

بکارگیری تصاویر ماهواره‌های مادیس در منشأیابی و تعیین مسیر طوفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران

بهناز قادری^۱، زهرا عزیزی^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۲ استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۱۸ ، تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۰

چکیده

در سال‌های اخیر وقوع طوفان‌های گردوغبار در غرب و جنوب غرب کشور به‌وفور گزارش شده است. جمع‌آوری و تحلیل به‌هنگام اطلاعات گردوغبار در مدیریت بهینه برای مقابله و پیشگیری بلایای طبیعی حائز اهمیت است. لذا در این تحقیق با هدف به‌روزرسانی اطلاعات و پایش و مسیریابی گردوغبار در استان خوزستان و غرب کشور از داده‌های اقلیمی و سنجش از دور (دو دهه اخیر) استفاده شد. استان خوزستان دارای ۲۰ ایستگاه همدیدی می‌باشد. در این تحقیق از داده‌های ساعتی در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ استفاده شد، داده‌های ماهواره‌ای سنجنده مادیس محصول MOD021KM در تاریخ‌های مطابق با روزهای گردوغباری ثبت شده در ایستگاه، تهیه گردید. جهت بارزسازی گردوغبار، ترکیب رنگی واقعی و شاخص‌های گردوغباری (BTDO، NDDI) اعمال شد، سپس با استفاده از مدل هواشناسی HY SPLIT مسیر و منشأ طوفان گردوغبار در سه تراژکتوری ارتفاعی بررسی و ردیابی گردید. پس از پایش گردوغبار، همبستگی شاخص‌های گردوغبار با متغیرهای مستقل (پارامترهای هواشناسی) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج همبستگی نشان داد پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت رابطه‌ای با گردوغبارهای استان خوزستان و غرب کشور نداشته‌اند، و از کشورهای همسایه عراق، عربستان، سوریه و اردن وارد شده است بنابراین می‌توان گردوغبار را پدیده‌ای خارجی محسوب کرد.

کلمات کلیدی: سنجش از دور، داده‌های مادیس، شاخص گردوغبار، مدل HYSPLIT

پدیده گردوغبار امروزه یکی از مهمترین بلاهای جوی و اقلیمی محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به شمار می رود که هر ساله باعث ایجاد خسارات فراوانی به بخش هایی از جمله صنعت، حمل و نقل، کشاورزی، گردشگری و سلامت انسان می گردد (باعقیده، ۱۳۹۳). بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی هرگاه سرعت باد از ۱۵ متر بر ثانیه تجاوز کند و در اثر آن حجمی از گردوغبار وارد اتمسفر شود به نحوی که میدان دید افقی به کمتر از یک کیلومتر (۱۰۰۰ متر) برسد، طوفان گردوغبار گزارش می شود. پدیده گردوغبار در چند سال اخیر در مناطق غرب و جنوب غرب کشور همراه با مشکلات فراوانی برای ساکنان این مناطق بوده است که به تدریج گسترش یافته و به استان های دیگر از جمله پایتخت هم رسیده است (فلاح زوزولی و همکاران، ۱۳۹۳). فراوانی وقوع گردوغبار در یک منطقه به عواملی از جمله بسته به جنس سطوح زمین، اندازه دانه، بافت خاک، سرعت باد بالا، پستی و بلندی های زمین، خاک بدون پوشش، شرایط آب و هوایی خشک، رطوبت خاک، پوشش گیاهی، سیستم هوای محلی و بیرونی، بارش کوتاه مدت، وسعت جنگل زدایی، خشکسالی های بلند مدت، تغییرات کاربری زمین و فعالیت های انسانی بستگی دارد. ذرات ریز وارد جریان اتمسفری می شوند و تولید گردوغبار اتمسفری می نمایند (باعقیده، ۱۳۹۳ و خسروی، ۱۳۸۷). بروز پدیده گردوغبار باعث خساراتی از جمله افزایش آفات و بیماری ها، افزایش تصادفات جاده ای به علت کاهش قدرت دید و انواع بیماری ها از جمله برونشیت، آسم، آلرژی، حساسیت های پوستی و ... می شود (باعقیده و همکاران، ۱۳۹۳). خسارات محیط زیست آن نیز شامل، آلودگی منابع آبی، تأثیر بر فرایند فتوسنتز گیاه و کاهش عملکرد محصول می شود (شاهسونی، ۱۳۹۰) علاوه بر این موارد، محیط زیست را دچار اختلال کرده است و روند رشد گیاهان را کاهش می دهد. خسارات ملموس این پدیده بر منابع طبیعی و پوشش گیاهی قابل رویت است، به طوری که در جنگل های بلوط غرب کشور بسته شدن

روزنه برگ های این درختان در اثر افزایش غلظت ذرات گردوغبار باعث خشک شدن آن ها شده است (باعقیده، ۱۳۹۳؛ هائو و همکاران، ۲۰۱۰).

تحقیقات پیشین نشان داده است، گردوغبار گستره زیادی پیدا کرده است، بنابراین به یک پدیده غیر قابل کنترل در منطقه و کشور تبدیل شده است (زینالی، ۱۳۹۵؛ تقوی و همکاران، ۱۳۹۲).

رئیس پور سال (۱۳۹۷) در پژوهشی رویداد گردوغباری آبان ماه ۱۳۹۶ را، با استفاده از شاخص های مبتنی بر سنجش از دور چند زمانه Terra/Modis، تحلیل های همدیدی مبتنی بر برون داد پایگاه ECMWF¹ و پارامترهای هوا سپهر از پایگاه NCEP/NCAR² بررسی نمود. بر حسب ویژگی های انعکاس و جذب رویداد غباری مذکور، محدوده غبار حاصله از شدت به گونه ای دقیق استخراج و برآورد شد. سپس مسیر حرکت آن به وسیله داده های چند زمانه Terra/MODIS مشخص گردید (رئیس پور، ۱۳۹۷).

ماریو چاکون مورویا^۳ و همکارانش در سال ۲۰۱۱ با استفاده از داده های هواشناسی و تصاویر ماهواره ای سنجنده مادیس و الگوریتم ANN^۴ شناسایی و طبقه بندی مناطق دارای گردوغبار را انجام دادند. نتایج تحقیق مذکور گویای دقت مدل های بکار گرفته شده در پایش، بارز سازی و پیش بینی گردوغبار با ترکیب تصاویر ماهواره ای مادیس و داده های هواشناسی می باشد (چاکون و همکاران، ۲۰۱۱).

