

Application of GEE in Dust Actual Sources Detection using Sentinel- 5 and Modis

Kamran Shayesteh^{1*}, Shiva Gharibi²

1. *Corresponding Author*, Assistant professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

2. PhD Student of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 01 June 2021

Revised: 02 August 2022

Accepted: 24 August 2022

Keywords:

MNDVI, Dust centers, BSI, remote sensing, Hamadan.

ABSTRACT

Dust storms originate in many of the world's drylands and may impact a wide range of negative effects on ecological, public health, and socio-economic issues. The phenomenon of dust is one of the most important environmental challenges nowadays. Therefore, Identifying the sources of dust storms is the first step to combating these devastating phenomena. Using satellite images is the most up-to-date method to identify dust sources. The present study aims to identify areas of dust generation potential in Hamadan province and the effective range. Modis and Sentinel-5 satellite imagery were used for the 2008-2019 and 2018-2020 study periods using GEE, respectively. Land-use maps, BSI, and MNDVI were considered useful indices to detect and monitor the dust generation centers. Classification of aerosol concentrations in three classes showed that the area of the first class (the highest concentration class) in Modis and Sentinel-5 images are 9875.1 and 7100.5 km², respectively, which are Continuous polygons in Sentinel-5 and Scattered polygons in Modis images. By focusing on quantifying and overlapping land-use 2018 and actual dust centers, the results showed that most aerosols are concentrated in poor pastures and uncultivated lands in Sentinel-5 images and are concentrated in poor pastures and rainfed-agriculture in Madis images. The correlation coefficient between the two images is 81%. Finally, Sentinel-5 satellite imagery can be used for dust detecting and monitoring. To manage these actual dust sources, reducing bare soils, increasing vegetation covers, improving water-use efficiency in agriculture, and reducing the use of groundwater in Qahvand plain are recommended.

Cite this article: Shayesteh, K., & Gharibi, S. (2022). Application of GEE in Dust Actual Sources Detection using Sentinel-5 and Modis. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 1-16. DOI: 10.22111/jneh.2022.38729.1813



© Kamran Shayesteh.

DOI: 10.22111/jneh.2022.38729.1813

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

* Corresponding Author Email: K.shayesteh@malayeru.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۴، زمستان ۱۴۰۱

کاربرد سامانه گوگل ارث انجین در شناسایی کانون‌های بالفعل گردوغبار با استفاده

از تصاویر مادیس و سنتینل-۵

کامران شایسته^{۱*}، شیوا غریبی^۲

۱. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر (نویسنده مسئول)

۲. دانشجوی دکتری، ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ملایر، ملایر

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	طوفانهای گردوغبار در مناطق خشک از جهان رخ می‌دهند و اثرات منفی مختلفی بر جنبه‌های مختلف اکولوژیکی، اقتصادی و بهداشتی جامعه دارند. شناسایی کانون‌های مولد گردوغبار یکی از مهم‌ترین راهکارهای مدیریت این پدیده ویرانگر است که به‌روزترین و کارآمدترین روش و ابزار در شناسایی این کانون‌ها استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. هدف از این مطالعه شناسایی کانون‌های بالفعل تولید گردوغبار در محدوده استان همدان و محدوده تأثیرگذار است. از تصاویر ماهواره‌ای مادیس و سنتینل-۵ به ترتیب در محدوده زمانی ۱۲ ساله و ۲ دوساله در سامانه GEE استفاده شد. جهت شناسایی و نظارت بر کانون‌های گردوغبار پارامترهای وضعیت کاربری اراضی، شاخص خاک لخت، شاخص توده آب مورد استفاده قرار گرفتند. طبقه‌بندی غلظت آئروسول‌ها در سه گروه تراکمی در محدوده مطالعاتی نشان داد که به ترتیب مساحت پهنه‌های دارای غلظت بالا در تصاویر مادیس و سنتینل به ترتیب ۹۸۷۵/۱ و ۷۱۰۰/۵ کیلومترمربع است که در تصاویر سنتینل به‌صورت پیوسته و در تصاویر مادیس به‌صورت پراکنده هستند. مطابقت کانون‌های بالفعل تولید گردوغبار در تصاویر سنتینل-۵ با نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۸ نشان داد که بیشترین تمرکز آئروسول‌ها در تصاویر سنتینل در مراتع فقیر و خاک اراضی غیرقابل کشت و در تصاویر مادیس در مراتع فقیر و کشاورزی دیم قرار دارد. دو تصویر دارای همبستگی ۸۱ درصد هستند. درنهایت، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ می‌تواند در پایش کانون‌های گردوغبار مفید واقع گردد. جهت مدیریت کانون‌ها کاهش خاک لخت، افزایش پوشش گیاهی، کاهش استفاده از سفره‌های آب زیرزمینی در دشت قهاوند پیشنهاد می‌شود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۱	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۲	
واژه‌های کلیدی: شاخص توده آب، برخاستگاه، شاخص خاک لخت، سنجش‌ازدور، همدان.	

استناد: شایسته، کامران، غریبی، شیوا. (۱۴۰۱). کاربرد سامانه GEE در شناسایی کانون‌های بالفعل گردوغبار با استفاده از تصاویر مادیس و سنتینل-

۵. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۴)، ۱۶-۱. DOI: 10.22111/jneh.2022.38729.1813



© کامران شایسته*، شیوا غریبی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

طوفان‌های گردوغبار یکی از پدیده‌هایی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان رخ می‌دهد (ژان^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). ایران نیز به دلیل قرار گرفتن در این کمربند به‌طور مداوم در معرض گردوغبارهای محلی و منطقه‌ای متعددی قرار دارد (باغبانان^۲، ۲۰۲۰) که باعث بروز مشکلاتی در فعالیت‌های انسانی، کشاورزی، اجتماعی، حمل‌ونقل، سلامت و اقتصاد جامعه شده است و همچنین حجم ذرات واردشده به جو و بیلان انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد که متعاقب آن شرایط اقلیمی نواحی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (پاول^۳ و همکاران؛ کا^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین، گردوغبار عامل بیماری‌هایی از جمله التهاب ریه، سینوزیت، برونشیت، آسم و آلرژی است و منجر به صدمه به سیستم دفاعی، افزایش عفونت‌های بیمارستانی و آسیب به کلیه و کبد است (آل‌هربان^۵ و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به افزایش تعداد وقوع طوفان‌های گردوغبار طی سال‌های اخیر شناسایی و پایش مداوم آن جهت شناسایی و مدیریت مناطق مولد و متأثر حائز اهمیت است (تقوی^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). اما به دلیل تغییرات سریع در ماهیت و محدوده گسترش طوفان‌های گردوغبار، محدودیت‌هایی در پایش و اندازه‌گیری‌های مربوط به آن وجود دارد، در نتیجه مدل‌های عددی هواشناسی به‌تنهایی قادر به ردیابی و آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار نیستند (گروست^۷ و همکاران، ۲۰۰۵). امروزه فناوری سنجنش‌ازدور با فراهم آوردن تصاویر متعدد و مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف به‌عنوان ابزاری مناسب برای پایش و اندازه‌گیری ویژگی‌های گردوغبار شناخته‌شده است (کلسر و سفانسکی^۸، ۲۰۰۹). تکنیک‌های سنجنش‌ازدور یکی از روش‌های بسیار مؤثر درزمینه‌ی شناسایی مناطق خاستگاه گردوغبار هستند (ژانگ^۹ و همکاران، ۲۰۰۹). از طرفی، به دلیل محدود بودن ایستگاه‌های سینوپتیک و هزینه بالای نصب و راه‌اندازی و همچنین نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری‌ها، داده‌های ایستگاه زمینی قابلیت لازم برای تهیه نقشه غلظت ذرات را ندارند اما در مقابل داده‌های ماهواره‌ای دارای قابلیت شگفت‌انگیزی در پهنه‌بندی ذرات معلق جوی هستند (جو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹). از طرفی دیگر، اندازه‌گیری میدانی گردوغبار دارای محدودیت‌های مکانی و زمانی است زیرا گردوغبار مسافت طولانی را از منبع تولید طی می‌کند. بنابراین، شناسایی و پایش دقیق گردوغبار تنها از طریق مشاهدات ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. در حال حاضر سنجنده‌های فضایی مختلفی برای سنجنش‌ازدور آتروسول‌ها بکار برده می‌شوند که نه‌تنها قادر به اندازه‌گیری ضخامت نوری آتروسول‌ها هستند، بلکه می‌توانند اطلاعات جزئی‌تر آتروسول‌ها فراهم آورند (کاسترو و یاسو^{۱۱}، ۲۰۱۰). یکی از پرکاربردترین ابزارها در شناسایی آتروسول‌ها سنجنده مادیس از ماهواره ترا و آکوا (محمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ شهرسوند و همکاران، ۱۳۹۳؛ شمشیری و همکاران، ۱۳۹۳؛ احمدی و داداشی رودباری، ۱۳۹۸) و یکی از جدیدترین ابزارها، سنجنده TROPOMI از ماهواره سنتینل-۵ است. سنجنده مادیس در ۳۶ باند طیفی و در دامنه طول موج‌های ۰/۴-۱۴/۴ میکرومتر تصویربرداری شده است. داده‌های این سنجنده به علت تعداد

¹ Zhang

² Baghbanan

³ Powell

⁴ Cao

⁵ Al-Hurban

⁶ Taghavi

⁷ Grousset

⁸ Klüser and Schepanski

⁹ Zhang

¹⁰ Guo

¹¹ Kasturi and Yaso

باندهای زیاد (۱۶ باند حرارتی) و باریک بودن محدوده طیفی هر باند برای پایش گردوغبار در سراسر جهان بسیار کاربردی (کامفن^۱ و همکاران، ۲۰۰۵) و به‌عنوان ابزاری کارآمد جهت تشخیص گردوغبار (شهرسیوند و همکاران، ۱۳۹۳) است. از این‌رو، سنجنده‌ی مادیس در بازیابی اطلاعات گردوغبار بسیار مفید است. سنجنده TROPOMI نیز یکی از جدیدترین ابزارها در شناسایی گردوغبار توسط ماهواره سنتینل-۵ است که در سال ۲۰۱۷ صرفاً برای پایش و کنترل آلاینده‌های هوا به فضا ارسال شد. این سنجنده به‌صورت روزانه نقشه‌های آلودگی هوا را تهیه می‌کند و از باندهای ماوراءبنفش (۲۷۰-۳۲۰ نانومتر)، محدوده مرئی (۳۱۰-۵۰۰ نانومتر)، مادون‌قرمز نزدیک (۶۷۵-۷۷۵ نانومتر) و مادون‌قرمز طول موج کوتاه (۲۳۰۵-۲۳۸۵ نانومتر) پشتیبانی می‌کند. ماهواره در ارتفاع ۸۲۴ کیلومتری قرار دارد و به نحو قابل قبولی در شناسایی آئروسول‌ها مفید است.

