



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



پایش طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره‌ای در شهرستان رفسنجان

پری‌ناز غیاثی‌نیا^{۱*}، حسین شیرانی^۲، فرشاد فتحیان^۲، کلبای برونگرد^۴

*۱- دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک و ارزیابی اراضی دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

(P.ghiasi1991@yahoo.com)

۲- استاد گروه علوم و مهندسی خاک دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۴- دانشیار گروه مهندسی محیط‌زیست دانشگاه نیومکزیکو آمریکا

چکیده:

طوفان‌های گردوغبار از پدیده‌های مهم جوی هستند که به دلیل ورود ذرات معلق ریزگرد به درون جو به وسیله بادهایی با سرعت زیاد، شرایط آب و هوایی خشک و خاک لخت و برهنه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به وجود می‌آیند. پژوهش حاضر با هدف پایش طوفان‌های گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس در سامانه گوگل ارث انجین برای شهرستان رفسنجان انجام گردید. بدین منظور با استفاده از میانگین شاخص AOD سنجنده ترا و آکوا اقدام به رسم نمودار سری زمانی غلظت گردوغبار برای دوره زمانی ۱۸ ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۰) گردید. نتایج نشان داد که شدیدترین طوفان گردوغبار در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ با میانگین غلظت AOD به ترتیب ۲/۰۲، ۱/۵۵ و ۱/۱ رخ داده است. با توجه به این که طوفان گرد و غبار عمدتاً یک پدیده اقلیمی است، با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، اقدام به بررسی ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و وقوع طوفان‌های گردوغبار (توسط بررسی میانگین غلظت AOD) نمودیم. نتایج نشان داد که دمای بیشینه و سرعت باد، دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و بارش و دمای کمینه، دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با میانگین غلظت AOD می‌باشد. در نهایت، نتایج این پژوهش نشان داد که خشکسالی و تغییرات اقلیمی موجب تشدید قابل توجه طوفان‌های گردوغبار در شهرستان رفسنجان گردیده است.

واژگان کلیدی: رطوبت نسبی، سری زمانی گرد و غبار، سنجنده ترا و آکوا، فرسایش خاک، ماهواره مادیس

مقدمه

پدیده طوفان گرد و غبار از مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی جهان امروز است که هر ساله خسارت‌های جبران ناپذیری را بر بخش‌های گوناگون، از جمله محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها وارد می‌کند. طوفان‌های گرد و غباری اثرات مضر بر سلامت اقتصادی جامعه و تغییر اقلیم دارند (شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹). طوفان‌های گرد و غبار از پدیده‌های مهم جوی هستند که به دلیل ورود ذرات معلق ریزگرد به درون جو آثار بسیار مهمی در زمینه‌های زیست‌محیطی، بهداشتی و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی دارند. طوفان‌های گرد و غبار موجب تیرگی هوا، کاهش میدان دید افقی یا عمودی شده و رطوبت نسبی هوا کم‌تر از ۸۰ درصد می‌شود (جابری و خسروی، ۱۳۹۵). ذرات ریز گرد و غبار (ریزگردها) دارای اندازه‌های متفاوتی می‌باشند که از جمله مهم‌ترین آن‌ها ذرات ۱۰۰ میکرون، کم‌تر از ۱۰ میکرون که توانایی ورود به مخاط چشم، حلق و بینی را دارا می‌باشند و



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



سبب تشدید آسم و برونشیت می شوند و به PM^{10} معروفند، ذرات کم تر از $2/5$ میکرون که تا مدت ها در هوا معلق می مانند

