

آشکارسازی و واکاوی گرد و غبار در استان هرمزگان

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

^۱ دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، ^۲ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه هرمزگان، ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۴ ^۵ استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه هرمزگان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۱۹

چکیده

قرارگیری استان هرمزگان در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان و نزدیکی با کشورهای چین عربستان، پاکستان و افغانستان و همچنین شرایط بیابانی، فقر پوشش گیاهی، ناپایداری هوا و جریان بادهای شدید در این منطقه باعث وقوع طوفان‌های گرد و غبار در مناطق مختلف این استان شده است که امروزه به‌عنوان یکی از چالش‌های زیست‌محیطی در جنوب کشور شناخته می‌شود. 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 قرار گرفتند و پس از مشخص شدن تاریخ وقوع طوفان‌های گرد و غبار، تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز برای رخدادهای فوق تهیه شد. بر اساس نتایج، مشخص شد که ایستگاه قشم با ۲۷۶۲ روز بیشترین و ایستگاه میناب با ۳۵۶ روز کمترین فراوانی وقوع گرد و غباری در استان را ثبت کرده‌اند. همچنین سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۳ 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، ۸۴ درصد رخدادهای گرد و غبار در ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای منشأ محلی (کد ۰۷) و ۱۶ درصد دارای منشأ فرامحلی (۰۶) می‌باشد. همچنین، بر اساس نتایج حاصل از پردازش داده‌های فوق، بیشترین فراوانی وقوع گرد و غبار مربوط به سه ماه می، آوریل و ژوئیه است و ماه‌های نوامبر، دسامبر و اکتبر دارای کمترین وقوع پدیده گرد و غبار در استان بوده است. برای بارزسازی و پایش توده‌های گرد و غبار تعداد ۴۸ تصویر سنجنده مودیس که در آن دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر بوده و کمینه چهار ایستگاه هواشناسی استان وقوع طوفان گرد و غبار را در آن ثبت کرده‌اند، با استفاده از چهار الگوریتم Ackerman, TDI, TIIDI, NDDI مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند. نتایج بیانگر کارایی بهتر الگوریتم TDI برای بارزسازی توده‌های گرد و غبار در منطقه است، ضمن این‌که مناطق شرقی استان هرمزگان، تالاب جازموریان، 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.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم آشکارسازی، مودیس، Ackerman, TDI, TIIDI

سال‌های اخیر وقوع طوفان‌های گرد و غبار با تعداد بالا از جمله مخرب‌ترین بلایای زیست‌محیطی در منطقه خاورمیانه است. با توجه به تأثیرات وسیع گرد و غبار

مقدمه
طوفان‌های گرد و غبار یکی از پدیده‌هایی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان رخ می‌دهد. طی

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. برای آشکارسازی و تعیین محدوده فعالیت توده‌های گرد و غبار و همچنین تعیین منشأ و کانون گرد و غبار نیز مطالعات متعددی به انجام رسیده 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 گرفته است و افراد مختلفی نظیر Ackerman، ۱۹۹۷؛ Roskovensky و Liou، ۲۰۰۳؛ Miller، ۲۰۰۳؛ Qu و همکاران، ۲۰۰۶؛ Zhao و همکاران، ۲۰۱۰ و افراد و پژوهشگران دیگری با ابداع شاخص‌ها و الگوریتم‌های مختلف نسبت به بررسی پدیده گرد و غبار از طریق تصاویر و داده‌های ماهواره‌ای پرداختند.

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای AVHRR، GEOS، SEAWIFS، MODIS، TOMS، POLDAR، MISR، SEVIRI، OMI، AIRS و IASI از جمله تصاویری هستند که به‌صورت موفق در پایش گرد و غبار مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Zhang و همکاران، ۲۰۱۶) هرچند تعدادی از آن‌ها برای شناسایی و تعیین منشأ گرد و غبار از کارایی لازم برخوردار نیستند (Baddoock 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 BTDR را برای بیابان‌های نوپیا، تر، گبی، تالیکمان و استرالیا را به‌دست آوردند.

Baddoock و همکاران (۲۰۰۹) برای تعیین مناطق گرد و غبار از مناطق 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 کردند 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 عامل‌های ابرناکی، میزان بازتاب

در تغییر اقلیم در مقیاس جهانی و محلی، تغییر بر تابش ورودی، تغییرات در چرخه بیولوژیکی، زمین‌شناسی و شیمیایی، تأثیر بر سلامت افراد و هزینه‌های بسیار زیاد اقتصادی که برای جوامع بشری به‌بار می‌آورد (Shahsavani و همکاران ۲۰۱۱).

بررسی و پایش دقیق این رخداد لازم و ضروری است. امروزه برای بررسی پدیده گرد و غبار و منشأ آن سه روش تحلیل آمار فراوانی، مدل‌های شبیه‌سازی و سنجش‌از‌دور وجود دارد (Zhang و همکاران ۲۰۱۶). همچنین Bahak (۲۰۱۹) 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 مطالعه فوق 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 است. 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 خشکسالی، برای غالب شمالی بود.

Dargahian و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان تعیین سهم منابع داخلی و خارجی گرد و غبار در خوزستان به بررسی منشأ گرد و غبارهای استان خوزستان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که به‌طور کلی سهم منابع داخلی ۸/۴ درصد و سهم منابع خارجی ۹۱/۶ درصد است.

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

جازموریان را با استفاده از شاخص $TIIDI$ ، $NDDI$ و ژائو ارزیابی کردند. نتایج پژوهش فوق نشان داد که الگوریتم‌های مورد بررسی عملکرد مناسبی در شناسایی پیکسل‌های آلوده به گرد و غبار دارند.

Raygani و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی کانون‌های گرد و غبار استان البرز پرداختند. هدف از مطالعه فوق، اعتبارسنجی کانون‌های شناسایی‌شده تولید گرد و غبار در استان البرز با استفاده از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی است. یافته‌های پژوهش، نشان‌دهنده قابلیت بالای سری‌های زمانی داده‌های سنجش‌ازدور در اعتبارسنجی کانون‌های شناسایی‌شده تولید گرد و غبار است.

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 $24^{\circ} 25'$ تا $28^{\circ} 57'$ عرض جغرافیایی و $41^{\circ} 43'$ تا $53^{\circ} 15'$ طول جغرافیایی قرار دارد.

واکاوی داده‌های هواشناسی: برای مطالعه رخدادهای گرد و غبار استان هرمزگان، تعداد دوازده 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 آنان 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 کمینه یک بار در طی هشت بار دیده‌بانی عناصر جوی در ساعات دیده‌بانی اصلی (۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸) و فرعی (۰۳، ۰۹، ۱۵ و ۲۱) گرد و غبار گزارش شده باشد. کدهای هواشناسی مورد استفاده برای تعیین روزهای گرد و غباری در این پژوهش شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵ است.

