



بررسی گستره تغییرپذیری دید افقی مناطق متأثر از رخدادهای گرد و غبار در استان یزد

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

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

۲. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

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

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

* نویسنده مسئول: mzernani@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۸

چکیده

شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی استان یزد، همواره این منطقه را در معرض توفان‌های سهمگین گردوغبار و آلودگی هوا قرار داده است. کاهش میدان دید، اولین تأثیر آلودگی هوای ناشی از پدیده‌های جوی است. افزایش تراکم ذرات گرد و غبار همراه با کاهش شدید دید، تأثیر ناگواری بر سلامتی موجودات زنده، بخش‌های اقتصادی-اجتماعی و سامانه‌های حمل و نقل دارد. بنابراین، شناخت مناطق پرخطر برپایه کاهش میدان دید ناشی از گرد و غبار، برای مدیریت و حفظ سلامت ساکنان منطقه دارای اهمیت است. هدف از پژوهش حاضر ارزیابی روند تغییرپذیری مکانی دید افقی مناطق درگیر با توفان‌های گردوغبار در استان یزد است. به این منظور، مدل کمی دید افقی بر اساس ارتباط بین عمق نوری هواویزهای حاصل از سنجنده مودیس (AOD) با الگوریتم Deep Blue و داده‌های دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد بررسی، معرفی و نقشه دید افقی شش رخداد گرد و غبار در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ به روش کریجینگ پهنه‌بندی شد. نتایج ارتباط معنی‌داری را در سطح ۹۹٪ بین AOD و داده‌های دید افقی نشان داد. دامنه کمی مقدارهای AOD در شش رخداد مورد بررسی از ۰/۱ در مناطق بدون گردوغبار تا ۱/۹ در مناطق با گردوغبار شدید، و مقدار دید افقی متناظر با مقدارهای مذکور، از ۶۴ متر در مناطق واقع در کانون‌های گرد و غبار تا ۱۹۹۵۱ متر فراتر از کانون‌های مذکور، برآورد شد. بنابراین، در تصاویر با مقدار AOD بیش از ۰/۸، مقدار دید افقی به کمتر از ۱۰۰۰ متر کاهش می‌یابد. نداشتن محدودیت مکانی در تعیین گستره دید افقی و شناسایی مناطق تحت تأثیر رخدادهای گردوغبار از مزایای مدل کمی دید افقی و پهنه‌بندی آن است. براساس نقشه کاربری/پوشش اراضی استان یزد، عرصه‌های معدنی و ساختمانی، جاده‌های خاکی، تپه‌های ماسه‌ای، مراتع فقیر و بدون پوشش، مؤثرترین عامل افزایش تراکم گرد و غبار و کاهش دید در مسیر توفان‌های استان است.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی؛ توفان؛ عمق نوری هواویز؛ مدل؛ مودیس؛ مناطق خشک

■ مقدمه

خاک و هوا دو عنصر ضروری در حیات موجودات کره زمین هستند. اما برهم کنش آن‌ها در شرایط خاص، مخاطره‌ای به نام توفان گرد و غبار را رقم می‌زند. پیدایش شیب فشاری یا وجود دو جبهه هوای گرم و سرد در یک منطقه، تقابل باد و خاک بدون پوشش را به توفانی از گرد و غبار تبدیل می‌سازد (۲۵، ۳۲). در چنین شرایطی، حجم زیادی از گرد و خاک در هوا گسیل و دید افق را به کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌رساند (۲۹). وزش بادهای با سرعت زیاد در شرایط خشکی طولانی مدت و سطح کاملاً خشک خاک، موجب وقوع توفان‌های بزرگ (۴) و پراکنش مقادیر زیادی از غبار در اتمسفر تا هزاران کیلومتر فراتر از مناطق خشک می‌شود، به‌طوری‌که، تأثیرهای قابل توجه و قابل تأملی را بر روی اقلیم، محیط زیست، کیفیت هوا، ویژگی‌های خاک و ژئومورفولوژی مناطق تحت تأثیر خود می‌گذارد (۲۸). افزایش آلودگی هوا و در پی آن شیوع بیماری‌های چشمی و تنفسی از پیامدهای توفان‌های گرد و غبار است (۱). براساس پژوهش‌های صورت گرفته، رابطه معنی‌داری بین قرارگیری در معرض غلظت بالای ذرات غبار موجود در هوا و افزایش مقدار مرگ و میر، بیماری‌های قلبی - عروقی، بیماری‌های تنفسی و سرطان ریه وجود دارد (۴۲). با وقوع یک رخداد، تقریباً ۳۰ درصد از ذرات گرد و غبار در نزدیکی منشأ توفان، ۲۰ درصد در مقیاس محلی منتشر و بیش از نیمی از آن در فواصل دورتر تا حدود ۶۵۰۰ کیلومتر، منتقل می‌شوند. در زمان رخدادهای گرد و غبار غلظت بعضی از فلزات سنگین و سمی مانند سرب، جیوه و آرسنیک به مقدار زیادی افزایش می‌یابد و ده‌ها میلیون باکتری، قارچ و اسپور با وقوع گرد و غبار در فضا منتشر و بر روی سلامت موجودات زنده تأثیر می‌گذارد.