9

¹ Particulate Matter

وارد کوچک‌ترین مجاری هوایی ریه شده و سبب التهاب ریه می‌شوند که به PM2.5 نیز معروف می‌باشند و ذرات کم‌تر از ۱ میکرون که از طریق نفوذ به عمق ریه وارد سیستم گردش خون شده و مسبب سرطان ریه، حملات قلبی و سگته‌های مغزی می‌شوند (Al-Hurban & Al-Ostad, 2010). ذرات PM2.5 عموماً ناشی از سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز و زغال‌سنگ می‌باشند. از اصلی‌ترین عوامل ایجاد این پدیده، می‌توان به وزش بادهای به نسبت شدید بر روی بیابان‌های دارای شرایط مساعد برای ایجاد گرد و غبار اشاره کرد. این عوامل به همراه حرکت صعودی هوای ناشی از سامانه‌های جوی، انتقال قائم ذرات گرد و خاک معلق به ترازهای بالاتر جو را فراهم می‌کند (رنجبرسعدت‌آبادی و عزیزی، ۱۳۹۱). فراوانی وقوع گرد و غبار در یک منطقه، علاوه بر شدت و سرعت باد و خشکی ذرات خاک، به اندازه و قطر ذرات نیز بستگی دارد (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹). طوفان گرد و غبار در دهه‌های اخیر یکی از چالش‌های زیست‌محیطی در ایران، غرب و جنوب‌غرب آسیا می‌باشد که از پیامدهای خشکسالی و تغییر اقلیم است (عراقی‌زاده و مسعودیان، ۱۴۰۰). جهت مطالعه منشاء و مناطق تحت پوشش طوفان‌های گرد و غبار، استفاده از ابزارها و تکنیک‌های سنجش از دور ضروری است (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۷) و با استفاده از شاخص‌هایی از قبیل عمق اپتیکی آئروسول^۲ (AOD) که یکی از شاخص‌های پرکاربرد برای تحلیل و پایش ذرات معلق موجود در جو است، می‌توان به‌طور نسبتاً دقیق مناطق تحت تاثیر طوفان گرد و غبار را مشخص کرد (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۴). شاخص AOD به لحاظ دقت در تشخیص و گستره زمانی و مکانی، امکان پایش زمانی و مکانی گرد و غبار در پهنه وسیع را فراهم می‌کند (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۷). تکنولوژی سنجش از دور نیز به‌دلیل پوشش وسیع و مداوم در مکان‌هایی که بلاای طبیعی محیطی مثل طوفان گرد و غبار به‌سرعت حادث می‌شوند، بسیار کارآمد می‌باشند و پایش خوبی را انجام می‌دهند. لذا سنجنده مادیس^۳ از ماهواره‌های آکوا^۴ و ترا^۵، با سطح پوشش مکانی بالا و تکرار تصویربرداری روزانه، بهترین گزینه برای مطالعه طوفان گرد و غبار است. یکی از محصولات سنجنده مادیس، عمق اپتیکی آئروسول (AOD) است که در سال‌های اخیر به‌منظور منشایابی و تعیین مناطق تحت تاثیر هجوم و طوفان‌های گرد و غبار به‌طور گسترده مورد توجه و استفاده پژوهشگران قرار گرفته است (Sorek-Hamer *et al.*, 2015).

پژوهش‌های متعددی در راستای بررسی طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه گوگل ارث انجام شده است. در این زمینه، فتح‌اله‌زاده و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به‌منظور بررسی و وقوع طوفان‌های گرد و غبار شهرستان زابل، از شاخص AOD منطقه در سامانه گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره‌ای مادیس در بازه زمانی ۲۰۱۲-۲۰۲۳ استفاده نمودند. نتایج ایشان بیان‌گر وقوع طوفان‌های شدید گرد و غبار در سال‌هایی است که خشکسالی و کمبود بارش اتفاق بود. هم‌چنین Liu و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره‌ای مادیس (شاخص AOD) به ارزیابی طوفان‌های گرد و غبار با استفاده از تغییرات غلظت شاخص AOD در پکن چین پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بالاترین غلظت عناصر جوی (AOD) و وقوع طوفان گرد و غبار مربوط به سال‌هایی است که میزان بارندگی نسبت به میانگین سالانه کم‌تر است (وقوع خشکسالی). منصورمقدم و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین به پایش و پیش‌بینی زمانی و مکانی گرد و غبار معلق در جو استان قزوین پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر ارتباط معکوس بین میزان بارش، رطوبت نسبی و پوشش گیاهی منطقه با میزان غلظت شاخص گرد و غبار (AOD) منطقه است. Ayyamperumal و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین به آنالیز تغییرات غلظت گرد آئروسول‌ها در مناطق جنوبی هند پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیش‌ترین میزان غلظت عناصر جوی، پیش از شروع بارندگی‌های منطقه بوده است. شهرستان رفسنجان نیز به‌دلیل قرار گرفتن در منطقه خشک و میانگین بارش سالانه زیر ۱۲۰ میلی‌متر، موقعیت قرارگیری، وجود تپه‌های ماسه‌ای روان در شمال‌شرق شهرستان (منطقه داوران)، در سال‌های اخیر شاهد افزایش پدیده گرد و غبار بوده است. نکته قابل توجه این است که باتوجه به وجود کانون داخلی فرسایش بادی (منبع تولید گرد و غبار) موجود در شهرستان رفسنجان، مطالعات محدودی در راستای شناسایی و کنترل پدیده طوفان گرد و غبار به‌خصوص توسط تصاویر ماهواره‌ای در