از این‌رو، عمل آشکارسازی گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که بر اساس خصوصیات تابش و پراکنش ذرات گردوغبار توسط شاخص‌های گردوغبار انجام می‌شود، به دلیل قابلیت دسترسی به تمامی نقاط معیار مهمی برای بررسی توزیع مکانی گردوغبار هستند (ززولی و همکاران، ۱۳۹۳). شاخص عمق اپتیکی آئروسول^۲ یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها جهت بررسی وضعیت آلودگی هوا در مناطق مختلف به‌ویژه مناطق خشک (میراکبری و ابراهیمی، ۱۳۹۹) و همچنین یکی از مهم‌ترین معیارها جهت سنجش تراکم و چگالی آئروسول‌های موجود در جو و در نهایت شاخصی توانمند در منشا یابی گردوغبار است (رایگانی^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). در حقیقت، هرچقدر میزان چگالی آئروسول‌ها در داخل اتمسفر افزایش یابد، نور خورشید رسیده به زمین در اثر برخورد با آئروسول‌های موجود در جو کاهش می‌یابد (اورن^۴، ۱۹۹۵). شاخص جذب آئروسول^۵ نیز یک شاخص کیفی از ذرات جاذب فرابنفش نزدیک مانند دود یا گردوغبار معدنی است (ارجمند و همکاران، ۱۳۹۵) که در انواع برنامه‌های کاربردی از جمله نظارت بر ذرات معلق کربن دار در هوا از جمله آتش‌سوزی زی‌توده در طبیعت، طوفان‌های گردوغبار بیابانی و خاکستر آتش‌فشانی کاربرد دارد و از پرتوهای اندازه‌گیری شده در محدوده اشعه ماوراءبنفش برای شناسایی حضور ذرات جذب‌کننده در انواع مختلف سطح از جمله زمینه‌های روشن مانند ابرها و مناطق پوشیده از برف/ یخ استفاده می‌کند (آن^۶ و همکاران، ۲۰۱۸). این محصول منحصربه‌فرد نزدیک به ۴۰ سال است که توسط سنجنده‌های مختلف از جمله TROPOMI، OMPS، GOME، SCIAMACHY، EPIC و TROPOMI در دسترس است و برای سری‌های زمانی بلندمدت از دهه ۷۰ میلادی با TOMS شروع شده و جدیدترین و بهبودیافته‌ترین نسخه آن با سنجنده Tropomi در دسترس است. در نهایت، تغییرات آئروسول با استفاده از شاخص‌های AOD و AI قابل تشخیص است (کومر^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). گوگل ارث انجین^۸ یک پلت فرم تحلیل مکانی، متن‌باز و تحت وب جهت تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در سطح جهانی و محلی است. از گوگل ارث انجین برای تحقیقات سنجش‌ازدور، کشاورزی، مدیریت بلایای طبیعی، پیش‌بینی شیوع بیماری، مدیریت منابع طبیعی و غیره استفاده می‌کنند و بهترین جایگزین برای انجام

¹ Kaufman

² AOD: Aerosol Optical Depth

³ Raygani

⁴ Ogren

⁵ AAI: Absorption Aerosol Index

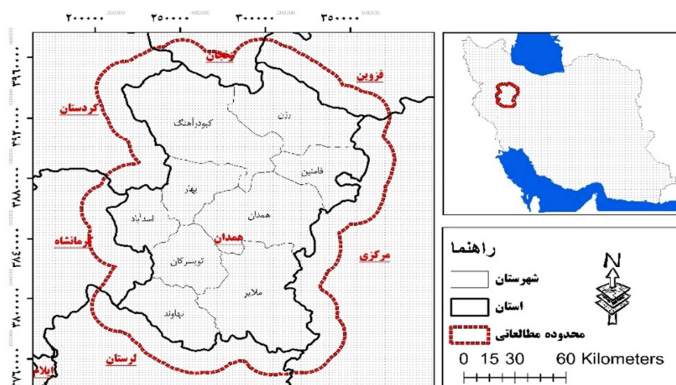
⁶ Ahn

⁷ Kumar

⁸ Google Earth Engine: GEE

پروژه‌های سنجش‌ازدور است. داده‌های این سامانه برای تشخیص تغییرات مکانی-فضایی، عملیات سری‌های زمانی نقشه‌ها و دیگر عملیات‌های جغرافیایی و مکانی سطح زمین مفید است. به‌طوری‌که تغییرات ۳۲ ساله عوارض طبیعی و مصنوعی مشاهده می‌شود. استان همدان نیز در طی چند سال اخیر به دلیل متأثر بودن از پدیده ریزگردهایی با منشأ داخلی و خارجی دچار وضعیت بحران شده است. از این‌رو، شناسایی کانون‌های داخلی گردوغبار برای مقابله با این پدیده و ارائه رویکردهای مدیریتی مناسب با شرایط منطقه ارائه می‌دهد. هدف اصلی این پژوهش، نقشه‌سازی شاخص‌های گردوغبار جهت شناسایی کانون‌ها در استان همدان است که در این زمینه قابلیت تصاویر سنتینل-۵ و مادیس ارزیابی خواهد شد. داده‌های سنتینل جدیدتر و دارای نتایج دقیق‌تری نسبت به مادیس هستند اما برای تاریخ‌های قبل از ۲۰۱۸ موجود نیست.

استان همدان در گستره‌ای به مساحت ۱۹۳۶۷/۹ کیلومترمربع، در غرب ایران بین ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۱). بر اساس گزارش واکاوی بحران ریزگردها در دفتر ایسنا (۱۳۹۶)، استان همدان در چند سال اخیر متأثر از پدیده ریز گرد بوده است و عواملی از جمله خشک‌سالی تالاب‌ها، احداث سد، کاهش پوشش گیاهی و تبدیل اراضی کشاورزی منجر به تشدید بیابان‌زایی و ایجاد کانون‌های گردوغبار در این استان و محدوده اثرگذار شده است. مرزهای سیاسی پدیده‌هایی قراردادی هستند که نمی‌توانند جداکننده آثار اکولوژیک باشند. بر همین اساس جهت تحلیل پدیده گردوغبار در سطح استان، محدوده‌ای ۱۵ کیلومتری به‌عنوان محدوده اثرگذار لحاظ شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه. (منبع: نگارندگان)

داده‌ها

شناسایی کانون‌های بالفعل گردوغبار با کاربرد GEE

با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون در محیط برنامه GEE اقدام به فراخوانی پروداکت‌های مختلف مربوط به شاخص‌های AOD و AI بر روی تصاویر ماهواره‌ای ترا و آکوا (سنجنده مادیس) و سنتینل-۵ (سنجنده Tropomi) در

طول دوره زمانی ۱۲ ساله (۲۰۰۸-۲۰۱۹) برای مادیس و دو ساله (۲۰۱۸-۲۰۲۰) برای سنتینل-۵ شد که به صورت نقشه مکانی میانگین تراکم آئروسول در مقیاس مکانی استان همدان و محدوده اثرگذار جهت پایش گردوغبار و تعیین کانون‌های بالفعل در محدوده زمانی مورد مطالعه گردید. برای هر یک از محصولات یک تابع خام تعریف شد. مجموعه داده‌ها^۱ که شامل مجموعه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای با یک زمان شروع و یک زمان پایان است به‌عنوان ورودی تابع انتخاب و خروجی نیز به صورت مجموعه‌ای از تصاویر فراخوانی شده در فیلتر زمانی (سال بازه مطالعاتی) و مکانی (مرز منطقه مطالعاتی) اجرا شد. هر تابع نیز بر روی باند ویژه مرتبط با مجموعه تصاویر مدنظر اعمال شد. سپس نقشه مکانی میانگین غلظت آئروسول‌ها در هر سال به فرمت تیف مورد تحلیل قرار گرفت و اطلاعات مربوط به میانگین غلظت این آلاینده‌ها توسط نرم‌افزار آماری SPSS پردازش شد. مشخصات محصولات استفاده شده در جدول (شماره ۱) نشان داده شده است. تمام تحلیل‌ها در Arc Map صورت گرفت.