قابلیت دید، از جمله متغیرهای اتمسفری رایج در مشاهدات هواشناسی، به معنای بیشینه فاصله مشاهده جسم در جو است؛ و مقدار آن با جذب و خاموشی نور در اثر مولکول‌های گاز و ذرات در ارتباط است (۲۲). این پارامتر که توسط هزاران ایستگاه مشاهداتی واقع در شبکه جهانی هواشناسی ثبت می‌گردد، مربوط به شفافیت جو و براساس

توانایی دید بشر با استفاده از ابزارهای نصب شده در ایستگاه‌ها و معمولاً در فرودگاه‌ها پایه‌گذاری شده است. کاهش قابلیت دید اولین تأثیر قابل ملاحظه آلودگی هوا بر پدیده‌های جوی است (۱۶) و می‌تواند منجر به اختلال در سیستم حمل و نقل و در نتیجه، وقوع خسارت‌ها و تلفات بی‌شمار گردد (۴۴). تا قبل از ظهور روش‌های سنجش از دور ماهواره‌ای، در بررسی رخداد‌های گرد و غبار، اطلاعات هواشناسی مانند کدهای هواشناسی و قدرت دید، متغیرهای اصلی مورد استفاده در پهنه‌بندی توزیع فرسایش بادی و فعالیت‌های گرد و غبار از نظر مکانی و زمانی بودند (۱۳، ۲۷). همچنین، بهره‌گیری از داده‌های دید افق در قالب روابط تجربی برای برآورد مقدار غلظت گرد و غبار از گذشته تاکنون، مورد توجه پژوهشگران و صاحب‌نظران این بخش بوده است (۶، ۷، ۹، ۲۳، ۳۳، ۴۱، ۴۶). از آنجا که برآورد مقدار غلظت گرد و غبار با بهره‌گیری از مدل‌های تجربی، کاربرد فراوانی را در پهنه‌بندی فرسایش بادی (۲۶، ۳۰)، صحت سنجی مطالعات سنجش از دور (۱۴) ارزیابی کیفیت هوا (۸) اعتبارسنجی مدل‌های فعالیت گرد و غبار (۴۰) و درک بهتر اثرات ذرات معدنی معلق بر روی بودجه تابشی (۳۹) دارد؛ بنابراین، مشخص کردن قدرت دید در مناطق تحت تأثیر گرد و غبار و فاقد امکانات لازم برای اندازه‌گیری آن، بسیار با اهمیت است.

ذرات گرد و غبار با تغییر دمای سطح زمین و جو، فرآیندهای تبادل انرژی بین سطح و جو و همچنین دینامیک جو را تحت تأثیر قرار داده و عمق نوری بالایی را ایجاد می‌کنند (۲). عمق نوری یا ضخامت نوری هواویزها^۱ که AOD نامیده می‌شود، کمیتی بدون بعد و بیابانگر میزان جذب و پراکنش نور ناشی از هواویزها در مسیر عبوری نور در جو است (۲۲). مقدار AOD نسبت به مقدار تراکم هواویزهای جو متغیر است. به‌طور کلی، دامنه تغییرات ۰/۱ تا ۰/۲ آن، نمایانگر هوای صاف خشکی و دامنه ۰/۵ تا ۰/۱، هوای صاف اقیانوسی را نشان می‌دهد و مقادیرهای بیشتر از دامنه‌های عددی مذکور، تراکم بالای هواویزها را در امتداد ستون عمودی هوا نشان می‌دهد. به‌طوری‌که این افزایش تراکم، کاهش قدرت دید افقی را به همراه دارد (۳۱).

