

شناسایی گرد و غبار با استفاده از شاخص THIDI بهبودیافته و به کارگیری داده‌های سنجنده مادیس

شیمای عطایی^{۱*}، علی‌اکبر آبکار^۲، علی محمدزاده^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. استادیار گروه سنجش از دور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

aliabkar@gmail.com

almoh2@gmail.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۵/۱۹

تاریخ وصول مقاله: ۹۳/۷/۲۰

چکیده

در تحقیق پیش رو با به کارگیری شاخص یکپارچه مادون قرمز حرارتی مادیس به شناسایی اولیه ذرات گرد و غبار و بررسی میزان شدت آن‌ها در استان‌های ایلام و خوزستان طی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۱ پرداخته شده است. به این منظور ابتدا با توجه به آنالیزهای آماری روی داده‌های آموزشی، شاخص به کاررفته بهبود یافته است و THIDI بهبودیافته معرفی می‌شود. سپس، این شاخص برای منطقه موردنظر بومی‌سازی شده است. بنابراین، در مرحله اول داده‌های آموزشی مناسب برای سه کلاس ابر، گرد و غبار و آسمان عاری از گرد و غبار و ابر جمع‌آوری شده است. سپس، رفتار تابشی سه کلاس مذکور در باندهای مادون قرمز حرارتی مادیس بررسی و شاخص THIDI برای شناسایی گرد و غبار روی داده در منطقه مطالعاتی محاسبه می‌شود. در مرحله بعد، دقت کلی شاخص موردنظر با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی به دست آمده است که به دلیل پایین بودن این کمیت، شاخص مذکور با بررسی تعدادی از نمودارهای آماری در منطقه مطالعاتی بهبود یافته است و دقت کلی شاخص پیشنهادی با شاخص پیشین مقایسه می‌شود. نتایج حاکی از آن است که در صورت استفاده از شاخص بهبودیافته علاوه بر افزایش دقت (از ۶۴ به ۶۵ درصد) می‌توان شدت گرد و غبار را نیز تخمین زد.

کلیدواژه

شناسایی گرد و غبار، شاخص THIDI بهبودیافته، داده ایستگاه هواشناسی.

۱. سرآغاز

بومی سازی چنین روش‌هایی ضرورت می‌یابد. ذرات معلق ایجادشده در اثر توفان گرد و غبار سبب تغییر رفتار اتمسفر می‌شوند (El Askary, et al., 2006). منظور از شناسایی گرد و غبار با به کارگیری اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای یعنی شناسایی پیکسل‌هایی از تصویر که در اثر آلوده‌بودن به ذرات گرد و غبار رفتار بازتابندگی، جذب و پراکنش آن‌ها در طول موج‌های مختلف یک سنجنده تحت تأثیر قرار گرفته است و سبب تغییر رفتار آن‌ها نسبت به زمان نبود گرد و غبار می‌شود. بنابراین پدیده گرد و غبار، فرایند پیچیده‌ای است که تعاملات زمین و اتمسفر را تحت تأثیر

توفان گرد و غبار، نام عمومی از توفان ماسه و توفان گرد و خاک است و عبارت است از شرایط آب و هوایی که بادهای قوی، گرد و خاک و ماسه را از سطح زمین به آسمان بلند می‌کنند و سبب ایجاد هوای ناپاک و میدان دید کمتر از ۱ کیلومتر می‌شوند (Mei, et al., 2008). این توفان‌ها بسیار پویا هستند بنابراین، با توجه به منبع ایجاد آن‌ها، نوع ذرات و اندازه آن‌ها متفاوت خواهد بود (El Askary, et al., 2006). این امر سبب ایجاد چالش در روش‌های جهانی شناسایی گرد و غبار می‌شود و مسئله

شبکه‌های زمینی EARLINET^۶ و AD-Net و از سنجنده‌های غیرفعال به سنجنده‌های فضایی MODIS^۷، TOMS^۸، OMI^۹، CERES^{۱۰} و سنجنده زمینی استفاده شده در شبکه‌های AERONET^{۱۱} اشاره کرد (Christopher, et al., 2010; Choi, et al., 2009; El Askary, et al., 2006; Haung; et al., 2007; Sharma, et al., Xie, 2009 بهراموش و همکاران، ۱۳۹۲). به کارگیری تکنولوژی ماهواره‌های سنجنش از دور در این زمینه مزایای زیادی دارد، زیرا این ماهواره‌ها با به کارگیری طول موج‌های کوتاه اطلاعات جهانی پیرامون ویژگی‌های نوری ذرات گرد و غبار طی روز و روی خشکی و اقیانوس را فراهم می‌کنند (Park, et al., 2014). علاوه بر این، مشاهدات ماهواره‌ها در طول موج‌های حرارتی امکان بررسی الگوهای گرد و غبار طی شب را نیز میسر می‌کنند (Park, et al., 2014).