² Aerosol optical depth

³ MODIS

⁴ Aqoa

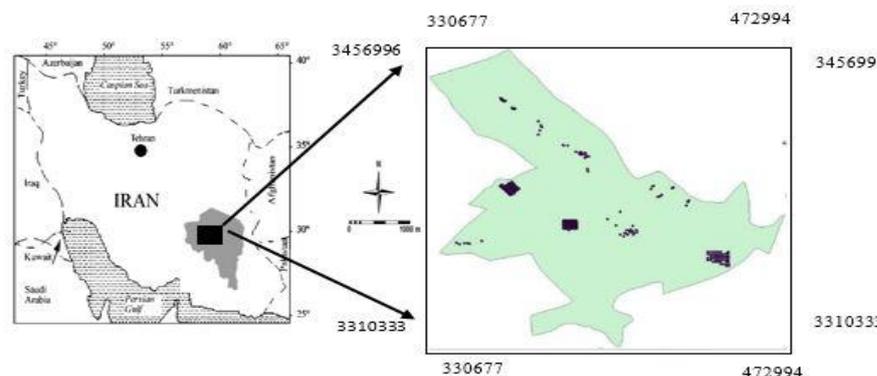
⁵ Terra

شهرستان مذکور انجام شده است. بنابراین با توجه به مخاطرات پدیده طوفان گرد و غبار و اثرات سوء آن، پژوهش حاضر با هدف بررسی طوفان‌های چندسال اخیر شهرستان رفسنجان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و علل رخداد آن‌ها انجام گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شهرستان رفسنجان با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۶ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۱ درجه شمالی و با وسعتی حدود ۷۶۷۸ کیلومتر مربع در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان کرمان، در منطقه‌ای پست به لحاظ ارتفاعی واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۵۲۸ متر است (شکل ۱). براساس داده‌های هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی شهرستان رفسنجان طی یک دوره آماری ده ساله (۱۳۹۹-۱۳۸۹)، متوسط سالانه دمای رفسنجان ۱۹/۶ درجه سلسیوس است و مجموع بارندگی سالیانه در منطقه رفسنجان ۱۱۰/۷ میلی‌متر می‌باشد؛ به گونه‌ای که براساس روش طبقه‌بندی اقلیمی به روش دومارتن، منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای خشک است. همچنین جهت وزش بادهای غالب منطقه از سمت جنوب غربی به شمال شرقی می‌باشد. به‌طور کلی، منطقه مورد مطالعه شامل کاربری‌های باغ پسته، اراضی باغی رهاشده، اراضی تحت کشت تاغ، اراضی مسکونی و اراضی بایر می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی (شهرستان رفسنجان)

مطالعات نرم‌افزاری

برای پایش پدیده طوفان گرد و غبار در شهرستان رفسنجان، با استفاده از اسکریپت‌نویسی در محیط نرم‌افزار گوگل ارث انجین اقدام به فراخوانی پروداکت مربوط به شاخص ریزگردها (AOD) (پروداکت MCD19A2.006 و بهره‌گیری از الگوریتم MAIAC) بر روی تصاویر ماهواره‌ای ترا و آکوا از سنجنده مادیس در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ شد (جدول ۱)؛ که به‌صورت نمودار سری زمانی میانگین تراکم آئروسول‌ها در مقیاس مکانی شهرستان رفسنجان و محدوده اثرگذار جهت پایش گرد و غبار در محدوده زمانی مورد مطالعه گردید. داده‌ها شامل مجموعه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای با یک زمان شروع و یک زمان پایان مشخص بودند که به‌صورت مجموعه‌ای از تصاویر فراخوانی شده در یک فیلتر زمانی (سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷) و مکانی (مرز شهرستان رفسنجان) اجرا گردید. سپس روند تغییرات ماهانه AOD برای پایش غلظت آئروسول‌ها در سال‌های مورد نظر استخراج و به‌صورت نمودار سری زمانی گرد و غبار ترسیم گردید (با استفاده از اسکریپت‌نویسی و تابع Reduse.median() برای کاهش اثر داده‌های پرت، از میانه برای رسم نمودار سری زمانی استفاده شده است).

برای ارزیابی صحت داده‌های AOD محاسبه شده توسط ماهواره مادیس در این پژوهش، ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر ماهواره‌ای به‌دست آمده و داده‌های ایستگاه هواشناسی رفسنجان در روزهای طوفانی شناخته شده که افزایش غلظت

داده‌های معلق (AOD) ثبت شده بود (بر مبنای دید کمتر از ۱۰۰۰ متر)، محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بین دو مجموعه داده، رابطه معنی‌داری با ضریب همبستگی $r = 0.72$ ($p < 0.05$) وجود دارد که بیان‌گر تطابق خوب داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های زمینی است.