^۱ Aerosol Optical Depth (AOD)

از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی با انتشار مجدد^۶ و رگرسیون بردار پشتیبان^۷، در تخمین دید جوی منطقه خوزستان عملکرد قابل قبولی را نشان می‌دهد (۲۳). بررسی داده‌های دید افقی و عمق نوری هواویزهای مناطق تحت تأثیر رخدادهای گرد و غبار، ارتباط معنی‌داری را با همبستگی خوب بین دو متغیر مذکور نشان می‌دهد (۲۴). بررسی عمق نوری هواویزها در توفان‌های گرد و غبار دوم و چهارم جولای ۲۰۰۹، کمترین و بیشترین مقدار عمق نوری هواویزها را در مناطق تحت تأثیر گرد و غبار به ترتیب ۰/۲ و ۲/۱ نشان می‌دهد. بررسی صورت گرفته نشان می‌دهد که اثرات تابشی هواویزهای مذکور در روزهای گرد و غبار، منجر به کاهش دمای بخش زیرین جو و در نتیجه سرمایش سامانه زمین می‌شود (۲۰).

تعیین عمق نوری هواویزها با بهره‌گیری از داده‌های دید افقی و استفاده از فن‌آوری سنجنش از دور در استان‌های تهران و زنجان، ارتباط معنی‌دار و دقت قابل قبولی را در استفاده از داده‌های عمق نوری هواویزهای سنجنده مودیس نشان می‌دهد. به‌طوری‌که، ضریب همبستگی بین داده‌های عمق نوری هواویزهای سنجنده مودیس و نورسنج خورشیدی مقدار ۰/۸۶ را نشان می‌دهد. وجود همبستگی بین داده‌های سنجنده مودیس و نتایج حاصل از داده‌های دید افقی، بیانگر امکان استفاده از داده‌های کمی دید افقی به‌عنوان منبع اطلاعاتی ثانویه و جایگزین داده‌های ماهواره‌ای در پژوهش‌های مرتبط با گرد و غبار و آلودگی هوا می‌باشد (۲۲). بین تیرگی جو و عمق نوری هواویزهای سنجنده مودیس همبستگی معنی‌دار و بسیار خوبی وجود دارد. عدم محدودیت مکانی در ارائه مقادیر کمی دید افقی روزانه با بهره‌گیری از مدل تعیین تیرگی جو می‌باشد (۱۶).

در زمان وقوع رخدادهای گرد و غبار و حتی بعد از آن، شناخت مناطق پرخطر، به دلیل افزایش تراکم گرد و غبار، کاهش میدان دید و احتمال بالای خسارات‌های مالی و جانی، برای مدیریت و حفظ سلامت ساکنان منطقه دارای اهمیت قابل توجهی می‌باشد. با توجه به ویژگی عمق نوری

آشکارسازی، بررسی کیفیت و مسیریابی توفان‌های گرد و غبار در کوتاه‌ترین زمان همواره نیازی شناخته شده در بین دانشمندان و سازمان‌های پایش اقلیمی است (۱۹). به‌این منظور، در پاسخ به تقاضای مطالعات مرتبط با توفان‌های گرد و غبار تصاویر ماهواره‌ای و نیز تصاویر راداری به طور چشمگیری برای شناسایی و بررسی کیفیت و تعیین مسیر توفان‌های گرد و غبار در طی دو دهه اخیر به کار گرفته شده‌اند (۴۷). در این راستا تصاویر چند طیفی ماهواره‌هایی همچون ^۱AVHRR، ^۲NOAA، ^۳GOES، ^۴MODIS و دیگر سنجنده‌ها، امکان جدیدی برای تشخیص و پایش رخدادهای گرد و غبار اتمسفری و ردیابی خطر محیط زیستی بالقوه آن به‌وجود آورده‌اند (۱۹). در مدل بازیابی شبکه عصبی ترکیبی چند مقیاسی با ترکیب اندازه‌گیری غلظت PM10 و داده‌های AERONET ایستگاه‌های زمینی، تصاویر ماهواره‌ای زمین آهنگ ^۵MTSAT و داده‌های پیش‌بینی اقلیمی و آب و هوایی عددی WRF/Chem توفان‌های گرد و غبار در منطقه آسیا بررسی شده‌است. روش مورد استفاده برپایه مدل بازیابی شبکه عصبی هیبریدی در دو مقیاس مدل شبکه عصبی برای تشخیص زمان تقریباً واقعی توفان‌های گرد و غبار در مقیاس گسترده‌تر ناحیه‌ای و مدل شبکه عصبی برای پهنه‌بندی دقیق توفان گرد و غبار ناحیه هنگ کنگ و تایوان است. نتایج نشان می‌دهد که روش نوین ترکیبی چند مقیاسی خودکار دارای صحت بیشتری است و در پهنه‌بندی زمان واقعی توفان گرد و غبار و برآورد کاهش قدرت دید در رخدادهای توفانی توانا می‌باشد (۴۷).