شاخص‌های طیفی همچون شاخص تفاوت نرمال گرد و غبار^{۱۲}، اختلاف دمایی درخشندگی^{۱۳} که بر اساس ویژگی‌های گرد و غبار روی نواحی مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز حرارتی امواج الکترومغناطیس تعریف شده‌اند، اطلاعات زیادی را در زمینه مشخصات طیفی گرد و غبار فراهم می‌کنند (Badarinath, et al., 2010; Haung, et al., 2007; Peng, et al., 2006; Qu, et al., 2006). یکی از شاخص‌هایی که در این زمینه ارائه شده شاخص یکپارچه مادون قرمز حرارتی مادیس^{۱۴} است (Yang, et al., 2011). این شاخص بر اساس اختلاف دمای درخشندگی چهار باند مادون قرمز حرارتی سنجنده مادیس شامل طول موج‌های ۳/۷، ۸/۶، ۱۱ و ۱۲ میکرون عمل می‌کند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته شاخص BT11 (BT12-BTD) برای شناسایی ابر استفاده می‌شود (Badarinath, et al., 2010; Haung, et al., 2007; Peng, et al., 2006). BT11 (BT8.6-BTD) شاخصی برای جداسازی گرد و غبار از سطوح شنی است. BT3.7-BTD برای جداسازی سطوح با پوشش گیاهی استفاده می‌شود؛ علاوه بر این، نشان‌دهنده شدت توفان گرد

قرار می‌دهد و اصولاً از طریق بادهایی با سرعت زیاد در زمین‌های بایر شرایط هوای خشک تشکیل می‌شود (Mei, et al., 2008). در سال‌های اخیر در مناطق خشک و نیمه خشک جهان که از میانگین بارش کمی برخوردارند توفان گرد و غبار از اهمیت زیادی برخوردار شده و به مسئله‌ای نگران‌کننده تبدیل شده است. مناطق غرب و جنوب غرب ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی و نزدیکی به بیابان‌های کشورهای مجاور مانند عراق، سوریه و عربستان، بیشتر در معرض سامانه‌های گرد و غباری‌اند. به همین دلیل در تحقیق پیش رو گرد و غبار در مناطق غربی ایران با تأکید بر استان‌های ایلام و خوزستان بررسی شده است.

به طور کلی بر اساس پروتکل سازمان WMO^{۱۵} پدیده‌های گرد و غبار بر اساس میزان کاهش دید افقی^۲ به چهار دسته تقسیم می‌شوند (Shao, et al., 2006):

۱. گرد و غبار معلق: گسترش آن در حالت تعلیق است، قابلیت دید کمتر از ۱۰ کیلومتر؛
۲. گرد و غبار وزان: کاهش قابلیت دید از ۱ تا ۱۰ کیلومتر؛
۳. توفان گرد و غبار: کاهش قابلیت دید از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر؛
۴. توفان شدید گرد و غبار: وزش شدید باد همراه ذرات بزرگ گرد و غبار و کاهش قابلیت دید کمتر از ۲۰۰ متر.

در این تحقیق از دسته‌بندی ذکر شده استفاده شده است و گرد و غبار را از لحاظ شدت به دو گروه تفکیک می‌کنیم. بر این اساس، گرد و غبارهای معلق و وزان را با شدت ضعیف‌تر و توفان گرد و غبار و توفان شدید گرد و غبار را با شدت بیشتر در نظر می‌گیریم. سنجنده‌های مختلفی برای شناسایی گرد و غبار استفاده می‌شوند. این سنجنده‌ها را می‌توان به دو نوع فعال و غیرفعال تفکیک کرد. از جمله سنجنده‌های فعال که عمدتاً لیداری^۳ هستند می‌توان به ماهواره‌های CALIOP^۴ و CALIPSO^۵ و

زندگی روزمره شده است (طرفی و همکاران، ۱۳۹۰). از سوی دیگر، خلل در چرخه اقتصادی و مختل شدن فعالیت‌های روزانه و به‌ویژه به صدا در آمدن زنگ خطر برای سلامت افراد جامعه، سبب شد تا مسئولان به فکر تعطیلی فعالیت‌ها در برخی شهرها باشند. وقوع این پدیده علاوه بر تابستان، به دلیل کاهش شدید نزولات آسمانی و وقوع پدیده خشکسالی در زمستان نیز ادامه یافته و رفته رفته دامنه آن به سایر نقاط کشور نیز کشیده شده است (طرفی و همکاران، ۱۳۹۰).

ماهواره‌های سنجنش از دور به‌منزله ابزار مشاهداتی مؤثر برای مطالعه این نوع ذرات معلق به شمار می‌روند، زیرا به واسطه زندگی کوتاه‌مدت ذرات گرد و غبار (در حدود چند ساعت در یک هفته)، توزیع زمانی و مکانی این ذرات به صورت گسترده‌ای تغییر می‌کند. پیش از این، بیشتر شاخص‌های طیفی ارائه شده برای شناسایی گرد و غبار بر اساس اندازه‌گیری‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای، برای مناطق بیابانی تست و اجرا شده است (Huang, et al., 2007; Tao, et al., 2005; Xie, 2009). این شاخص‌ها و حد‌آستانه مربوط به آن‌ها برای مناطقی با توپوگرافی پیچیده‌تر به بررسی‌های بیشتر و دقیق‌تری نیاز دارند. از این رو در مناطق غربی ایران که منطقه کوهستانی همراه پوشش گیاهی وجود دارد باید روش‌های شناسایی تست و ارزیابی شوند. به عبارت دیگر، با توجه به اینکه ویژگی‌های طیفی ذرات گرد و غبار به دلیل تغییرات منطقه‌ای مشخصات خاک و ترکیب گرد و غبار با سایر گونه‌های ذرات معلق، از لحاظ مکانی و زمانی متفاوت‌اند باید هر یک شاخص‌های طیفی که قبلاً از سوی محققان ارائه و آزمایش شده است، برای منطقه مطالعاتی ما دوباره ارزیابی شود و در صورت ناتوانی یا ناسازگاری هر یک از آن‌ها، شاخص‌های بهینه و سازگار با منطقه ارائه شود.

