مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیست و دوم، زمستان ۱۳۹۸
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۱
تاریخ بازنگری اولیه مقاله: ۱۳۹۷/۰۷/۰۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴
صفحات: ۹۴ - ۷۵

بررسی کارایی شاخص BADI: رویکرد بهبود یافته جهت تشخیص طوفان‌های گردوغبار خاورمیانه با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS

سیدعبدالحسین آرامی[۱]، مجید اونق[۲]، علی محمدیان بهبهانی[۳]*، مهری اکبری[۴]، علیرضا زراسوندی[۵]

چکیده

گردوغبار یکی از رویدادهای جوی مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است که در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی داشته و آثار و پیامدهای نامطلوبی را در بخش‌های مختلف بر جای گذاشته است. تصاویر سنجنده MODIS به دلیل قدرت تفکیک طیفی و زمانی بالا، به طور گسترده‌ای برای تشخیص طوفان گردوغبار استفاده می‌شوند. شاخص‌های گردوغبار زیادی مبتنی بر MODIS موجود هستند. در این مطالعه، از شاخص بهبود یافته دمای روشنایی گردوغبار (BADI) برای پایش چندین موج طوفان گردوغبار در غرب خاورمیانه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶، با استفاده از ترکیب دمای روشنایی سه باند تصاویر MODIS: باند ۲۰ (۳/۸۴-۳/۶۶ میکرومتر)، باند ۳۱ (۱۱/۲۸-۱۰/۷۸ میکرومتر) و باند ۳۲ (۱۲/۲۷-۱۱/۷۷ میکرومتر) استفاده شده است. تفسیر بصری خروجی BADI نشان داد که این روش تشخیص، قادر است نه تنها به طور مؤثر محل هسته‌های اصلی طوفان‌های گردوغبار را شناسایی کند، بلکه می‌تواند گردوغبار را از زمین‌های لخت و ابرها تشخیص دهد. تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین BADI و MODIS Deep Blue AOD وجود دارد. برای پنج موج طوفان گردوغبار، ضرایب تعیین (R^2) رگرسیون بین مقادیر BADI و MODIS Deep Blue AOD به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۴۸، ۰/۶۷، ۰/۵۳ و ۰/۴۵ (P< ۰/۰۱) بود. نتایج نشان داد که شاخص BADI در مقایسه با اغلب شاخص‌های گردوغبار مبتنی بر تصاویر MODIS از قبیل شاخص اختلاف دمای روشنای در باند ۳۲ و ۳۱ (BTD32-31) و شاخص تفاضل نرمال شده گردوغبار (NDDI)، مقدار و تراکم فضایی طوفان گردوغبار را دقیق‌تر نشان می‌دهد. همچنین BADI هماهنگی خوبی با شاخص عمق هواویز نوری (MODIS Deep Blue) نشان می‌دهد ($R^2 = 0.70, P < 0.01$).

واژگان کلیدی: طوفان گردوغبار، مودیس، دمای روشنایی، عمق هواویز نوری، غرب خاورمیانه.

[۱]- دانشجوی دکتری، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان arami1854@gmail.com
[۲]- استاد، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان mownegh@yahoo.com
[۳]- استادیار، گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان(نویسنده مسئول) mohammadian@gau.ac.ir
[۴]- استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه خوارزمی mehryakbary@khu.ac.ir
[۵]- استاد، گروه زمین شناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز zarasvandi_a@scu.ac.ir

مقدمه

سنجش از دور علم، فن و هنر بدست آوردن اطلاعات در مورد پدیده‌ها از راه دور است، به عبارتی دیگر جمع آوری اطلاعات از مناطقی که به دلیل خطرناک بودن، هزینه زیاد و بعد مسافت به طور مستقیم قابل دسترسی نیست (درویش صفت و همکاران، ۱۳۹۱). طوفان‌های گردوغبار، حوادث پرخطر آب و هوایی هستند که معمولاً در سرزمین‌های خشک در سراسر جهان اتفاق می‌افتند (یانگ[1] و همکاران، ۲۰۰۱). طبق تعریف سازمان جهانی هواشناسی، یک طوفان گردوغبار، باد شدیدی است که مقدار زیادی از ذرات ریز گردوخاک را بالا برده و دید افقی را بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر کاهش می‌دهد (WMO and UNEP, 2011)؛ که اغلب توسط دو ویژگی عمده اندازه و تراکم گردوغبار اندازه گیری می‌شود (WMO and UNEP, 2011). برای تشخیص پدیده‌های گردوغبار، تصاویر ماهواره‌ای با پوشش وسیع و تکرار زیاد همراه با باندهای طیفی بالا نیاز است. سنجنده مادیس از ماهواره ترا و آکوا دارای توان تفکیک رادیومتریکی بالا بوده و بازه وسیعی از انرژی تابشی محدوده مرئی و نامرئی را پوشش داده که از این لحاظ برای بررسی توفان‌های گردوغبار مورد استفاده قرار می‌گیرد (آرامی و همکاران، ۱۳۹۷). مناطق خشک در سراسر دریای عمان و خلیج فارس مانند ایران، افغانستان، هند و پاکستان معمولاً فراوانی بالایی از طوفان گردوغبار دارند به گونه‌ای که گاهی تا ۳۰ رویداد در سال را تجربه می‌کنند (العسکری[2] و همکاران، ۲۰۰۴). طوفان‌های گردوغبار در توزیع مواد مغذی و گردش ژئوشیمیایی در فواصل بزرگ کمک می کنند و شامل انواع مواد مانند باکتری، آلاینده‌های آلی و عناصر کمیاب هستند (بوزلاکر[3] و همکاران، ۲۰۱۳؛ سانچز[4] و همکاران، ۲۰۱۳). طوفان‌های گردوغبار با توجه به جذب و انعکاس تابش خورشید به طور مستقیم بر اقلیم تاثیر می‌گذارند(چوباری[5] و همکاران، ۲۰۱۴؛ گاناسیلن[6] و همکاران، ۲۰۱۴). همچنین طوفان گردوغبار دید افقی را کاهش می‌دهد که می تواند خطر بزرگی برای صنعت حمل و نقل باشد (یانگ و همکاران، ۲۰۰۱). علاوه بر این، طوفان‌های گردوغبار باعث افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های مرتبط حوزه سلامت مانند بیماری‌های تنفسی می‌شود (کایزر[7]، ۲۰۰۵). بنابراین، ضروری است تا طوفان‌های گردوغبار را به موقع و دقیق شناسایی شوند. روشهای گوناگونی برای پایش بر طوفان گردوغبار ارائه و ارزیابی شده‌اند. این روش‌ها شامل مشاهدات زمینی (کروساکی[8] و همکاران، ۲۰۱۱) مدل‌های شبیه‌سازی مانند اداره ملی اقیانوسی و جو (NOAA[9]) مدل دوگانه مسیریابی لاگرانژی تک ذره‌ای هیبریدی (HYSPLIT[10]) (لی[11] و همکاران، ۲۰۱۰) و

[1] Yang
[2] El-Askari
[3] Bozlaker
[4] Sanchez
[5] Choobari
[6] Gunaseelan
[7] Kaiser
[8] Kurosaki
[9] National Oceanic and Atmospheric Administration
[10] Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory
[11] Lee

سنجش از دور (بانکز[1] و همکاران، ۲۰۱۳) می‌باشد. در مقایسه با سایر روش‌ها، سنجش از دور به دلیل توانایی پوشش جهانی مؤثر، در حال تبدیل شدن به یکی از روش‌های پایه برای شناسایی طوفان‌های گردوغبار در مقیاس‌های وسیع است (شپانسکی[2] و همکاران، ۲۰۱۲). به خصوص استفاده از تصاویر MODIS به دلیل قدرت تفکیک طیفی و زمانی بالا، به طور گسترده‌ای برای تشخیص طوفان گردوغبار مورد توجه قرار گرفته است (جعفری و مالکیان[3]، ۲۰۱۵). برای تشخیص طوفان‌های گردوغبار، تعدادی شاخص های گردوغبار متعددی مبتنی بر MODIS توسعه یافته‌اند (کیو و همکاران، ۲۰۰۶). از میان آنها، اختلاف دمای روشنایی[4] (BTD) و شاخص تفاضل نرمال شده گردوغبار[5] (NDDI) دو شاخصی هستند که به طور گسترده استفاده می شوند (جدول ۱).

جدول ۱: شاخص‌های معمول استفاده شده گردوغبار (منبع)

نوع طیف	شاخص گردوغبار	رابطه	منبع
باندهای مادون قرمز حرارتی	اختلاف دمای روشنایی (BTD)	BTD32-32=BT32-BT31 BTD20-31=BT20-BT31 که در آن: BT20، BT31 و BT32 به ترتیب دمای روشنایی باند ۲۰ (۳/۶۶-۳/۸۴ میکرومتر)، باند ۳۱ (۱۰/۷۸-۱۱/۲۸ میکرومتر) و باند ۳۲ (۱۱/۷۷-۱۲/۲۷ میکرومتر) تصاویر MODIS می‌باشد	(آکرمن، ۱۹۸۹) (آکرمن، ۱۹۹۷) (هوانگ. همکاران، ۲۰۰۷)
باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک	شاخص تفاضل نرمال شده گردوغبار (NDDI)	NDDI=R7-R3/R7-R3 که در آن: R3 و R7 به ترتیب بازتابش باند ۷ (۰/۴۶۹ میکرومتر) و باند ۳ (۲/۱۳ میکرومتر) تصاویر MODOS می‌باشد.	(هان و همکاران، ۲۰۱۳) (کریمی و همکاران، ۲۰۱۴) (جعفری و مالکیان، ۲۰۱۵)