روش‌های سنجنش از دور از جمله راه‌های تعیین عمق نوری هواویزها براساس مقدار جذب و پراکنش نور خورشید با استفاده از بازتاب تابش سطحی دریافتی با حس‌گرهای ماهواره‌ای است. این پارامتر به صورت انتگرال ضریب تضعیف در مسیر قائم و ستونی در جو برای یک طول موج ثابت در زمان گذر ماهواره تعریف می‌شود (۴۳). ارتباط بین تصاویر ماهواره‌ای مودیس و داده‌های دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی با بهره‌گیری از روش‌های مختلفی مانند استفاده

^۴Moderate resolution Imaging Spectro radiometer (MODIS)

^۵Multifunctional Transport Satellites (MTSAT)

^۶back-propagation artificial neural network (BP ANN)

^۷supporting vector regression (SVR)

^۱Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)

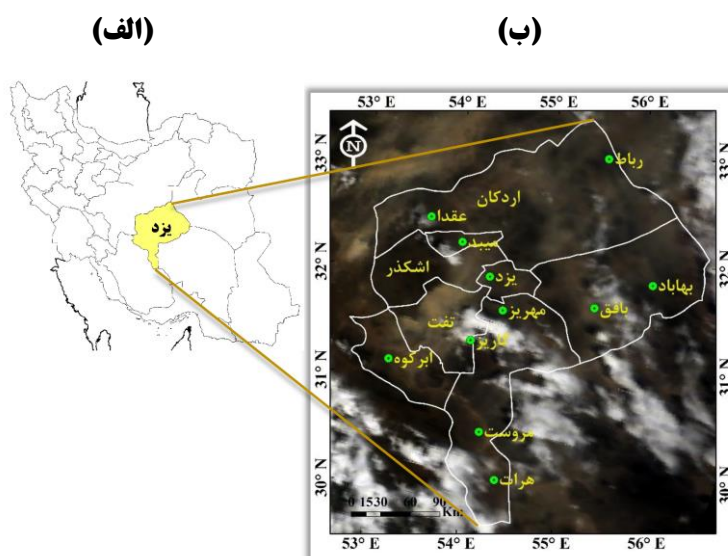
^۲National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA)

^۳Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)

■ مواد و روش‌ها

چاله‌های مرکزی ایران از جمله مناطقی هستند که بیشترین رخدادهای گرد و غبار را در سال تجربه می‌کنند. بخش‌هایی از این مناطق مانند استان یزد، بیش از ۲۵ روز از سال را با رخدادهای گرد و غبار روبه‌رو هستند (۳۴). بر پایه طبقه‌بندی اقلیمی دوما رتن اصلاح‌شده، اقلیم استان یزد در محدوده فراخشک تا خشک سرد قرار گرفته و یکی از شاخص‌ترین استان‌های درگیر با فرسایش بادی و توفان‌های گرد و غبار، به‌ویژه در سال‌های اخیر است. بررسی‌های میدانی و تصویری نشان می‌دهد که در طی ۱۰۰ سال گذشته، بیش از سه روستا به‌طور کامل در دشت یزد - اردکان در زیر ماسه‌های روان مدفون شده و در حال حاضر بیش از ۲۰ روستا و سه شهر بزرگ، از جمله یزد، اشکذر و زارچ به‌طور مستقیم در معرض هجوم ماسه‌ها قرار گرفته‌اند. دیگر مناطق جمعیتی نیز به‌طور غیرمستقیم، توسط توفان‌های ماسه‌ای و فرسایش بادی تهدید می‌شوند (۱۰).

این منطقه با مساحتی در حدود ۷۴۴۹۳ کیلومتر مربع به تنهایی ۴/۵٪ از کل مساحت ایران را در برمی‌گیرد و از پیرامون با استان‌های اصفهان، خراسان جنوبی، کرمان و فارس همجوار است. از نظر موقعیت جغرافیایی، محدوده مورد مطالعه در بین طول‌های جغرافیایی شرقی ۴۸° ۵۲' تا ۴۲° ۵۶' و عرض‌های شمالی ۳۶° ۲۹' تا ۳۳° ۲۴' قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی بر روی نقشه ایران (الف) و موقعیت شهرستان‌های استان یزد (ب)، نقاط سبزرنگ، موقعیت ایستگاه‌های هم‌دیدی (سینو تیک) در محدوده مورد بررسی

داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر، به منظور تعیین کمی دید افق منطقه مورد مطالعه از اطلاعات سرعت باد و دید افقی ۱۱ ایستگاه سینوپتیک هواشناسی استان یزد (شکل ۱) در مقیاس ساعتی و همچنین از محصول L2 Aerosol سنجنده مودیس که به صورت ۰۴ ارائه می‌شود، در ساعت‌های وقوع رخدادهای گرد و غبار سنجنده مودیس، برگرفته از پایگاه

اینترنتی ناسا (۱۷)، در محدوده زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ بهره گرفته شد (جدول ۱).