جدول ۱: مشخصات محصولات ترا و اکوا و سنتینل-۵ برای شاخص‌های AOD-AI

ماهواره	محصول	مجموعه تصاویر	باند
ترا / آکوا	MCD19A2.006: Terra & Aqua MAIAC Land Aerosol Optical Depth Daily 1km	MODIS/006/MCD19A2_GR ANULES	Optical_Depth_047
سنتینل-۵	Sentinel-5P NRTI AER AI: Near Real-Time UV Aerosol Index	COPERNICUS/S5P/NRTI/L3 _AER_AI	Absorbing_Aerosol_Index

روند تغییرات ماهانه شاخص AOD و AI استخراج شد. سپس، نقشه مکانی میانگین تراکم آئروسول‌ها نیز به تفکیک هرساله تعیین و نقشه مکانی نهایی در طول کل دوره مطالعاتی استخراج شد. حداقل و حداکثر مقادیر به دست آمده از غلظت آئروسول با استفاده از الگوریتم Jenks در سه گروه (تراکم بالا-متوسط-کم) طبقه‌بندی گردید. این روش آماری بر اساس توزیع نرمال داده‌ها^۲ باعث به دست آمدن فاصله بیشتر طبقات ناهمگن با حداکثر متوسط تفاوت بین این طبقات می‌شود به طوری که نقاط عطف داده‌ها مرز بین طبقات را مشخص می‌نماید. در نهایت، جهت بررسی همبستگی دو تصویر، عدد رقومی پیکسل^۳ هر دو تصویر در محیط Arc map استخراج و محاسبه شد.

اعتبارسنجی کانون‌های گردوغبار شناسایی شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از پارامترهای محیطی پارامترهای متعددی از جمله وضعیت کاربری اراضی، شاخص خاک لخت، شاخص توده آب در تعیین کانون‌های بالفعل گردوغبار مؤثر هستند که می‌توانند جهت نظارت بر کانون‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرند. نقشه کاربری اراضی توسط تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ و با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال به‌عنوان یکی از معروف‌ترین روش‌های آماری طبقه‌بندی و جزو روش‌های پیکسل پایه تهیه و جهت ارزیابی نتایج طبقه‌بندی از دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. جهت شناسایی مناطق لخت از شاخص BSI بر روی تصاویر

¹ Data collection

² Natural breaks

³ Digital Number: DN

ماهواره‌ای لندست استفاده شد (لو^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). این شاخص از ترکیب اطلاعات باندهای آبی، قرمز، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه برای تعیین تغییرات خاک استفاده می‌کند (رابطه ۱) که بر پایه ارتباط متقابل و قوی (همبستگی شدید منفی) میان بازتاب خاک بدون پوشش و وضعیت پوشش گیاهی است و با ترکیب دو شاخص پوشش گیاهی و خاک بدون پوشش می‌توان به دامنه‌ای به هم پیوسته از وضعیت میزان پوشش گیاهی (پوشش گیاهی بسیار زیاد تا خاک بدون پوشش) دست یافت. شاخص BSI بر اساس ترکیب دو شاخص NDVI و NDBI و در محدوده ۰-۲۰۰ و یا ۱- تا ۱+ متغیر است که مقادیر بالاتر نشان‌دهنده تغییرات بیشتر بر روی خاک لخت هستند. برای تشخیص خاک برهنه از پوشش گیاهی فقیر و خشک و یا پیکسل‌های مخلوط، مقدار آستانه (آستانه از ۰/۲) بر اساس داده‌های انعکاس خاک، میانگین و انحراف معیار هر تصویر در نظر گرفته می‌شود.

$$BSI = \frac{(Red+SWIR)-(NIR+Blue)}{(Red+SWIR)+(NIR+Blue)} * 100 + 100 \quad (1)$$

شاخص نرمال شده آب^۲ یکی از شاخص‌های سنجش‌ازدوری حساس به تغییرات آب است. برای به حداکثر رساندن بازتاب آب با استفاده از طول موج سبز، به حداقل رساندن بازتاب کم NIR با ویژگی‌های آب و بازتاب بالای NIR توسط ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک طراحی شده است (مکفیت^۳، ۲۰۱۳) و قابلیت مناسبی برای تفکیک توده‌های آب دارد اما با دو مشکل اساسی روبرو است. (الف) استخراج شاخص با استفاده از باندهای گوناگون نتایج متفاوتی به دست می‌آورد. (ب) آستانه‌های این شاخص تا حد زیادی به نسبت آب در هر پیکسل بستگی دارد (جی^۴ و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین، خو^۵ (۲۰۰۶) شاخص NDWI را با جایگزینی باند فرورسرخ میانی به جای باند NIR اصلاح و آن را با شاخص تفاضل نرمال شده آب^۶ (MNDWI) جایگزین کرد. از این رو، به منظور شناسایی و تشخیص سطح آب از شاخص MNDWI با استفاده از انعکاس مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز با طول موج کوتاه بر روی تصاویر لندست بر اساس رابطه (۲) استفاده شد. این شاخص مانع از اختلاف ناشی از پوشش گیاهی، شهری و کوه می‌شود و مناطق پوشیده از برف نیز به عنوان پهنه‌های آبی استخراج می‌شوند. دامنه تغییرات آن بین ۱- تا ۱+ است. آب در این شاخص دارای مقادیر مثبت (بیشتر مساوی ۰/۳) است. جهت استخراج مناطق آبی با اعمال آستانه ۰/۳ تصاویر طبقه‌بندی می‌شوند.

$$MNDWI = \frac{(Green-SWIR)}{(Green+SWIR)} \quad (2)$$

نتایج و بحث

پایش غلظت آئروسول‌ها (۲۰۰۸-۲۰۱۸) با استفاده از تصاویر مادیس

روند تغییرات ماهانه شاخص AOD در دوره زمانی ۱۰ ساله بر روی تصاویر مادیس در شکل (۲) نشان داده شده است. مقادیر AOD بیشتر از عدد یک نشان‌دهنده مقدار بالای غلظت آئروسول‌های موجود در اتمسفر و مقدار پایین‌تر

¹ Loi

² Normalized Difference Water Index: NDWI

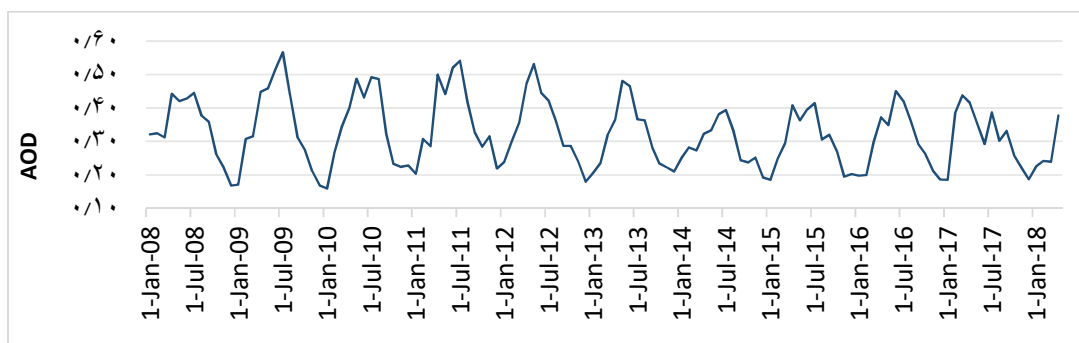
³ McFeeters

⁴ Ji

⁵ Xu

⁶ Modified Normalized Difference Water Index

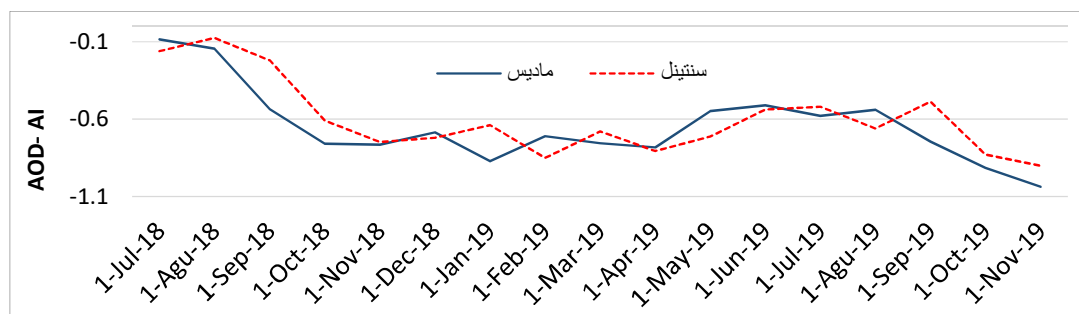
و نزدیک به صفر (پایین‌تر از ۰/۳) نشان‌دهنده هوای صاف و پاک است. بیشترین و کمترین میانگین ماهانه میزان گردوغبار در طی ۱۰ سال به ترتیب مربوط به ۱ جولای ۲۰۰۹ (۰/۵۶۷) و ۱ ژانویه ۲۰۱۰ (۰/۱۵۹) و بیشترین مقدار AOD نیز مربوط به سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۳ بوده است.