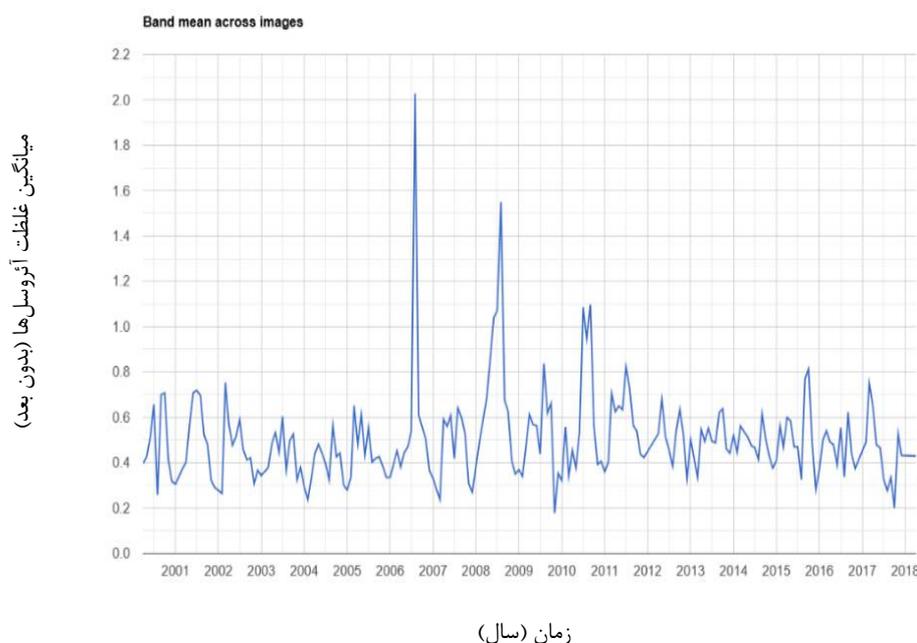
هم‌چنین لازم به ذکر است، از مهم‌ترین مزیت پروداکت مورد استفاده در پژوهش حاضر (پروداکت MCD19A2.006) این است که داده‌ها (AOD) به‌طور خودکار با اعمال فیلترهای مختلف پردازش شده‌اند تا اثرات ابرها (با فیلتر Cloud Masking) و دیگر مشکلات مربوط به کیفیت داده‌ها شناسایی و کاهش یابد.

جدول ۱- مشخصات محصولات ترا-آکوا ماهواره مادیس برای شاخص گرد و غبار (AOD)

شاخص	سنجنده-ماهواره	مجموعه تصاویر	محصول	تفکیک مکانی	تفکیک زمانی
AOD	مودیس-ترا/آکوا	MODIS/006/MCD19A2/GRANULES	MCD19A2.006: Terra & Aqua MAIAC Land Aerosol Optical Depth Daily 1km	۱ Km	۸ روزه

نتایج و بحث

روند تغییرات سالانه شاخص AOD در طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۰ بر روی تصاویر ماهواره‌ای مادیس در شکل (۱) نشان داده شده است. شایان ذکر است که AOD، یک تخمین غیرمستقیم از انباشت ذرات اتمسفری (آئروسول‌ها) در یک ستون عمودی است، به طوری که میزان تضعیف اشعه ورودی خورشید را نشان می‌دهد (Shirazi et al., 2019). هم‌چنین AOD معیاری برای تحلیل پدیده گرد و غبار در یک منطقه می‌باشد که شاخصی بدون بعد است. به‌طور کلی افزایش این شاخص بیان‌گر انباشت بالای هواویزها در ستون جو (افزایش گرد و غبار) و در نتیجه دید افقی کمتر در منطقه است؛ به طوری که مقادیر AOD بالاتر (۱/۵- و بیش‌تر از ۱) نشان‌دهنده مقدار بالای غلظت آئروسول‌ها موجود در اتمسفر و مقادیر پایین‌تر و نزدیک به صفر (پایین‌تر از ۰/۳ و نزدیک به صفر) نشان‌دهنده هوای صاف و پاک است.