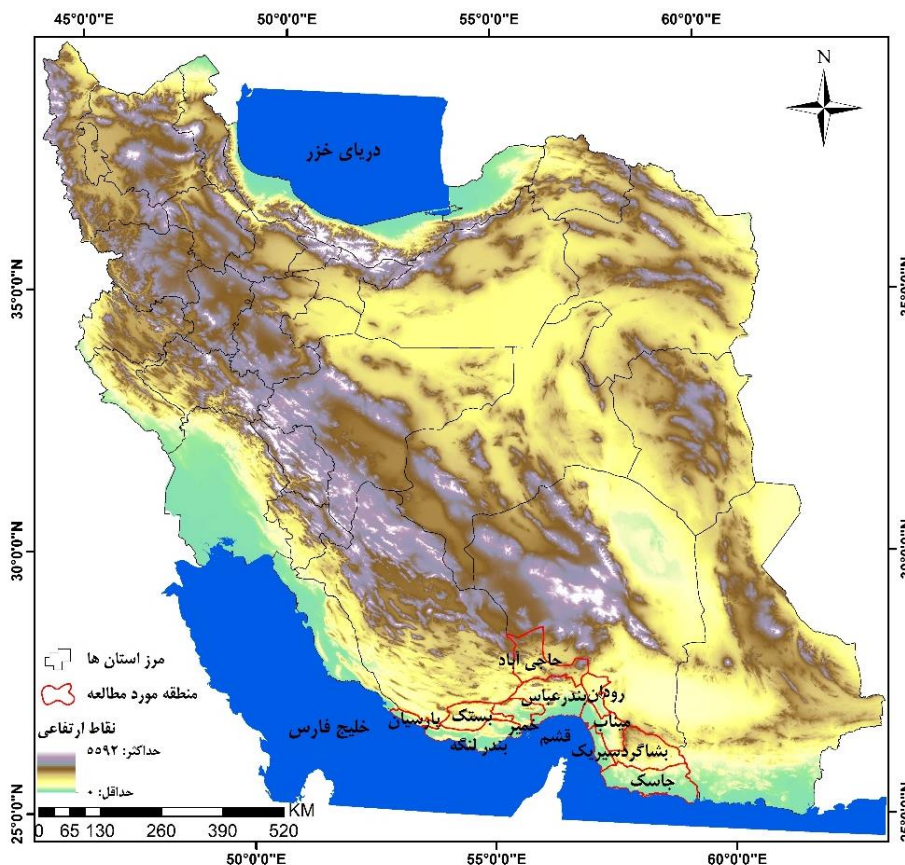
سطح زمین و خصوصیات کانی‌های گرد و غبار منطقه باشد.

Karimi و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی تعداد سه رخداد طوفان گرد و غباری در منطقه خاورمیانه را با استفاده از چهار الگوریتم روسکونسکی و لیو، اکرم، $NDDI$ و $Deep\ Blue\ Algorithm$ مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش به دلیل شباهت رفتارهای طیف حرارتی قادر به تمایز مناسب توده‌های گرد و غبار و بیابان‌ها نیست. به همین دلیل، برای آن‌ها نسبت به توسعه مدلی بر مبنای شاخص اکرم که از دقت بالاتری برخوردار بوده است با نام $Dust\ Index\ Middle\ East\ (MEDI)$ اقدام کردند که در آن از نوار ۲۹ مودیس برای تمایز بهتر توده‌های گرد و غبار از سطح بیابان‌ها استفاده کردند.

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 ، $TIIDI$ ، $NDDI$ بر روی تصاویر مودیس اقدام کردند. بر اساس نتایج، هیچ‌یک 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، $TIIDI$ ، $Dust\ RGB$ بهترین الگوریتم بارزسازی گرد و غبار الگوریتم $Dust\ RGB$ است.

Qaderi Nasab و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی دیگر با عنوان آشکارسازی گرد و غبار در حوزه آبخیز جازموریان با استفاده از تکنیک‌های چندطیفی در تصاویر سنجنده مودیس، قابلیت آشکارسازی گرد و غبار با استفاده از تصاویر سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ سنجنده‌های ترا و اکوا ماهواره مودیس منطقه



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی استان هرمزگان

آشکارسازی گرد و غبار، تصاویر مورد استفاده: 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 ۱ و ۲، ۵۰۰ متر برای نوارهای ۳ تا ۷ 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 وبسایت <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov> به صورت رایگان قابل دانلود است. تاریخ و مشخصات تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ قابل مشاهده است.

الگوریتم‌های مورد استفاده: به منظور انجام این پژوهش، از تعداد چهار الگوریتم آشکارسازی گرد و غبار Ackerman^۲، TDI^۳، TIDI^۴ و NDDI^۵ استفاده شد. همچنین، برای درک بهتری از وضعیت شدت و پراکنش توده گرد و غبار از محصول AOD^۵ این ماهواره نیز بهره‌گیری شد که رابطه آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

الگوریتم آکرم: الگوریتم اکرم از اختلاف دمای درخشایی نوار ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس برای تشخیص و آشکارسازی پدیده گرد و غبار استفاده می‌کند. با توجه به این که الگوریتم اکرم از نوارهای طیفی ۱۱ و ۱۲ میکرومتر برای جداسازی گرد و غبار استفاده می‌کند و به دلیل این که گرد و غبار بازتاب بالاتری در محدوده طول موج ۱۲ میکرومتر نسبت به ۱۱ میکرومتر دارد، بنابراین اختلاف دمای درخشایی و

^۲ Thermal-infrared Dust Index

^۳ Thermal Infrared Integrated Dust Index

^۴ Normalized Differences Dust Index

^۵ Aerosol Optical Depth

^۱ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

۲۰، ۲۹، ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس بوده، مقادیر بالای صفر معرف وجود گرد و غبار در تصویر است (Liu و Liu، ۲۰۱۱).

الگوریتم TDI: TDI (شاخص گرد و غبار مادون قرمز حرارتی) یکی دیگر از شاخص‌های مورد استفاده برای تشخیص پدیده گرد و غبار در یک منطقه بوده که به‌وسیله Hao و Qu در سال ۲۰۰۷ ارائه شد و از نوارهای ۲۰، ۲۹، ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس و ضرابی که در این خصوص طراحی شده‌اند، به شکلی که در جدول ۲ آمده استفاده می‌کند.

تفاضل این دو نوار برای گرد و غبار اعداد منفی بوده، از این‌رو، اگرمن آستانه‌ای که برای جداسازی پدیده گرد و غبار از سایر پدیده‌ها پیشنهاد داد صفر درجه کلون بود، که بعداً در سال ۲۰۰۲ این عدد به منفی یک درجه کلون تغییر پیدا کرد (Ackerman، ۲۰۰۲).