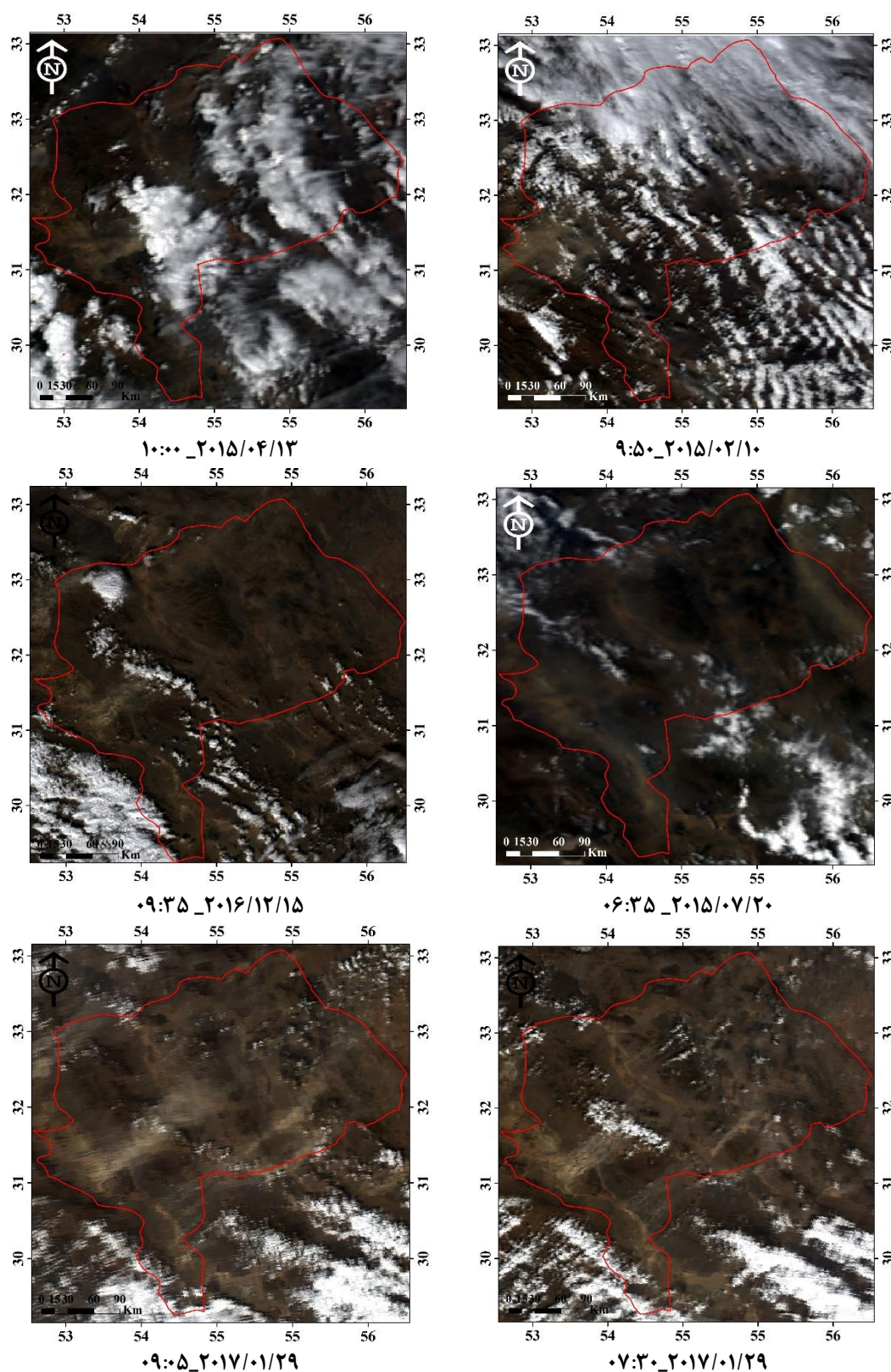
در ادامه به منظور بررسی روند تغییر دید افق طی توفان‌های گرد و غبار سال‌های اخیر، شش رخداد گرد و غبار، مورد ارزیابی واقع شد (جدول ۲) به منظور ارائه دید بصری از موقعیت وقوع رخدادهای گرد و غبار مورد بررسی، تصاویر سنجنده مودیس مناطق درگیر با رخدادهای مذکور ارائه گردید (شکل ۲).

