

مقاله پژوهشی

ارائه الگوریتمی مبتنی بر باندهای انعکاسی و حرارتی مادیس برای شناسایی گستره طوفان‌های ماسه و گردوغبار در جنوب غرب آسیا

فریناز فرهنگ^۱، نادیا عباس‌زاده طهرانی^{۲*}، میلاد جانعلی پور^۳

۱- کارشناس ارشد، مهندسی نقشه‌برداری-سنجش از دور، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

۲- استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

۳- استادیار، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۴)

چکیده

تجارب پیشین نشان داده است که با به کارگیری تصاویر سنجنده‌ی مادیس، می‌توان طوفان‌های ماسه و گردوغبار (SDS) را مطالعه نمود، اما شاخص‌های شناسایی غبار موجود در تفکیک غبار از پوشش گیاهی و مناطق بیابانی دارای محدودیت هستند. در این مقاله، ترکیب خطی جدیدی متشکل از باندهای ۳، ۷، ۲۰، ۳۱ و ۳۲ مادیس برای شناسایی طوفان‌های گردوغبار و جداسازی مناطق غبارآلود معرفی شده است. از این ترکیب برای شناسایی طوفان غبار رخ داده شده در ۲۶ و ۲۷ خرداد ماه ۱۳۸۷ استفاده شد. نتایج حاصل از این ترکیب با تصاویر غبار حاصل از شاخص‌های اختلاف دمای روشنایی میان باندهای ۳۲ و ۳۱ (BTD₃₂₋₃₁)، اختلاف دمای روشنایی میان باندهای ۲۰ و ۳۱ (BTD₂₀₋₃₁) و اختلاف نرمال شده‌ی گردوغبار (NDDI) که از جمله مهم‌ترین شاخص‌های شناسایی گردوغبار هستند، مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که ترکیب معرفی شده، قادر به شناسایی SDS با دقت کلی بالای ۸۸ درصد است. این دقت تقریباً به ترتیب ۷٪، ۱۵٪ و ۳۱٪ بالاتر از دقت بدست آمده توسط شاخص‌های BTD₂₀₋₃₁، BTD₃₂₋₃₁ و NDDI است. یکی دیگر از ارزیابی‌های صورت گرفته در تحقیق حاضر، جداسازی و آشکارسازی طوفان ماسه و گردوغبار با استفاده از محصول عمق نوری هواویز (AOD) مادیس و مقایسه‌ی نتایج حاصل از آن با تصاویر غبار بدست آمده از شاخص‌های ذکر شده و الگوریتم پیشنهادی است. دقت کلی محاسبه شده برای تصویر غبار حاصل از الگوریتم معرفی شده در مقایسه با طوفان ماسه و گردوغبار جداسازی شده با AOD در مقایسه با شاخص‌های BTD₂₀₋₃₁، BTD₃₂₋₃₁ و NDDI به ترتیب ۵٪، ۸٪ و ۳۱٪ بالاتر بوده است. با توجه به اعتبارسنجی صورت گرفته شده، الگوریتم معرفی شده در شناسایی رخداد طوفان‌های ماسه و گردوغبار در جنوب غرب آسیا در مقیاس‌های بالا کارا است.

کلمات کلیدی: شاخص‌های شناسایی غبار، عمق نوری هواویز، مادیس، شاخص اختلاف نرمال شده‌ی گردوغبار، شاخص اختلاف دمای روشنایی.

طوفان ماسه و گردوغبار^۱ (SDS) پدیده‌ای طبیعی است که در مناطق مختلف جهان در اثر تلاطم‌های جو در نزدیکی‌های سطح زمین رخ می‌دهد که در نتیجه‌ی آن مقادیر بسیار زیادی از گردوغبار و هواویزها^۲ (ائروسول) به جو وارد شده و پخش می‌شوند (استراندرگرن و همکاران^۳، ۲۰۱۴؛ نبوی و همکاران^۴، ۲۰۱۶). طوفان‌های غبار سبب کاهش دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر و در نتیجه محدود ساختن فعالیت‌های مختلف می‌گردند (ذولجودی و همکاران^۵، ۲۰۱۳؛ دایان و همکاران^۶، ۱۹۹۱). هواویزها با تغییر تعادل جذب و پخش تابش خورشیدی و تأثیرگذاری بر روی هسته‌ی تشکیل دهنده‌ی ابرها، به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روی آب‌وهوا تأثیر می‌گذارند (اسماعیلی و همکاران^۷، ۲۰۰۶). این طوفان‌ها در ایران، شمال شرقی عراق، سوریه، خلیج فارس و جنوب عربستان در تابستان و زمستان به وفور رخ داده و آثار نامطلوبی بر روی محیط زیست و سلامت انسان‌ها بر جای می‌نهند (ذولجودی و همکاران، ۲۰۱۳؛ کرمانی و همکاران، ۲۰۱۶؛ نعیمی و همکاران، ۱۳۹۸؛ امیدوار و همکاران، ۱۳۹۴؛ امیدوار و امیدی، ۱۳۹۲). در نتیجه، شناسایی گردوغبار منتشر شده با دقت بالا در مدت زمان کوتاه امری مهم و ضروری است. در گذشته، اندازه‌گیری‌ها و بررسی وضعیت هواویزها به صورت زمینی و میدانی صورت می‌گرفت. این گونه مطالعات میدانی برای بررسی مناطق با وسعت زیاد، با محدودیت و دشواری فراوان روبه‌رو است. با توسعه‌ی فناوری ماهواره‌ها، سنجش از دور به دلیل امکان تهیه‌ی پوشش‌های گسترده‌ی مکانی نقش مهمی را در شناسایی گردوغبار ایفا کرده است (کائو و همکاران، ۲۰۱۵). زینالی و اصغری^۸ (۱۳۹۳)، در پژوهش خود، طوفان غبار حادث در ۱۰ آگوست ۲۰۰۸ را با استفاده از شاخص‌های اختلاف دمای روشنایی^۹ (BTD) و اختلاف نرمال شده‌ی گردوغبار^{۱۰} (NDDI) و شاخص اختلاف تابش محلی سازی شده^{۱۱} (LRDI) اعمال شده بر روی تصاویر مادیس (MODIS)، شناسایی کردند. از جمله محدودیت‌های عنوان شده برای NDDI، جداسازی غبار از زمین، BTD جداسازی غبار از بیابان‌ها و شناسایی آن بر روی آب‌ها ذکر شد. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که LRDI در جداسازی غبار از سایر پدیده‌ها به جز ابر، موفق بوده است.

¹ Sand and Dust Storm

² Aerosols

³ Strandgren et al.

⁴ Nabavi et al.

⁵ Zoljoodi et al.

⁶ Dayan et al.

⁷ Esmaili et al.

⁸ Zeynali and Asghari

⁹ Brightness Temperature Difference

¹⁰ Normalized Difference Dust Index

¹¹ Local Radiance Difference Index

مهرابی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ی موردی پهنه‌بندی طوفان گردوغبار در استان خوزستان نتیجه‌گیری نمودند که گستره‌ی طوفان برآورد شده توسط NDDI کمتر از مقدار واقعی بوده است. آن‌ها اظهار نمودند که قابلیت این شاخص در برابر شاخص‌های حرارتی در تمایز میان غبار از سایر پوشش‌های زمینی پایین‌تر است. بروغنی و همکاران^۱ (۲۰۱۶)، برای شناسایی طوفان‌های غبار در شرق خاورمیانه از تصاویر مادیس و شاخص‌های BTI و NDDI استفاده کردند. نتیجه‌گیری شد که بهترین ترکیب رنگی کاذب برای آشکارسازی گردوغبار، ترکیب رنگی حاصل از BTI، باند ۴ (سبز) و باند ۳ (آبی) است. دریاچه‌های خشک شده و فصلی و بیابان‌ها منبعی برای شکل‌گیری طوفان‌های غبار معرفی شدند.

در مقالات متعدد، نتیجه‌گیری شده است که شاخص‌های BTI، NDDI و شاخص غبار خاورمیانه^۲ (MEDI) در شناسایی SDS رخ داده شده در انواع پوشش‌های زمینی همانند سطوح روشن (بیابان‌ها)، سطوح تاریک‌تر (مناطق دارای پوشش گیاهی)، مناطق شهری و آب‌ها دچار محدودیت بوده‌اند (یو و همکاران، ۲۰۱۷؛ زینالی و اصغری، ۱۳۹۳؛ البوگمی و همکاران، ۲۰۱۸؛ هان و همکاران^۳، ۲۰۱۳؛ کو و همکاران^۴، ۲۰۰۶؛ بین ابوالواحد^۵، ۲۰۱۹). البوگمی و همکاران^۶ (۲۰۱۸) نشان داده‌اند که MEDI برای شناسایی طوفان‌های گردوغبار بر روی تمامی پوشش‌های زمینی در عربستان ناموفق عمل کرده است. بنابراین، در این مقاله، به دلیل محدودیت‌های شاخص‌های شناسایی ماسه و گردوغبار موجود و به دلیل برخورداری هم‌زمان از مزایای باندهای انعکاسی شماره‌ی ۳ (ناحیه‌ی آبی: ۰/۴۵۹ تا ۰/۴۷۹ میکرومتر) و شماره‌ی ۷ (ناحیه‌ی مادون قرمز با طول موج کوتاه: ۲/۱۰۵ تا ۲/۱۵۵ میکرومتر) و باند مادون قرمز حرارتی با طول موج متوسط شماره‌ی ۲۰ (۳/۶۶ تا ۳/۸۴ میکرومتر) و باندهای مادون قرمز حرارتی با طول موج بلند شماره‌های ۳۱ (۱۰/۷۸ تا ۱۱/۲۸ میکرومتر) و ۳۲ (۱۱/۷۷ تا ۱۲/۲۷ میکرومتر) مادیس در آشکارسازی گردوغبار، از ترکیب خطی آن‌ها برای شناسایی SDS استفاده می‌گردد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه:

منطقه‌ی مورد مطالعه، جنوب غرب آسیا شامل نواحی از کشورهای عراق، شمال شرق سوریه و غرب ایران از ۳۷ درجه‌ی شرقی تا ۴۹ درجه‌ی شرقی و از ۲۷ درجه‌ی شمالی تا ۳۷ درجه‌ی شمالی است (شکل (۱)). ناحیه مورد مطالعه در منطقه‌ای خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. باد شمال با جهت وزش شمال غرب-جنوب شرقی سبب بروز طوفان‌های ماسه و گردوغبار زیادی در این نواحی می‌گردد (بحل^۷، ۲۰۰۳).