شکل ۲: روند تغییرات میانگین ماهانه AOD ماهیانه در محدوده مطالعاتی در ۱۰ سال اخیر (منبع: نگارندگان)

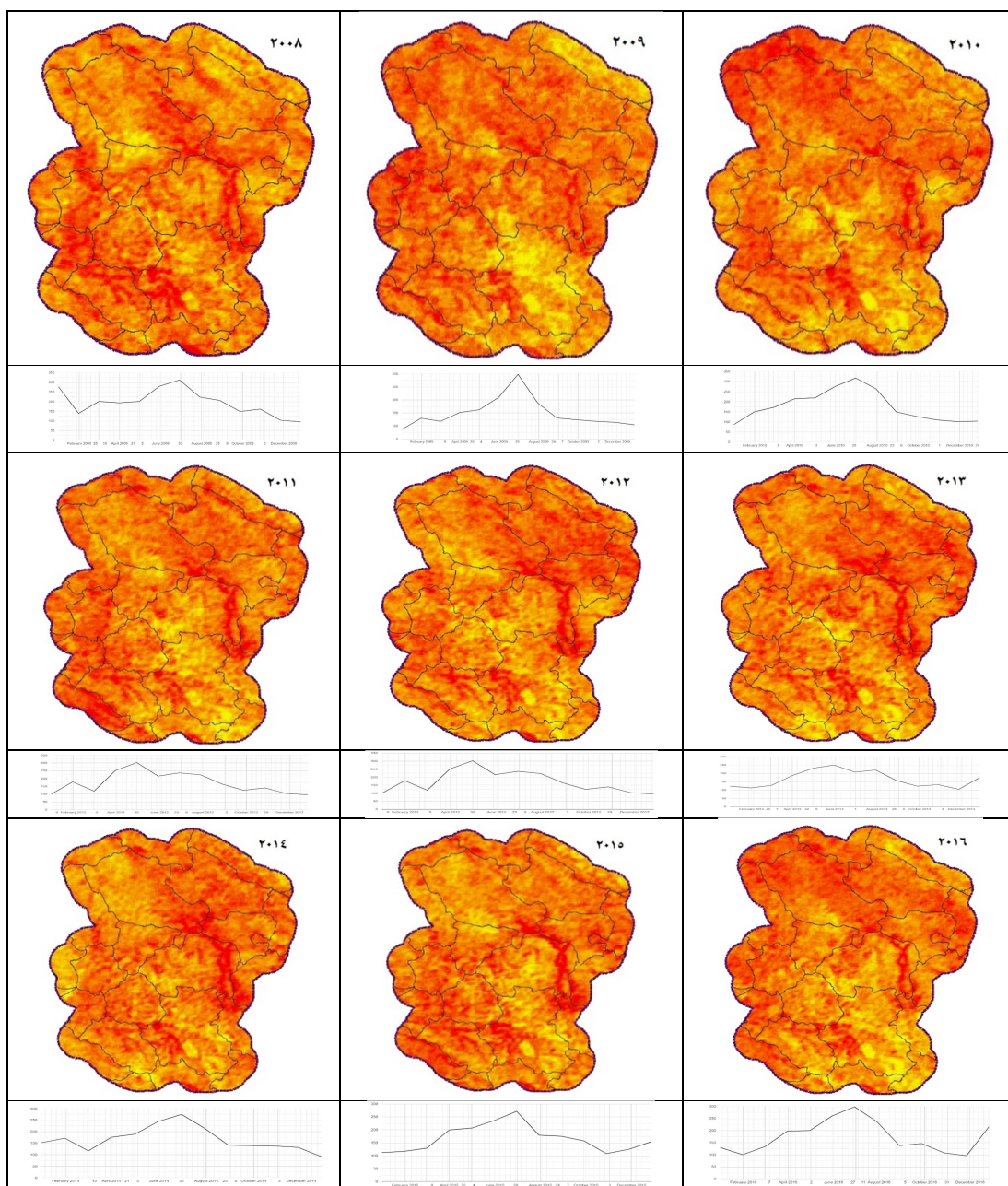
پایش غلظت آئروسول‌ها (۲۰۱۸-۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر سنتینل و مادیس

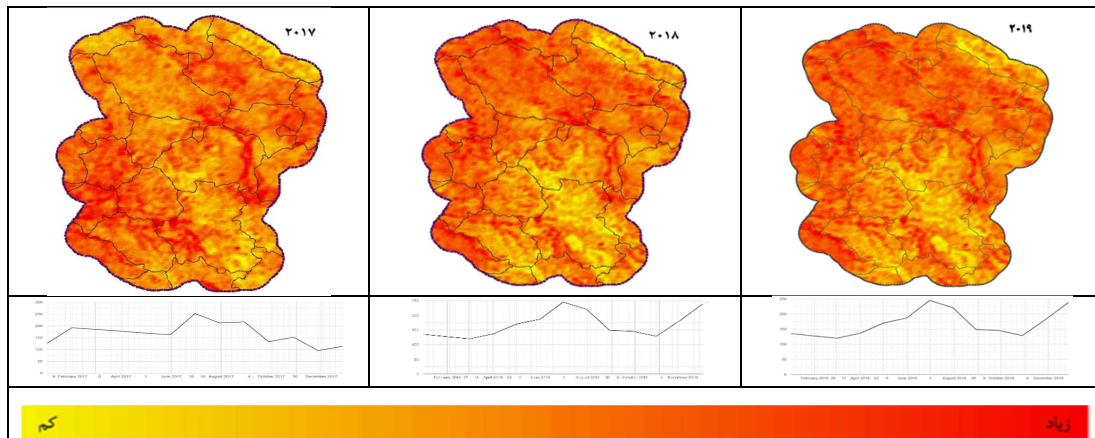
بر اساس نتایج حاصل از پردازش ۱۱۴۸ تصویر ماهواره‌ای مربوط به پروداکت AI حاصل از تصاویر سنتینل و ۱۳۴۷ تصویر ماهواره‌ای حاصل از مادیس نتایج متفاوتی را نشان دادند. تغییرات تروپوسفری روزانه آئروسول در ماه‌هایی از سال با میزان بارندگی کمتر و دمای هوای بیشتر (آگوست، سپتامبر و جولای)، میزان آئروسول بیشتر و در ماه‌هایی با بارندگی بیشتر (دسامبر تا آوریل)، میزان آئروسول کمتر است. همچنین، روند کلی سیر تغییرات آئروسول‌ها یک سیر ثابت و بیشترین میزان روزانه گردوغبار مربوط به ۱۳ جولای ۲۰۱۸ (با میزان ۰/۳۶۵) و کمترین میزان مربوط به ۲۰ می ۲۰۱۹ (با میزان ۱/۸۸-) در هر دو تصویر بوده است. روند تغییرات ماهانه آئروسول در دوره دوساله ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ در شکل (۳) نشان داده شده است. هر کدام از شکستگی‌ها نشان‌دهنده میانگین آئروسول در یک ماه است.



شکل ۳: روند تغییرات میانگین ماهانه آئروسول در محدوده مطالعاتی در ۲ سال اخیر سنتینل و مادیس (منبع: نگارندگان)

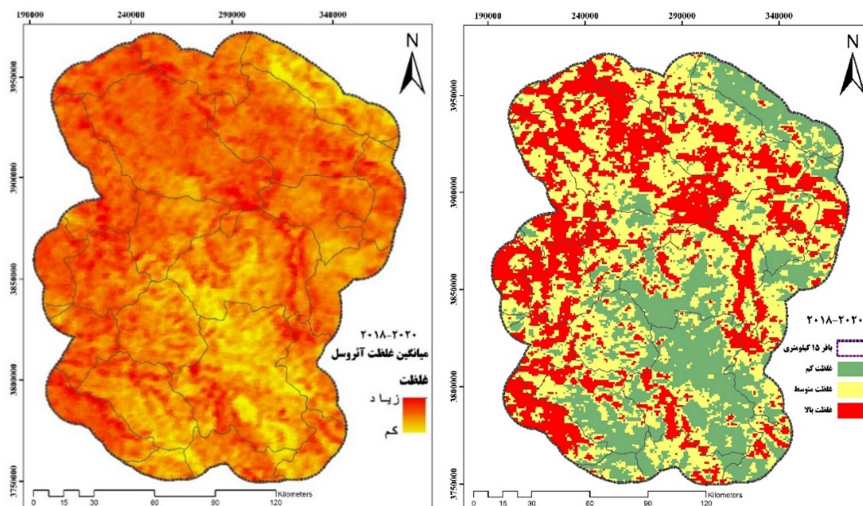
نقشه مکانی کانون‌های بالفعل آئروسول‌ها (۲۰۰۸-۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر مادیس نقشه مکانی میانگین تراکم آئروسول با استفاده از سامانه پردازشی GEE به تفکیک سال از ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ نشان داده شده است (شکل ۴). غلظت آئروسول در یک طیف از کم به زیاد است. به طوری که مناطق قرمز بالاترین مقدار آئروسول و مناطق زرد رنگ پایین‌ترین مقدار تراکم آئروسول را به خود اختصاص داده‌اند. در نتیجه، هات اسپات‌ها به رنگ قرمز نشان‌دهنده بالاترین غلظت و کانون‌های بالفعل گردوغبار در سطح استان و محدوده اثرگذار و رنگ‌های زرد غلظت پایین‌تر را نشان می‌دهند.





شکل ۴: میانگین غلظت سالانه آئروسول در محدوده مطالعاتی از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۹ (منبع: نگارندگان)

سپس نقشه نهایی مکانی میانگین تراکم آئروسول در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۲۰ تهیه شد (شکل ۵، چپ). نقشه طبقه‌بندی حداقل و حداکثر مقادیر به دست آمده از غلظت آئروسول‌ها نیز در سه گروه (تراکم بالا-متوسط-کم) در شکل (۵، راست) آمده است. در طی دو سال اخیر (۲۰۱۸-۲۰۲۰)، محدوده‌های سبزرنگ (طبقه اول) کمترین میزان گردوغبار را دارند. محدوده‌های زردرنگ دارای مقادیر متوسط از گردوغبار (طبقه دوم) و محدوده‌های قرمز رنگ دارای بیشترین تراکم گردوغبار (طبقه سوم) هستند.

