

آشکارسازی گرد و غبار در حوضه آبریز جازموریان با استفاده از تکنیک‌های چندطیفی در تصاویر سنجنده مادیس

فرزانه قادری‌نسب- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه شهید باهنر کرمان
محمدباقر رهنما* - دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۶

چکیده

یکی از چالش‌های مهمی که اخیراً گریبان‌گیر مردم استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان شده ظهور گرد و غبار است. خشک‌شدن تالاب فصلی جازموریان کانون تولید گرد و غبار در جنوب‌شرق کشور معرفی شده است. در این مطالعه قابلیت آشکارسازی گرد و غبار توسط شاخص‌های ارائه‌شده در مدل‌های جهانی بر روی تصاویر سنجنده مادیس در دو ماهواره ترا و اکوا طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ تا پیش شد. بدین منظور، حد آستانه ارائه‌شده توسط محققان در شاخص‌های مورد مطالعه بومی‌سازی شد. برای بررسی صحت عملکرد روش‌های مورد مطالعه، الگوریتم‌های مورد استفاده بر روی تصاویر ۲۰۱۷/۰۱/۰۴ تا ۲۰۱۷/۰۱/۰۷ سنجنده مادیس اجرا شد. برای ارزیابی کارایی روش‌ها از دید افقی اندازه‌گیری شده در ایستگاه سینوپتیک و محصول عمق نوری سنجنده مادیس استفاده شد. نتایج نشان داد الگوریتم‌های مورد مطالعه عملکرد مناسبی در شناسایی بیکسل‌های آلوده به گرد و غبار دارند. همچنین، برای تحلیل مسیر انتقال گرد و غبار از مدل Hysplit استفاده شد. در نتیجه اجرای مدل Hysplit در سه کانون آشکارشده با الگوریتم‌های مورد بررسی، مشخص شد ذرات گرد و غبار سواحل دریای عمان (کوه‌های مکران)، دریای عمان، و حاشیه خلیج فارس را تحت تأثیر قرار می‌دهند که با نتایج محققان پیشین همخوانی دارد.

کلیدواژه‌گان: آشکارسازی گرد و غبار، تالاب جازموریان، گرد و غبار، روش AOD THDI

مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک از منابع اصلی ذرات گرد و غبار معلق در هوا هستند (هانگ و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۱۳۹۸؛ سی سوینا، ۲۰۱۴: ۸۹؛ پندا- مارتینز و همکاران، ۲۰۱۱: ۴۶۵۹). سازمان هواشناسی جهانی، بر اساس محدودیت در میدان دید، وقایع گرد و غبار را در سه دسته شامل غبار در حال وزیدن^۱ (میدان دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر)، طوفان غبار^۲ (میدان دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر)، و طوفان غبار شدید^۳ (میدان دید کمتر از ۲۰۰ متر) تقسیم‌بندی کرده است (شاو و دانگ، ۲۰۰۶: ۱). ذرات گرد و غبار معلق در هوا با جذب و پراکنش تابش خورشیدی به طور مستقیم بر روی تعادل تابش در جو زمین تأثیر می‌گذارند (هانگ و همکاران، ۲۰۰۹: ۱؛ فو و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۶۴۸؛ ژانگ، ۲۰۱۰: ۴۲۸۴؛ ژاو، ۲۰۱۳: ۱۰۴۷۲). این ذرات، که جاذب نورند، با جذب تابش خورشیدی ساختار گرمایش تابشی جو را تغییر می‌دهند، تبخیر قطرات ریز ابر را سرعت می‌بخشند، و به طور نیمه‌مستقیم آب و هوا را تحت تأثیر قرار می‌دهند (هانگ و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۱۳۹۸). آن‌ها همچنین

اثرهای زیادی در آب و هوا، کیفیت هوا، چرخه هیدرولوژیکی، و اکوسیستم ایجاد می‌کنند (ژاو و همکاران، ۲۰۱۰: ۲۳۴۸). منظور از شناسایی گرد و غبار با استفاده از اندازه‌گیری ماهواره‌ای یعنی شناسایی پیکسل‌هایی از تصویر که در اثر آلوده‌بودن به ذرات گرد و غبار رفتار بازتابندگی، جذب، و پراکنش آن‌ها در طول موج‌های مختلف یک سنجنده تحت تأثیر قرار گرفته است. به واسطه بازتابش مشابه ذرات موجود در طوفان‌های گرد و غبار با ذرات موجود در ابر، سطوح زمین‌های خشک، تپه‌های ماسه‌ای، و مناطق بیابانی، بدیهی است به‌کارگیری سنجنش از دور مشکلات خاص خود را داشته باشد. از این رو، محققان با بررسی باندهای مختلف سعی کرده‌اند بر این مشکل فائق آیند (آکرم، ۱۹۸۹: ۱۳۰؛ میلر، ۲۰۰۳: ۱۲-۳). اختلاف بین بازتابش سطح و بازتابش دریافت‌شده توسط سنجنده، اساس استخراج اطلاعات از آئروسول‌هاست و بر اساس همین اختلاف عمق نوری آئروسول حاصل می‌شود (هافمن و تنره، ۱۹۹۸: ۶۱؛ هافمن و همکاران، ۱۹۹۷: ۱۶۸۱۸). با استفاده از عمق نوری هواویز می‌توان اطلاعات زیادی در مورد گرد و غبار به‌دست آورد (مولین و همکاران، ۱۹۹۸: ۱۳۱۴۲).

با توجه به اثر ذرات معلق در طول موج‌های مختلف، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS، که در طول موج‌های مختلف قادر به جمع‌آوری اطلاعات‌اند، بسیار کارآمد است (شمشیری و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۰). اکرم (۱۹۸۹: ۱۲۹) از باندهای ۳.۷ و ۱۱ میکرومتر در ردیابی مسیر گرد و غبار استفاده کرد. میلر (۲۰۰۳: ۱-۱۲) با ترکیب باندهای مرئی مادون قرمز میانی و نزدیک روشی برای تشخیص سطوح گرد و غبار ارائه کرد. لی و همکاران (۲۰۱۰: ۱) به منظور پایش طوفان گرد و غبار در استرالیا از تصاویر ماهواره‌ای استفاده کردند و از طریق محاسبات اختلاف درجه حرارت روشنایی دو باند حرارتی مادون قرمز موفق به جداکردن گرد و غبار از ابرها شدند. عطایی و همکاران (۱۳۹۴ الف: ۱) با روش درخت تصمیم‌گیری و با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس گرد و غبار را در استان‌های ایلام طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ بررسی کردند. همچنین، عطایی و همکاران (۱۳۹۴ ب: ۱) با بومی‌سازی شاخص THDI در استان‌های ایلام و خوزستان شدت گرد و غبار را تخمین زدند.

یکی از چالش‌های بسیار مهمی که اخیراً گریبان‌گیر مردم استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان شده ظهور گرد و غبار است. این در حالی است که خشک‌شدن تالاب فصلی جازموریان کانون تولید گرد و غبار در جنوب‌شرق کشور معرفی شده است (راشکی و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۵۵).

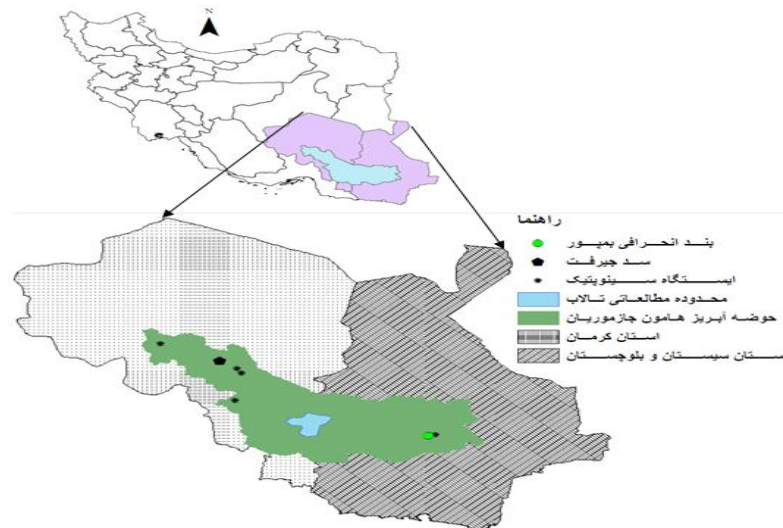
این مطالعه، با هدف شناسایی گرد و غبار بر روی تالاب فصلی هامون جازموریان و حوضه آبریز آن و بررسی کارایی سه روش ارائه‌شده توسط زی (۲۰۰۹: ۵۱) و روش ژاو و همکاران (۲۰۱۰: ۱) و روش THDI (لیو و لیو، ۲۰۱۱: ۱) با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس بر روی دو ماهواره آکوا و ترا انجام شده است. همچنین، عملکرد روش‌ها بررسی شده و ردیابی مسیر حرکت گرد و غبار نیز بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تالاب فصلی جازموریان، دریاچه‌ای فصلی با حوضه آبریز بسته، در جنوب‌شرق ایران واقع شده است. رشد جمعیت، استفاده بیش از حد از منابع آب زیرزمینی، احداث سد بر روی رودخانه‌های ورودی به تالاب، تغییر اقلیم، و خشک‌سالی سبب خشک‌شدن این تالاب شده است. منطقه تالابی جازموریان در موقعیت جغرافیایی $39^{\circ} 58'$ تا $14^{\circ} 59'$ طول شرقی و $10^{\circ} 27'$ تا $38^{\circ} 27'$ عرض شمالی با وسعت حدود ۳۰۰۰ کیلومتر مربع بین استان‌های سیستان و بلوچستان و کرمان واقع شده است (اداره کل حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۳: ۸۳). حوضه آبریز هامون جازموریان

با وسعتی حدود ۶۹۳۹۰ کیلومتر مربع یکی از حوضه‌های آبریز درجه ۲ کشور است (مصباحی، ۱۳۹۲: ۱). بخش‌هایی از این حوضه آبریز از غرب استان سیستان و بلوچستان و از شرق و جنوب شرق استان کرمان را می‌پوشاند. سد مخزنی جیرفت بزرگ‌ترین سد مخزنی جنوب شرق کشور و بند انحرافی بمپور در سرشاخه‌های این حوضه آبریز قرار دارند. شکل ۱ موقعیت تالاب جازموریان و حوضه آبریز هامون جازموریان را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت تالاب فصلی جازموریان و حوضه آبریز آن در کشور ایران

داده‌های مورد استفاده

داده‌های زمینی

دید افقی تنها داده زمینی موجود در منطقه مورد مطالعه است که می‌توان برای پایش گرد و غبار استفاده کرد. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در حوضه آبریز جازموریان را نشان می‌دهد. نزدیک‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک به تالاب جازموریان در استان کرمان، ایستگاه سینوپتیک کهنوج است که حدود ۱۲۵ کیلومتر با منطقه فاصله دارد. این در حالی است که ایستگاه سینوپتیک بعدی، که کمترین مسافت را دارد، ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر با حدود ۱۸۰ کیلومتر فاصله نسبت به تالاب جازموریان است.