¹ Boroghani et al.

² Middle East Dust Index

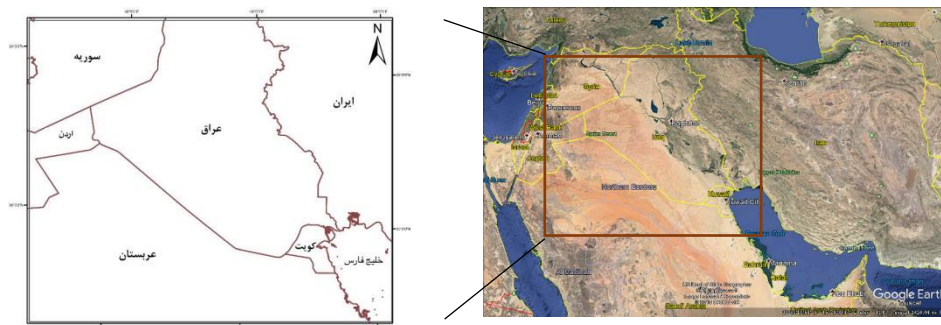
³ Han et al.

⁴ Qu et al.

⁵ Bin Abdulwahed et al.

⁶ Albugami et al.

⁷ Bahl et al.



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

داده‌ها: در این تحقیق از داده‌های سطح 1B مادیس (محصول MOD021KM از ماهواره Terra)، اخذ شده از سایت ناسا، که مقادیر کالیبره شده‌ی تابشی زمین را در اختیار قرار می‌دهند، استفاده شد. توان تفکیک مکانی باندهای ۱ و ۲ مادیس ۲۵۰ متر، باندهای ۳ تا ۷ آن ۵۰۰ متر و باندهای ۸ تا ۳۶، ۱۰۰۰ متر است. در این تحقیق، از باندهای مرئی شماره‌ی ۳ (آبی)، مادون قرمز با طول‌موج کوتاه شماره‌ی ۷، مادون قرمز حرارتی با طول‌موج متوسط شماره‌ی ۲۰ و مادون قرمز حرارتی با طول‌موج بلند شماره‌های ۳۱ و ۳۲ برای شناسایی طوفان‌های ماسه و گردوغبار و از باندهای مرئی شماره‌ی ۱ (قرمز)، ۳ (آبی) و ۴ (سبز) نیز برای تشکیل تصویر رنگی منطقه استفاده شده است.

میزان کاهش دید افقی برای بیان شدت طوفان ماسه و گردوغبار مورد استفاده قرار گرفته که به صورت ذیل طبقه‌بندی می‌شود:

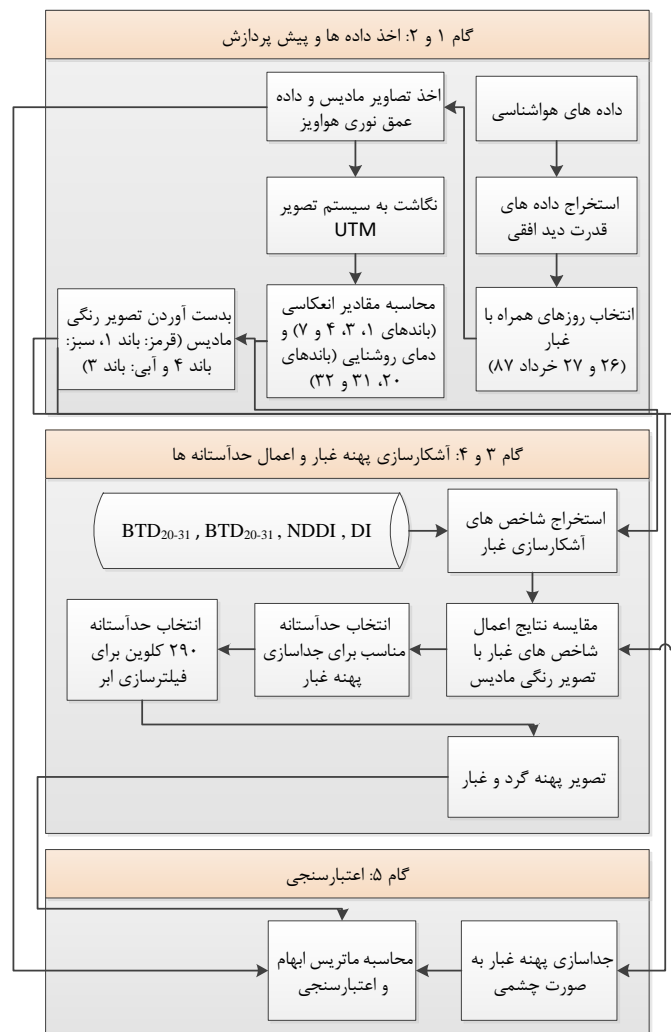
۱) وزش غبار: دید افقی کمتر از ۱۱ کیلومتر، ۲) طوفان غبار: دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر و ۳) طوفان غبار شدید: دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر (ذولجودی و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین طبق تعریف سازمان هواشناسی جهانی، داده‌های دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ را طوفان غبار دسته‌بندی می‌نمایند. کدهای سینوپتیک مرتبط با این پدیده‌ها در جدول (۱) آورده شده‌اند. بازه‌ی زمانی مورد مطالعه در این مقاله، روزهای ۲۶ و ۲۷ خرداد ماه ۱۳۸۷ خواهد بود. رخداد طوفان غبار در این دو روز در شهر اهواز سبب کاهش قدرت دید افقی تا ۷۰۰ متر شده بود. داده‌های دید افقی از پایگاه سازمان هواشناسی کشور قابل اخذ است.

جدول ۱ - کدهای سینوپتیک مرتبط با پدیده‌های گرد و غبار (فرج‌زاده اصل و علیزاده، ۲۰۱۱)

پدیده	شماره‌ی کد
وزش غبار	۰۶
	۰۷
طوفان غبار	۰۹
	۳۰
	۳۱
	۳۲
طوفان غبار شدید	۳۳
	۳۴
	۳۵

داده‌های مورد استفاده‌ی دیگر، محصولات هواویز سطح ۲ مادیس برای اعتبارسنجی است. از محصول AOD داده‌های ورژن شش MCD19A2 مادیس با توان تفکیک مکانی ۱ کیلومتر اخذ شده در روز ۲۶ خرداد ماه ۱۳۸۷ استفاده می‌شود. AOD محاسبه شده در این محصول در باندهای ۰/۴۷ میکرومتر (ناحیه‌ی آبی) و ۰/۵۵ میکرومتر (ناحیه‌ی سبز) ارائه می‌شود (لیاپاستین و وانگ^۱، ۲۰۱۸). در این مقاله از AOD محاسبه شده در باند ۰/۵۵ میکرومتر استفاده می‌گردد.

روش‌ها: روش پیشنهادی در این تحقیق در شش گام انجام شده است که در ادامه به صورت کامل توصیف خواهند شد. شکل (۲)، مدل مفهومی الگوریتم پیشنهادی جهت شناسایی گستره‌ی طوفان‌های ماسه و گردوغبار را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مدل مفهومی الگوریتم پیشنهادی جهت شناسایی گستره‌ی طوفان‌های ماسه و گردوغبار.

¹ Lyapustin and Wang

اخذ و پیش‌پردازش داده‌ها و تهیه تصویر رنگی مادیس: در گام اول داده‌های موردنیاز ذکر شده جمع‌آوری می‌گردند. در گام دوم، ابتدا لازم است داده‌های MOD021KM و MCD19A2 AOD با استفاده از افزونه‌ی MCTK¹ نرم‌افزار ENVI 5.3 به سیستم تصویر UTM نگاشت شوند. از جمله پیش‌پردازش‌های بعدی، محاسبه‌ی مقادیر انعکاسی^۲ باندهای ۱، ۳، ۴ و ۷ با واحد $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ با استفاده از افزونه‌ی نام برده شده است. سپس، اقدام به محاسبه‌ی مقادیر دمای روشنایی باندهای حرارتی ۲۰، ۳۱ و ۳۲ می‌شود. دلیل انتخاب این باندهای حرارتی این است که جذب گازها در این باندها ضعیف و جذب هواویزها در آنها قوی است (طاهری شهرینی و همکاران^۳، ۲۰۱۵؛ آکرمن، ۱۹۹۷). آخرین مرحله در گام دوم این است که با استفاده از باندهای ۱ (قرمز)، ۴ (سبز) و ۳ (آبی) اقدام به تشکیل تصویر رنگی شود. بدین صورت که باند قرمز تصویر رنگی باند ۱، باند سبز باند ۴ و باند آبی باند ۳ قرار داده می‌شوند.