آنتونی جی پارولاری^۵ و همکارانش در سال (۲۰۱۶)، با استفاده از سنجش از دور و اطلاعات هواشناسی طوفان های گردوغبار در خاور میانه را بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد پارامترهای دمای سطح زمین و رطوبت نسبی و پوشش گیاهی منطقه نقش مهمی در شکل گیری و پایش طوفان گردوغبار داشته است. نتایج به دست آمده

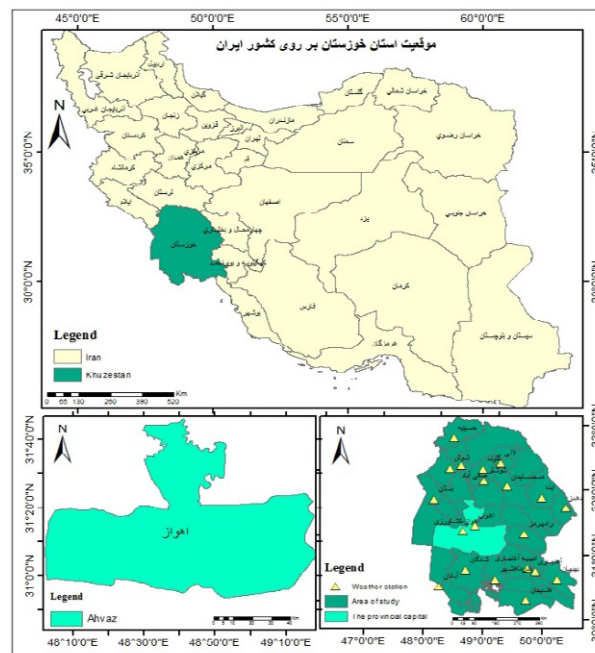
1. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

2. National Centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research

3. Mario. Chacon-murguia

4. Artificial Neural Networks

5. Anthony J. Parollari



شکل ۱: موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه (استان خوزستان)

نشان می‌دهد سنجش‌ازدور ابزاری توانمند در مدل‌سازی و پیش‌بینی وقوع گردوغبار و بررسی و پایش آن است. تصاویر ماهواره‌ای به دلیل پوشش وسیع و ویژگی‌های طیفی مناسب، توانایی تشخیص ذرات معلق را دارد و به‌خوبی می‌تواند مسیر انتشار و حرکت آنها را نمایش دهد. (قادری و عزیزی، ۱۳۹۹).

مواد و روش‌ها

الف: منطقه مورد مطالعه

استان خوزستان در محدوده ۴۷ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی از خط استوا قرار دارد (شکل ۱).

بر اساس تقسیمات کشوری در سال ۱۳۹۵ این استان به ۲۷ شهرستان ۴۷ شهر، ۴۶ بخش و ۱۲۶ دهستان تقسیم شده است، شمال و شرق استان خوزستان را سلسله جبال زاگرس پوشش داده است که هرچه به سمت جنوب غربی پیش برویم از ارتفاع آن کاسته می‌شود و در

اختلاف پوشش گیاهی در سال‌های مختلف در مناطقی که طوفان به‌شدت رخ داده است، را نمایش داد. همچنین در مناطق خشکی که پوشش گیاهی از بین رفته بود، باتوجه به میزان عمق اپتیکی آئروسول‌ها^۶ AOD مدل‌سازی و پیش‌بینی آب‌وهوا از طریق^۷ WRF انجام شد.

در همین راستا، صباح و همکاران^۸ در سال (۲۰۱۸) نیز عمق نوری آئروسول (AOD) را با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های Aeronet، داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای مادیس در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۰۷ محاسبه نموده و رابطه بین داده‌ها را بررسی نمودند، نتایج آن‌ها نشان داد ذرات درشت آئروسول‌ها در فصل بهار و تابستان به بیشترین حد رسیده است.

نتایج تحقیق منگ^۹ و همکارانش در سال (۲۰۱۹) نیز نشان داد در فصل بهار بیشترین طوفان گردوغبار وجود دارد.

مروری بر تحقیقات ذکر شده و نتایج پژوهش حاضر

6. Aerosol optical depth

7. World Meteorological Organization

8. Ismail Sabbah

9. Lu Meng

نواحی جنوبی‌تر به‌صورت تپه ماهوری نمایان می‌گردد. شهر اهواز مرکز استان خوزستان می‌باشد. این استان با مساحت ۶۴۰۵۴ کیلومترمربع در جنوب غربی ایران در کرانه خلیج فارس و اروندرود قرار دارد و مرکز استخراج نفت و گاز می‌باشد. ضمن اینکه خوزستان پنجمین استان پرجمعیت ایران است. دارای ۴۰۷۱۰۵۰۹ نفر جمعیت می‌باشد، (مرکز آمار ایران) موقعیت آن از شمال به استان لرستان، از شمال شرقی و شرق به استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری، از شمال غربی به استان ایلام، از شرق و جنوب شرقی به استان کهگیلویه و بویراحمد، از جنوب به استان بوشهر و خلیج فارس، و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود.

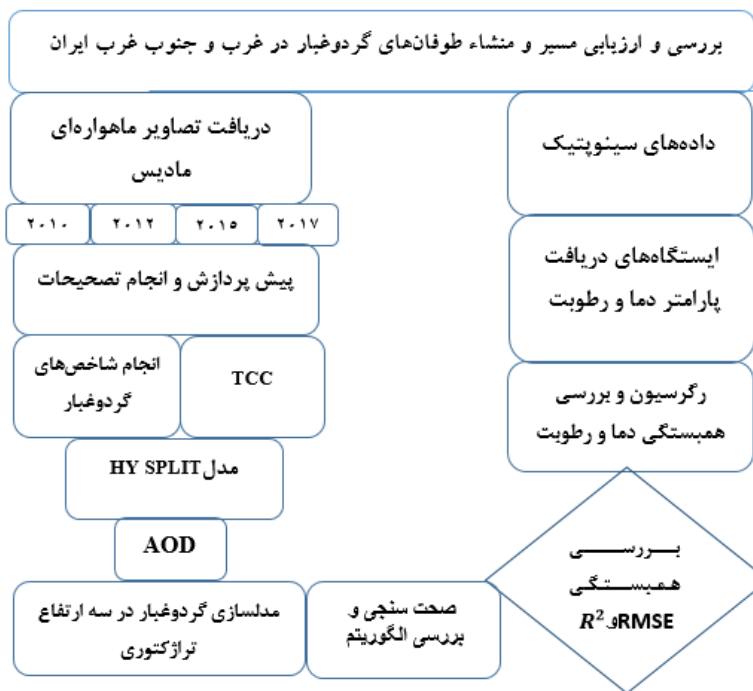
ب: داده‌های ایستگاه‌های همدیدی:

ثبت پدیده در ایستگاه‌های همدیدی کشور در ۸ نوبت در ساعات گرینویچ (۰۰، ۰۳، ۰۶، ۰۹، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱) صورت می‌گیرد. به هر پدیده اتفاق افتاده در هر روز یک کد شناسه از اعداد (۰ تا ۹۹) داده می‌شود.

در مورد وجود گردوغبار معلق در هوا که در اثر طوفان شن و خاک خارج از ایستگاه به محل ایستگاه همدیدی آمده است و دارای پایداری است، کد (WW=۰۶)، در کنار آن ساعات دیدبانی ثبت می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش مربوط به سنجنده ترا و ماهواره مادیس هستند که در تاریخ‌های ۲۰۱۰/۰۷/۲۱، ۲۰۱۲/۰۶/۱۷، ۲۰۱۵/۰۸/۲۹ و ۲۰۱۷/۰۶/۲۲ در ساعت ۱۰:۳۰ قبل از ظهر برداشت شده‌اند. با بررسی ۲۰ ایستگاه همدیدی در استان خوزستان در دوره اقلیمی انتخابی و با در نظر گرفتن شروط ذیل داده‌های هواشناسی در نهایت داده‌های ماهواره‌ای انتخاب گردید.