فلاح و همکاران (۱۳۹۳) منشاء رخداد پدیده گردوغبار مربوط به ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ که در نواحی غرب و جنوب غرب کشور رخ داده بود را به کمک تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از باندهای مرئی و باندهای حرارتی سنجنده مادیس و با بکارگیری شاخص آکرمن شناسایی کردند. نتایج نشان داد که تصاویر سنجنده MODIS به دلیل در دسترس بودن، هزینه کم و تکرارپزیری آن در ۲ بازه زمانی در ۲۴ ساعت برای پایش گردوغبار مناسب می‌باشد. شمشیری و همکاران (۱۳۹۳) برای پهنه‌بندی گردوغبار، دو رویداد مهم در تاریخ‌های ۲۰۰۸/۹/۵ و ۲۰۰۹/۷/۵ انتخاب و داده‌های ماهواره‌ای سطح MODIS 1B تهیه و با استفاده از ابزار تبدیل فرمت MODIS این داده‌ها جهت اعمال شاخص‌های گردوغبار آکرمن، میلر و TDI به دمای ظاهری تبدیل شدند. نتایج نشان داد که بر اساس داده‌های قدرت دید و نقشه‌های شدت گردوغبار، مشخص گردید که کارایی شاخص‌های گردوغبار MODIS از رویدادی به رویداد دیگر

[1] Banks
[2] Schepanski
[3] Jafari and Malekian
[4] Brightness temperature difference
[5] Normalized difference dust index

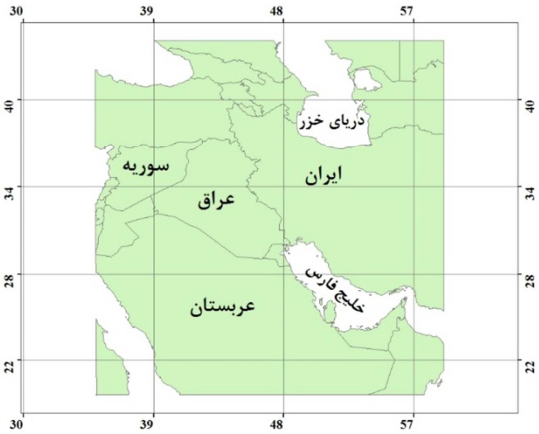
متفاوت بوده و شاخص آکرمن بهترین کارایی و بعد از آن شاخص TDI و میلر قرار داشت. شاخص BTD که در اصل توسط آکرمن[1] (۱۹۸۹، ۱۹۹۷) تعریف شده است به طور گسترده‌ای برای باندهای MODIS جهت مقایسه بین باند ۲۰ (۳/۶۶ تا ۳/۸۴ میکرومتر) و باند ۳۱ (۱۰/۷۸ تا ۱۱/۲۸ میکرومتر) یا BTD20-31 و باند ۳۲ (۱۱/۷۷ تا ۱۲/۲۷ میکرومتر) و ۳۱ یا BTD32-31 استفاده شده‌اند (آکرمن، ۱۹۸۹ و ۱۹۹۷). شاخص BTD20-31 عمق طوفان گردوغبار را نشان می‌دهد و به وضوح بین گردوغبار و زمین لخت می‌تواند تفاوت قائل شود، هر چند نمی‌تواند بین ابر و طوفان گردوغبار تمایزی قائل شود (آکرمن، ۱۹۸۹). شاخص BTD32-31 قادر به تمایز بین ابر و گردوغبار است، اما نمی‌تواند براحتی تراکم گردوغبار را اندازه‌گیری کند (هائو و کیو[2]، ۲۰۰۷). بر خلاف BTD، شاخص NDDI شاخصی مبتنی بر داده‌های باند مرئی و مادون قرمز نزدیک است. این شاخص مبتنی بر مشاهداتی است که بطور کلی انعکاس گردوغبار از ۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر افزایش می‌یابد که حداقل مقدار در باند ۳ (۰/۴۶۹ میکرومتر) و حدکثر مقدار در باند ۷ (۲/۱۳ میکرومتر) می‌باشد (کریمی[3] و همکاران، ۲۰۱۴). با این حال، NDDI بسیار حساس به سطوح بالای آلبدو است و ممکن است ویژگی‌های گردوغبار و زمین با انعکاس مشابه را اشتباه بگیرد (هان و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین بنظر می‌رسد که تراکم گردوغبار را ناچیز در نظر می‌گیرد (جعفری و مالکیان، ۲۰۱۵). ادغام ارزیابی صحت کمی برای وضوح بیشتر در مطالعات، یک چالش عمده برای جامعه سنجش از دور است (ژائو[4] و همکاران، ۲۰۱۲). از آنجایی که دستیابی به ارزیابی قابل اعتماد و مرجع در مقیاس‌های منطقه‌ای یا ناحیه‌ای دشوار است، تصاویر با وضوح بالا (شیائو[5] و همکاران، ۲۰۰۹) و داده‌های منتشر شده توسط سازمان‌ها (گود[6] و همکاران، ۲۰۱۲) به عنوان مرجع استفاده می‌شود. از آنجایی‌که هر شاخص مزایا و معایب خاصی را ارائه می‌دهد، توسعه بیشتر یک شاخص گردوغبار مبتنی بر تصاویر MODIS برای تشخیص دقیق و همزمان دو ویژگی اصلی طوفان گردوغبار یعنی میزان و تراکم، ضروری است (WMO and UNEP, 2011). با توجه به نقاط ضعف شاخص‌های گردوغبار مبتنی بر تصاویر MODIS، تلاش‌ها بر این است که از شاخص بهبود یافته تشخیص طوفان گردوغبار استفاده شود. در این تحقیق از شاخص بهبود یافته دمای روشنایی گردوغبار (BADI) که ترکیبی از داده‌های دمای روشنایی باند ۲۰ (۳/۶۶ تا ۳/۸۴ میکرومتر)، باند ۳۱ (۱۰/۷۸ تا ۱۱/۲۸ میکرومتر) و باند ۳۲ (۱۱/۷۷ تا ۱۲/۲۷ میکرومتر) تصاویر MODIS می‌باشد، استفاده شده است. سپس از این شاخص برای شناسایی شش موج طوفان گرد و غبار شدید در غرب خاورمیانه در طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۰ استفاده گردید و ارزیابی کمی و کیفی نتایج ارایه شده است. در نهایت، اثربخشی BADI با استفاده از BTD32-31 و NDDI مورد مقایسه قرار گرفت.

[1] Akerman
[2] Hao and Qu
[3] Karimi
[4] Zhao
[5] Xiao
[6] Good

داده‌ها و روش‌ها

الف- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه خاورمیانه که شامل کشورهای ایران، عراق، سوریه، اردن و عربستان می‌باشد. این منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است که دارای شرایط مناسب برای وقوع طوفان‌های گردوغبار و فرسایش بادی می‌باشد. خشک شدن تالاب هورالعظیم چه در ایران و چه در عراق میزان وقوع طوفان‌های گردوغبار را افزایش داده است. صحرای عربستان و عراق اثرات زیانبار زیادی را برای ایران به همراه داشته که دامنه آن تا شهرهای عمده کشیده شده است. صحرای ماسه‌ای جهان به نام ربع الخالی به علت عاری بودن از پوشش گیاهی و خشکسالی‌های اخیر، یکی از چشمه‌های بروز پدیده گردوغبار در منطقه خاورمیانه می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

ب- داده‌ها

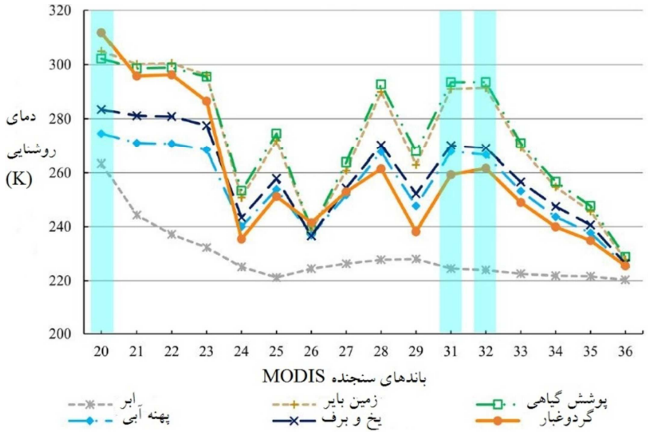
داده‌های MODIS سطح 1 B از آرشیو نوآ (https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/) دریافت گردید. در مرحله اول، قبل از اعمال شاخص‌های طیفی بر روی تصاویر MODIS، با استفاده از نرم افزار ENVI5.3 آنها زمین مرجع شدند. جهت زمین مرجع نمودن تصاویر از سیستم تصویر Geographic Lat/Lon، دیتوم WGS-۸۴ و واحد Degrees توسط نرم افزار MODIS Conversion Toolkit استفاده شده است و سپس داده‌ها کالیبره شدند و تصحیح هندسی هم صورت پذیرفت (هان[1] و همکاران، ۲۰۱۳). MODIS سطح 1B شامل مجموعه داده‌های MOD021KM از پلتفرم ترا[2] و داده‌های MYD021KM از پلتفرم آکوا[3] می‌باشد. در این مطالعه، از داده‌های روزانه MOD021KM استفاده شده است. این داده‌ها دوباره زمین مرجع شده و برای محاسبه دمای روشنایی (واحد: K) مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین داده‌های آئروسل سطح ۲ (https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/) نیز دریافت

[1] Han
[2] Terra
[3] Aqua

شدند. به طور کلی دو نوع داده آئروسل وجود دارد: MOD04 L2 و MYD04 L2 که به ترتیب از سیستم ترا و آکوا به دست می‌آید. مجموعه داده MODIS L2 شامل چندین مدل آئروسل (AOD) است که از محصولات توسعه یافته Deep Blue AOD به خوبی توسعه یافته بوسیله الگوریتمDeep Blue استفاده شده است. داده هایی که شامل AOD هستند با استفاده از باندهای با طول موج ۰/۴۱۲ میکرومتر، ۰/۴۷ میکرومتر، ۰/۵۵ میکرومتر و ۰/۶۶ میکرومتر محاسبه می‌شود که در این مطالعه، داده‌های ۰/۵۵ میکرومتر برای انجام ارزیابی صحت انتخاب شدند (هاو و کیو[1]، ۲۰۰۷). در مرحله بعد، جهت تشخیص پیکسل‌های حاوی طوفان گردوغبار به دلیل اینکه ذرات موجود در طوفان‌های گردوغبار بازتابش مشابهی با ذرات موجود در ابر، سطوح زمین‌های خشک، تپه‌های ماسه‌ای و مناطق بیابانی دارند تفکیک و شناسایی آن را مشکل می‌کند، برای غلبه بر این مشکل از روش شاخص گردوغبار تعدیل شده دمای درخشایی (BADI) استفاده شده است.