۳. پیشینه تحقیق

از سال ۱۹۷۰ در خصوص رویداد گرد و غبار و شناسایی

و غبار رخ داده در منطقه است (Yang et al., 2011). Yang با ترکیب این سه پارامتر، شاخص THDI را ارائه داده که دو مزیت اصلی آن در شناسایی گرد و غبار عبارت است از: ۱. استفاده از مزایای هر یک از شاخص‌های سه‌گانه بیان شده؛ ۲. قابل استفاده روی هر نوع پوشش زمین از جمله سطوح تاریک (پوشش گیاهی)، سطوح روشن (مثل بیابان‌ها با پوشش شنی) و اقیانوس.

بنابراین، با توجه به پیچیدگی‌های توپوگرافی که در منطقه مطالعاتی غرب و جنوب غرب ایران شامل استان‌های ایلام و خوزستان، وجود دارد به کارگیری این شاخص مناسب به نظر می‌رسد، زیرا در این مناطق ترکیبی از زمین‌های کوهستانی همراه پوشش گیاهی یا زمین‌های بایر و پوشش گیاهی وجود دارد. بر همین اساس، ابتدا در قسمت‌های ۲ و ۳ پیشینه و ضرورت انجام این تحقیق بیان شده است سپس، داده‌های استفاده‌شده و روش تحقیق تشریح و در خصوص دقت‌های به‌دست آمده بحث می‌شود. در انتها نیز نتایج بیان می‌شود.

از این رو شاخص پیشنهادشده از سوی Yang برای منطقه مطالعاتی توسعه یافته است و بومی‌سازی می‌شود. شاخص توسعه‌یافته علاوه بر اینکه دقت بیشتری در شناسایی گرد و غبار دارد قادر است شدت توفان گرد و غبار را نیز تشخیص دهد.

۲. ضرورت تحقیق

در سال‌های اخیر وقوع پدیده گرد و خاک در بسیاری از استان‌های کشور، سبب بروز مشکلات فراوان برای ساکنان این استان‌ها شده و در برخی شرایط ناممکن شدن حضور در فضای بیرون از ساختمان‌ها را به دنبال داشته است (طرفی و همکاران، ۱۳۹۰). متأسفانه این پدیده و به دنبال آن وقوع خشکسالی در سال‌های اخیر در سطح کشور، سبب افزایش میزان آلودگی تا ده‌ها برابر حد مجاز در سطح منطقه شده است. به گونه‌ای که در مواردی شعاع دید به کمتر از ۱۰۰ متر نیز می‌رسد و این امر سبب اختلال

آسمان بدون ابر و گرد و غبار: $BTD_{BT32-BT31} > 0$
 $0, BTD_{BT29-BT31} < 0, BTD_{BT20-BT31} > 0 \rightarrow$
 $TIIDI > 0$
 ابر $BTD_{BT32-BT31} > 0, BTD_{BT29-BT31} >$
 $0, BTD_{BT20-BT31} > 0 \rightarrow TIIDI < 0$
 در رابطه ۱، اگر $BTD_{BT29-BT31}$ مثبت باشد مقدار پارامتر a برابر با ۱۰ و در غیر این صورت ۵ انتخاب می‌شود.
 برای آسمان بدون ابر و گرد و غبار مقدار شاخص $TIIDI$ کوچک‌تر از مقداری است که برای گرد و غبار به دست می‌آید، زیرا در مورد سطح زمین $BTD_{BT29-BT31}$ مقدار کوچک‌تری دارد (Yang, et al., 2011).

۴. داده‌های استفاده شده

سنجنده MODIS با پوشش جهانی تقریباً روزانه در ۳۶ باند طیفی از مرئی تا مادون قرمز حرارتی (۲۹ باند طیفی با قدرت تفکیک مکانی ۱km، ۵ باند طیفی 500m و ۲ باند طیفی 250m در نادر) روی مدار قطبی ماهواره NASA-EOS Terra و Aqua با زمان عبور استوایی ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ (زمان خورشیدی محلی^{۱۷}) است. این سنجنده به واسطه عرض برداشت بزرگ و زاویه اسکن 110° پوشش تقریباً جهانی دارد. تصاویر MODIS به صورت گسترده در بررسی‌های هواشناسی و پدیده‌های اتمسفری مثل آتش‌سوزی جنگل، وقوع گرد و غبار، توفان، گردباد، آتشفشان و ... استفاده می‌شوند. بازیابی ویژگی‌های مربوط به ذرات معلق MODIS از مشاهدات روی اقیانوس و خشکی به وسیله دو الگوریتم مجزا انجام می‌شود (El Askary, et al., 2006).