الگوریتم TIDI: TIDI (یکپارچه مادون قرمز حرارتی) در سال ۲۰۱۱ به‌وسیله لیو و لیو ارائه شد. اساس الگوریتم فوق بر پایه چهار نوار طیفی در محدوده ۳/۷، ۸/۶، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر معادل نوارهای

جدول ۱- تاریخ و مشخصات تصاویر سنجنده مودیس استفاده شده در منطقه مورد مطالعه

ردیف	نام تصویر	نام ماهواره	تاریخ (میلادی)	تاریخ (شمسی)
۱	MOD021KM.A2003346.0625.061.2017196122001.hdf	ترا	۲۰۰۳/۱۲/۱۲	۱۳۸۲/۰۹/۲۱
۲	MOD021KM.A2012079.0650.061.2017330154202.hdf	ترا	۲۰۰۸/۰۳/۱۹	۱۳۸۶/۱۲/۲۹
۳	MOD021KM.A2015092.0705.061.2017320020512.hdf	ترا	۲۰۱۵/۰۴/۰۲	۱۳۹۴/۰۱/۱۳

می‌تواند شاخصی از حضور گرد و غبار و آئروسول در جو یک منطقه تلقی شود، به‌طوری که برخی منابع مانند Ogren (۱۹۹۵)، مقدار $AOD \approx 0.1$ را مرز میان آسمان صاف و آسمان همراه با گرد و غبار بیان کرده‌اند که هر چه به سمت بالاتر افزایش پیدا کند، نشان‌دهنده افزایش حضور آئروسول‌ها و در نتیجه کاهش قدرت دید در یک منطقه می‌باشد.

ترکیب رنگی تصاویر: برای بررسی‌های اولیه و تفسیر چشمی در زمینه پراکنش گرد و غبار در یک منطقه استفاده از ترکیب‌های رنگی متفاوت یکی از رایج‌ترین روش‌های تشخیص گرد و غبار در یک منطقه است که دو تا از مهمترین آن‌ها که در این پژوهش نیز به‌کار برده شده ترکیب رنگی واقعی یک، چهار، سه (RGB143) سنجنده مودیس بوده و همچنین ترکیب رنگی کاذب ۱، ۲، ۷ (RGB721) است. همچنین، امروزه با توجه به امکانات و قابلیت‌های گسترده نرم‌افزارهای سنجش از دور در زمینه بارزسازی، استفاده از ترکیب‌های رنگی به شکل مؤثری در زمینه تشخیص توده و منشأ گرد و غبار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

الگوریتم NDDI: شاخص NDDI (شاخص نرمال شده تفاوت گرد و غبار) به‌وسیله Qu و همکاران در سال ۲۰۰۶ ارائه شد و اساس آن استفاده از اختلاف طیف‌های ۰/۴۶۹ و ۲/۱۳ میکرومتر سنجنده مودیس حاصل می‌شود، به‌طوری که از نسبت اختلاف نوارهای انعکاسی ۳ و ۷ افت این سنجنده همچنان که در جدول دو دیده می‌شود، آشکارسازی گرد و غبار فراهم می‌شود. در این الگوریتم مقادیر بیشتر از صفر بیانگر وجود گرد و غبار بر روی تصویر است (Qu و همکاران، ۲۰۰۶).

محصول AOD: یکی از محصولات تولیدی از سنجنده مودیس محصول AOD (عمق نوری آئروسول) است که پارامتری مهم در مطالعه رخداد‌های گرد و غبار و بررسی توزیع ذرات معلق حاصل از طوفان‌های گرد و غباری در یک منطقه جغرافیایی است. AOD یک کمیت بی بعد وابسته به طول موج است که به معنای کاهش عبور نور در واحد طول و بر روی یک مسیر مشخص است. به‌عبارت دیگر، نشان‌دهنده میزان آئروسول در امتداد ستونی عمودی هوا و میزان دید در امتداد این ستون است. معمولاً مقادیر بالای صفر،

جدول ۲- مشخصات الگوریتم‌های آشکارساز گرد و غبار

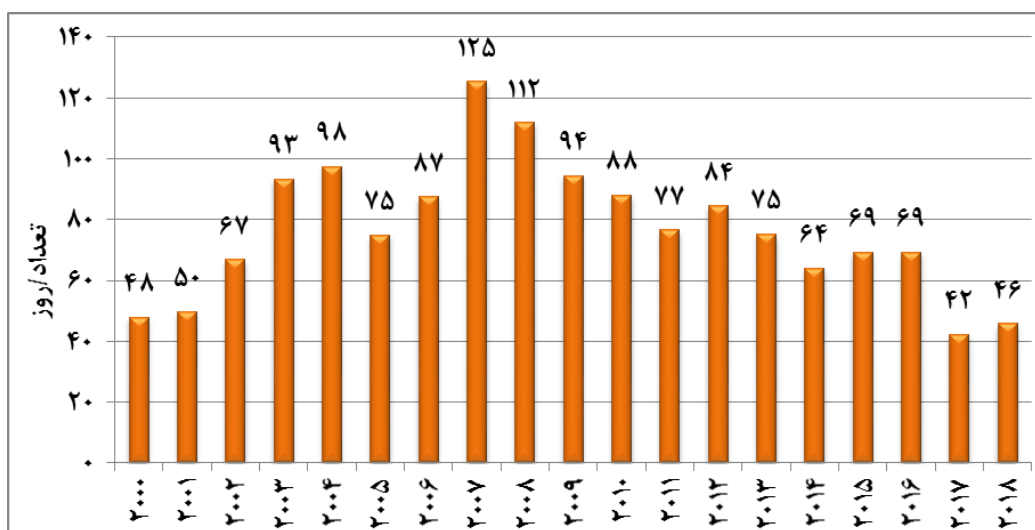
حد آستانه	شرح الگوریتم	نام الگوریتم
< 0	$D = BT31 - BT32$	Ackerman (BTD) (Ackerman, ۱۹۹۷)
> 0	$TDI = c0 + c1 * BT20 + c2 * BT30 + c3 * BT31 + c4 * BT32$ $C0 = -7.9370, C1 = 0.1227, C2 = 0.0260, C3 = -0.7068, C4 = 0.5883$	TDI (Hao و همکاران, ۲۰۰۷)
> 0	$NDDI = (B7 - B3) / (B7 + B3)$	NDDI (Qu و همکاران, ۲۰۰۶)
> 0	$TIIDI = (BTD32 - 31) * \exp((BTD29 - 31) / a) * (BTD20 - 31)$ a=10 در صورتی که BTD29-31 مثبت باشد a=5 در صورتی که BTD29-31 منفی باشد	TIIDI (Liu و Liu, ۲۰۱۱)

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 است 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.



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

در مجموع، واکاوی داده‌های هواشناسی منطقه بیانگر نتایج زیر است:

(۱) 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. همچنین، بدون در نظر گرفتن شدت وقوع این پدیده، سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ و ۲۰۰۳ بیشترین رخداد این پدیده را در بین سال‌های مورد مطالعه دارا است.

بررسی ثبت شده است که برای بیشتر ایستگاه‌ها، بیشترین رخداد گرد و غبار با ۳۱/۷ درصد، در ساعت ۱۵:۳۰ بعد از ظهر به وقت محلی (۱۲ به وقت گرینویچ) ثبت شده است.

(۶) بررسی داده‌های فراوانی سالانه کلیه ایستگاه‌های استان هرمزگان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بیانگر روند افزایش وقوع طوفان‌های گرد و غبار تا سال ۲۰۰۸ و سپس روند کاهشی آن از سال فوق در بیشتر ایستگاه‌های استان است، هرچند در برخی از ایستگاه‌ها نظیر بندرعباس، قشم و جاسک هیچ‌گونه روندی قابل توجهی به چشم نمی‌خورد.