ج- توسعه BADI: رویکرد بهبود یافته برای تشخیص طوفان گردوغبار

دمای روشنایی، یک شاخص شدت تابش و یکی از نشانه‌های اصلی برای تفکیک گردوغبار از سایر پدیده‌ها است (کریمی و همکاران، ۲۰۱۴). هنگامی که دمای روشنایی اشیاء مختلف با هم مقایسه می‌شوند، نمی‌توان گردوغبار را با استفاده از یک باند حرارتی مادون قرمز ماهواره مودیس شناسایی کرد (شکل ۲). با این وجود برای پایش طوفان گردوغبار می‌توان از ترکیبی از چندین درجه روشنایی حاصل از باندهای مودیس استفاده کرد (آکرمن، ۱۹۹۷ و ۱۹۸۹).



شکل۲: ویژگی‌های دمای روشنایی اسپکترورادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط[2]

توجه: باند ۲۰ نشان‌دهنده محدوده با طول موج ۳/۶۶ تا ۳/۸۴ میکرومتر، باند ۳۱ محدوده با طول موج ۱۰/۷۸ تا ۱۱/۲۸ میکرومتر و باند ۳۲ محدوده با طول موج ۱۱/۷۷ تا ۱۲/۲۷ میکرومتر

[1] Hao and Qu
[2] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

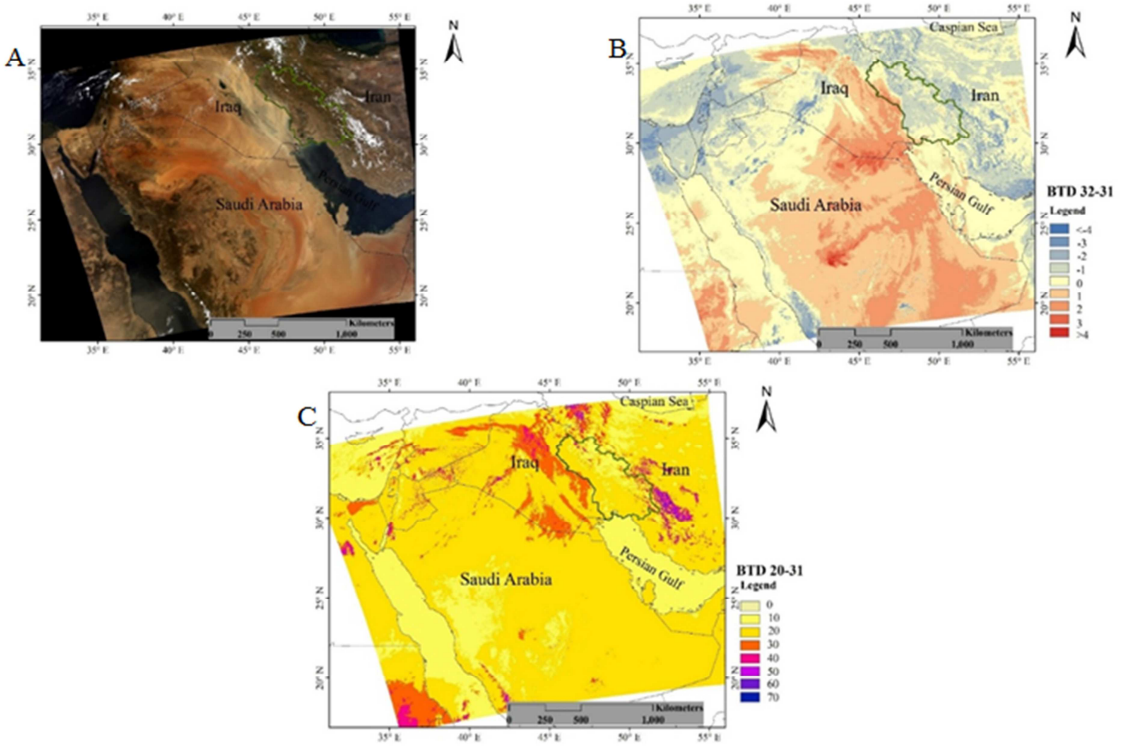
همانطور که در شکل (۲) نشان داده شده است، دمای روشنایی سه باند (۲۰، ۳۱ و ۳۲) ماهواره مودیس می‌تواند به طور مؤثری گردوغبار را شناسایی کند.

برای محاسبه این شاخص ابتدا مقدار دمای ظاهری در هر باند طبق رابطه زیر به دست آمد:

$$T = \frac{hc/k\lambda}{In(\frac{2hc^2\lambda^{-5}}{L_\lambda}+1)} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda}+1\right)} \quad (۱)$$

برای استفاده از رابطه (۱) باید در مخرج به جای I_λ باند مورد نظر (به عنوان مثال b۲۰ برای باند ۳۰) قرار گیرد.

دمای روشنایی گردوغبار در باند ۳۲ بیشتر از باند ۳۱ است، بنابراین تفاوت بین دو باند (BTD۳۲-۳۱) می‌تواند برای تمایز طوفان گردوغبار از پدیده‌های زمینی استفاده شود. هنگامی که مقدار BTD۳۲-۳۱ یک پیکسل، بیشتر از صفر است، احتمال بالایی وجود دارد که آن پیکسل گردوغبار را نشان می‌دهد (شکل ۳ A و B). باند ۲۰ به طور معمول دارای پراکندگی رو به جلو بیشتری نسبت به باند ۳۱ برای پیکسل‌های گرد و دارد؛ بنابراین، تفاوت بین دو باند (۳۱-BTD۲۰) می‌تواند تراکم گردوغبار را نشان دهد (شکل ۳ C) (آکرمن، ۱۹۸۹).



شکل ۳: تاثیر شاخص اختلاف دمای درخشایی (BTD) در باندهای ۳۲ و ۳۱ (BTD۳۲-۳۱) و باندهای ۲۰ و ۳۱ (BTD۲۰-۳۱) برای شناسایی طوفان گردوغبار. (A): تصویر رنگی حقیقی ماهواره ترآ سنجنده مودیس در موج طوفان گردوغبار ۲۰۱۰/۶/۷ (B): الگوی فضایی اختلاف دمای روشنایی (BTD) بین باند ۳۲ و ۳۱: BTD۳۲-۳۱ و (C) الگوی فضایی اختلاف دمای روشنایی بین باند ۲۰ و ۳۱: BTD۲۰-۳۱

هر چه تراکم گردوغبار بیشتر باشد مقدار BTD۲۰-۳۱ بزرگتر خواهد بود. بر اساس تحلیل BTD۲۰-۳۱ و BTD۳۲-۳۱، از BADI استفاده شده است تا به طور همزمان میزان و تراکم طوفان گردوغبار را شناسایی کنیم. BADI با استفاده از چهار مرحله زیر محاسبه می‌شود:

BTD۲۰-۳۱ برای نشان دادن تراکم گردوغبار استفاده می‌شود و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$BTD20-31 = BT20 - BT31 \quad (۲)$$

BTD۳۲-۳۱ برای نشان دادن میزان گردوغبار استفاده می‌شود و بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$BTD32-31 = BT32 - BT31 \quad (۳)$$

شاخص گردوغباردمای روشنایی[1] (BDI) با تلفیق BTD۲۰-۳۱ و BTD۳۲-۳۱ به صورت زیر محاسبه می شود:

$$BDI = ((BTD20-31)\text{^}2)) * BTD32-31 \quad (۴)$$

آلفا برای ارتقاء اطلاعات تراکم گردوغبار ۲ در نظر گرفته می‌شود (برازون و پریتو[2]، ۲۰۰۰).

بر اساس این معادله، BDI دارای یک مقدار مثبت نسبتاً زیاد برای پیکسل‌های گردوغبارو یک مقدار منفی نسبتاً بزرگ برای پیکسل‌های ابر است (شکل ۴ A). بنابراین امکان تفکیک بین ابر و گردوغبار فراهم می‌آید.

BADI با استفاده از نرمال سازی BDI در محدوده ۱- تا ۱ محاسبه می شود:

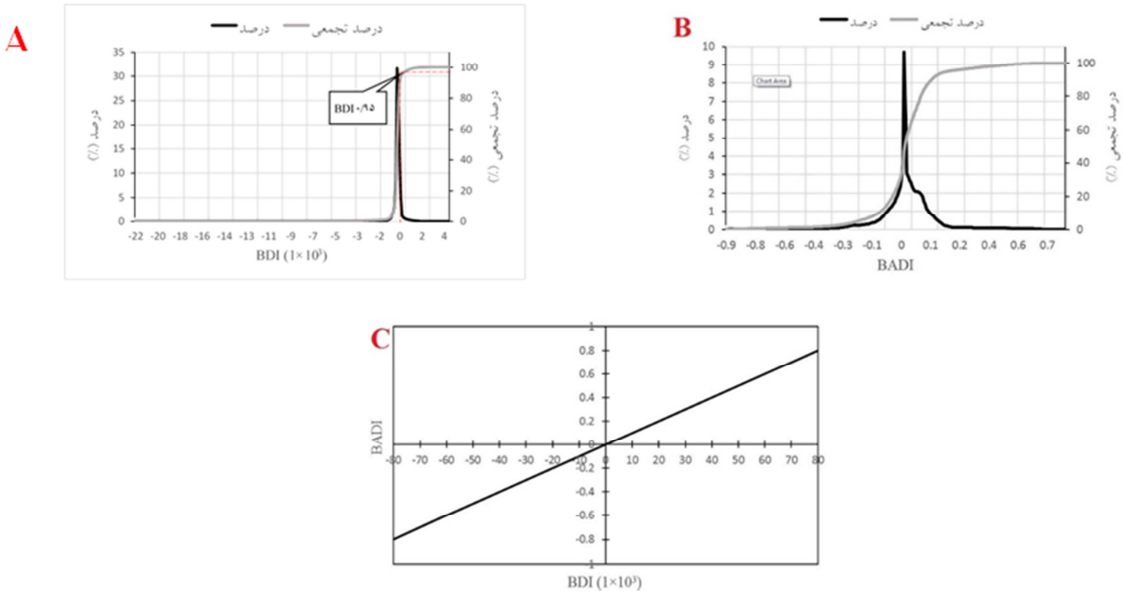
$$BADI = (2/\pi) * arctan(BDI/BDI_{0.95}) \quad (۵)$$

که در آن $BDI_{۰/۹۵}$ نشان دهنده ۹۵ درصد از توزیع داده BDI در یک طوفان معمول گردوغباراست (شکل ۴ A).