جدول ۱. مشخصات تصاویر کد ۰۴ سنجنده مودیس در برآورد AOD رخدادهای گرد و غبار استان یزد

ردیف	مشخصات تصویر	ماهواره	تاریخ (میلادی)	تاریخ (شمسی)	زمان (گرینویچ)
۱	MYD04_L2.A2004108.0850.061.2018013195145	آکوا	۲۰۰۴/۰۴/۱۷	۱۳۸۳/۰۱/۲۹	۰۸:۵۰
۲	MYD04_L2.A2006183.0955.061.2018023120739	آکوا	۲۰۰۶/۰۷/۰۲	۱۳۸۵/۰۴/۱۱	۰۹:۵۵
۳	MOD04_L2.A2007075.0725.061.2017280094412	ترا	۲۰۰۷/۰۳/۱۶	۱۳۸۵/۱۲/۲۵	۰۷:۲۵
۴	MYD04_L2.A2007075.0900.061.2018038084453	آکوا	۲۰۰۷/۰۳/۱۶	۱۳۸۵/۱۲/۲۵	۰۹:۰۰
۵	MOD04_L2.A2008074.0750.061.2017289211545	ترا	۲۰۰۸/۰۳/۱۴	۱۳۸۶/۱۲/۲۴	۰۷:۵۰
۶	MYD04_L2.A2008074.0925.061.2018032200441	آکوا	۲۰۰۸/۰۳/۱۴	۱۳۸۶/۱۲/۲۴	۰۹:۲۵
۷	MOD04_L2.A2009042.0800.061.2017297222547	ترا	۲۰۰۹/۰۲/۱۱	۱۳۸۷/۱۱/۲۳	۰۸:۰۰
۸	MYD04_L2.A2009042.0940.061.2018041202904	آکوا	۲۰۰۹/۰۲/۱۱	۱۳۸۷/۱۱/۲۳	۰۹:۴۰
۹	MOD04_L2.A2009053.0745.061.2017298011522	ترا	۲۰۰۹/۰۲/۲۲	۱۳۸۷/۱۲/۰۴	۰۷:۴۵
۱۰	MYD04_L2.A2009053.0920.061.2018042031657	ترا	۲۰۰۹/۰۲/۲۲	۱۳۸۷/۱۲/۰۴	۰۹:۲۰
۱۱	MYD04_L2.A2011034.0925.061.2018029112526	آکوا	۲۰۱۱/۰۲/۰۳	۱۳۸۹/۱۱/۱۴	۰۹:۲۵
۱۲	MYD04_L2.A2012076.0930.061.2018039030636	آکوا	۲۰۱۲/۰۳/۱۶	۱۳۹۰/۱۲/۲۶	۰۹:۳۰
۱۳	MYD04_L2.A2013065.1000.061.2018045173138	آکوا	۲۰۱۳/۰۳/۰۶	۱۳۹۱/۱۲/۱۶	۱۰:۰۰
۱۴	MYD04_L2.A2014071.0855.061.2018052172333	آکوا	۲۰۱۴/۰۳/۱۲	۱۳۹۲/۱۲/۲۱	۰۸:۵۵
۱۵	MYD04_L2.A2015041.0950.061.2018047195250	آکوا	۲۰۱۵/۰۲/۱۰	۱۳۹۳/۱۱/۲۱	۰۹:۵۰
۱۶	MYD04_L2.A2015103.1000.061.2018049173842	آکوا	۲۰۱۵/۰۴/۱۳	۱۳۹۴/۰۱/۲۴	۱۰:۰۰
۱۷	MOD04_L2.A2015201.0635.061.2017322011651	ترا	۲۰۱۵/۰۷/۲۰	۱۳۹۴/۰۴/۲۹	۰۶:۳۵
۱۸	MOD04_L2.A2016350.0800.061.2017329084056	ترا	۲۰۱۶/۱۲/۱۵	۱۳۹۵/۰۹/۲۵	۰۸:۰۰
۱۹	MYD04_L2.A2016350.0935.061.2018064145342	آکوا	۲۰۱۶/۱۲/۱۵	۱۳۹۵/۰۹/۲۵	۰۹:۳۵
۲۰	MYD04_L2.A2016363.0905.061.2018066020205	آکوا	۲۰۱۶/۱۲/۲۸	۱۳۹۵/۱۰/۰۸	۰۹:۰۵
۲۱	MOD04_L2.A2017029.0730.061.2017312134304	ترا	۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۱۳۹۵/۱۱/۱۰	۰۷:۳۰
۲۲	MYD04_L2.A2017029.0905.061.2018030155737	آکوا	۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۱۳۹۵/۱۱/۱۰	۰۹:۰۵