آشکارسازی گستره‌ی مکانی طوفان‌های ماسه و گردوغبار: در گام سوم لازم است، طوفان غبار رخ داده شده، با استفاده از شاخص‌های BTD_{32-31} ، BTD_{20-31} و NDDI آشکارسازی شوند. در این گام، اقدام به معرفی الگوریتم جدید پیشنهادی شناسایی گردوغبار مبتنی بر باندهای انعکاسی و حرارتی نیز می‌گردد. دمای روشنایی غبار در باند ۳۲ بزرگ‌تر از مقدار آن در باند ۳۱ است. بنابراین اختلاف این دو دمای روشنایی (BTD_{32-31}) می‌تواند در تمایز غبار از سایر پدیده‌ها مورد استفاده قرار گیرد. اگر مقدار BTD_{32-31} در یک پیکسل بزرگ‌تر از صفر باشد، آن پیکسل به احتمال زیاد غبارآلود است (یو و همکاران، ۲۰۱۷؛ آکرمن، ۱۹۹۷؛ بادک و همکاران^۴، ۲۰۰۹). میزان پخش غبار در باند ۲۰ بیشتر از باند ۳۱ است، بنابراین اختلاف این دو دمای روشنایی (BTD_{20-31}) نیز می‌تواند نشان‌دهنده‌ی وجود گردوغبار باشد. BTD_{20-31} از رابطه‌ی (۱) و BTD_{32-31} از رابطه‌ی (۲) قابل محاسبه هستند (یو و همکاران، ۲۰۱۷؛ آکرمن، ۱۹۹۷).

$$BTD_{20-31} = BT_{20} - BT_{31} \quad (1)$$

$$BTD_{32-31} = BT_{32} - BT_{31} \quad (2)$$

که در آن BT_{20} ، BT_{31} و BT_{32} به ترتیب دماهای روشنایی بدست آمده از باندهای ۲۰، ۳۱ و ۳۲ مادیس هستند (یو و همکاران، ۲۰۱۷).

مقادیر انعکاسی گردوغبار در باند ۷ مادیس بزرگ‌تر از مقادیر آن در باند ۳ است. بنابراین میزان اختلاف نرمال شده‌ی آن (NDDI) (رابطه‌ی (۳)) می‌تواند در تشخیص SDS مؤثر باشد. مقادیر مثبت NDDI می‌تواند نشان‌دهنده‌ی وجود غبار باشد (یو و همکاران، ۲۰۱۷؛ کو و همکاران، ۲۰۰۶).

¹ MODIS Conversion ToolKit Plugin

² Reflectance

³ Taheri Shahraini et al.

⁴ Baddock et al.

$$NDDI = \frac{B_7 - B_3}{B_7 + B_3} \quad (۳)$$

که در آن B_7 و B_3 مقادیر انعکاسی باندهای ۷ و ۳ مادیس هستند (یو و همکاران، ۲۰۱۷). به دلیل ویژگی‌های طیفی خاص گردوغبار در باندهای شماره‌های ۳ (B_3) و ۷ (B_7) و دماهای روشنائی شماره‌های ۲۰ (BT_{20})، ۳۱ (BT_{31}) و ۳۲ (BT_{32})، از ترکیب خطی باندهای انعکاسی و حرارتی گفته شده استفاده کرده و الگوریتم جدیدی برای آشکارسازی گستره‌ی طوفان‌های ماسه و گردوغبار در جنوب غرب آسیا معرفی می‌شود. واحد اندازه‌گیری مقادیر BT ، کلون و B_7 و B_3 ، $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$ است. بنابراین در ابتدا نیاز است برای حذف واحدهای اندازه‌گیری و امکان ترکیب آن‌ها، مقادیر BT_{20} ، BT_{31} و BT_{32} و باندهای B_7 و B_3 نرمال شده و همگی به بازه‌ی صفر تا یک تبدیل شوند. رابطه‌ی نرمال‌سازی داده‌ها از طریق رابطه‌ی (۴) امکان‌پذیر می‌باشد (کائو و همکاران، ۲۰۱۵).

$$X_{Normalized} = \frac{X - Min(X)}{Max(X) - Min(X)} \quad (۴)$$

که در آن $X_{Normalized}$ مقادیر نرمال شده، X مقادیر اولیه و Min و Max مقادیر کمینه و بیشینه‌ی مقادیر هستند. $X_{Normalized}$ مقداری میان صفر تا یک دارد. ترکیب خطی معرفی شده، شاخص غبار^۱ (DI) نام‌گذاری می‌شود. DI از رابطه‌ی (۵) قابل محاسبه است.

$$DI = aB_3 - bB_7 + cBT_{20} - (c + d)BT_{31} + dBT_{32} \quad (۵)$$

که در آن a ، b و c ضریب‌هایی هستند که با تفسیر بصری و آزمون و خطا برای بهبود آشکارسازی گردوغبار انتخاب می‌شوند. طبق این رابطه، مقادیر بالاتر از صفر DI نشان‌دهنده‌ی پیکسل‌های غبارآلود است.

اعمال حدآستانه بر روی شاخص‌ها، فیلترسازی ابر و تهیه‌ی تصویر غبار: در گام چهارم، با تفسیر بصری و مقایسه‌ی نتایج حاصل از اعمال شاخص‌ها با تصویر رنگی حقیقی مادیس، بدست آمده از گام دوم، حدآستانه‌های مناسب برای استخراج و آشکارسازی SDS انتخاب می‌گردند. جدول (۲)، مقادیر حدآستانه‌ی پیشنهادی منتشر شده برای جداسازی پیکسل‌های غبارآلود از مناطق غیر غبار را برای شاخص‌های BTD_{32} ، BTD_{20-31} و $NDDI$ و مقادیر حدآستانه‌های تعریف شده توسط این مقاله را نشان می‌دهد. مقادیر حدآستانه‌ی پیشنهادی برای DI نیز در این جدول آورده شده است. مقادیر حدآستانه‌ی پیشنهادی منتشر شده

¹ Dust Index

به عوامل مختلفی هم چون غلظت گردوغبار، کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها، انعکاس سطح و شرایط جوی وابسته هستند. این شاخص‌ها به محققین این اجازه را می‌دهد تا برای بهینه‌سازی و افزایش دقت نتایج تشخیص SDS، با توجه به شرایط خاص منطقه و رخداد طوفان غبار، مقادیر حدآستانه‌ی پیشنهاد شده را تنظیم و بروزرسانی کنند (بین ابوالواحد و همکاران، ۲۰۱۹؛ تقوی و همکاران، ۲۰۱۷).

جدول ۲- مقایسه‌ی مقادیر حدآستانه‌ی پیشنهادی منتشر شده و تعریف شده در این مقاله برای جداسازی پیکسل‌های غبارآلود از مناطق غیر غبار

شاخص	مقادیر حدآستانه‌های منتشر شده (برای جداسازی غبار)	مقادیر حدآستانه‌ی تعریف شده در این مقاله (برای جداسازی غبار)
BTD ₃₂₋₃₁	مقادیر < ۰ (بین ابوالواحد و همکاران، ۲۰۱۹)	مقادیر < ۰ ۲۶ خرداد ماه ۱۳۸۷
BTD ₂₀₋₃₁	مقادیر < ۱۴ و یا ۲۰ (صمدی و همکاران، ۲۰۱۴)	مقادیر < ۱۵ ۲۷ خرداد ماه ۱۳۸۷
NDDI	مقادیر < ۰ و یا ۰/۲۸ (بین ابوالواحد و همکاران، ۲۰۱۹)	مقادیر < ۰/۲ ۰/۳۴ < مقادیر < ۰/۲۲
DI	مقادیر < ۰ (پیشنهادی توسط این مقاله)	مقادیر < ۰/۰۵ مقادیر < ۰/۱

پس از این مرحله نیاز است، پیکسل‌های ابری فیلتر گردند. با اعمال روشنایی بدست آمده از باند حرارتی شماره‌ی ۳۱، پیکسل‌های آلوده به گردوغبار بدست می‌آید (تقوی و همکاران، ۲۰۱۷).

اعتبارسنجی تصاویر غبار بدست آمده از شاخص‌ها با استفاده از تصاویر مادیس در گام پنجم، اقدام به اعتبارسنجی تصاویر غبار بدست آمده از گام چهارم برای هر یک از شاخص‌ها. در این مرحله، با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 و به صورت بصری اقدام به شناسایی گستره‌ی روی تصویر رنگی مادیس از گام دوم کرده و مرجع قرار داده شد. با مقایسه‌ی تصاویر مادیس و تصاویر غبار بدست آمده از شاخص‌ها و در نظر گرفتن نمونه‌ها بدون غبار، ماتریس ابهام^۳، محاسبه و نتایج اعتبارسنجی شد. این اعتبارسنجی گستره‌ی طوفان‌های ماسه و گردوغبار تشخیص داده شده توسط شاخص‌ها را نشان می‌دهد. آماره

Taghavi et al.

² Samadi et al.

³ Confusion Matrix

در این تحقیق، پارامترهای خطای حذف شده^۱ (O_e)، خطای گماشته شده^۲ (C_e)، دقت تولیدکننده^۳ (P_a)، دقت کاربر^۴ (U_a)، دقت کلی^۵ (O_a) و ضریب کاپا^۶ (κ) هستند (بوشتی و همکاران^۷، ۲۰۰۴؛ چیکو و همکاران^۸، ۲۰۲۰؛ دلگادو و همکاران^۹، ۲۰۱۹).