۲/π× aractan برای نرمال سازی ارزش BDI در محدوده ۱- تا ۱ استفاده می‌شود (شکل ۴ B و C).

به طورکلی، هرچه مقدار BDI بیشتر باشد احتمال بیشتری وجود دارد که آن پیکسل نشان دهنده گردوغبار باشد.

[1] Brightness temperature dust index (BDI)
[2] Bruzzone and Prieto



شکل ۴: توزیع داده‌های (الف): BDI (ب): BADI و (ج): روابطشان بر اساس موج طوفان گردوغبار تاریخ ۲۰۱۶/۷/۱۷

شاخص BADI برای شناسایی گردوغباردر ۶ موج طوفان ۱۹ ژوئیه ۲۰۰۰، ۵ ژوئیه ۲۰۰۵، ۲ ژوئیه ۲۰۰۸، ۵ ژوئیه ۲۰۰۹، ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ و ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶ استفاده شده است. تصاویر شاخص را برا اساس معادله ۱ تا ۴ برای شش رخداد محاسبه گردید.

د- شاخص تفاضل نرمال شده گردوغبار[1] یا NDDI

ایجاد شاخص گردوغبار NDDI نیز بر پایه اختلاف طیفی گردوغبار در باندهای ۳ و ۷ سنجنده مودیس و الگوبرداری از شاخص NDVI صورت گرفته است (کائو، ۲۰۰۹). فرمول کلی شلخص NDDI به صورت زیر است (جعفری و مالکیان، ۲۰۱۵):

$$NDDI = (R7 - R3)/(R7 + R3) \quad (۶)$$

که در آن R۳ و R۷ به ترتیب با طول موج ۰/۴۶۹ و ۲/۱۳ به میکرومتر است. مقادیر حاصل از اعمال این شاخص بر تصاویر برای پیکسل‌های گردوغبار مثبت است و پیکسل‌های حاوی پوشش ابر مقایر منفی را دارند. باند آبی (باند ۳) به ابر بسیار حساس و باند ۷ حساسیت بسیار پایینی دارد که این امر می‌تواند به تشخیص ابر از گردوغبار کمک کند. این شاخص برای گردوغبار مقدار بالایی خواهد داشت.

[1] Normalized Difference Dust Index

فرض کردیم که تفسیر بصری از داده‌های BADI توسط تحلیل‌گران باتجربه، برای تولید داده‌های مرجع با وضوح کامل، کافی خواهد بود. در اعتبار سنجی تراکم طوفان گردوغبار، داده‌های شبکه رباتیک آئروسل[1] (AERONET) به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت (هولبن[2] و همکاران، ۱۹۹۸). با توجه به این که داده‌های MODIS Deep[3] Blue AOD با مشاهدات AERONET همبستگی خوبی نشان میدهد و در شناسایی تراکم گردوغبار عملکرد بهتری دارد (سو و همکاران، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶؛ هائو و کیو[4]، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از بکارگیری روش‌های اختلاف دمای درخشندگی آکرمن و روش BADI در یک دوره مورد مطالعه از وقوع طوفان‌های گردوغبار بررسی و تحلیل شده است. به طور کلی از شش موج طوفان گردوغبار شدید رخ داده در نواحی جنوب غرب کشور استفاده شده است که این شش موج عبارتند بودند از: ۱۹ ژوئیه ۲۰۰۰، ۸ اوت ۲۰۰۵، ۲ ژوئیه ۲۰۰۸، ۵ ژوئیه ۲۰۰۹، ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ و ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶. برای موج طوفان‌های دوره ۱۹ ژوئیه ۲۰۰۰، ۲ ژوئیه ۲۰۰۸، ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ و ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶ از تصویر MODIS ترا و برای موج طوفان‌های دوره ۸ اوت ۲۰۰۵ و ۵ ژوئیه ۲۰۰۹ از تصویر MODIS آکوا استفاده شده است.

الف- ارزیابی کیفی

تفسیر بصری خروجی BADI نشان داد که این روش تشخیص قادر است نه تنها به طور مؤثر محل هسته‌های اصلی طوفان‌های گردوغبار را شناسایی کند، بلکه می‌تواند گردوغبار را از زمین‌های لخت و ابرها تشخیص دهد. شدت گردوغبار حاصل از BADI برای هر رویداد طوفان مطابق شدت ثبت شده‌ی سالانه گردوغبار بود که این طوفان‌ها را به عنوان طوفان ضعیف، شدید و خیلی شدید ثبت می‌کنند (اداره هواشناسی چین[5]، ۲۰۱۲). در طوفان گردوغبار که در تاریخ ۱۹ ژوئیه ۲۰۰۰ اتفاق افتاد، BADI به طور مؤثری منطقه آن را در اطراف اراضی بیابانی و خشک کشور عراق نشان داد (شکل ۵ A و B). BADI قادر به شناسایی گردوغبار و ایجاد تمایز بین گردوغبار و زمین لخت بود. مقادیر BADI به طور معنی‌داری در مناطق گردوغبار بیشتر از مناطق بدون گردوغبار بود (شکل ۵ B). در طوفان گردوغبار که در تاریخ ۸ اوت ۲۰۰۵ اتفاق افتاد، BADI، یک منطقه گردوغبار را که منشا آن شمال عراق و شرق سوریه بود، شناسایی کرد. (شکل ۵ C و D). در طوفان گردوغبار که در ۵ ژوئیه ۲۰۰۹ رخ داد، حجم زیادی از ماسه

---

[1] AErosol RObotic NETwork

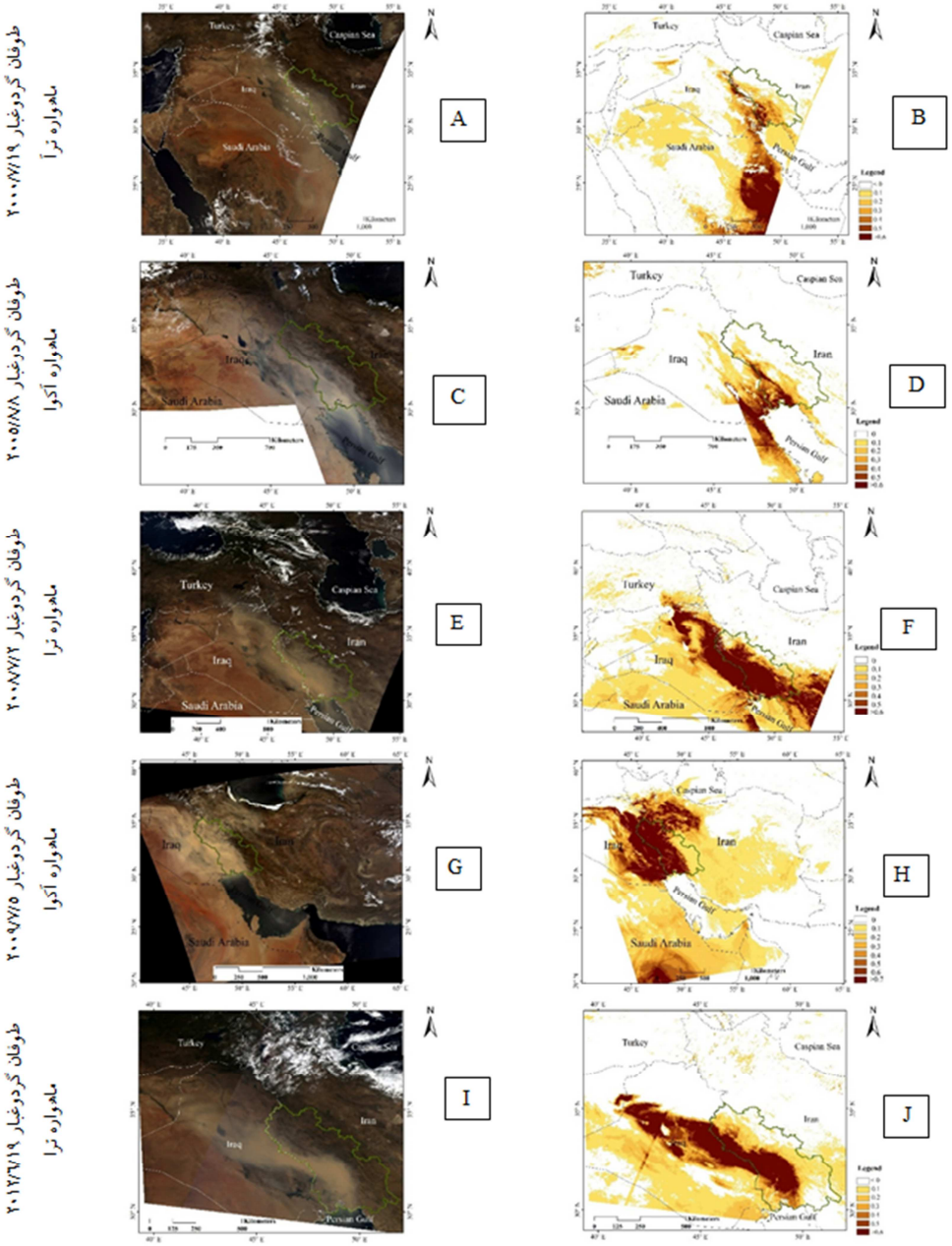
[2] Holben

[3] الگوریتم آبی عمیق- AOD=عمق نوری هواویزها

[4] Hao and Qu

[5] China meteorological administration (CMA)

و غبار به سمت نواحی جنوب غرب ایران روانه شده بود. مقدار BADI در مناطق با گردوغبار نیز به طور قابل توجهی بزرگتر از منطقه بدون گردوغبار بود (شکل ۵ E، F، J، H، I و J).



