

بررسی مسیره‌های انتشار گرد و غبار در استان هرمزگان با استفاده از مدل

HYSPLIT

محمود دمی‌زاده^۱، رسول مهدوی^{۲*}، علی‌اکبر نوروزی^۳، حمید غلامی^۴ و ارشک حلی‌ساز^۵

^۱ دانشجوی دکتری تخصصی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ^۲ دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی و ^۴ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه هرمزگان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۹

چکیده

طوفان‌های گرد و غبار یکی از پدیده‌های جوی است که تأثیرات منفی زیادی را برای استان هرمزگان که یکی از مهمترین مراکز جمعیتی و گردشگری در جنوب کشور بوده و بخش قابل توجهی از تأسیسات مهم و راهبردی کشور در آن ایجاد شده، به همراه داشته است. به همین دلیل، تعیین کانون و مناطق تحت تأثیر طوفان و همچنین، شناسایی مسیره‌های مهم ورود و حرکت آن‌ها از مهمترین نیازهای امروز سازمان‌های مرتبط در این استان است. به‌منظور بررسی پدیده گرد و غبار در استان هرمزگان، ابتدا کلیه داده‌های هواشناسی ۱۲ ایستگاه سینوپتیک منطقه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ میلادی مورد بررسی و واکاوی قرار گرفتند و تعداد ۴۸ رخداد طوفان گرد و غبار که دید افقی در آن‌ها به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش پیدا کرده بود، مشخص شد و عملیات آشکارسازی توده گرد و غبار بر روی آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره مودیس و تعداد چهار الگوریتم آشکارساز Ackerman, TDI, TIIDI و NDDI انجام شد و مناطق تحت تأثیر طوفان و همچنین، مناطق منشاء آن تعیین شدند. برای مسیریابی حرکت طوفان گرد و غبار از مدل انتشار پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT استفاده شد و مسیره‌های ورودی طوفان‌های گرد و غبار به داخل استان و همچنین، مسیره‌های حرکت آن و مناطقی که دارای بیشترین تأثیرات را در این زمینه هستند، مورد شناسایی قرار گرفتند. نتایج مقایسه چهار الگوریتم آشکارساز گرد و غبار، بیانگر کارایی مناسب‌تر الگوریتم TDI در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها در تشخیص کانون و توده گرد و غبار در منطقه می‌باشد. بر اساس نتایج، مناطق شرقی استان هرمزگان، تالاب جازموربان، شرق سیستان و بلوچستان، مناطق غربی افغانستان و پاکستان و نیز مناطق مرکزی و جنوبی عربستان از مهمترین کانون‌های تولید گرد و غبار در منطقه شناخته شدند. بررسی نقشه‌های مدل HYSPLIT بیانگر وجود سه مسیر کلی ورود و ایجاد طوفان‌های گرد و غبار به منطقه می‌باشد که شامل مناطق جنوب غربی کشور، مسیر جنوبی-شمالی و مسیر شمالی و شمال غربی است. همچنین، بر اساس نتایج مدل، در حدود ۵۳/۷ درصد مسیر حرکت و انتشار گرد و غبار پس از وقوع طوفان به سمت شمال و شمال شرقی است که این امر باعث گسترش آلودگی و تشدید غلظت گرد و غبار در شهرهایی نظیر بندرعباس، قشم، میناب، رودان، جیرفت، کهنوج، بم، ایرانشهر، خاش، میرجاوه و زاهدان می‌شود. همچنین، در حدود ۲۲/۳ درصد طوفان‌های منطقه مسیر جنوبی و ۱۴/۸ درصد مسیر جنوب غربی و ۹/۲ درصد مسیر شرقی را برای ادامه پیمایش خود در نظر می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره مودیس، دید افقی، کانون تولید گرد و غبار، مسیریابی حرکت، مناطق تحت تأثیر

مقدمه

پدیده گرد و غبار از جمله تغییرات اقلیمی است که در چند سال اخیر از سیر طبیعی خود خارج شده و افزایش وقوع آن در مناطق مختلف جهان از جمله ایران قابل مشاهده است. از عوامل اصلی و مؤثر در رخداد پدیده گرد و غبار، موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی مناطق منشاء و مناطق تحت تأثیر این پدیده است. قرارگیری استان هرمزگان در منطقه خشک و نیمه خشک جهان و از طرف دیگر، مجاورت با کشورهای چون عربستان، که دارای فقر پوشش گیاهی بوده، تحت تأثیر شرایط بیابانی، ناپایداری هوا و جریان بادهای شدید بوده، باعث وقوع طوفان‌های گرد و غبار در مناطق مختلف این استان شده است.

امروزه برای بررسی پدیده گرد و غبار و منشاء آن سه روش وجود دارد که عبارتند از تحلیل آمار فراوانی، مدل‌های شبیه‌سازی و سنجش از دور (Zhang و همکاران، ۲۰۱۶). Bahak (۲۰۱۸) در پژوهشی، به بررسی و تحلیل روند وقوع پدیده گرد و غبار داده‌های سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۵۶ پرداخته است. نتایج این مطالعه حاکی از روند افزایشی در تمام ایستگاه‌ها به غیر از خاش و سراوان است. همچنین، فراوانی وقوع طوفان‌های گرد و غبار در دوره گرم سال و در قسمت‌های شمالی و جنوبی استان بیشتر می‌باشد. نتایج همبستگی بین داده‌های سالانه بارش و فراوانی رخداد گرد و غبار حاکی از وجود رابطه معکوس بین این دو پارامتر بود. همچنین، نتایج بررسی الگوهای وزش باد در منطقه نشان‌دهنده افزایش سرعت و فراوانی وزش باد در ماه‌های خشک سال، با جهت غالب شمالی بود.

Noroozi (۲۰۱۶) در پژوهشی، پدیده گرد و غبار در استان خوزستان را مورد بررسی قرار داد. نتایج به‌دست آمده بیانگر تمرکز بیشترین گرد و غبار در نواحی غرب و جنوب غرب استان خوزستان است، زیرا پهنه‌های با بیش از ۸۰ درصد وقوع گرد و غبار در این مناطق قرار گرفته‌اند. همچنین، ردیابی مسیر گرد و غبارهای ورودی نشان داد که طی دوره گرم سال، بیشترین گرد و غبارهای ورودی با جهت شمال غربی- جنوب شرقی و نیز غربی- شرقی و در دوره سرد به‌ویژه

در اواخر دوره با جهت جنوبی- شمالی این استان را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تهیه نقشه کاربری و بررسی تغییرات آن بیانگر کاهش سطح مناطق آبی و پوشش گیاهی به میزان ۳۰ درصد و افزایش اراضی بایر خاکی در سال ۲۰۱۵ به‌ویژه برای نیمه غربی خوزستان است. به‌منظور آشکارسازی و تعیین محدوده فعالیت توده‌های گرد و غبار و همچنین، تعیین منشاء و کانون گرد و غبار نیز مطالعات متعددی انجام شده است. به‌طوری‌که از دهه ۱۹۷۰ میلادی و با شروع عرضه تصاویر ماهواره‌ای به جوامع علمی و دانشگاهی، پژوهش در زمینه استفاده از دانش سنجش از دور در زمینه شناسایی توده‌های گرد و غبار انجام گرفت و افرادی چون Ackerman (۱۹۹۷)، Roskovensky و همکاران Liou (۲۰۰۳)، Miller (۲۰۰۳)، Qu و همکاران (۲۰۰۶)، Zhao و همکاران (۲۰۱۰) با ابداع شاخص‌ها و الگوریتم‌های مختلف نسبت به بررسی پدیده گرد و غبار به کمک تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای پرداختند.

