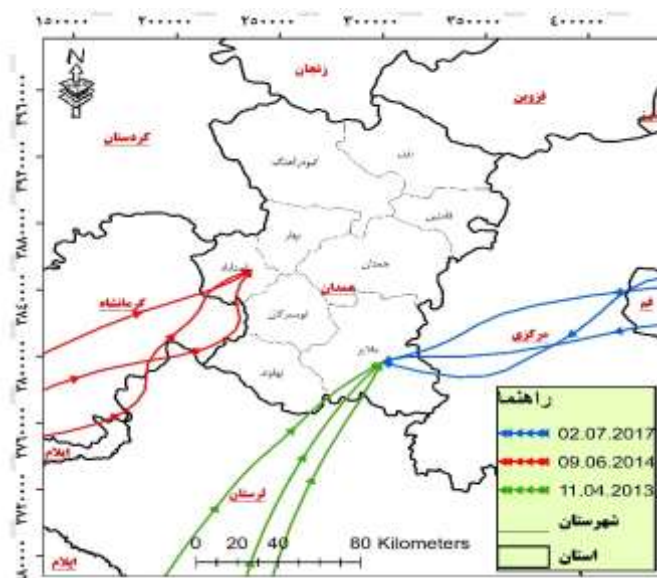


شکل ۳- الگوی حرکت ذرات در مدل‌های اسپلینت برای روز وقوع طوفان گردوغبار در داخل استان (الگوی

اول)

**الگوی خارج از استان:** بخش مهمی از گردوغبارهای استان همدان از استان‌های مجاور و استان‌های دورتر منشأ می‌گیرند. مدل‌سازی‌های اسپلینت نشان داد که بخش اعظم گردوغبارها از استان‌های واقع در غرب و جنوب غربی

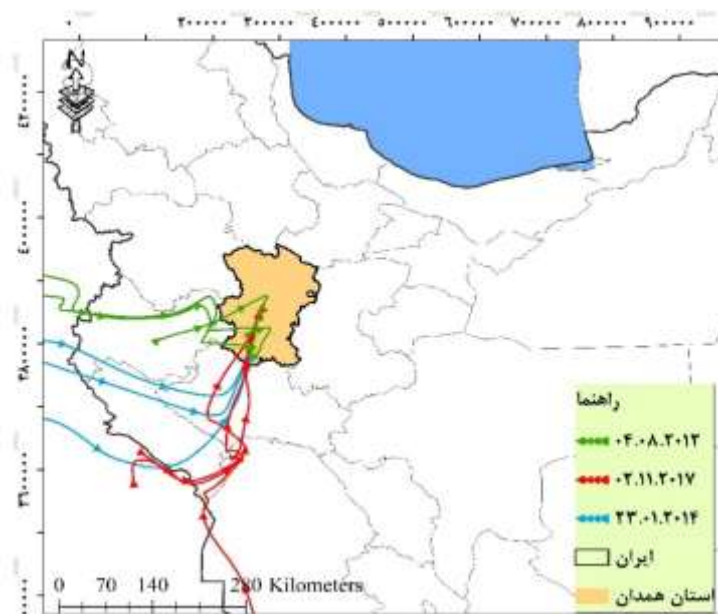
استان همدان وارد می‌شوند. بخش دیگری نیز از استان‌های واقع در شرق و شمال شرقی محدوده مطالعاتی و نواحی مرکزی ایران منشأ می‌گیرند. الگوی کلی این حرکت‌ها در **شکل (۴)** نشان داده شده است.



شکل ۴- الگوی حرکت ذرات در مدل‌های اسپلیت برای روز وقوع طوفان گردوغبار در خارج از استان (الگوی

دوم)