اعتبارسنجی دیگری برای گستره‌ی پهنه‌های گردوغبار تشخیص داده شده توسط شاخص‌ها با استفاده از محصول عمق نوری هواویز MCD19A2 مادیس صورت گرفت. AOD کمیته بدون واحد بوده و تغییر محدوده‌ی عددی مقادیر آن از صفر به بالا است. هرچه مقدار AOD بالاتر باشد، یعنی تضعیف تابش خورشیدی بیشتر بوده و در نتیجه هواویزهای بیشتری در جو موجود بوده است. AOD با مقادیر بیش از ۰/۶ نشان‌دهنده‌ی هوای آلوده/وقایع غبار و بیش از ۱/۵ نشان‌دهنده‌ی دود سنگین/ غبار است (استراندرگن و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین با اعمال حدآستانه‌ی ۰/۶ بر روی مقادیر AOD MCD19A2 مادیس، جداسازی نواحی غبارآلود از غیر غبار صورت گرفت. در نهایت با بدست آوردن ماتریس ابهام و آماره‌های بیان شده به مقایسه‌ی نتیجه‌ی حاصل از آن و شاخص‌ها پرداخته می‌شود.

یافته‌ها و بحث

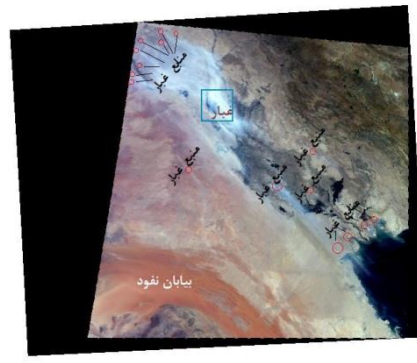
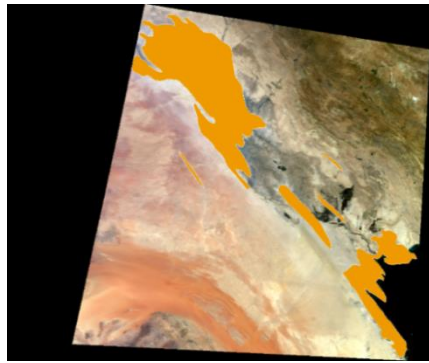
تصویر رنگی مادیس در رخداد طوفان ماسه و گردوغبار روز ۲۶ خرداد ماه ۱۳۸۷ در قسمت (الف) و طوفان غبار جداسازی شده با استفاده از این تصویر رنگی در قسمت (ب) شکل (۳) آورده شده است. غبار و منابع غبار (نقاط شروع SDS) به صورت بصری بر روی شکل مشخص گشته‌اند. نتایج اعمال BTD_{32-31} ، BTD_{20-31} ، $NDDI_{31}$ و DI به ترتیب در قسمت‌های پ، ت، ث و ج شکل (۳) آورده شده‌اند. در قسمت (پ) شکل (۳) با اعمال حدآستانه‌ی صفر کلون بر روی نتیجه‌ی حاصل از اعمال BTD_{32-31} اقدام به جداسازی غبار از پدیده‌های دیگر شده است. همان‌طور که مشخص است، این شاخص قادر به تفکیک صحیح غبار از سایر سطوح همانند نواحی بیابانی، دارای پوشش گیاهی و آب نبوده است. در قسمت (ت) شکل، با اعمال حدآستانه -۱۵ کلون بر روی نتیجه‌ی حاصل از اعمال BTD_{20-31} اقدام به جداسازی پهنه غبار شده است. این شاخص در جداسازی غبار از سطوح روشن (همانند بیابان نفود) موفق عمل نکرده است. تصویر غبار حاصل از اعمال $NDDI$ با اعمال حدآستانه‌ی صفر تا ۰/۲ در قسمت (ث) آورده شده است. این شاخص، تقریباً در جداسازی پهنه‌ی غبار از سطوح روشن موفق بوده ولی در شناسایی غبار از سطوح تاریک‌تر (دارای پوشش گیاهی) چندان موفق عمل نکرده است. نتیجه‌ی حاصل از اعمال ترکیب خطی معرفی شده (DI) با در نظر گرفتن مقادیر بیش از ۰/۰۵ - در قسمت (ج) شکل آورده شده است. a و b برابر با ۲ و c و d برابر با ۱ در نظر گرفته شده‌اند.

1 Omission
2 Commission
3 Producer's Accuracy
4 User's Accuracy
5 Overall Accuracy
6 Kappa Coefficient
7 Boschetti et al.
8 Chicco et al.
9 Delgado et al.

همان‌طور که مشخص است این شاخص در تفکیک پهنه‌های گردوغبار از سطوح تاریک و روشن موفق بوده و قادر به شناسایی غبار بر روی آب‌ها (خلیج فارس) نیز بوده است. منابع غبار مشخص شده به صورت بصری، توسط این الگوریتم قابل شناسایی بوده، در صورتی که شناسایی منابع غبار توسط شاخص‌های دیگر با ابهام همراه است. از شکل (۳) مشخص است که تنها الگوریتم DI قادر به شناسایی غبار در بالای دریاچه‌ی ثرثار^۱ (واقع شده در مرکز کشور عراق، مشخص شده در مستطیل آبی رنگ بر روی شکل (۳)) بوده است. در صورتی که شاخص‌های دیگر، این ناحیه را در کلاس بدون غبار طبقه‌بندی کرده‌اند.

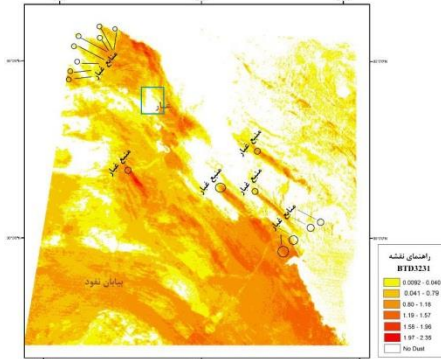
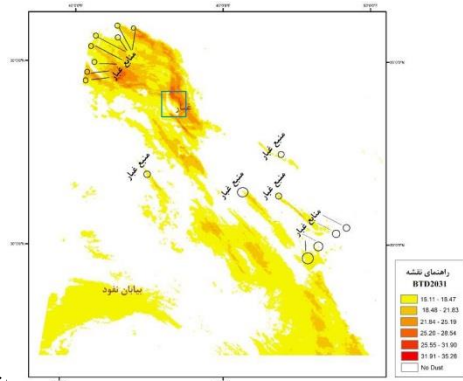
نتایج اعمال شاخص‌های آشکارساز گردوغبار بر روی طوفان غبار ۲۷ خرداد ۱۳۸۷ در شکل (۴) آورده شده است. تصویر رنگی مادیس در قسمت (الف) و طوفان غبار جداسازی شده با استفاده از این تصویر رنگی در قسمت (ب) شکل آمده است. نقاط شروع طوفان نیز بر روی شکل‌ها مشخص گشته است. نتیجه‌ی BTDD32 با اعمال حدآستانه‌ی ۰/۴ کلونین برای جداسازی پهنه‌های غبار در قسمت (پ) شکل آورده شده است. مشخص است که این شاخص در جداسازی پهنه‌های غبار از سایر سطوح به خصوص سطوح روشن (نواحی بیابانی عراق و عربستان) دچار مشکل بوده است. نتیجه‌ی BTDD20-31 با اعمال حدآستانه‌ی ۱۳/۵ کلونین در قسمت (ت) شکل آورده شده است. این شاخص در جداسازی پهنه‌های غبار نسبتاً موفق بوده، ولی قسمت‌هایی از نواحی بیابانی را نیز غبار به شمار آورده است. این شاخص در شناسایی غبار بر روی خلیج فارس ناتوان بوده است. تصویر غبار حاصل از اعمال NDDI با جداسازی مقادیر ۰/۲۲ تا ۰/۳۴ در قسمت (ث) شکل آورده شده است. این شاخص، در این تاریخ، قادر به جداسازی صحیح پهنه‌های غبار نبوده و در تفکیک میان غبار و سطوح تاریک ابهام داشته است. نتیجه‌ی اعمال شاخص DI با در نظر گرفتن مقادیر بیش از ۰/۱- و در نظر گرفتن a برابر ۳، b برابر ۱ و c و d برابر ۲ در قسمت (ج) شکل آورده شده است. با توجه به تصویر رنگی مادیس (قسمت (الف)) پیداست که این شاخص در جداسازی پهنه‌های غبار موفق بوده است. با توجه به قسمت‌های الف و ج شکل (۴)، شناسایی منابع غبار توسط تصویر غبار بدست آمده از DI امکان‌پذیر است. این طوفان غبار از شرق سوریه نشأت و در جهت شمال غربی-جنوب شرقی گسترده شده است. از شکل (۴) مشخص است که دو شاخص BTDD20-31 و DI قادر به شناسایی غبار در بالای دریاچه‌ی ثرثار بوده و غبار بالای دریاچه را نیز در کلاس غبار طبقه‌بندی کرده‌اند.

¹ Tharthar Lake



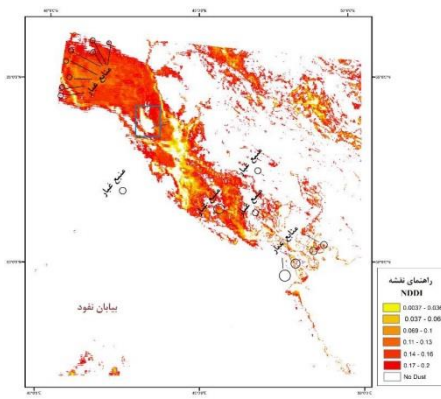
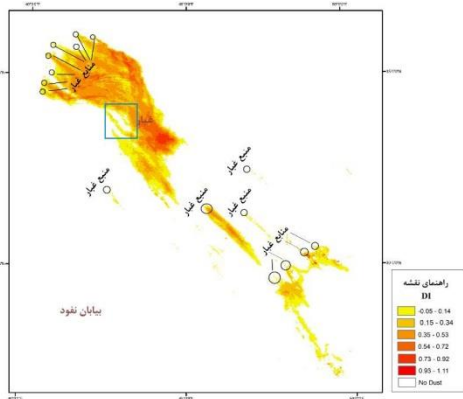
ب.