داده‌های ماهواره‌ای

در این مطالعه از دو دسته داده استفاده شده است: داده‌های سطح اول^۱ شامل داده‌های انعکاس^۲ و تابش^۳ مربوط به باندهای مختلف سنجنده مادیس می‌باشند. داده‌های انعکاسی و تابشی سنجنده مادیس در ۳۶ باند طیفی برای نمایش تصویر ارائه می‌شوند. تصاویر مورد استفاده در این مطالعه، از تصاویر موجود سنجنده مادیس بر روی دو ماهواره آکوا^۴ و ترا^۵ طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ اخذ شده است. جدول ۱ لیست تصاویر پردازش شده و مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. جدول ۱ لیست تصاویر مورد پردازش در این مطالعه را نشان می‌دهد.

1. Level 1
2. Reflectance
3. Radiance
4. Aqua
5. Terra

جدول ۱. لیست تصاویر پردازش‌شده و مورد بررسی در مطالعه حاضر

روز	سال	سکو	روز	سال	سکو	روز	سال	سکو	روز	سال	سکو
۵۱	۲۰۱۶	آکوا	۹۹	۲۰۱۵	ترا	۱۴۰	۲۰۱۱	ترا	۱۶۲	۲۰۰۱	ترا
۷۱	۲۰۱۶	ترا	۹۹	۲۰۱۵	آکوا	۱۴۱	۲۰۱۱	آکوا	۱۹	۲۰۰۲	ترا
۷۱	۲۰۱۶	آکوا	۱۰۳	۲۰۱۵	ترا	۱۴۷	۲۰۱۱	ترا	۳۶	۲۰۰۲	ترا
۷۹	۲۰۱۶	ترا	۱۰۴	۲۰۱۵	ترا	۱۵۶	۲۰۱۱	ترا	۲	۲۰۰۳	ترا
۸۰	۲۰۱۶	ترا	۱۰۴	۲۰۱۵	آکوا	۲۲۷	۲۰۱۱	ترا	۳۶	۲۰۰۳	ترا
۸۰	۲۰۱۶	ترا	۱۰۵	۲۰۱۵	ترا	۲۳۷	۲۰۱۱	آکوا	۱۲۸	۲۰۰۳	آکوا
۸۴	۲۰۱۶	ترا	۱۲۱	۲۰۱۵	ترا	۲۴۰	۲۰۱۱	آکوا	۳۲	۲۰۰۲	ترا
۸۴	۲۰۱۶	آکوا	۱۲۱	۲۰۱۵	آکوا	۲۴۷	۲۰۱۱	ترا	۱۴۹	۲۰۰۳	آکوا
۸۶	۲۰۱۶	آکوا	۱۲۲	۲۰۱۵	ترا	۶۳	۲۰۱۲	آکوا	۱۵۰	۲۰۰۳	آکوا
۱۰۳	۲۰۱۶	ترا	۱۲۲	۲۰۱۵	آکوا	۶۳	۲۰۱۲	آکوا	۱۵۰	۲۰۰۳	ترا
۱۰۷	۲۰۱۶	ترا	۱۵۹	۲۰۱۵	آکوا	۸۰	۲۰۱۲	ترا	۱۵۴	۲۰۰۳	آکوا
۱۰۷	۲۰۱۶	آکوا	۱۵۹	۲۰۱۵	آکوا	۸۱	۲۰۱۲	ترا	۳۴	۲۰۰۴	آکوا
۷۰۸	۲۰۱۶	ترا	۱۶۱	۲۰۱۵	ترا	۹۹	۲۰۱۲	ترا	۳۵	۲۰۰۴	آکوا
۱۰۸	۲۰۱۶	آکوا	۱۶۳	۲۰۱۵	ترا	۱۰۰	۲۰۱۲	ترا	۳۷	۲۰۰۴	آکوا
۱۰۹	۲۰۱۶	ترا	۱۶۹	۲۰۱۵	ترا	۱۵۵	۲۰۱۲	آکوا	۳۹	۲۰۰۴	ترا
۱۰۹	۲۰۱۶	آکوا	۱۷۰	۲۰۱۵	ترا	۱۵۵	۲۰۱۲	ترا	۴۰	۲۰۰۴	ترا
۱۷۵	۲۰۱۶	ترا	۱۷۳	۲۰۱۵	آکوا	۱۵۶	۲۰۱۲	ترا	۷۵	۲۰۰۴	آکوا
۱۷۶	۲۰۱۶	آکوا	۱۷۴	۲۰۱۵	ترا	۱۵۶	۲۰۱۲	آکوا	۷۵	۲۰۰۴	ترا
۱۷۸	۲۰۱۶	ترا	۱۷۵	۲۰۱۵	آکوا	۱۵۶	۲۰۱۲	ترا	۸۱	۲۰۰۴	۱۷۸
۲۰۳	۲۰۱۶	ترا	۱۷۶	۲۰۱۵	ترا	۱۵۷	۲۰۱۲	ترا	۸۲	۲۰۰۴	آکوا
۲۰۳	۲۰۱۶	آکوا	۱۷۶	۲۰۱۵	آکوا	۲۰۰	۲۰۱۶	آکوا	۱۲۷	۲۰۰۴	ترا
۲۰۴	۲۰۱۶	ترا	۱۷۷	۲۰۱۵	ترا	۱۵۷	۲۰۱۲	آکوا	۱۳۵	۲۰۰۴	ترا
۲۰۴	۲۰۱۶	ترا	۱۷۷	۲۰۱۵	آکوا	۱۵۷	۲۰۱۲	ترا	۱۵۶	۲۰۰۴	آکوا
۲۰۵	۲۰۱۶	ترا	۱۷۸	۲۰۱۵	ترا	۱۷۱	۲۰۱۲	ترا	۲۰۳	۲۰۰۵	ترا
۲۰۶	۲۰۱۶	ترا	۱۷۸	۲۰۱۵	آکوا	۱۷۳	۲۰۱۲	آکوا	۲۱۵	۲۰۰۶	ترا
۲۰۶	۲۰۱۶	ترا	۱۷۹	۲۰۱۵	ترا	۱۷۳	۲۰۱۲	آکوا	۲۱۹	۲۰۰۶	ترا
۲۰۷	۲۰۱۶	ترا	۱۷۹	۲۰۱۵	آکوا	۱۷۴	۲۰۱۲	ترا	۱۵۱	۲۰۰۷	ترا
۲۰۹	۲۰۱۶	ترا	۱۸۰	۲۰۱۵	ترا	۲۰۵	۲۰۱۲	آکوا	۱۷۶	۲۰۰۷	ترا
۲۱۰	۲۰۱۶	آکوا	۱۸۰	۲۰۱۵	آکوا	۲۰۶	۲۰۱۲	آکوا	۲۰۷	۲۰۰۷	ترا
۲۱۲	۲۰۱۶	ترا	۱۹۱	۲۰۱۵	آکوا	۲۵۲	۲۰۱۲	آکوا	۲۱۲	۲۰۰۷	ترا
۲۱۲	۲۰۱۶	آکوا	۱۹۳	۲۰۱۵	آکوا	۱۲	۲۰۱۳	ترا	۵۲	۲۰۰۸	ترا
۲۱۴	۲۰۱۶	ترا	۱۹۳	۲۰۱۵	آکوا	۱۳	۲۰۱۳	ترا	۶۴	۲۰۰۸	ترا
۲۱۴	۲۰۱۶	آکوا	۱۹۴	۲۰۱۵	آکوا	۱۴	۲۰۱۳	آکوا	۶۴	۲۰۰۸	ترا
۴	۲۰۱۷	آکوا	۱۹۵	۲۰۱۵	ترا	۱۴	۲۰۱۳	ترا	۶۴	۲۰۰۸	ترا
۵	۲۰۱۷	ترا	۱۹۷	۲۰۱۵	ترا	۱۴۹	۲۰۱۳	آکوا	۹۴	۲۰۰۸	ترا
۵	۲۰۱۷	آکوا	۱۹۸	۲۰۱۵	آکوا	۱۵۴	۲۰۱۳	ترا	۲۱۹	۲۰۰۸	ترا
۶	۲۰۱۷	ترا	۲۰۰	۲۰۱۵	آکوا	۲۱۲	۲۰۱۳	ترا	۲۲۶	۲۰۰۸	ترا
۶	۲۰۱۷	آکوا	۲۰۲	۲۰۱۵	ترا	۲۱۳	۲۰۱۳	ترا	۲۲۷	۲۰۰۸	آکوا
۷	۲۰۱۷	ترا	۲۰۲	۲۰۱۵	ترا	۲۲۴	۲۰۱۳	ترا	۱۰۵	۲۰۰۹	ترا
۷	۲۰۱۷	آکوا	۲۰۳	۲۰۱۵	ترا	۲۵۵	۲۰۱۳	ترا	۱۱۹	۲۰۰۹	آکوا
۸	۲۰۱۷	ترا	۲۰۳	۲۰۱۵	آکوا	۲۵۸	۲۰۱۳	ترا	۱۳۰	۲۰۰۹	آکوا
۸	۲۰۱۷	آکوا	۲۰۴	۲۰۱۵	آکوا	۱۲۶	۲۰۱۳	آکوا	۱۶۷	۲۰۰۹	ترا
۹	۲۰۱۷	ترا	۲۶۲	۲۰۱۵	آکوا	۱۵۶	۲۰۱۴	آکوا	۱۷۱	۲۰۰۹	ترا
۹	۲۰۱۷	آکوا	۱۰	۲۰۱۶	آکوا	۱۸۳	۲۰۱۴	ترا	۱۴۱	۲۰۱۰	آکوا
۱۲۳	۲۰۱۷	ترا	۱۱	۲۰۱۶	ترا	۹۰	۲۰۱۵	ترا	۱۴۶	۲۰۱۰	آکوا
۱۲۵	۲۰۱۷	آکوا	۲۹	۲۰۱۶	ترا	۹۱	۲۰۱۵	آکوا	۱۴۸	۲۰۱۰	آکوا
۱۲۶	۲۰۱۷	ترا	۳۶	۲۰۱۶	ترا	۹۱	۲۰۱۵	آکوا	۱۶۲	۲۰۱۰	ترا
۱۹۶	۲۰۱۷	آکوا	۳۶	۲۰۱۶	آکوا	۹۳	۲۰۱۵	ترا	۱۷۱	۲۰۱۰	آکوا
۱۹۷	۲۰۱۷	آکوا	۳۷	۲۰۱۶	ترا	۹۴	۲۰۱۵	آکوا	۱۷۷	۲۰۱۰	آکوا
۱۹۸	۲۰۱۷	ترا	۴۰	۲۰۱۶	ترا	۹۵	۲۰۱۵	آکوا	۱۷۸	۲۰۱۰	آکوا
۱۹۹	۲۰۱۷	ترا	۴۱	۲۰۱۶	ترا	۹۶	۲۰۱۵	ترا	۱۷۹	۲۰۱۰	آکوا
۱۹۹	۲۰۱۷	آکوا	۴۳	۲۰۱۶	آکوا	۹۷	۲۰۱۵	آکوا	۱۹۵	۲۰۱۰	آکوا
						۹۷	۲۰۱۵	ترا	۲۰۲	۲۰۱۰	آکوا