شکل ۲- نمودار سری زمانی غلظت آئروسول‌ها (AOD) سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۰ شهرستان رفسنجان

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، درصد تغییرات غلظت گرد و غبار موجود در هوا در یک دوره هیجده ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ نشان داده شده است. با توجه به شکل مذکور، مشخص است که بیش‌ترین پیک‌های گرد و غبار مربوط به سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ می‌باشد که در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸ در ماه جولای و در سال ۲۰۱۰ در ماه آگوست پیک غلظت AOD ثبت شده است. میانگین غلظت AOD برای سال ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ به ترتیب برابر با ۲/۰۲، ۱/۵۵ و ۱/۱ می‌باشد. میانگین غلظت AOD بیش‌تر از ۱ نشان‌دهنده طوفان‌های بسیار شدید گرد و غبار در این سال‌ها در منطقه مطالعاتی می‌باشد. فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار و به‌دنبال آن خیزش ریزگردها تابع شرایط دمایی و بارش (ویژگی‌های سینوپتیکی) غالب بر منطقه می‌باشد. با بررسی آمار ماهانه و سالانه اداره هواشناسی مربوط به میانگین بارندگی و رطوبت نسبی، مشخص گردید در سه سال مذکور، میزان بارندگی و رطوبت نسبی نسبت به میانگین بلندمدت به‌شدت کاهش یافته و به بیان دیگر خشک‌سالی رخ داده است (آمار اداره هواشناسی شهرستان رفسنجان). بر این اساس ارتباط بین تغییرات غلظت AOD و پارامترهای اقلیمی در این سه سال (در ماهی که پیک ثبت شده است) را با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS بررسی نمودیم، که نتایج آن در جدول ۲ نمایش داده شده است.

جدول ۲- ماتریس همبستگی بین میانگین شاخص AOD و پارامترهای اقلیمی در منطقه مورد مطالعه

متغیر	AOD	دمای بیشینه	دمای کمینه	سرعت باد	بارش
AOD	۱				
دمای بیشینه	**۰,۴۹۸	۱			
دمای کمینه	*-۰,۴۷۲	*۰,۸۴۶	۱		
سرعت باد	**۰,۵۳۴	۰,۴۸۹	-۰,۲۵۳	۱	
بارش	**۰,۵۱۴	**۰,۷۰۲	**۰,۷۱۴	-۰,۳۷۹	۱

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد، و * معنی‌داری در سطح ۵ درصد

باتوجه به جدول ۲ مشخص است که دمای بیشینه و سرعت باد، دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار و بارش و دمای کمینه همبستگی منفی و معنی‌دار با میانگین غلظت AOD می‌باشند. در این رابطه می‌توان بیان کرد که طوفان‌های گرد و غبار زمانی به‌وجود می‌آیند که مجموع بارش سالانه به‌طور قابل توجهی از بارش میانگین بلندمدت کم‌تر می‌شود (عطایی و احمدی، ۱۳۸۹). به بیان دیگر، مهم‌ترین شرایط ایجاد گرد و غبار در کنار هوای ناپایدار، وجود یا عدم وجود رطوبت است. به‌طوری‌که اگر در هوای ناپایدار رطوبت کافی وجود داشته باشد، بارش و طوفان رعد و برق و اگر فاقد رطوبت باشد، طوفان گرد و غبار ایجاد می‌نماید (ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴). به‌عبارتی با کاهش میزان بارندگی، میزان رطوبت نسبی هوا و خاک به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد و ذرات ریز خاک با وزش بادهایی حتی با سرعت کم، مستعد خیزش و ایجاد طوفان گرد و غبار می‌شوند. از طرف دیگر، کاهش رطوبت نسبی به‌دلیل تغییرات سریع دما که سبب ایجاد گرادیان (شیب) فشار و تشکیل بادهای قوی و دائمی می‌شود، باعث افزایش سرعت باد می‌شود (میری و همکاران، ۱۳۹۶). این رابطه به این دلیل است که هوای خشک‌تر، چگالی بیش‌تری دارد و راحت‌تر در سطح زمین جریان می‌یابد، در حالی‌که هوای مرطوب به‌دلیل وجود بخار آب و حالت سبکی، تمایل به صعود دارد و این صعود، جریان‌های بادی را در سطح پایین‌تر ایجاد می‌کند. به همین دلیل در مناطق خشک و بیابانی که رطوبت کمی دارند، اغلب سرعت باد بالاتری را نسبت به مناطق مرطوب و ساحلی مشاهده می‌کنیم (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۴). هم‌چنین اگر یک خشک‌سالی رخ دهد و سبب خشکی خاک شود، پوشش گیاهی سطح که به‌طور طبیعی به جلوگیری از فرسایش بادی خاک کمک می‌کرد، از دست می‌رود و سبب افزایش فرسایش بادی و به‌دنبال آن تولید گرد و غبار می‌کند و با حرکت باد به درون جو نفوذ کرده و سبب ایجاد طوفان گرد و غبار می‌شود. Guan و همکاران (۲۰۱۵) از عوامل موثر بر فراوانی طوفان‌های گرد و غبار در شمال چین به سرعت متوسط باد بیش از ۲ متر بر ثانیه، بارندگی کم‌تر از ۴۵۰ میلی‌متر و افزایش درجه حرارت بین ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد اشاره کردند. کاهش بارندگی و میزان سرعت باد در مناطق مرکزی ایران به‌عنوان مهم‌ترین عوامل موثر بر وقوع گرد و غبار با استفاده از روش رگرسیون تعیین شد. ابراهیمی‌خوسفی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند بارندگی ۵۰ درصد و دمای هوا ۲۷ درصد تغییرات شاخص گرد و غبار را

توجیه می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که بارندگی کم و افزایش قدرت بادهای فرساینده در مناطق مختلف دنیا به‌عنوان عوامل موثر بر فراوانی گرد و غبارها عنوان شده است (Middleton, 2019).