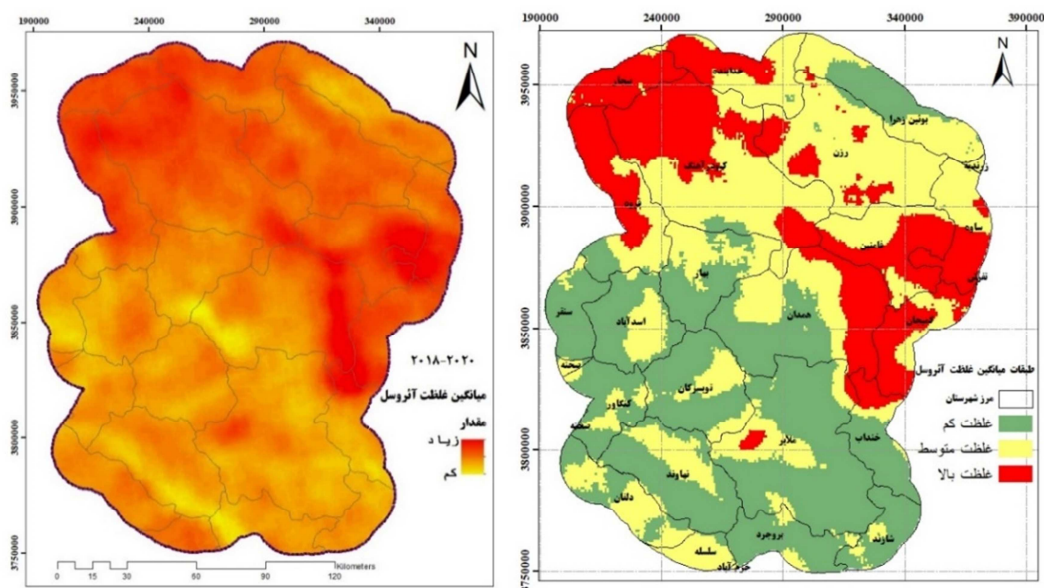


شکل ۵: میانگین ماهانه غلظت آئروسول (سمت چپ) و طبقه‌بندی آن (سمت راست) در سال ۲۰۱۸-۲۰۲۰ (مادیس) (منبع: نگارندگان)

نقشه مکانی کانون‌های بالفعل آئروسول‌ها (۲۰۱۸-۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر سنتینل

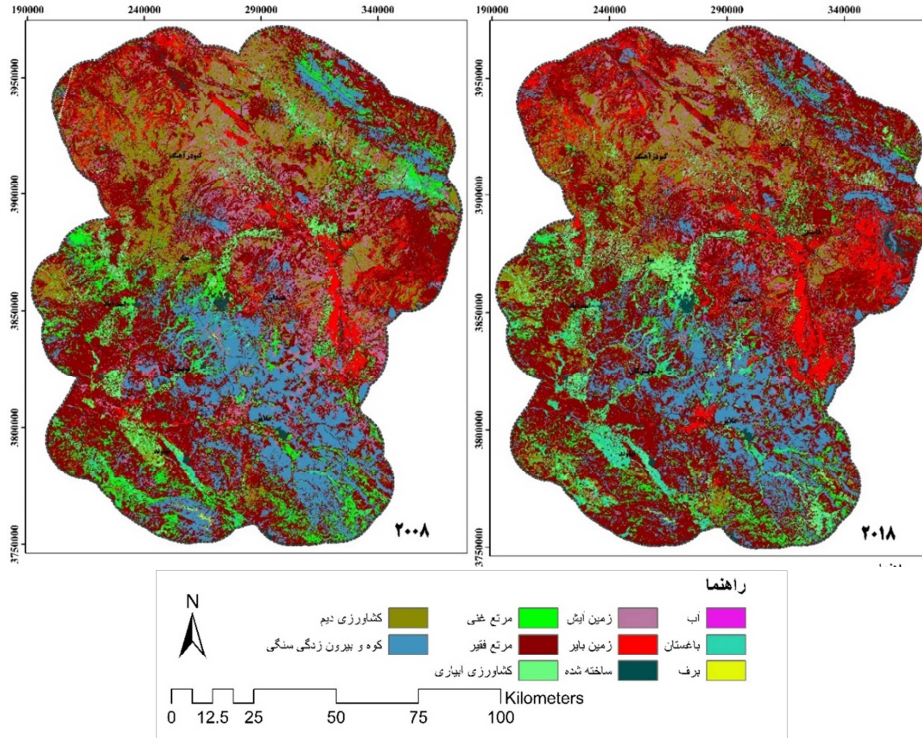
جهت مقایسه تصاویر سنتینل و مادیس در شناسایی کانون‌های بالفعل گردوغبار، اقدام به تهیه نقشه تراکم آئروسول در بازه زمانی مشابه (۲۰۱۸-۲۰۲۰) با استفاده از تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ گردید (شکل ۶، چپ). نتایج حاصل از

۱۱۴۸ تصویر ماهواره‌ای فراخوانی شده در مرز منطقه میانگین تغییرات آتروسل را در طول ۲ سال اخیر حاصل کرد. تصاویر سنتینل دارای پیوستگی بیشتر نسبت به تصاویر مادیس هستند. سپس پهنه‌های مشترک در دو تصویر ماهواره‌ای حاصل از مادیس و سنتینل به‌عنوان کانون‌های بالفعل موجود شناسایی شدند (شکل ۷، راست).



شکل ۶: میانگین ماهانه غلظت آتروسل (سمت چپ) و طبقه‌بندی آن (سمت راست) در سال ۲۰۲۰-۲۰۱۸ (سنتینل) (منبع: نگارندگان)

با بررسی همبستگی DN دو تصویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ و مادیس با توان تفکیک یک کیلومتری در محدوده مطالعاتی نشان داد که ضریب همبستگی ۸۲ درصد است. نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده در سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ نیز در شکل (۷) نشان داده شده است. ضریب کاپا برای کاربری‌های تهیه‌شده قابل قبول است. به‌طوری‌که برای کاربری سال ۲۰۰۸ حدود ۰/۸۶ و برای سال ۲۰۱۸ نیز ۰/۸۷ محاسبه شده است. بنابراین کاربری‌های اراضی ساخت و ساز شده دارای دقت و صحت بالایی هستند. در جدول (۲) مساحت هر یک از کاربری‌ها را در دوره زمانی موردبررسی نشان داده شده است.



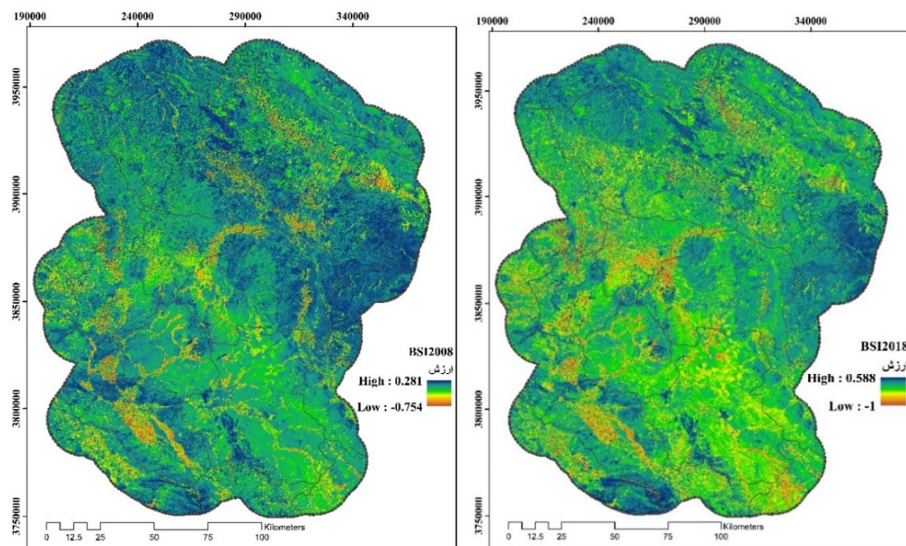
شکل ۷: نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۰۸ (سمت چپ) و ۲۰۱۸ (سمت راست) (منبع: نگارندگان)

جدول ۲: مساحت کاربری‌های استخراج‌شده از سری زمانی تصاویر لندست

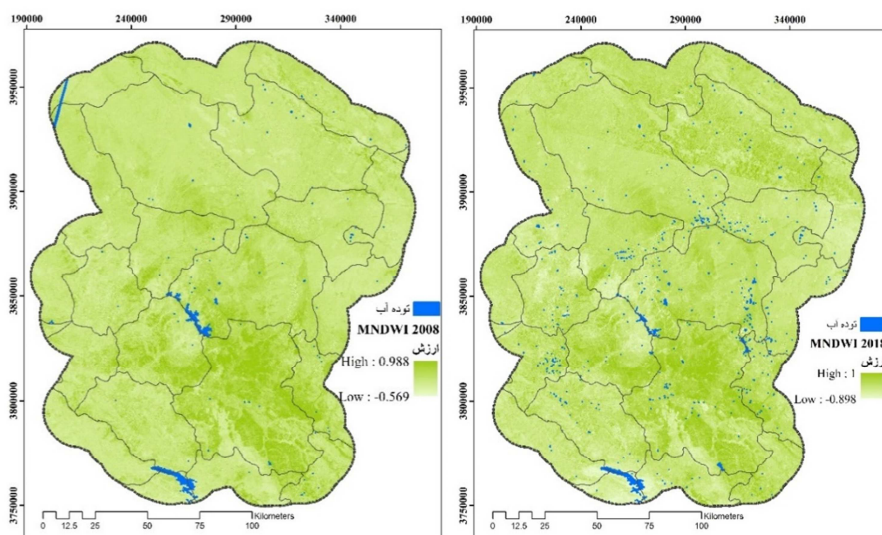
وضعیت	مساحت سال ۲۰۱۸ (km ²)	مساحت سال ۲۰۰۸ (km ²)	نوع کاربری
افزایشی	۴۰۲/۳۴	۳۸۳/۰۸	ساخت و سازشده
افزایشی	۱۴۳۶/۵۳	۸۷۴/۹۸	کشاورزی آبی
کاهشی	۴۰۳۵/۰۵	۴۱۳۶/۳۴	کوه و بیرون زدگی سنگی
افزایشی	۱۵۱۷/۷۶	۶۶۸/۱۹	درخت و باغ
کاهشی	۳۵۵۴/۷۹	۴۱۳۴/۱۲	کشاورزی دیم
کاهشی	۱۹۸۵/۸	۳۶۶۸/۲۳	اراضی کشاورزی آیش
کاهشی	۸/۵۱	۱۷/۳۱	برف
افزایشی	۴/۳۱	۱/۶۵	آب
کاهشی	۲۳۹۱/۶۸	۳۰۵۹/۸۳	مراتع غنی
افزایشی	۱۳۲۳۴/۲۳	۱۲۱۹۰/۶۹	مراتع فقیر
افزایشی	۲۴۲۹/۱	۱۸۵۱/۴۵	خاک‌های غیرقابل کشت