- دارای دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر، سرعت باد ۱۵ متر بر ثانیه و کد $w = 06$ ثبت شده در ایستگاه همدیدی باشد.

- طوفان گردوغبار در اغلب ایستگاه‌ها ثبت شده باشد.
- ساعات ثبت پدیده گردوغبار در ایستگاه‌های همدیدی با زمان تصویربرداری سنجنده مادیس (MODIS) همخوانی داشته باشد.



شکل ۲- مراحل الگوریتم تحقیق

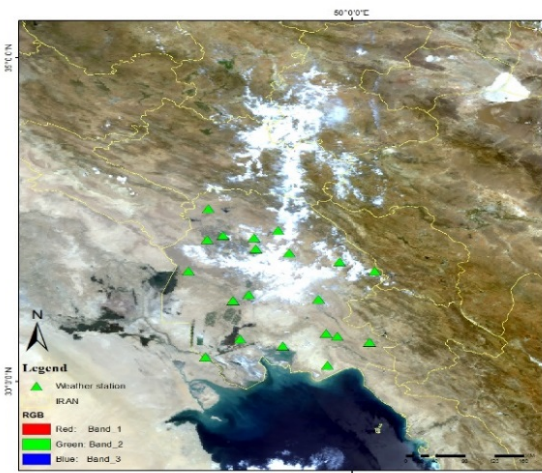
ج: تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس

در هر پژوهش طبق کاربرد و موضوع، داده‌های ماهواره‌ای استفاده می‌شود. طوفان‌های گردوغبار جزء پدیده‌های زودگذر و پویا می‌باشند؛ بنابراین تصاویری با قدرت تفکیک زمانی بالا مناسب است. سنجنده مادیس دارای ۳۶ باند می‌باشد. قدرت تفکیک مکانی آن ۲۵۰ متر برای باندهای ۱ و ۲، ۵۰۰ متر برای باندهای ۳ تا ۷ و ۱۰۰۰ متر برای باندهای ۸ تا ۳۶ می‌باشد. تصاویر این سنجنده هر یک روز یک‌بار کل زمین را پوشش می‌دهد و مدت‌زمان

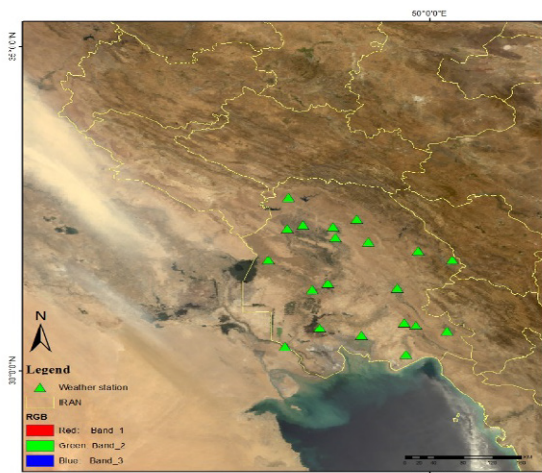
گردش به دور زمین ۹۹ دقیقه است؛ بنابراین به دلیل قدرت تفکیک زمانی بالا، برای پایش گردوغبار گزینه مناسبی می‌باشد. شکل ۲ مراحل تحقیق را نشان می‌دهد.

د: روش مورد استفاده در پژوهش

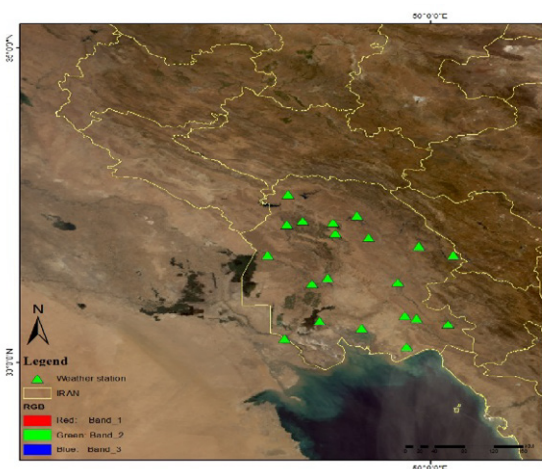
در این تحقیق داده‌های ایستگاه‌های همدیدی استان خوزستان در بازه زمانی ۲۰۱۰ - ۲۰۱۷ به صورت روزانه مورد بررسی قرار گرفت. با در نظر گرفتن روزهای دارای طوفان گردوغبار و میزان دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر،



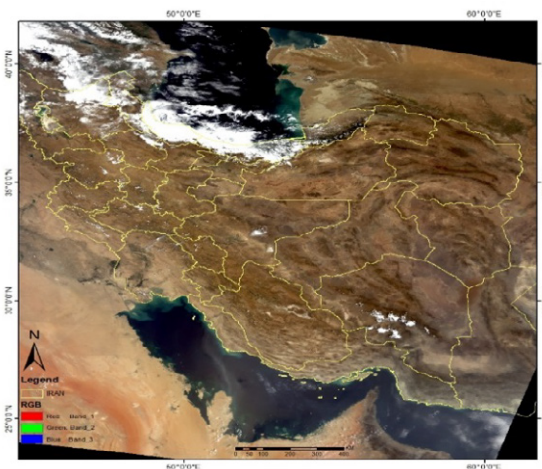
شکل ۴: ترکیب رنگی حقیقی در تاریخ ۱۷/۰۶/۲۰۱۲



شکل ۳: ترکیب رنگی حقیقی در تاریخ ۲۱/۰۷/۲۰۱۰



شکل ۶: ترکیب رنگی حقیقی در تاریخ ۲۲/۰۶/۲۰۱۷



شکل ۵: ترکیب رنگی حقیقی در تاریخ ۰۲/۰۹/۲۰۱۵

تصاویر ماهواره Terra سنجنده MODIS مربوط به روزهای گردوغبار از سایت (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/order/1/MOD021KM--61>) با فرمت HDF دانلود شد. برای پایش پیکسل‌های حاوی گردوغبار از روش‌های ترکیب رنگی واقعی و شاخص‌ها استفاده گردید. سپس با استفاده از مدل Hysplit مسیر و منشأ اصلی گردوغبار در ارتفاع ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از سطح زمین ردیابی شد و در ادامه با استفاده از رابطه رگرسیونی بین پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای وجود رابطه و میزان آن‌ها بررسی گردید (قادری و عزیزی، ۱۳۹۹).