تصاویر ماهواره‌ای AVHRR، TOMS، POLDAR، MODIS، SEAWIFS، GEOS، MISR، SEVIRI و OMI AIRS از جمله تصاویری هستند که به‌صورت موفق در پایش گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۶)، هر چند تعدادی از آن‌ها برای شناسایی و تعیین منشاء گرد و غبار از کارایی لازم برخوردار نیستند (Baddock و همکاران، ۲۰۰۹). Darmenov و Sokolik (۲۰۰۵) در پژوهشی در هفت ناحیه مختلف، خصوصیات طیفی نوارهای حرارتی گرد و غبارهایی که از روی اقیانوس منتقل شده بودند را بررسی کردند و دامنه‌های BTD را برای بیابان‌های نوبیا، تر، گبی، تالیکمان و استرالیا به‌دست آوردند. Baddock و همکاران (۲۰۰۹) برای تعیین مناطق حاوی و عاری از گرد و غبار و نیز قابلیت تعیین کانون‌های گرد و غبار در دریاچه ایر استرالیا از پنج روش ترکیب کاذب رنگی، اختلاف دمای درخشایی، اکرمین، میلر و روسکونسکی استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد، کلیه روش‌های مورد استفاده، توانایی تشخیص گرد و غبار را داشته، ولی دقت آن‌ها در هر رخداد با دیگری تفاوت داشته است که می‌تواند به‌دلیل عوامل ابرناکی، میزان بازتاب سطح زمین و خصوصیات کانی‌های گرد و غبار منطقه باشد.

بر کشور و مدل HYSPLIT برای دستیابی و دقیق‌تر شدن چشمه طوفان به کار گرفته شده است. نتایج حاصل از خروجی مدل WRF-Chem نشان داد که عبور یک چرخند جبهه‌ای قوی از روی خاورمیانه باعث ایجاد یک برش باد سطحی قوی شده و گرد و غبار را از روی دشت آبرفتی دجله و فرات بلند کرده و وارد جو کرده است. همچنین، نتایج مدل HYSPLIT نشان داد که مناطق شمالی و مرکزی عراق و سوریه به‌عنوان مسیره‌های اغلب طوفان‌های رخ داده بوده به‌طوری‌که منشا طوفان گرد و غبار ذکر شده، مناطق کویری و خشک شمال-مرکز عراق و سوریه می‌باشد. در مجموع، نتایج این پژوهش مطابقت خوبی با تصاویر به‌دست آمده از سنجده مودیس دارد و بیانگر این است که مدل‌های عددی ذکر شده توانایی خوبی در پیش‌بینی طوفان‌های گرد و غبار دارند.

Ganbat و Jugder (۲۰۱۹) رخداد طوفان در بهار ۲۰۱۶ را با استفاده از اندازه‌گیری لیدار، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای در سایت‌های مستقر در کشورهای مغولستان، چین، کره و ژاپن مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق با استفاده از مدل HYSPLIT نشان می‌دهد، در تاریخ سوم تا چهارم مارس ۲۰۱۶ طوفانی که از مغولستان شکل گرفته بود، با گذشت چهار روز و پس از عبور از کشورهای چین و کره به ژاپن رسیده است. همچنین، بر اساس داده‌های لیدار ضخامت توده گرد و غبار در منشاء آن ۲/۲ کیلومتر اندازه‌گیری شده است.

Mohamed Yassin و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی دیگر، با استفاده از مدل HYSPLIT و تصاویر ماهواره مودیس به بررسی طوفان‌های گرد و غبار کشور کویت بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ پرداختند و طی آن مناطق منشاء طوفان‌های گرد و غبار را مشخص کردند. بر اساس نتایج این مطالعه، عوامل اقلیمی تاثیر مهمی بر وقوع طوفان‌های گرد و غبار داشته، همچنین، کاهش دید افقی از مناطق غربی و شمال غربی را می‌توان مشاهده کرد.

Li و همکاران (۲۰۱۰)، بزرگ‌ترین گرد و غبار شرق استرالیا را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و شاخص اختلاف دمای روشنایی مورد ارزیابی قرار داده، با بیان کارائی قابل توجه این روش در

Jebali و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی، در استان یزد با عنوان ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های آشکارساز طوفان‌های گرد و غبار در مناطق خشک نسبت به مقایسه عملکرد شش الگوریتم اکرم، میلر، روسکونسکی و لیو، TDI، THIIDI و NDDI بر روی تصاویر مودیس اقدام کردند. بر اساس نتایج، هیچ یک از الگوریتم‌های مورد استفاده قادر به آشکارسازی تمامی رخداد‌های گرد و غبار نبوده است با وجود این، به‌کارگیری نوارهای حرارتی و یا تلفیقی از نوارهای حرارتی و انعکاسی در الگوریتم‌ها، کارایی بیشتری را در آشکارسازی گرد و غبار نشان می‌دهد.

Kheirandish و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله شناسایی بهترین الگوریتم تشخیص گرد و غبار با کمک داده‌های مودیس، به بررسی پنج روش تشخیص گرد و غبار پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند، از میان پنج الگوریتم BTD اکرم، شاخص گرد و غبار، میلر، THIIDI و Dust RGB، بهترین الگوریتم بارزسازی گرد و غبار، الگوریتم Dust RGB می‌باشد.

مطالعات مختلفی در زمینه استفاده از مدل‌های عددی انتشار ذرات به انجام رسیده است. Kargar و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با عنوان شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان گرد و غبار شدید شرق ایران به بررسی پدیده گرد و غبار و پیش‌بینی آن با استفاده از مدل WRF-Chem در مناطق شرقی کشور پرداختند. نتایج مدل نشان داد که منطقه سیستان به‌خصوص بستر خشک تالاب هامون، چشمه اصلی طوفان گرد و غبار بوده است. همچنین، در طول رخداد، با همگرا شدن جریانات شمالی-جنوبی بر روی شرق ایران، ایجاد بادهای شدید در ترازهای زیرین جو، انتشار و افزایش غلظت گرد و غبار و انتقال آن‌ها به نواحی جنوبی تا دریای عمان را در پی داشته است.

Malakooti و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهش خود با عنوان مطالعه هم‌دیدگی و عددی نشر، انتقال و شناسایی چشمه یک طوفان گرد و غبار سنگین در منطقه خاورمیانه با استفاده از مدل‌سازی عددی به بررسی توزیع زمانی و مکانی غبار در یکی از شدیدترین رخداد‌های گرد و غباری کشور در طول روزهای ۱۳ تا ۱۷ تیر ۱۳۸۸ اقدام کردند. در این پژوهش، مدل WRF-Chem برای شبیه‌سازی شرایط هم‌دیدگی حاکم

شناسایی توده‌های گرد و غبار، چگونگی وقوع این پدیده را شناسایی کردند.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی استان هرمزگان: استان هرمزگان در شمال تنگه هرمز و در جنوب استان کرمان و فارس واقع است. این منطقه از شرق با استان سیستان و بلوچستان و از سوی غرب با استان‌های فارس و بوشهر همسایه است. مساحت استان هرمزگان طبق تقسیمات فعلی کشور نزدیک به ۶۸۴۰۰ کیلومتر مربع است و میان ۲۴' ۲۵° تا ۵۷' ۲۸° عرض جغرافیایی و ۴۱' ۵۳° تا ۱۵' ۵۹° طول جغرافیایی قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان هرمزگان

واکوی داده‌های هواشناسی: به منظور مطالعه رخدادهای گرد و غبار استان هرمزگان، تعداد ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استان برای یک دوره ۱۹ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ میلادی انتخاب شدند. در ابتدا، داده‌های ساعتی مربوط به پدیده‌های جوی از اداره کل هواشناسی استان هرمزگان اخذ و سپس، از میان آن‌ها روزهای همراه با گرد و غبار و سرعت و جهت باد غالب استخراج شد. روز گرد و غباری در این پژوهش، روزی است که طی یک شبانه‌روز دست‌کم یک بار در طی هشت بار دیده‌بانی عناصر جوی در ساعات دیده‌بانی اصلی (۰۶، ۰۰، ۱۲، ۱۸) و فرعی (۰۳، ۰۹، ۱۵، ۲۰) گرد و غبار گزارش شده باشد. کدهای هواشناسی مورد استفاده برای تعیین روزهای گرد و غباری در این تحقیق، شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲،

۳۳، ۳۴ و ۳۵ است.