بر این اساس، پژوهش فتح‌اله‌زاده و همکاران (۱۴۰۲) که با استفاده از شاخص AOD در سامانه گوگل ارث انجین برای بررسی رخداد طوفان گرد و غبار در شهرستان زابل انجام شد، نشان داد که با تغییر اقلیم و وقوع خشک‌سالی، میانگین غلظت AOD و به‌دنبال آن وقوع طوفان‌های گرد و غبار، به‌دلیل افزایش دما و کاهش رطوبت هوا و خاک که خود منجر به افزایش سرعت باد و تشدید فرسایش بادی می‌شود، افزایش می‌یابد. هم‌چنین پژوهش‌های Li و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که تعداد روزها با طوفان گرد و غبار، کم‌تر از تعداد روزهای بادی در مونگولیای چین است و این نشان می‌دهد که پیدایش و شدت این طوفان‌ها علاوه بر این که متاثر از شرایط اقلیمی مثل سرعت باد است متاثر از ویژگی‌های سطح زمین مثل پوشش گیاهی، مقدار رطوبت خاک و... نیز می‌باشد. هم‌چنین Quanxi و Ziqiang (۲۰۰۷) وقوع طوفان‌های گرد و غبار و خصوصیات سطح زمین را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای NOAA همراه با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی مطالعه نمودند. وی ارتباط معنی‌داری بین وقوع طوفان‌های گرد و غبار و دیگر پارامترهای اتمسفری مانند بارندگی و دما مشاهده کرد و خصوصیات پوشش سطح زمین (پوشش گیاهی، بارش برف و بافت خاک) را در رخداد طوفان‌های گرد و غبار اثرگذار معرفی نمود. عبدویس و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی تأثیر کاهش بارندگی بر فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار در استان خوزستان نشان داد که سال‌های با بیش‌ترین تعداد روزهای همراه با طوفان گرد و غبار در این استان با سال‌های با کم‌ترین میزان بارندگی (وقوع خشک‌سالی) همراه است. پژوهش مهرابی و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیان‌گر مشاهده بیش‌ترین میزان تعداد روزها با طوفان گرد و غبار در برخی از ایستگاه‌های شهرستان‌های استان خوزستان، در سال‌هایی است که در تمامی ایستگاه‌ها کم‌ترین میزان بارندگی مشاهده می‌شود. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) نیز در پژوهشی ارتباط بین عناصر اقلیمی و پدیده گرد و غبار در استان ایلام را بررسی نمودند؛ نتایج ایشان نشان داد که دما و باد بالاترین همبستگی را با گرد و غبار دارند و ارتباط بین بارش و رطوبت نسبی را با پدیده گرد و غبار به‌صورت معکوس بدست آوردند.

نتیجه‌گیری

امروزه معضل افزایش فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار به‌علت تغییرات اقلیمی و خشک‌سالی‌های متوالی به بحرانی منطقه‌ای-جهانی تبدیل شده است. می‌توان گفت طوفان گرد و غبار فرایند پیچیده‌ای دارد که به‌وسیله فعل و انفعالات سیستم جو-زمین متاثر گردیده و عمدتاً به‌وسیله بادهایی با سرعت زیاد، شرایط آب و هوایی خشک و خاک لخت و برهنه به‌وجود می‌آید و اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک رخ می‌دهد. نتایج حاصل از نمودار سری زمانی غلظت گرد و غبار ماهواره مادیس که برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ برای شهرستان رفسنجان رسم گردید، نشان از وقوع طوفان‌های شدید گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ با میانگین غلظت AOD بالاتر از ۱ و حتی ۲ دارد؛ که براساس آمار اداره هواشناسی شهرستان رفسنجان، در این سال‌ها میانگین بارش سالانه نسبت به میانگین بلندمدت کم‌تر می‌باشد و حاکی از وقوع خشک‌سالی دارد. بنابراین برای بررسی تأثیر پارامترهای اقلیمی بر شدت وقوع طوفان‌های گرد و غبار از ضریب همبستگی پیرسون استفاده گردید. نتایج بیانگر تأثیر مثبت و معنی‌دار بیشینه دما و سرعت باد و برعکس تأثیر منفی و معنی‌دار بارش بر وقوع و شدت طوفان گرد و غبار بود.