میانگین خاک‌های لخت در منطقه مطالعاتی با اعمال شاخص BSI و با استفاده از تصاویر لندست در دو دوره زمانی سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ در شکل (۸) نشان داده شده است. تشخیص خاک برهنه از پوشش گیاهی فقیر و خشک بر

اساس مقدار آستانه ۰/۰۲ قابل تشخیص است، به طوری که ارزش بالای این شاخص (بالاتر از ۰/۰۲) نشان دهنده خاک‌های برهنه و ارزش پایین (پایین تر از ۰/۰۲) نشان دهنده پوشش گیاهی، آب و برف است. نقشه میانگین شاخص توده آب نیز برای سال ۲۰۰۸ (انحراف معیار ۰/۱۰۶) و ۲۰۱۸ (انحراف معیار ۰/۱۱۷) در شکل (۹) نشان داده شده است. بر این اساس، مقادیر بالاتر از ۰/۳ به عنوان توده آب شناسایی و به رنگ آبی نمایش داده شده است.



شکل ۸: میانگین شاخص خاک لخت در سال‌های ۲۰۰۸ (سمت چپ) و ۲۰۱۸ (سمت راست) (منبع: نگارندگان)



شکل ۹: شاخص توده آب در سال‌های ۲۰۰۸ (سمت چپ) و ۲۰۱۸ (سمت راست) (منبع: نگارندگان)

نتیجه گیری

غلظت گردوغبار در سال‌های مختلف روند صعودی و نزولی را نشان می‌دهد که تحت تأثیر عوامل مختلفی بوده است. آنچه از روند کلی این تغییرات می‌توان برداشت کرد، مشابه بودن الگوی نقاط دارای بالاترین و پایین‌ترین غلظت‌ها

است. به عبارتی، در هر سال مناطق دارای بالاترین غلظت تقریباً تکرار شده است، اگرچه میزان غلظت با سال‌های دیگر متفاوت است، اما این مسئله در برنامه‌ریزی برای کنترل نقاط دارای پتانسیل ایجاد گردوغبار کمک شایانی می‌کند. طبقه‌بندی غلظت آئروسول‌ها در سه گروه تراکمی در محدوده مطالعاتی نشان داد که به ترتیب مساحت پهنه‌های دارای غلظت بالا، متوسط و غلظت پائین گردوغبار بر اساس تصاویر مادیس به ترتیب ۹۸۷۵/۱، ۱۲۹۴۵/۶ و ۸۱۸۰/۹ کیلومترمربع و بر اساس تصاویر سنتینل-۵ به ترتیب ۷۱۰۰/۵، ۱۲۰۵۱/۷ و ۱۱۸۲۷/۶ کیلومترمربع است که در تصاویر سنتینل به صورت پیوسته و در تصاویر مادیس به صورت پراکنده هستند. محدوده‌های دارای غلظت متوسط از گردوغبار در صورت عدم مدیریت در آینده می‌توانند به طبقه اول اضافه گردند. بر اساس نقشه‌های میانگین ماهانه غلظت آئروسول، محدوده‌های قرمز رنگ (غلظت بالا) دارای بیشترین تراکم گردوغبار هستند و به‌عنوان کانون‌های مولد داخلی گردوغبار، به دلیل بالاترین میزان تراکم آئروسول انتخاب شدند. در هر دو تصویر سنتینل-۵ و مادیس بیشترین کانون‌ها در شرق و شمال غربی منطقه مطالعاتی قرار دارند. نتایج کاربری اراضی نیز نشان داد که کاربری‌های کشاورزی آبی، باغستان، آب و مراتع فقیر در طول زمانی مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۸) روند افزایشی و کاربری‌های کوه و بیرون‌زدگی سنگی، کشاورزی دیم، اراضی کشاورزی آیش، برف و مراتع غنی نیز روند کاهشی داشته‌اند. مطابقت کانون‌های بالفعل تولید گردوغبار در تصاویر سنتینل-۵ با نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که بیشترین تمرکز آئروسول‌ها در خاک‌های غیرقابل کشت و بایر است؛ به‌طوری‌که بیشترین مساحت مربوط به هرکدام از کاربری‌های موجود در این کانون‌ها به ترتیب مراتع فقیر (۳۵/۳۰۶۸ کیلومتر مربع، خاک و اراضی غیرقابل کشت (۱۸/۱۶۳۹ کیلومتر مربع)، کشاورزی دیم (۶۷/۱۱۲۵ کیلومتر مربع)، کشاورزی آیش (۹۴/۵۰۲ کیلومتر مربع)، کوه و بیرون‌زدگی سنگی (۱۴/۳۱۹ کیلومتر مربع)، مناطق ساخت و ساز شده (۶۳/۱۲۲ کیلومتر مربع) هستند که به ترتیب ۷/۸، ۴/۷۶، ۳/۹۷، ۱/۸۴، ۰/۵۷ و ۰/۲۸ درصد از استان همدان را تشکیل می‌دهند. بنابراین مراتع فقیر و اراضی غیرقابل کشت به‌عنوان منابع مولد گردوغبار در داخل استان شناخته می‌شوند. همچنین مقایسه مساحت کاربری‌ها در محدوده مطالعاتی در سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ نشان داد که به ترتیب مساحت مراتع فقیر ۵۵/۱۰۴۳ کیلومتر مربع، خاک و اراضی غیرقابل کشت ۶۵/۵۷۷ کیلومتر مربع افزایش، کشاورزی دیم ۳۲/۵۷۹ کیلومتر مربع و کشاورزی آیش ۴۴/۱۶۸۲ کیلومتر مربع کاهش یافته است. اما مطابقت کانون‌های بالفعل تولید گردوغبار در تصاویر مادیس با کاربری اراضی نشان داد که به ترتیب بیشترین تمرکز آئروسول‌ها در کانون‌ها شامل کاربری‌های مراتع فقیر، کشاورزی دیم، خاک و اراضی غیرقابل کشت، کشاورزی آیش، کشاورزی آبی، کوه و بیرون‌زدگی سنگی، مراتع غنی، باغستان و مناطق ساخت و ساز شده است. شناسایی مناطق لخت و توده آب موجود در منطقه از سایر مناطق دارای اهمیت بسیار بالایی است، زیرا خاک‌های لخت نقش مهمی در ایجاد طوفان‌های گردوغبار ایفا می‌کنند (مانکستی^۱ و همکاران، ۲۰۱۶) و کاربری زمین لخت همیشه همراه با گردوغبار است (لیو^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین، مناطقی با کاربری فاقد پوشش گیاهی به‌عنوان کاربری‌های مؤثر در کانون‌های گردوغبار نقش دارند. از این‌رو، شناسایی مناطق لخت از سایر مناطق دارای اهمیت بسیار بالایی است، زیرا خاک‌های لخت نقش مهمی در ایجاد طوفان‌های گردوغبار ایفا می‌کنند. از این‌رو، به‌منظور انتخاب بایرترین پیکسل در تصاویر از شاخص