در این تحقیق از محصولات مادیس شامل MOD021^{۱۸}، MCD12Q1^{۱۹} و MOD35^{۲۰}، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ استان‌های ایلام (31°58' to 34°15' N, 45°24' to 48°10' E) و خوزستان (29°57' to 33°00' N, 47°32' to 50°39' E) برای به دست آوردن نوع پوشش زمین، همچنین داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک این دو استان در دوره زمانی ۱۳۸۴-۱۳۹۱ برای اجرای الگوریتم موردنظر و در نهایت

آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و به کارگیری دو تکنیک VIR^{۱۵} و TIR^{۱۶} بحث شده است (Peng, et al., 2006). در این راستا Ackerman امکان شناسایی ذرات معلق آتشفشانی و گرد و غبار را با استفاده از مشاهدات مادون قرمز در طول موج ۸/۵ میکرون همراه مشاهدات در کانال‌های ۱۱ و ۱۲ میکرون گسترش داده است (Ackerman, et al., 1997). باندهای ۳۱ و ۳۲ مادیس که در پنجره مادون قرمز حرارتی قرار دارند، به اندازه جزئی از طریق سایر گازهای اتمسفر جذب می‌شوند. گرد و غبار انتشار بالاتری در باند ۳۲ نسبت به باند ۳۱ دارد. بنابراین، برای کشف این ذرات می‌توان از اختلاف دمای درخشندگی بین این دو باند استفاده کرد (Ackerman, et al., 1997; Haung, et al., 2007; Peng, et al., 2006). از سوی دیگر، اختلاف دمای درخشندگی دو باند ۲۰ و ۳۱ مادیس برای سه کلاس ابر، گرد و غبار و آسمان عاری از ابر و گرد و غبار همیشه مثبت است، اما رنج مقادیر برای هر کلاس متفاوت است. یعنی مقدار آن برای سطح زمین و آب کوچک‌تر است (حدود ۱۰) و وقتی پیکسل با ابر پوشیده شود افزایش می‌یابد و تقریباً به ۱۵-۶۰ می‌رسد و در حضور گرد و غبار مقدار آن بزرگ‌تر از ۵۵ می‌شود. بنابراین، این شاخص شدت توفان گرد و غبار را نشان می‌دهد (Yang, et al., 2011). توان بازتابی گرد و غبار در باند ۲۹ و ۳۱ مادیس از توان بازتابی سطوح شنی متفاوت است، زیرا اندازه ذرات آن‌ها با هم فرق می‌کند. به این ترتیب اختلاف دمای درخشندگی دو باند ۲۹ و ۳۱ نیز می‌تواند برای تمایز گرد و غبار از سطوح شنی مثل بیابان استفاده شود (Yang, et al., 2011). Yang برای تجمیع فواید این شاخص‌های معروف، شاخص $TIIDI$ را پیشنهاد کرده است.

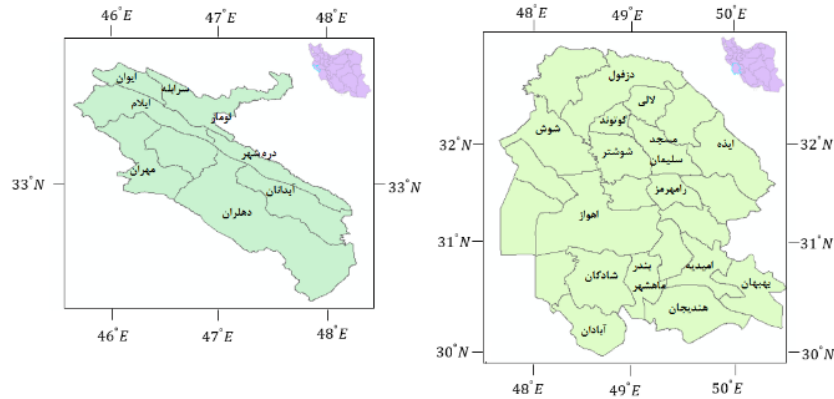
(۱)

$$TIIDI = (BTD_{BT32-BT31}) \times \exp(BTD_{BT29-BT31}/a) \times (BTD_{BT20-BT31})$$

گرد و غبار: $BTD_{BT32-BT31} >$

$$0, BTD_{BT29-BT31} < 0, BTD_{BT20-BT31} > 0 \rightarrow TIIDI > 0$$

ایستگاه در تصویر انجام می‌شود. شکل ۱ منطقه مطالعاتی همراه محدوده تقریبی ایستگاه‌های هواشناسی مورد نظر نشان داده شده است.



شکل ۱. نمایش شماتیک منطقه مطالعاتی مورد نظر شامل استان‌های ایلام و خوزستان و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در هر استان

تصاویر نیز از طریق محصول ماسک ابر مادیس تأیید می‌شود. نمودار مربوط به تابش سه کلاس ابر، گرد و غبار و آسمان عاری از آن‌ها در باندهای حرارتی به دست آمده است و آنالیز آماری می‌شود. طبق نتایج تحقیقات پیشین در مورد آسمان بدون ابر و گرد و غبار، اختلاف دمای درخشندگی باند ۳۱ و ۳۲ منفی است (Xie, 2009; Yang, et al., 2011). یعنی شیب خط از باند ۳۱ به ۳۲ باید مثبت باشد. با توجه به پیچیدگی منطقه مطالعاتی ما، شیب خط مذکور برای چنین آسمانی همانند ابر مثبت است (Park, et al., 2014). به این علت که یک پیکسل $1\text{km} \times 1\text{km}$ مادیس در منطقه مطالعاتی مورد نظر تنها شامل یک کلاس نیست و چندین کلاس مثل ساختمان‌ها، پوشش گیاهی، اراضی بیابانی و زمین‌های بایر را شامل می‌شود. زیرا تغییرات طیفی در گسیل‌مندی سطح سبب تغییر رفتار شاخص BT31-BT32 (BT31-BT32) می‌شود (Park, et al., 2014).

