

ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های آشکارساز طوفان‌های گردوغبار در مناطق خشک (مطالعه موردی استان یزد)

عاطفه جبالی^۱، محمد زارع^{۲*}، محمدرضا اختصاصی^۳، رضا جعفری^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۲/۲

چکیده

فراوانی و شدت طوفان‌های گردوغبار تحت تأثیر فعالیت‌های مخرب انسانی در سال‌های اخیر روندی افزایشی به خود گرفته و موجب خسارت‌های فراوانی شده است. هدف از پژوهش حاضر، مقایسه عملکرد الگوریتم‌های آشکارکننده گردوغبار در محدوده استان یزد است. به این منظور، شش الگوریتم معرفی شده شامل الگوریتم‌های آکرمن، میلر، روسکونسکی و لیو، TDI، NDDI و THDI بر روی تصاویر سنجنده مودیس بررسی شد. بر اساس نتایج، در رخداد ۱۳۸۹/۱۱/۰۴، الگوریتم‌های TDI و THDI به ترتیب با همبستگی ۰/۶۵ و ۰/۴۹ نسبت به عمق اپتیکی ذرات غبار و معنی‌داری در سطح ۹۹٪ عملکرد بهتری را در آشکارسازی گردوغبار داشت. در حالی که رخداد ۱۳۹۳/۱۱/۲۱، الگوریتم روسکونسکی و لیو را با همبستگی ۰/۶۸ و ۰/۷۶ به ترتیب نسبت به عمق اپتیکی ذرات غبار و قدرت دید افق در سطح معنی‌دار ۹۹٪ و ۹۵٪ به عنوان الگوریتمی مناسب در آشکارسازی گردوغبار معرفی کرد. در رخدادهای ۱۳۹۴/۰۴/۲۹ و ۱۳۹۴/۰۱/۲۴ به ترتیب TDI و THDI با همبستگی‌های ۰/۸۱ و ۰/۷۱ نسبت به نقشه‌های عمق اپتیکی ذرات غبار و قدرت دید افق در سطح ۹۵٪ و ۹۹٪ معنی‌دار بود. بر اساس نتایج، هیچ‌یک از الگوریتم‌های مورد استفاده قادر به آشکارسازی تمامی رخداد‌های گردوغبار نخواهد بود. با وجود این، به کارگیری باندهای حرارتی و یا تلفیقی از باندهای حرارتی و انعکاسی در الگوریتم‌ها، کارایی بیشتری را در آشکارسازی گردوغبار نشان می‌دهد. به منظور آشکارسازی بهتر گردوغبار هر منطقه، استفاده از حدود آستانه‌ای متناسب با ویژگی‌های طیفی آن منطقه و حتی هر رخداد، در زمان به کارگیری الگوریتم‌های آشکارساز مورد نیاز است.

واژه‌های کلیدی: باندهای انعکاسی، باندهای حرارتی، سنجنش از دور، عمق اپتیکی ذرات غبار، قدرت دید افق، یزد.

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۲. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، نویسنده مسئول؛ mzernani@yazd.ac.ir

۳. استاد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد

۴. دانشیار، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

مقدمه

(کوآن^۸ و همکاران، ۲۰۰۲).

کاهش قدرت دید، ایجاد آسیب‌های اکولوژیکی و اختلال در سیستم حمل‌ونقل‌های هوایی، ریلی، جاده‌ای و انتقال نیرو از دیگر آثار ناگوار طوفان‌ها در مناطق متأثر از گردوغبار است (اخلاق^۹ و همکاران، ۲۰۱۲؛ العسکری^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین آشکارسازی، تشخیص و مسیریابی طوفان‌های گردوغبار در کوتاه‌ترین زمان همواره نیازی شناخته‌شده در بین دانشمندان و سازمان‌های پایش اقلیمی است (جنوگانی و همکاران، ۲۰۰۹). بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و راداری در دو دهه اخیر، در امر شناسایی و تعیین مسیر طوفان‌های گردوغبار، مورد استقبال چشمگیری قرار گرفته است. این فناوری تشخیص و پیش‌بینی رخداد طوفان‌های خیلی شدید را با صرف هزینه و زمان کمتر، در سطح وسیع امکان‌پذیر ساخته است (وانگ^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۵؛ بداک^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۹). در این راستا، تصاویر چندطیفی ماهواره‌هایی همچون^{۱۳} AVHRR، NOAA^{۱۴}، GOES^{۱۵}، MODIS^{۱۶} و سایر سنجنده‌ها، امکانات جدیدی را برای تشخیص و پایش رخداد‌های گردوغبار اتمسفری و ردیابی خطرات محیط‌زیستی بالقوه آن به‌وجود آورده‌اند (جنوگانی و همکاران، ۲۰۰۹).

خازنی و لی^{۱۷} (۱۹۹۲) و جنوگانی و همکاران (۲۰۰۹) با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و بهره‌گیری از تجزیه و تحلیل‌های باندی شامل محاسبات ریاضی، اختلاف دمای تابشی یا روش پنجره مجزای^{۱۸} مادون قرمز، آستانه‌گیری تک‌باندی و ترکیب چندباندی، اقدام به آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار کردند. به‌نظر محققان فوق، آشکارسازی طوفان‌ها و مسیر حرکت آن‌ها در سیستم‌های هشدار به‌موقع

گردوغبار رخدادی طبیعی در سراسر جهان به‌ویژه در عرض‌های جنب حاره‌ای است که طبق گزارش سازمان جهانی هواشناسی، فراوانی وقوع آن از سال ۱۹۹۶ تاکنون، رو به افزایش است (فرمن^۱، ۲۰۰۳؛ گیوه‌چی و همکاران، ۲۰۱۳). با اینکه افزایش فعالیت گردوغبار تا حدودی وابسته به تغییر اقلیم است، بیابان‌زایی ناشی از تأثیر فعالیت‌های انسانی و طبیعی، فرسایش بادی، سدهای احداث‌شده روی رودخانه‌ها، جنگ‌های داخلی، خشک‌شدن تالاب‌ها و برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی از عوامل مهم افزایش رخداد‌های گردوغبار هستند که نباید از آن‌ها غافل شد (احمدی بیرگانی و همکاران، ۲۰۱۷؛ راشکی و همکاران، ۲۰۱۳؛ گیوه‌چی و همکاران، ۲۰۱۳). طوفان‌های ماسه‌ای و گردوغبار^۲ از جمله مخاطراتی هستند که خسارت آن‌ها جنبه‌های مختلف فیزیکی، محیط‌زیستی و اقتصادی را در برمی‌گیرد و تأثیر بسیار زیادی روی بهداشت و سلامت ساکنان منطقه دارد (بوولیان و توماس^۳، ۲۰۱۲؛ جنوگانی^۴ و همکاران، ۲۰۰۹). افزایش آلودگی هوا و در پی آن شیوع بیماری‌های چشمی و تنفسی از جمله پیامدهایی هستند که در مناطق در معرض طوفان‌های گردوغبار به‌وفور دیده می‌شود (الخطیب^۵ و همکاران، ۲۰۱۲؛ بریکو^۶ و همکاران، ۱۹۹۷). به‌طوری که رابطه معنی‌داری بین قرارگیری در معرض غلظت بالای ذرات غبار موجود در هوا و افزایش میزان مرگ‌ومیر، بیماری‌های قلبی - عروقی، بیماری‌های تنفسی و سرطان ریه گزارش شده است (تیان و یائو^۷، ۲۰۱۱). هر گرم از گردوغبار، شامل یک میلیون سلول باکتری اثرگذار و خطرناک بر سیستم تنفسی انسان است و در بعضی موارد، همه‌گیری مرگ‌باری را در سطح جهانی به‌همراه دارد

8. Kwon

9. Akhlaq

10. El-Askary

11. Wong

12. Baddock

13. Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

14. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)

15. Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)

16. MODERate resolution Imaging Spector radiometer (MODIS)

17. Khazenie & Lee

18. Split-window

1. Furman

2. Sand and Dust Storm (SDS)

3. Bu-Olayan & Thomas

4. Janugani

5. Alkhatib

6. Berico

7. Tian & Yao

ترا^۸ و آکوا^۹ در منطقه صحارا، کارآمدی روش شبکه عصبی را در تشخیص و آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار در این منطقه نشان داده است. عطایی و همکاران (۲۰۱۵) به شناسایی گردوغبار با استفاده از روش درخت تصمیم‌گیری در تصاویر سنجنده مودیس، در استان‌های ایلام و خوزستان پرداختند. شاخص‌های NDDI، اختلاف دمای درخشندگی و لگاریتم باند یک از جمله شاخص‌های مورد استفاده در این روش است. نتایج حاکی از افزایش دقت آشکارسازی گردوغبار با استفاده از روش بهبود یافته است. رایگانی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER و OLI لندست ۸ و با به‌کارگیری روش مدل‌سازی عددی پیش‌بینی جریان هوا و اطلاعات زمینی گردوغبار، رویدادهای محلی گردوغبار محدوده استان البرز و غلظت گردوغبار را شبیه‌سازی کردند. نتایج پژوهش در این زمینه، نشان می‌دهد که تلفیق روش‌های مذکور، نقش مؤثری را در تعیین کانون‌های بالفعل تولید گردوغبار دارد.

قابلیت بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی در شناسایی توده گردوغبار و نیز منشأ آن، متأثر از عوامل متعددی مانند خصوصیات انتقال تابشی ساطع‌شده از مواد تشکیل‌دهنده گردوغبار، خصوصیات تابشی سطح زمین و یا اقیانوسی که توده گردوغبار از آن عبور می‌کند، اندازه و تراکم توده گردوغبار، همزمانی عبور ماهواره با رخداد گردوغبار، حضور و یا عدم حضور ابر، مسیر توده عمودی و افقی گردوغبار، خصوصیات سنجنده و مدل انتقال تابشی به‌کارگرفته‌شده برای تشخیص گردوغبار است (بداک و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین، مقایسه مستقیم داده‌های زمینی و دورسنجی برای تعیین منشأ گردوغبار با برخی از شرایط داده‌های دورسنجی مانند عدم انطباق زمان عبور ماهواره با رخداد گردوغبار، حضور ابر و یا قدرت تفکیک پایین توده گردوغبار و سطح زمین یا اقیانوس با دشواری همراه است (بولارد^{۱۰} و

طوفان و ارزیابی خطر در بخش‌های حمل‌ونقل، سیستم هوایی، امنیت محیط زیستی و سلامت عمومی دارای اهمیت زیادی است و با بهره‌گیری از روش‌های مذکور می‌توان به اهداف مورد نظر دست یافت. ژائو^۱ و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی‌های خود روی آشکارسازی گردوغبار به این نتیجه رسیدند که رایج‌ترین شیوه شناسایی گردوغبار بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از تکنیک جذب معکوس^۲ است که از طریق اختلاف دمای درخشندگی^۳ حاصل از دو یا تعداد بیشتری باند با طول‌موج‌های مختلف حاصل می‌شود. اختلاف دمای درخشندگی موجود در محدوده ۱۱ تا ۱۲ میکرومتری، به دلیل اینکه ذرات گردوغبار تابش مادون قرمز بیشتری را در طول موج‌های کوتاه‌تر جذب می‌کند، می‌تواند در تشخیص ذرات گردوغبار از بخش ابر به کار رود. این در حالی است که ذرات یخ و آب، جذب بیشتری را در طول‌موج‌های بالاتر نشان می‌دهند. با وجود این، سن چائو^۴ و همکاران (۲۰۰۹) شناسایی طوفان‌های گردوغبار را به دلیل دارا بودن ویژگی‌های مشترک طیفی با ابرها در برخی از باندهای تصاویر ماهواره‌ای دشوار می‌دانند. الخطیب و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی آشکارسازی گردوغبار جنوب غرب آمریکا، روش‌های الگوریتم قطعه‌بندی^۵، تفریق باندهای ۴ از ۵، آستانه‌گیری و تجزیه و تحلیل ریاضی باندهای تصاویر ماهواره‌ای NOAA-AVHRR ارزیابی و بخش گردوغبار و منشأ طوفان را بر روی تصاویر مشخص کرده‌اند. الاستا^۶ و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی و تشخیص طوفان‌های گردوغبار، شاخص‌های اختلاف دمای درخشندگی و اختلاف نرمال گردوغبار^۷، آستانه‌گیری، تولید تصاویر باینری و روش شبکه عصبی را در تشخیص هر دو نوع طوفان روزانه و شبانه به کار برده‌اند. بهره‌گیری از تکنیک‌های مذکور روی تصاویر سنجنده مودیس دو ماهواره

1. Zhao
2. Reverse Absorption Technique (RAT)
3. Brightness Temperature Difference (BTD)
4. San-Chao
5. Segmentation
6. El-ossta
7. Normalized Difference Dust Index (NDDI)

8. Terra
9. Aqua
10. Bullard

میلر، روسکونسکی و لیو، شاخص گردوغبار مادون قرمز حرارتی^۸، شاخص یکپارچه^۹ مادون قرمز حرارتی^۹، شاخص گردوغبار تفاضل نرمال شده، نقاط ضعف و قوت این شاخص ها را شناسایی و میزان موفقیت هر شاخص را در شناسایی رخدادهای گردوغبار در محدوده استان یزد مشخص کند.

مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، محدوده استان یزد، بین طول جغرافیایی شرقی ۴۸° ۵۲' تا ۴۲° ۵۶' و عرض شمالی ۳۳° ۲۹' تا ۲۴° ۳۳' است (شکل ۱). بر اساس طبقه بندی اقلیمی دومارتن اصلاح شده، اقلیم محدوده مورد مطالعه، فراه خشک تا خشک سرد است. این استان یکی از شاخص ترین استان های درگیر فرسایش بادی و طوفان های گردوغبار، به ویژه در سال های اخیر بوده است. در این خصوص، وقوع خشکسالی های درازمدت، به همراه تغییر کاربری و پوشش اراضی و همچنین افزایش فعالیت های صنعتی و معدنی، نقش تأثیرگذاری در افزایش رخدادهای گردوغبار استان داشته است. بررسی ها نشان می دهد که پراکنش زمانی بادهای فرساینده به طور عمده در فصل های بهار و تابستان است و در فصل پاییز به کمترین میزان می رسد. میانگین درصد بادهای فرساینده و یا بادهایی که قادر به تولید گردوغبار هستند، در سطح استان بین ۶/۴ درصد در شهرستان یزد و ۲۳/۶ درصد در شهرستان هرات متغیر است؛ که سالانه، به طور میانگین ۴۴ روز طوفانی را در سطح استان به همراه دارد. فراوانی این بادهای فرساینده و طوفان زا، با حرکت و جلبه جایی حجم عظیمی از گرد و خاک، به ویژه از سمت جنوب غرب و غرب، مهم ترین نقش را در وقوع فرسایش و رخدادهای گردوغبار دارد (صارمی نائینی، ۲۰۱۷).

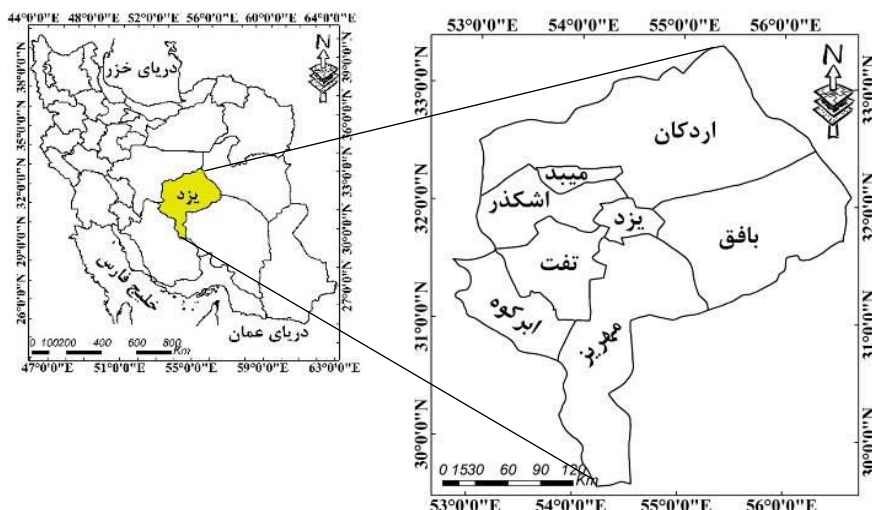
همکاران، ۲۰۰۸؛ گسو و استاین^۱، ۲۰۰۷). سنجنده مودیس با توجه به دارا بودن خصوصیات مکانی و زمانی مناسب، یکی از گسترده ترین و موفقیت آمیزترین سنجنده ها در آشکارسازی و منشأیابی گردوغبار است (بداک و همکاران، ۲۰۰۹). در ارتباط با تشخیص و تفکیک گردوغبار، شاخص های متعددی با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس معرفی شده است (آکرمن^۲، ۱۹۹۷؛ هائو و کیو^۳، ۲۰۰۷؛ لیو و لیو^۴، ۲۰۱۱؛ میلر^۵، ۲۰۰۳؛ کیو^۶ و همکاران، ۲۰۰۶؛ روسکونسکی و لیو^۷، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵).

چاله های مرکزی ایران از جمله مناطقی هستند که بیشترین رخدادهای گردوغبار را در سال تجربه می کنند. بخش هایی از این مناطق مانند استان یزد، بیش از ۲۵ روز از سال با رخدادهای گردوغبار روبه روست (رفیعی مجومرد و همکاران، ۲۰۱۷). این استان با دارا بودن شرایط اقلیمی خشک و فراه خشک، خشکسالی حاکم بر آن، فقدان پوشش گیاهی با تراکم مناسب و حضور بادهای شدید و فرساینده در آن، هرساله طوفان های گردوغبار متعددی را با شدت های مختلف تجربه می کند. این رخدادهای خسارت های چشمگیری را بر بخش های کشاورزی، صنعتی، اقتصادی و منابع انسانی و زیستی ساکنان منطقه، به واسطه تخریب اراضی، تأسیسات و جاده ها و نیز تأثیر بر سلامت افراد وارد می سازد و تاکنون هزینه های زیادی برای مهار این رویداد و اجرای طرح های مرتبط با آن صرف شده است (صارمی نائینی، ۲۰۱۷). از آنجایی که تشخیص مناطق متأثر از طوفان و شناسایی گستره آن، نقش مؤثری در تصمیم گیری و برنامه ریزی برای کاهش خسارت های ناشی از رخدادهای گردوغبار و انجام اقدامات مدیریتی مناسب در این زمینه خواهد داشت، این پژوهش تلاش دارد با مقایسه شش الگوریتم مرسوم برای آشکارسازی طوفان های گردوغبار، شامل شاخص آکرمن،

1. Gasso & Stein
2. Ackerman
3. Hao & Qu
4. Liu & Liu
5. Miller
6. Qu
7. Roskovensky & Liou

8. Thermal-Infrared Dust Index (TDI)

9. Thermal Infrared Integrated Dust Index (TIIDI)



شکل (۱): موقعیت منطقه مطالعاتی (محدوده استان یزد)

Figure (1): Location of study area (Yazd province)

از رخدادها به دلیل عدم همزمانی عبور ماهواره با وقوع طوفان قابل دستیابی نیستند، ترکیب ۳۶ باند طیفی مرئی و حرارتی این سنجنده در محدوده طول موج‌های ۰/۴۱ تا ۱۴/۴ میکرومتر و با قدرت‌های تفکیک مکانی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ کیلومتر و تصویربرداری روزانه از سطح زمین، این سنجنده را برای بررسی رخداد‌های گردوغبار، مناسب ساخته است. این سنجنده که در سیستم مشاهدات زمینی ناسا، بر روی دو ماهواره ترا و آکوا قرار گرفته است، به ترتیب از ماه‌های دسامبر ۱۹۹۹ و می ۲۰۰۲ فعالیت خود را آغاز کرده و داده‌های مربوط به آن از وبگاه <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov> به‌طور رایگان قابل دسترسی و استفاده است.

داده‌های مورد استفاده

طوفان‌های گردوغبار و ماسه‌ای همزمان با وزش بادهای قوی و آشفته و حمل ذرات ریزدانه سطوح خشک بیابانی به وقوع پیوسته و قدرت دید را به کمتر از یک کیلومتر کاهش می‌دهند (میدلتون، ۲۰۱۷). در پژوهش حاضر، با بهره‌گیری از اطلاعات سرعت باد و قدرت دید افق سازمان هواشناسی کشور، رخداد‌های گردوغبار، با شرایط سرعت باد بیش از ۱۰ متر بر ثانیه و قدرت دید افق کمتر از ۱۰۰۰ متر در دوره زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵ شناسایی شدند. در ادامه، به منظور مقایسه شاخص‌های مختلف گردوغبار و آشکارسازی مناطق متأثر از طوفان، تصاویر سنجنده مودیس چهار رخداد گردوغبار انتخاب شد (جدول ۱). به‌رغم اینکه تصاویر برخی

جدول (۱): مشخصات روزهای طوفانی و تصاویر سنجنده مودیس منطقه مطالعاتی

Table (1): Properties of dust storm days and MODIS sensor images in the study area

نام تصویر	نوع ماهواره	دید افق (m)	سرعت باد (m/s)	تاریخ رخداد (شمسی)	تاریخ رخداد (میلادی)
MYD021KM.A2011034.0925.006.2012071042302	آکوا	۲۰۰	۱۷	۱۳۸۹/۱۱/۰۴	۲۰۱۱/۰۲/۰۳
MYD021KM.A2015041.0950.006.2015043202036	آکوا	۵۰۰	۱۰	۱۳۹۳/۱۱/۲۱	۲۰۱۵/۰۲/۱۰
MYD021KM.A2015103.1000.006.2015104153324	آکوا	۱۰۰	۱۴	۱۳۹۴/۰۱/۲۴	۲۰۱۵/۰۴/۱۳
MOD021KM.A2015201.0635.061.2017321161424	ترا	۱۰۰۰	۱۰	۱۳۹۴/۰۴/۲۹	۲۰۱۵/۰۷/۲۰

سطوح بیابانی روی تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. به‌طوری‌که تمایز سطح زمین و توده گردوغبار را تا حدودی دشوار می‌سازد. همچنین تفکیک گردوغبار از ابر، نمک و هوای

روش پژوهش

برداشت مواد معدنی از سطح اراضی و انتقال آن‌ها توسط طوفان‌های گردوغبار، سبب تشابه انعکاس طیفی گردوغبار و

درخشندگی طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر و نسبت انعکاس طول موج‌های مرئی ۱/۳۸ و ۰/۶۵ میکرومتر است (جدول ۲). مقادیر مربوط به ذرات گردوغبار در خروجی نهایی بدون بعد و بزرگ‌تر از یک بوده و ابرها و ذرات غبار غیرمعدنی مقادیر کوچک‌تر و یا مساوی با یک را تشکیل می‌دهند (روسکونسکی و لیو، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵).

۴. الگوریتم گردوغبار مادون قرمز حرارتی

در این شاخص، از باندهای حرارتی ۲۰، ۳۰، ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس برای تشخیص و پایش گردوغبار استفاده می‌شود (جدول ۲). با توجه به اینکه تمامی باندهای به کار گرفته شده در این شاخص، باندهای حرارتی هستند، این شاخص قابلیت تشخیص رخداد گردوغبار را در شب نیز دارد (هائو و کیو، ۲۰۰۷).

۵. الگوریتم یکپارچه مادون قرمز حرارتی

شاخص یکپارچه مادون قرمز حرارتی مودیس، بر اساس اختلاف دمای درخشندگی چهار باند مادون قرمز حرارتی با طول موج‌های ۳/۷، ۸/۶، ۱۱ و ۱۲ میکرومتر به دست می‌آید (جدول ۲). در این شاخص، اختلاف باندهای ۱۲ و ۱۱ میکرومتری برای شناسایی ابر و اختلاف باندهای ۸/۶ و ۱۱ میکرومتری برای تفکیک گردوغبار از سطوح ماسه به کار برده می‌شود. همچنین اختلاف باندهای ۳/۷ و ۱۱ میکرومتری به منظور تمایز سطح با پوشش گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد (لیو و لیو، ۲۰۱۱).