آشکارسازی گرد و غبار: پس از انجام واکاوی بر 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. همچنین آشکارسازی دقیق‌تر توده گرد و غبار، نیاز به تعیین آستانه مناسب برای هر الگوریتم است که این امر مهمترین بخش این فرایند بوده و نتایج به مراتب بهتر و دقیق‌تری را به همراه دارد. آستانه‌های مناسب هر الگوریتم برای هر رخداد در جدول ۳ مشاهده می‌شود ضمن این‌که نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های مورد استفاده در هر رخداد به شرح زیر است.

(۲) 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. به عبارتی، ۸۳/۹ درصد منشأ وقوع رخدادها از مناطق استان تغذیه می‌شود. بررسی میزان رخداد‌های فرامحلی بیانگر این واقعیت بوده که تنها ۱۵/۷ درصد از مجموع رخداد‌های گرد و غبار استان هرمزگان دارای منشأ فرامحلی (۰۶) است.

(۳) بررسی کدهای ۳۰ تا ۳۵ که بیانگر طوفان گرد و خاک سبک تا شدید است، بیانگر وقوع تعداد ۶۴ رخداد طوفانی در منطقه بوده است که بیشتر آن‌ها در ایستگاه‌های بندرعباس، قشم و ابوموسی رخ داده است. بر اساس نتایج حاصل از پردازش داده‌های ایستگاه‌های این استان، بیشترین فراوانی وقوع گرد و غبار مربوط به سه ماه می، آوریل و ژوئیه است و ماه‌های نوامبر، دسامبر و اکتبر دارای کمترین وقوع پدیده گرد و غبار در استان بوده است. همچنین، فصل پاییز با ۱۴ درصد دارای کمترین رخداد گرد و غبار در تمامی ایستگاه‌های استان و فصل بهار با ۳۳/۴ درصد و بعد از آن نیز فصل تابستان با ۲۸/۷ درصد به‌عنوان بیشترین وقوع پدیده گرد و غبار ثبت شده است. در مجموع، می‌توان گفت در تمام فصول سال وقوع پدیده گرد و غبار را می‌توان مشاهده کرد.

(۵) طی دوره مورد مطالعه، در مجموع ۳۰۲۲۳ بار پدیده گرد و غبار در ساعات مختلف در ایستگاه‌های مورد

جدول ۳- مشخصات الگوریتم‌های آشکارساز گرد و غبار

نام الگوریتم	رخداد اول	رخداد دوم	رخداد سوم
Ackerman	گرد و غبار < ۰/۴۱	گرد و غبار < ۰/۶	گرد و غبار < ۰/۵۵
TDI	گرد و غبار > ۲/۷	گرد و غبار > ۴	گرد و غبار > ۲
THDI	گرد و غبار > ۹	گرد و غبار > ۱۲	گرد و غبار > ۲

سمت جنوب غرب است و منطقه وسیعی را در کشورهای ایران، افغانستان، پاکستان و عمان را پوشانده است. ضمن این‌که با استفاده از ترکیب‌های رنگی مختلف نظیر ۱۴۳ و ۷۲۱ به‌وضوح کانون‌های گرد و غبار در طول نوار ساحلی شرق استان حد فاصل بندر جاسک تا بندر گوادر قابل تشخیص بوده، مناطق

رخداد اول در تاریخ ۲۰۰۳/۱۲/۱۲: در این تاریخ، کلیه ایستگاه‌های هواشناسی به‌غیر از ایستگاه پارسیان و لاوان وقوع طوفان گرد و غبار با دید کمتر از ۱۰۰۰ متر را در استان هرمزگان گزارش کرده‌اند. بررسی تصویر ماهواره‌ای در تاریخ فوق، ضمن تأیید موضوع، بیانگر مسیر حرکت طوفان از سمت شمال شرق به

دیگری نظیر تالاب جازموریان، مناطق شرقی سیستان و بلوچستان، جنوب غربی افغانستان و غرب پاکستان نیز به‌عنوان نقاط داغ بر روی تصویر قابل شناسایی هستند.

نتایج حال از به‌کارگیری الگوریتم‌های مختلف نشان می‌دهد که به‌غیر از شاخص NDDI، مابقی شاخص‌ها توانسته‌اند توده گرد و غبار را بارزسازی کنند. نگاهی به شاخص اکرم‌ن نشان می‌دهد که این شاخص در تشخیص گرد و غبار از عملکرد مناسبی برخوردار نبوده، بخش زیادی از تصویر را به‌عنوان گرد و غبار جدا کرده است (شکل B ۳). مناطق شرقی تصویر در کشور پاکستان و افغانستان و بخش شمال غربی تصویر از جمله مناطقی هستند که مقدار شاخص اکرم‌ن به شکل قابل توجهی بالا بوده، به‌طوری‌که هیچ تناسبی با سایر شاخص‌ها و ازجمله محصول AOD منطقه نداشته، از تطابق با سایر مناطق مرکزی تصویر که محل اصلی فعالیت طوفان می‌باشد، برخوردار نیست. با وجود این موضوع، شاخص اکرم‌ن در زمینه جداسازی ابرها از گرد و غبار نسبتاً موفق بوده، بررسی بصری و هیستوگرام این موضوع، بیانگر دقت مناسب این شاخص است.

شاخص‌های TDI و THDI دارای شباهت‌های زیادی با یکدیگر بوده، ولی با این وجود، شاخص TDI در تفکیک توده و کانون‌های گرد و غبار از دقت بیشتری برخوردار بوده، به‌طوری‌که در مناطق شمالی و شمال غربی منطقه عملکرد بهتری را به نمایش گذاشته است. همچنین، در زمینه آشکارسازی کانون‌های گرد و غبار و میزان تراکم و ضخامت توده گرد و غبار در مناطق مختلف دارای تفسیر بصری بهتری بوده و در قیاس با مناطقی که تصویر AOD وجود دارد، این شاخص تطابق و عملکرد مناسب‌تری را نشان می‌دهد (شکل C، D ۴).

از میان شاخص‌های استفاده‌شده، شاخص NDDI از عملکرد مطلوبی برخوردار نبوده و بخش عظیمی از تصویر به‌عنوان گرد و غبار شناسایی شده که صحیح نیست (شکل F ۳). استفاده از الگوریتم‌های ذکرشده نشان‌دهنده این نکته است که بدون استفاده از آستانه مناسب در هر الگوریتم، تشخیص مناسب توده گرد و غبار و محدوده فعالیت آن به‌سادگی امکان‌پذیر نیست.