در صورتی که برای آسمان بدون ابر و گرد و غبار BT31-BT32 مثبت باشد دیگر نمی‌توان نتیجه

اعتبارسنجی آن استفاده شده است. با توجه به اینکه داده‌های زمینی ما مربوط به ۳۰ ایستگاه هواشناسی دو استان مذکور است، بنابراین کلیه آنالیزهای مربوط به محاسبات و پردازش تصویر روی پیکسل‌های محل این ۳۰

۵. روش تحقیق

با توجه به اینکه هدف از این تحقیق به کارگیری شاخص THIIDI بهبودیافته^{۲۱} برای شناسایی پیکسل‌های گرد و غبار است، بنابراین، با در نظر گرفتن این نکته که در منطقه مطالعاتی مورد نظر با سه نوع پیکسل گرد و غبار، ابر و آسمان بدون ابر و گرد و غبار مواجه‌ایم، ابتدا باید رفتار تابشی سه کلاس مورد نظر را در باندهای مادون قرمز حرارتی مادیس، بررسی کنیم. بنابراین در گام اول باید برای هر سه کلاس داده‌های آموزشی مناسب جمع‌آوری شود. صحت این داده‌های آموزشی را داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی تأیید می‌کند. به این صورت که برای روزهای گرد و غباری تصاویری انتخاب می‌شوند که در زمان اخذ آن‌ها میدان دید افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر است و کد هواشناسی مربوط به آن پدیده گرد و غباری را نشان می‌دهد (جدول ۱). در مورد آسمان بدون ابر و گرد و غبار شرایط کاملاً برعکس است یعنی تصاویری انتخاب می‌شوند که میدان دید بیشتر از ۱۰ کیلومتر است و کد هواشناسی پدیده خاصی را نشان نمی‌دهد. وجود ابر در

ابر و گرد و غبار یکسان و در هر دو مورد مثبت است. پس می‌توان در رابطه ۲، $BTD(BT29-BT32)$ را با $BTD(BT31-BT32)$ جایگزین کرد.

در این صورت شاخص $iTHIDI$ بهبود یافته پیشنهاد می‌شود که رابطه آن به صورت زیر خواهد بود:

(۲)

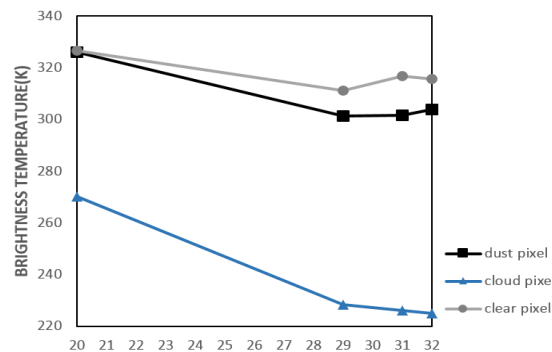
$$iTHIDI = (BTD_{BT32-BT29}) \times \exp(BTD_{BT29-BT31}/a) \times (BTD_{BT20-BT31})$$

گرد و غبار: $BTD_{BT32-BT29} > 0, BTD_{BT29-BT31} < 0, BTD_{BT20-BT31} > 0 \rightarrow iTHIDI > 0$

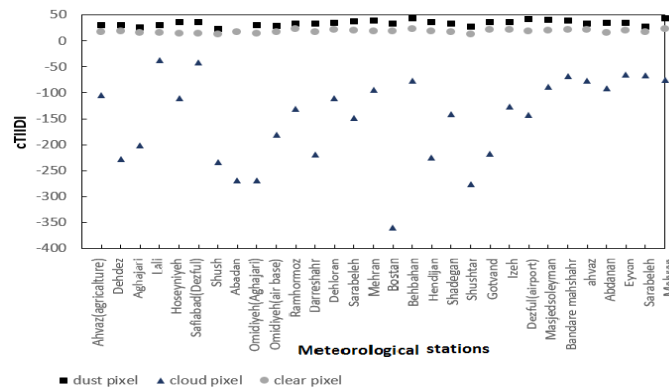
آسمان بدون ابر و گرد و غبار: $BTD_{BT32-BT29} > 0, BTD_{BT29-BT31} < 0, BTD_{BT20-BT31} > 0 \rightarrow iTHIDI > 0$

ابر: $BTD_{BT32-BT29} < 0, BTD_{BT29-BT31} > 0, BTD_{BT20-BT31} > 0 \rightarrow iTHIDI < 0$

گرفت که شاخص $iTHIDI$ نیز مثبت می‌شود در این صورت گرد و غبار و آسمان بدون ابر و گرد و غبار نیز رفتار مشابهی نخواهند داشت. بنابراین، این شاخص دیگر قادر به نشان دادن شدت توفان گرد و غبار نخواهد بود. همان‌گونه که در قسمت ۱، مقدمه توضیح داده شد گرد و غبار بر اساس کاهش میدان دید افقی به چهار گروه تفکیک شد. شدت گرد و غبار بر اساس همین دسته‌بندی تعریف می‌شود، زیرا یکی از چالش‌هایی که در شناسایی گرد و غبار وجود دارد، وقوع گرد و غبارهایی با شدت کمتر و میدان دید افقی بیشتر از یک کیلومتر و ناتوانی در تشخیص آن‌ها روی تصاویر رنگی مادیس است. بنا بر آنچه گفته شد شاخص $iTHIDI$ برای منطقه مورد نظر باید اصلاح شود. طبق نمودار شکل ۲ در منطقه مطالعاتی ما، شیب خط از باند ۲۹ به ۳۲ در مورد هر دو کلاس گرد و غبار و آسمان عاری از