الف



ج.

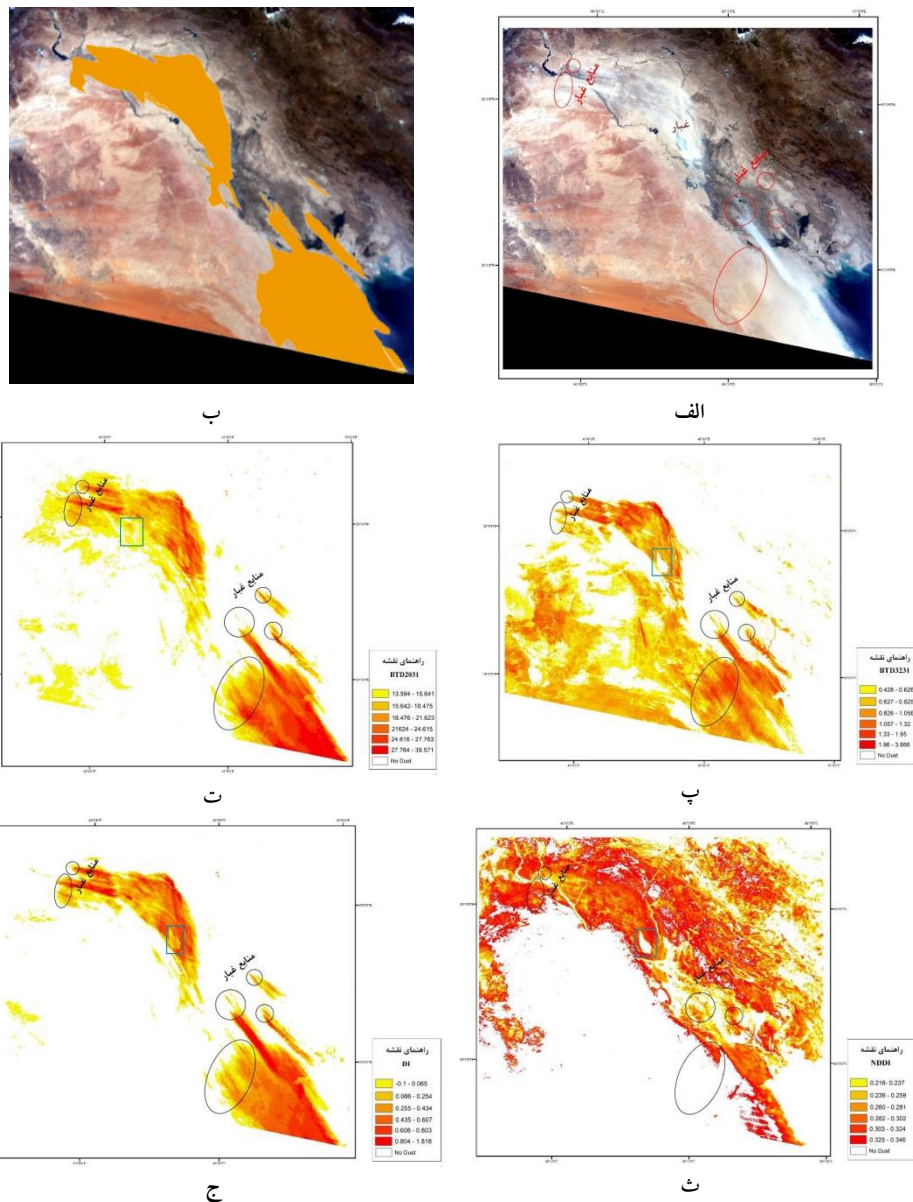
ب.



ج

ث

شکل ۳- الف) تصویر رنگی مادیس، ب) طوفان غبار بدست آمده بر روی تصویر رنگی مادیس و مقایسه‌ی نتایج اعمال پ) (BTD₃₂₋₃₁, ت) (BTD₂₀₋₃₁, ث) (NDDI و ج) (DI بر روی رخداد طوفان غبار ۲۶ خرداد ماه ۱۳۸۷ با در نظر گرفتن حدآستانه‌های مناسب.



شکل ۴- الف) تصویر رنگی مادیس، ب) طوفان غبار بدست آمده بر روی تصویر رنگی مادیس و مقایسه‌ی نتایج اعمال پ) BTD_{32-31} ، ت) BTD_{20-31} ، ث) $NDDI$ و ج) DI بر روی رخداد طوفان غبار در ۲۷ خرداد ماه ۱۳۸۷ با در نظر گرفتن حدآستانه‌های مناسب.

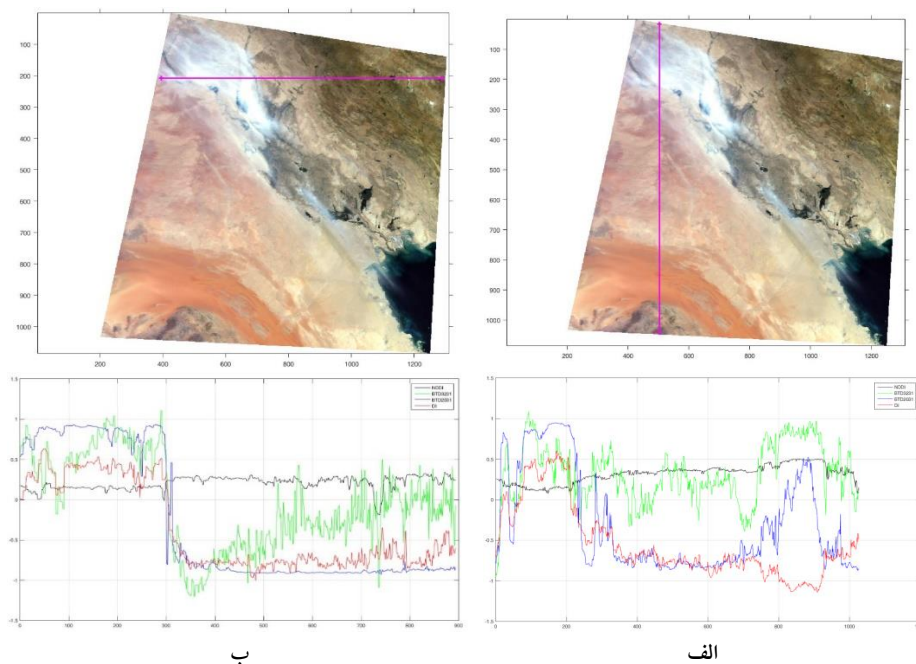
برای تبیین شرایط پاسخ طیفی گردوغبار و بررسی عمیق‌تر عملکرد شاخص‌ها در نواحی بیابانی (سطوح روشن)، پروفیل طیفی برشی از قسمت شمالی-جنوبی منطقه‌ی مورد مطالعه در ۲۶ خرداد ماه ۱۳۸۷، در شکل (۵) قسمت الف آورده شده است. این برش شامل مناطق غبارآلود، غیر غبار و نواحی بیابانی (سطوح روشن) است. لازم به ذکر است، برای ایجاد امکان مقایسه میان شاخص BTD_{20-31} با محدوده‌ی طیفی $0.78/\mu m$ و $35/26$ کلین با دیگر شاخص‌ها، باید محدوده‌ی عددی آن به -1 تا 1 انتقال داده شود. بدین ترتیب، مقدار حدآستانه‌ی در نظر گرفته شده برای این شاخص (15 کلین در طوفان غبار اول) را از مقادیر آن کم نموده و با استفاده

از رابطه‌ی (۶) (یو و همکاران، ۲۰۱۷)، محدوده‌ی طیفی آن به ۱- تا ۱ کلوین انتقال داده شد. بنابراین حدآستانه‌ی جداسازی گردوغبار از سایر پدیده‌ها توسط این شاخص در نمودار شکل (۵) به صفر انتقال یافته است.

$$(BTD_{20-31})_{Rescaled} = \frac{2}{\pi} \times \arctan (BTD_{20-31} - Threshold) \quad (6)$$

که در آن $(BTD_{20-31})_{Rescaled}$ مقادیر BTD_{20-31} انتقال یافته به بازه‌ی ۱- تا ۱ و $Threshold$ حدآستانه‌ی اعمال شده بر روی نتایج BTD_{20-31} (۱۵ کلوین در طوفان غبار اول) است. در قسمت (الف) شکل (۵)، پروفیل طیفی شاخص DI با رنگ قرمز، BTD_{20-31} با رنگ آبی، BTD_{20-31} با رنگ سبز و NDDI با رنگ مشکی مشخص شده است. مشاهده می‌شود که DI در تمایز میان مناطق غبارآلود و غیر غبار بیابانی با در نظر گرفتن حدآستانه‌ی ۰/۰۵- کاملاً موفق بوده است. از شکل پیداست که با اعمال هیچ حدآستانه‌ی مناسبی بر روی شاخص BTD_{32-31} قادر به جداسازی غبار از مناطق غیر غبار نمی‌شود. روند تغییرات شاخص BTD_{20-31} به جز در محدوده‌ی نواحی بیابانی (همانند نفود) مشابه DI است. از نمودار شکل مشخص است که این شاخص در تمایز میان غبار با سطوح روشن (نواحی بیابانی) دچار ابهام می‌شود. این موضوع در شکل (۳) نیز مشهود است.