**الگوی خارج از کشور:** در چند سال اخیر به دلیل وقوع حوادث سد در کشورهای ترکیه، سوریه و ایران و همچنین تغییرات رژیم آبی و همچنین خشکسالی حاکم در منطقه سبب خشک شدن بسیاری از تالاب‌ها، از بین رفتن پوشش گیاهی و خشک شدن منطقه گردیده است. از طرفی در اثر تماس باد با خاک، گردوغبار به صورت ریزدانه از سطح زمین بلند و به سمت ایران منتقل می‌شوند. بررسی مسیرهای حرکت ذرات گردوغبار با استفاده از داده‌های هواشناسی نشان داد که دو مسیر، گردوغبار را با منشأ خارجی به داخل استان همدان منتقل می‌کنند (**شکل ۵**). مسیر اول از غرب که گردوغبار را از عراق به ایران منتقل می‌کند ممکن است دارای منشأ عراق، سوریه، اردن، یا بخش‌هایی از ترکیه باشد که از طریق مرز عراق وارد ایران و نهایتاً وارد استان همدان می‌شوند. مسیر دوم از جنوب غرب گردوغبار را از شبه‌جزیره عربستان و یا بخش‌های جنوبی کشور عراق (در مجاورت استان خوزستان) منتقل می‌کنند و دلیل اصلی این طوفان‌ها می‌تواند خشک شدن تالاب‌های مرزی و عدم مدیریت صحیح مناطق خشک در کشورهای همسایه است.



شکل ۵- الگوی حرکت ذرات در مدل های اسپلیت برای روز وقوع طوفان گردوغبار در خارج از ایران (الگوی سوم)

#### ۴- نتیجه گیری

به طور کلی سالانه استان همدان در معرض طوفان های متعددی با منشأ محلی منطقه ای و همچنین فرامنطقه ای است. وقوع طوفان در مناطق خشک از جمله استان همدان سبب افزایش ذرات معلق نسبت به حد آستانه شده و این موضوع اثرهای منفی بر سلامت انسان دارد؛ بنابراین، یکی از راهکارهای اساسی در کنترل آلودگی هایی نظیر طوفان های گردوغباری شناسایی منبع آلودگی است. از جمله روش های شناسایی برخاستگاه ها استفاده از روش های سنجش ازدور و مدل های عددی مسیر انتقال جریان هوا است. سنجش ازدور با فراهم آوردن تصاویر با پوشش وسیع و تکرار زیاد مطالعات گردوغبار را با سرعت و دقت زیاد عملی نموده است و در حال حاضر مناسب ترین ابزار برای بررسی این پدیده است؛ به طوری که اطلاعات زیادی را در زمینه مشخصات طیفی گردوغبار از جمله شناسایی گردوغبار، پایش و ردیابی مسیر گردوغبار، شناسایی کانون های ایجاد گردوغبار و برآورد شدت گردوغبار فراهم می کنند. لذا در این پژوهش به استفاده از سنجش ازدور و اطلاعات هواشناسی جهت مسیریابی طوفان های گردوغباری غرب کشور پرداخته شد. در پژوهش حاضر از شاخص AOD در شناسایی کانون های گردوغبار استفاده شد که مشاهدات میدانی صحت بالای آن را نشان دادند. میری و همکاران (۱۳۹۶) و دانیالی و همکاران (۱۳۹۷) نیز در پژوهش خود در سال ۱۳۹۶ به این امر اشاره کرده اند که عمق اپتیکی آئروسول شاخصی توانمند در نشان دادن ذرات معلق به خصوص گردوغبار است. از طرفی دیگر، فاریابی و همکاران (۱۳۹۸) نیز نشان دادند که نقشه های AOD با استفاده از روش مستقیم، توزیع مکانی بسیار خوب الگوی آئروسول محلی در مقایسه با روش های دیگر را نشان