¹ Munkhtsetseg

² Liu

خاک لخت استفاده شد. این شاخص بر اساس میزان انعکاس خاک بدون پوشش و خاک دارای پوشش استوار است. طبق نتایج شاخص BSI، حدود ۱۸۶۶۱ کیلومترمربع در سال ۲۰۰۸ و حدود ۱۹۵۹۸ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۸ دارای خاک لخت است که روند صعودی داشته و نتایج کاربری اراضی نیز نشان داد که طبقه خاک‌های غیرقابل کشت و بایر در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ به ترتیب ۶ و ۸ درصد محدوده مطالعاتی را تشکیل می‌دهند که روند صعودی داشته است. نقشه میانگین شاخص توده آب نیز برای سال ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸ نیز نشان از افزایش توده‌های آب سطحی دارد که ناشی از افزایش تعداد سد در استان است. از عوامل مؤثر بر پدیده گردوغبار، خشک‌سالی تالاب‌ها و روند افزایشی احداث سد در منطقه مطالعاتی است که خود منجر به کاهش پوشش گیاهی و تبدیل اراضی کشاورزی می‌گردد. یکی از مهم‌ترین تالاب‌هایی که محدوده استان همدان و محدوده اثرگذار را از سمت شرق تحت تأثیر قرار می‌دهد تالاب میقان است. وضعیت تالاب میقان در چند سال اخیر رو به خشکی بوده است و با توجه به شرایط کنونی می‌تواند با تشدید بیابان‌زایی و ایجاد کانون‌های آلودگی، تهدیدها و آسیب‌های بسیاری برای استان همدان و محدوده اثرگذار ایجاد کند. در چند سال اخیر این تالاب به دلایل برخی اقدامات مدیریتی غیر صحیح از جمله برداشت‌های غیراصولی سولفات سدیم (بزرگ‌ترین منبع سولفات سدیم در ایران)، احداث جاده در خط میانی تالاب و خشک‌سالی‌های پی‌درپی منجر به ایجاد کانون‌های طوفان‌های نمکی و ریزگردهای محلی به‌خصوص در فصول گرم و خشک سال شده است و با وزش باد از سمت تالاب میقان حجم زیادی از ریزگردها به استان همدان وارد می‌شود. بررسی فراوانی وقوع رخداد گردوغبار در محدوده مطالعاتی نیز نشان داد که نقاط واقع در بافر ۱۵ کیلومتری در استان‌های کردستان و مرکزی اهمیت زیادی دارند و در داخل استان، در شهرستان ملایر و همچنین نقاطی در شهرستان رزن دارای فراوانی بالایی هستند. بر اساس آمارهای اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان همدان نیز، آثار خشک‌سالی‌های چندساله و تشنگی زمین در استان همدان در سال ۱۳۸۸ آغاز شده و مناطق شمال غربی جزء مناطقی هستند که در مواجهه با خشک‌سالی هستند. بیابانی شدن کانون‌های شرق منطقه مورد مطالعه به دلیل قرارگیری در اقلیم نیمه‌خشک و همچنین وجود دشت رزن- قهاوند است. بر اساس نقشه کاربری اراضی تهیه‌شده، قهاوند با مساحت حدود ۳۱۲۵۰۰ مترمربع در شرقی‌ترین قسمت استان همدان و در طبقه کاربری زمین بایر واقع شده است که به علت برداشت مفرط آب از سفره‌های زیرزمینی به علت وجود چاه‌های مجاز و غیرمجاز فراوان و همچنین عدم تدبیر و مدیریت در کشت محصولات آب‌بر از جمله سبزیجات، سیب‌زمینی و هندوانه در این مناطق کم آب با خشک شدن تعداد زیادی از دشت‌های استان و تبدیل به اراضی با خاک غیرقابل کشت و کم شدن منابع آب زیرزمینی مواجه است و منجر به کاهش دشت سرسبز قهاوند شده و بخش قابل توجهی از آن‌ها بیابانی شده است و از این‌رو دشت قهاوند را به یکی از کانون‌های بالفعل و بالقوه تولید گردوغبارهای داخلی تبدیل کرده است. بنابراین از اقدامات اولیه می‌توان به بستن چاه‌های غیرمجاز توسط شرکت آب منطقه‌ای در کاهش اثر کانون‌های ریزگرد اشاره کرد که دارای تأثیر مثبتی است. در این مقاله، رفتار دو شاخص مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای از نظر تشخیص و منشأ یابی گردوغبار با استفاده از تصاویر مادیس و سنتینل-۵ در استان همدان مورد بررسی قرار گرفت که برای مطالعه رفتار از مقایسه پیکسل به پیکسل تصاویر شاخص‌های ماهواره‌ای با شاخص زمینی استفاده شد و مشخص شد که بهترین پاسخ به منشأیابی کانون‌ها در سال‌های مورد بررسی با شاخص AI و با استفاده از تصاویر سنتینل-۵ به دست می‌آید. از این‌رو، بر اساس هدف این مطالعه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از جمله سنتینل-۵

می‌تواند در پایش کانون‌های گردوغبار مفید واقع گردد همچنان ضریب همبستگی ۸۲ درصدی عدد رقومی پیکسل‌های دو تصویر نشان داد که تصاویر سنتینل-۵ می‌تواند به‌عنوان مکملی برای تصاویر مادیس در شناسایی کانون‌های گردوغبار مفید واقع شود.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان همدان جهت تأمین منابع مالی این پروژه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- 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 جازمورین، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۷ (۱۰۶): ۱۵۳-۱۶۸. 10.22131/SEPEHR.2018.32339.
- احمدی، محمود؛ داداشی رودباری، عباسعلی. (۱۳۹۸). توزیع زمانی- مکانی ذرات معلق (pm2.5) با رویکرد محیط‌زیست در غرب و جنوب ایران بر مبنای سنجنده‌های MODIS، MISR، WIFS. محیط‌شناسی، ۴۵ (۳): ۳۹۴-۳۷۹. <http://10.22059/jes.2019.282101.1007867>
- ززولی، فلاح؛ وفایی نژاد، علیرضا؛ خیرخواه زرکش، میرمسعود؛ احمدی دهکا، فریبرز. (۱۳۹۳). منشاء‌یابی گرد و غبار غرب و جنوب غرب ایران و تحلیل سینوپتیکی آن با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دوره ۵، شماره ۴، ۶۱-۷۸. https://girs.bushehr.iau.ir/article_516681.html
- شمشیری، سیروس؛ جعفری، رضا؛ سلطانی، سعید؛ رضانی، نفیسه. (۱۳۹۴). آشکارسازی و پهنه‌بندی ریزگردهای استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS. بوم‌شناسی کاربردی، ۳ (۸): ۴۱-۳۰. <http://ijae.iut.ac.ir/article-۱۶۶-۱-fa.html>
- شه‌رسینوند، محسن؛ آخوندزاده، مهدی؛ سوری، امیرحسین. (۱۳۹۳). شناسایی گردوغبار در تصاویر ماهواره‌ای MODIS با استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم‌گیری. نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری، ۴ (۳): ۱۴۴-۱۳۱. <http://jgst.issge.ir/article-۱۲۸۴-۱-fa.html>
- محمدی، فهیمه؛ کمالی، سمیه؛ اسکندری، مریم. (۱۳۹۴). ردیابی منابع گردوغبار در سطوح مختلف جو با استفاده از مدل HYSPLIT. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۶: ۵۴-۳۹. doi: 10.22067/geo.v4i4.41109
- میراکبری، مریم؛ ابراهیمی، زهره. (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی ذرات معلق جو با استفاده از شاخص عمق اپتیکی آتروسول‌ها در جنوب شرق ایران. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۱ (۳): ۱۰۵-۸۷. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=531286>
- واکوی بحران ریزگردها در دفتر ایسنا. (یکشنبه ۲۵ تیر ۱۳۹۶). خبرگزاری دانشجویان ایران. شماره 49443-hamedan.
- Ahn, C., Torres, O., Loyola, D.G., Tiruchirapalli, R., & Jethva, H.T. (2018). Aerosol Index Products from Sentinel-5P/TROPOMI and Suomi-NPP/OMPS Measurements. AGUFM, 33-3292. 2018AGUFM.A33J3292A.
- 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 Sci, 60, 169-181. 10.1007/s12665-009-0177-3
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2020). Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. Meteorol Atmos Phys, 132, 885-898. 10.1007/s00703-020-00728-3
- Cao, H., Liu, J., Wang, G., Yang, G., & Luo, L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. Journal of Arid Land, 7(5), 567-578. 10.1007/s40333-015-0127-8
- Grousset F.E. & Biscaye, P.E. (2005). Tracing dust sources and transport patterns using Sr, Nd, and Pb isotopes. Chemical Geology, 222(3-4):149-67. 10.1016/j.chemgeo.2005.05.006
- Guo, J.P., Zhang, X.Y., Che, H.Z., Gong, S.L., An, X., Cao, C.X., et al. (2009). Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. Atmospheric Environment, 43(37):5876-86. 10.1016/j.atmosenv.2009.08.026
- Ji, L., Zhang, L., Wylie, B. (2009). Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(11):1307-1317. 10.14358/PERS.75.11.1307.

- Kasturi, D.K, Yaso, N. (2010). Preliminary analysis of the spatial and temporal patterns of aerosols and their impact on climate in Malaysia using MODIS satellite data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Volume XXXVIII(8), Kyoto Japan.
- Kaufman, Y.J., Koren, I., Remer, L., Tanré, D., Ginoux, P., & Fan, S. (2005). Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*; 110(D10). [10.1029/2003jd004436](https://doi.org/10.1029/2003jd004436).
- Klüser, L., Schepanski, K. (2009), Remote sensing of mineral dust over land with MSG inferred channels: A new Bitemporal Mineral Dust Index, *Remote Sens. Environ.*, 113, 9. doi.org/10.1016/j.rse.2009.04.012
- Kumar, A. (2020). Spatio-temporal variations in satellite-based aerosol optical depths & aerosol index over Indian subcontinent: Impact of urbanization and climate change. *Urban Climate*, 32:100598. [10.1016/j.uclim.2020.100598](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100598).
- Liu, J., Ding, J., Li, L., Li, X., Zhang, Z., Ran, S. et al. (2020). Characteristics of aerosol optical depth over land types in central Asia. *Science of the Total Environment*, 727, 138676. [10.1016/j.scitotenv.2020.138676](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138676).
- Loi, D., Chou, T.Y., & Fang, Y.M. (2017). Integration of GIS and Remote Sensing for Evaluating Forest Canopy Density Index in Thai Nguyen Province, Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8:539-42. [10.18178/ijesd.2017.8.8.1012](https://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.8.1012).
- McFeeters, S.K. (2013). Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach. *Remote Sensing*, 5(7):3544–61. doi.org/10.3390/rs5073544.
- Munkhtsetseg, E., Shinoda, M., Gillies, J.A., Kimura, R., King, J., Nikolich, G. (2016). Relationships between soil moisture and dust emissions in a bare sandy soil of Mongolia. *Particuology*, 28, 131-137. [10.1016/j.partic.2016.03.001](https://doi.org/10.1016/j.partic.2016.03.001).
- Ogren, J.A. (1995). A systematic approach to in situ observations of aerosol properties, in *Aerosol Forcing of Climate*, edited by: Charlson, R. J., and Heintzenberg, J., John Wiley & Sons, Ltd., 215–226.
- Powell, J.T., Chatziefthimiou, A.D., Banack, S.A., Cox, P.A., Metcalf, J.S. (2015). Desert crust microorganisms, their environment, and human health. *Journal of Arid Environments*, 112:127-33. [10.1016/j.jaridenv.2013.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.11.004)
- Raygani, B., Barati, S., Goshtasb, H., Gachpaz, S., Ramezani, J. & Sarkheil, H. (2020). Sand and dust storm sources identification: A remote sensing approach. *Ecological Indicators*, 112:106099. [10.1016/j.ecolind.2020.106099](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106099).
- Taghavi, F., Owlad, E. & Ackerman, S.A. (2017). Enhancement and identification of dust events in the southwest region of Iran using satellite observations. *Journal of Earth System Science*, 126(2), 28. [10.1007/s12040-017-0808-0](https://doi.org/10.1007/s12040-017-0808-0)
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14):3025–33. [10.1080/01431160600589179](https://doi.org/10.1080/01431160600589179).
- Zhang, Y., Liu, Y., Kucera, P.A., Alharbi, B.H., Pan, L., Ghulam, A. (2015). Dust modeling over Saudi Arabia using WRF-Chem: March 2009 severe dust case. *Atmospheric Environment*, 119,118–30. [10.1016/j.atmosenv.2015.08.032](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.032)
- Zhang, P., Lu, N.m., Hu, X.q. & Dong, C.h. (2009). Identification and physical retrieval of dust storms using three MODIS thermal IR channels. *Global and Planetary Change*, 52(1-4):197–206. [10.1016/j.gloplacha.2006.02.014](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.014).