۶. الگوریتم گردوغبار تفاضل نرمال شده

شاخص گردوغبار تفاضل نرمال شده، بر اساس ویژگی‌های طیفی انعکاسی طوفان‌های گردوغبار و ماسه‌ای طیف‌های ۲/۱۳ و ۰/۴۶۹ میکرومتر سنجنده مودیس معرفی شد (جدول ۲). این شاخص از نسبت اختلاف باندهای ۷ و ۳ سنجنده مودیس بر مجموع این دو باند حاصل می‌شود و پیکسل‌های دارای مقادیر بیشتر از صفر، نشان‌دهنده گردوغبار روی تصویر هستند (کیو و همکاران، ۲۰۰۶).

آلوده ناشی از فعالیت‌های انسانی نیز اغلب مشکل است (بدادک و همکاران، ۲۰۰۹). استفاده از تغییرات دمای درخشندگی عوارض موجود روی تصاویر ماهواره‌ای، یکی از راهکارهای مؤثر در تشخیص و تمایز توده‌های گردوغبار از سطح زمین است، به طوری که پژوهشگران این عرصه، با در نظرگیری این متغیر، اقدام به ارائه شاخص‌ها و الگوریتم‌های آشکارسازی گردوغبار کرده‌اند. در پژوهش حاضر، به آشکارسازی توده‌های گردوغبار حاکم بر محدوده خشک و بیابانی استان یزد با بهره‌گیری از شش الگوریتم آشکارساز گردوغبار پرکاربرد به شرح ذیل و مقایسه آن‌ها پرداخته شده است.

۱. الگوریتم آکرمن

این شاخص از اختلاف دمای درخشندگی طیف‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر، به ترتیب معادل با باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده مودیس حاصل می‌شود (جدول ۲) و پیکسل‌های با دمای کمتر از صفر درجه کلوین به عنوان مناطق حاوی ذرات گردوغبار معرفی می‌شود (آکرمن، ۱۹۹۷). حد آستانه کمتر از 1°K برای مناطق دارای گردوغبار و پیکسل‌های با دمای بیش از 1°K به عنوان مناطق بدون گردوغبار معرفی می‌گردد (آکرمن و همکاران، ۲۰۰۲).

۲. الگوریتم میلر

الگوریتم میلر بر پایه تفاوت ویژگی‌های بازتابش ذرات گردوغبار و ابر و اختلاف دمای درخشندگی معکوس آن‌ها بنا نهاده شده است. خروجی گردوغبار در این الگوریتم مقادیر بدون بعد از ۱/۳ تا ۲/۷ است (جدول ۲). همچنین برای داشتن دید بصری گردوغبار در این روش، از ترکیب رنگی باندهای ۴، ۳ و تصویر حاصل از الگوریتم میلر به ترتیب بر روی باندهای سبز، آبی و قرمز استفاده می‌شود (میلر، ۲۰۰۳).

۳. الگوریتم روسکونسکی و لیو

تمرکز روش روسکونسکی و لیو (۲۰۰۵) بر پایه اختلاف ذرات غبار از ابرهای سیروسی با ترکیب اختلاف دمای

جدول (۲): شاخص‌های آشکارساز گردوغبار در منطقه مطالعاتی
Table (2): Indices of dust storm detector in the study area

حد آستانه	رابطه	عنوان الگوریتم
Dust<0	D = BT31-BT32 BT31= ۱۱ میکرومتر در طول موج ۳۱ سنجنده مودیس در طول موج ۱۱ میکرومتر BT32= ۱۲ میکرومتر در طول موج ۳۲ سنجنده مودیس در طول موج ۱۲ میکرومتر	Ackerman (BTD) (آکرمن، ۱۹۹۷)
1.3<Dust<2.7	D = [(BT32 - BT31) + (2R1 - R3 - R4 - BT31) - (R26) + (1-BT31)] R1, R3, R4, R26 = ۲۶ و ۴، ۳، ۱ در سنجنده مودیس BT31= ۱۱ میکرومتر در طول موج ۳۱ سنجنده مودیس در طول موج ۱۱ میکرومتر BT32= ۱۲ میکرومتر در طول موج ۳۲ سنجنده مودیس در طول موج ۱۲ میکرومتر	Miller (میلر، ۲۰۰۳)
Dust>1	D = exp {-[rr * a + (BTD(3132) - b)]} rr = نسبت انعکاسی باندهای ۲۶ و ۱ سنجنده مودیس با طول موج ۱/۳۸ و ۰/۶۵ میکرومتر BTD3132 = اختلاف درجه حرارت روشنایی باند ۳۱ از ۳۲ سنجنده مودیس a = rr فاکتور مقیاس b = مقدار انحراف مربوط به اختلاف درجه حرارت روشنایی	Roskovensky & Liou (روسکونسکی و لیو، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵)
Dust>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 (هائو و کیو، ۲۰۰۷)
Dust>0	TIIDI= (BTD ₁₂₋₁₁)*exp((BTD _{8,6-11})/a)*(BTD _{3,7-11}) BTD ₁₂₋₁₁ = ۱۱ میکرومتر و ۱۲ میکرومتر BTD _{8,6-11} = ۸/۶ و ۱۱ میکرومتر BTD _{3,7-11} = ۳/۷ و ۱۱ میکرومتر a=10 اگر BTD _{8,6-11} مثبت باشد و a=5 اگر BTD _{8,6-11} منفی باشد.	TIIDI (لیو و لیو، ۲۰۱۱)
Dust>0	NDDI = (ρ _{2.13 μm} - ρ _{0.469 μm})/(ρ _{2.13 μm} + ρ _{0.469 μm}) ρ _{2.13 μm} = ۲/۱۳ میکرومتر باند ۷ سنجنده مودیس با طول موج ۲/۱۳ ρ _{0.469 μm} = ۰/۴۶۹ میکرومتر باند ۳ سنجنده مودیس با طول موج ۰/۴۶۹	NDDI (کیو همکاران، ۲۰۰۶)

ماهواره‌های ترا و آکوا (تائو^۵ و همکاران، ۲۰۱۷؛ سایر^۶ و همکاران، ۲۰۱۳) برای تعیین صحت نقشه‌های حاصل از الگوریتم‌های مختلف گردوغبار منطقه مطالعاتی استفاده شد. همچنین با بهره‌گیری داده‌های دید افقی در ۱۱ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور واقع در محدوده مطالعاتی، و بررسی ارتباط آن با نقشه‌های حاصل از الگوریتم‌های مذکور، صحت نقشه‌های تولیدی ارزیابی شد.

نتایج و بحث

با اجرای الگوریتم‌های مختلف آشکارسازی گردوغبار روی تصاویر سنجنده مودیس و با بهره‌گیری از آستانه‌های موجود در منابع و نیز تعیین آستانه‌های مناسب از طریق هیستوگرام‌های

تعیین صحت نقشه‌های حاصل از الگوریتم‌های گردوغبار

ضخامت نوری و یا عمق اپتیکی^۱ کمیته بدون بعد و بیانگر میزان جذب و پراکنش ذرات گردوغبار در مسیر عبوری نور است (ونگ و کریستوفر^۲، ۲۰۰۳). با توجه به اینکه اندازه، تعداد و نوع این ذرات روی پرتوهای نوری جو تأثیرگذار است و همچنین داده‌های عمق اپتیکی همبستگی مناسبی را با ذرات گردوغبار حاصل از سنجنده مودیس نشان می‌دهند (سین^۳ و همکاران، ۲۰۱۸؛ سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۶)، از محصول سطح دو سنجنده مودیس^۴، با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ × ۱۰ کیلومتر و بر اساس الگوریتم Deep Blue حاصل از

1. Aerosol Optical Depth (AOD)
2. Wang & Christopher
3. Singh
4. MODIS L2 aerosol (MYD04)

5. Tao
6. Sayer

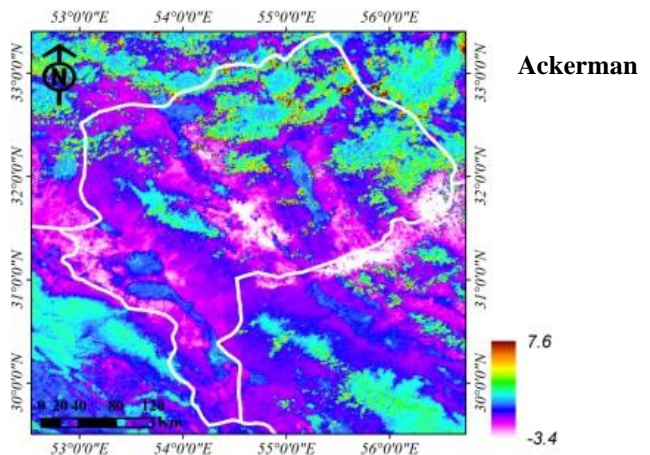
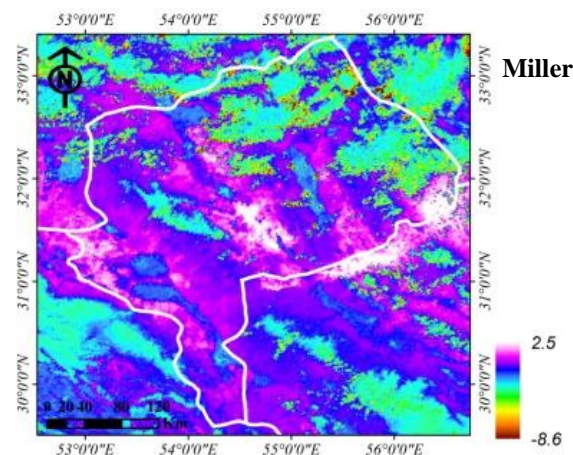
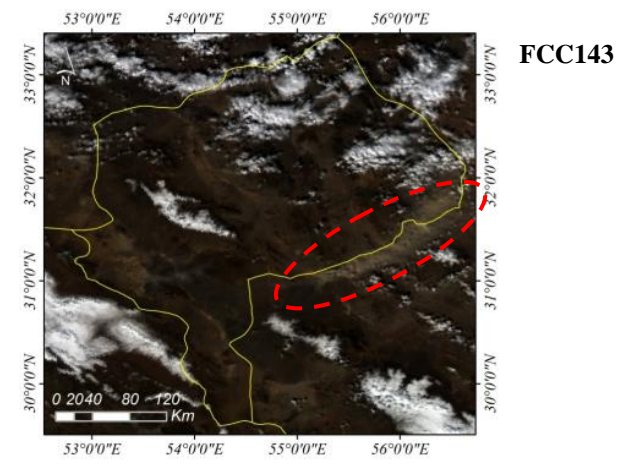
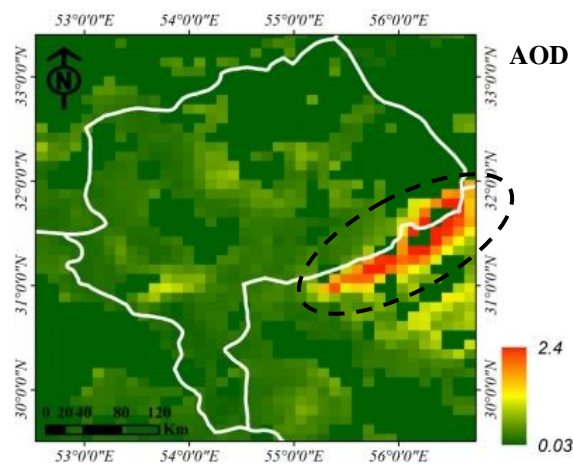
بخش‌هایی از مناطق ابری نیز به‌عنوان گردوغبار معرفی شد. با وجود این، نقشه تولیدشده از شاخص مذکور ارتباط بسیار مناسبی با نقشه AOD محدوده مورد بررسی داشته و دقت نقشه تولیدی در سطح ۹۹٪ معنی‌دار است (جدول ۳).