آشکارسازی گرد و غبار: برای انجام آشکارسازی گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس^۱ مورد استفاده قرار گرفت. سنجنده مودیس بر روی دو ماهواره ترا و اکوا نصب شده است و فعالیت خود را به ترتیب در دسامبر ۱۹۹۹ و می ۲۰۰۲ و در ۳۶ نوار طیفی شروع کرده است. این ماهواره به صورت روزانه سطح کره زمین را در تصاویری با دقت مکانی ۲۵۰ متر برای نوارهای یک و دو، ۵۰۰ متر برای نوارهای سه تا هفت و یک کیلومتر برای سایر نوارها تصویربرداری می‌کند و به همین دلیل، از قابلیت بالایی برای پایش پدیده گرد و غبار برخوردار است. همچنین، تصاویر این سنجنده از طریق وب سایت <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov> به صورت رایگان قابل بارگذاری است.

به منظور انجام این پژوهش، از تعداد چهار الگوریتم آشکارسازی گرد و غبار Ackerman^۲، TDI^۳، TIIDI^۳ و NDDI^۴ استفاده شد. همچنین، برای درک بهتری از وضعیت شدت و پراکنش توده گرد و غبار از محصول AOD^۵ این ماهواره نیز بهره‌گیری شد. ضمن این‌که برای بررسی‌های اولیه و تفسیر چشمی در زمینه پراکنش گرد و غبار در منطقه استفاده از ترکیب‌های رنگی متفاوت نظیر ترکیب رنگی واقعی ۱، ۴، ۳ (RGB143) این سنجنده و همچنین ترکیب رنگی کاذب ۱، ۲، ۷ (RGB721) استفاده شد.

تعیین مسیر انتشار ذرات گرد و غبار: پس از آشکارسازی رخداد‌های گرد و غبار و شناسایی و تعیین مناطق و کانون‌های برداشت، در نهایت، با استفاده از مدل‌های اتمسفری HYSPLIT اقدام به ردیابی مسیر انتشار آن‌ها شد. مدل HYSPLIT برای اولین بار به وسیله آزمایشگاه منابع هوایی NOAA در سال ۱۹۸۲ و با کمک اداره هواشناسی استرالیا توسعه یافته که کاربردهای آن شامل ردیابی و پیش‌بینی مسیر مواد آلوده کننده آزاد، مسیریابی ذرات هوا،

¹ MODerate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

² Thermal-infrared Dust Index

³ Thermal Infrared Integrated Dust Index

⁴ Normalized Differences Dust Index

⁵ Aerosol Optical Depth

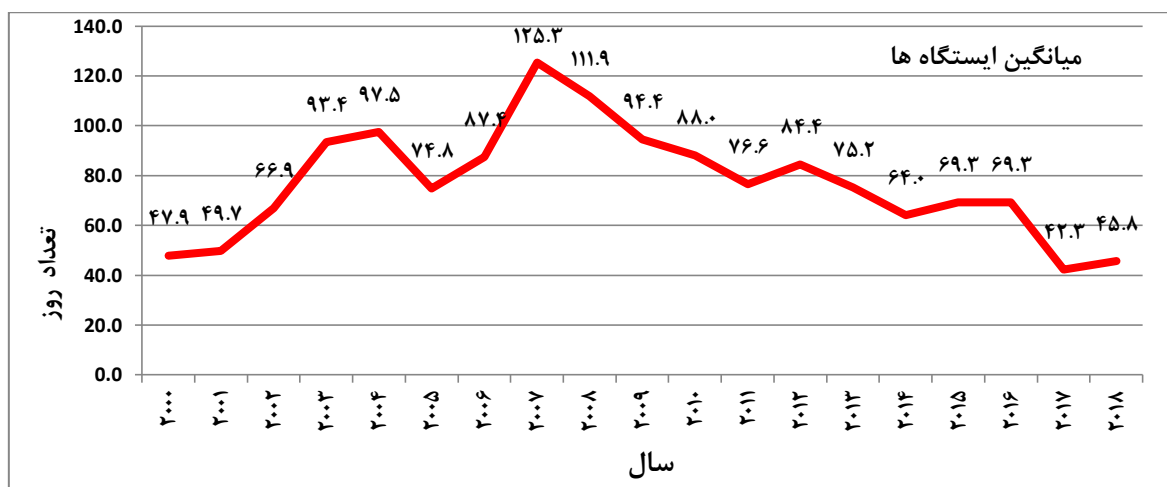
خاکسترهای آتشفشانی و دودهای ناشی از آتش-سوزی‌های جنگل‌ها می‌باشد.

اساس کار این مدل، با استفاده از داده‌های سرعت و جهت باد است. از این‌رو، پس از پردازش داده‌ها و وارد کردن این داده‌ها به مدل، مسیر انتشار برای روزهای انتخابی همراه با پدیده گرد و غبار در استان هرمزگان شبیه‌سازی و ردیابی شدند. همچنین، در این مدل می‌توان نسبت به ردیابی ذرات در سطوح مختلف نظیر ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ متری از سطح زمین اقدام کرد.

نتایج و بحث

واکاوی داده‌های هواشناسی: شکل ۲، میانگین فراوانی وقوع رخداد گرد و غبار را برای ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استان هرمزگان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد که بیانگر روند افزایش وقوع طوفان‌های گرد و غباری تا سال ۲۰۰۸ و سپس، روند

کاهشی آن از سال فوق است. بر اساس نتایج حاصل از پردازش داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک این استان، بیشترین فراوانی وقوع گرد و غبار مربوط به سه ماه می، آوریل و ژوئیه می‌باشد که از نظر آب و هوایی در فصل بهار و اوایل فصل تابستان است. ماه اکتبر در ایستگاه‌های رودان، میناب، حاجی‌آباد و ابوموسی دارای کمترین وقوع گرد و غبار بوده، در حالی که برای سایر ایستگاه‌ها ماه نوامبر و بعد از آن دسامبر دارای کمترین وقوع گرد و غبار است. در مجموع، ماه‌های نوامبر، دسامبر و اکتبر دارای کمترین وقوع پدیده گرد و غبار در استان بوده، پس از آن ماه ژانویه نیز به‌عنوان چهارمین ماه در کمترین رخداد گرد و غبار استان مشاهده می‌شود. ایستگاه قشم بیشترین فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار را در دوره مورد بررسی با ۲۷۶۲ روز دارا است. کمترین فراوانی رخداد این پدیده در ایستگاه میناب با ۳۵۶ روز گرد و غباری ثبت شده است.