داده‌های آموزشی

در گام اول، طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷، تعدادی از روزها که دید افقی آن‌ها در ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر یا کهنوج کمتر از ۵۰۰۰ متر گزارش شده بود استخراج شد. سپس، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس بر روی ماهواره‌های آکوا و ترا مربوط به آن تاریخ‌ها دانلود و پردازش شد. سپس، بر اساس آنالیز بصری، تعدادی از تصاویر به شرح جدول ۲ برای استخراج حد آستانه‌ها انتخاب شد. سپس، در هر تصویر مقادیر پارامترهای مورد نظر در چندین پیکسل از محدوده‌های متفاوت تصویر استخراج و نمودار آن‌ها در اکسل ترسیم شد.

جدول ۲. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای آموزش

ردیف	نام سکو	تاریخ میلادی	ساعت	ردیف	نام سکو	تاریخ میلادی	ساعت
۱	ترا	۲۰۰۳/۰۲/۰۱	۰۷:۲۵	۸	ترا	۲۰۱۲/۰۵/۰۱	۰۶:۱۰
۲	ترا	۲۰۰۳/۲۹/۰۵	۰۶:۰۵	۹	ترا	۲۰۱۲/۰۳/۰۶	۰۷:۱۰
۳	ترا	۲۰۰۳/۳۰/۰۵	۰۶:۵۰	۱۰	ترا	۲۰۱۴/۰۲/۰۷	۰۷:۲۰
۴	ترا	۲۰۰۶/۱۶/۱۲	۰۶:۵۰	۱۱	آکوا	۲۰۱۴/۰۲/۰۷	۰۸:۵۰
۵	ترا	۲۰۰۸/۲۱/۰۲	۰۶:۵۰	۱۲	ترا	۲۰۰۹/۲۰/۱۲	۰۶:۳۵
۶	ترا	۲۰۰۹/۲۰/۱۲	۰۷:۱۵	۱۳	آکوا	۲۰۰۹/۲۰/۱۲	۰۹:۵۰
۷	آکوا	۲۰۰۹/۲۰/۱۲	۰۸:۴۵	۱۴	ترا	۲۰۱۵/۲۷/۰۶	۰۷:۲۰

همچنین، داده‌های سطح دوم شامل داده‌های ضخامت نوری هواویز (AOD) سنجنده مادیس می‌باشند. عمق نوری یا ضخامت نوری هواویزها کمیته بی‌بعد است که میزان عبوردهی پرتو نور در جو را نشان می‌دهد و بیانگر میزان جذب و پراکنش ناشی از هواویزها در مسیر عبوری نور است (رید میلر، ۲۰۰۶: ۱). مقادیر بیشتر AOD بیانگر انباشت بیشتر هواویزها در ستون جوی و در نتیجه دید افقی کمتر است (وانگ و کریستوفر، ۲۰۰۳: ۴-۴). ضخامت نوری هواویزها روزانه و در پیکسل‌هایی با ابعاد 10×10 کیلومتر مربع ارائه می‌شود (جی یو، ۲۰۱۷: ۳).

داده‌های جوی

برای مطالعه شرایط جو از داده‌های مرکز پیش‌بینی محیطی / مرکز پژوهش جوی (NCEP/NCER) با تفکیک ۰.۵×۰.۵ درجه طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ در تاریخ‌های ذکر شده در جدول ۱ استفاده شده است. داده‌های جوی شامل سطوح ژئوپتانسیل، سرعت، و جهت باد در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال است (ستاندر، ۱۹۹۷).

خروجی‌های مدل Hysplit برای ردیابی ذرات معلق در جو

مدل Hysplit^۲ مدلی دوگانه (ترکیبی میان دیدگاه‌های اویلری و لاگرانژی) است که برای محاسبات خط سیر حرکت گرد و غبار، پراکندگی، و شبیه‌سازی ته‌نشینی آن‌ها با استفاده از رویکردهای پخش^۳ و ذرات در مقیاس‌های بین ۱ و ۱۰۰۰ کیلومتر است (رولف، ۲۰۱۷: ۲۱۱). در هنگام مدل‌سازی گرد و غبار، نخست باید منبع انتشار گرد و غبار مشخص

1. Aerosol Optical Depth

2. Hybrid Single Particles Lagrangian Integrated Trajectory

3. PUFF

شود. در اجرای این مدل از داده‌های آنالیزشده نهایی، که در واقع اطلاعات پردازش‌شده مرکز پیش‌بینی محیطی وابسته به اداره ملی اقیانوسی و جوی است، استفاده می‌شود (دراکسلر و هس، ۱۹۹۸: ۳۰۰).

روش‌های مورد استفاده برای آشکارسازی گرد و غبار

روش‌های متعددی برای آشکارسازی گرد و غبار با استفاده از داده‌های سنجش از دور وجود دارد که در این مطالعه از سه روش به شرح ذیل استفاده شده است:

جدول ۳. معرفی شاخص‌های به‌کاررفته در روش‌های مورد مطالعه

روش	شاخص و پارامترهای مورد استفاده	پارامترهای مورد استفاده
Xie (2009)	$BT D = BT_{3.7\mu m} - BT_{11\mu m}$ $BT D = BT_{11\mu m} - BT_{12\mu m}$ $NDDI = \frac{R_{2.13\mu m} - R_{0.47\mu m}}{R_{2.13\mu m} + R_{0.47\mu m}}$	$BT_{3.7\mu m}$, $BT_{11\mu m}$, $BT_{12\mu m}$, $R_{0.47\mu m}$, $R_{2.13\mu m}$
Zhao et al. (2010)	$BT D = BT_{3.9\mu m} - BT_{11\mu m}$ $BT D = BT_{11\mu m} - BT_{12\mu m}$ $NDVI = \frac{NDVI^2}{R_{0.64\mu m} + R_{0.86\mu m}}$ $NDVI = \frac{R_{0.64\mu m} - R_{0.86\mu m}}{R_{0.64\mu m} + R_{0.86\mu m}}$ $Rat2 = \frac{Rat1 \times Rat1}{R_{0.47\mu m} \times R_{0.47\mu m}}$ $Rat1 = \frac{R_{0.64\mu m} - R_{0.47\mu m}}{(R_{0.64\mu m} + R_{0.47\mu m})}$	$R_{0.47\mu m}$, $R_{0.64\mu m}$, $R_{0.86\mu m}$, $R_{1.38\mu m}$, $BT_{3.9\mu m}$, $BT_{11\mu m}$, $BT_{12\mu m}$
Liu and liu (2011)	$TIIDI = (BT D_{12\mu m - 11\mu m}) \times \exp\left(\frac{(BT D_{9.6\mu m - 11\mu m})}{a}\right) \times (BT D_{3.7\mu m - 11\mu m})$	$BT_{9.6\mu m}$, $BT_{11\mu m}$, $BT_{12\mu m}$ $BT D_{9.6\mu m - 11\mu m} > 0 \rightarrow a = 5$ $BT D_{9.6\mu m - 11\mu m} \leq 0 \rightarrow a = 10$

*در جدول، R_i نشان‌دهنده انعکاس در طول موج i و BT_i نشان‌دهنده دمای درخشندگی در طول موج i است

روش ارائه‌شده توسط زی^۱ (2009)

در این روش، که مبتنی بر تصمیم درختی است، از شاخص‌های متعدد استفاده می‌شود. هر یک از این شاخص‌ها عمدتاً توسط افراد دیگری توسعه داده شده‌اند؛ به عنوان مثال، می‌توان به شاخص‌های ارائه‌شده توسط آکرمن (۱۹۸۹: ۱۳۰) و کیو و همکاران (۲۰۰۶: ۴۸۵) اشاره کرد. به طور کلی، این الگوریتم، که بر اساس ترکیب استفاده از ۶ باند طیفی سنجنده مادیس در طیف‌های حرارتی و انعکاس توسعه یافته است، قادر به شناسایی طوفاهای گرد و غبار بر روی سطوح تاریک و سطوح روشن است.

روش ژاو و همکاران (۲۰۱۰)

این روش برای تشخیص گرد و غبار بر روی زمین و سطح اقیانوس در طول روز ارائه شده است. تشخیص گرد و غبار بر روی زمین بر اساس آزمون‌های درجه حرارت باندهای مادون قرمز و رادیانس باندهای مرئی انجام می‌پذیرد.