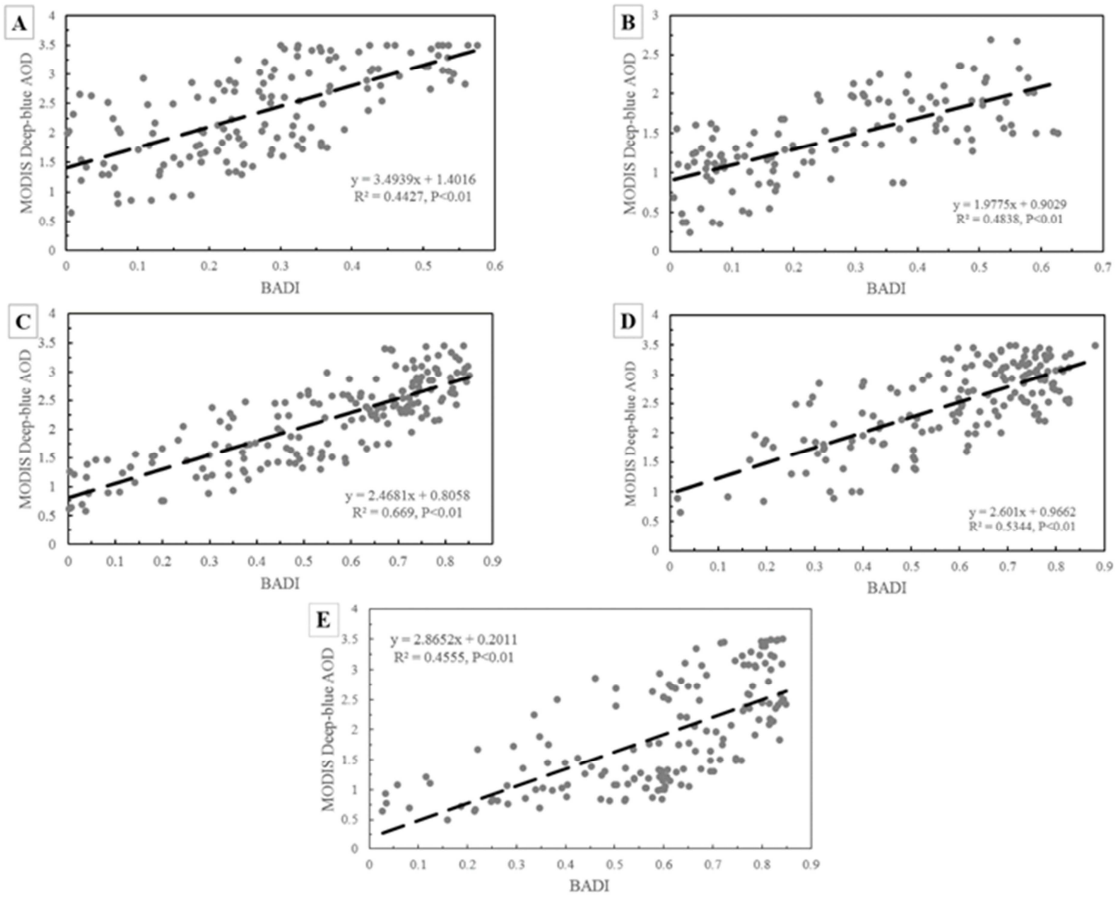
شکل ۵: استفاده از شاخص BADI برای ۵ موج طوفان گردوغبار. A، C، E، G و I به ترتیب تصاویر رنگی حقیقی موج طوفان‌های گردوغبار ۱۹ ژوئیه ۲۰۰۰، ۸ اوت ۲۰۰۵، ۲ ژوئیه ۲۰۰۸، ۵ ژوئیه ۲۰۰۹، ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ می‌باشد. B، D، F، H و J به ترتیب نقشه پهنه‌بندی شاخص BADI موج طوفان‌های گردوغبار ۱۹ ژوئیه ۲۰۰۰، ۸ اوت ۲۰۰۵، ۲ ژوئیه ۲۰۰۸، ۵ ژوئیه ۲۰۰۹، ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲ می‌باشد.

ب- ارزیابی کمی

برای بررسی اثربخشی BADI در ارزیابی میزان و تراکم طوفان گردوغبار، دقت نتایج را در هر شش دوره گردآوری گردوغبار ارزیابی گردید. با توجه به این که داده‌های MODIS Deep Blue AOD با مشاهدات AERONET همبستگی خوبی نشان می‌دهد و در شناسایی تراکم گردوغبار عملکرد بهتری دارد (هائو و کیو[1]، ۲۰۰۷). داده‌های MODIS Deep Blue AOD به عنوان داده های مرجع قابل اعتماد برای تایید تراکم طوفان گردوغبار مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نمونه‌گیری تصادفی، ابتدا دامنه‌های محدوده گردوغبار را بر اساس ۶ استان مورد مطالعه تقسیم‌بندی گردید. سپس در استان‌های محدوده گردوغبار، ۱۵۰ نقطه به دست آوردیم تا ارزیابی صحت با هر استان به صورت تصادفی با ۲۵ نقطه به دست آید. تجزیه و تحلیل ماتریس و رگرسیون خطا (کاریرس[2] و همکاران، ۲۰۰۶؛ هائو و کیو، ۲۰۰۷) به منظور بررسی میزان و تراکم طوفان گردوغبار صورت گرفت. تجزیه و تحلیل ماتریس خطا نشان داد که BADI شاخص بسیار مؤثری برای شناسایی میزان طوفان گردوغبار است. تجزیه و تحلیل رگرسیون نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین BADI وMODIS Deep Blue AOD وجود دارد. برای پنج موج طوفان گردوغبار، ضرایب تعیین (R^2) رگرسیون بین مقادیر BADI و MODIS Deep Blue AOD به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۴۸، ۰/۶۷، ۰/۵۳ و ۰/۴۵ ($P< ۰/۰۱$) بود (شکل ۶). بنابراین BADI توانایی نشان دادن تراکم طوفان گردوغبار را دارد.

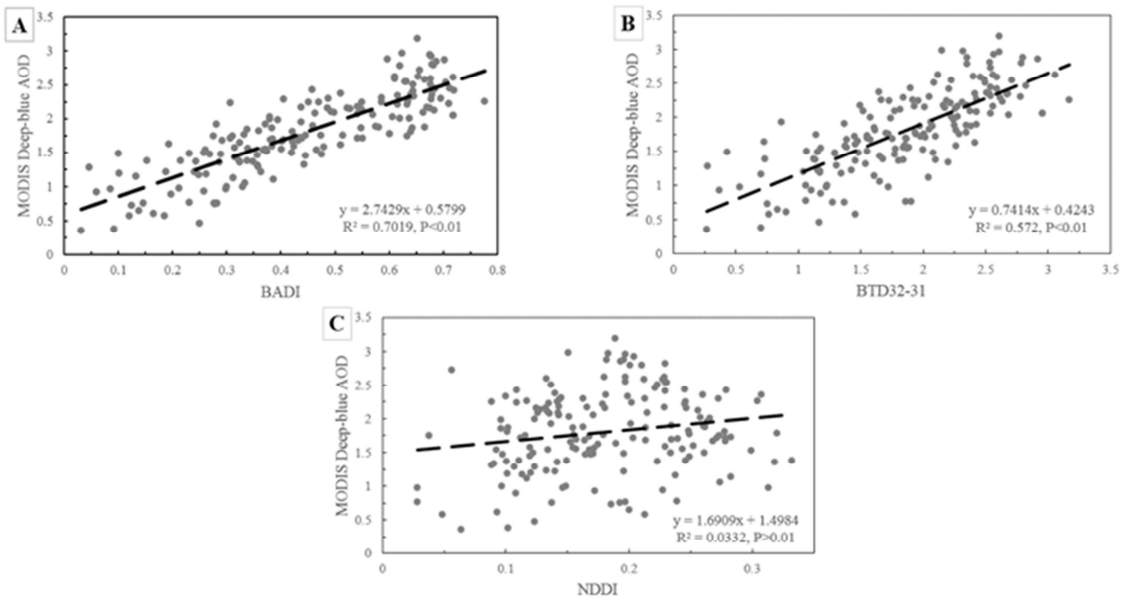
[1] Hao and Qu

[2] Carreiras



شکل ۶: تحلیل رگرسیون بین BADI و MODIS Deep Blue Aerosol Optical Depth (AOD) برای موج طوفان‌های گردوغبار (A): ۱۹ ژوئیه ۲۰۰۰ (B): ۸ اوت ۲۰۰۵ (C): ۲ ژوئیه ۲۰۰۸ (D): ۵ ژوئیه ۲۰۰۹ (E): ۱۹ ژوئن ۲۰۱۲.