می‌دهد؛ اما مشابه پژوهش **رایگانی و خیراندیش (۱۳۹۶)** تصاویر مادیس به دلیل مشکلاتی از جمله توان تفکیک پایین ممکن است در مقایسه با تصاویری با توان تفکیک بالا در شناسایی دقیق کانون تولید ریزگرد کارآمد نباشد. همچنین، در این پژوهش مشابه گزارش ناسا مقدار  $0/3$  به عنوان آستانه گردوغبار در نظر گرفته شده است؛ در صورتی که در پژوهش **دانیالی و همکاران (۱۳۹۷)** عمق اپتیکی بالاتر از  $0/5$  به عنوان معیاری از وقوع طوفان گردوغباری در نظر گرفته شده است. در مجموع ۲۵۰ رخداد گردوغبار در بازه زمانی مورد مطالعه بررسی شد که این رخدادها از موارد وسیع که تمام یا بخش‌های عمده‌ای از استان را در برمی‌گرفت تا مواردی با دامنه بسیار محدود را شامل شده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش نیز با نتایج سایر پژوهش‌های **میری و همکاران (۱۳۹۳)**؛ **دانیالی و همکاران (۱۳۹۷)** که مسئله مسیریابی گردوغبار با استفاده از مدل‌سازی های اسپلیت را بررسی کرده‌اند مطابقت دارد و نشان دهنده این موضوع است که این مدل در مسیریابی گردوغبار موفق عمل کرده است؛ از این رو نتایج حاصل از خروجی مدل‌سازی های اسپلیت نیز نشان داد که منشأ گردوغبارهای استان همدان در طوفان‌های بررسی شده دارای چهار مسیر کلی است. عمده‌ترین بخش ورودی استان، از محور جنوب و جنوب غرب استان است که منتقل‌کننده گردوغبارهای با منشأ خارج از استان و خارج از کشور است. در این پژوهش نیز با توجه به تحقیقات مشابهی از جمله **فلاح زوزولی و همکاران (۱۳۹۳)** نواحی غربی و جنوب غربی ایران از جمله ترکیه، عراق، سوریه، اردن و عربستان کانون‌های اصلی ورود گردوغبار به داخل کشور هستند که متعاقباً استان‌های مرزی متأثر از این پدیده می‌گردند. دیگر مسیر ورودی از شرق استان و بخشی نیز از شمال شرق و از استان قزوین به داخل استان وارد می‌شود. به‌طور کلی، عمده رخدادهای گردوغبار منشأ خارج از استان دارند ولی می‌توان مواردی (حداکثر ۱۸ مورد) در داخل محدوده مطالعاتی دانست. به‌طور کلی، بخش قابل توجهی از کانون‌های شناسایی شده در خارج از مرز سیاسی استان و در داخل بافر ۱۵ کیلومتری در استان‌های مجاور قرار گرفته است که به‌رحال تأثیر آن در بروز پدیده گردوغبار در داخل استان همدان انکارناپذیر است. از این رو بخش‌هایی از استان‌های کردستان، مرکزی، خوزستان و همچنین استان زنجان از مهم‌ترین بخش‌های تأثیرگذار در بروز و انتقال گردوغبار به داخل استان هستند. در داخل استان نیز بخش‌هایی از شهرستان‌های فامنین، ملایر و رزن نیازمند مدیریت جدی جهت کنترل پدیده گردوغبار در آینده هستند. مشاهدات میدانی نیز نشان از صحت بالای تصاویر و مدل‌های هواشناسی در شناسایی برخاستگاه‌های گردوغبار است؛ از این رو امروزه ترکیب مدل‌های هواشناختی و مسیریابی یکی از روش‌های متداول در مطالعات عددی طوفان‌های گردوغبار است و از کاربردی‌ترین مدل‌ها مدل‌های اسپلیت است و نقطه قوت این پژوهش استفاده از پروداکت‌های تصویر مادیس در شناسایی کانون‌های گردوغبار است.