برای بررسی عمیق‌تر عملکرد شاخص‌ها در نواحی دارای پوشش گیاهی (سطوح تاریک‌تر)، پروفیل طیفی برشی از قسمت غربی-شرقی منطقه مورد مطالعه در ۲۶ خرداد ماه، نیز بررسی می‌شود. این پروفیل در قسمت (ب) شکل (۵) آورده شده است. پروفیل طیفی شاخص DI با رنگ قرمز، BTD_{20-31} با رنگ آبی، BTD_{20-31} با رنگ سبز و NDDI با رنگ مشکی مشخص شده است. مشاهده می‌شود که DI و BTD_{20-31} در تفکیک میان غبار از پدیده‌های دیگر موفق هستند. از قسمت‌های (الف) و (ب) این شکل نتیجه‌گیری می‌شود که BTD_{20-31} در شناسایی غبار از سطوح تاریک موفق بوده و در سطوح روشن است که دچار ابهام شده و به اشتباه قسمتی از نواحی بیابانی را غبار تشخیص می‌دهد. BTD_{32-31} در جداسازی میان غبار از سطوح تاریک‌تر موفق‌تر از جداسازی غبار از نواحی بیابانی عمل کرده است. این موضوع در شکل (۳) نیز مشهود است.



شکل ۵- پروفیل طیفی برشی از قسمت الف) شمالی-جنوبی و ب) غربی-شرقی شاخص - های NDDI، BTDD₂₀₋₃₁، BTDD₃₂₋₃₁ و DI در رخداد طوفان غبار ۲۶ خرداد ماه ۱۳۸۷.

برای ارزیابی گستره‌ی طوفان‌های ماسه و گردوغبار بدست آمده با DI، نتیجه‌ی حاصل از آن با پهنه‌های غبار تشخیص داده شده بر روی تصویر رنگی مادیس، شرح داده شده در گام پنجم، مقایسه می‌گردد. پهنه‌های غبار تشخیص داده شده توسط تصاویر رنگی مادیس برای روزهای ۲۶ و ۲۷ ام خرداد ماه ۱۳۸۷ در قسمت ب شکل (۳) و (۴) مشاهده شدند. در این شکل، طوفان‌های رخ داده شده با رنگ نارنجی مشخص شده‌اند. برای انجام اعتبارسنجی، ابتدا به صورت بصری، اقدام به جداسازی نمونه‌هایی از پیکسل‌های غبارآلود و مناطق بدون غبار بر روی تصاویر رنگی مادیس شد. حدوداً ۱۱۷۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰ پیکسل به صورت تصادفی برای هر یک از مناطق همراه با غبار و بدون غبار به ترتیب برای تاریخ‌های ۲۶ و ۲۷ خرداد ۱۳۸۷ در نظر گرفته می‌شود. سپس ماتریس ابهام و آماره‌های مورد استفاده جهت اعتبارسنجی محاسبه شدند. پارامترهای خطای حذف شده، خطای گماشته شده، دقت تولیدکننده و دقت کاربر برای جداسازی پیکسل‌های غبارآلود و غیر غبار بدست آمده توسط شاخص‌ها در جدول (۳) آورده شده‌اند. ماتریس ابهام تشکیل داده شده نشان می‌دهد که DI در شناسایی رخداد SDS مفید و کارا بوده است. دقت‌های کلی بدست آمده‌ی تشخیص گستره‌ی پهنه‌های غبار توسط DI، BTDD₂₀₋₃₁، NDDI و BTDD₃₂₋₃₁ به ترتیب برای طوفان غبار ۲۶ خرداد ماه ۸۸/۵۹٪، ۸۱/۳۹٪، ۷۳/۵۶٪ و ۵۷/۹۲٪ و برای طوفان غبار ۲۷ خرداد ماه ۹۶/۳۴٪، ۹۴/۱۵٪، ۶۱/۹۵٪ و ۶۸/۸۹٪ بوده است. بنابراین در رخداد طوفان غبار اول، دقت بدست آمده توسط DI تقریباً ۷٪ بیشتر از BTDD₂₀₋₃₁، ۱۵٪ بیشتر از NDDI و ۳۱٪ بیشتر از BTDD₃₂₋₃₁ و در رخداد طوفان غبار دوم، ۲٪ بیشتر از BTDD₂₀₋₃₁، ۲۸٪ بیشتر از BTDD₃₂₋₃₁ و ۳۵٪ بیشتر از NDDI بوده است. ضریب کاپا بدست آمده برای نتایج DI، ۰/۷۷ برای طوفان

غبار اول و ۰/۹۳ برای طوفان غبار دوم بوده است. بنابراین مشخص است که ضریب کاپا بدست آمده از DI از ضریب کاپای حاصل از BTD_{20-31} ، BTD_{32-31} و $NDDI$ بالاتر بوده است. بنابراین نتیجه گیری می شود که شاخص DI نتایج بهتری را بدست داده است.

جدول ۳- ارزیابی دقت شاخص‌ها برای آشکارسازی طوفان‌های ماسه و گردوغبار.

طوفان غبار ۲۶ خرداد ۱۳۸۷							
κ	O_a	U_a	P_a	O_e (درصد)	C_e (درصد)	شاخص	
۰/۶۳	% ۸۱/۳۹	% ۸۹/۵۱ % ۷۶/۰۱	% ۷۱/۱۸ % ۹۱/۶۴	۲۸/۸۲ ۸/۳۶	۱۰/۴۹ ۲۳/۹۹	کلاس غبار کلاس بدون غبار	BTD_{20-31} (حدآستانه‌ی ۱۵)
۰/۴۷	% ۷۳/۵۶	% ۸۳/۳۵ % ۶۸/۱۹	% ۵۸/۹۹ % ۸۸/۱۸	۴۱/۰۱ ۱۱/۸۲	۱۶/۶۵ ۳۱/۸۱	کلاس غبار کلاس بدون غبار	$NDDI$ (حدآستانه‌ی ۰ تا ۰/۲)
۰/۱۶	% ۵۷/۹۲	% ۵۵/۹۸ % ۶۱/۸۴	% ۷۴/۷۸ % ۴۱/۰۰	۲۵/۲۲ ۵۹/۰۰	۴۴/۰۲ ۳۸/۱۶	کلاس غبار کلاس بدون غبار	BTD_{32-31} (حدآستانه‌ی ۰)
۰/۷۷	% ۸۸/۵۹	% ۹۹/۹۹ % ۸۱/۴۰	% ۷۷/۲۲ % ۹۹/۹۹	۲۲/۷۸ ۰/۰۱	۰/۰۱ ۱۸/۶۰	کلاس غبار کلاس بدون غبار	DI (حدآستانه‌ی -۰/۰۵)
طوفان غبار ۲۷ خرداد ۸۷							
κ	O_a	U_a	P_a	O_e (درصد)	C_e (درصد)	شاخص	
۰/۸۸	% ۹۴/۱۵	% ۹۶/۸۷ % ۹۱/۶۶	% ۹۱/۳۷ % ۹۶/۹۸	۸/۶۳ ۳/۰۲	۳/۱۳ ۸/۳۴	کلاس غبار کلاس بدون غبار	BTD_{20-31} (حدآستانه‌ی ۱۳/۵)
۰/۲۴	% ۶۱/۹۵	% ۶۴/۹۳ % ۵۹/۸۱	% ۵۳/۷۵ % ۷۰/۳۳	۴۶/۲۵ ۲۹/۶۷	۳۵/۰۷ ۴۰/۱۹	کلاس غبار کلاس بدون غبار	$NDDI$ (حدآستانه‌ی ۰/۲۲ تا ۰/۳۴)
۰/۳۸	% ۶۸/۰۹	% ۶۶/۱۶ % ۷۲/۹۹	% ۷۸/۶۷ % ۵۸/۸۹	۲۱/۳۳ ۴۱/۱۱	۳۳/۸۴ ۲۷/۰۱	کلاس غبار کلاس بدون غبار	BTD_{32-31} (حدآستانه‌ی ۰/۴)
۰/۹۳	% ۹۶/۳۳	% ۹۹/۹۵ % ۹۳/۱۶	% ۹۲/۸۱ % ۹۹/۹۵	۷/۱۹ ۰/۰۵	۰/۰۵ ۶/۸۴	کلاس غبار کلاس بدون غبار	DI (حدآستانه‌ی -۰/۱)

برای ارزیابی کمی میان طوفان غبار بدست آمده از AOD با اعمال حدآستانه‌ی ۰/۶ و طوفان غبار بدست آمده از شاخص‌های DI، BTD_{20-31} ، BTD_{32-31} و $NDDI$ ، آماره‌های مورد استفاده جهت اعتبارسنجی محاسبه شدند. این آماره‌ها نشان می‌داد که دقت کلی SDS بدست آمده توسط DI، BTD_{20-31} و $NDDI$ و BTD_{32-31} به ترتیب برابر ۸۲/۱، ۷۴/۰۲، ۷۷/۶۲ و ۵۱/۱۹ است. بنابراین با توجه به نمونه‌های گرفته شده برای تشکیل ماتریس ابهام، DI و $NDDI$ نزدیکی بیش تری با نتیجه‌ی بدست آمده توسط AOD به عنوان

مرجع را داشته‌اند. بنابراین SDS بدست آمده توسط DI، در مقایسه با SDS بدست آمده از AOD، به ترتیب ۵٪، ۸٪ و ۳۱٪ دقت بالاتری را نسبت به NDDI، BTD₂₀₋₃₁ و BTD₃₂₋₃₁ بدست داده است.