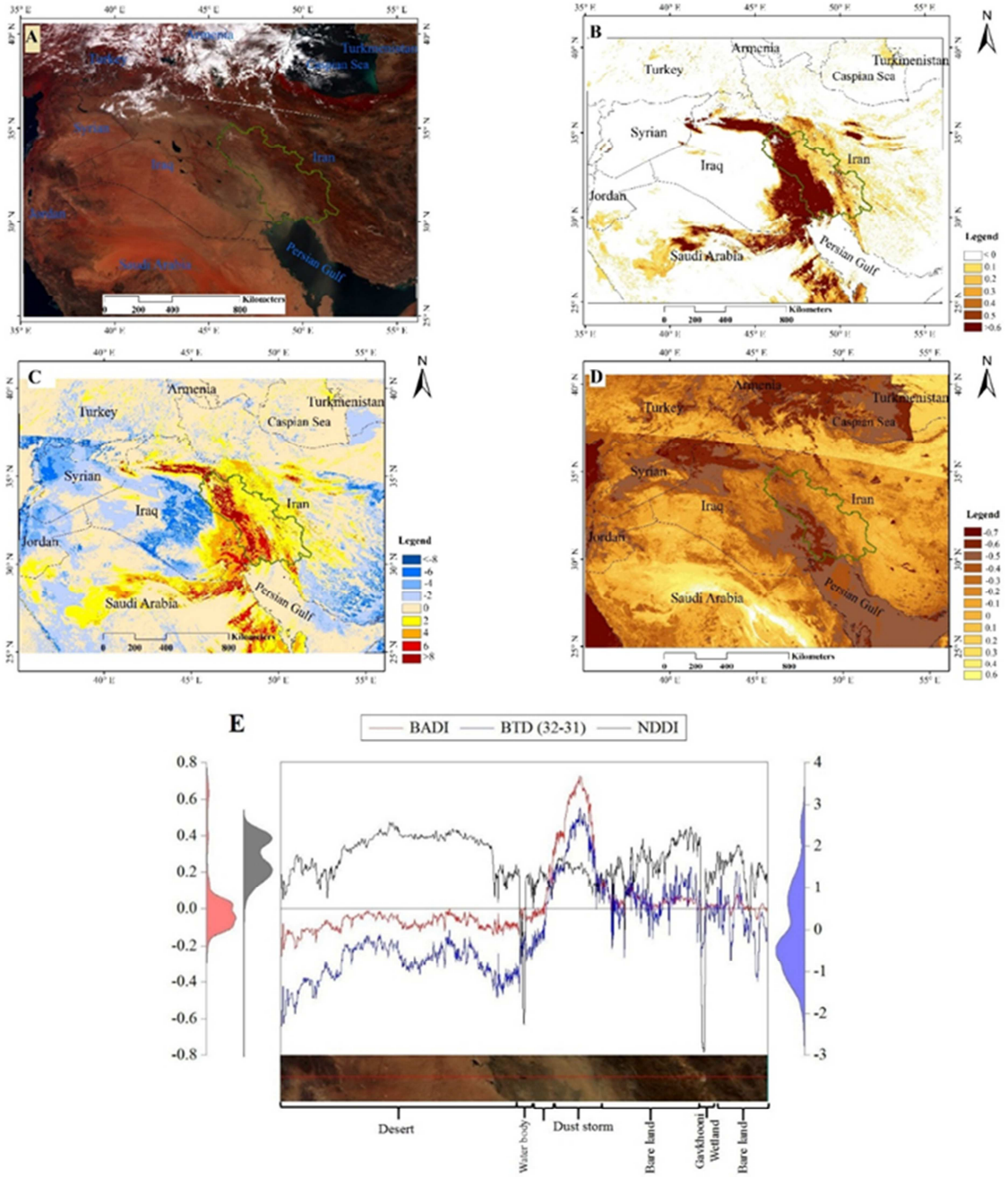
با توجه به اینکه BTD۳۲-۳۱ و NDDI دو شاخصی هستند که به طور گسترده‌ای برای تشخیص طوفان‌های گردوغبار استفاده می‌شوند، نتایج بدست آمده با استفاده از BTD۳۲-۳۱، NDDI و BADI را برای تشخیص موج طوفان گردوغبار ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶ رخ داد، مقایسه گردید. قوانین تعریف و تعیین آستانه معیار که قبلاً استفاده شده بود در این تحلیل نیز استفاده شد. BADI پیشرفت‌های قابل توجهی را نسبت به سایر شاخص‌ها نشان داده است. تجزیه و تحلیل رگرسیون بین AOD و BADI مقدار R^2 برابر با ۰/۷۰ را نشان داد. این نشان دهنده بهبود عملکرد BADI برای تخمین تراکم گردوغبار در مقایسه با (۰/۵۷= R^2) BTD۳۲-۳۱ و (۰/۰۳= R^2) NDDI است (شکل ۷). خطای تراکم گردوغبار که معمولاً با استفاده از BTD۳۲-۳۱ و NDDI دیده می‌شود، هنگامی که الگوهای خروجی فضایی از BADI مورد بررسی کیفی قرار گرفت، مشاهده نشد.



شکل ۷: تحلیل رگرسیون بین MODIS Deep Blue AOD و (A) BADI (B) BTD۳۲-۳۱ و (C) NDDI برای موج طوفان گردوغبار ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶.

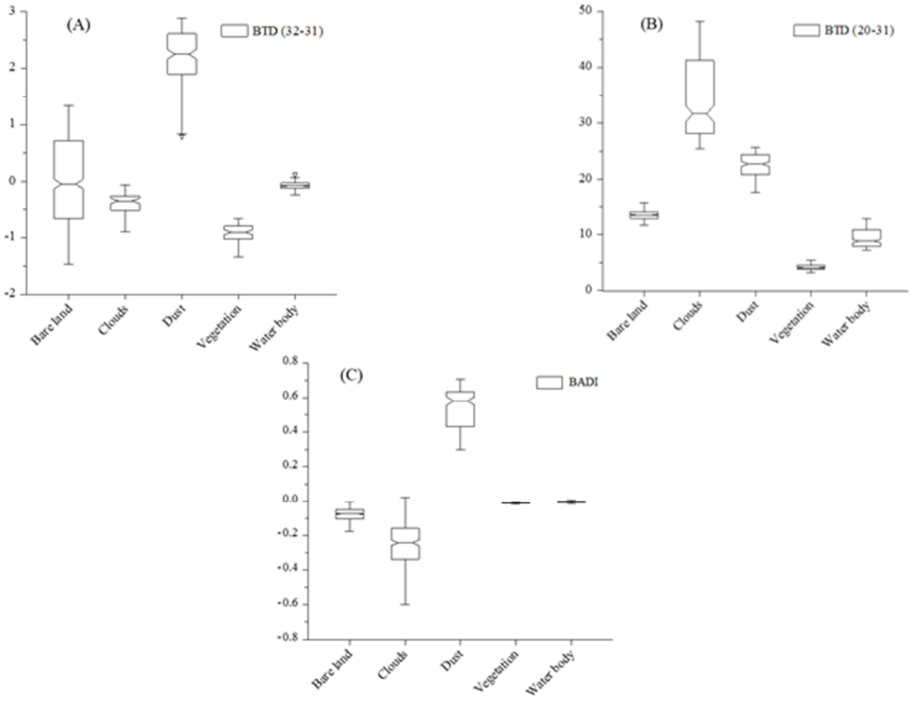
توجه: AOD بیشترین رابطه خطی را با BADI با R2= ۰/۷۰ (P< ۰/۰۱) سپس (R2 =۰/۵۷) BTD۳۲-۳۱ (P< ۰/۰۱) و (R2 =۰/۰۳) NDDI (P< ۰/۰۱) نشان داد.

مقایسه نتایج BADI با $BTD_{۳۲-۳۱}$ نشان داد که BADI قادر به نشان دادن دقیق‌تر تراکم گردوغبار نسبت به $BTD_{۳۲-۳۱}$ است. در مناطق با توده گردوغبار شدید و مناطق با توده گردوغبار ضعیف مقادیر $BTD_{۳۲-۳۱}$ تقریباً برابر بود. با این حال، مقادیر BADI بسیار متغیر بود (شکل ۸ B و C). مقایسه شاخص‌های BADI با شاخص NDDI نشان می‌دهد که این شاخص قادر به شناسایی دقیق میزان طوفان گردوغبار است. در مناطقی که زمین‌های بایر وجود دارد، مقادیر ارزش پیکسل‌های شاخص NDDI در محدوده گردوغبار شدید و ضعیف بسیار نزدیک بودند در حالی که مقادیر شاخص BADI متفاوت بودند (شکل ۸ D). علاوه بر این، سه شاخص گردوغبار در امتداد محور عمودی نیز نشان می‌دهد که شاخص BADI بهتر از دو شاخص دیگر می‌تواند بین مناطق گردوغبار و بدون گردوغبار تفاوت قائل شود و همچنین باعث کاهش سردرگمی بین شناسایی اشیاء مختلف زمین شود. نتایج نشان داد، در مناطق طوفان گردوغبار هنگامی که تراکم افزایش می‌یابد، BADI روند صعودی را نشان می‌دهد، در حالی که $BTD_{۳۲-۳۱}$ و NDDI تغییر نمی‌کند (شکل ۸ E). این بیانگر آن است که BADI می‌تواند تراکم گردوغبار را به طور مؤثرتری نسبت به $BTD_{۳۲-۳۱}$ و NDDI نشان دهد.



شکل ۸: مقایسه نتایج BADI، $BTD_{۳۲-۳۱}$ و NDDI برای موج طوفان گردوغبار ۱۷ ژوئیه ۲۰۱۶. (A): تصویر رنگی حقیق MODIS (B): BADI (C): اختلاف دمای روشنایی بین باند ۳۲ و ۳۱ (D): NDDI و (E): مقطع عمودی بین BADI، $BTD_{۳۲-۳۱}$ و NDDI.

بهبود BADI حاصل ترکیب موفق مزایای $BTD_{۳۲-۳۱}$ و $BTD_{۲۰-۳۱}$ است (رابطه ۵). همان‌طور که در شکل (۹ A) نشان داده شده است، $BTD_{۳۲-۳۱}$ قادر به شناسایی منابع طوفان گردوغبار در هنگام استفاده از آستانه مناسب بود، اما نتواست تراکم آن را به طور مؤثر تشخیص دهد. به ویژه، $BTD_{۳۲-۳۱}$ نمی‌تواند گردوغبار را از زمین‌های لخت تشخیص دهد. همان‌طور که در شکل (۹ B) نشان داده شده است، هرچند $BTD_{۲۰-۳۱}$ توزیع گردوغبار و همچنین تغییرات در تراکم گردوغبار را به طور مؤثر نشان داد، اما تشخیص گردوغبار از ابر مشکل بود. همان‌طور که در شکل (۹ C) نشان داده شده، BADI این نقاط ضعف را برطرف کرده و به طور مؤثر توانایی تشخیص گردوغبار از دیگر اشیاء یا پدیده‌ها را دارد.