شکل ۲- میانگین سالانه فراوانی رخداد گرد و غبار برای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک هرمزگان طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۸

واقعیت بوده که تنها ۱۵/۷ درصد از مجموع رخداد‌های گرد و غبار استان هرمزگان دارای منشأ فرامحلی (۰۶) می‌باشد. طی دوره مورد مطالعه، در مجموع، ۳۰۲۲۳ بار پدیده گرد و غبار در ساعات مختلف در ایستگاه‌های مورد بررسی ثبت شده است که برای بیشتر ایستگاه‌ها، بیشترین رخداد گرد و غبار با ۳۱/۷ درصد در ساعت ۱۵:۳۰ به وقت محلی (۱۲ به وقت گرینویچ) ثبت شده است.

آشکارسازی گرد و غبار: پس از انجام واکاوی بر

همچنین، بدون در نظر گرفتن شدت وقوع این پدیده، سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ بیشترین رخداد این پدیده را در بین سال‌های مورد مطالعه دارا هستند. بر اساس داده‌های بررسی شده از مجموع ۳۵۷۱۶ روز همراه با پدیده گرد و غبار، تعداد ۳۱۸۰۶ رخداد‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای منشأ محلی (کد ۰۷) هستند، به‌عبارتی، ۸۳/۹ درصد منشأ وقوع رخدادها از مناطق استان تغذیه می‌شود. بررسی میزان رخداد‌های فرامحلی بیانگر این

هرمزگان است که در زمان‌های وقوع طوفان، بر اساس مسیر بادهای منطقه دارای تاثیرات متفاوت بر سایر شهرها و مناطق استان هرمزگان می‌باشد. شکل ۴، پراکنش منابع گرد و غبار در مناطق مختلف استان هرمزگان را برای رخداد ۱۱/۲۳/۲۰۰۳ نشان می‌دهد.

ردیابی مسیر شروع طوفان گرد و غبار: پس از بارزسازی توده گرد و غبار بر روی تصاویر ماهواره‌ای، برای مسیریابی و نشان دادن مسیر حرکت باد که در واقع مولد گرد و غبار است، از داده‌های سرعت و جهت باد با دقت 1×1 درجه و مدل انتشار پخش لاگرانژی ذرات HYSPLIT استفاده شد. همچنین، برای سنجش دقت مسیریابی حرکت ذرات که به وسیله مدل فوق پیش‌بینی شد، نتایج اجرای این مدل با تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های هم‌دید منطقه مورد مقایسه قرار گرفت.

در این مطالعه، ابتدا از فرایند پسگرد (Backward) برای ردیابی مسیر ذرات طوفان گرد و غبار استفاده شد. به طوری که همزمان با شروع اولیه طوفان در منطقه، مسیر باد تا ۴۸ ساعت قبل از آن در ارتفاع ۵۰۰ متری سطح زمین ایستگاه‌های منطقه، مورد بررسی قرار گرفت. در نقشه‌های خروجی، علائم مربع، مثلث و دایره بیانگر یک بازه زمانی ۱۲ ساعته بر روی مسیرهای باد می‌باشد. همچنین، علامت ستاره، محل جغرافیایی ایستگاه هواشناسی مورد بررسی است. بررسی نقشه‌های خروجی مدل HYSPLIT بیانگر وجود سه مسیر کلی ورود و ایجاد طوفان‌های گرد و غبار به منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

اولین مسیر ورود بادهایی که منجر به ایجاد گرد و غبار در استان هرمزگان می‌شود، از مناطق جنوب غربی کشور و از روی آب‌های خلیج فارس و سواحل جنوبی می‌باشد. این مسیر، ابتدا از مناطق جنوب غربی کشور شروع شده، پس از عبور از هسته‌ها و کانون‌های گرد و غبار در استان تقویت شده، باعث افزایش غلظت طوفان‌ها می‌شود. به عبارتی، وجود جریانات محلی که در منطقه اتفاق می‌افتد، باعث تشدید این پدیده می‌شود. دومین مسیری که بر اساس نتایج مدل

روی ۱۲ ایستگاه هواشناسی استان، از میان ۴۸ رخدادی که در آن‌ها دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش پیدا کرده، تعداد سه رخدادی که وقوع طوفان در بیش از نه ایستگاه هواشناسی استان ثبت شده بودند، برای اجرای الگوریتم‌های آشکارسازی تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شدند.

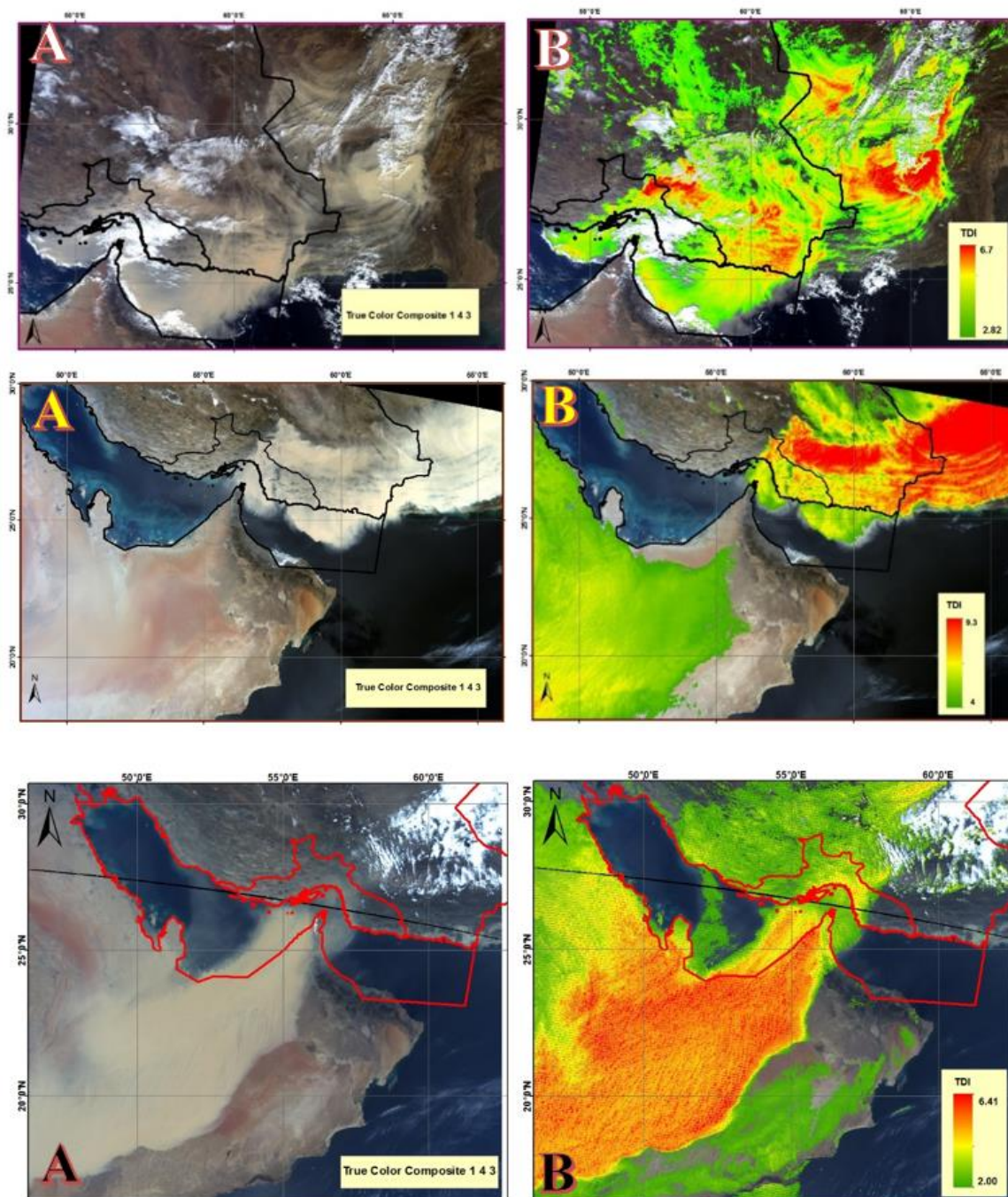
نتایج حاصل از به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف بیانگر این موضوع است که به غیر از شاخص NDDI مابقی شاخص‌ها توانسته‌اند توده گرد و غبار را بارزسازی کنند. از میان شاخص‌های مورد بررسی، شاخص Ackerman در تشخیص گرد و غبار از عملکرد مناسبی برخوردار نبوده، مقادیر این شاخص به شکل قابل توجهی بالا بوده، به طوری که هیچ تناسبی با سایر شاخص‌ها و از جمله محصول AOD منطقه نداشته است. شاخص TIDI با وجود نتایج بسیار بهتر نسبت به شاخص Ackerman و NDDI اما از دقت پایین‌تری نسبت به شاخص TDI برخوردار می‌باشد.