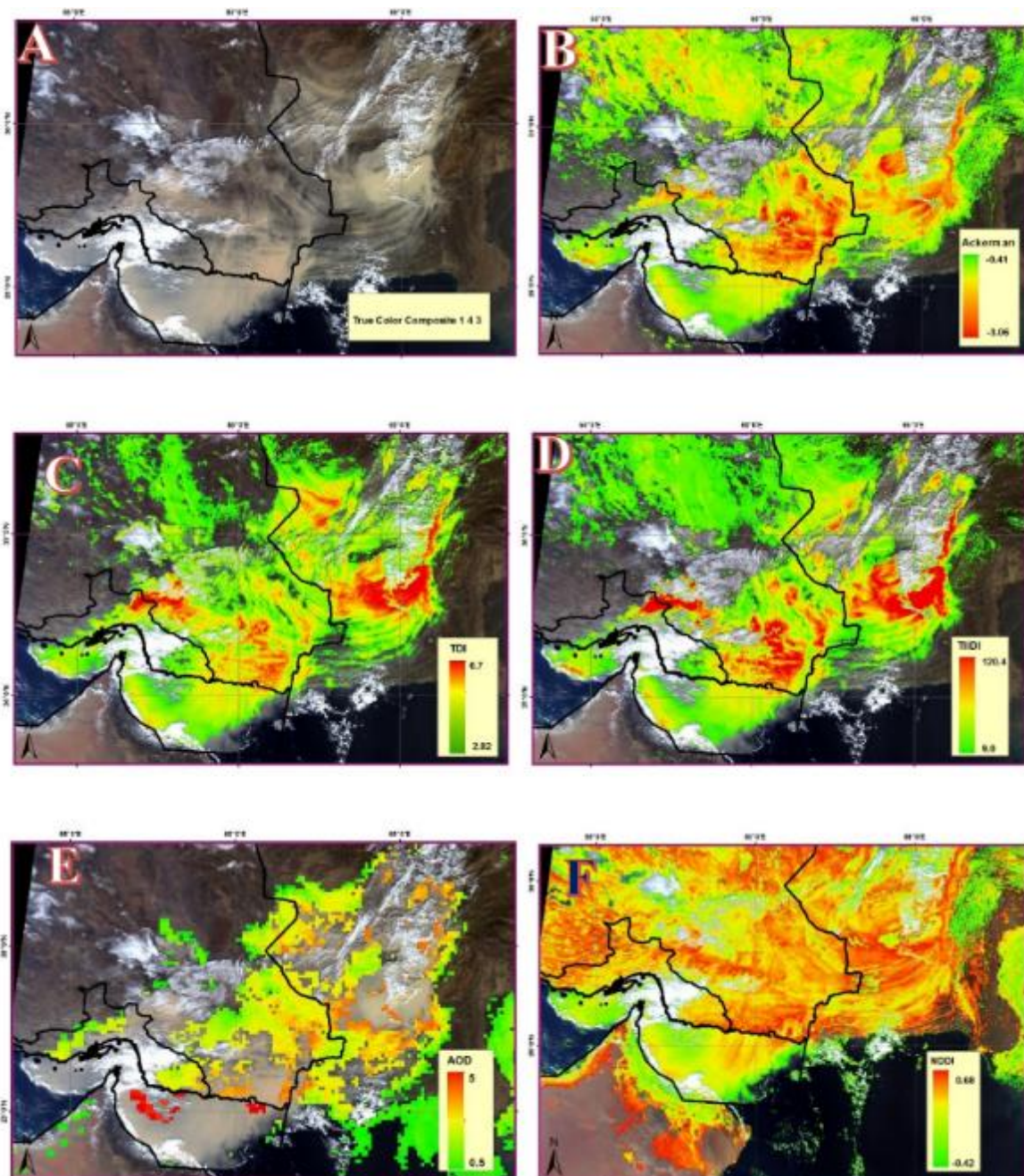
همچنین، نتایج استفاده از شاخص‌های فوق بیانگر ضعف کلیه شاخص‌های فوق در آشکارسازی گرد و غبار بر روی محیط‌های آبی بوده، به‌طوری‌که تعیین محدوده دقیق توده گرد و غبار بر روی خلیج فارس و دریای عمان امکان‌پذیر نشد که می‌تواند به‌دلیل ضخامت کم توده گرد و غبار و شباهت‌های رفتار طیفی در نوارهای حرارتی در این منطقه باشد. ضمناً در مناطقی که توده گرد و غبار در میان ابرها نفوذ کرده است، تشخیص ابرها و تفکیک آن‌ها از گرد و غبار با کمی مشکل مواجه شده است.

رخداد دوم در تاریخ ۲۰۱۲/۰۳/۱۹: دومین رخداد طوفان گرد و غبار به‌صورت توده‌ای بزرگ، بخش اعظمی از استان هرمزگان و جنوب شرق کشور و همچنین کشور پاکستان را در بر گرفته است و به شکل واضحی با ترکیب رنگی ۱۴۳ در تصویر ماهواره‌ای مودیس قابل مشاهده است. نتایج به‌کارگیری از الگوریتم‌های استفاده‌شده نشان می‌دهد که الگوریتم اکرم‌ن نتوانسته است از کارایی مناسب برخوردار باشد. به‌طوری‌که، علاوه بر آن که توده گرد و غبار بر روی آب‌ها را نتوانسته به‌صورت مناسبی آشکار کند، بلکه بخش زیادی از مناطق واقع در شمال غرب تصویر را نیز به‌عنوان گرد و غبار شناسایی کرده است. در مجموع، بررسی مقادیر برآوردی به‌وسیله اکرم‌ن حاکی از آن است که در مناطقی که ضخامت توده گرد و غبار پایین بوده، شاخص فوق عملکرد مناسبی نداشته، ضمن این‌که کارایی این شاخص در خشکی‌ها بهتر از محیط‌های آبی است (شکل B ۴). شاخص‌های TDI و THDI هر دو دارای نتایج نزدیک به هم بوده، توانسته‌اند توده گرد و غبار را به‌خوبی جدا کرده، ولی به‌مانند شاخص اکرم‌ن، زبانه‌های گرد و غبار بر روی خلیج فارس به‌صورت دقیق آشکار نشده است. بررسی بیشتر هر دو شاخص بیانگر دقت بالاتر شاخص TDI نسبت به شاخص THDI و تمایز بهتر پراکنش گرد و غبار و ضخامت آن در منطقه است (شکل C، D ۴).

بررسی محصول AOD منطقه، بیانگر عدم وجود داده‌های مناسب در منطقه وقوع طوفان در خشکی بوده که احتمالاً به‌دلیل خطای ماسک ابر در تولید این محصول است. هرچند، در محل فعالیت طوفان در خلیج فارس و دریای عمان داده‌های مناسبی مشاهده

فصلی نظیر تالاب فصلی جازمورین در شمال شرق استان و یا بیابان‌های شرق استان، به‌دلیل روشنایی زیاد سطح خود، دارای بازتاب زیاد بر روی تصاویر ماهواره‌ای هستند و باعث می‌شود در مرحله تولید محصول AOD و به‌وسیله الگوریتم ماسک ابر به‌عنوان سطوح ابری در نظر گرفته شوند و از تصویر حذف شوند.