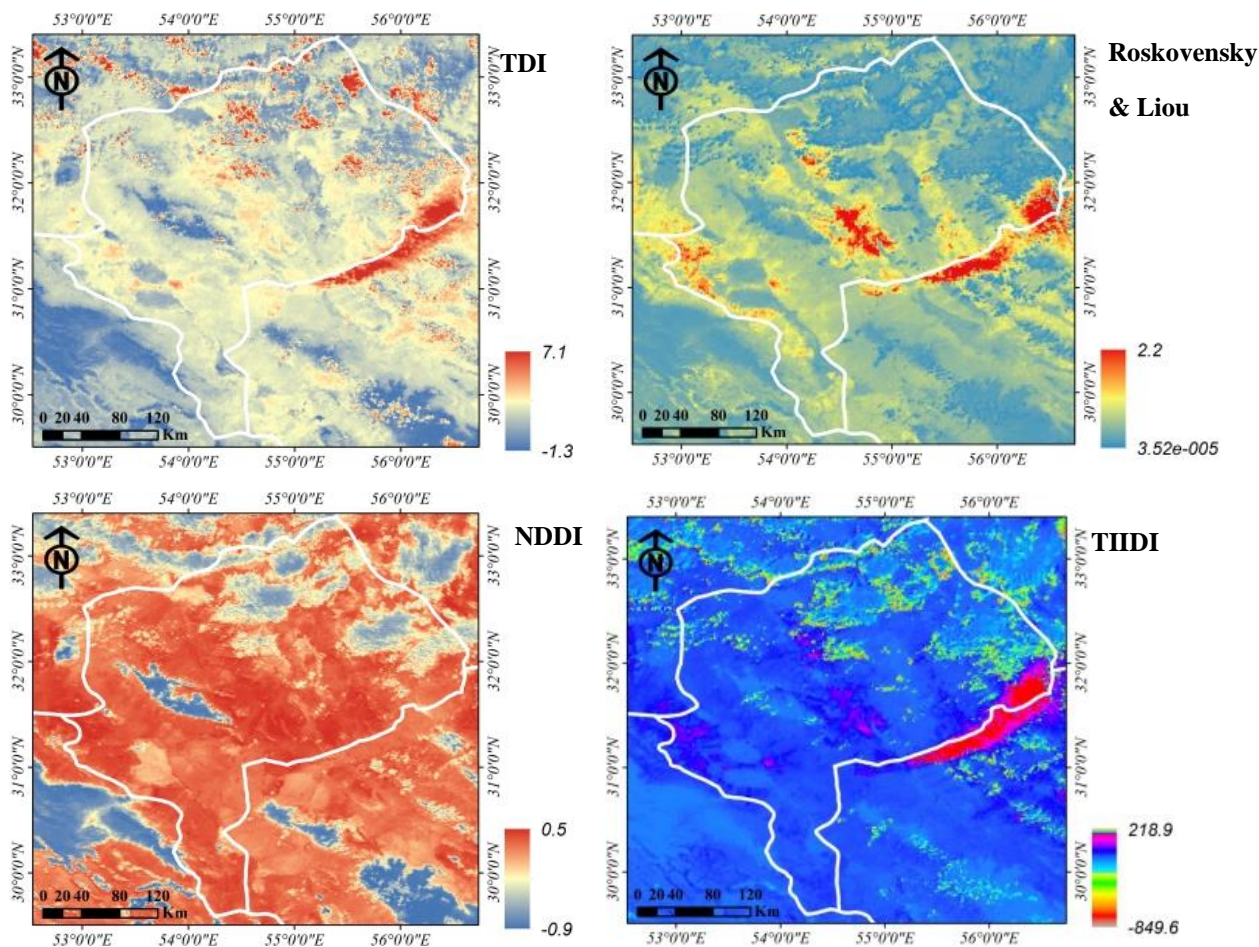
از بین شاخص‌های به‌کار گرفته‌شده در آشکارسازی توده گردوغبار رخداد ۲۰۱۱/۰۲/۰۳، الگوریتم THIIDI، به‌رغم ضریب همبستگی کمتر نسبت به الگوریتم TDI، توده گردوغبار را به‌طور کامل از سایر بخش‌ها تفکیک کرده، در سطح ۹۹٪ نیز معنی‌دار است (جدول ۳). در این تصویر، مناطق با ماهیت پوشش ابری که به‌عنوان گردوغبار معرفی شده بود، نسبت به تصاویر سایر الگوریتم‌ها کمتر بود (شکل ۲). ارتباط تمامی نقشه‌های تولیدی به‌جز نقشه حاصل از شاخص NDDI در این رخداد با پراکنش ذرات غبار در تصویر AOD در سطح ۹۹٪ معنی‌دار بود. در حالی‌که از نظر ارتباط نقشه‌های تولیدی مذکور با قدرت دید افق، تنها در نقشه حاصل از الگوریتم THIIDI ارتباط معنی‌دار وجود داشت (جدول ۴). بنابراین، شاخص THIIDI، بهترین الگوریتم شناسایی گردوغبار در رخداد اول مورد مطالعه است.

تصاویر حاصل از الگوریتم‌های مذکور (جدول ۵)، توده‌های گردوغبار از سایر عوارض موجود روی تصویر تفکیک و نتایج زیر برای چهار رخداد گردوغبار حاصل شد.

رخداد اول (گردوغبار ۲۰۱۱/۰۲/۰۳)

بر اساس اطلاعات سازمان هواشناسی کشور، در تاریخ ۲۰۱۱/۰۲/۰۳، طوفان گردوغبار در محدوده شرقی منطقه مطالعاتی به وقوع پیوست. منشأ این رخداد، در تصویر سنجنده مودیس با ترکیب رنگی ۱۴۳ به‌طور کامل مشخص و مسیر حرکت آن به سمت شمال شرق بوده است (شکل ۲). نتایج حاصل از مقایسه شاخص‌های مختلف نشان داد که با وجود اینکه شاخص‌های آکرمن و میلر توده گردوغبار را به‌خوبی تفکیک کرده، به همراه این توده، بخشی‌هایی از پوشش ابری واقع در مرکز و غرب منطقه نیز تفکیک شده است (شکل ۲). در شاخص‌های روسکونسکی و لیو و NDDI، نیز توده گردوغبار به‌طور کامل از سایر بخش‌ها جدا نشد. در شاخص TDI، به‌رغم جداسازی بسیار مناسب توده گردوغبار،





شکل (۲): آشکارسازی گردوغبار رخداد ۲۰۱۱/۰۲/۰۳ (ترکیب رنگی ۱۴۳) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های Ackerman و Roskovensky Miller و Liou، TDI، TIIDI، NDDI و تعیین صحت با تصویر عمق نوری ذرات غبار (AOD) در محدوده استان یزد
 Figure (2): Detection of dust storm event in 03/02/2011 (FCC 143) using the algorithms of Ackerman, Miller, Roskovensky and Liou, TDI, TIIDI, NDDI and accuracy assessment using AOD image in Yazd province region

رخداد دوم (گردوغبار ۲۰۱۵/۰۲/۱۰)

شناسایی شد، بخش‌هایی از پوشش ابری و اراضی منطقه نیز در محدوده طوفان گردوغبار قرار داشت. همچنین شاخص TIIDI بخشی از توده گردوغبار را که دارای غلظت بالایی بود، شناسایی و از سایر مناطق تفکیک نمود (شکل ۳). بررسی صحت نقشه‌های تولیدی از نظر ارتباط نقشه‌های تولیدی با تصویر حاصل از عمق اپتیکی ذرات غبار، نشان داد که الگوریتم‌های آکرمن، میلر، TIIDI و NDDI در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار هستند (جدول ۳). نقشه‌های حاصل از الگوریتم‌های TDI و روسکونسکی و لیو در سطح ۹۹٪ معنی‌دار و دقت قابل قبولی را در ارائه نقشه طوفان‌های گردوغبار در رخداد مذکور نشان داد (جدول ۳). از نظر ارتباط نقشه‌های تولیدی مذکور با قدرت دید افق منطقه مطالعاتی، الگوریتم‌های آکرمن، میلر، روسکونسکی و لیو و

دومین رخداد گردوغبار در جنوب غربی منطقه مطالعاتی و با منشأ خارجی به وقوع پیوست (شکل ۳). توده گردوغبار حاصل از این طوفان به صورت واضح روی تصویر سنجنده مودیس با ترکیب باندهای ۱۴۳ مشاهده شد (شکل ۳). نتایج به دست آمده از شاخص‌های مورد بررسی در این پژوهش، نشان داد که شاخص‌های آکرمن و میلر به خوبی رخداد گردوغبار محدوده مطالعاتی را شناسایی و تفکیک کرده است. جداسازی پوشش ابری منطقه نیز به طور کامل توسط این دو شاخص انجام شده است. در این رخداد، شاخص روسکونسکی و لیو توانست گردوغبار منطقه را به طور کامل و با دقت مناسب، از سایر عوارض موجود در تصویر تفکیک نماید. به رغم اینکه در TDI و NDDI توده گردوغبار

TIIDI در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی دار بود و الگوریتم‌های الگوریتم روسکونسکی و لیو، با بالاترین دقت تفکیک TDI و NDDI ارتباط معنی داری را با نقشه قدرت دید افق گردوغبار، بهترین الگوریتم شناسایی گردوغبار در رخداد منطقه مطالعاتی نداشت (جدول ۴). بنابراین در رخداد دوم، دوم بود.

جدول (۳): ارتباط عمق اپتیکی و الگوریتم‌های گردوغبار در چهار رخداد منطقه مطالعاتی

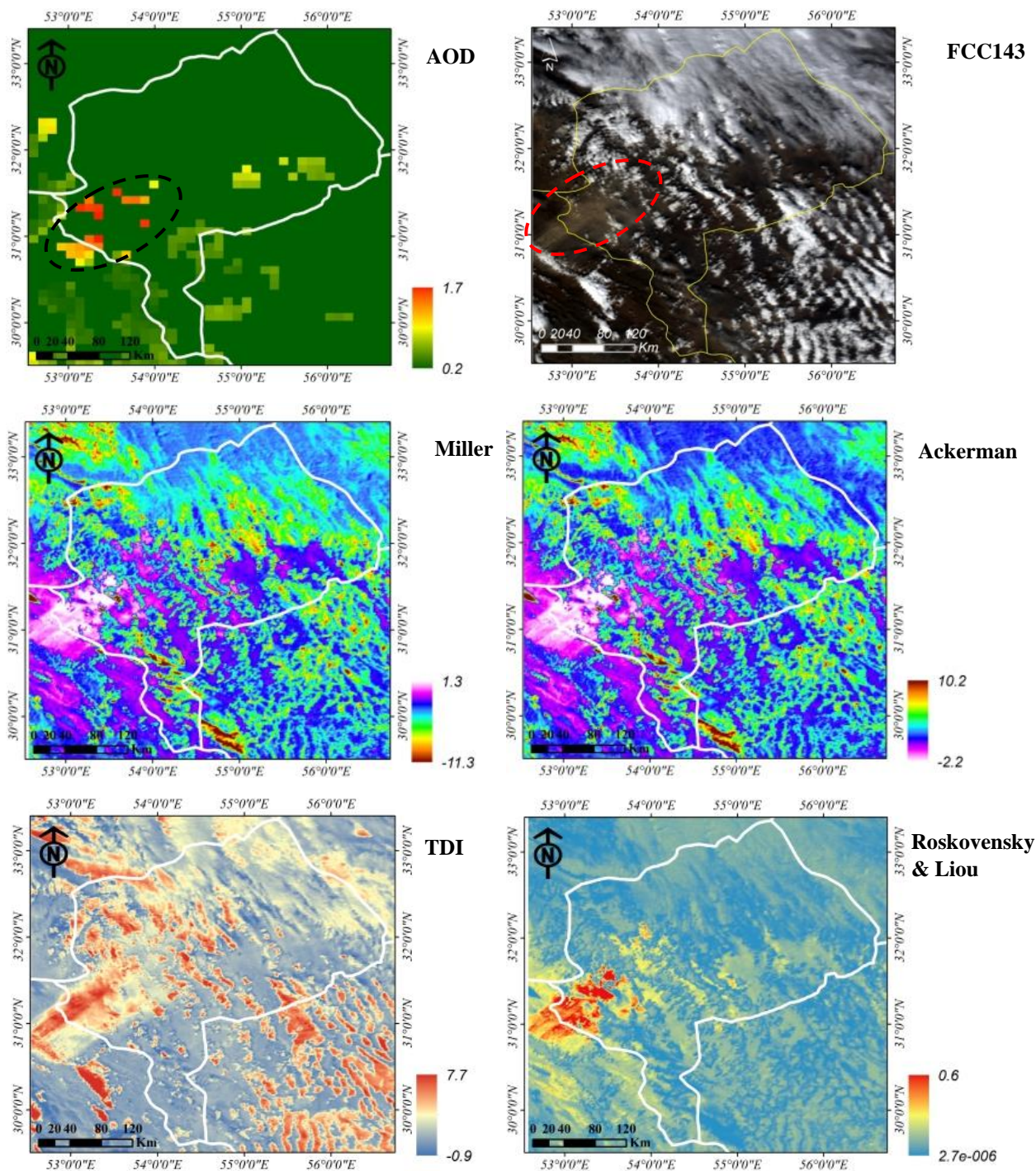
Table (3): Relation of aerosol optical depth (AOD) and algorithms of four dust storm events in the study area