شکل ۳، نتایج بارزسازی سه رخداد گرد و غبار منطقه را با استفاده از شاخص TDI نشان می‌دهد. همچنان که مشاهده می‌شود، این شاخص در تفکیک توده و کانون‌های گرد و غبار از دقت بیشتری نسبت به سایر شاخص‌ها برخوردار می‌باشد. همچنین، این شاخص در زمینه آشکارسازی کانون‌های گرد و غبار و میزان تراکم و ضخامت توده گرد و غبار در مناطق مختلف دارای تفسیر بصری بهتری بوده، در قیاس با مناطقی که تصویر AOD وجود دارد، این شاخص تطابق و عملکرد مناسب‌تری را نشان می‌دهد.

بررسی منشاء گرد و غبار: بررسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در تاریخ‌های مورد بررسی بیانگر وجود کانون‌های گرد و غبار در داخل استان هرمزگان و مناطق هم‌جوار آن است. به طوری که بخش زیادی از گرد و غباری که در منطقه پخش می‌شود، از منابع داخل استان تغذیه می‌شود و یا کانون‌های گرد و غبار موجود در منطقه باعث تشدید و افزایش حجم و غلظت گرد و غبار وارد شده از مناطق خارج از استان می‌شود. بر اساس بررسی‌های ماهواره‌ای، مناطق شرقی بندر جاسک، جنوب شرقی میناب، غرب بندرعباس و جزیره قشم از مهمترین مناطق منشاء در استان

غبار در استان هرمزگان بوده که از مناطق شمالی و شمال غربی استان نشأت می‌گیرد. رخداد طوفان ۲۰۰۳/۱۲/۱۲ (شکل ۵) نمونه‌ای از این انتقال و تشکیل طوفان گرد و غبار در این مسیر است.

HYSPLIT به‌دست آمده است، مسیر جنوبی-شمالی می‌باشد که از روی مناطق جنوبی خلیج فارس و شبه جزیره عربستان خصوصا مناطق شرقی آن نشأت می‌گیرد. همچنین، بررسی نقشه‌های خروجی مدل، بیانگر وجود مسیر سومی برای ایجاد و انتقال گرد و

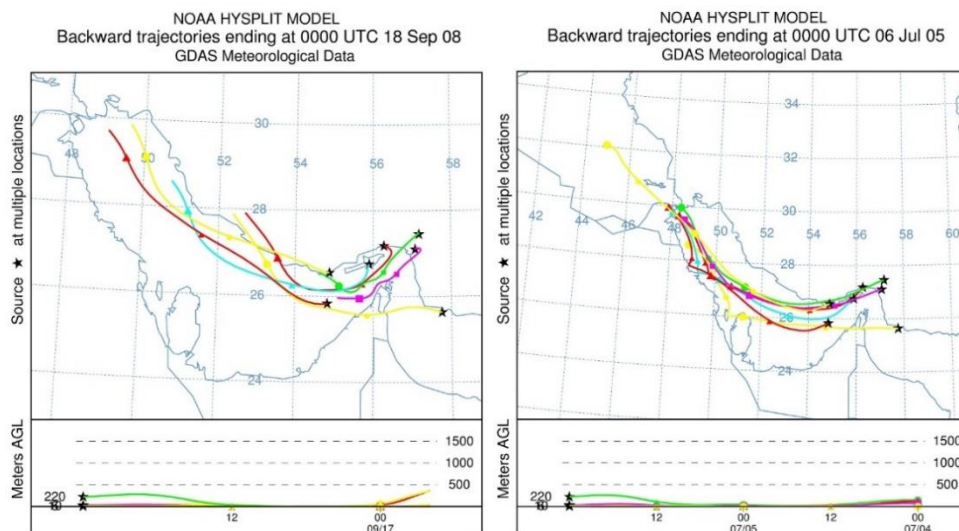


شکل ۳- نمایش ترکیب رنگی ۱۴۳ (A) و آشکارسازی گرد و غبار با الگوریتم TDI (B) به ترتیب برای تاریخ‌های

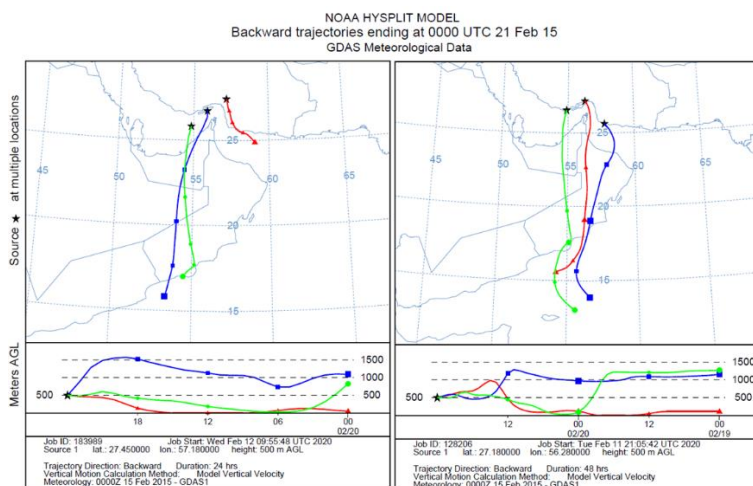
۲۰۱۵/۰۴/۰۲ و ۲۰۱۲/۰۳/۱۹، ۲۰۰۳/۱۲/۱۲

تاثیر آن: به‌منظور درک بهتر تأثیر طوفان‌های گرد و

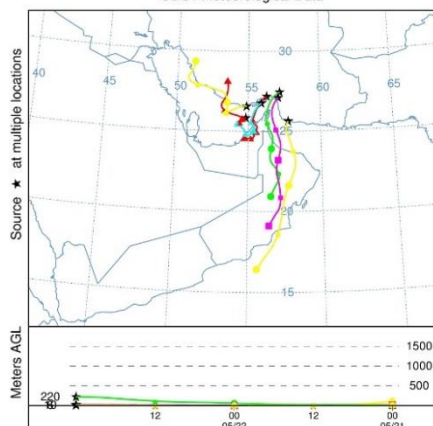
ردیابی مسیر حرکت گرد و غبار و مناطق تحت



شکل ۶- ردیابی پسگرد مسیر باد با گام زمانی ۱۲ ساعته برای ۴۸ ساعت قبل از طوفان ۲۰۰۸/۰۶/۱۸ و ۲۰۰۵/۰۷/۰۶ در استان هرمزگان



NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 23 May 12
GDC1 Meteorological Data

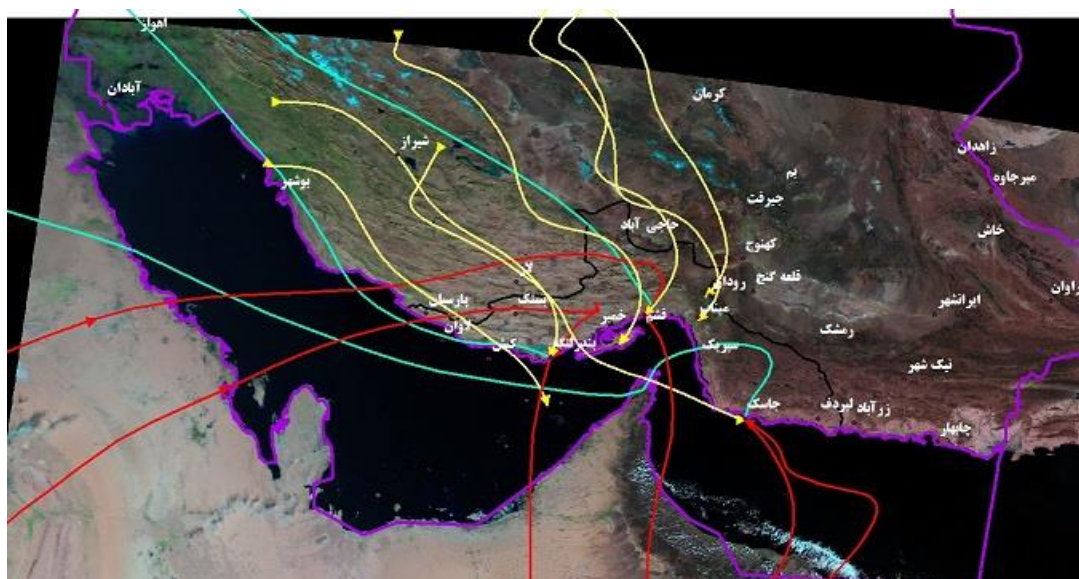


شکل ۷- ردیابی پسگرد مسیر باد با گام زمانی ۱۲ ساعته برای ۴۸ ساعت قبل از طوفان ۲۰۱۲/۰۵/۲۳ و ۲۰۱۵/۰۲/۲۱ در استان هرمزگان

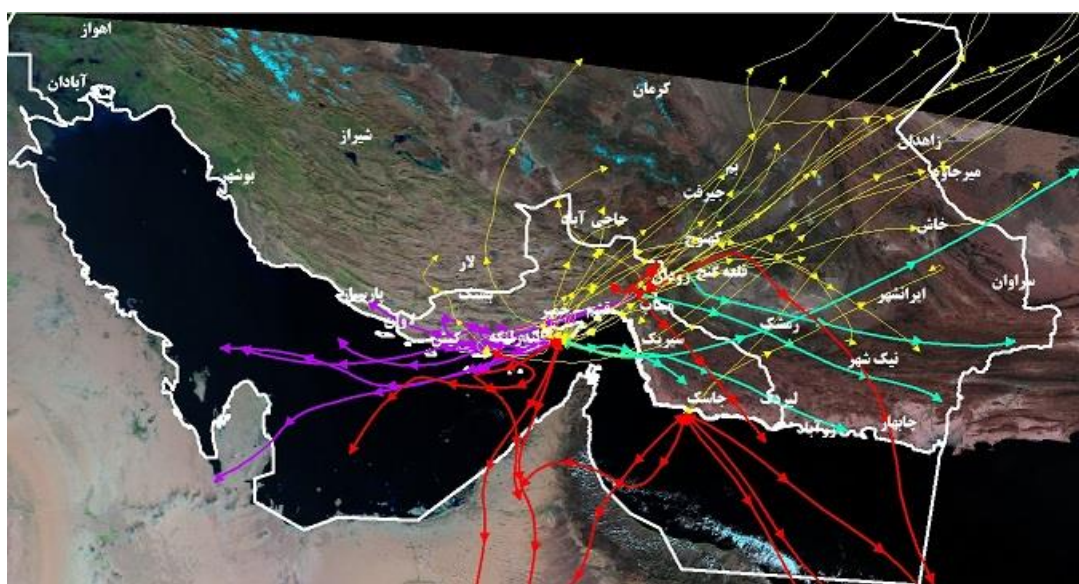
همچنانکه در شکل ۹ مشاهده می‌شود، مسیر حرکت طوفان در بیشتر ایستگاه‌های استان هرمزگان

روستایی و جمعیتی واقع در این ناحیه می‌شود. به همین دلیل، انجام اقدامات مدیریتی در زمینه کنترل و تثبیت مناطق منشاء، کمک بزرگی به کاهش اثرات طوفان‌های گرد و غبار در مناطق مورد اشاره می‌کند. همچنین، بررسی انجام شده نشان می‌دهد، در حدود ۲۲/۳ درصد طوفان‌های منطقه، از مسیر جنوبی برای ادامه پیمایش خود استفاده می‌کنند و پس از آن، مسیر جنوب غربی با ۱۴/۸ درصد و مسیر شرقی با ۹/۲ درصد به‌عنوان مسیرهای حرکت طوفان‌های گرد و غبار منطقه شناخته شده‌اند.

عمدتاً به سمت شمال و شمال شرقی است. به‌طوری‌که، بررسی رخدادهای انجام گرفته در این خصوص، بیانگر این موضوع می‌باشد که در حدود ۵۳/۷ درصد طوفان‌های گرد و غبار با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر در منطقه، مسیر شمالی و شمال شرقی را برای ادامه حرکت خود انتخاب می‌کنند. این امر باعث گسترش آلودگی و تشدید غلظت گرد و غبار و نیز کاهش بیشتر دید افقی در شهرهای منطقه نظیر بندرعباس، قشم، میناب، رودان، جیرفت، کهنوج، بم، ایرانشهر، خاش، میرجاوه و زاهدان و نیز مناطق



شکل ۸- ردیابی پسگرد مسیر باد با گام زمانی ۱۲ ساعته برای ۴۸ ساعت در استان هرمزگان در رخدادهای مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۰)



شکل ۹- خروجی مدل HYSPLIT ایستگاه‌های استان هرمزگان برای ۴۸ ساعت بعد از طوفان‌های مورد مطالعه (۲۰۱۸-۲۰۰۰)

نتیجه‌گیری

استان هرمزگان یکی از مناطق کشور است که پدیده گرد و غبار به صورت قابل توجهی در آن به وقوع می‌پیوندد. بررسی‌های انجام شده بیانگر شدت این پدیده در مناطقی مثل بندرعباس، قشم، ابوموسی و جاسک بوده که تاثیرات مهمی را بر محیط پیرامونی خود بجا می‌گذارد. بررسی فراوانی وقوع رخداد گرد و غبار برای ۱۲ ایستگاه سینوپتیک استان هرمزگان بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد، روند افزایش وقوع طوفان‌های گرد و غباری تا سال ۲۰۰۸ به صورت صعودی بوده، پس از آن سیر کاهشی و نزولی را طی کرده است. بنابراین، نمی‌توان سیر صعودی و روند افزایش وقوع طوفان‌های گرد و غبار را در مدت این بررسی نتیجه‌گیری کرد، هر چند در برخی از ایستگاه‌ها نظیر بندرعباس، قشم و جاسک هیچ‌گونه روندی به چشم نمی‌خورد. ایستگاه قشم، بیشترین فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار را در دوره مورد بررسی با ۲۷۶۲ روز دارا می‌باشد که یکی از مهمترین دلایل آن سازندهای زمین‌شناسی و نیز خاک‌شناسی مناطق اطراف فرودگاه و ایستگاه هواشناسی قشم است. این موضوع همچنین، در مناطق غربی شهرهای بندرعباس و مناطق شرقی بندر جاسک نیز بنا به دلایل ذکر شده صادق است.