شکل ۹: اثربخشی BADI بر پوشش اراضی مختلف. (A) $BTD_{۳۲-۳۱}$ (B) $BTD_{۲۰-۳۱}$ و (C) BADI

نتیجه‌گیری

برای این مطالعه چند محدودیت وجود دارد. اول، از آنجا که دمای روشنایی گردوغبار به طور معنی‌داری در مناطق آبی کمتر از خشکی است، تشخیص طوفان گردوغبار در مناطق آبی با آستانه مشابه، دشوار است. علاوه بر این، به دلیل کمبود داده‌های کافی در محل (از جمله داده‌های مشاهدات AERONET)، فقط یک ارزیابی بصری و محصولات MODIS Deep Blue AOD برای تجزیه و تحلیل عملکرد، ادغام و استفاده می‌شوند. در آینده، بهبود

وضوح فضایی سنسورهای مادون قرمز حرارتی (جنسن[1]، ۲۰۰۷)، زمانی که BADI مشارکت داده می‌شود امکان شناسایی طوفان گردوغبار را در جزئیات بسیار بیشتر فراهم می‌کند. علاوه بر این داده‌های یک رادیومتر یا تشعشع‌سنج به نام VIIRS[2] که در سال ۲۰۱۲ در دسترس قرار گرفت، دارای رزولوشن فضایی بهتر در گروه مادون قرمز حرارتی (۷۵۰ متر) می‌باشد و می تواند منبع اطلاعات خوبی برای ترکیب BADI باشد (هیلگر[3] و همکاران، ۲۰۱۳). در نهایت، با استفاده از داده‌های کافی در محل، BADI می‌تواند برای بدست آوردن اطلاعات دقیق‌تر در مورد طوفان گردوغبار در منطقه خاورمیانه مورد استفاده قرار گیرد. شاخص BADI، هنگامی که از ترکیب سه باند مادون قرمز مودیس شامل: باند ۲۰ (۳/۸۴-۳/۶۶ میکرومتر)، باند ۳۱ (۱۱/۲۸-۱۰/۷۸ میکرومتر) و باند ۳۲ (۱۲/۲۷-۱۱/۷۷ میکرومتر) محاسبه گردد، یک شاخص مؤثر برای تشخیص طوفان‌های گردوغبار در مقیاس‌های بزرگ می‌باشد. این شاخص برای تشخیص پنج موج طوفان گردوغبار در غرب خاورمیانه بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. همبستگی BADI با نشانگر تراکم استاندارد MODIS Deep Blue AOD از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P < 0.01$). BADI عملکرد بهتری را در برآورد اندازه و تراکم طوفان گردوغبار نسبت به شاخص‌های گردوغبارمعمول BTD_{32-31} و NDDI مبتنی بر MODIS نشان داد. همچنین همبستگی بالاتری با MODIS AOD ($R^2= 0.70, P < 0.01$) را نشان داد. BADI پتانسیل زیادی دارد که به طور گسترده‌ای برای پایش بر طوفان گردوغباراستفاده می‌شود.

منابع

آرامی سیدعبدالحسین؛ اونق مجید؛ محمدیان بهبهانی علی؛ اکبری مهری؛ زراسوندی علیرضا (۱۳۹۷). تحلیل آماری الگوی فضایی-زمانی طوفان گردوغبار در غرب و جنوب غرب ایران. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۵(۱):۸۳-۶۱.

آرونف استن. (۱۳۹۲). سنجش از دور برای مدیران GIS. مترجمان: علی‌اصغر درویش‌صفت، منیژه رجب‌پوررحمتی، مهتاب پیرباوقار. موسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران. ۷۲۰ صفحه.

جعفری رضا؛ ملکیان منصوره (۱۳۹۵). مقایسه و ارزیابی الگوریتمهای شناسایی گردوغبار با استفاده از داده های سطح یک آکوآ و ترا در خاورمیانه. مجله بین المللی سنجش از دور، ۳۶(۲): ۶۱۷-۵۹۷.

شمشیری سیروس؛ جعفری رضا؛ سلطانی سعید؛ رمضانی نفیسه (۱۳۹۳). آشکارسازی و پهنه‌بندی ریزگردهای استان کرمانشاه با استفاده از تصاویر ماهوارهای MODIS. بوم شناسی کاربردی، ۳(۸): ۴۱-۲۸.

فلاح رزولی محمد؛ وفایی نژاد علیرضا؛ خیرخواه زرکش میرمسعود؛ احمدی دهکاء فریبرز (۱۳۹۳). پایش و تحلیل سینوپتیکی پدیده گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور و GIS (مطالعه موردی: گرد و غبار ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲). فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۳(۹۱): ۸۰-۶۹.

کریمی نعمت؛ مریدنژاد علی؛ قلیان سعید؛ ولی سمانی جمال محمد؛ کریمی دانش؛ جوادی سارا (۱۳۹۱). مقایسه فنون شناسایی منبع گردوغبار بر روی زمین در منطقه خاورمیانه با استفاده از داده های MODIS. مجله کانادایی سنجش از دور. ۳۸(۵): ۵۹۹-۵۸۶.

[1] Jensen
[2] Visible Infrared Imaging Radiometer Suite
[3] Hillger

Ackerman, Steven A, (1989). Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 μm to tract dust outbreaks. Remote Sensing of Environment 27(2): 129-133.
Ackerman, Steven A, (1997). Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 102 (D14): 17069-17079.
Banks, J.R., Brindley, H.E., Flamant, C., Garay, M.J., Hsu, N.C., Kalashnikova, O.V., Klüser, L., Sayer, A.M, (2013). Inter comparison of satellite dust retrieval products over the West African Sahara during the Fennec campaign in June 2011. Remote Sens. Environ. 136, 99–116.
Bozlaker, Ayse, Joseph M. Prospero, Matthew P. Fraser, Shankararaman Chellam, (2013). Quantifying the contribution of long-range Saharan dust transport on particulate matter concentrations in Houston, Texas, using detailed elemental analysis. Environmental science & technology 47 (18): 10179-10187.
Bruzzone, Lorenzo, Diego F. Prieto, (2000). Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection. IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing 38 (3): 1171-1182.
Carreiras JM, Pereira JM, Campagnolo ML, Shimabukuro YE, (2006). Assessing the extent of agriculture/pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using SPOT VEGETATION data. Remote Sensing of Environment, 101(3):283-98.
Choobari, O. Alizadeh, P. Zawar-Reza, A. Sturman, (2014). The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. Atmospheric Research 138: 152-165.
China meteorological administration (CMA), (2012). Sand-Dust Weather Almanac. China Meteorological Administration Press, Beijing.
El-Askary, Hesham, Ritesh Gautam, Menas Kafatos. (2004). Remote sensing of dust storms over the Indo-Gangetic basin. Journal of the Indian Society of Remote Sensing 32 (2): 121-124.
Good EJ, Kong X, Embury O, Merchant CJ, Remedios JJ, (2012). An infrared desert dust index for the Along-Track Scanning Radiometers. Remote sensing of environment, 116:159-76.
Gunaseelan, Indira, B. Vijay Bhaskar, K. Muthuchelian, (2014). The effect of aerosol optical depth on rainfall with reference to meteorology over metro cities in India. Environmental Science and Pollution Research 21 (13): 8188-8197.
Han, Lijian, Atsushi Tsunekawa, Mitsuru Tsubo, Weiqi Zhou, (2013). An enhanced dust index for Asian dust detection with MODIS images. International journal of remote sensing 34 (19): 6484-6495.
Hao, Xianjun, and John Jianhe Qu, (2007). Saharan dust storm detection using moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared bands. Journal of Applied Remote Sensing 1 (1): 013510.
Hillger, Donald, Thomas Kopp, Thomas Lee, Daniel Lindsey, Curtis Seaman, Steven Miller, Jeremy Solbrig, (2013). First-light imagery from Suomi NPP VIIRS." Bulletin of the American Meteorological Society 94 (7): 1019-1029.
Holben, B.N., Eck, T.F., Slutsker, I., Tanre, D., Buis, J.P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J.A., Kaufman, Y.J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I., Smirnov, A., (1998). AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. Remote Sens. Environ. 66, 1–16.
Huang, Jianping, Jinming Ge, and Fuzhong Weng, (2007). Detection of Asia dust storms using multisensor satellite measurements. Remote Sensing of Environment 110 (2): 186-191.
Jafari, Reza, Mansoureh Malekian, (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.
Jensen, J.R, (2007). Thermal Infrared Remote Sensing, Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, 2nd ed. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River (pp. 288).
Kaiser, Jocelyn, (2005). Mounting evidence indicts fine-particle pollution. Science 307 (5717): 1858.
Karimi, Neamat, Ali Moridnejad, Saeed Golian, Jamal Mohammad Vali Samani, Danesh Karimi, Sara Javadi, (2012). Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data." Canadian Journal of Remote Sensing 38 (5): 586-599.
Kurosaki, Yasunori, Masato Shinoda, Masao Mikami, (2011). What caused a recent increase in dust outbreaks over East Asia? Geophysical Research Letters 38 (11).
Lee, Y. C., Xun Yang, Mark Wenig, (2010). Transport of dust from East Asian and non-East Asian sources to Hong Kong during dust storm-related events 1996–2007. Atmospheric Environment 44 (30): 3728-3738.
Qu, J.J., Hao, X.J., Kafatos, M., Wang, L.L, (2006). Asian dust storm monitoring combining terra and aqua MODIS SRB measurements. Geosci. Remote Sens. Lett. 3, 484–486.
Sanchez, d.l.C. Ana, Garcia-Salamanca, A., Solano, J., de la Rosa, J., Ramos, J.-L., (2013). Chemical and microbiological characterization of atmospheric particulate matter during an intense African dust event in Southern Spain. Environ. Sci. Technol. 47, 3630–3638.
Schepanski, K., I. Tegen, A. Macke, (2012). Comparison of satellite-based observations of Saharan dust source areas. Remote Sensing of Environment 123: 90-97.
Waggoner, Drexel G., and Sokolik, Irina N. (2010). Seasonal dynamics and regional features of MODIS-derived land surface characteristics in dust source regions of East Asia, Journal of Remote Sensing of Environment, No. 114, pp. 2126-2136.

World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP), (2011). Establishing a WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Node for West Asia: Current Capabilities and Needs, pp. 1121 (Accessed on April 13, 2016).
Xiao, Xiangming, Chandrashekhar M. Biradar, Christina Czarnecki, Tunrayo Alabi, Michael Keller, (2009). A simple algorithm for large-scale mapping of evergreen forests in tropical America, Africa, and Asia. Remote Sensing 1 (3): 355-374.
Youlin, Yang, Victor Squires, Lu Qi, (2002). Global alarm: dust and sandstorms from the world's drylands. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).
Zhao, Yuanyuan, Chunyang He, Qiaofeng Zhang, (2012). Monitoring vegetation dynamics by coupling linear trend analysis with change vector analysis: a case study in the Xilingol steppe in northern China. International journal of remote sensing 33(1): 287-308.