## کتابنامه

- ارجمند، مریم؛ راشکی، علیرضا؛ سرگزی، حسین. (۱۳۹۷). پایش زمانی و مکانی پدیده گردوغبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق ایران با تأکید بر منطقه جازموریان. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۷، شماره ۱۰۶، ۱۵۳-۱۶۸  
DOI: 10.22131/SEPEHR.2018.32339
- جبالی، عاطفه؛ زارع، محمد؛ اختصاصی، محمدرضا؛ جعفری، رضا. (۱۳۹۹). بررسی گستره تغییرپذیری دید افقی مناطق متأثر از رخدادهای گردوغبار در استان یزد. نشریه مدیریت بیابان، شماره ۱۵، ۲۱-۳۶.  
DOI: 10.22034/JDMAL.2020.44927
- دانیالی، محمد؛ محمدنژاد، بایرامعلی؛ کریمی، نعمت‌الله. (۱۳۹۷). تحلیل مکانی گردوغبار استان خوزستان به کمک تصاویر ماهواره‌ای. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۹، شماره ۱، ۷۳-۵۷.  
[https://girs.bushehr.iau.ir/article\\_540416.html](https://girs.bushehr.iau.ir/article_540416.html)
- رایگانی، بهزاد؛ خیراندیش، زهرا. (۱۳۹۶). بهره‌گیری از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای به منظور اعتبارسنجی کانون‌های شناسایی شده تولید گردوغبار استان البرز. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۴، شماره ۴، ۱-۱۸  
<http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2683-fa.html>
- رجبلو، علی؛ آقا محمدی، حسین؛ رحیم زادگان، مجید؛ رجایی، محمدعلی. (۱۳۹۷). تجزیه و تحلیل و تولید نقشه پهنه‌بندی کیفی هوای شهر تهران با استفاده از داده پایش زمینی و RS. مجله کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور در برنامه‌ریزی، دوره ۹، شماره ۴، ۶۹-۸۲.  
[https://gisrs.semnan.iau.ir/article\\_665875.html](https://gisrs.semnan.iau.ir/article_665875.html)
- ززولی، فلاح؛ وفایی نژاد، علیرضا؛ خیرخواه زرکش، میرمسعود؛ احمدی دهکا، فریبرز. (۱۳۹۳). منشأ یابی گردوغبار غرب و جنوب غرب ایران و تحلیل سینوپتیکی آن با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۵، شماره ۴، ۷۸-۶۱.  
[https://girs.bushehr.iau.ir/article\\_516681.html](https://girs.bushehr.iau.ir/article_516681.html)
- فاریابی، آذر؛ متین فر، حمیدرضا؛ علوی پناه، سید کاظم؛ نوروزی، علی‌اکبر. (۱۳۹۸). شناسایی گردوغبار در نواحی غرب و جنوب غرب ایران بر مبنای الگوریتم سنجه DAI و داده‌های طیفی سنجنده مودیس. فصلنامه علوم محیطی، دوره ۱۷، شماره ۳، ۱۶۲-۱۵۱  
<https://dx.doi.org/10.29252/envs.17.3.151>
- میری، پروین؛ راشکی، علیرضا؛ سپهر، عادل. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های گردوغبار در شرق خراسان بر پایه داده‌های ماهواره‌ای. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۳، ۲۰-۱.  
<https://dx.doi.org/10.22067/geo.v6i3.54464>
- میری، مرتضی؛ عزیزی، قاسم؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۳۹۳). شناسایی الگوهای گردش جوی تابستانه و زمستانه ورود گردوغبار به غرب ایران. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۵، شماره ۴(۵۶)، ۲۲۰-۲۰۳.  
<https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1393.25.4.12.0>

- یارمرادی، زهرا؛ نصیری، بهروز؛ محمدی، غلامحسین؛ کرمپور، مصطفی. (۱۳۹۸). تحلیل و ردیابی مسیرهای ورود طوفان‌های گردوغبار به شرق ایران با استفاده از مدل پخش ذرات لاگرانژی ذرات HYSPLIT. پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۹، شماره ۱، ۲۷-۴۴. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1398.9.1.3.7>
- Air Resources Laboratory., 2021. <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/trajsrc.pl?trjtype=4>
- Ashrafi K, Shafiepour-Motlagh M, Aslemand A, Ghader S., 2014. Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Journal of environmental health science and engineering*, 12(1):9  
DOI: 10.1186/2052-336X-12-9
- Baghbanan P, Ghavidel Y, Farajzadeh M., 2020. Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1–14.  
DOI: 10.1007/s00703-020-00728-3
- Bolorani AD, Samany NN, Mirzaei S, Bahrami HA, Alavipanah SK., 2020. Remote Sensing and GIS for Dust Storm Studies in Iraq. In: *Environmental Remote Sensing and GIS in Iraq*. Springer, 333–75 p. DOI: 10.1007/978-3-030-21344-2\_14
- Cao H, Amiraslani F, Liu J, Zhou N., 2015. Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502:224–35. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.09.025
- Escudero M, Stein A, Draxler RR, Querol X, Alastuey A, Castillo S, Avila A., 2006. Determination of the contribution of northern Africa dust source areas to PM10 concentrations over the central Iberian Peninsula using the Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT) model. *Journal of Geophysical Research*, 111. DOI: 10.1029/2005JD006395
- Esmaili O, Tajrishy M, Arasteh PD., 2006. Evaluation of dust sources in Iran through remote sensing and synoptical analysis. *Int. J.*, Vol. x, No. x.
- Farebrother W, Hesse PP, Chang H-C, Jones C., 2017. Dry lake beds as sources of dust in Australia during the Late Quaternary: A volumetric approach based on lake bed and deflated dune volumes. *Quaternary Science Reviews*, 161:81–98.  
DOI: 10.1016/j.quascirev.2017.02.019
- Hahnenberger M, Nicool K., 2012. Meteorological characteristics of dust storm events in the eastern Great Basin of Utah, U.S.A. *Atmospheric Environment*, 60: 601-612.  
DOI:10.1016/j.atmosenv.2012.06.029
- Heidarian P, Azhdari A, Joudaki M, Khatooni JD, Firoozjaei SF., 2018. Integrating Remote Sensing, GIS, and Sedimentology Techniques for Identifying Dust Storm Sources: A Case Study in Khuzestan, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(7):1113–24.  
DOI: 10.1007/s12524-018-0774-2
- Johanston F, Hanigan I, Henderson S, Morgan G, Bowman D., 2011. Extreme air pollution events from brushfires and dust storms and their association dust events (2005-2010) over South-Eastern Spain. *Journal of Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(3), 59-622.  
DOI: 10.1016/j.envres.2011.05.007
- Kenneth W, Warner CF, Davis W., 1998. *Air pollution, its origin and control*. Third Edition, Eddison Wesley, USA, 168.
- Menéndez I, Diaz-Hernandez JL, Mangas J, Alonso I, Sánchez-Soto PJ., 2007. Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Environments*, 71(1):57–81. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2007.03.011