نتایج به دست آمده از مقایسه الگوریتم‌های مختلف در استان هرمزگان نشان‌دهنده این موضوع است که استفاده از تصاویر ماهواره مودیس همچنان که در سایر پژوهش‌های انجام یافته در داخل و خارج از کشور نیز گزارش شده است، از قابلیت مناسبی برای تشخیص توده گرد و غبار و پایش آن برخوردار است. ولی با توجه به دقت مکانی پایین آن برای تعیین منشاء و کانون‌های گرد و غبار، خصوصاً طوفان‌هایی که همراه با شدت و ضخامت بالا همراه باشند با محدودیت‌هایی همراه می‌باشد.

ترکیب رنگی تصاویر مودیس قابلیت شناسایی گرد و غبار را به سهولت فراهم می‌آورد، به طوری که بخش عمده توده گرد و غبار با استفاده از ترکیب‌های رنگی مختلف بر روی تصویر نظیر ۱۴۳ و ۷۲۱ قابل تشخیص است. ولی در بسیاری از موارد که گرد و غبار کم ضخامت باشد، کارایی نداشته، استفاده از

الگوریتم‌های آشکارساز که امکان تشخیص بهتر پراکنش گرد و غبار را فراهم می‌آورند، ضروری می‌باشد.

در بین الگوریتم‌های مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم TDI عملکرد بهتری را به نمایش گذاشته و منابع و محدوده توده گرد و غبار را بهتر از سایر الگوریتم‌های مورد استفاده، تعیین و آشکار می‌کند. نکته قابل توجه این‌که شاخص اگرمن با وجود این‌که در بسیاری از منابع به عنوان یک شاخص مناسب در زمینه آشکارسازی طوفان‌های گرد و غبار معرفی شده است، برخلاف انتظار، عملکرد مناسبی را در این منطقه و خصوصاً در رخداد سوم (۲۰/۴/۲۰۱۵) به همراه نداشت.

همچنین، در مناطقی که ضخامت توده گرد و غبار کم باشد و یا توده گرد و غبار نزدیک سطح زمین باشد، شاخص فوق دارای محدودیت‌هایی در آشکارسازی گرد و غبار می‌باشد که می‌تواند ناشی از ویژگی محیط زیرین و تاثیر آن بر رفتار حرارتی توده گرد و غبار باشد و به همین دلیل، امکان تشخیص گرد و غبار به وسیله شاخص فوق فراهم نشود.

نتایج این بخش از پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌های انجام شده نظیر Baddock و همکاران (۲۰۰۹)، Zhang و همکاران (۲۰۱۶)، Jebali و همکاران (۲۰۱۹) و Kheirandish و همکاران (۲۰۱۸) تطابق دارد و بیانگر کارایی استفاده از الگوریتم‌های آشکارساز برای شناسایی محدوده‌های تحت تاثیر طوفان‌های گرد و غبار می‌باشد.

بررسی مسیر بادهای ورودی به منطقه که باعث ایجاد طوفان گرد و غبار می‌شود، بیانگر این واقعیت است که بخشی از بادهای ورودی پس از عبور از هسته‌ها و کانون‌های گرد و غبار در استان تقویت شده، باعث افزایش غلظت طوفان‌ها می‌شود. همچنین، وجود جریانات محلی که در منطقه اتفاق می‌افتد، در مواردی باعث انحراف بادهای ورودی به سمت منطقه شده، باعث تشدید این پدیده و افزایش آلودگی در منطقه می‌شود.

نتایج اجرای مدل HYSPLIT برای مسیریابی انتشار ذرات گرد و غبار در ۴۸ ساعت بعد از وقوع طوفان بیانگر وضعیت نامطلوب این پدیده در تعداد

کانون‌های این منطقه و انجام اقدامات آبخیزداری، نقش بسیار موثری در کاهش اثرات طوفان‌های گرد و غبار در سایر استان‌ها و مناطق همجوار استان هرمزگان را به همراه دارد.

نتایج این بخش از پژوهش، بیانگر تشابه قابل توجه با سایر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه مانند Ganbat و Jugder (۲۰۱۹)، Li و همکاران (۲۰۱۰)، Hamish و همکاران (۲۰۰۸)، Kargar و همکاران (۲۰۰۶) و Malakooti و همکاران (۲۰۰۳) بوده، بیانگر کارایی خوب استفاده از مدل HYSPLIT برای ردیابی حرکت گرد و غبار است.

در مجموع، بررسی‌های انجام گرفته، نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد که منطقه مورد مطالعه از پتانسیل بالایی برای وقوع طوفان‌های گرد و غبار در طول سال بوده و کانون‌های گرد و غبار زیادی در منطقه شناسایی شدند. همچنین، وقوع بیش از یک دهه خشکسالی، شرایط سخت محیطی، وجود سازندهای حساس به فرسایش و نیز وجود توده‌های عظیم ماسه‌های روان در منطقه مورد مطالعه و مناطق پیرامونی خصوصا در کشور عربستان شرایط را برای تشدید این وضعیت مستعد کرده است. همچنین، بخش قابل توجهی از منابع گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه از منابع داخلی کشور نظیر مناطق شرقی استان هرمزگان حد فاصل شرق بندر جاسک تا چابهار، بخش مرکزی جزیره قشم، غرب بندرعباس، تالاب فصلی جازموریان و شرق سیستان و بلوچستان تغذیه می‌شود و بخش دیگری از گرد و غبار استان از منابع خارجی در کشورهای عربستان، افغانستان و پاکستان نشأت می‌گیرد که می‌بایست در مورد برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش روند بیابان‌زایی و نیز اجرای طرح‌های منطقه‌ای و بین‌المللی، اقدامات جدی به عمل آید.

قابل توجهی از ایستگاه‌های استان می‌باشد، به‌طوری که باعث افزایش شدید آلودگی در سایر مناطق همجوار آن‌ها می‌شود. به‌طور مثال، مسیر انتشار گرد و غبار در ایستگاه قشم که یکی از مهمترین مناطق منشاء تولید گرد و غبار در منطقه است، عمدتاً به سمت شمال و بعد از آن شمال شرقی است، جایی که شهرهای مهم بندرعباس، قشم، رودان، میناب و همچنین، روستاهای این منطقه واقع شده‌اند. در واقع، وقوع این امر باعث تشدید غلظت گرد و غبار و کاهش بیشتر دید افقی در این مناطق می‌شود.