روش لیو و لیو (2011)

لیو و لیو (2011) شاخص یکپارچه مادون قرمز حرارتی (TIIDI)^۲ برای تفکیک گرد و غبار، سطوح شنی، و ابر پیشنهاد داد. مزیت اصلی این روش نشان‌دهنده شدت گرد و غبارهاست.

1. Xie

2. Thermal Infrared Integrated Dust Index

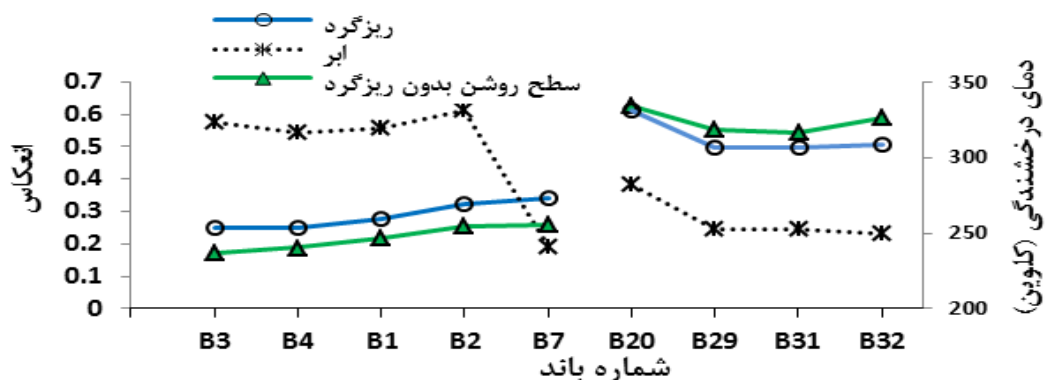
در جدول ۳ روابط مورد استفاده در سه روش اشاره شده در بالا ارائه شده است. با تغییر منطقه مورد مطالعه، ویژگی‌های ذرات گرد و غبار و ترکیب گونه‌های ذرات معلق در هوا از لحاظ زمانی و مکانی تغییر می‌کند. بدیهی است بررسی و ارزیابی هر یک از شاخص‌های طیفی ارائه شده توسط محققان برای منطقه مورد مطالعه ضروری است. در صورت ناکارآمدی این شاخص‌ها، باید شاخص با منطقه بهینه و سازگار و در صورت لزوم شاخص‌های بومی جدید ارائه شوند.

روند اجرای تحقیق

تحلیل‌های آماری در محیط نرم‌افزار Excel و تصحیحات و پردازش‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. در این مطالعه تصاویر ماهواره‌ای با سطح 1B زمین مرجع و سپس تصحیح هندسی بر روی آن‌ها انجام گرفت. در گام بعد، محدوده مورد مطالعه بر روی تصاویر برش داده شده و در ادامه درجه حرارت روشنایی برای تصاویر محاسبه شد. با توجه به تأثیر عمده‌ای که ذرات گرد و غبار در میزان بازتابش و درجه حرارت روشنایی تصاویر مورد نظر دارند، توده‌های گرد و غبار آشکار خواهند شد. محصولات سطح دوم نیز زمین مرجع شدند تا برای محدوده خاص روی زمین اطلاعات متناظر مربوط به ضخامت نوری آئروسول و ... به دست آید.

انتخاب باندهای مناسب

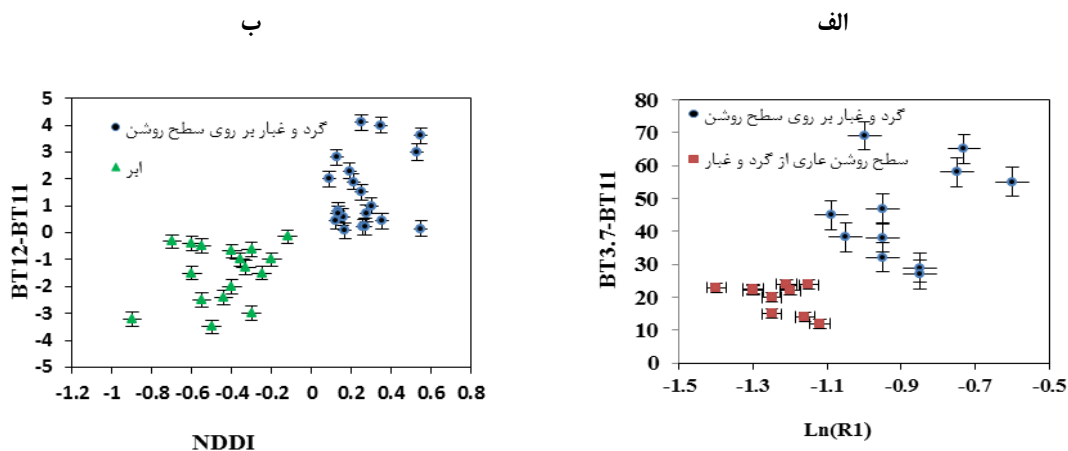
در شکل ۲ نمودار رفتار انعکاس باندهای مرئی و دمایی درخشندگی باندهای حرارتی در پیکسل‌های آموزشی برای پدیده‌های مورد بررسی در این مطالعه ترسیم شده است. با توجه به مقادیر بازتاب حاصل شده در باندهای شماره ۳، ۴، ۱، ۲، و ۷ سنجنده مادیس (به ترتیب در طول موج‌های $0.46\mu\text{m}$ ، $0.55\mu\text{m}$ ، $0.64\mu\text{m}$ ، $0.86\mu\text{m}$ ، و $2.13\mu\text{m}$) برای پدیده‌های متفاوت، در پیکسل‌های ابری شیب نمودار از باند ۳ به باند ۷ منفی است؛ ولی در سایر پیکسل‌ها شیب مثبت است. در واقع، همین تفاضل مبنای معرفی شاخص NDDI در تفکیک ابر از سایر کلاس‌هاست. همچنین، در طیف‌های حرارتی ابر دمایی درخشندگی کمتری نسبت به پیکسل‌های آلوده به گرد و غبار و سطح روشن بدون گرد و غبار دارد. این تفاوت نیز می‌تواند برای تمایز ابر از سایر کلاس‌ها مفید باشد (زی، ۲۰۰۹).



شکل ۲. نمودار رفتار انعکاس باندهای مرئی و دمایی درخشندگی باندهای حرارتی در پیکسل‌های آموزشی برای پدیده‌های مورد بررسی

استخراج حد آستانه‌ها

در شکل ۳ بخش «الف» مقادیر $BT_{2.7\mu m} - BT_{11\mu m}$ و $\ln(R1)$ برای تفکیک سطوح روشن عاری از گرد و غبار و حاوی گرد و غبار ترسیم شده است. مطابق این شکل در سطوح روشن عاری از گرد و غبار $\ln(R1) > -1.4$ و در سطوح روشن حاوی گرد و غبار $\ln(R1) > -1.1$ است. همچنین، $BT_{2.7\mu m} - BT_{11\mu m}$ حدود ۲۵ برای تفکیک سطوح گرد و غبار از سطوح عاری از گرد و غبار به دست آمده است. در بخش «ب» مشخص است پارامترهای $NDDI$ و $BTD(32-31)$ برای پیکسل‌های ابر منفی و برای گرد و غبار و سطوح مثبت است. همچنین، برای استخراج حد آستانه در روش $TIIDI$ با استفاده از آنالیز بصری و همچنین میدان دید افقی در تعدادی تصاویر مورد استفاده در آموزش مشخص شد که مقادیر $TIIDI$ بزرگ‌تر از ۲۰ نشان‌دهنده وقوع گرد و غبار است.



شکل ۳. استخراج حد آستانه‌ها در شاخص‌های مورد استفاده

یافته‌های تحقیق

بررسی حد آستانه‌ها

همان‌طور که در شکل ۳ بخش «ب» مشخص است، $BT_{12}-BT_{11}$ برای ذرات گرد و غبار مثبت و برای ابر منفی است. (آکرم، ۱۹۹۷: ۱۷۰۷۵). نیز آستانه جهانی برای تفکیک گرد و غبار را صفر معرفی کرده است. همچنین، کیو و همکاران (۲۰۰۶: ۴۸۵) از شاخص $NDDI$ با حد آستانه صفر برای تفکیک ابر از سایر پدیده‌ها استفاده کردند. نتایج حاصل از این مطالعه در منطقه جازموربان با مطالعات سایر محققان همخوانی دارد.

مقایسه روش‌های مورد استفاده و بررسی دقت الگوریتم‌ها

در جدول ۴ تعدادی از تصاویر پردازش شده در این مطالعه، که با اعمال الگوریتم‌های مورد استفاده در این مطالعه ریزگرد شناسایی شده، نشان داده شده است.

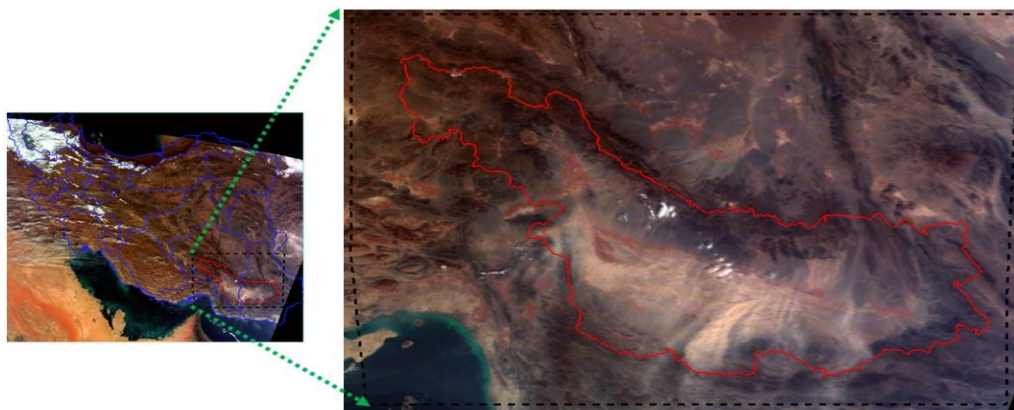
به منظور تفسیر بهتر رخداد طوفان ریزگرد در منطقه مورد مطالعه، پدیده وقوع ریزگرد طی تاریخ‌های ۲۰۱۷/۰۱/۰۴ تا ۲۰۱۷/۰۱/۰۷ بررسی شد. در شکل ۴ تصویر اخذ شده از سنجنده مادیس ماهواره ترا در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۶ با ترکیب رنگ واقعی نشان داده شده است. در شکل ۵ نتیجه آشکارسازی گرد و غبار با دو روش زی (۲۰۰۹) و ژاو و همکاران (۲۰۱۰) نشان داده شده است.