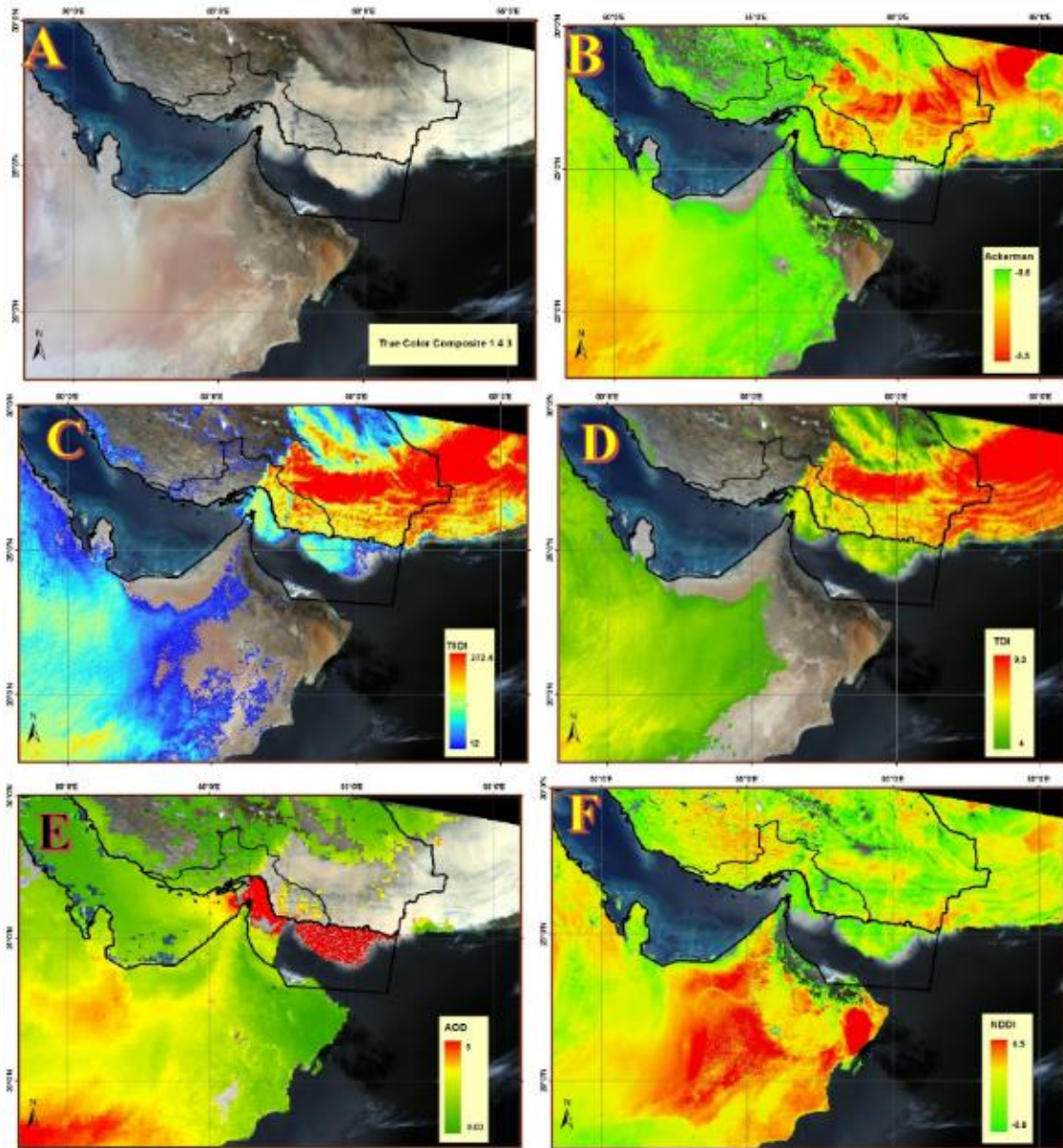
می‌شود و بررسی آن بیانگر شدت زیاد گرد و غبار در این منطقه است. عدم وجود داده بر روی مناطق بیابانی یکی از مشکلات شناخته‌شده در شناسایی گرد و غبار در مناطقی که سطح زمین دارای روشنایی و بازتاب زیاد نور خورشید است، به وجود می‌آید. به‌طوری‌که حتی در تصاویری که در مواقع عدم وجود ابر و عاری از گرد و غبار اخذ شده نیز می‌توان این خطا را مشاهده کرد. مناطقی به‌مانند دریاچه‌های



شکل ۳- آشکارسازی رخداد ۲۰۰۳/۱۲/۱۲ با استفاده از الگوریتم‌های (A) RGB و (B) Ackerman، (C) TDI، (D) TIIDI، (E) AOD، (F) NDDI

هرمزگان نظیر شهرهای بندرعباس، میناب، رودان، سیریک، جاسک و جزایری نظیر ابوموسی، سیری، قشم و آبهای خلیج فارس و دریای عمان را تحت نفوذ خود در آورده است. به طوری که در تاریخ فوق در نه ایستگاه استان هرمزگان دید افقی زیر ۱۰۰۰ متر ثبت شده است.

رخداد سوم در تاریخ ۲۰۱۵/۰۴/۰۲: نتایج اجرای الگوریتمهای آشکارسازی گرد و غبار برای این تاریخ در شکل ۵ نشان داده شده است. نگاهی به تصویر ترکیب رنگی ۱۴۳ منطقه نشان می‌دهد هجوم طوفان گرد و غبار در تاریخ فوق از سمت شبه جزیره عربستان بوده که بخش قابل توجهی از استان



شکل ۴- آشکارسازی رخداد ۲۰۱۹/۰۳/۱۲ با استفاده از الگوریتمهای (A) RGB و (B) Ackerman، (C) TDI، (D) TIIDI، (E) AOD، (F) NDDI