هنر ترکیب رنگی حقیقی (RGB) و شاخص‌های گردوغبار *NDDI* و *BTD*

ترکیب رنگی با روش‌های چشمی (ترکیب رنگی واقعی) طوفان‌های گردوغبار به صورت توده و ابری از گردوغبار و خاک در تصاویر نمایان شده است، رهگیری گردوغبار در تصاویر ماهواره‌ای به راحتی صورت می‌گیرد، در تصاویر مادیس ترکیب رنگی باندهای (۱-۴-۳) ترکیب رنگی، به صورت حقیقی را به ما نشان می‌دهد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱؛ قادری و عزیزی، ۱۴۰۰). ترکیب رنگی بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای بکار گرفته شده در این تحقیق در شکل ۳، ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

۱- شاخص *BTD* (*Brightness Temperature Difference*)

زمانی که طوفان‌های گردوغبار اتفاق می‌افتد مقداری از ذرات گردوغبار به شکل یک‌لایه کنار هم قرار می‌گیرند. لایه ضخیم گردوغبار می‌تواند تابش خورشیدی را جذب و بازتاب کند. با مقایسه ویژگی‌های طیفی میان ریزگرد، زمین و ابر می‌توان دریافت که ابر با انعکاس بالا اما دمای تابندگی پایین، زمین با بازتاب کم اما دمای تابندگی بالا و گردوغبار بین این دو پدیده قرار دارد. باندهای ۳۱ و ۳۲ مادیس در محدوده حرارتی مادون قرمز می‌باشند (آکرمن، ۱۹۹۷). این محدوده جذب به وسیله دیگر گازهای

اتمسفیری بسیار ناچیز است.

در هر کدام از باندهای ۳۱ و ۳۲ میزان اختلاف دما بین زمین، گردوغبار و ابر بالا است. گردوغبار نسبت به سایر پدیده‌ها دمای بالاتری در باندهای ۳۱ و ۳۲ دارد و اختلاف دمای تابندگی بین این دو باند در تشخیص پدیده گردوغبار به عنوان شاخص *BTD* شناخته شد و به کار گرفته می‌شود (صمدی، ۱۳۹۰). برای محاسبه این شاخص ابتدا باید مقدار دمای ظاهری (*BT*) در هر باند را به دست آورد. در روش آکرمن آستانه در شاخص *BTD* ابرها دارای مقادیر مثبت و گردوغبار دارای مقادیر کوچکتر از صفر یعنی منفی می‌باشد (آکرمن، ۱۹۹۷). شکل ۷ شاخص *BTD* بدست آمده برای منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

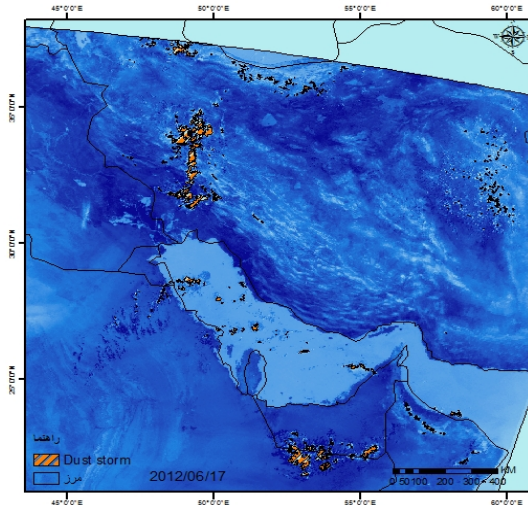
۲- شاخص *NDDI* (*Normalized Difference Dust Index*)
در شاخص *NDDI* به دلیل حساسیت بالای باند ۷ مادیس به رطوبت، کارایی بالایی دارد و می‌تواند ریزگردها را روی سطوح روشن بارزسازی کند. انعکاس خاک و گردوغبار با افزایش طول موج افزایش پیدا می‌کند و حداقل آن در طول موج ۰٫۴ میکرومتر (باند ۳ مادیس) و حداکثر آن در طول موج ۴٫۲ میکرومتر (باند ۷ مادیس) می‌باشد. آستانه شاخص برای پدیده گردوغبار مقادیر مثبت بوده و برای ابر و آب مقادیر منفی به دست می‌آید. در تصاویری که معمولاً آب و ابر باشد الگوریتم *NDDI* نتایج ضعیفی خواهد داشت (رئیس پور، ۱۳۹۸). این شاخص برای منطقه مورد مطالعه در شکل ۸ قابل مشاهده است.

و: شناسایی پدیده گردوغبار

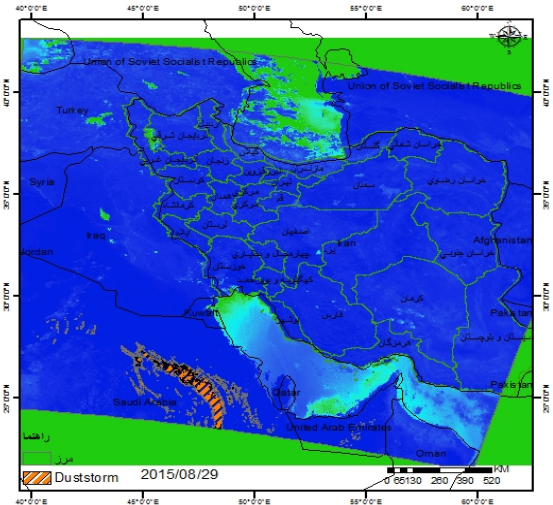
پس از دریافت تصاویر مربوط به روز وقوع طوفان‌های گردوغبار، پایش پیکسل‌های حاوی گردوغبار انجام شد (زوزولی و همکاران، ۱۳۹۳).

به منظور شناسایی منشأ گردوغبار از دو روش استفاده گردید:

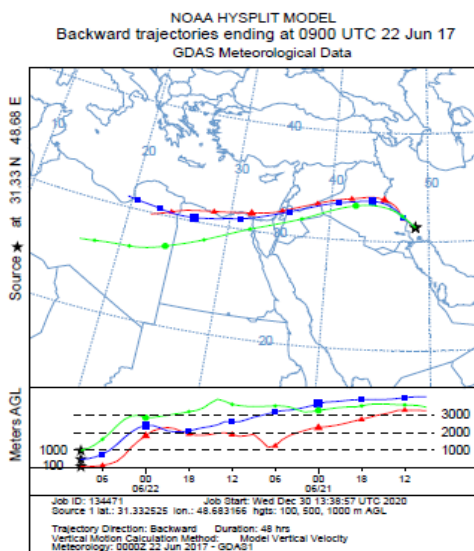
- استفاده از تفسیر چشمی تصاویر و رهگیری



شکل ۸- بارزسازی با شاخص NDDI در تاریخ ۲۹-۰۸-۲۰۱۵



شکل ۷- بارزسازی با شاخص BTD در تاریخ ۱۷-۰۶-۲۰۱۲



شکل ۹- مسیر پدیده گردوغبار در تاریخ ۲۱-۰۷-۲۰۱۰



ز: مسیریابی منشأ طوفان گردوغبار با مدل HYSPLIT
 HYSPLIT مدلی دوگانه برای محاسبه خط سیر حرکت گردوغبار، پراکندگی و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن با استفاده از رویکردهای PUFF و ذرات است. ابتدا به بررسی داده‌های هواشناسی دریافت شده از ایستگاه خوزستان پرداخته شد. سپس با توجه به داده‌های ثبت شده در ایستگاه و یکسری شروط تعیین شده و با

گردوغبار با ترکیب رنگی‌های مختلف - استفاده از روش‌های بارزسازی مانند شاخص‌های گردوغبار در این پژوهش از شاخص‌های BTD، NDDI استفاده شد، هرکدام طبق منطقه مورد مطالعه و گردوغبار به صورت پیکسل‌هایی مشخص که با آستانه مشخصی تشخیص می‌دهند.