NDDI	TIIDI	TDI	Roskovensky & Liou	Miller	Ackerman	نوع الگوریتم	زمان رخداد
$Y = 0.03x + 0.1$ ۰/۰۴۶ ۰/۴۸۴	$Y = 26.8x - 1.0$ ۰/۴۹ ۰/۰۰۱	$Y = 1.8x + 1.6$ ۰/۶۵ ۰/۰۰۱	$Y = 0.2x + 0.1$ ۰/۴۳ ۰/۰۰۱	$Y = 0.7x - 0.4$ ۰/۲۵ ۰/۰۰۱	$Y = -0.6x - 0.6$ ۰/۲۶ ۰/۰۰۱	معادله r P-value	۲۰/۲/۲۰۳۳ ۲۰/۱۱/۲۰۲۰
$Y = -0.1x + 0.2$ ۰/۴۳ ۰/۰۲۷	$Y = 21.1x - 12.2$ ۰/۴۷ ۰/۰۱۴	$Y = 1.7x + 1.2$ ۰/۶۹ ۰/۰۰۱	$Y = 0.2x - 0.01$ ۰/۶۸ ۰/۰۰۱	$Y = 0.8x - 1.4$ ۰/۴۵ ۰/۰۱۸	$Y = -0.8x + 0.5$ ۰/۴۶۱ ۰/۰۱۵	معادله r P-value	۲۰/۱۵/۲۰۲۱ ۲۰/۱۵/۲۰۲۱
$Y = -0.1x + 0.2$ ۰/۲۴ ۰/۰۶۴	$Y = -28.3x + 17.2$ ۰/۳۱ ۰/۰۱۶	$Y = 0.2x + 2.3$ ۰/۱۲ ۰/۳۸۶	$Y = -0.05x + 0.2$ ۰/۱۴ ۰/۳۰۵	$Y = -0.9x - 0.2$ ۰/۲۶ ۰/۰۴۴	$Y = 0.9x - 0.8$ ۰/۲۶ ۰/۰۴۷	معادله r P-value	۲۰/۱۵/۰۴/۱۳ ۲۰/۱۵/۰۴/۱۳
$Y = -0.1x + 0.1$ ۰/۳۲ ۰/۰۰۱	$Y = -4.4x - 7.5$ ۰/۰۶ ۰/۴۹۶	$Y = 1.4x + 0.9$ ۰/۷۱ ۰/۰۰۱	$Y = 0.04x + 0.01$ ۰/۲۳ ۰/۰۰۸	$Y = 0.6x - 2.2$ ۰/۰۵ ۰/۵۶۳	$Y = -0.7x + 1.4$ ۰/۲۳ ۰/۰۰۷	معادله r P-value	۲۰/۱۵/۰۷/۲۰ ۲۰/۱۵/۰۷/۲۰

جدول (۴): ارتباط دید افقی و الگوریتم‌های گردوغبار در چهار رخداد منطقه مطالعاتی

Table (4): Relation of horizontal visibility and algorithms of four dust storm events in the study area

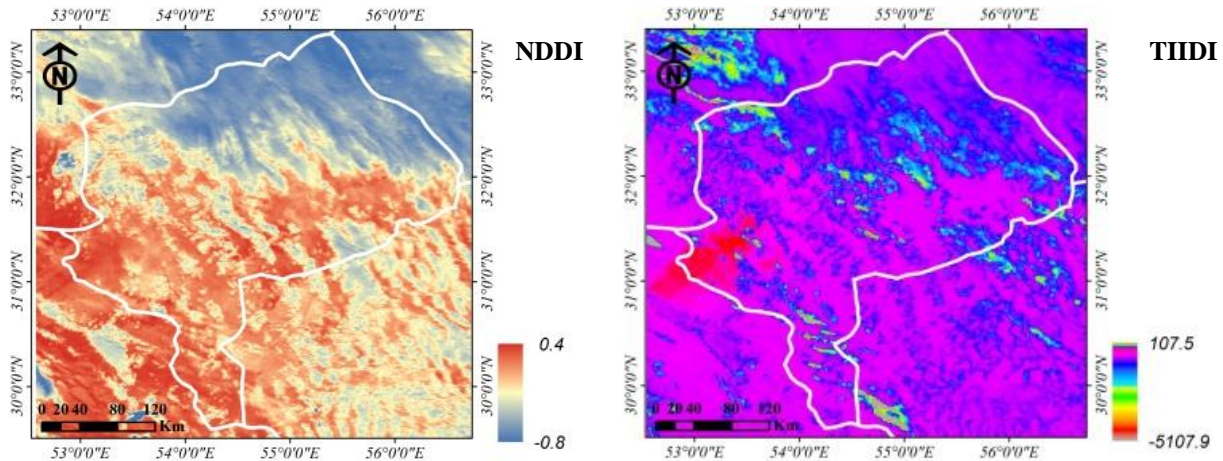
NDDI	TIIDI	TDI	Roskovensky & Liou	Miller	Ackerman	نوع الگوریتم	زمان رخداد
$Y = 1E-06x + 0.2$ ۰/۱۴ ۰/۷۰۴	$Y = -4E-04x + 12.9$ ۰/۷۳ ۰/۰۱۶	$Y = -2E-05x + 2.6$ ۰/۵۱ ۰/۱۳۷	$Y = -3E-06x + 0.2$ ۰/۳ ۰/۴۷۱	$Y = -2E-05x + 0.2$ ۰/۳۴ ۰/۳۳۴	$Y = 3E-05x - 1.2$ ۰/۵۲ ۰/۱۲	معادله r P-value	۲۰/۳/۲۰۲۰ ۲۰/۱۱/۲۰۲۰
$Y = -2E-05x + 0.1$ ۰/۳۰ ۰/۳۶۸	$Y = -0.004x + 11.7$ ۰/۶۷ ۰/۰۲۵	$Y = -1E-04x + 3.5$ ۰/۳۷ ۰/۲۴۰	$Y = -9E-06x + 0.1$ ۰/۷۶ ۰/۰۰۷	$Y = -0.0002x - 0.6$ ۰/۶۸ ۰/۰۲۳	$Y = 0.0002x - 0.4$ ۰/۶۶ ۰/۰۲۷	معادله r P-value	۲۰/۱۵/۰۲/۱۰ ۲۰/۱۵/۰۲/۱۰
$Y = -7E-05x + 0.3$ ۰/۵۹ ۰/۰۵۸	$Y = -0.006x + 24.9$ ۰/۸۱ ۰/۰۰۳	$Y = 0.0001x + 2.0$ ۰/۲۲ ۰/۵۱۹	$Y = -1E-05x + 0.2$ ۰/۶۲ ۰/۰۴۱	$Y = -0.0003x + 0.1$ ۰/۵۷ ۰/۰۶۶	$Y = 0.0003x - 1.0$ ۰/۵۳ ۰/۰۹۲	معادله r P-value	۲۰/۱۵/۰۴/۱۳ ۲۰/۱۵/۰۴/۱۳
$Y = 7E-06x + 0.1$ ۰/۵۲ ۰/۰۹۹	$Y = -0.0004x - 6.7$ ۰/۰۹ ۰/۷۸۷	$Y = -5E-05x + 2.7$ ۰/۳۳ ۰/۳۱۸	$Y = -4E-06x + 0.1$ ۰/۲۷ ۰/۴۲۱	$Y = 4E-05x + 0.4$ ۰/۱۴ ۰/۶۷۶	$Y = 4E-05x + 0.4$ ۰/۱۷ ۰/۶۶۹	معادله r P-value	۲۰/۱۵/۰۷/۲۰ ۲۰/۱۵/۰۷/۲۰



شکل (۳): آشکارسازی گردوغبار رخداد ۲۰۱۵/۰۲/۱۰ (ترکیب رنگی ۱۴۳) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های Miller, Ackerman, Roskovensky

and Liou, TDI, TIIDI, NDDI و تعیین صحت با تصویر عمق نوری ذرات غبار (AOD) در محدوده استان یزد

Figure (3): The detection of dust storm event in 10/02/2015 (FCC143) using the algorithms of Ackerman, Miller, Roskovensky and Liou, TDI, TIIDI, NDDI and accuracy assessment using AOD image in Yazd province region