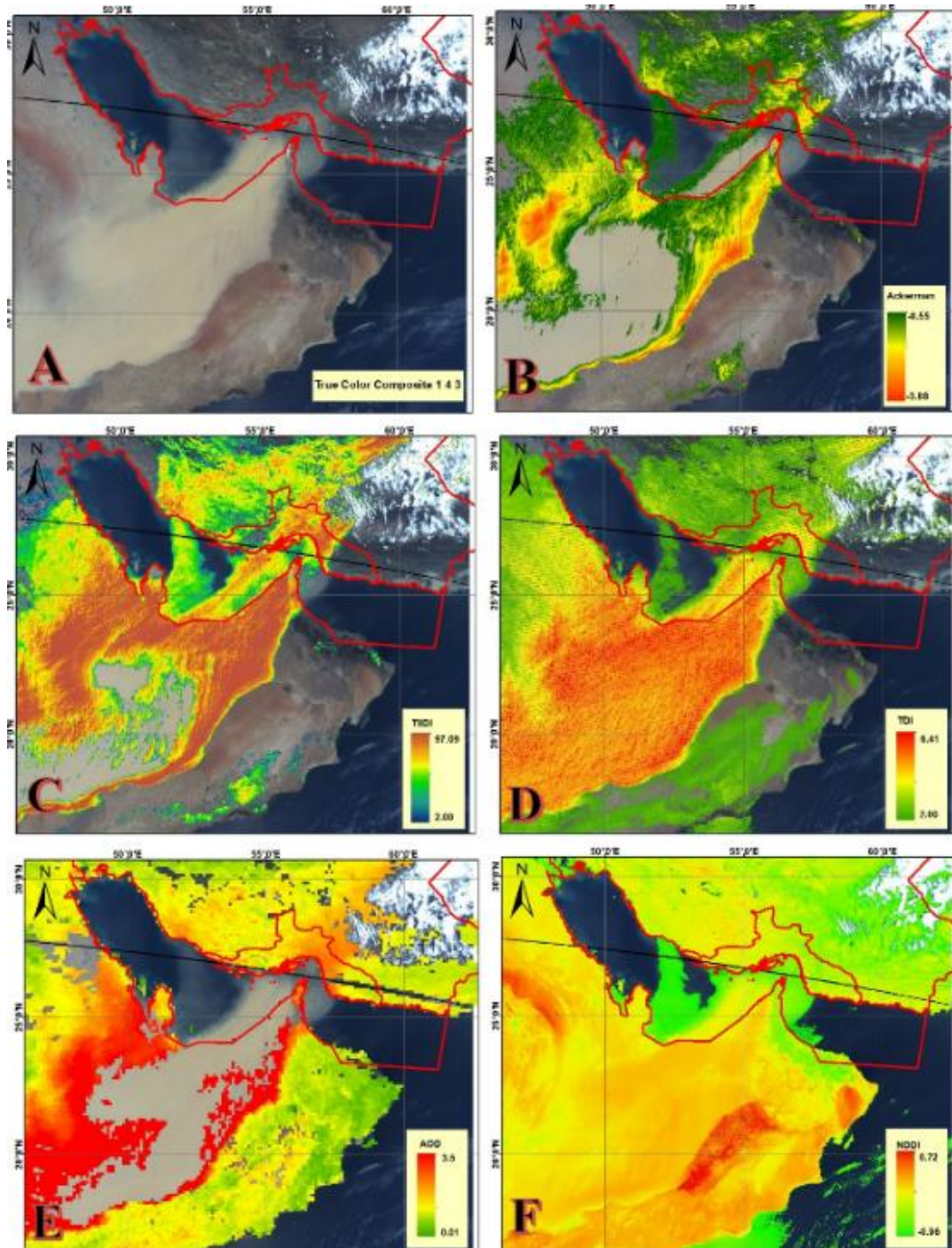
را در این منطقه به نمایش نمی‌گذارد و از کارایی پایینی در این خصوص برخوردار است که احتمال دارد به دلیل پایین بودن ارتفاع طوفان و نزدیکی به سطح زمین و شباهت‌های رفتار طیفی در محدوده نوارهای حرارتی در این منطقه و بیابان‌های اطراف باشد (شکل

همچنان که مشاهده می‌شود، شاخص اکرمین نه تنها نتوانسته است توده گرد و غبار را به خوبی بر روی آب‌های منطقه آشکار کند، همچنین با وجود ضخامت بسیار بالا گرد و غبار در بخش عظیمی از شبه جزیره عربستان، شاخص فوق هیچ‌گونه بارزسازی

و دریای عمان را با دقت نسبتا خوبی آشکار کرده است. همچنین، در منطقه چشمه گرد و غبار در عربستان نیز از عملکرد خوبی برخوردار بوده، توانسته در این زمینه به شکل مطلوبی توده گرد و غبار را آشکار کند. به طوری که مقایسه شاخص فوق با تصویر AOD منطقه نیز نشان دهنده عملکرد مناسب این شاخص است (شکل ۵C).

۵B). الگوریتم TIIDI هرچند از کارایی بهتری در جداسازی گرد و غبار مستقر بر روی آبهای منطقه نشان می دهد، ولی به مانند شاخص اکرم ن نتوانسته است چشمه گرد و غبار بر روی بیابان های عربستان را جدا کند (شکل ۵D).

بررسی شاخص TDI نشان می دهد که این شاخص از کارایی بالایی در رخداد مذکور برخوردار بوده، ضمن این که گرد و غبار مستقر بر روی آب های خلیج فارس



شکل ۵- آشکارسازی رخداد ۲۰۱۵/۰۴/۰۲ با استفاده از الگوریتم های (A) RGB و (B) Ackerman, (C) TDI, (D) TIIDI, (E) AOD, (F) NDDI

(۲۰۱۴) و Jebali و همکاران (۲۰۱۹) نیز کارایی مناسب این شاخص در آشکارسازی گرد و غبار تأیید شده است. نکته قابل توجه این است که شاخص اکرمین با وجود این که 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 رخدادهای همراه نداشت. همچنین، در مناطقی که ضخامت توده گرد و غبار کم است و یا توده گرد و غبار نزدیک سطح زمین است، شاخص فوق دارای محدودیت‌هایی در آشکارسازی گرد و غبار است که می‌تواند ناشی از ویژگی محیط زیرین و تأثیر آن بر رفتار حرارتی توده گرد و غبار باشد و به همین دلیل، امکان تشخیص گرد و غبار به وسیله شاخص فوق فراهم نشد.

کارایی مناسب الگوریتم‌های مورد بررسی و دقت مناسب نقشه‌های تولیدی، منوط به تعیین دقیق دامنه در هر الگوریتم است. ضمن این که استفاده از آستانه‌های ارائه شده در منابع و گزارش‌های علمی داخلی و خارجی در بیشتر موارد برای مناطق دیگر نتایج دقیقی را به همراه ندارد. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش، تعیین و استفاده از یک آستانه یکسان در کلیه الگوریتم‌ها و نیز رخدادهای مختلف امکان‌پذیر نبوده، مقدار آن همچنان که در جدول ۳ آمده است، برای الگوریتم‌های مختلف و از رخدادهای به رخدادهای دیگر متفاوت است. در تحقیقات دیگر مانند Miri (۲۰۰۳)، Miri (۲۰۱۱) و Shamsipur و Safarrad (۲۰۱۱) نیز بر تجربی بودن آستانه‌های تشخیص گرد و غبار روی تصاویر ماهواره‌ای مودیس و همچنین، اختلاف در مقادیر آستانه‌ها از یک رخداد به رخدادهای دیگر با توجه به شرایط اقلیمی و همچنین ویژگی‌های محیطی هر منطقه تأکید شده است.

استفاده از محصول AOD به خوبی می‌تواند وجود گرد و غبار را در یک منطقه به نمایش بگذارد. ولی به دلیل وجود ماسک ابر در فرایند تولید این محصول، در مناطقی مثل استان هرمزگان که سطوح روشن بیابان دارای بازتاب بسیار زیاد در طیف‌های مرئی و حرارتی هستند، از کارایی لازم برخوردار نبوده، در بخش قابل توجهی از موارد، توده گرد و غبار از روی تصویر حذف می‌شوند. این موضوع در تعدادی از

بررسی محصول AOD منطقه نیز نشان می‌دهد بخش زیادی از استان هرمزگان تحت تأثیر شدت گرد و غبار در این تاریخ بوده به طوری که همچنان که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در حد فاصل شهرهای بندرعباس و قشم تا بندر جاسک که در مسیر حرکت طوفان بوده است، میزان AOD از شدت بالایی برخوردار بوده است. ولی با این حال، همچنان که در رخدادهای دوم نیز اشاره شده، به دلیل وجود ماسک ابر در فرایند تولید محصول AOD و ویژگی‌های کانی‌شناسی و طیفی بیابان‌های منطقه و بازتاب زیاد نور خورشید به وسیله سطوح بیابان‌ها بخش زیادی از مناطق گرد و غباری در محصول AOD حذف شده است.