Research Article

Investigating the Performance of BADI Index: An Improved Approach to Detect Dust Storms using MODIS Imagery in West of Middle East

Seyed Abdolhossein Arami[1], Majid Ownegh[2], Ali Mohammadian Behbahani*[3], Mehri Akbari[4], -Alireza Zarasvandi[5]

Received: 01-06-2018 Revised: 26-09-2018 Accepted: 05-12-2018

Abstract

Dust is one of the atmospheric events of arid and semi-arid regions of the world that has had a notable increase in a recent year and negative effects in different parts. MODIS imagery provides an acceptable data source for accurate and timely monitoring of dust storms. However, there are useful dust indices based on MODIS imagery. In this study, the following are used: an improved brightness temperature adjusted dust index by Compound the brightness temperatures of three thermal infrared MODIS bands including band 20, band 31 and band 32 to monitor six representative dust storms over the West of Middle East between 2000 and 2016. When the dust storm indices of MODIS including the brightness temperature difference index in bands 32 and 31 (BTD32-31) and the normalized difference dust index (NDDI) and BADI are compared together, the BADI index more accurately estimated the spatial density of dust storms in our study area. The regression analysis has been showing significant correlations between the BADI index and MODIS Deep Blue Aerosol Optical Depth values. For the Five dust storms, the determination coefficients (R2) of the regression between the BADI index and MODIS Deep Blue AOD values were 0.44, 0.48, 0.67, 0.53 and 0.45 ($P < 0.01$), respectively. Considering that BTD 32-31 and NDDI are two widely used indices to detect dust storm, we compared the results obtained using the BTD 32-31, NDDI and BADI for detection of a dust-storm event that occurred on 17 Jul 2016 in order to illustrate the advantages of the BADI. The BADI index with the standard density index of MODIS Deep Blue Aerosol Optical Depth had the statistically significant relationship at $P \leq 0.01$.

Keywords: Dust storms, Dust Storm, MODIS, BTD, AOD, West of Middle East.

[1]- Ph.D. Student, Watershed and Arid Zone Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
[2]- Professor, Watershed and Arid Zone Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
[3]*- Assistant Professor, Watershed and Arid Zone Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. Email: mohammadian@gau.ac.ir
[4]- Assistant Professor, Geographical Science Department, Kharazmi University, Iran.
[5]- Professor, Geology Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

References

References (in Persian)

Arami, SeyedAbdolhossein. Ownegh, Majid. MohammadianBehbahani, Ali. Akbari, Mehri. Zarasvandi, Alireza. (2018). The analysis of dust hazard studies in southwest region of Iran in 22 years (1996-2017). Jsaeh; 5(1):39-66. URL: http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2729-fa.html. [In Persian]

Darvishseffat, Aliasghar. Pirbavaghar, Mahtab. Rajabpurrahmati, Manijeh. (2005). Remote sensing for GIS managers. Tehran University.710pp .[In Persian]

Fallah Zazuli, Mohammad. Vafaeinezhad, Alireza. Kheirkhah Zarkesh, Mir Masoud. Ahmadi Dehka, Fariborz. (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 Persian]

Jafari, Reza, Mansoureh Malekian, (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. [In Persian]

Karimi, Neamat, Ali Moridnejad, Saeed Golian, Jamal Mohammad Vali Samani, Danesh Karimi, Sara Javadi, (2012). Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data." Canadian Journal of Remote Sensing 38 (5): 586-599. [In Persian]

Shamshiri, Siros. Jafari, Reza. Soltani, Saeed. Ramezani, Nafiseh. (2014). Dust Detection and Mapping in Kermanshah Province Using MODIS Satellite Imagery. ijae. 2014; 3 (8):29-42. URL: http://ijae.iut.ac.ir/article-1-516-fa.html. [In Persian]

References (in English)

Ackerman, Steven A, (1989). Using the radiative temperature difference at 3.7 and 11 μm to tract dust outbreaks. Remote Sensing of Environment 27(2): 129-133.

Ackerman, Steven A, (1997). Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 102 (D14): 17069-17079.

Banks, J.R., Brindley, H.E., Flamant, C., Garay, M.J., Hsu, N.C., Kalashnikova, O.V., Klüser, L., Sayer, A.M, (2013). Inter comparison of satellite dust retrieval products over the West African Sahara during the Fennec campaign in June 2011. Remote Sens. Environ. 136, 99–116.

Bozlaker, Ayse, Joseph M. Prospero, Matthew P. Fraser, Shankararaman Chellam, (2013). Quantifying the contribution of long-range Saharan dust transport on particulate matter concentrations in Houston, Texas, using detailed elemental analysis. Environmental science & technology 47 (18): 10179-10187.

Bruzzone, Lorenzo, Diego F. Prieto, (2000). Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection. IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing 38 (3): 1171-1182.

Carreiras JM, Pereira JM, Campagnolo ML, Shimabukuro YE, (2006). Assessing the extent of agriculture/pasture and secondary succession forest in the Brazilian Legal Amazon using SPOT VEGETATION data. Remote Sensing of Environment, 101(3):283-98.

Choobari, O. Alizadeh, P. Zawar-Reza, A. Sturman, (2014). The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. Atmospheric Research 138: 152-165.

China meteorological administration (CMA), (2012). Sand-Dust Weather Almanac. China Meteorological Administration Press, Beijing.

El-Askary, Hesham, Ritesh Gautam, Menas Kafatos. (2004). Remote sensing of dust storms over the Indo-Gangetic basin. Journal of the Indian Society of Remote Sensing 32 (2): 121-124.

Good EJ, Kong X, Embury O, Merchant CJ, Remedios JJ, (2012). An infrared desert dust index for the Along-Track Scanning Radiometers. Remote sensing of environment, 116:159-76.

Gunaseelan, Indira, B. Vijay Bhaskar, K. Muthuchelian, (2014). The effect of aerosol optical depth on rainfall with reference to meteorology over metro cities in India. Environmental Science and Pollution Research 21 (13): 8188-8197.

Han, Lijian, Atsushi Tsunekawa, Mitsuru Tsubo, Weiqi Zhou, (2013). An enhanced dust index for Asian dust detection with MODIS images. International journal of remote sensing 34 (19): 6484-6495.

Hao, Xianjun, and John Jianhe Qu, (2007). Saharan dust storm detection using moderate resolution imaging spectroradiometer thermal infrared bands. Journal of Applied Remote Sensing 1 (1): 013510.

Hillger, Donald, Thomas Kopp, Thomas Lee, Daniel Lindsey, Curtis Seaman, Steven Miller, Jeremy Solbrig, (2013). First-light imagery from Suomi NPP VIIRS." Bulletin of the American Meteorological Society 94 (7): 1019-1029.

Holben, B.N., Eck, T.F., Slutsker, I., Tanre, D., Buis, J.P., Setzer, A., Vermote, E., Reagan, J.A., Kaufman, Y.J., Nakajima, T., Lavenu, F., Jankowiak, I., Smirnov, A., (1998). AERONET-A federated instrument network and data archive for aerosol characterization. Remote Sens. Environ. 66, 1–16.

Huang, Jianping, Jinming Ge, and Fuzhong Weng, (2007). Detection of Asia dust storms using multisensor satellite measurements. Remote Sensing of Environment 110 (2): 186-191.

Jafari, Reza, Mansoureh Malekian, (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.

Jensen, J.R, (2007). Thermal Infrared Remote Sensing, Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, 2nd ed. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River (pp. 288).

Kaiser, Jocelyn, (2005). Mounting evidence indicts fine-particle pollution. Science 307 (5717): 1858.

Karimi, Neamat, Ali Moridnejad, Saeed Golian, Jamal Mohammad Vali Samani, Danesh Karimi, Sara Javadi, (2012). Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data." Canadian Journal of Remote Sensing 38 (5): 586-599.

Kurosaki, Yasunori, Masato Shinoda, Masao Mikami, (2011). What caused a recent increase in dust outbreaks over East Asia? Geophysical Research Letters 38 (11).

Lee, Y. C., Xun Yang, Mark Wenig, (2010). Transport of dust from East Asian and non-East Asian sources to Hong Kong during dust storm-related events 1996–2007. Atmospheric Environment 44 (30): 3728-3738.

Qu, J.J., Hao, X.J., Kafatos, M., Wang, L.L, (2006). Asian dust storm monitoring combining terra and aqua MODIS SRB measurements. Geosci. Remote Sens. Lett. 3, 484–486.

Sanchez, d.l.C. Ana, Garcia-Salamanca, A., Solano, J., de la Rosa, J., Ramos, J.-L., (2013). Chemical and microbiological characterization of atmospheric particulate matter during an intense African dust event in Southern Spain. Environ. Sci. Technol. 47, 3630–3638.

Schepanski, K., I. Tegen, A. Macke, (2012). Comparison of satellite-based observations of Saharan dust source areas. Remote Sensing of Environment 123: 90-97.

Waggoner, Drexel G., and Sokolik, Irina N. (2010). Seasonal dynamics and regional features of MODIS-derived land surface characteristics in dust source regions of East Asia, Journal of Remote Sensing of Environment, No. 114, pp. 2126-2136.

World Meteorological Organization (WMO), United Nations Environment Programme (UNEP), (2011). Establishing a WMO Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System Regional Node for West Asia: Current Capabilities and Needs, pp. 1121 (Accessed on April 13, 2016).

Xiao, Xiangming, Chandrashekhar M. Biradar, Christina Czarnecki, Tunrayo Alabi, Michael Keller, (2009). A simple algorithm for large-scale mapping of evergreen forests in tropical America, Africa, and Asia. Remote Sensing 1 (3): 355-374.

Youlin, Yang, Victor Squires, Lu Qi, (2002). Global alarm: dust and sandstorms from the world's drylands. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).

Zhao, Yuanyuan, Chunyang He, Qiaofeng Zhang, (2012). Monitoring vegetation dynamics by coupling linear trend analysis with change vector analysis: a case study in the Xilingol steppe in northern China. International journal of remote sensing 33(1): 287-308.