شکل ۲. نمودار رفتار بازتابندگی پیکسل‌های ابر، گرد و غبار و آسمان بدون ابر. گرد و غبار در باندهای مادون قرمز حرارتی مادیس



شکل ۳. رفتار شاخص $iTHIDI$ در روزهای گرد و غباری، روزهای عاری از گرد و غبار (سطح زمین) و ابری در ۳۰ ایستگاه هواشناسی مورد نظر و به دست آوردن حد آستانه ۲۵ برای جداسازی پیکسل‌های گرد و غبار از سطح زمین و حد آستانه صفر برای شناسایی پیکسل‌های ابر.

تحقیق، در گام اول این پارامتر استفاده شد و نتایج جالبی به دست آمد، زیرا براساس تحقیقات پیشین 32-31 BTDD در برای آسمان عاری از ابر و گرد و غبار باید مقادیر مثبتی داشته باشد. ولی در تحقیق ما بر خلاف انتظار، این مقادیر منفی می‌شود که این سبب تغییر رفتار THIIDI در تفکیک گرد و غبار از سطح زمین می‌شود. در نتیجه نمی‌توان شدت گرد و غبار را به دست آورد. بنابراین، بررسی‌های بیشتری صورت گرفت تا شاخص بهینه‌ای ارائه شود. در این راستا با جایگزینی 29-32 BTDD به جای 31-32 BTDD در رابطه ۲ شاخص بهبودیافته THIIDI پیشنهاد می‌شود.

برای ارزیابی دقت شاخص پیشنهادشده و بررسی میزان موفقیت آن در شناسایی گرد و غبار، این شاخص برای روز ۱۵ تیر ۱۳۸۸ که یک گرد و غبار شدید در منطقه به وقوع پیوسته، محاسبه شده است. در این تصویر که در ساعت ۱۰:۳۵ محلی گرفته شده است داده‌های ایستگاه هواشناسی نشان‌دهنده حدافل و حداکثر میدان دید افقی ۲۰۰ و ۶۰۰۰ متر در منطقه مطالعاتی است. طبق دسته‌بندی ابتدای تحقیق (قسمت ۱، مقدمه) گرد و غبار شدیدی به وقوع پیوسته است. در شکل ۴ نتیجه اعمال شاخص iTHIIDI روی تصویر نشان داده شده است و با تصویر رنگی^{۲۲} سنجنده مادیس مربوط به همین روز مقایسه می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در مقایسه تصویر (الف) با تصویر (ب) تطابق خوبی وجود دارد. ضمن اینکه شاخص بهبودیافته توانسته است علاوه بر شناسایی گرد و غبار، شدت آن را نیز تشخیص دهد.

از سوی دیگر، دقت روش توسعه‌یافته با به کارگیری داده‌های زمینی نیز ارزیابی می‌شود. منظور از داده‌های زمینی، اطلاعات هواشناسی مربوط به ۳۰ ایستگاه سینوپتیک کشور در دو استان ذکر شده است. این اطلاعات شامل میدان دید افقی و کدهای هواشناسی است. مطابق با استانداردهای سازمان هواشناسی، هنگام وقوع گرد و غبار با کاهش میدان دید افقی، این پارامتر به کمتر از ۱۰ کیلومتر می‌رسد و کد هواشناسی آن با اعداد ۰۵، ۰۶ و ۰۷ مشخص

مطابق با شکل ۳، بررسی‌های ما روی شاخص iTHIIDI در روزهای ابری، گرد و غباری و روزهایی که آسمان عاری از ابر و گرد و غبار است نشان می‌دهد که این شاخص برای آسمان بدون ابر و گرد و غبار کوچک‌تر و در حدود ۱۰-۲۵ است، اما هنگام وقوع گرد و غبار افزایش می‌یابد و مقادیر بیشتر از ۲۵ را شامل می‌شود. حتی شاخص مورد بحث هنگام وقوع گرد و غبارهایی با شدت کمتر نیز مقداری بیش از ۲۵ خواهد داشت. از سوی دیگر، طبق روابط ذکرشده و همچنین شکل ۳ شاخص iTHIIDI برای پیکسل‌های پوشیده از ابر مقادیر منفی دارد. بنابراین، ابتدا می‌توان با انتخاب حدآستانه صفر روی شاخص iTHIIDI، پیکسل‌های ابر را از گرد و غبار و آسمان بدون ابر و گرد و غبار جدا و آن‌هایی که دارای مقداری بیش از ۲۵ هستند به منزله پیکسل‌های آلوده به گرد و غبار شناسایی کرد. از بین پیکسل‌هایی که به منزله پیکسل آلوده به گرد و غبار شناخته شده‌اند اگر شاخص توسعه‌یافته برای آن‌ها در بازه ۲۵-۵۰ قرار داشته باشد نشان‌دهنده گرد و غبار ضعیف‌تر و در غیر این صورت اگر iTHIIDI بیش از ۵۰ داشته باشند مشخص‌کننده توفان گرد و غبار با شدت بیشتری هستند.