در نهایت تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، بیانگر این موضوع است که عامل اصلی تشدید گرد و غبار و وقوع طوفان‌های گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰، ناشی از تغییر اقلیم (وقوع خشک‌سالی) و کاهش بارندگی و به‌دنبال آن کاهش رطوبت نسبی هوا و افزایش سرعت باد در شهرستان رفسنجان می‌باشد.

منابع

ابراهیمی‌خوسفی، ز.، روستایی، ف.، ابراهیمی‌خوسفی، م. و نقوی، س. (۱۳۹۸). بررسی رابطه بین شاخص طوفان گردوغبار، پارامترهای اقلیمی و شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده با استفاده از روش رگرسیون Ridge در مناطق خشک مرکزی ایران. تحقیقات و مدیریت اراضی خشک، ۳۴(۳): ۲۵-۱.

احمدی، ر.، فتحی، ح.، نوری‌نژاد، ج. و جعفرزاده، ع.ا. (۱۳۹۷). نقش عوامل اقلیمی (گرد و غبار، بارندگی و دما) بر زوال و مرگ درختان بلوط در استان ایلام. دومین همایش بین‌المللی طوفان‌های گرد و غبار، اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷، ایلام.

ارجمند، م.، راشکی، ع.ر. و سرگزی، ح. (۱۳۹۷). پایش زمانی و مکانی پدیده گرد و غبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در جنوب شرق ایران، با تاکید بر منطقه جازموریان. اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۷(۱۰۶): ۱۶۸-۱۵۳.

ایرانمنش، ف.، عرب‌خدری، م. و اکرم، م. (۱۳۸۴). بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آن‌ها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۶۷: ۳۳-۲۵.

جابری، ز. و خسروی، ب. (۱۳۹۵). نقش طوفان‌های گرد و غبار بر محیط‌زیست. دهمین کنگره پیشگامان پیشرفت، آذرماه ۱۳۹۵، تهران.

ذوالفقاری، ح. و عابدزاده، ح. (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیک سیستم‌های گرد و غبار در غرب ایران. جغرافیا و توسعه، ۳(۶): ۱۷۳-۱۸۸.

رنجبرسعادت‌آبادی، ع. و عزیزی، ق. (۱۳۹۱). مطالعه الگوهای هواشناسی، شناسایی چشمه‌های تولید گرد و غبار و مسیر حرکت ذرات معلق برای طوفان جولای ۲۰۰۹. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۴۴(۸۱): ۹۲-۷۳.

رسولی، ع.ا.، ساری‌صراف، ب. و محمدی، غ.ح. (۱۳۸۹). تحلیل روند وقوع پدیده اقلیمی گرد و غبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش‌های آماری ناپارامتری. جغرافیای طبیعی، ۳(۹): ۲۸-۱۵.

شاهسونی، ع.، یار احمدی، م.، جعفرزاده حقیقی فرد، ن.ا.، نعیم آبادی، ا.، محمودیان، م. و، صاکی، م. ح.، سلیمانی، ز. و ندافی، ک. (۱۳۸۹). اثرات طوفان‌های گرد و غباری بر سلامت و محیط‌زیست. مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ۴(۴): ۴۵-۵۶.

عبدویس، س.، ذاکری، ف.، حسینی، م.، نیری راد، م. و ظهراپی، ن. (۱۳۹۰). بررسی تاثیر کاهش بارندگی بر فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار در استان خوزستان. اولین کنگره بین‌المللی پدیده گرد و غبار و مقابله با آثار زیان‌بار آن، بهمن‌ماه ۱۳۹۰، اهواز.

عراقی‌زاده، م. و مسعودیان، س.ا. (۱۴۰۰). تحلیل اقلیمی و بررسی طوفان‌های گرد و غبار در خراسان رضوی. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، ۲(۳): ۳۱۸-۳۰۵.

عطایی، ه. و احمدی، ف. (۱۳۸۹). بررسی گرد و غبار به‌عنوان یکی از معضلات زیست‌محیطی جهان اسلام: مطالعه موردی استان خوزستان. چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی دانان جهان اسلام، فروردین‌ماه ۱۳۸۹، زاهدان.

فتح‌اله‌زاده، م.، رنجبرباروق، ز.، معتمدی‌راد، م. و حاجی‌کریمی دولابی، ز. (۱۴۰۲). بررسی ویژگی‌های باد و ارتباط آن با رخداد گرد و غبار در شهرستان زابل با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۲(۳): ۱۸۴-۱۶۹.