به منظور ارزیابی دقت نتایج از دید افقی در ایستگاه سینوپتیک کهنوج استفاده شد. جدول ۵ مقادیر دید افقی را در

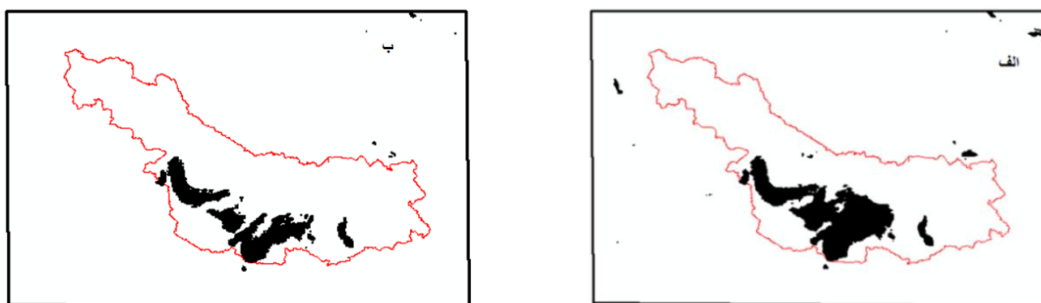
ایستگاه کهنوج طی تاریخ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس آمار این جدول، دید افقی در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۶ نسبت به سایر روزها کمتر است. به‌رغم فاصله نسبتاً زیاد ایستگاه سینوپتیک کهنوج (حدود ۱۲۰ کیلومتر) با تالاب جازموریان، این ارقام با نتایج شکل ۴ که وسعت گرد و غبار در این تاریخ قابل ملاحظه است، همخوانی دارد.

جدول ۴. تعدادی از تصاویر مورد پردازش که با استفاده از الگوریتم‌های مورد مطالعه ریزگرد آشکارسازی شده است

روز	سال	سکو	روز	سال	سکو	روز	سال	سکو	روز	سال	سکو
۴۱	۲۰۱۶	ترا	۱۸۳	۲۰۱۴	۹۹	۲۰۱۲	اکوا	۱۹	۲۰۰۲	ترا	
۸۴	۲۰۱۶	ترا	۹۳	۲۰۱۵	۱۵۶	۲۰۱۲	ترا	۲۶	۲۰۰۲	ترا	
۸۴	۲۰۱۶	اکوا	۹۹	۲۰۱۵	۱۵۷	۲۰۱۲	اکوا	۱۴۹	۲۰۰۳	اکوا	
۸۶	۲۰۱۶	اکوا	۱۷۸	۲۰۱۵	۱۵۷	۲۰۱۲	اکوا	۱۵۰	۲۰۰۳	اکوا	
۱۰۷	۲۰۱۶	ترا	۱۷۸	۲۰۱۵	۱۵۷	۲۰۱۲	ترا	۱۵۰	۲۰۰۳	ترا	
۱۰۷	۲۰۱۶	اکوا	۲۰۲	۲۰۱۵	۱۷۳	۲۰۱۲	ترا	۳۹	۲۰۰۴	ترا	
۱۷۵	۲۰۱۶	ترا	۱۰	۲۰۱۶	۲۰۵	۲۰۱۲	ترا	۸۲	۲۰۰۴	اکوا	
۲۱۴	۲۰۱۶	ترا	۱۱	۲۰۱۶	۱۲	۲۰۱۳	اکوا	۱۲۷	۲۰۰۴	ترا	
۲۱۴	۲۰۱۶	اکوا	۲۹	۲۰۱۶	۱۳	۲۰۱۳	ترا	۱۳۵	۲۰۰۴	ترا	
۵	۲۰۱۷	ترا	۳۶	۲۰۱۶	۱۴	۲۰۱۳	اکوا	۵۲	۲۰۰۸	ترا	
۵	۲۰۱۷	اکوا	۳۶	۲۰۱۶	۱۴	۲۰۱۳	ترا	۹۴	۲۰۰۸	ترا	
۶	۲۰۱۷	ترا	۳۷	۲۰۱۶	۱۲۶	۲۰۱۴	اکوا	۱۰۵	۲۰۰۹	ترا	
۶	۲۰۱۷	اکوا	۴۰	۲۰۱۶	۹۹	۲۰۱۲	اکوا	۱۷۱	۲۰۱۰	ترا	



شکل ۴. تصویر اخذشده از سنجنده مادیس ماهواره ترا برای تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۶ با ترکیب رنگ واقعی در محدوده مورد مطالعه

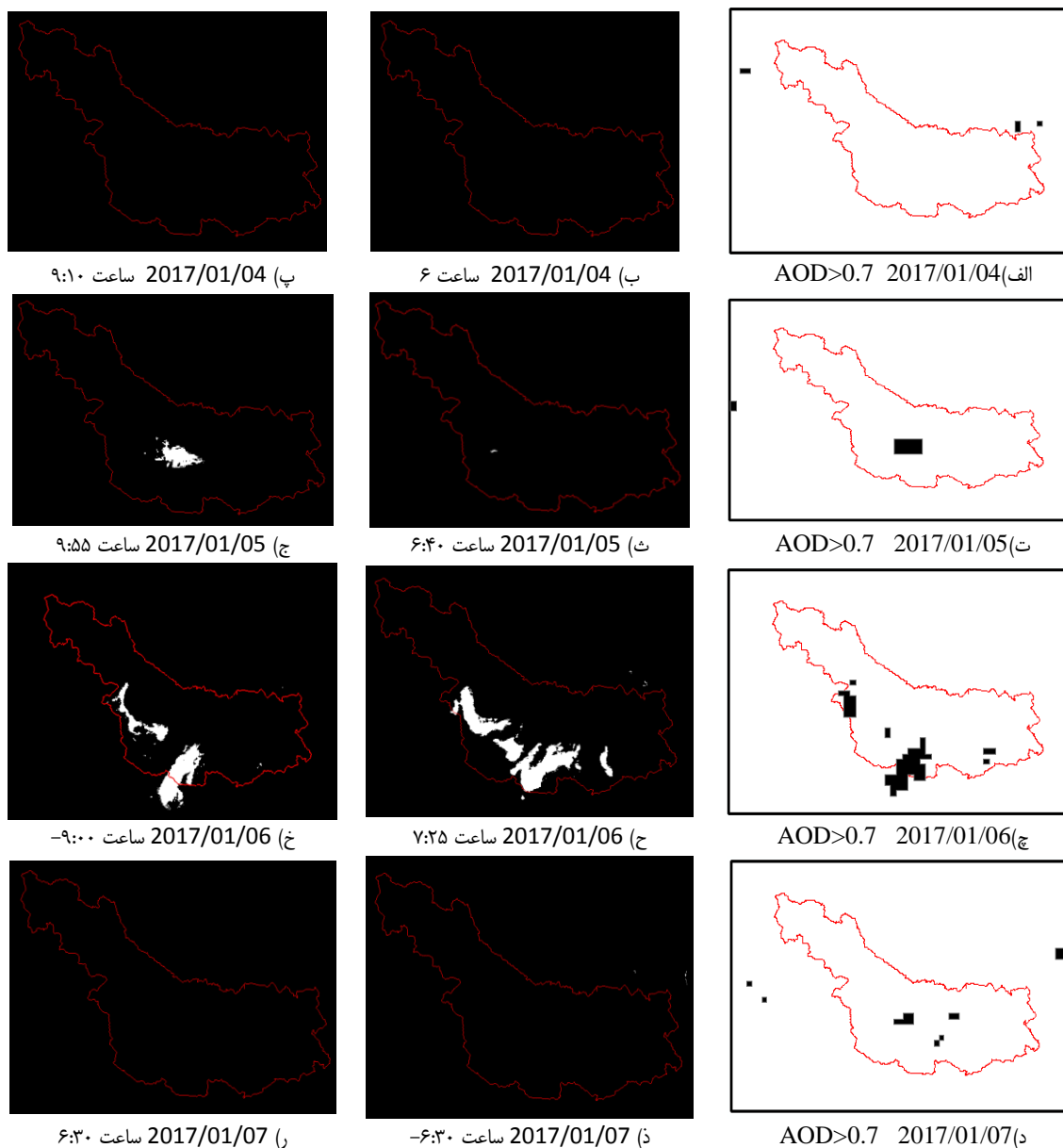


شکل ۵. نتیجه اجرای الگوریتم‌های آشکارسازی گرد و غبار در ۲۰۱۷/۰۱/۰۶ برای محدوده مورد مطالعه (محدوده سیاه‌رنگ یکسلسل‌های آلوده به ذرات گرد و غبار است). الف: نتیجه روش زی (2009)؛ ب نتیجه اجرای روش زاو و همکاران (2010)

جدول ۵. دید افقی در ایستگاه سینوپتیک کهنوج برای تاریخ‌های مورد مطالعه

تاریخ	01/05/2017	01/06/2017	01/07/2017	01/08/2017
دید افقی	۱۰۰۰۰	۴۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰

همچنین، برای ارزیابی دقت روش‌های آشکارسازی محصول عمق نوری ذرات معلق^۱ سنجنده مادیس از محصول myd04 سنجنده مادیس استفاده شده است.