۶. بحث و آنالیز نتایج

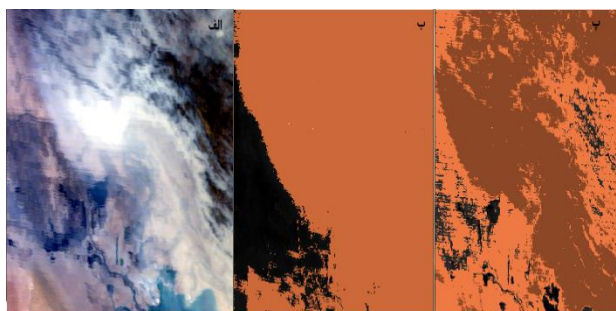
همان‌گونه که ذکر شد هدف از این تحقیق شناسایی پیکسل‌های آلوده به گرد و غبار در تصاویر سنجنده مادیس است. برای این منظور از شاخص‌های طیفی که بر اساس اندازه‌گیری‌های باندهای مادون قرمز حرارتی مادیس‌اند، استفاده می‌شود. این شاخص‌ها عبارت‌اند از: اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۲۰، ۲۹، ۳۱ و ۳۲ (32-31 BTDD, 32-31 BTDD). بر این اساس، پارامتر THIIDI (32-31 BTDD, 29-31 BTDD). که ترکیبی از سه شاخص ذکر شده است می‌تواند دربردارنده مزایای هر یک از این شاخص‌ها (رجوع شود به قسمت ۳، پیشینه تحقیق) برای شناسایی گرد و غبار باشد (Yang, et al., 2011). بنابراین، برای نیل به هدف

کلاس قرار گرفته‌اند) شاخص توسعه‌یافته‌ی THIDI برای شناسایی پیکسل‌های گرد و غبار در حدود ۶۵ درصد و در صورت استفاده از THIDI، ۶۴ درصد است.

می‌شود (جدول ۱). بر اساس محاسبات ما، دقت کلی^{۲۳} (منظور از دقت کلی نسبت تعداد پیکسل‌هایی که از طریق شاخص پیشنهادی ما به کلاس خاصی تعلق یافته‌اند به تعداد پیکسل‌هایی که با توجه به داده‌های هواشناسی در آن

جدول ۱. کدهای هواشناسی مرتبط با ذرات معلق موجود در هوا

شماره	کد	تعریف	سایر مشخصات
۰۵	Haze غبار	حالتی از تیرگی هوا که در نتیجه وجود ذرات جامد و معلق در هوا ایجاد می‌شود. رطوبت کمتر از ۸۰ درصد، این ذرات ممکن است شامل دود، بخار آب یا ذرات شن بسیار ریز باشد.	محدودیت‌ناداشتن دید
۰۶	Dust Haze گرد و غبار	گرد و خاک معلق در هوا و گسترده که به وسیله باد در ایستگاه یا نزدیکی ایستگاه بلند نشده باشد.	دید کمتر از ۱۰ کیلومتر
۰۷	Rising Dust گرد و غبار برخاسته	گرد و خاک یا شنی که در ساعت دیدبانی در اثر وزش باد در ایستگاه یا اطراف آن به هوا بلند شده باشد.	سرعت باد بیشتر از ۷۰ متر در ثانیه باشد.



شکل ۴. مقایسه (الف) تصویر ترکیب رنگی حقیقی مادیس در تاریخ ۱۵ تیر ۱۳۸۸، (ب) شاخص THIDI پیشنهاد شده از سوی Yang و (پ) شاخص THIDI بهبود یافته برای کشف گرد و غبار در منطقه مطالعاتی برای همین روز. در تصویر (ب) رنگ قهوه‌ای گرد و غبار را نشان می‌دهد و در تصویر (پ) قسمت‌هایی با رنگ قهوه‌ای تیره گرد و غبار شدید و قهوه‌ای روشن گرد و غبار ضعیف‌تر را نشان می‌دهند.

۷. نتیجه‌گیری

بومی‌سازی می‌شود. از همین رو، شاخص یکپارچه مادون قرمز حرارتی (THIDI) برای شناسایی گرد و غبار، توسعه داده شده است و شاخص بهینه‌ای معرفی شد. اگرچه به کارگیری این شاخص ما را به دقتی بیش از ۶۵ درصد نمی‌رساند، اما به دلیل سادگی روش و در دسترس بودن پوشش گسترده داده‌های سنجنده مادیس (MOD021) سبب سرعت در شناسایی گرد و غبار می‌شود. همچنین، مقایسه دو شاخص نشان می‌دهد که روش توسعه‌یافته نه تنها قادر به کشف گرد و غبارهایی با شدت زیاد است،

بر اساس آنچه گفته شد به دلیل نوع پوشش زمین در منطقه مورد بحث یعنی قسمت‌های غرب و جنوب غرب ایران - که در آن‌ها با ترکیبی از کلاس‌های مختلف همچون پوشش گیاهی، زمین‌های بایر یا شنی، کوهستانی و ... روبه‌رو هستیم - بررسی مجدد شاخص‌های طیفی که در سطح جهانی مطرح شده است امری اجتناب‌ناپذیر است. زیرا در این بررسی از یک طرف شاخص‌های قبلی بهبود می‌یابد و از سوی دیگر حد‌آستانه مربوط به آن‌ها

15. Visible and Infrared

16. Thermal Infrared

17. Local Sun Time (LST)

۱۸. بازتابندگی و گسیل مندی در ۳۶ باند مادیس: در این

تحقیق با توجه به استفاده از MOD021، باندهای مختلف
سنجنده مادیس، رفتار بازتابندگی و تابشی سطح زمین را در
بالای اتمسفر نشان می دهند. بنابراین، در صورت وجود هر نوع
پوششی مثل اراضی بیابانی، بازتابندگی بالای اتمسفر میزان
بازتابندگی سطح زمین را همراه تأثیر اتمسفر نشان می دهد. با
توجه به اینکه در شناسایی گرد و غبار هدف بررسی تأثیر ذرات
گرد و غبار موجود در اتمسفر در طول موج های مختلف مادیس
است بنابراین، میزان بازتابندگی و تابش سه کلاس مذکور در
بالای اتمسفر موردنظر است.