نتیجه‌گیری

الگوریتم پیشنهادی معرفی شده (DI) در این مقاله برای شناسایی طوفان‌های ماسه و گردوغبار (SDS) مبتنی بر باندهای انعکاسی (باندهای ۳ (۴۷۹ - ۴۵۹ نانومتر) و ۷ (۲۱۵۵ - ۲۱۰۵ نانومتر) و حرارتی باندهای ۲۰ (۳۸۴۰ - ۳۶۶۰ نانومتر)، ۳۱ (۱۱۲۸۰ - ۱۰۷۸۰ نانومتر) و ۳۲ (۱۲۲۷۰ - ۱۱۷۷۰ نانومتر) مادیس در جنوب غرب آسیا است. دلیل بهبود نتایج حاصل از DI را می‌توان مزیت ترکیب باندهای انعکاسی ۳ و ۷ و باندهای مادون قرمز حرارتی ۲۰، ۳۱ و ۳۲ در آشکارسازی گردوغبار دانست. با مشاهده‌ی پروفیل‌های طیفی برشی از قسمت‌های شمالی-جنوبی و غربی-شرقی و مقایسه‌ی نتایج DI با طوفان غبار جداسازی شده به صورت بصری توسط تصویر رنگی مادیس و طوفان غبار جداسازی شده توسط عمق نوری هواویز (AOD) نتیجه‌گیری شد که این شاخص در شناسایی طوفان‌های ماسه و گردوغبار از نواحی تاریک (دارای پوشش گیاهی) و روشن (نواحی بیابانی) موفق بوده و قادر به شناسایی گردوغبار در بالای آب‌ها نیز بوده است. شناسایی نقاط شروع گردوغبار توسط این شاخص امکان‌پذیر است. شاخص BTD₂₀₋₃₁ در جداسازی غبار از سطوح روشن (نواحی بیابانی)، NDDI در تمایز میان غبار و نواحی تاریک‌تر (دارای پوشش گیاهی) و شاخص BTD₃₂₋₃₁ در جداسازی غبار از پدیده‌های دیگر (روشن و تاریک) دچار ابهام بوده که با نتایج حاصل از تحقیقات زینالی و اصغری (۱۳۹۳)، یو و همکاران (۲۰۱۷)، کو و همکاران (۲۰۰۶)، هان و همکاران (۲۰۱۳) و بین ابوالواحد و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد.

دقت کلی تشخیص طوفان‌های ماسه و گردوغبار رخ داده شده در ۲۶ و ۲۷ ام خرداد ماه ۱۳۸۷ توسط این الگوریتم به ترتیب ۸۸ و ۹۶ درصد است. بنابراین این الگوریتم در شناسایی گستره‌ی این طوفان‌ها موفق عمل کرده است. دقت کلی تشخیص SDS ۲۶ خرداد ماه توسط این ترکیب حدوداً ۷ درصد بالاتر از BTD₂₀₋₃₁، ۱۵ درصد بالاتر از NDDI و ۳۱ درصد بالاتر از BTD₃₂₋₃₁ و در رخداد طوفان غبار در ۲۷ خرداد ماه به ترتیب ۲٪، ۲۸٪ و ۳۵٪ بالاتر از BTD₂₀₋₃₁، BTD₃₂₋₃₁ و NDDI بوده است. جداسازی گستره‌ی مکانی طوفان غبار با استفاده از AOD و مقایسه‌ی نتایج حاصل از آن توسط شاخص‌ها نشان داد که دقت کلی محاسبه شده برای تصویر غبار حاصل از شاخص معرفی شده در مقایسه با شاخص‌های NDDI، BTD₂₀₋₃₁ و BTD₃₂₋₃₁ به ترتیب ۵٪، ۸٪ و ۳۱٪ بالاتر بوده است. بنابراین DI پتانسیل بالایی در شناسایی و پایش SDS و شناسایی مناطق غبارآلود از غیر غبار را در مقیاس‌های بالا در جنوب غرب آسیا دارد.

نقاط شروع و منابع تولید گردوغبار در روزهای بررسی شده با توجه به الگوریتم پیشنهادی، شرق سوریه، مرز سوریه و عراق، شمال غرب، جنوب شرق و جنوب عراق و شمال عربستان بوده است که با نتایج حاصل

از تحقیقات فلاح ززولی و همکاران^۱ (۱۳۹۳)، مریدنژاد و همکاران^۲ (۲۰۱۵)، خاموشی و همکاران^۳ (۲۰۱۶)، برومندی و بختیارپور (۱۳۹۵)، کیخسروی و حاصلی (۱۳۹۶) و طاوسی و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد. در مطالعات آتی می‌توان از باندهای حاصل از سنجنده‌های دیگر با توان تفکیک مکانی بالاتر برای شناسایی جزئی‌تر بهره‌مند شد. هم‌چنین پیشنهاد می‌گردد که برای تعمیم هر چه بهتر عملکرد الگوریتم پیشنهادی، از آن برای شناسایی رخداد طوفان‌های ماسه و گردوغبار در شب نیز بهره جست.

سپاس‌گزاری

از اداره کل ملی هوانوردی و فضا (NASA) و سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن تصاویر و محصول عمق نوری هواویز مادیس و داده‌های قدرت دید افقی سپاس‌گزاری می‌نماییم.

References:

- Ackerman, Steven A. (1997). "Remote sensing aerosols using satellite infrared observations." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102, no. D14: 17069-17079.
- Ackerman, Steven A. (1989). "Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 μm to tract dust outbreaks." *Remote Sensing of Environment* 27, no. 2: 129-133.
- Albugami, S., Palmer, S., Meersmans, J., & Waive, T. (2018). Evaluating MODIS dust-detection indices over the Arabian Peninsula. *Remote Sensing*, 10(12), 1993.
- 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.
- Bahl, T. (2003). *Encyclopaedia of Muslim world*. Anmol publ.
- Bin Abdulwahed, A., Dash, J., & Roberts, G. (2019). An evaluation of satellite dust-detection algorithms in the Middle East region. *International journal of remote sensing*, 40(4), 1331-1356.
- Boroghani, M., Pourhashemi, S., Zanganeh Asadi, M., Moradi, H. (2017). Dust Source Identification in the Middle East by Using Remote Sensing. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(11), 101-118. doi: 10.22111/jneh.2017.2959, (in Farsi).
- Boschetti, L., Flasse, S. P., & Brivio, P. A. (2004). Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: The Pareto Boundary. *Remote sensing of environment*, 91(3-4), 280-292.
- Broomandi, P., & Bakhtiar Pour, A. (2017). Dust source identification using physical-chemical characterization and numerical modeling in Masjed Soleyman. *Iranian Journal of Health and Environment*, 9(4), 517-526, (in Farsi).
- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., & Zhou, N. (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502, 224-235.

¹ Fallah et al.

² Moridnejad et al.

³ Khamooshi et al.

- Cao, H., Liu, J., Wang, G., Yang, G., & Luo, L. (2015). Identification of sand and dust storm source areas in Iran. *Journal of Arid Land*, 7(5), 567-578.
- Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC genomics*, 21(1), 1-13.
- Dayan, U., Heffter, J., Miller, J., & Gutman, G. (1991). Dust intrusion events into the Mediterranean basin. *Journal of Applied Meteorology*, 30(8), 1185-1199.
- Delgado, R., & Tibau, X. A. (2019). Why Cohen's Kappa should be avoided as performance measure in classification. *PloS one*, 14(9), e0222916.
- Esmaili, O., Tajrishy, M., & Arasteh, P. D. (2006). Evaluation of dust sources in Iran through remote sensing and synoptical analysis. In *Atlantic Europe conference on remote imaging and, spectroscopy* (pp. 136-43).
- Fallah Zazuli, M., Vafaeinezhad, A., Kheirkhah Zarkesh, M., Ahmadi Dehka, F. (2014). Monitoring and Synoptic Analysis of Dust Haze Phenomenon using Remote Sensing and GIS (Case study: June 18, 2012 Dust haze). *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 23(91), 69-80. doi: 10.22131/sepehr.2014.12863, (in Farsi).
- Farajzadeh, M., and Alizadeh, A. (2011). Temporal and spatial analysis of dust storms in Iran. *The Journal of Spatial Planning*, 22(1), 65-84, (in Farsi).
- Han, L., Tsunekawa, A., Tsubo, M., & Zhou, W. (2013). An enhanced dust index for Asian dust detection with MODIS images. *International journal of remote sensing*, 34(19), 6484-6495.
- Keikhosravi, G., and Haseli, M. (2017). Trajectory simulation of some examples of severe dust storms in Kermanshah province from the perspective of the companion and the HYSPLIT model. *Physical Geography Quarterly*, 10(37), 59-82, (in Farsi).
- Kermani M, Taherain E, Izanloo M. Analysis of dust and dust storms in Iran, Investigation Internal and external origin of dust storms in Iran using satellite images and Control methods. *rsj*. 2016; 2 (1) :39-51, (in Farsi).
- Khamooshi, S., Panahi, F., Vali, A., & Mousavi, S. H. (2016). Dust storm monitoring using HYSPLIT model and NDDI (Case study: Southern cities of Shiraz, Bushehr and Fasa, Iran). *Ecopersia*, 4(4), 1603-1616.
- Lyapustin, A., Wang, Y., Korkin, S., & Huang, D. (2018). MODIS collection 6 MAIAC algorithm. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(10), 5741-5765.
- Lyapustin, A., & Wang, Y. (2018). MODIS Multi-Angle Implementation of Atmospheric Correction (MAIAC) Data User's Guide. *NASA: Greenbelt, MD, USA*.
- Mehrabi, S., Jafari, R., Soltani, S. (2015). Investigating the Performance of NDDI index for dust mapping of arid lands (Khuzestan Province), *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 4(8): 1-10, (in Farsi).
- Moridnejad, A., Karimi, N., & Ariya, P. A. (2015). A new inventory for middle east dust source points. *Environmental monitoring and assessment*, 187(9), 1-11.
- Nabavi, S. O., Haimberger, L., & Samimi, C. (2016). Climatology of dust distribution over West Asia from homogenized remote sensing data. *Aeolian Research*, 21, 93-107.
- Naeimi, M., Yousefi, M., Khosroshahi, M., Zandifar, S., Ebrahimikhusfi, Z. (2020). Climatic factors affecting dune mobility in the west of Khorasan Razavi Province, Iran. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 7(2), 25-45, (in Farsi).
- Omidvar, K., Alizadeh, M., & Mehr Afarin, R. (2015). Synoptic Analysis of Transfer Patterns of the Atmospheric Dust to Khuzestan Province. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 3(2), 73-96, (in Farsi).