شکل ۶. مقایسه دقت روش زاو و همکاران (۲۰۱۰) و AOD در آشکارسازی گرد و غبار طی دوره ۲۰۱۷/۰۱/۰۴ تا ۲۰۱۷/۰۱/۰۸. تصاویر «الف»، «ب»، «ج»، «د»، «ه» و «ز» بخش‌های سیاه‌رنگ پیسکل‌های بارزش AOD > 0.7 و نشان‌دهنده تراکم گرد و غبار بیشتر هستند. سایر تصاویر نتیجه آشکارسازی گرد و غبار با رنگ سفید نشان داده شده است

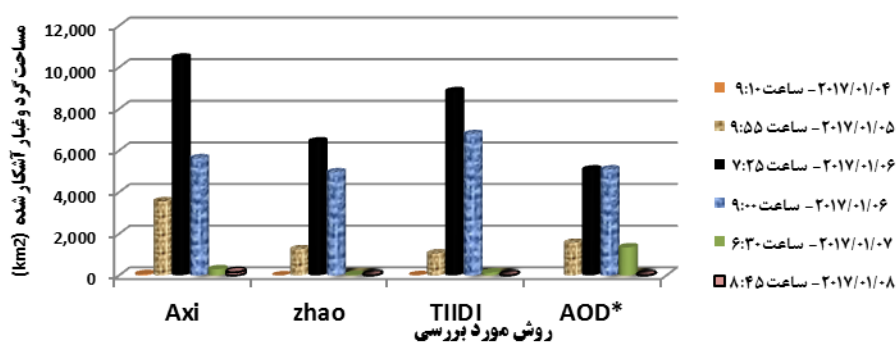
در شکل ۶ نتایج حاصل از اجرای روش (ژاو، ۲۰۱۰) بر روی تصاویر مادیس و محصول myd04 سنجنده مادیس در آشکارسازی گرد و غبار طی دوره ۲۰۱۷/۰۱/۰۴ تا ۲۰۱۷/۰۱/۰۷ نشان داده شده است. در تصاویر «الف»، «ت»، «ج»، و «د» بخش‌های سیاه‌رنگ پیسکل‌های بارزش $AOD > 0.7$ و نشان‌دهنده تراکم گرد و غبار بیشتر می‌باشند. در تصاویر «ب»، «پ»، «ث»، «ج»، «ح»، «خ»، «ذ»، و «ر» نتیجه آشکارسازی گرد و غبار با استفاده از روش (ژاو، ۲۰۱۰) به رنگ سفید نشان داده شده است. به طور کلی، با مقایسه تصاویر «ب» و «پ» در شکل ۶ روشن می‌شود که در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۴ هیچ گرد و غباری در محدوده حوضه جازموریان وجود نداشته است. در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ ساعت ۶:۴۰ (تصویر «ث») طوفان گرد و غبار در مرکز تالاب جازموریان شروع شده است و تا ساعت ۹:۵۵ (تصویر «ج») روند افزایشی داشته است. در ادامه این فرایند، در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۶ ساعت ۷:۲۵ سطح طوفان گرد و غبار به بیشترین مقدار رسیده است (تصویر «ح») و در ساعت ۹ همین روز (تصویر «خ») طوفان روند کاهشی پیدا کرده است. مطابق با تصاویر «ذ» و «ر» در روز بعد (۲۰۱۷/۰۱/۰۷) طوفان گرد و غبار در حوضه جازموریان به طور کامل پایان یافته است. علاوه بر این، در شکل ۶ روند وقوع، اوج، و فروکش کردن طوفان گرد و غبار در محل تالاب جازموریان طی دوره ۲۰۱۷/۱۰/۴۰ تا ۲۰۱۷/۰۱/۰۷ با استفاده از AOD ذرات معلق نیز نشان داده شده است. تصاویر «الف»، «ت»، «ج»، و «د» مستخرج از محصول MYD04 مادیس طی دوره مورد بررسی هستند که در آن پیکسل‌هایی که نشان‌دهنده غلظت بیشتر ذرات معلق بودند ($AOD > 0.7$) با رنگ سیاه نشان داده شده‌اند. در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۴ در محدوده تالاب جازموریان هیچ پیکسلی که نشان‌دهنده غلظت زیاد ذرات معلق موجود در هوا باشد شناسایی نشده است. در این روز بین روش محصول عمق نوری و الگوریتم‌های مورد استفاده همخوانی وجود دارد؛ زیرا مطابق تصاویر «ب» و «پ» در همین تاریخ هیچ گرد و غباری در حوضه جازموریان وجود نداشته است.

البته، قابل ذکر است در این روز روش AOD (تصویر «ث») همخوانی بیشتری با گرد و غبار آشکار شده در ساعت ۹:۵۵ (تصویر «ج») دارد. با توجه به اینکه AOD به صورت میانگین روزانه ارائه شده و در این روز دو تصویر (تصویر ساعت ۶:۴۰ سنجنده مادیس بر روی ماهواره ترا و تصویر ساعت ۹:۵۵ سنجنده مادیس بر روی ماهواره آکوا) موجود است، تصویر دوم که مدت زمان بیشتر از وقوع طوفان گذشته، دقت بیشتری را ارائه می‌کند. سطح شناسایی شده و موقعیت مکانی پیکسل‌های گرد و غبار در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۶ نیز نشان‌دهنده همخوانی بین روش‌های AOD (ژاو و همکاران، ۲۰۱۰) است. مطابق مرحله قبل، تصویر پردازش شده در ساعت ۹ (تصویر «خ») نسبت به تصویر پردازش شده ساعت ۷:۲۵ (تصویر «ح») با روش AOD همخوانی بیشتری دارد. مطابق تصویر «د»، روش AOD تعدادی پیکسل آلوده به گرد و غبار را شناسایی کرده است؛ اما در تصاویر «ذ» و «ر» هیچ گرد و غباری شناسایی نشده است. این امر را می‌توان به این نسبت داد که AOD به صورت متوسط روزانه بیان شده است و تصاویر مادیس در یک زمان مشخص ثبت می‌شوند. گرچه تحقیقات گذشته حاکی از موفقیت نسبی AOD در برآورد غلظت ذرات معلق است، باید در نظر داشت که با توجه به قدرت تفکیک مکانی پایین محصول AOD مادیس ($10\text{km} \times 10\text{km}$) نباید انتظار داشت که نتایج بسیار دقیقی ارائه کند (تیان و چن، ۲۰۱۰: ۱۲۱).

در جدول ۶ آمار مجموع مساحت پیکسل‌های آلوده به گرد و غبار در تصاویر پردازش شده شکل‌های ۶ نشان داده شده است. به منظور ارزیابی بهتر در شکل ۷ گراف نتایج ارائه شده به وسیله روش‌های مورد بررسی و AOD نشان داده شده است.

جدول ۶. مقایسه مساحت گرد و غبار آشکارسازی شده در تاریخ‌های مورد مطالعه در روش‌های مختلف

تاریخ	01/04/2017	2017/01/05	2017/01/06	2017/01/07
ساعت	09:10	09:55	۰۹:۰۰	۰۶:۳۰
روش	Xie Zhao TIIDI AOD	Xie zhao TIIDI AOD	Xie zhao TIIDI AOD	axi zhao TIIDI AOD
A (Km ²)	۵۶ ۰ ۹ ۴۳۰	۱,۲۵۰ ۳,۵۶۲ ۱,۰۵۳ ۱,۵۵۸	۴,۹۵۳ ۵,۶۱۶ ۶,۷۸۹ ۵,۰۸۵	۲۹۶ ۱۴ ۱۳ ۱,۳۴۳



شکل ۷. مقایسه مساحت گرد و غبار آشکارسازی شده در تاریخ‌های مورد مطالعه در روش‌های مختلف

بررسی توزیع شدت گرد و غبارها و مسیریابی ذرات گرد و غبار

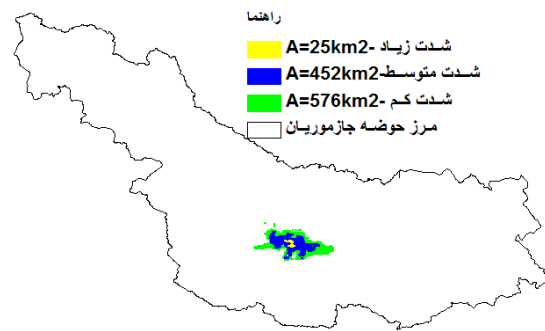
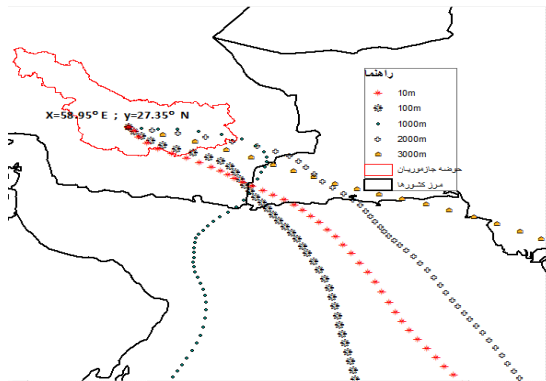
مزیت اصلی روش TIIDI نسبت به سایر روش‌ها ارائه شدت وقوع گرد و غبارهاست (عطایی و همکاران، ۱۳۹۴ ب). در این مطالعه، چهار تقسیم‌بندی مطابق جدول ۷ برای تفکیک شدت وقوع ذرات گرد و غبارها در نظر گرفته شده است.

جدول ۷. حد آستانه شاخص TIIDI و میزان شدت وقوع گرد و غبار

حد آستانه شاخص	میزان شدت گرد و غبار	حد آستانه شاخص	میزان شدت گرد و غبار
20 < TIIDI < 30	شدت کم	30 < TIIDI < 40	شدت متوسط
40 < TIIDI < 50	شدت زیاد	50 < TIIDI	شدت خیلی زیاد