استفاده از آن تصاویر مربوطه در پژوهش انتخاب می‌گردد. در آخر با استفاده از روش Hysplit به ردیابی منشأهای گردوغبار در منطقه مورد مطالعه (خوزستان) پرداخته شد (شکل ۹، ۱۰، ۱۱، و ۱۲).

روش HYSPLIT، طوفان گردوغبار در تاریخ و بازه زمانی بیان شده را مدل‌سازی و مورد بررسی قرار می‌دهد. مدل‌سازی با روش ردیابی پسگرد برای تعیین مسیر حرکت ذرات غباری در ۴۸ ساعت قبل از وقوع پدیده گردوغبار در خوزستان، در سه سطح ارتفاعی ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری اجرا شد نشان می‌دهد که ارتفاع ۱۰۰ متری گردوغبار در غرب استان خوزستان بوده و عمده منشأ گردوغبار خارجی بوده است. مدل‌سازی Hysplit در واقع پدیده گردوغبار را به صورت پسرو و پیشرو در ساعات مختلف نمایش می‌دهد شایان ذکر است از مدل می‌توان جهت صحت سنجی هم استفاده نمود.

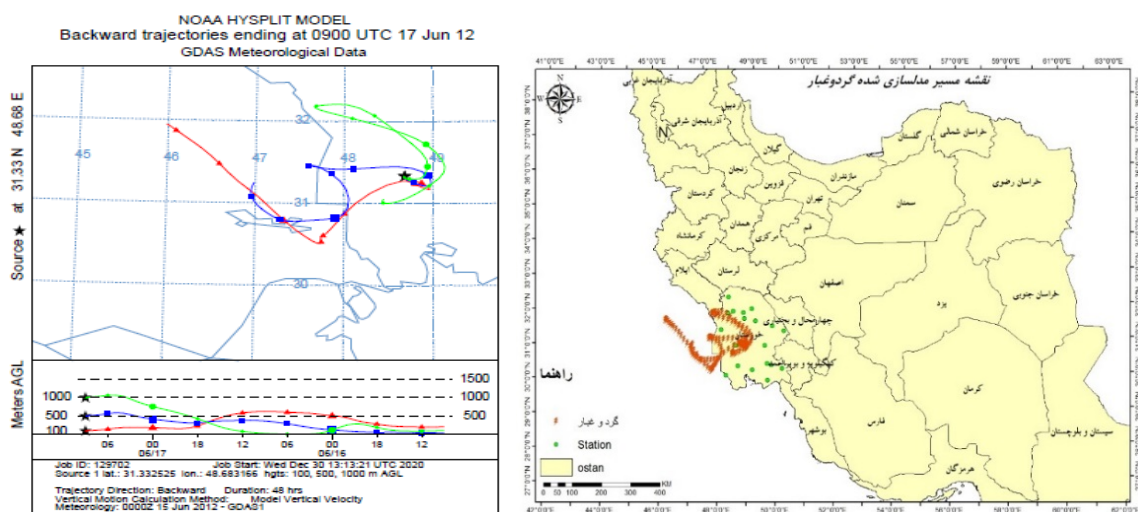
ح: عمق اپتیکی ذرات و آئروسول‌ها (AOD)

طوفان‌های شن و گردوغبار معمولاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند بیابان‌ها رخ می‌دهد. بادهای شدید گردوغبار و شن و ماسه را از مناطقی که دارای خاک خشک و برهنه هستند جمع می‌کنند، گردوغبار را به

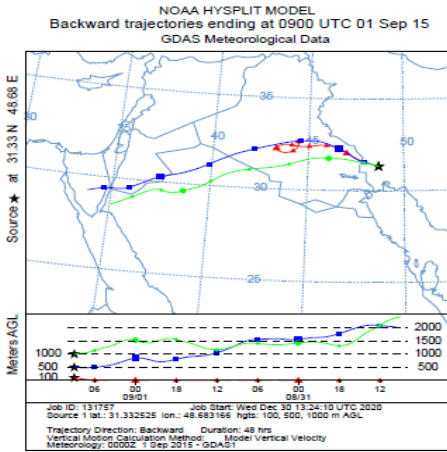
داخل جو می‌کشاند و می‌توانند گردوغبار را با فاصله بسیار زیادی از کیلومترها دور کنند. AOD در واقع میزان تراکم و عمق اپتیکی ذرات گردوغبار در اتمسفر زمین را به ما نشان می‌دهد و آئروسول‌ها را در جو نمایان می‌سازد (شکل ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶).

ط: همبستگی شاخص‌های گردوغباری با متغیرهای مستقل (پارامترهای هواشناسی)

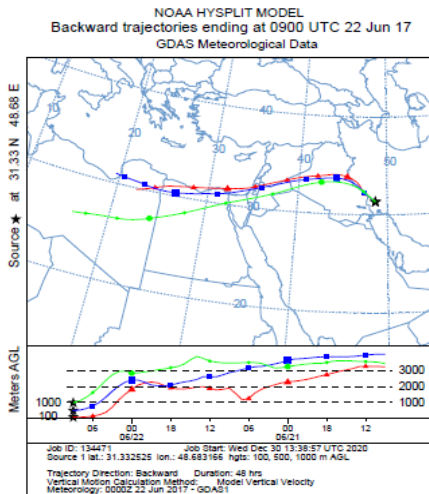
در این بخش میزان همبستگی و رابطه بین شاخص‌های گردوغبار را با پارامترهای هواشناسی دما، رطوبت و دید افقی ارزیابی می‌شود. باتوجه به شکل ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹ و ۱۲۰ می‌توان دریافت کدام شاخص گردوغباری (BTDD، NDDI) با پارامترهای هواشناسی بیشترین و کمترین همبستگی را دارد. (قادری و عزیز، ۱۳۹۸) و شاخص‌های BTDD، NDDI را با پارامترهای هواشناسی مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه به اینکه استان خوزستان دارای آب‌وهوای گرم و خشک می‌باشد و داده‌های برداشت شده در فصل بهار و تابستان بوده است و نوسان دمایی وجود نداشته است، از رابطه مناسبی برخوردار نبوده است. تغییرات دمایی نوسان کمتری دارد، کمترین همبستگی تنها ۰/۲ با شاخص



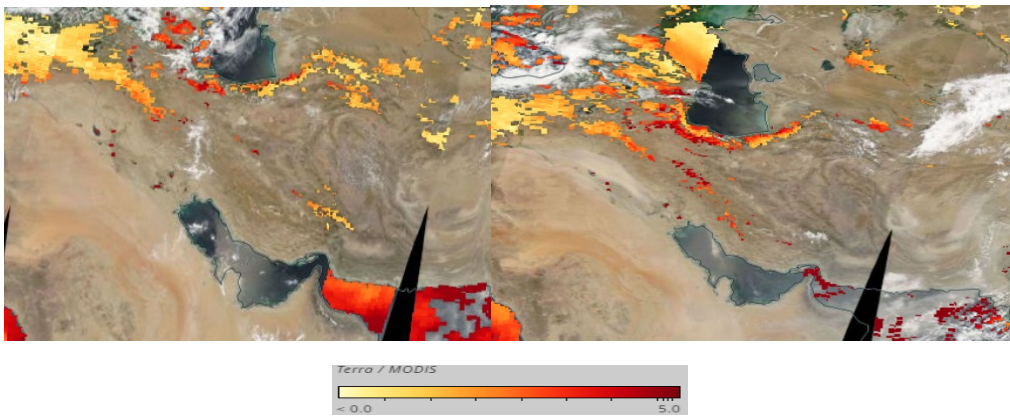
شکل ۱۰- مسیر پدیده گردوغبار در تاریخ ۱۷-۰۶-۲۰۱۲