جدول ۲. مشخصه‌های رخدادهای گرد و غبار به منظور بررسی روند تغییرات دید افقی منطقه مورد بررسی

تاریخ رخداد (میلادی)	تاریخ رخداد (شمسی)	زمان (گرینویچ)	سرعت باد (m/s)	دید افق (m)
۲۰۱۵/۰۲/۱۰	۱۳۹۳/۱۱/۲۱	۰۹:۵۰	۱۰	۵۰۰
۲۰۱۵/۰۴/۱۳	۱۳۹۴/۰۱/۲۴	۱۰:۰۰	۱۴	۱۰۰
۲۰۱۵/۰۷/۲۰	۱۳۹۴/۰۴/۲۹	۰۶:۳۵	۱۰	۱۰۰۰
۲۰۱۶/۱۲/۱۵	۱۳۹۵/۰۹/۲۵	۰۹:۳۵	۱۲	۱۰۰۰
۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۱۳۹۵/۱۱/۱۰	۰۷:۳۰	۱۲	۱۰۰۰
۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۱۳۹۵/۱۱/۱۰	۰۹:۰۵	۱۴	۱۰۰۰



شکل ۲. ترکیب رنگی RGB143 سنجنده مودیس در تاریخ رخدادهای گرد و غبار ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

به‌طور کلی، تعیین زمان وقوع توفان‌های گرد و غبار، اولین گام در پژوهش‌های مرتبط با این رخدادها است.

بنابراین، در پژوهش حاضر، در آغاز اقدام به شناسایی زمان‌های وقوع رخدادهای گرد و غبار با به‌کارگیری اطلاعات ایستگاه‌های هم‌دید سازمان هواشناسی کشور

مودیس، برای پیکسل‌های بدون پوشش ابری و با تفکیک 10×10 کیلومتر با دقت $\Delta\tau = \pm 0.05 \pm 0.15\tau$ بر روی خشکی و $\Delta\tau = \pm 0.03 \pm 0.05\tau$ بر روی اقیانوس تهیه می‌شوند (۳۶).

در برآورد AOD پیکسل‌های سنجنده مودیس بر روی خشکی، از دو الگوریتم Dark Pixel و Deep Blue استفاده می‌شود. مبنای انجام الگوریتم Deep Blue، براساس شناسایی Dark Target و با فرض نسبت بازتابندگی سطح زمین در بین طول موج‌های 0.47 و $1/2$ میکرومتر، به مقدار تقریبی 0.25 است (۳۵) و در پژوهش حاضر، بر روی تصاویر MOD04 و MYD04 حاصل از سنجندهای مودیس مربوط به رخدادهای گرد و غبار سال‌های 2004 تا 2017 (جدول ۱)، الگوریتم Deep Blue اجرا شد. لازم به ذکر است که الگوریتم مذکور، عملکرد بهتری را در برآورد مقدار AOD مناطق خشکی و دارای سطح ابرناکی زیاد ارائه می‌دهد (۱۸). از ارتباط همبستگی بین مقدارهای دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی و عمق نوری هواویزهای متناظر با ایستگاه‌های مطالعاتی در زمان رخدادهای گرد و غبار سال‌های 2004 تا 2017 (شکل ۳)، مدل دید افقی منطقه مورد مطالعه تعیین گردید (جدول ۴).

در محدوده استان یزد شد (جدول ۳). بدین منظور، زمان رخدادهای گرد و غبار بر پایه سرعت باد بیشتر از ده متر بر ثانیه و دید افق کمتر از یک کیلومتر در محدوده زمانی 2004 تا 2017 ، در منطقه مشخص شد.

در مرحله دوم، محصول L2 Aerosole زمین مرجع شده سنجنده مودیس، برای تعیین عمق نوری هواویزها در ساعت‌های توفانی، از دو سنجنده ترا و آکوا بارگذاری شد (جدول ۱). در ادامه، مختصات جغرافیایی تصاویر مذکور با بهره‌گیری از افزونه MODIS Toolkit Conversion در نرم افزار ENVI5.3 تدقیق و عمق نوری هواویزها با تعیین الگوریتم Deep Blue، محاسبه شد.