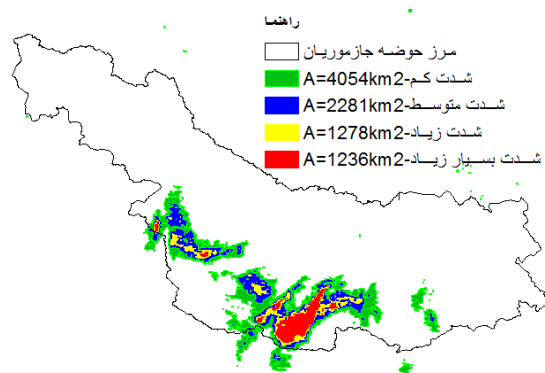
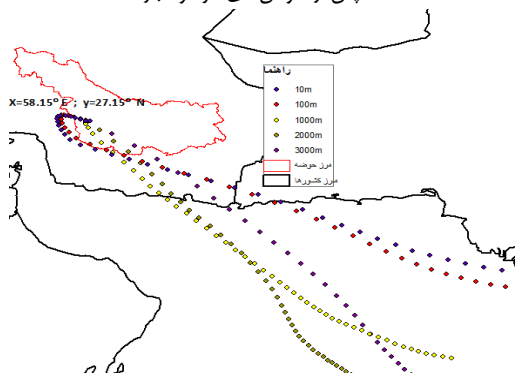
شکل ۸ نتیجه اجرای روش TIIDI در تاریخ‌های ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ تا ۲۰۱۷/۰۱/۰۶ را نشان می‌دهد (تصاویر «الف»، «پ»، «ج»). همچنین، برای ردیابی مسیر حرکت گرد و غبارها، نسخه آنلاین مدل HYSPLIT در سه نقطه، که شدت وقوع گرد و غبارها بیشتر بوده، اجرا شده است. ذرات گرد و غبار به صورت پیشرو با گام زمانی شش ساعته در پنج سطح ارتفاعی ۱۰، ۱۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری نسبت به سطح زمین به مدت ۴۸ ساعت ردیابی شد. نتیجه اجرای مدل HYSPLIT در شکل ۸ در تصاویر «ب»، «ت»، «ج» و «د» درج شده است. در شکل ۸ «ب»، نتیجه اجرای این مدل در روز ۲۰۱۷/۰۱/۰۵ در کانون گرد و غبار با مختصات جغرافیایی $x=58.95^\circ$; $y=27.35^\circ$ (مرکز توده گرد و غبار - تصویر «الف») ترسیم شده است. همان‌طور که از ردیابی ذرات مشخص است، در همه سطوح ارتفاعی ذرات گرد و غبار به سمت جنوب شرق کشور حرکت خواهد کرد و دریای عمان و سواحل مکران را تحت تأثیر قرار خواهد داد. در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۶، در دو بخش مشرف به تالاب و در

توده مجزا سطح قابل توجهی از گرد و غبار مشاهده می‌شود که مدل HYSPLIT برای هر دو نقطه اجرا شده است. در شکل ۸ «ت»، نتیجه اجرای مدل برای کانون گرد و غبار با مختصات جغرافیایی $x=58.15^\circ$; $y=27.5^\circ$ (مرکز توده گرد و غبار کوچک‌تر آشکارسازی شده در تصویر «پ») نشان داده شده است. گرد و غبارهای برخاسته از جازموریان در همه سطوح ارتفاعی سواحل مکران و جنوب شرق کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهند که با نتایج همخوانی دارد.



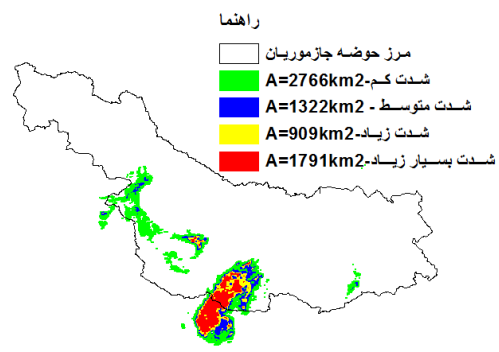
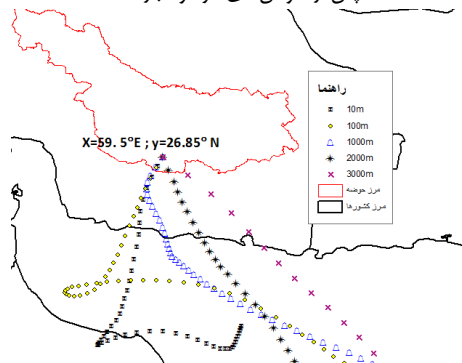
ب) ردیابی رو به جلوی مسیر باد با گام زمانی شش ساعته برای مدت 48 ساعت پس از طوفان‌های گرد و غبار 2017/01/06

الف) نقشه توزیع شدت گرد و غبارها (سطح کل 1.053 km^2) 2017/01/05 ساعت ۹:۵۵



ت) ردیابی رو به جلوی مسیر باد با گام زمانی شش ساعته برای مدت 48 ساعت پس از طوفان‌های گرد و غبار 2017/01/06

پ) نقشه توزیع شدت گرد و غبارها (سطح کل 8849 km^2) 2017/01/06 ساعت ۷:۲۵



چ) ردیابی رو به جلوی مسیر باد با گام زمانی شش ساعته برای مدت 48 ساعت پس از طوفان‌های گرد و غبار 2017/01/06

ج) نقشه توزیع شدت گرد و غبارها سطح کل 6788 km^2 2017/01/06 ساعت ۹:۰۰

شکل ۸. نقشه شدت گرد و غبارهای آشکارسازی شده با روش THIIDI و ردیابی مسیر حرکت ذرات با استفاده از مدل HYSPLIT

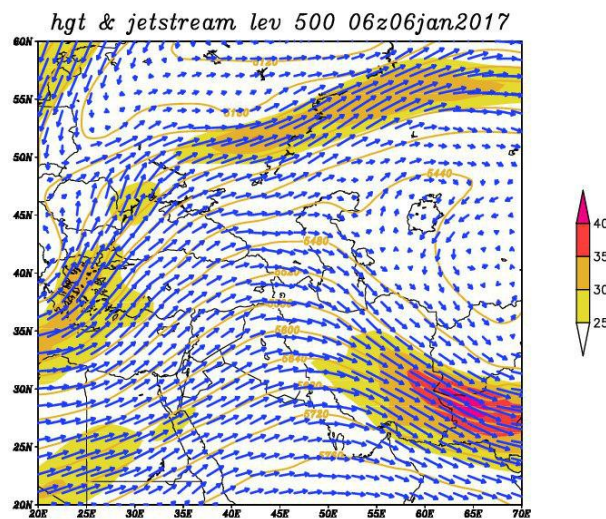
تحلیل نقشه‌های هواشناسی

به منظور بررسی وضعیت سرعت باد در تعدادی از روزهایی که با استفاده از الگوریتم‌های مورد بررسی گرد و خاک در منطقه مورد مطالعه آشکارسازی شده بود، به شرح جدول ۸، نقشه‌های سرعت باد رسم شد و متوسط سرعت در منطقه مورد مطالعه بررسی شد. مطابق جدول سرعت باد در بیشتر تاریخ‌های مورد بررسی بیش از ۳۰ متر در ثانیه است و در تاریخ‌هایی که سرعت کمتر از ۳۰ متر در ثانیه است، نقشه‌های سرعت باد برای روزهای قبل و بعد ترسیم شد و در نتیجه آن مشخص شد در روز مورد بررسی سرعت باد نسبت به روزهای قبل و بعد بیشتر بوده که به وقوع ریزگرد منجر شده است.

در شکل ۹ نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل در تاریخ ۲۰۱۷/۰۱/۰۶ ترسیم شده است. علاوه بر این، برای تشخیص سرعت باد نقشه سرعت و جهت باد^۱ به منظور بررسی وضعیت باد در محدوده مورد مطالعه ترسیم شده است. همان‌طور که مشخص است، یک «پر ارتفاع» کل ایران را دربر گرفته است. بر روی سطح زمین یک مرکز انتی سیکلونی داریم که جهت گردش باد در این سیستم‌ها ساعت‌گرد است. یک جت (ریبل، ۱۹۶۱: ۱۱) با سرعت بیشتر از ۳۰ متر در ثانیه محدوده مورد مطالعه را دربر گرفته است که امکان وقوع گرد و غبار وجود دارد. گرچه هسته اصلی آن با سرعت ۴۰ متر در ثانیه در شرق منطقه مورد مطالعه قرار دارد.

جدول ۸. میزان سرعت باد در ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکل

سال	روز	سرعت (m/s)	توضیحات
۲۰۰۳	۱۵۰	۱۵	سرعت کمتر از ۳۰ متر در ثانیه است؛ اما نسبت به روزهای قبل و بعد بیشتر است
۲۰۰۴	۳۹	۳۲	
۲۰۰۴	۸۲	۳۴	
۲۰۰۸	۹۴	۲۴	سرعت کمتر از ۳۰ متر در ثانیه است؛ اما نسبت به روزهای قبل و بعد بیشتر است
۲۰۰۹	۱۰۵		
۲۰۱۲	۱۵۷	۱۵	سرعت کمتر از ۳۰ متر در ثانیه است؛ اما نسبت به روزهای قبل و بعد بیشتر است
۲۰۱۳	۱۳	۲۵	سرعت کمتر از ۳۰ متر در ثانیه است؛ اما نسبت به روزهای قبل و بعد بیشتر است
۲۰۱۳	۱۴	۳۰	
۲۰۱۶	۳۶	۲۱	سرعت کمتر از ۳۰ متر در ثانیه است؛ اما نسبت به روزهای قبل و بعد بیشتر است
۲۰۱۶	۸۴	۲۴	
۲۰۱۶	۱۰۷	۲۳	سرعت کمتر از ۳۰ متر در ثانیه است؛ اما نسبت به روزهای قبل و بعد بیشتر است
۲۰۱۷	۵	۳۱	



شکل ۹. نقشه ارتفاع ژئوپتانسیل، سرعت، و جهت وزش باد در تاریخ 2017/01/06

نتیجه‌گیری

با وجود مشکلات فقدان ایستگاه‌های پایش گرد و غبار و سینوپتیک در نزدیکی محدوده تالابی حوضه آبریز هامون جازموریان، با کمک روش‌های ارائه‌شده در مطالعات محققان، گرد و غبارهای منطقه مورد مطالعه آشکارسازی شد. در این مطالعه برای آشکارسازی گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از روش‌های زی (۲۰۰۹: ۵۱)، ژاو و همکاران (۲۰۱۰: ۱)، و THDI ارائه‌شده توسط لیو و لیو (۲۰۱۱: ۱) طوفان گرد و غبار رخ داده در تاریخ‌های 2017/01/05 تا 2017/01/07 در محدوده تالاب جازموریان آشکارسازی شد. برای بررسی صحت نتایج از دید افقی در نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک و محصول عمق نوری سنجنده مادیس (myd04) استفاده شد. به‌رغم اینکه پیکسل‌های عمق نوری آئروسول‌ها در ابعاد 10×10 کیلومتری می‌باشد، در هر گذر از ماهواره، سطح زمین فقط توسط تعداد محدودی از این پیکسل‌ها پوشش داده می‌شود. بین نتایج حاصل از سه روش آشکارسازی گرد و غبار و روش عمق نوری سنجنده مادیس همخوانی وجود داشت. نتایج نشان داد طوفان گرد و غبار در صبح روز 2017/01/05 از مرکز تالاب جازموریان شروع می‌شود و در صبح روز 2017/01/06 سطح بسیار بیشتری را دربر می‌گیرد. این طوفان در روز 2017/01/05 به طور کامل فروکش می‌کند. پیشرفت‌های اخیر در زمینه سنجش از دور امکان به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای را جهت بررسی منشأ گرد و غبارها فراهم کرده است. این امر در مطالعه تالاب فصلی جازموریان در جنوب شرق کشور، که فاقد ایستگاه‌های پایش گرد و غبار و حتی سینوپتیک است، بسیار کارآمد است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مطالعه پدیده گرد و غبار، علاوه بر مشخص کردن پدیده‌های گردوغباری و میزان سطح گردوغبار، شناسایی نواحی منشأ این پدیده را امکان‌پذیر می‌کند.