شکل ۱۱- مسیر پدیده گردوغبار در تاریخ ۲۰۱۵-۰۹-۰۲

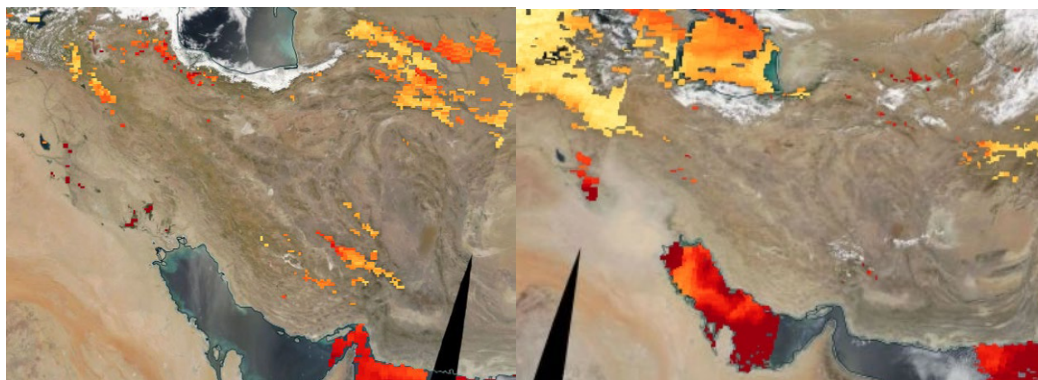


شکل ۱۲- مسیر پدیده گردوغبار در تاریخ ۲۰۱۷-۰۶-۲۲



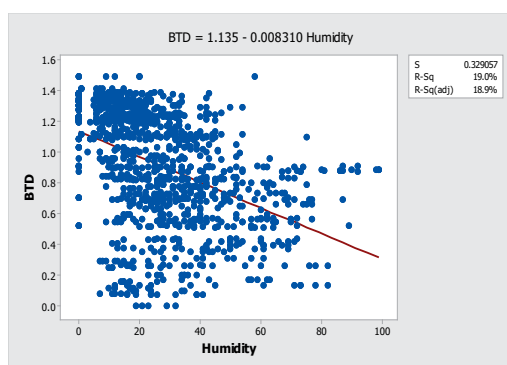
شکل ۱۴- AOD در سال ۲۰۱۲

شکل ۱۳- AOD در سال ۲۰۱۰

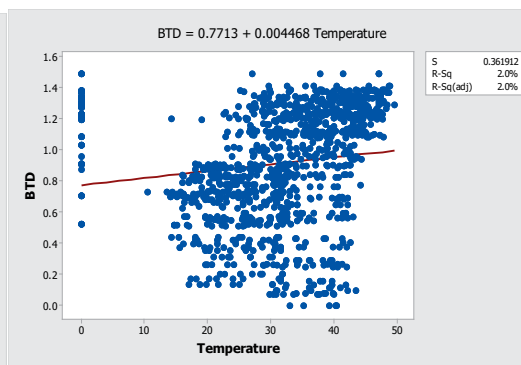


شکل ۱۶- AOD در سال ۲۰۱۷

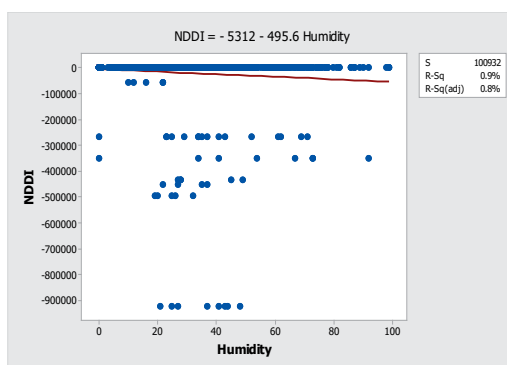
شکل ۱۵- AOD در سال ۲۰۱۵



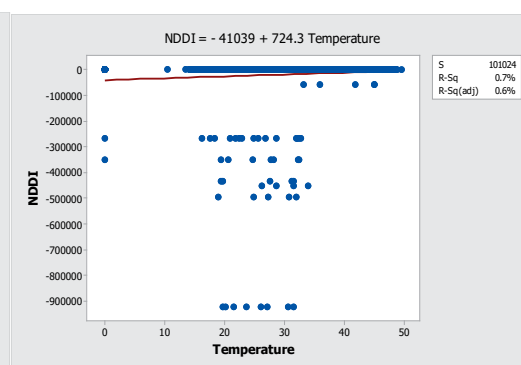
شکل ۱۸- همبستگی شاخص BTD با رطوبت نسبی



شکل ۱۷- همبستگی BTD با دما



شکل ۲۰- همبستگی NDDI با رطوبت نسبی



شکل ۱۹- همبستگی شاخص NDDI با دما

ی: اعتبارسنجی در مدل رگرسیون
بررسی ارتباط متقابل دو متغیر تصادفی از تحلیل
همبستگی حاصل می‌شود. همبستگی خطی که توسط
پیرسون آماردن انگلیسی معرفی شده است، معیاری از

گردوغبار هماهنگ بوده است و بیشترین همبستگی
تنها ۰/۶ است بنابراین رابطه ضعیفی دارند و دما تأثیری
در ایجاد گردوغبارهای مورد مطالعه در پژوهش نداشته
است.

جدول ۱: بررسی و ارزیابی نتایج مدل رگرسیون

معنی دار بودن	Sq(adj)	0/0R ²	RMSE	رگرسیون
0.00	0.2	0/2	31.96034	BTD-Temperatures
0.000	0.6	0.7	1.32988	NDDI-Temperature
0.000	18.9	19	32.67588	BTD-Humidity
0.000	0.8	0.9	1.33	NDDI- Humidity

مقیاس ماهانه و سالانه در استان خوزستان با استفاده از الگوریتم رگرسیون خطی چندمتغیره نمایش داد، در نتیجه تعداد روزهای گردوغباری در ۵ سال، (پدیده گردوغبار با میزان دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر) نشان دادند.

در این پژوهش گردوغبار با استفاده از شاخص BTD و NDDI بارسازی شد. شاخص BTD، اختلاف دمای درخشندگی در باندهای ۳۱ و ۳۲ مادون قرمز حرارتی است در تصاویر مربوط به ۳۰ تیر ۱۳۸۹ و ۲۸ خرداد ۱۳۹۱ و ۲۲ شهریور ۱۳۹۴ و ۱ تیر ۱۳۹۶ گردوغبار هریک به رنگ نارنجی نمایش داده شد (شکل ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶). با مقایسه تصویر با ترکیب رنگی واقعی با شاخص BTD و نتایج حاصل از اعمال این شاخص می توان مشاهده کرد که شاخص BTD برای بارسازی در منطقه مورد مطالعه مناسب بوده است و گردوغبار منطقه را به خوبی نمایان کرده است.