- Momtaz AM, Choobchian S, Farhadian H., 2019. MEASURING THE AMOUNT OF FARMERS' RESILIENCE IN FACING CLIMATE CHANGE IN IRAN (CASE OF: HAMEDAN PROVINCE). *Plant Archives*, 19(2):1698–704.
- Muhs DR. 2013. The geologic records of dust in the Quaternary. *Aeolian Research*, 9:3–48.  
DOI: [10.1016/J.AEOLIA.2012.08.001](https://doi.org/10.1016/J.AEOLIA.2012.08.001)
- NASA, 2019. <https://worldview.earthdata.nasa.gov/?v=-67.82695804473344,-42.12246791905239,162.48166343467085,57.73791092553308&t=2021-04-13-T13%3A40%3A26Z>
- Nouri H, Faramarzi M, Sadeghi SH, Nasserli S., 2019. Effects of regional vegetation cover degradation and climate change on dusty weather types. *Environmental Earth Sciences*, 78(24):723. DOI: [10.1007/s12665-019-8763-5](https://doi.org/10.1007/s12665-019-8763-5)
- Shan W, Yin Y, Lu H, Liang S., 2009. A meteorological analysis of ozone episodes using HYSPLIT model and surface data. *Atmospheric Research*, 93(4):767–76  
DOI: [10.1016/j.atmosres.2009.03.007](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2009.03.007)
- Taghavi F, Oulad E, Ackerman SA., 2017. Enhancement and identification of dust events in the south-west region of Iran using satellite observations. *Journal of Earth System Science*, 126(2):28. DOI: [10.1007/s12040-017-0808-0](https://doi.org/10.1007/s12040-017-0808-0)
- Wang H, Jia X, Li K, Li Y., 2015. Horizontal wind erosion flux and potential dust emission in arid and semiarid regions of China: A major source area for East Asia dust storms. *Catena*, 133:373–84. DOI: [10.1016/j.catena.2015.06.011](https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.06.011)
- Wong S, Dessler AE., 2005. Suppression of deep convection over the tropical North Atlantic by the Saharan Air Layer. *Geophysical research letters*, 32(9). DOI: [10.1029/2004GL022295](https://doi.org/10.1029/2004GL022295)
- Xu C, Guan Q, Lin J, Luo H, Yang L, Tan Z., 2020. Spatiotemporal variations and driving factors of dust storm events in northern China based on high-temporal-resolution analysis of meteorological data (1960–2007). *Environmental Pollution*, 260:114084.  
DOI: [10.1016/j.envpol.2020.114084](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114084)
- Xuan J, Sokolik IN, Hao J, Guo F, Mao H, Yang G., 2004. Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmospheric Environment*, 38(36):6239–52. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2004.06.042](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.06.042)
- Zhang Y, Liu Y, Kucera PA, Alharbi BH, Pan L, Ghulam A., 2015. Dust modeling over Saudi Arabia using WRF-Chem: March 2009 severe dust case. *Atmospheric Environment*, 119:118–30. DOI: [10.1016/j.atmosenv.2015.08.032](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.032)