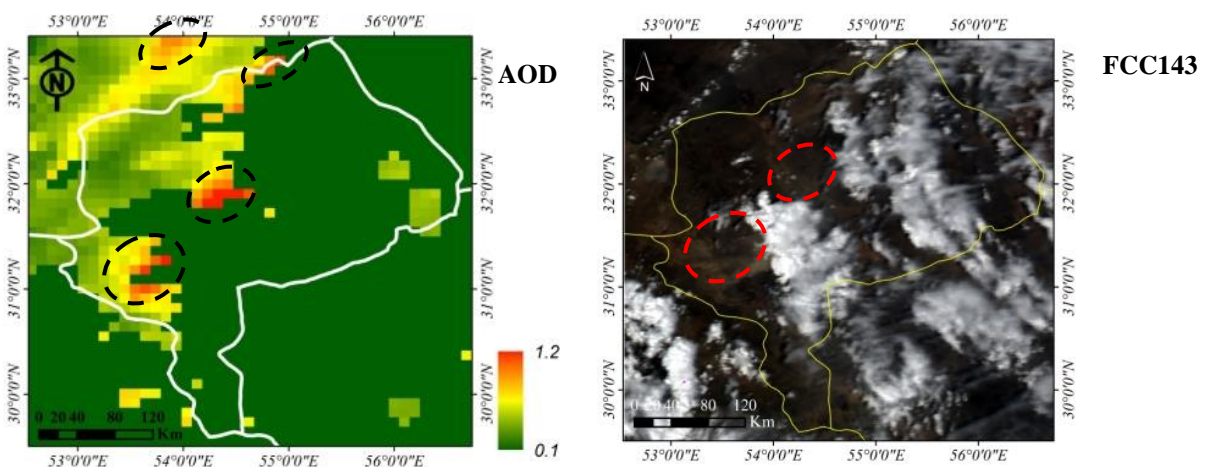


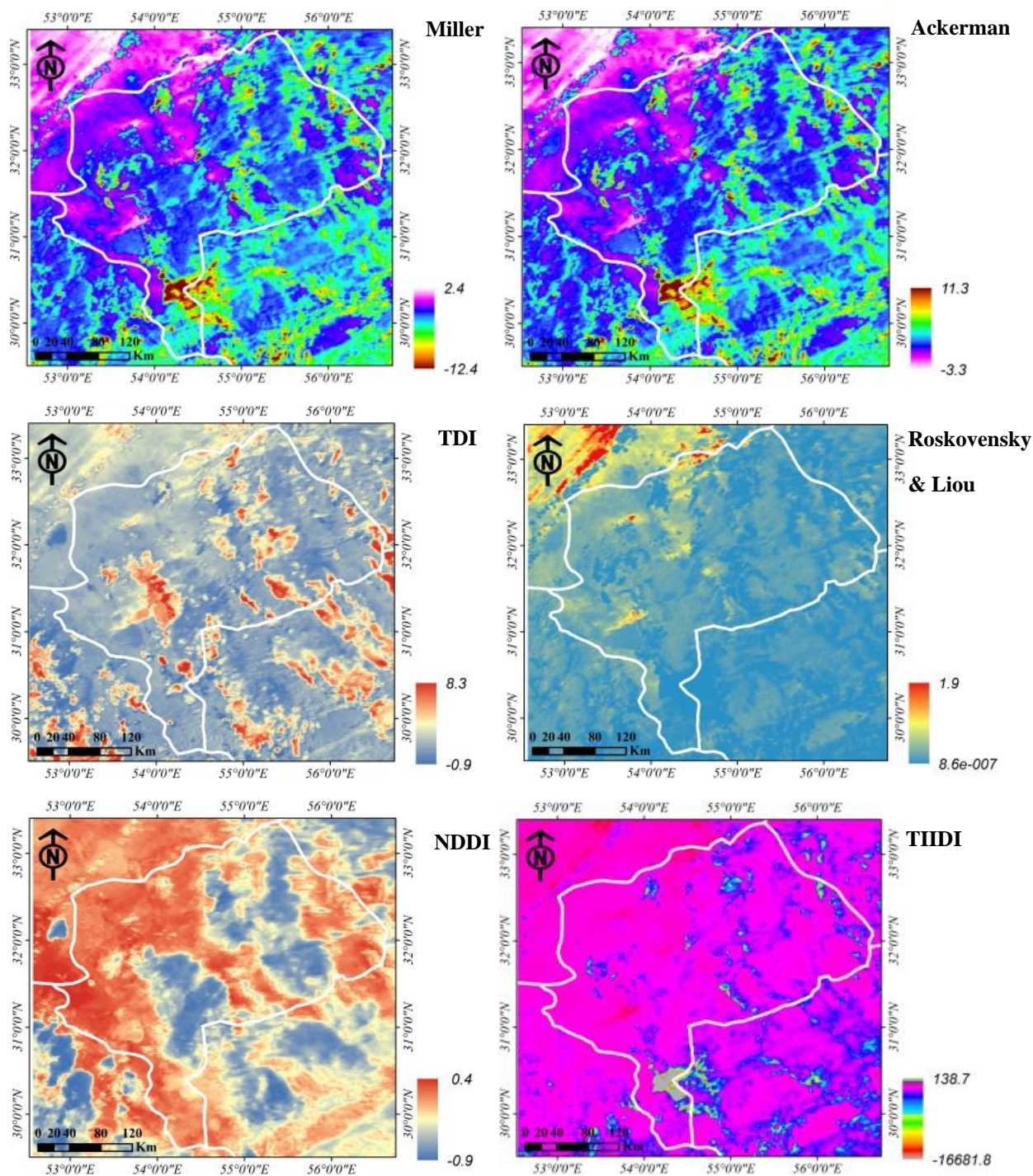
ادامه شکل (۳)

(شکل ۴). صحت نقشه‌های تولیدی از الگوریتم‌های مذکور در این رخداد، همبستگی معنی‌داری را در سطح اطمینان ۰.۵٪ در الگوریتم‌های آکرمن، میلر و TIIDI در مقایسه با نقشه عمق اپتیکی ذرات غبار منطقه نشان داد (شکل ۳)، ولی دقت نقشه‌های تولیدی چندان مناسب نبود (جدول ۳). همچنین ارتباط نقشه‌های حاصل از الگوریتم‌های روسکونسکی و لیو و TIIDI ارتباط معنی‌داری را با نقشه قدرت دید افق منطقه در رخداد مذکور از خود نشان داده و الگوریتم TIIDI دقت قابل قبولی را در آشکارسازی توده گردوغبار از خود نشان داد (جدول ۴ و شکل ۴). بنابراین در رخداد مذکور، الگوریتم TIIDI بهترین الگوریتم شناسایی گردوغبار نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد بررسی معرفی گردید.

رخداد سوم (گردوغبار ۱۳/۰۴/۲۰۱۵)

سومین رخداد گردوغبار در بخش جنوب غربی و با منشأ داخلی به‌طور واضح بر روی تصویر سنجنده مودیس با ترکیب باندهای ۱۴۳ مشاهده شد (شکل ۴). هیچ یک از شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش، توده گردوغبار مذکور را به‌طور کامل از سایر عوارض موجود در تصویر جداسازی نمودند. هرچند، در تصویر حاصل از شاخص TIIDI گردوغبار از سایر عوارض به‌خوبی تفکیک گردید، با این حال، تمامی گستره این توده تفکیک نشد و تنها آن بخش از گردوغبار با غلظت زیاد شناسایی شد (شکل ۴). همچنین از بین شاخص‌های به کار گرفته شده در این پژوهش، در شاخص NDDI بخش پوشش ابری به‌طور کامل از سایر عوارض موجود بر روی تصویر تفکیک گردید





شکل (۴): آشکارسازی گردوغبار رخداد ۲۰۱۵/۰۴/۱۳ (ترکیب رنگی ۱۴۳) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های Miller, Ackerman, Roskovensky and Liou, TDI, TIIDI, NDDI و تعیین صحت با تصویر عمق نوری ذرات غبار (AOD) در محدوده استان یزد

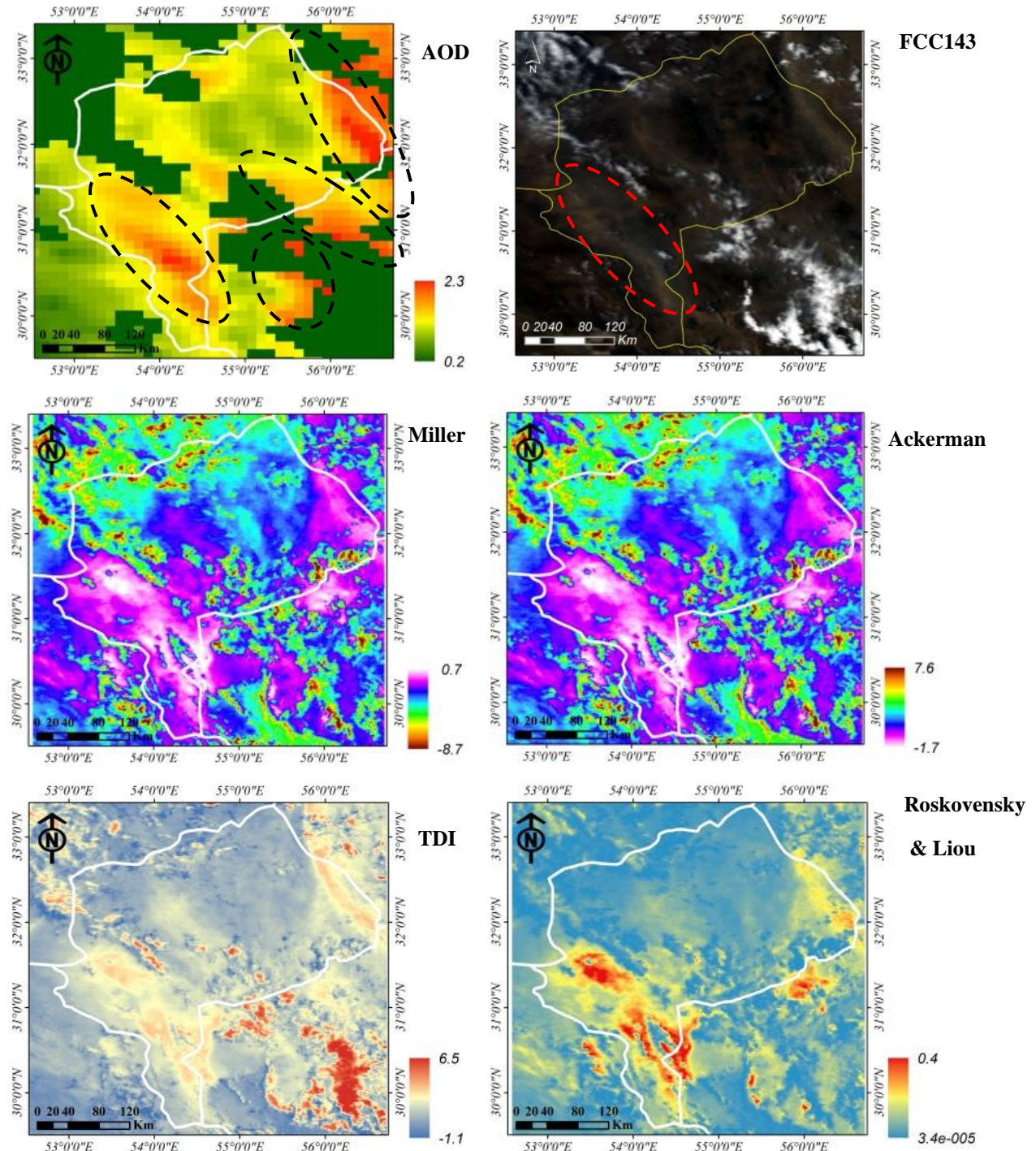
Figure (4): The detection of dust storm event in 13/04/2015 (FCC143) using the algorithms of Ackerman, Miller, Roskovensky and Liou, TDI, TIIDI, NDDI and accuracy assessment using AOD image in Yazd province region

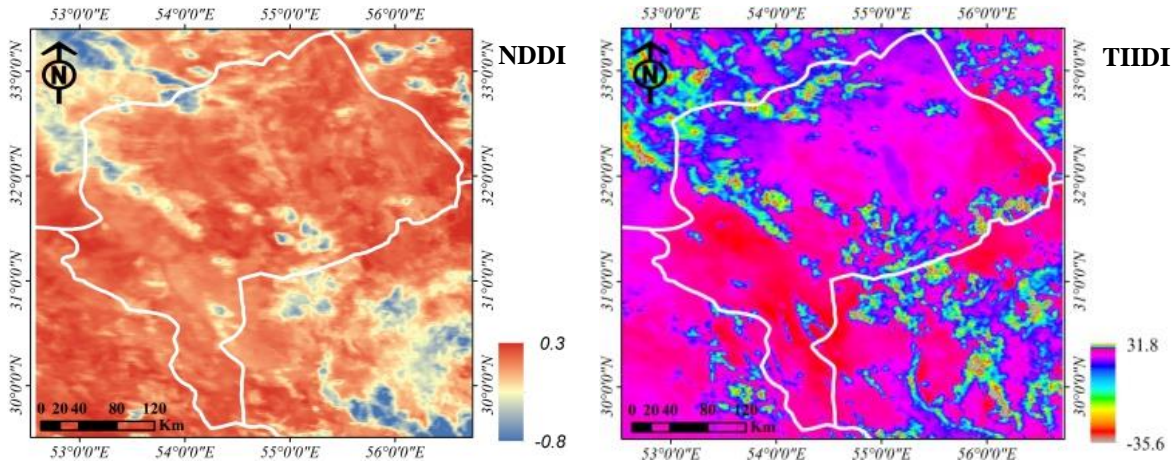
محدوده مطالعاتی و منشأ طوفان در بخش جنوب غربی داخلی و گستره حرکت هر دو طوفان به‌طور واضح روی تصویر سنجنده مودیس با ترکیب رنگی باندی ۱۴۳، به سمت جنوب شرق مشاهده شد (شکل ۵). هیچ‌یک از الگوریتم‌های

رخداد چهارم (گردوغبار ۲۰۱۵/۰۴/۱۳) رخداد گردوغبار ۲۰۱۵/۰۴/۱۳، در دو بخش شمال شرقی و جنوب غربی محدوده مطالعاتی به وقوع پیوست. منشأ طوفان گردوغبار در بخش شمال شرقی، بیرون از

بود ولی دقت زیادی نداشت. در این ارتباط دقت نقشه TDI با معنی داری در سطح اعتماد ۱٪، نسبتاً مناسب بود (جدول ۳). با وجود این، هیچ‌یک از نقشه‌های تولیدی ارتباط معنی داری را با نقشه قدرت دید افق نداشت (جدول ۴). به‌طور کلی، شاخص TDI نسبت به سایر الگوریتم‌های مورد بررسی در رخدادهای چهارم، مناسب‌تر است، ولی به‌طور کامل نتوانست گردوغبار را تفکیک نماید (شکل ۵).