در شاخص دوم پژوهش (NDDI) به دلیل حساسیت بالای باند ۷ ماهواره مادیس به رطوبت، کارایی بالای دارد و می تواند ریزگردها را روی سطوح روشن بارسازی کند. بر اساس تحقیقات صورت گرفته شاخص NDDI برای پدیده گردوغبار پیکسل هایی با مقادیر مثبت و برای ابر و آب با مقادیر منفی به دست می آید، خروجی این شاخص معمولاً در تصاویری که معمولاً آب و ابر باشد نتایج ضعیف تر خواهد بود. در منطقه استان خوزستان شاخص NDDI به خوبی عمل کرده است و مناطق دارای گردوغبار و مسیر حرکت گردوغبار به رنگ نارنجی نمایش داده شد رابطه شاخص های گردوغباری با پارامترهای هواشناسی، دما، رطوبت نسبی در ایستگاه همدیدی، به خوبی نمایش داده شده است. با رابطه و همبستگی شاخص ها با

شدت وابستگی متغیر را به دست می دهد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (y_j - \hat{y}_j)}{\sum_{i=0}^n y_j^2 - \frac{\sum y_j^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}{r}} \quad (2)$$

در این تحقیق R² نشان می دهد که چند درصد تغییرات متغیر وابسته، به وسیله متغیر مستقل تبیین می شود یا به عبارت دیگر ضریب تعیین نشان دهنده این است که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته تحت تاثیر متغیر مستقل مربوطه بوده و مابقی تغییرات متغیر وابسته مربوط به سایر عوامل می باشد (جدول ۱).

RMSE مجذور میانگین حسابی خطاها می باشد که برای تعیین دقت برآورد مدل های رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

بررسی طوفان های گردوغبار در بازه زمانی ۸ ساله استان خوزستان نشان داد رخداد گردوغبار بدون در نظر گرفتن شدت وقوع طوفان در ایستگاه های جنوب غربی و جنوب استان خوزستان ثبت شده است. بررسی گردوغبار های شدید نشان دهنده بیشترین رخداد گردوغبار شدید و گسترش آن در کشور ایران بیانگر منشأ های داخلی و خارجی می باشد. در راستای نتایج تحقیق کنونی، مهرابی و همکاران در سال (۱۳۹۳) پارامترهای اقلیمی (دما، رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت و جهت باد) را با داده های دید افقی و تعداد روزهای گردوغباری ثبت شده در ایستگاه های هواشناسی در

دما و رطوبت می‌توان گفت پارامترهای هواشناسی هیچ ارتباطی با شاخص‌های گردوغبار نداشته‌اند.

نتایج مدل‌سازی مسیر طوفان گردوغبار سال ۲۰۱۰ در تاریخ ۳۰-۰۴-۱۳۸۹ به صورت پسر و شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد منشأ گردوغبار از غرب و شمال غرب استان خوزستان بوده است (شکل ۱۳). کانون گردوغبار در واقع خارجی و از کشور عراق بوده است.

طوفان گردوغبار سال ۲۰۱۲ مصادف با تاریخ ۲۸-۰۳-۱۳۹۱ با مدلسازی به صورت پسر و ۴۸ ساعته (شکل ۱۴) نشان می‌دهد بر طبق نتایج سه تراژکتوری استان خوزستان با ارتفاع ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از سمت غرب استان و خارجی بوده است. مسیر پدیده گردوغبار در سال ۲۰۱۵ مصادف با تاریخ ۱۱-۰۶-۱۳۹۴ در سه ارتفاع تراژکتوری ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری شبیه‌سازی شده است (شکل ۱۵) و طبق مدل گردوغبار از سمت غرب استان خوزستان وارد شده و کانون اصلی گردوغبار خارجی و از مرکز کشور عراق و شمال کشور عربستان بوده است. نتیجه مسیریابی پدیده گردوغبار سال ۲۰۱۷ مصادف با تاریخ ۰۱-۰۴-۱۳۹۶ (شکل ۱۶) نشان می‌دهد که سه تراژکتوری از شمال غرب خوزستان وارد شده است پایین‌ترین ارتفاع تراژکتوری نشان داد که منشأ گردوغبار شمال غرب استان خوزستان بوده است ضمن اینکه کانون اصلی خارجی بوده است و از کشورهای عراق و سوریه بوده است.

جمع‌بندی

در این مطالعه ابتدا از داده‌های دما و رطوبت نسبی ایستگاه‌های همدیدی منطقه برای بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ استفاده گردید و با کمک این داده‌های هواشناسی، تصاویر ماهواره‌های مادیس که با روزهای گردوغباری هم خوانی داشتند اخذ گردید. پس از پردازش تصاویر مادیس استخراج طوفان‌های گردوغبار با استفاده از شاخص‌های گردوغباری BTD و NDDI فراهم گردید. وقوع سالانه شدت طوفان گردوغبار در ۲۰۱۲، با تعداد ۵۰۷۵۰ طوفان و در سال ۲۰۱۱ با تعداد ۵۰۵۶۰ بیشترین

رخداد گردوغبار بوده است. بررسی نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین ثبت رخداد‌های شدید طوفان گردوغبار در استان خوزستان مربوط به ایستگاه‌های جنوبی و جنوب غربی خوزستان بوده است. همچنین بررسی شاخص‌های گردوغبار و نتایج رگرسیون خطی بر پارامترهای هواشناسی نشان داد که پارامترهای هواشناسی دما و رطوبت رابطه‌ای با گردوغبار ندارند. قادری و عزیزی (۱۳۹۹) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. باتوجه به اینکه استان خوزستان دارای آب‌وهوای گرم و خشک می‌باشد و داده‌های برداشت شده در فصل بهار و تابستان بوده است و نوسان دمایی وجود نداشته، دما و رطوبت با گردوغبار رابطه ضعیفی را نشان دادند. در ادامه با هدف منشأیابی این طوفان‌ها با استفاده از مدل HYSPLIT مسیریابی گردوغبار انجام شد. طبق نتایج مدل برای سه تراز ارتفاعی ۱۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از سطح زمین و حرکت رو به عقب در ۴۸ ساعت قبل از ورود طوفان به منطقه مشخص شد منشأ طوفان‌ها خارجی است. طبق منشا و مسیر حرکت طوفان‌ها، گردوغبار خارجی از غرب استان خوزستان و کشورهای همسایه عراق، عربستان، سوریه و اردن وارد ایران شده‌اند.