منصورمقدم، م.، تقی‌پور، ن.، روستا، ا. و غفاریان، ح.ر. (۱۴۰۱). پایش و پیش‌بینی زمانی و مکانی گرد و غبار معلق در جو استان قزوین با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین. مدیریت بیابان، ۱۰(۱): ۹۸-۷۷.

مهرابی، ش.، سلطانی، س. و جعفری، ر. (۱۳۹۴). بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردها. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۹(۷۱): ۸۰-۶۹.

میری، پ.، راشکی، ع. عادل، س. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص‌های گرد و غبار در شرق خراسان بر پایه داده‌های ماهواره‌ای. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲۳: ۲۰-۱.

Al-Hurban, A. E., Al-Ostad, A. N. (2010). Textural characteristics of dust fallout and the potential effect on public health in Kuwait City and suburbs. *Environ Earth Science*, 60, 169-181.

Ayyamperumal, R., Banerjee, A., Zhang, Z., Nazir, N., Li, F., Zhang, C., and Huang, X. (2023). Quantifying climate variation and associated regional air pollution in southern India using Google Earth Engine. *Science of The Total Environment*, 9: 19-31.

Guan, Q., Yang, J. Zhao, S. Pan, B. Liu, C. Zhang, D. and Wu, T. (2015). Climatological analysis of dust storms in the area surrounding the Tengger Desert during 1960-2007. *Climate dynamics*, 45, 903-913.

Li, N. and W. GU. (2004). Threshold value response of soil moisture to dust storms. *Functioning and management. Cambridge universe- a case study of Midwestern of Inner Mongolia. Journal of Nat. Disast.* 13(1), 44-49.

- Liu, A., Wu, O. and Cheng, X. (2020). Using the Google Earth Engine to estimate a 10 m resolution monthly inventory of soil fugitive dust emissions in Beijing, China. *Science of The Total Environment*, 735.
- Middleton, N. (2019). Variability and trends in dust storm frequency on decadal timescales: climatic drivers and human impacts. *Geosciences* 9: 261-273.
- Shirazi, M., Akhavan Ghalibaf, M., Matinfar, H. and Nakhkesh, M. (2019). Evaluation of landsat OLI data for estimating aerosol optical thickness over deserts. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 26 (4), 855-867.
- Sorek-Hamer, M., Kloog, I., Koutrakis, P., Strawa, A.W., Chatfield, R., Cohen, A., Ridgway, W.L. and Broday, D.M. (2015). Assessment of PM_{2.5} concentrations over bright surfaces using MODIS satellite observations. *Remote Sensing of Environment*, 163,180-185.
- Ziqiang, M. and Quanxi, Z. (2007). Damage effects of dust storm PM_{2.5} on DNA in Alveolar Macrophages and Lung cells of rats. *Food and Chemical Toxicology*, 4(2), 1363-1374.

Monitoring of dust storms using Google Earth Engine and satellite images in Rafsanjan County
P. Ghiasinia^{1*}, H. Shirani², F. Fathian³, C. Brungard⁴

- 1*. Ph.D. Student in Management of Soil Resources & Land Evaluation at Vali-e-Asr University of Rafsanjan (P.ghiasi1991@yahoo.com)
2. Professor soil sciences & engineering department at Vali-e-Asr University of Rafsanjan
3. Associate Profssor water sciences & engineering department at Vali-e-Asr University of Rafsanjan
4. Associate Profssor plant & environment sciences department of New Mexico state University/USA

Abstract

Dust storms are important atmospheric phenomena that occur due to the entry of fine dust particles into the atmosphere by high-speed winds, dry weather conditions, and bare soil in arid and semi-arid regions. The present study was purpose to monitoring the dust storms using MODIS satellite images in the Google Earth Engine system for the Rafsanjan county. To this end, the average AOD index from the Terra and Aqua sensors was used to plot the time series graph of dust concentration for a period of 18 years(2000-2017). The results showed that the most intensive dust storms occurred in 2006, 2008, and 2010 with average AOD concentrations of 2.02, 1.55, and 1.1, respectively. as respects dust storms are usually a climatic phenomenon, Using Pearson's correlation coefficient, The relationship between climatic parameters and the occurrence of dust storms (by checking the average AOD concentration) was investigated. The results showed that maximum temperature and wind speed have a positive and significant correlation, and precipitation and minimum temperature have a negative and significant correlation with the average AOD concentration. Finally, the results of this study showed that drought and climate changes significantly intensify dust storms in Rafsanjan county.

Keywords: Relative humidity, Time series of dust, Terra and Aqua sensors, soil erosion, MODIS satellite