مورد بررسی قادر به تفکیک کامل توده‌های گردوغبار این رخداد نبود، با وجود این الگوریتم‌های آکرمن، میلر و TIIDI تفکیک گردوغبار بهتری را نشان دادند. شاخص NDDI در این رخداد نیز به‌خوبی توانست بخش‌های دارای پوشش ابری را از سایر عوارض تفکیک کند (شکل ۵). ارتباط نقشه عمق اپتیکی ذرات غبار با نقشه‌های حاصل از الگوریتم‌های آکرمن، روسکونسکی و میلر و NDDI در سطح ۵٪ معنی دار





شکل (۵): آشکارسازی گردوغبار رخداد ۲۰۱۵/۰۷/۲۰ (ترکیب رنگی ۱۴۳) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های Roskovenskey, Miller, Ackerman (ترکیب رنگی ۱۴۳) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های Liou, TDI, THDI, NDDI و تعیین صحت با تصویر عمق نوری ذرات غبار (AOD) در محدوده استان یزد
 Figure (5): The detection of dust storm event in 20/07/2015 (FCC143) using the algorithms of Ackerman, Miller, Roskovenskey and Liou, TDI, THDI, NDDI and accuracy assessment using AOD image in Yazd province region

در باندهای مرئی دارند (بداک و همکاران، ۲۰۰۹). از سوی دیگر، با توجه به اینکه هیچ‌یک از باندهای مادون قرمز نزدیک و حرارتی قادر به نفوذ در ابرهای تشکیل‌شده از هسته‌های یخی نیستند، در نتیجه تشخیص توده‌های گردوغبار تشکیل‌شده در بخش زیرین این نوع از ابرها، از طریق باندهای مذکور امکان‌پذیر نیست (چن^۴ و همکاران، ۲۰۱۴).

حدود آستانه گستره گردوغبار ارائه‌شده توسط پژوهشگران هریک از شاخص‌های مذکور نیز، در مناطق و در هر رخداد، متفاوت و نیاز به واسنجی دارد (میلر، ۲۰۰۳). به‌طوری‌که در پژوهش حاضر، امکان آشکارسازی محدوده گردوغبار با استفاده از حدود آستانه ارائه‌شده توسط آکرمن (۱۹۹۷)، میلر (۲۰۰۳)، روسکونسکی و لیو (۲۰۰۳)، هائو و کیو (۲۰۰۷)، لیو و لیو (۲۰۱۱) و کیو و همکاران (۲۰۰۶) وجود نداشت (جدول ۲). درحالی‌که بررسی هیستوگرام طیفی تصاویر حاصل از شاخص‌های مذکور و تعیین حدود آستانه جدید برای هریک از تصاویر، توده‌های گردوغبار را به‌طور مناسبی بارزسازی نمود (جدول ۵). همچنین به‌منظور بارزسازی بهتر توده گردوغبار، در چهار رخداد مورد بررسی، ضرایب a و b در الگوریتم روسکونسکی و لیو (۲۰۰۳) به ترتیب ۰/۰۲۴ و ۲/۵۷- در نظر گرفته شد.

بسیاری از طوفان‌های گردوغبار با بهره‌گیری تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های اقلیمی و محیطی و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های بارزسازی گردوغبار در قالب شاخص‌ها، تصاویر رنگی کاذب، دمای درخشندگی بررسی و تفسیر می‌شوند (جلالی و همکاران، ۲۰۱۷). این روش‌ها به‌ویژه برای توده‌های گردوغبار با غلظت کم، که شناسایی چشمی آن‌ها به‌دشواری صورت می‌گیرد، بسیار کارآمدند. با وجود این، نتایج حاصل از شاخص‌های ارائه‌شده در زمینه آشکارسازی گردوغبار به‌دلیل ترکیب شیمیایی متنوع ذرات گردوغبار و در نتیجه ویژگی‌های طیفی گوناگون آن‌ها، در مناطق مختلف متفاوت است (ونگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ هسو^۱ و همکاران، ۲۰۰۴). مثلاً افزایش تراکم ذرات آهن در گردوغبار باعث کاهش میزان بازتابندگی توده گردوغبار می‌شود، به‌طوری‌که در طوفان‌های گردوغبار دارای تراکم بالای آهن، انعکاس در باند آبی کاهش و در نتیجه تباين توده مذکور نسبت به بازتاب پس‌زمینه کاهش می‌یابد (آریموتو^۲ و همکاران، ۲۰۰۲؛ دوبوویک^۳ و همکاران، ۲۰۰۲). درحالی‌که گردوغبارهای سفیدرنگ، حاوی مقادیر بالای ذرات کربنات، کوارتز و یا مواد معدنی تبخیری هستند و با توجه به نوع خاک و پوشش گیاهی منطقه، انعکاس و تباين بالاتری را

1. Hsu
 2. Arimoto
 3. Dubovik

4. Chen

جدول (۵): محدوده آستانه گردوغبار در هریک از رخدادهای گردوغبار منطقه مطالعاتی

Table (5): Limitation of dust threshold in the dust storm events of study area

عنوان الگوریتم	رخدادهای گردوغبار	۲۰۱۱/۰۲/۰۳	۲۰۱۵/۰۲/۱۰	۲۰۱۵/۰۴/۱۳	۲۰۱۵/۰۷/۲۰
آکرمن	گردوغبار < ۱/۵	گردوغبار < ۰/۵	گردوغبار < ۱	گردوغبار < ۰/۵	گردوغبار < ۰/۵
میلر	گردوغبار > ۰/۷	گردوغبار > ۰	گردوغبار > ۰	گردوغبار > ۰	گردوغبار > ۰/۵
روسکونسکی و لیو	گردوغبار > ۰/۴	گردوغبار > ۰/۱۵	گردوغبار > ۰/۱۵	گردوغبار > ۰/۱۵	گردوغبار > ۰/۱
گردوغبار مادون قرمز حرارتی (TDI)	۵ < گردوغبار < ۳/۵	۶ < گردوغبار < ۳/۵	۵/۵ < گردوغبار < ۳	۴ < گردوغبار < ۳	۳ < گردوغبار < ۳
یکپارچه مادون قرمز حرارتی (TIIDI)	۲۰ > گردوغبار	۹ > گردوغبار	۹ > گردوغبار	۹ > گردوغبار	۳ > گردوغبار
گردوغبار تفاضل نرمال شده (NDDI)	۰/۲ < گردوغبار < ۰/۵	۰/۳ < گردوغبار < ۰/۲	۰/۱۴ < گردوغبار < ۰	۰/۱۶ < گردوغبار < ۰/۰۵	۰/۱۶ < گردوغبار < ۰/۰۵

همچنین، در آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار که از روش‌های بر مبنای باندهای مادون قرمز مرئی بهره گرفته می‌شوند، شناسایی گردوغبار به انعکاس‌های سطحی و تابش بخش پس‌زمینه تصویر بستگی دارد (میلر، ۲۰۰۳). بنابراین این نوع از الگوریتم‌ها قابلیت استفاده برای رخدادهای به‌وقوع پیوسته در طی روز را دارند و مناسب برای رخدادهای شبانه نیستند. درحالی‌که الگوریتم‌های آشکارسازی گردوغبار بر مبنای باندهای حرارتی عملکرد مناسبی را در تفکیک گردوغبار از ابر و سایر عوارض موجود روی تصویر، در هر دو زمان روز و شب را دارند (چن و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج پژوهش صورت گرفته در زمینه مقایسه و ارزیابی الگوریتم‌های گردوغبار در منطقه خاورمیانه نیز، بیان می‌دارد که بهره‌گیری از الگوریتم‌های گردوغبار بر مبنای باندهای حرارتی و یا ترکیب باندهای حرارتی و انعکاسی، پاسخ بهتری را به تفکیک گردوغبار منطقه، نسبت به استفاده از شاخص‌های بر مبنای باند انعکاسی می‌دهد (جعفری و ملکیان، ۲۰۱۵). با وجود اینکه در به‌کارگیری باندهای حرارتی خطاهایی ناشی از دمای سطحی، عدم قطعیت تابش‌های سطحی و پروفیل‌های دمای اتمسفری وجود دارد، این عوامل بر روی کیفیت فناوری سنسجش از دوری باندهای حرارتی در آشکارسازی گردوغبار تأثیر اندکی را دارند (ژانگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۶).

در برخی موارد، باندهای مرئی سنجنده مودیس، امکان تشخیص محدوده‌های گردوغبار را ممکن می‌سازد، اما این امر همیشگی نیست. به‌همین دلیل به‌کارگیری سایر طیف‌های این سنجنده، به‌ویژه باندهای حرارتی آن، در آشکارسازی گستره طوفان‌های گردوغبار بسیار بااهمیت و اثربخش است (بداک و همکاران، ۲۰۰۹). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر، در آشکارسازی رخدادهای گردوغبار محدوده مورد مطالعه، امکان معرفی شاخص واحد مناسبی به‌عنوان بهترین الگوریتم شناسایی گردوغبار برای تمامی رخدادهای گردوغبار به‌وقوع پیوسته در منطقه مطالعاتی وجود ندارد. با وجود این، بررسی شاخص‌های مختلف به کار گرفته‌شده در این پژوهش، عملکرد مؤثر باندهای حرارتی را در الگوریتم‌های آشکارسازی گردوغبار نشان داد. نتایج پژوهش صورت گرفته روی گستره گردوغبار حوزه دریاچه ایر استرالیا^۱ با استفاده از الگوریتم‌های آشکارسازی گردوغبار آکرمن، میلر، روسکونسکی و لیو، اختلاف دمای درخشندگی باندهای حرارتی و ترکیب رنگی کاذب روی تصاویر سنجنده مودیس نیز نشان داد که مؤثرترین الگوریتم در آشکارسازی گردوغبار در هر رخداد متفاوت است. در این پژوهش بیان شد که میزان پوشش ابری، شیمی ذرات گردوغبار و میزان بازتابندگی سطحی در متفاوت بودن الگوریتم‌های آشکارسازی گردوغبار در هر رخداد نقش مؤثری را ایفا می‌کند (بداک و همکاران، ۲۰۰۹).

نتیجه‌گیری

نیستند، بهره‌گیری از داده‌های دید افق پاسخ بهتری را به نتایج صحت سنجی نقشه‌های تولیدی خواهد داد. گستره گردوغبار روی تصاویر رنگی ماهواره‌ای در چهار رخداد مورد بررسی، نشان داد که طوفان‌های گردوغبار حاکم بر استان یزد، علاوه بر منشأ داخلی، منشأ خارجی نیز دارد. بنابراین احتمال می‌رود که با روند افزایش سرعت بیابان‌زایی در استان‌های مجاور و در نتیجه وقوع طوفان‌های با تراکم بالای غبار، حرکت گردوغبار به سمت منطقه مطالعاتی صورت پذیرد و ایجاد خسارت‌های قابل توجهی را در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیستی مناطق تحت‌تأثیر طوفان‌ها نماید. بنابراین، مدیریتی جامع در سطوح محلی و منطقه‌ای برای مقابله با افزایش شدت طوفان‌های متأثر از فعالیت‌های انسانی نیاز است. در پایان پیشنهاد می‌گردد که با توجه به متفاوت بودن ترکیب شیمیایی ذرات گردوغبار و در نتیجه تفاوت در ویژگی طیفی آن‌ها، با تعیین خصوصیات شیمیایی ذرات تشکیل‌دهنده گردوغبار و شناسایی باندهای تأثیرگذار در آشکارسازی طوفان‌های گردوغبار هر منطقه، الگوریتمی متناسب با خصوصیات گردوغبار خاص آن مناطق تعریف گردد.