مراجع

۱. باعقیده، م، احمدی، ح. ۱۳۹۳ «تحلیل مخاطره گردوغبار و روند تغییرات آن در غرب و جنوب غرب ایران» فصلنامه علمی - پژوهشی امداد و نجات، سال ششم، شماره ۲.
۲. ززولی، م، ع. وفایی نژاد، م. خیرخواه زرکش، ف. احمدی دهکاءف ۱۳۹۳ «پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گردوغبار با استفاده از سنجش از دور و GIS» فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی، دوره ۲۳، شماره ۹۱، پاییز ۹۳.
۳. خسروی، م؛ (۱۳۸۷) «تحلیل فضایی آلودگی طوفان‌های گردوغباری ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان با استفاده از داده‌های سنجش از دور (دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۱)»، مجموعه مقالات همایش ملی بهداشت محیط، آبان ۱۳۸۷.
۴. شاهسونی، ع. (۱۳۹۰) «بررسی مشخصات فیزیکی و شیمیایی گردوغبار استان خوزستان و تعیین هزینه اثربخشی روش مالچ پاشی در کنترل آن»، تهران: رساله دکتری دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران دانشکده بهداشت، ۱۳۹۰.
۵. تقوی، فرحناز؛ اولاد، الهه؛ صفرراد، طاهر و ایران‌نژاد، پرویز،

- Aerosols Using Satellite Infrared Observations”, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 102, No. D14, PP. 17069-17080.
15. Chacon-Murguia, M., Quezada-Holguin, Y., Rivas-Perea, P., and. Cabrera, S. (2011) “Dust Storm Detection Using a Neural Network with Uncertainty and Ambiguity Output Analysis”. *Springer. Mcpr, Lncs 6718*, pp. 305-313.
 16. Hao x, Qu JJ. (2007) “saharm dust storm detection using moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared bands”. *Journal of Applied Remote Sensing*, vol, 1, 013510
 17. J.J. Hao., Kafatos, X., Wang, L. (2006) “Asiandust storm monitoring combining terra and aqua MODIS SRB measurements”, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 3(4), pp. 484-486.
 18. Parolari A, Li D, Bou-Zeid E, Katul G G, Assouline Sh. (2016) “Climate, not conflict, explains extreme Middle East dust storm”. *Environmental Research Letters* 10, 1088.
 19. Sabbah, I., Francois, J., Sorribas, M., Guinot, B., Cordoba-Jabbonero, C., Souza, A., Sharifi, F. (2018). “Dust and dust storm over Kuwait: Ground-based and satellite observations” *Journnal of Atmospheric and solar Terrestrial physics*, Volume 179, November 2018, pages 105-113.
 20. Meng, L., Yang, X., Zhao, T., He, Q., Lu, H, Mamtimin, A., Huo, W., Yang, F. Liu, C. (2019).” Modeling study on three-dimensional distribution of dust aerosols during a dust storm over the tarim basin, northwest china” *Atomospheric Resarch*, Volume 218, 1 April 2019, pages 285-295.
۱. (۱۳۹۲). «تشخیص و پایش توفان گردوغبار غرب ایران با استفاده از روش های سنجش از دور» مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۳، صفحه ۹۶-۸۳ (۱۳۹۲).
 ۲. زینالی، ب (۱۳۹۵) بررسی روند تغییر روزها با طوفان های گردوغبار در جنوب غربی ایران» مجله مخاطرات محیط طبیعی.
 ۳. رئیس پور، ک. (۱۳۹۷)، «تحلیلی بر رویدادهای گردوغبار با استفاده از پایش ماهواره ای و تحلیل همدیدی در جنوب غرب ایران»، پژوهش های فرسایش محیطی.
 ۴. سلیمانی نور، ع. (۱۳۹۱)، تفکیک طوفان های گردوغبار با منشاء داخلی و خارجی با استفاده از تصاویر ماهواره ای؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
 ۵. کریمی، خ.، طاهری، ح.، حافظ مقدس، ن.، حبیبی نوخندان، م. (۱۳۹۱). شناسایی و طبقه بندی غبارهای خاورمیانه با استفاده از ترکیب ویژگیهای حرارتی بازتابنده و مادون قرمز سنجش MODIS مجله انجمن مهندسی ایران زمین شناسی، سال ششم، ۵، شماره ۱ و ۲، صفحه ۹۳-۸۳، بهار و تابستان.
 ۶. صمدی، م (۱۳۹۰). شناسایی و پیدایش طوفان های گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه نقشه برداری، دانشگاه تهران.
 ۷. قادری، ب؛ عزیزی، ز؛ (۱۳۹۹) پایش پدیده گردوغبار و بررسی همبستگی آن با پارامترهای دما و رطوبت (مطالعه موردی: استان خوزستان) نشریه علمی علوم و فنون نقشه برداری دوره نهم، شماره ۴، خرداد ماه ۱۳۹۹.
 ۸. قادری، ب؛ عزیزی، ز؛ (۱۴۰۰) بارزسازی پدیده گردوغبار با استفاده از دورسنجی ماهواره ای، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، خرداد ماه ۱۴۰۰.
 ۹. مهرابی، ش؛ سلطانی، س؛ جعفری، ر؛ (۱۳۹۴) بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردها، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، بهار ۱۳۹۴.
14. Ackerman, S-A. (1997) “Remote Sensing

Using Modis satellite imagery in source finding and path determining of dust storms in western and southwestern Iran

Behnaz Ghaderi ¹, Zahra Azizi^{2*}

¹ M.Sc. Student in Remote Sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

² Assistant Professor, Remote Sensing and GIS Department, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: zazizi@srbiau.ac.ir

Received: 06 February 2020, accepted: 10 May 2020

ABSTRACT

Recently, dust storms have been widely reported in the west and southwest of the country. Dust collection and analysis is important for optimal management and prevention in dust management. According to the definition of the World Meteorological Organization, whenever the wind speed exceeds 15 meters per second and as a result a volume of dust enters the atmosphere so that the horizontal field of view reaches less than one kilometer (1000 meters), a dust storm is reported. The occurrence of dust in recent years in the western and southwestern regions of the country has been accompanied by many problems for the residents of these areas, which has gradually spread to other provinces, including the capital. Frequency of dust occurrence in an area due to factors such as surface type, grain size, soil texture, high wind speed, elevation and soil, uncovered soil, dry air conditions, soil moisture, vegetation, local and outdoor air system, Short-term rainfall depends on the extent of deforestation, long-term droughts, land use change and human activities. Therefore, in this study, with the aim of updating information and monitoring and routing of dust in Khuzestan province and the west of the country, climatic data and distance measurement (last two decades) were used. Khuzestan province has 20 synoptic stations. In this study, hourly data were used in the period of 2010 to 2017. The satellite data of Modis sensor product MOD021KM were prepared on the dates in accordance with the dust days recorded at the station. To detect dust, real color combination and dust indices (BTD, NDDI) were applied. Then, using the HY SPLIT meteorological model, the route and origin of the dust storm in three altitude trajectories were investigated and tracked. After dust monitoring, the correlation between dust indices and independent variables (meteorological parameters) was investigated. The correlation results showed that the meteorological parameters of temperature and humidity were not related to dust in Khuzestan province and the west of the country, and were imported from neighboring Iraq, Saudi Arabia, Syria and Jordan, so dust can be considered as external phenomena.

Keywords: Remote Sensing, Modis Data, Dust Index, HYSPLIT Model

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Ghaderi, B.; Azizi, Z. (2021). Using Modis satellite imagery in source finding and path determining of dust storms in western and southwestern Iran. *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 3(2): 148-160.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