References

References (in Persian)

- Arjmand, M., Rashki, A., Sargazi, H. (2018). Monitoring of spatial and temporal variability of desert dust over the Hamoun e Jazmurian, Southeast of Iran based on the Satellite Data. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(106), 153-168. DOI: [10.22131/sepehr.2018.32339](https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.32339). [In Persian].
- Ahmadi, M., Dadashroudbari, A. (2000). Spatio-Temporal Distribution of Particulate Matter (PM_{2.5}) with an Environmental Approach in West and Southwest of Iran Based on SeaWiFS, MISR and MODIS Sensors. *Journal of Environmental Studies*, 45(3), 379-394. doi:[10.22059/jes.2019.282101.1007867](https://doi.org/10.22059/jes.2019.282101.1007867). [In Persian].
- Analyzing dust crisis in the ISNA office. (16 Jun 2017). Iranian Student's News Agency. Hamedan-49443. [In Persian].
- Shahrisvand, M., Akhoondzadeh Hanzaei, M., & Soury A. (2015). Comparison of Support Vector Machine, Artificial Neural Network and Decision Tree Classifiers for Dust Detection in Modis Imagery. *JGST*, 4 (3), 131-144. URL: <http://jgst.issge.ir/article-1-284-fa.html>. [In Persian].
- Shamshiri, S., Jafari, R., Soltani, S., & Ramezani, N. (2014). Dust Detection and Mapping in Kermanshah Province Using MODIS Satellite Imagery. *ijae*. 3 (8), 29-42. <http://ijae.iut.ac.ir/article-1-516-fa.html>. [In Persian].
- Mirakbari, M., Ebrahimi Khusfi, Z. (2020). Investigation of spatial and temporal changes in atmospheric aerosol using aerosol optical depth in Southeastern Iran, *Journal of Rs and Gis for Natural Resources*, 11(3), 87-105. magiran.com/p2189684. [In Persian].
- Mohammadi, F., Kamali, S., Eskandary, M. (2016). Tracing Dust Sources in Different Atmosphere Levels of Tehran Using Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPPLIT) Model. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 4(4), 39-54. DOI: [10.22067/geo.v4i4.41109](https://doi.org/10.22067/geo.v4i4.41109). [In Persian].
- zazuli, M.F., Vafaeinezhad, A., Kheirkhah zarkesh, M.M., Ahmadi dehka, F. (2014). Source routing of dust haze phenomenon in the west and southwest of Iran and its synoptic analysis by using remote sensing and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(4), 61-78. https://girs.bushehr.iau.ir/article_516681.html?lang=en. [In Persian]

References (in English)

- Ahn, C., Torres, O., Loyola, D.G., Tiruchirapalli, R., & Jethva, H.T. (2018). Aerosol Index Products from Sentinel-5P/TROPOMI and Suomi-NPP/OMPS Measurements. *AGUFM*, 33-3292. 2018AGUFM.A33J3292A.
- 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 Sci*, 60, 169–181. [10.1007/s12665-009-0177-3](https://doi.org/10.1007/s12665-009-0177-3)
- Baghbanan, P., Ghavidel, Y., & Farajzadeh, M. (2020). Temporal long-term variations in the occurrence of dust storm days in Iran. *Meteorol Atmos Phys*, 132, 885–898. [10.1007/s00703-020-00728-3](https://doi.org/10.1007/s00703-020-00728-3)
- Cao, H., Liu, J., Wang, G., Yang, G., & Luo, L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Journal of Arid Land*, 7(5), 567-578. [10.1007/s40333-015-0127-8](https://doi.org/10.1007/s40333-015-0127-8)
- Grousset F.E. & Biscaye, P.E. (2005). Tracing dust sources and transport patterns using Sr, Nd, and Pb isotopes. *Chemical Geology*, 222(3-4):149–67. [10.1016/j.chemgeo.2005.05.006](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.05.006).
- Guo, J.P., Zhang, X.Y., Che, H.Z., Gong, S.L., An, X., Cao, C.X., et al. (2009). Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. *Atmospheric Environment*, 43(37):5876-86. [10.1016/j.atmosenv.2009.08.026](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.08.026).
- Ji, L., Zhang, L., Wylie, B. (2009). Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11):1307–1317. 10.14358/PERS.75.11.1307.
- Kasturi, D.K, Yaso, N. (2010). Preliminary analysis of the spatial and temporal patterns of aerosols and their impact on climate in Malaysia using MODIS satellite data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Volume XXXVIII(8), Kyoto Japan.
- Kaufman, Y.J., Koren, I., Remer, L., Tanré, D., Ginoux, P., & Fan, S. (2005). Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*; 110(D10). 10.1029/2003jd004436.
- Klüser, L., Schepanski, K. (2009). Remote sensing of mineral dust over land with MSG inferred channels: A new Bitemporal Mineral Dust Index, *Remote Sens. Environ.*, 113, 9. doi.org/10.1016/j.rse.2009.04.012
- Kumar, A. (2020). Spatio-temporal variations in satellite-based aerosol optical depths & aerosol index over Indian subcontinent: Impact of urbanization and climate change. *Urban Climate*, 32:100598. [10.1016/j.uclim.2020.100598](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100598).
- Liu, J., Ding, J., Li, L., Li, X., Zhang, Z., Ran, S. et al. (2020). Characteristics of aerosol optical depth over land types in central Asia. *Science of the Total Environment*, 727, 138676. [10.1016/j.scitotenv.2020.138676](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138676).
- Loi, D., Chou, T.Y., & Fang, Y.M. (2017). Integration of GIS and Remote Sensing for Evaluating Forest Canopy Density Index in Thai Nguyen Province, Vietnam. *International Journal of Environmental Science and Development*, 8:539-42. [10.18178/ijesd.2017.8.8.1012](https://doi.org/10.18178/ijesd.2017.8.8.1012).
- McFeeters, S.K. (2013). Using the normalized difference water index (NDWI) within a geographic information system to detect swimming pools for mosquito abatement: A practical approach. *Remote Sensing*, 5(7):3544–61. doi.org/10.3390/rs5073544.
- Munkhtsetseg, E., Shinoda, M., Gillies, J.A., Kimura, R., King, J., Nikolich, G. (2016). Relationships between soil moisture and dust emissions in a bare sandy soil of Mongolia. *Particology*, 28, 131-137. 10.1016/j.partic.2016.03.001.

- Ogren, J.A. (1995). A systematic approach to in situ observations of aerosol properties, in *Aerosol Forcing of Climate*, edited by: Charlson, R. J., and Heintzenberg, J., John Wiley & Sons, Ltd., 215–226.
- Powell, J.T., Chatziefthimiou, A.D., Banack, S.A., Cox, P.A., Metcalf, J.S. (2015). Desert crust microorganisms, their environment, and human health. *Journal of Arid Environments*, 112:127-33. [10.1016/j.jaridenv.2013.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.11.004)
- Raygani, B., Barati, S., Goshtasb, H., Gachpaz, S., Ramezani, J. & Sarkheil, H. (2020). Sand and dust storm sources identification: A remote sensing approach. *Ecological Indicators*, 112:106099. [10.1016/j.ecolind.2020.106099](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106099).
- Taghavi, F., Owlad, E. & Ackerman, S.A. (2017). Enhancement and identification of dust events in the southwest region of Iran using satellite observations. *Journal of Earth System Science*, 126(2), 28. [10.1007/s12040-017-0808-0](https://doi.org/10.1007/s12040-017-0808-0)
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14):3025–33. [10.1080/01431160600589179](https://doi.org/10.1080/01431160600589179).
- Zhang, Y., Liu, Y., Kucera, P.A., Alharbi, B.H., Pan, L., Ghulam, A. (2015). Dust modeling over Saudi Arabia using WRF-Chem: March 2009 severe dust case. *Atmospheric Environment*, 119,118–30. [10.1016/j.atmosenv.2015.08.032](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.032)
- Zhang, P., Lu, N.m., Hu, X.q. & Dong, C.h. (2009). Identification and physical retrieval of dust storms using three MODIS thermal IR channels. *Global and Planetary Change*, 52(1-4):197–206. [10.1016/j.gloplacha.2006.02.014](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.02.014).