بنا بر نتایج حاصل از الگوریتم‌های مختلف گردوغبار در منطقه مطالعاتی الگوریتم مناسب برای تشخیص توده‌های گردوغبار حاکم بر منطقه در هر رخداد، متفاوت است و از بین الگوریتم‌های مورد ارزیابی در پژوهش حاضر، نمی‌توان یک الگوریتم واحد را به‌عنوان بهترین الگوریتم آشکارکننده گردوغبار معرفی کرد. با وجود این، نتایج نشان داد الگوریتم‌هایی که در آن‌ها باندهای حرارتی برای تشخیص گستره گردوغبار به کار رفته‌اند، عملکرد بهتری را در تشخیص و آشکارسازی توده‌های گردوغبار داشته‌اند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، آشکارسازی دقیق‌تر گردوغبار در منطقه، نیاز به استفاده از حدود آستانه‌ای متناسب با ویژگی‌های طیفی هر منطقه و حتی هر رخداد دارد. بهره‌گیری از اطلاعات کمی عمق اپتیکی ذرات غبار و نیز داده‌های دید افق ایستگاه‌های هواشناسی، ابزاری مناسب برای بررسی صحت نقشه گردوغبار حاصل از الگوریتم‌های مختلف و انطباق آن با شرایط واقعی منطقه است. از آنجایی که استفاده از اطلاعات کمی عمق اپتیکی ذرات غبار در شرایط ابرناکی بالا با مشکل روبه‌رو می‌باشد و در این شرایط تصاویر عمق اپتیکی ذرات غبار دارای مقادیر عددی مناسب

منابع

- Ackerman, S., Strabala, K., Menzel, W., Frey, R., Moeller, C., Gumley, L., Baum, B., Seemann, S., Zhang, H., 2002. Discriminating clear-sky from cloud with MODIS—algorithm theoretical basis document.(MOD35), ATBD Reference Number: ATBD-MOD-06. Goddard Space Flight Center.
- Ackerman, S. A., 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102(D14), 17069-17079.
- Ahmady-Birgani, H., McQueen, K. G., Moeinaddini, M., Naseri, H., 2017. Sand dune encroachment and desertification processes of the rigboland sand sea, Central Iran. *Scientific Reports* 7(1), 1523.
- Akhlaq, M., Sheltami, T. R., Mouftah, H. T., 2012. A review of techniques and technologies for sand and dust storm detection. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 11(3), 305-322.
- Alkhatib, M. Q., Cabrera, S. D., Gill, T. E., 2012. "Automated detection of dust clouds and sources in NOAA-AVHRR satellite imagery". 2012 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, Santa Fe, NM, USA.
- Arimoto, R., Balsam, W., Schloesslin, C., 2002. Visible spectroscopy of aerosol particles collected on filters: iron-oxide minerals. *Atmospheric Environment* 36(1), 89-96.
- Ataei, S., Mohammadzadeh, A., Abkar, A. A., 2015. Using Decision Tree Method for Dust Detection from MODIS Satellite Image. *Geomatics Science and Technology* 4(4), 151-160. (In Persian)
- Baddock, M. C., Bullard, J. E., Bryant, R. G., 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.
9. Berico, M., Luciani, A., Formignani, M., 1997. Atmospheric aerosol in an urban area—measurements of TSP and PM10 standards and pulmonary deposition assessments. *Atmospheric Environment* 31(21), 3659-3665.
 10. Bu-Olayan, A. H., Thomas, B. V., 2012. Dispersion model on PM2.5 fugitive dust and trace metals levels in Kuwait Governorates. *Environmental Monitoring and Assessment* 184(3), 1731-1737.
 11. Bullard, J., Baddock, M., McTainsh, G., Leys, J., 2008. Sub-basin scale dust source geomorphology detected using MODIS. *Geophysical Research Letters* 35(15).
 12. Chen, B., Zhang, P., Zhang, B., Jia, R., Zhang, Z., Wang, T., Zhou, T., 2014. An overview of passive and active dust detection methods using satellite measurements. *Journal of Meteorological Research* 28(6), 1029-1040.
 13. Dubovik, O., Holben, B., Eck, T. F., Smirnov, A., Kaufman, Y. J., King, M. D., Tanré, D., Slutsker, I., 2002. Variability of absorption and optical properties of key aerosol types observed in worldwide locations. *59(3)*, 590-608.
 14. El-Askary, H., Kafatos, M., Xue, L., El-Ghazawi, T., 2003. "Introducing new approaches for dust storms detection using remote sensing technology". IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, France.
 15. El-ossta, E., Qahwaji, R., Ipson, S. S., 2013. Detection of dust storms using modis reflective and emissive bands. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 6(6), 2480-2485.
 16. 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.
 17. Gassó, S., Stein, A. F., 2007. Does dust from Patagonia reach the sub-Antarctic Atlantic Ocean? *Geophysical Research Letters* 34(1).
 18. Givehchi, R., Arhami, M., Tajrishy, M., 2013. Contribution of the Middle Eastern dust source areas to PM10 levels in urban receptors: Case study of Tehran, Iran. *Atmospheric Environment* 75, 287-295.
 19. Hao, X., Qu, J. J., 2007. Saharan dust storm detection using moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared bands. *Journal of Applied Remote Sensing* 1(1), 013510.
 20. Hsu, N. C., Si-Chee, T., King, M. D., Herman, J. R., 2004. Aerosol properties over bright-reflecting source regions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 42(3), 557-569.
 21. Jafari, R., Malekian, M., 2015. Comparison and evaluation of dust detection algorithms using MODIS Aqua/Terra Level 1B data and MODIS/OMI dust products in the Middle East. *International Journal of Remote Sensing* 36(2), 597-617.
 22. Jalali, N., Iranmanesh, F., Davoodi, M., 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)
 23. Janugani, S., Jayaram, V., Cabrera, S. D., Rosiles, J. G., Gill, T. E., Rivera Rivera, N., 2009. Directional analysis and filtering for dust storm detection in NOAA-AVHRR imagery. *SPIE Digital Library* 7334, 48-60.
 24. Khazenie, N., Lee, T. F., 1992. "Identification of aerosol features such as smoke and dust, in NOAA-AVHRR data using spatial textures". IGARSS 92 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Houston, TX, USA, USA.
 25. Kwon, H.-J., Cho, S.-H., Chun, Y., Lagarde, F., Pershagen, G., 2002. Effects of the Asian Dust Events on Daily Mortality in Seoul, Korea. *Environmental Research* 90(1), 1-5.
 26. Liu, Y., Liu, R., 2011. "A thermal index from modis data for dust detection". 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, BC, Canada.
 27. Middleton, N. J., 2017. Desert dust hazards: A global review. *Aeolian Research* 24, 53-63.
 28. Miller, S. D., 2003. A consolidated technique for enhancing desert dust storms with MODIS. *Geophysical Research Letters* 30(20).
 29. Qu, J. J., Hao, X., Kafatos, M., Wang, L., 2006. Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 3(4), 484-486.
 30. Rafiei Majoomerd, Z., Yazdani, M. R., Rahimi, M., 2017. Trend analysis of number of dusty days in Iran. *Scientific Journal Management System* 6(2), 11-23. (In Persian)
 31. Rashki, A., Eriksson, P. G., Rautenbach, C. J. d. W., Kaskaoutis, D. G., Grote, W., Dykstra, J., 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere* 90(2), 227-236.

32. Raygani, B., kheirandish, z., Kermani, F., Mohammdi Miyab, M., Torabinia, A., 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)
33. Roskovensky, J. K., Liou, K. N., 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).
34. Roskovensky, J. K., Liou, K. N., 2005. Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data. *Geophysical Research Letters* 32(12).
35. San-Chao, L., Qinhuo, L., Maofang, G., Liangfu, C., 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.
36. Saremi Naeini, M. a., 2017. Estimate the frequency of speed and direction of erosive winds and generating dust storms in Yazd province by using Windrose, Stormrose and Sandrose. *Desert Management* 4(8), 96-106. (In Persian)
37. Sayer, A. M., Hsu, N. C., Bettenhausen, C., Jeong, M.-J., 2013. Validation and uncertainty estimates for MODIS Collection 6 "Deep Blue" aerosol data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 118(14), 7864-7872.
38. Singh, J., Noh, Y.-J., Agrawal, S., & Tyagi, B., 2018. Dust detection and aerosol properties over arabian sea using MODIS data. *Earth Systems and Environment*.
39. Soleimany, A., Mohammad-Asgari, H., Dadolahi-Sohrab, A., Elmizadeh, H., & Sayyed, H. K., 2016. Evaluation of optical depth from MODIS satellite imagery in the Persian Gulf. *Journal of Marine Science and Technology* 14(4), 75-83. (In Persian)
40. Tao, M., Chen, L., Wang, Z., Wang, J., Che, H., Xu, X., Wang, W., Tao, J., Zhu, H., Hou, C., 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.
41. Tian, D., Yao, J., 2011. "Investigate and analysis on the occupation harm of dust". Paper presented at the Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China.
42. Wang, H., Zhang, X., Gong, S., Chen, Y., Shi, G., Li, W., 2010. Radiative feedback of dust aerosols on the East Asian dust storms. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115(D23).
43. Wang, J., Christopher, S. A., 2003. Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM2.5 mass: Implications for air quality studies. *Geophysical Research Letters* 30(21).
44. Wong, M. S., Xiao, F., Nichol, J., Fung, J., Kim, J., Campbell, J., Chan, P. W., 2015. A multi-scale hybrid neural network retrieval model for dust storm detection, a study in Asia. *Atmospheric Research* 158–159, 89-106.
45. Zhang, P., Lu, N.-m., Hu, X., Dong, C.-h., 2006. Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels. *Global and Planetary Change*. 52(1-4), 197-206.
46. Zhao, T. X.-P., Ackerman, S., Guo, W., 2010. Dust and Smoke Detection for Multi-Channel Imagers. *Remote Sensing* 2(10), 2347.

Performance Evaluation of Detector Algorithms of Dust Storms in Arid Lands (Case Study: Yazd Province)

Atefeh Jebali¹, Mohammad Zare^{2*}, Mohammad Reza Ekhtesasi³, Reza Jafari⁴

Received: 14/01/2019

Accepted: 22/04/2019

Extended abstract

Introduction: In recent years, frequency and intensity of dust storms have been increased because of human destructive activities and caused significant loss in different aspects of hygienic and health, environmental and socio-economic sections. Therefore, detection and trace of dust storms in shortest time is the first effective step in preparation and implementation of strategic and operational plans in regions where are affected by dust storms. Using of remote sensing techniques in running of detector algorithms of dust storm plumes via satellite images are efficient methods to detect dust storm events, especially in large areas presented by researchers who study in this field. In this research has been tried to compare the most important algorithms to detect dust plumes and introduce the most suitable algorithm for the Yazd province suffered dust storm events and their loss.

Materials and methods: To detect dust storms, the events with wind speed of more than 10 m/s and horizontal visibility of less than 1000 m were identified using meteorological synoptic stations data in the study area during 2010-2015. In the following, six common algorithms for detection of dust plume including Ackerman, Miller, Roskovensky and Liou, Thermal Infrared dust index (TDI), Thermal Infrared Integrated Dust Index (TIIDI) and Normalized Difference Dust Index (NDDI) were examined via satellite data of MODIS sensor in four dust storm events. In order to evaluate the accuracy assessment of dust maps, relation between the produced maps and horizontal visibility records of the meteorological stations located in the study area, as well as, Aerosol Optical Depth (AOD) of dust based on deep blue algorithms were analyzed.

Results: Results showed that Roskovensky and Liou, Thermal Infrared dust index (TDI) and Thermal Infrared Integrated Dust Index (TIIDI) had better accuracy and precision to detect dust storm events based on aerosol optical depth (AOD) maps and horizontal visibility records of the study area. According to the results, TDI and TIIDI algorithms had better performance to detect dust plume in 03/02/2011 event. Correlation of TDI and TIIDI maps with AOD were 0.65 and 0.49, respectively, which were significant at 1% level, while, Roskovensky and Liou algorithm presented more suitable result to detect dust storm in 10/02/2015 event. Correlation of Roskovensky and Liou map with AOD and horizontal visibility records were 0.68 and 0.76, respectively, which were significantly at 1% and 5% levels, respectively. In 13/04/2015 and 20/07/2015 events, TIIDI and TDI algorithms showed better performance to detect dust plumes. Correlation of TIIDI with AOD was 0.81 which was significant at 5% level. Also, the correlation between TDI and horizontal visibility records was 0.71 which was significant at 1% level.

1. Ph.D. Candidate, Combating of Desertification, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University

2. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University; Corresponding Author: mzernani@yazd.ac.ir

3. Professor, Faculty of Natural Resources and Eremology, Yazd University

4. Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan
DOI: 10.22052/deej.2018.7.23.59

Discussion and Conclusion: Some dust storm events are analyzed by remote sensing techniques via methods such as indices and algorithms related to dust detection, interpretation of false color composite and brightness temperature difference of features and phenomena in satellite images. These methods are very efficient to detect dust especially, the dust plumes which their visual detection are difficult because of low density. However, the results of indices of dust detection are different, because of various chemical composite of dust particles and resulted in different spectral and thermal properties in different regions. According to the results, none of the algorithms could detect dust plumes in all events. They were just able to detect dust plumes in one or two events. However, the algorithms that used thermal bands or combination of thermal and reflective bands in their equations had been more effective to detect dust storm. To have better dust storm detection, using threshold ranges according spectral and thermal properties are required in each region and even in each event. Using quantities data of aerosol optical depth of dust as well as horizontal visibility records of meteorological stations are suitable tools to adjust to the real situation and analyze accuracy assessment of dust maps made by different algorithms.

Keywords: Reflective, Thermal, Remote sensing, Aerosol Optical Depth, Horizontal visibility, Yazd.