۱۹. محصول پوشش زمین مادیس

۲۰. محصول ماسک ابر مادیس

21. Improved TIIDI (iTIIDI)

22. True color (The combination of MODIS
bands: b1, b4, b3)

23. Overall Accuracy

بلکه می تواند توفان های گرد و غبار با شدت ضعیف تر را

نیز تشخیص دهد.

یادداشت ها

1. World Meteorological Organization
2. Visibility
3. Lidar (light detection and ranging)
4. Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization
5. Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observation
6. European Aerosol Research Lidar Network
7. Moderate Resolution Imaging Spectra Radiometer
8. Total Ozone Mapping Spectrometer
9. Ozone Monitoring Instrument
10. Clouds and the Earth's Radiant Energy System
11. Aerosol Robotic Network
12. Normalized Difference Dust Index
13. Brightness Temperature Difference (BTD)
14. Thermal Infrared Integrated Dust Index (TIIDI)

منابع

- بهراموش، ش. و محمدزاده، ع. ۱۳۹۲. «بررسی ویژگی های اپتیکی و اندازه ذرات گرد و غبار ایران به وسیله AERONET». همایش تخصصی ریزگردها، پیش، آثار و راهکارهای مقابله با آن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- طرفی، ف. چمنی، ت. کرم پور، ع. و الهی، ن. ۱۳۹۰. «مدیریت بحران در گرد و غبار استان خوزستان و ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش اثر آن»، نخستین همایش مدیریت بحران در صنعت ساختمان، شریان های حیاتی و سازه های زیرزمینی، اصفهان: مرکز پژوهش مهندسی بحران های طبیعی شاخص سازان.
- Ackerman, S. 1997. Remote sensing aerosol using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research*, v. 102, no. D14. 11:pp. 17069-17079
- Badarinath, K., Kharol, K., Kaskaoutis, D., Shama, A., Ramaswamy, V., & Kambezidis, H. 2010. Long-range transport of dust aerosol over the Arabian Sea and Indian region-A case study using satellite data and ground based measurements. *Global and Planetary Change*. 18:pp. 164-181
- Choi, Y.S., Ho, C.H., Oh, H.R., J.Park, R., & Song, C.-G. 2009. Estimating bulk optical properties of aerosol over the western North Pacific by using MODIS and CERES measurements. *Atmospheric Environment*. 7:pp. 5654-5660
- Christopher, S., & Jones, T. 2010. Satellite and surface-based remote sensing of Sahran dust aerosol. *Remote Sensing of Environment*. 6:pp. 1002-1007
- El Askary, H., Gautam, R., Singh, R., & Kafatso, M. 2006. Dust storms detection over the Indo-Gangetic basing multi sensor data. *Advanced in Space Research*. 6:pp. 728-733
- Huang, J., Ge, J., & Weng, F. 2007. Detection of Asia dust storms using multisensor satellite measurements. *Remote Sensing of Environment*. 6:pp. 186-191
- Mei, D., & Xiushan, L. 2008. A Dust-Storm Process Dynamic Monitoring With Multi-Temporal MODIS Data. *The*

- International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Informatino Sciences. 6:pp. 965-970
- Park, S., Kim, J., Lee, J., Lee, S., Kim, J. S., Chang, L. S., & Ou, S. 2014. Combined dust detection algorithm by using MODIS infrared channels over East Asia. Remote Sensing of Environment 141. 16:pp. 24-39
- Peng, Z., Nai Meng, L., Xiu qing, H., & Chao-Hau, D. 2006. Identification and physical retrieval of dust storm using three MODIS thermal IR channels. Global and Planetary Change 52.10:pp.197-206
- Qu, J., Hao, X., Kafatso, M., & Wng, L. 2006. Asian Dust Storm Monitoring Combining Terra and Aqua MODIS SRB Measurements. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, VOL. 3, NO. 4. 3:pp. 484-486
- Shao , Y., & Dong, C. 2006. A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring. Global and Planetary Changes. 52: p. 1-22.
- Sharma, A., Kharol , S., & Badarinath, K. 2009. Satellite observation of unusual dust event over North-East India and its relation with meteorological conditions. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 8:pp. 2032-2039
- Tao, H., Yaohui, L., Hui, H., Yongzhong, Z., & Yujie, W. (2005). Automatic Detection of Dust Storm in the Northwest of China Using Decision Tree Classifier Based on MODIS Visible Bands Data. 4:pp. 3603-3606
- Xie, Y. 2009. Detection of Smoke and Dust Aerosols Using Multi-sensor Satellite Remote Sensing. Nanjing Normal University, P. R. China.
- Yang, L., & Ronggao, L. 2011. A Thermal Index From MODIS Data For Dust Detection. IEEE. 4:pp. 3783-3786