نتیجه‌گیری

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 در تشخیص توده گرد و غبار و پایش آن برخوردار است (Azizi و همکاران، ۲۰۱۲؛ Azizi و همکاران، ۲۰۱۳؛ Jalali و همکاران، ۲۰۱۷). ولی با توجه به دقت مکانی پایین آن برای تعیین منشأ و کانون‌های گرد و غبار خصوصاً طوفان‌هایی که همراه با شدت و ضخامت بالا همراه باشند، با محدودیت‌هایی همراه است.

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 موارد که گرد و غبار به صورت کم‌ضخامت و نازک باشد، کارایی نداشته، استفاده از الگوریتم‌های آشکارساز که امکان تشخیص بهتر پراکنش گرد و غبار را فراهم می‌آورند، ضروری است.

در بین الگوریتم‌های مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم TDI عملکرد بهتری را به نمایش گذاشت و منابع و محدوده توده گرد و غبار را بهتر از سایر الگوریتم‌های مورد استفاده، تعیین و آشکار کرد. در مطالعات انجام شده از سوی Shamsiri و همکاران

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 جازموربان، 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 برای کاهش روند بیابان‌زایی و نیز اجرای طرح‌های منطقه‌ای و بین‌المللی، اقدامات جدی به عمل آید.

همچنین، توجه به خصوصیات زمین‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه و نیز شناخت و درک صحیح از ویژگی‌های رفتار طیفی ترکیبات شیمیایی ذرات گرد و غبار، به شکل مؤثری می‌تواند نتایج به‌کارگیری از تصاویر ماهواره‌ای و نیز الگوریتم‌های مورد نیاز را تغییر داده و نتایج مطلوب‌تری را در این زمینه به همراه داشته باشد. به همین دلیل، پیشنهاد می‌شود تا مطالعات دیگری در این زمینه با تمرکز بر تفاوت‌های زمین‌شناسی انجام شود.

مطالعاتی که در سایر مناطق کره زمین نیز انجام شده است نیز گزارش شده است. به‌طوری‌که در مطالعه‌ای که به‌وسیله بادوک در دریاچه ایر استرالیا انجام گرفته است، وجود الگوریتم ماسک ابر باعث شده است تا مناطق قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه که تحت تأثیر طوفان گرد و غبار بوده در محصول AOD به‌عنوان ابر شناسایی شده و از تصویر حذف شود. همچنین، وجود این مشکل در مناطق دیگری از سطح زمین به مانند امریکا و افریقای جنوبی نیز به‌وسیله ایشان گزارش شده است.

بررسی‌های انجام گرفته نشان‌دهنده این موضوع است که منطقه مورد مطالعه از پتانسیل بالایی برای وقوع طوفان‌های گرد و غبار در طول سال برخوردار است و کانون‌های گرد و غبار زیادی در منطقه شناسایی شده‌اند. 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 خصوصاً در کشور عربستان شرایط را برای این وضعیت، تشدید کرده است. در مجموع، بخش

منابع مورد استفاده

1. Ackerman, S.A. 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D14): 17069-17079.
2. 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).
3. Azizi, Gh., M. Miri and S.O. Nabavi. 2013. Detection of dust in the Midwest of Iran. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 7: 63-83 (in Persian).
4. Azizi, Q., M. Miri and S.O. Nabavi. 2012. Tracking of dust storm in western part of Iran. *Journal of Geographic Studies at Arid Regions*, 2(7): 12-27.
5. 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.
6. Bahak, B. 2019. Spatial analysis of dust occurrence process in Sistan and Baluchestan Province using statistical methods. *Quarterly of Geography (Regional Planning)*, 8: 97-109 (in Persian).
7. Dargahian, F., S. Lotfinasab Asl, M. Khosroshahi and A. Gohardoust. 2018. Determining the share of internal and external resources of dust in Khuzestan Province. *Iran Nature*, 2: 36-41 (in Persian).
8. Darnenov, A. and I.N. Sokolik. 2005. Identifying the regional thermal-IR radiative signature of mineral dust with MODIS. *Geophysical Research Letters*, 32(16): 32-49.
9. 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.
10. 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): 16-39
11. Hsu, N.C., T. Si-Chee, M.D. King and J.R. Herman. 2004. Aerosol properties over bright reflecting source regions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(3): 557-569.
12. 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).

13. Jebali, A., Z. Zare, M.R. 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).
14. Karimi, K., A. Moridnejad, S. Golian, J. Mohammad Vali 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
15. Kheirandish, Z., J.B. Jamali and B. Rayegani. 2018. Identification of the best algorithm for dust detection using MODIS data. *Natural Environmental Hazards*, 7: 205-219 (in Persian).
16. Liu, Y. and R. Liu. 2011. A thermal index from MODIS data for dust detection. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vancouver, BC, Canada.
17. Middleton, N.J. 2017. Desert dust hazards: a global review. *Aeolian Research*, 24: 53-63.
18. Miller, S.D. 2003. A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS. *Geophysical Research Letters*, 30: 20-36.
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*, 61(21): 89-104 (in Persian).
20. Ogren, J.A. 1995. A systematic approach to in situ observations of aerosol properties. *Aerosol Forcing of Climate: Report of the Dahlem Workshop on Aerosol Forcing of Climate*, Berlin 1994, April 24-29.
21. Qaderi Nasab, F. and M. Rahnama. 2018. Detection of dust storms in Jazmoriyan Drainage Basin using multispectral techniques and MODIS Image. *Physical Geography Research Quarterly*, 50: 545-562 (in Persian).
22. 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.
23. Rashki, A., P.G. Eriksson, C.J.d.W. Rautenbach, D.G. Kaskaoutis, W. Grote and J. Dykstra. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*, 90(2): 227-236.
24. 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).
25. 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): 10-26.
26. Roskovensky, J.K. and K.N. Liou. 2005. Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data. *Geophysical Research Letters*, 32(12): 12-35.
27. 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.
28. Shahsavani, A., M. Yarahmadi, N. Jafarzade Haghighifard, A. Naimabadie, M. Mahmoudian and H. Saki. 2011. Dust storms: environmental and health impacts. *Journal of North Khorasan University of Medical Sciences*, 2(4): 45-56.
29. Shamshiri, S., R. Jafari, S. Soltani and N. Ramazani. 2014. Identification and zonation of dust storms in Kermanshah Province by using MODIS images. *Applied Ecology*, 3(8): 23-35.
30. Shamsipur, A.A. and T. Safar rad. 2011. Satellite and synoptic analysis of dust storm in western half of Iran, case study: July 2009. *Physical Geography Research Quarterly Journal*, 79: 111-126.
31. 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(1): 139-152.
32. 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: 28-46.
33. Tao, M., L. Chen, Z. Wang, J. Wang, H. Che, X. Xu, W. Wang, J. Tao, H. Zhu and C. Hou. 2017. Evaluation of MODIS deep blue aerosol algorithm in desert region of East Asia: ground validation and intercomparison. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 122(19): 10357-10368.
34. 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.
35. 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.
36. Zhao, T.X.P., S. Ackerman and W. Guo. 2010. Dust and smoke detection for multi-channel imagers. *Remote Sensing*, 2(10): 23-47.