همچنین، نتایج ردیابی ذرات برخاسته از کانون‌های گرد و غبار در تاریخ‌های مورد مطالعه (مرکز سطوح گرد و غبار شناسایی شده با شدت بیشتر) حاکی از حرکت ذرات به سمت جنوب شرق کشور، سواحل مکران، و گاهی خلیج فارس است. بدیهی است عواملی مثل پوشش ابر، کانی‌شناسی ذرات گرد و غبار، و انعکاس سطح زمین در تکنیک آشکارسازی گرد و غبارها تأثیر می‌گذارند. در مورد محدوده تالاب جازموریان سطح خشک‌شده تالاب و پوشش ضعیف حوضه جازموریان و انعکاس سطوح ماسه‌ای عواملی هستند که شناسایی و آشکارسازی گرد و غبار را سخت می‌کنند.

منابع

- اداره کل حفاظت محیط زیست استان سیستان و بلوچستان (۱۳۹۳). تهیه نقشه پایه منابع اکولوژیک تالاب جازموریان و معرفی آن به عنوان یکی از مناطق تحت حفاظت سازمان حفاظت محیط زیست با استفاده از RS و GIS.
- شمشیری، س.؛ جعفری، ر.؛ سلطانی، س. و رضانی، ن. (۱۳۹۳). آشکارسازی و پهنه‌بندی ریزگردهای استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS، *بوم‌شناسی کاربردی*، ۳(۸).
- عطایی، ش.؛ محمدزاده، ع. و آبکار، ع.ا. (۱۳۹۴ الف). شناسایی گرد و غبار با استفاده از روش درخت تصمیم‌گیری از تصاویر سنجنده مادیس، *مجله علمی - پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۴(۴): ۱۵۱-۱۶۰.
- عطایی، ش.؛ آبکار، ع.ا. و محمدزاده، ع. (۱۳۹۴ ب). شناسایی گرد و غبار با استفاده از شاخص TIIDI بهبودیافته و به‌کارگیری داده‌های سنجنده مادیس، *محیط‌شناسی*، ۴۱(۳): ۵۶۳-۵۷۲.
- مصباحی، ح. (۱۳۹۲). مدل‌سازی منابع آب با استفاده از نرم‌افزار MODSIM با هدف نگرش یک‌پارچه به چالش‌ها و راهکارهای حوضه آبریز هامون جازموریان، *پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب*.
- Ackerman, S.A. (1989). Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 μm to tract dust outbreaks, *Remote Sensing of Environment*, 27(2): 129-133.
- Ackerman, S.A. (1997). Remote sensing aerosols using satellite infrared observations, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14): 17069-17079.
- Ataei, Sh.; Abkar, A.A. and Mohammadzadeh, A. (2015a). Dust detection using improved TIIDI and applying MODIS sensor data, *Journal of Environmental Studies*, 41(3): 572-563.
- Ataei, Sh.; Mohammadzadeh, A. and Abkar, A.A. (2015b). Using Decision Tree Method for Dust Detection from MODIS Satellite Image, *JGST 2015*, 4(4): 151-160.
- Csavina, J.; Field, J.; Félix, O.; Corral-Avitia, A.Y.; Sáez, A.E. and Betterton, E.A. (2014). Effect of wind speed and relative humidity on atmospheric dust concentrations in semi-arid climates, *Science of The Total Environment*, 487: 82-90.
- Draxler, R.R. and Hess, G.D. (1998). An overview of the HYSPLIT_4 modelling system for trajectories, *Australian meteorological magazine*, 47(4): 295-308.
- Environmental Protection Agency of Sistan and Baluchestan provinc (2014). Preparation of the ecosystem resources map of Jazmourian wetland and its introduction as one of the protected areas of the Environmental Protection Agency using RS and GIS.
- Fu, Q.; Thorsen, T.J.; Su, J.; Ge, J.M. and Huang, J.P. (2009). Test of Mie-based single-scattering properties of non-spherical dust aerosols in radiative flux calculations, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 110(14): 1640-1653.
- Guo, J.; Xia, F.; Zhang, Y.; Liu, H.; Li, J.; Lou, M. ... and Zhai, P. (2017). Impact of diurnal variability and meteorological factors on the PM 2.5-AOD relationship: Implications for PM 2.5 remote sensing, *Environmental Pollution*, 221: 94-104.
- Huang, J.; Fu, Q.; Su, J.; Tang, Q.; Minnis, P.; Hu, Y. ... and Zhao, Q. (2009). Taklimakan dust aerosol radiative heating derived from CALIPSO observations using the Fu-Liou radiation model with CERES constraints, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(12): 4011-4021.
- Huang, J.; Wang, T.; Wang, W.; Li, Z. and Yan, H. (2014). Climate effects of dust aerosols over East Asian arid and semiarid regions, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(19).

- Kaufman, Y.J. and Tanré, D. (1998). Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from MODIS. NASA MODIS Algorithm Theoretical Basis Document, *Goddard Space Flight Center*, 85: 3-68.
- Kaufman, Y.J.; Tanré, D.; Gordon, H.R.; Nakajima, T.; Lenoble, J.; Frouin, R. ... and Teillet, P.M. (1997). Passive remote sensing of tropospheric aerosol and atmospheric correction for the aerosol effect, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14): 16815-16830.
- Li, X.; Ge, L.; Dong, Y. and Chang, H.C. (2010). Estimating the greatest dust storm in eastern Australia with MODIS satellite images. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International* (pp. 1039-1042). IEEE.
- Liu, Y. and Liu, R. (2011). A thermal index from MODIS data for dust detection. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International* (pp. 3783-3786). IEEE.
- Mesbahi, H. (2013). A unified approach Water Resources Modeling to Challenges and Solutions in the Watershed Basin Hamoun Jazmourian Using MODSIM with the Purpose of Unified Approach, *The Fifth Conference on Water Resources Management*, Tehran.
- Miller, S.D. (2003). A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS, *Geophysical Research Letters*, 30(20).
- Moulin, C.; Lambert, C.E.; Dayan, U.; Masson, V.; Ramonet, M.; Bousquet, P. ... and Bergametti, G. (1998). Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103(D11): 13137-13144.
- Pineda-Martinez, L.F.; Carbajal, N.; Campos-Ramos, A.A.; Noyola-Medrano, C. and Aragón-Piña, A. (2011). Numerical research of extreme wind-induced dust transport in a semi-arid human-impacted region of Mexico, *Atmospheric Environment*, 45(27): 4652-4660.
- Qu, J.J.; Hao, X.; Kafatos, M. and Wang, L. (2006). Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(4): 484-486.
- Rashki, A.; Arjmand, M. and Kaskaoutis, D.G. (2017). Assessment of dust activity and dust-plume pathways over Jazmuri Basin, southeast Iran, *Aeolian Research*, 24: 145-160.
- Reidmiller, D.R.; Hobbs, P.V. and Kahn, R. (2006). Aerosol optical properties and particle size distributions on the east coast of the United States derived from airborne in situ and remote sensing measurements, *Journal of the atmospheric sciences*, 63(3): 785-814.
- Riehl, H. (1961). *Jet streams of the atmosphere*, US Government Printing Office.
- Rolph, G.; Stein, A. and Stunder, B. (2017). Real-time environmental applications and display system: Ready, *Environmental Modelling & Software*, 95: 210-228.
- Shamshiri, S.; Jafari, R.; Soltani, S. and Ramazani, N. (2014). Dust detection and mapping in Kermanshah province using satellite imagery of Modis, *Iranian Journal of Applied Ecology*, 3(8).
- Shao, Y. and Dong, C.H. (2006). A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring, *Global and Planetary Change*, 52(1): 1-22.
- Stunder, B.J. (1997). NCEP model output-FNL archive data: TD-6141. Prepared for National Climatic Data Center (NCDC). Technical report, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD. This document and archive grid domain maps are also available at <http://www.arl.noaa.gov/ss/transport/archives.html>.
- Tian, J. and Chen, D. (2010). Spectral, spatial, and temporal sensitivity of correlating MODIS aerosol optical depth with ground-based fine particulate matter (PM_{2.5}) across southern Ontario, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 36(2): 119-128.

- Wang, J. and Christopher, S.A. (2003). Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM_{2.5} mass: implications for air quality studies, *Geophysical research letters*, 30(21).
- Li, X., Ge, L., Dong, Y., & Chang, H. C. (2010, July). Estimating the greatest dust storm in eastern Australia with MODIS satellite images. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International* (pp. 1039-1042). IEEE.
- Xie, Y. (2009). *Detection of smoke and dust aerosols using multi-sensor satellite remote sensing measurements*, George Mason University.
- Zhang, L.; Cao, X.; Bao, J.; Zhou, B.; Huang, J.; Shi, J. and Bi, J. (2010). A case study of dust aerosol radiative properties over Lanzhou, *China. Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(9): 4283-4293.
- Zhao, C., Chen, S., Leung, L. R., Qian, Y., Kok, J., Zaveri, R., & Huang, J. (2013). Uncertainty in modeling dust mass balance and radiative forcing from size parameterization. *Atmospheric Chemistry & Physics Discussions*, 13(7).
- Zhao, T.X.P.; Ackerman, S. and Guo, W. (2010). Dust and smoke detection for multi-channel imagers, *Remote Sensing*, 2(10): 2347-2368.