- Omidvar, K., Omid, Z. (2013). The Analysis of Dust Phenomenon in the Southern and Central Fars Province. *The Journal of Geographical Research on Desert Areas*, 1(1), 85-114, (in Farsi).
- 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.
- Samadi, M., Bolorani, A. D., Alavipanah, S. K., Mohamadi, H., & Najafi, M. S. (2014). Global dust Detection Index (GDDI); a new remotely sensed methodology for dust storms detection. *Journal of environmental health science and engineering*, 12(1), 1-14.
- Shahraiyani, H. T., Karimi, K., Nokhandan, M. H., & Moghadas, N. H. (2015). Monitoring of dust storm and estimation of aerosol concentration in the Middle East using remotely sensed images. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(4), 2095-2110.
- Strandgren, J., Mei, L., Vountas, M., Burrows, J. P., Lyapustin, A., & Wang, Y. (2014). Study of satellite retrieved aerosol optical depth spatial resolution effect on particulate matter concentration prediction. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 14(18), 25869-25899.
- Taghavi, F., Owlad, E., & Ackerman, S. A. (2017). Enhancement and identification of dust events in the south-west region of Iran using satellite observations. *Journal of Earth System Science*, 126(2), 28.
- Tavousi, T., Khosravi, M., Raispour, K. (2010). Dust phenomenon is the most important environmental crisis in Khuzestan province. *Political and Economic Ettela'at*, No. 273, pp. 166-177, (in Farsi).
- Yue, H., He, C., Zhao, Y., Ma, Q., & Zhang, Q. (2017). The brightness temperature adjusted dust index: An improved approach to detect dust storms using MODIS imagery. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 57, 166-176.
- Zeinali, B., Asghari, S. (2018). Evaluation of some indicators to identify and monitor dust storm (case study: dust storms 10 August 2008 East the Iran). *Geography and Planning*, 22(65), 205-222, (in Farsi).
- Zoljoodi, M., Didevarasl, A., & Saadatabadi, A. R. (2013). Dust events in the western parts of Iran and the relationship with drought expansion over the dust-source areas in Iraq and Syria.

Original Research Article

A New Algorithm Based on Reflective and Thermal Infrared MODIS Bands to Detect the Spatial Extent of Sand and Dust Storm in Southwestern Asia

Farinaz Farhanj¹, Nadia Abbaszadeh Tehrani², Milad Janalipour³

1-M.Sc., Remote Sensing, Surveying and Geospatial Engineering, Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and technology, Tehran. Iran.

2-Assistant Professor, Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and technology, Tehran. Iran.

3-Assistant Professor, Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and technology, Tehran. Iran.

Received: 2020 February 16

Accepted: 2021 July 15

Introduction

Sand and dust storms (SDS) are natural phenomena that commonly occur in semi-arid and arid parts of the world due to wind erosion and atmospheric turbulence near the Earth's surface. SDS can spread large amounts of dust and aerosol particles in the environment. These storms reduce the visibility to less than 1000 meters, which can affect the various activities and infrastructures. These phenomena have also harmful impacts on human health, and the environment. In recent years, the occurrence of the SDS has increased considerably in Iran, northeastern Iraq, Syria, and southern Saudi Arabia in summer and spring. Therefore, it is important to identify the spatial extent of SDS more accurately. With the development of satellite technologies, remote sensing has played an important role to dust detection due to the possibility of providing extensive spatial coverage. MODIS provides appropriate images for studying SDS. Commonly used MODIS-based dust indices, such as Brightness Temperature Difference (BTD) index between band 32 and band 31 (BTD₃₂₋₃₁), and band 20 and 31 (BTD₂₀₋₃₁), and Normalize Difference Dust Index (NDDI) can't monitor SDS more accurately. These indices have some issues with differentiating between SDS and bright surfaces like deserts, dark surfaces like vegetation regions, clouds, and water bodies. So in this paper, a new dust detection algorithm, which is based on reflective and thermal infrared bands was introduced and used to identify two dust events in Asia that occurred July 15 and 16, 2008.

Methodology

The study area is located in southwestern Asia, which includes Iraq, northeastern Syria, and western Iran. In this research, MODIS Level 1B (L1B) data from the Terra satellite (MOD021KM), and Aerosol Optical Depth (AOD) product of MODIS Level 2 aerosol data (MCD19A2) were utilized to identify SDS and validate the results, respectively. The proposed method was performed in five steps. In the first step, data were mapped to the UTM coordinate system using the MODIS Conversion Toolkit (MCTK) of ENVI 5.3, and then converted to the calibrated reflectance values of bands 1, 3, 4, and 7, and brightness temperature values of bands 20, 31, and 32. In the second step, BTD₃₂₋₃₁, BTD₂₀₋₃₁, NDDI,

and the proposed new algorithm, which consists of a linear combination of blue (0.459-0.479 μm), Shortwave Infrared (SWIR 2.105-2.155 μm), and three Thermal Infrared (TIR 3.66-3.84, 10.78-11.28, and 11.77-12.27 μm) bands of MODIS, were calculated. In the third step, the appropriate thresholds for separating dusty pixels from dust-free areas were chosen by visually interpreting and comparing the results of the indices with the true color RGB MODIS images. In the fourth step, by applying the threshold of 290 Kelvin to band 31, the cloudy pixels were separated, and finally, the SDS was identified. In the last step, the performance of the algorithms was validated using the SDS extracted by MODIS true-color images, and MODIS AOD product.

Discussion and Results

According to the results of the calculated indices, BTD_{32-31} could not distinguish between SDS and the other regions, such as deserts, vegetation regions, and water bodies, BTD_{20-31} could not differentiate between SDS and bright surfaces, such as deserts, and NDDI could not separate SDS from dark surfaces, such as vegetated areas. In comparison with the mentioned indices, the proposed algorithm was able to detect SDS with respect to bright surfaces, dark surfaces, and water bodies, such as Tharthar Lake in Iraq, and the Persian Gulf. This indicated that the proposed algorithm can also represent the dust sources more accurately than BTD_{32-31} , BTD_{20-31} , and NDDI. The spectral profile of the North-South and West-East transects of BTD_{32-31} , BTD_{20-31} , NDDI, and the proposed algorithm also demonstrated that the proposed algorithm has been quite successful in separating dusty pixels from dust-free areas, while the other indices had difficulty differentiating between dust and the other regions by applying a proper threshold. The results of the validation of the dust detection indices to SDS extracted by MODIS true-color images showed that the proposed algorithm, BTD_{20-31} , NDDI, and BTD_{32-31} detected SDS extent with an overall accuracy of 88.59%, 81.39%, 73.56%, and 57.92% on July 26, and 96.34%, 94.15%, 61.95%, and 68.89% on July 27, respectively. The results of the validation of the dust detection indices to SDS extracted by MODIS AOD product also demonstrated that the proposed algorithm, BTD_{20-31} , NDDI, and BTD_{32-31} detected SDS extent with an overall accuracy of 82.1%, 74.02%, 77.62%, and 51.9%, respectively.

Conclusion

The proposed SDS detection algorithm introduced in this study was based on linear combination of reflective bands blue (band 3), and SWIR (band 7), and thermal infrared bands 20, 31, and 32. The results indicated that this algorithm was able to effectively separate SDS from dark surfaces, bright surfaces, and water bodies with choosing proper threshold value. It was also possible to detect dust sources by this algorithm. According to the results of this algorithm, the SDS originated from the eastern Syria, Iraqi-Syrian border, northwestern, southeastern, and southern Iraq, and northern Saudi Arabia. Results also indicated that BTD_{32-31} , BTD_{20-31} , NDDI had limitations in separating SDS from the other regions, bright surfaces, and dark surfaces, respectively. Validation of these dust detection indices and the proposed algorithm with respect to SDS extracted by MODIS true-color images showed that the proposed algorithm detected SDS extent with an overall accuracy of more than 88%, which was 7%, 15%, and 31% higher than the results derived from BTD_{20-31} , NDDI and BTD_{32-31} , respectively. Also, according to SDS detected by MODIS MCD19A2 Aerosol Optical Depth (AOD) product data, the proposed index identified SDS with an overall accuracy of 82%, which was 5%, 8%, and 31% higher than the results derived from NDDI, BTD_{20-31} , and BTD_{32-31} , respectively. Therefore, our results suggested that the proposed algorithm could effectively capture large-scale SDS and separate dusty pixels from dust-free areas in western Asia.

Keywords: Aerosol Optical Depth (AOD), Dust Spatial Indices, MODIS, Sand and Dust Storms (SDS), Normalize Difference Dust Index, Brightness Temperature Difference Index.