ایستگاه جاسک نیز یکی دیگر از کانون‌های تولید گرد و غبار در استان بوده که نقاط داغ آن پس از پردازش تصاویر مورد شناسایی قرار گرفت. نتایج اجرای مدل برای ایستگاه فوق بیانگر این موضوع است که بخش قابل توجهی از گرد و غبار منطقه، مسیری متفاوت‌تر از سایر ایستگاه‌های استان را برای ادامه حرکت خود انتخاب می‌کنند. به‌طوری که حرکت طوفان در مسیر جنوب و به سمت دریای عمان و اقیانوس هند حجم عمده‌ای از انتشار گرد و غبار را از منطقه دور می‌کند و این امر با توجه به گستردگی کانون‌های منطقه، باعث کاهش اثرات مخرب این پدیده در سایر مناطق شده است.

همچنین، بررسی مسیر حرکت و تاثیرات طوفان‌های گرد و غبار ایستگاه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که بیش از نیمی از طوفان‌های رخ داده در جهت شمال شرق به حرکت خود ادامه می‌دهند و همین امر باعث افزایش و تشدید آلودگی‌های مناطق همجوار که خود نیز از مهمترین کانون‌های گرد و غبار کشور هستند، می‌شود. به‌طوری که منطقه‌ای از جنوب خلیج فارس تا شهرهایی مانند زاهدان و میرجاوه را تحت نفوذ خود در می‌آورد. بنابراین، الویت‌گذاری اقدامات آبخیزداری و برنامه‌ریزی برای کنترل و تثبیت

منابع مورد استفاده

1. Ackerman, S., R. Frey, K. Strabala, Y. Liu, L. Gumley, B. Baum, W.P. Menzel, C. Moeller and L. Gumley. 2010. Discriminating clear-sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document MOD35, Madison, WI. University of Wisconsin-Madison, 117 pages.
2. Ackerman, S.A. 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research*, 102(D14): 17069-17079.
3. Ataei, S., A. Mohammadzadeh and A.A. Abkar. 2015. Using decision tree method for dust detection from MODIS satellite image. *Geomatics Science and Technology*, 4(4): 151-160 (in Persian).
4. Baddock, M.C., J.E. Bullard and R.G. Bryant. 2009. Dust source identification using MODIS: a

- comparison of techniques applied to the Lake Eyre Basin, Australia. *Remote Sensing of Environment*, 113(7): 1511-1528.
5. Bahak, B. 2018. Spatial analysis of dust occurrence process in Sistan and Baluchestan Province using statistical methods. *Quarterly of Geography (Regional Planning)*, 8(3): 97-109 (in Persian).
 6. Darnenov, A. and I. Sokolik. 2005. Identifying the regional thermal-IR radiative signature of mineral dust with MODIS. *Geophysical Research Letters*, 32: 168-183.
 7. Furman, H.K.H. 2003. Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics. *Indoor and Built Environment*, 12(6): 419-426.
 8. Hao, X. and J.J. Qu. 2007. Saharan dust storm detection using moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared bands. *Journal of Applied Remote Sensing*, 1(1): 13-23.
 9. Hsu, N.C., T. Si-Chee, M.D. and J.R. King. 2004. Aerosol properties over bright reflecting source regions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(3): 557- 569.
 10. Jebali, A., Z. Zare, M. Ekhtesasi and R. Jafari. 2019. Performance evaluation of detector algorithms of dust storms in arid lands, case study: Yazd Province. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 8(23): 85-105 (in Persian).
 11. Jalali, N., F. Iranmanesh and M. Davoodi. 2017. Identification on dust storm sources and their affecting areas in south-west provinces of Iran, using MODIS image. *Watershed Engineering and Management*, 9(3): 318-331 (in Persian).
 12. Karimi, K., A. Moridnejad, S. Golian, M.V. Samani, D. Karimi and S. Javadi. 20012. Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 38(5): 586-599.
 13. Kheirandish, Z., J. Bodagh Jamali and B. Rayegani. 2017. Identification of the best algorithm for dust detection using MODIS data. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(15): 205-218 (in Persian).
 14. Liu, Y. and R. Liu. 2011. A thermal index from MODIS data for dust detection. 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, BC, Canada.
 15. Malakooti, H., S. Babahossaini, A. Nohegar, M. Azadi and M. Mohamadpoor. 2014. Numerical and synoptical study of emission, transport and identify potential sources of a severe dust storm over Middle East. *Environmental Erosion Researches*, 3(4): 69-80 (in Persian).
 16. Middleton, N.J. 2017. Desert dust hazards: a global review. *Aeolian Research*, 24: 53-63.
 17. Miller, S.D. 2003. A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS. *Geophysical Research Letters*, 30(20): 135-156.
 18. Mohamed, F.Y., K.A. Sarah and A.H. Ali. 2018. Dust storms backward Trajectories' and source identification over Kuwait. *Atmospheric Research*, 212: 158-171.
 19. Noroozi, A., A. 2016. Evaluation of matched filter method for wind erosion mapping Landsat 8 OLI imagery, (central and north west province of Khuzestan). *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 1(21): 89-104 (in Persian).
 20. Ogren, J.A. 1995. A systematic approach to in situ observations of aerosol properties, in R. J. Charlson and J. Heintzenberg (eds.), *Aerosol Forcing of Climate: Report of the Dahlem Workshop on Aerosol Forcing of Climate*, Berlin 1994, April 24-29, 216-226.
 21. Qu, J.J., X. Hao, M. Kafatos and L. Wang. 2006. Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 3(4): 484-486.
 22. Rashki, A., P.G. Eriksson, D.G. Rautenbach, W. Kaskaoutis and J. Grote. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere Dykstra*, 90(2): 227-236.
 23. Raygani, B., Z. Kheirandish, F. Kermani, M. Mohammadi Miyab and A. Torabinia. 2017. Identification of active dust sources using remote sensing data and air flow simulation, case study: Alborz Province. *Desert Management*, 4(8): 15-26 (in Persian).
 24. Roskovensky, J.K. and K.N. Liou. 2003. Detection of thin cirrus from 1.38 μm /0.65 μm reflectance ratio combined with 8.6–11 μm brightness temperature difference. *Geophysical Research Letters*, 30(19): 112-123.
 25. Roskovensky, J.K. and K.N. Liou. 2005. Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data. *Geophysical Research Letters*, 32(12): 250-268.
 26. San-Chao, L., L. Qinhuo, G. Maofang, and C. Liangfu. 2006. Detection of dust storms by using daytime and nighttime multi-spectral MODIS images. 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing, Denver, CO, USA.
 27. Singh, J., Y.J. Noh, S. Agrawal and B. Tyagi. 2018. Dust detection and aerosol properties over Arabian Sea using MODIS data. *Earth Systems and Environment*, 3: 139–152.
 28. Taghavi, F., E. Owlad and S.A. Ackerman. 2017. Enhancement and identification of dust events in the south-west region of Iran using satellite observations. *Journal of Earth System Science*, 126: 28-38.

29. Wong, M.S., F. Xiao, J. Nichol, J. Fung, J. Kim, J. Campbell and P.W. Chan. 2015. A multi-scale hybrid neural network retrieval model for dust storm detection, a study in Asia. *Atmospheric Research*, 158-159: 89-106.
30. Zhang, P., N.M. Lu, X. Hu and C.H. Dong. 2006. Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels. *Global and Planetary Change*, 52(1- 4): 197-206.
31. Zhao, T.X.P., S. Ackerman and W. Guo. 2010. Dust and smoke detection for multi-channel imagers. *Remote Sensing*, 2(10): 23-47.