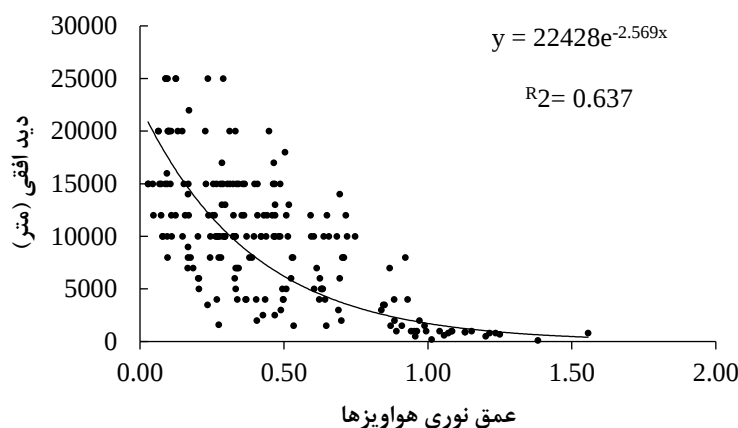
کمیت AOD از طریق انتگرال ضریب تضعیف هواویزها از سطح زمین تا بالای جو برای یک طول موج معین (رابطه ۱) محاسبه می‌شود (۴۳).

$$\tau = z(\lambda) = \int_0^{\infty} \beta_{ext}(\lambda, z) dz = \int_0^{\infty} P(z) \sigma_{ext}(\lambda, z) dz \quad (1)$$

که در آن τ کمیت AOD، $\beta_{ext}(\lambda, z)$ ضریب تضعیف، $P(z)$ غلظت هواویز در ارتفاع z و $\sigma_{ext}(\lambda, z)$ سطح مقطع تضعیف هواویز است. تصاویر AOD حاصل از سنجنده

جدول ۳. مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های هم‌دید استان یزد (۲۰۰۴-۲۰۱۷)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین بارندگی سالانه (mm)	حرارت سالانه درجه (°C)	میانگین سرعت باد سالانه (m/s)	میانگین سرعت باد (m/s)	جهت حداکثر سرعت باد (degree)
ابركوه	۵۳/۲	۳۱/۱	۵۹/۸	۲۰/۰	۳/۵	۳۴	۲۳۰
عقدا	۵۳/۶	۳۲/۴	۷۴/۸	۲۲/۹	۳/۶	۳۱	۲۵۰
بافق	۵۵/۴	۳۱/۶	۴۳/۷	۲۲/۸	۲/۹	۳۹	۱۰
بهباباد	۵۶/۰	۳۱/۸	۹۹/۶	۲۰/۳	۳/۴	۳۳	۲۹۰
گاریز	۵۴/۱	۳۱/۳	۱۰۷/۲	۱۶/۵	۳/۶	۲۷	۲۹۰
هرات	۵۴/۴	۳۰/۰	۸۶/۰	۲۰/۵	۴/۷	۲۸	۳۲۰
مروست	۵۴/۲	۳۰/۱	۶۲/۹	۱۹/۸	۳/۳	۲۸	۲۹۰
مهریز	۵۴/۴	۳۱/۶	۵۶/۲	۲۰/۸	۲/۸	۲۷	۳۴۰
میبد	۵۴/۰	۳۲/۲	۵۷/۱	۲۱/۶	۳/۶	۲۹	۱۹۰
رباط	۵۵/۶	۳۳/۰	۹۹/۷	۲۰/۸	۳/۵	۲۷	۲۰۰
یزد	۵۴/۳	۳۱/۹	۴۵/۷	۲۰/۶	۲/۶	۲۸	۲۹۰



شکل ۳. ارتباط قابلیت دید افقی ایستگاه‌های هم‌دید و عمق نوری هواویزهای جوی حاصل از تصاویر AOD در محدوده استان یزد (۲۰۱۷-۲۰۰۳)

$\gamma(h)$: مقدار نیم‌تغییرنما برای جفت نقاط به فاصله h از یکدیگر، $n(h)$: تعداد زوج نقاط، $Z(x_i)$: مقدار متغیر x مشاهده شده و $Z(x_i + h)$: مقدار متغیر به فاصله h از x مشاهده است (۱۱).

■ نتایج و بحث

نتایج بررسی تصاویر AOD ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی طی ۱۳ سال، کمینه و بیشینه عمق نوری هواویزها را به ترتیب ۰/۰۳ و ۱/۵۶ و کمینه و بیشینه قابلیت دید ایستگاه‌های مطالعاتی را به ترتیب ۱۰۰ و ۲۵۰۰ متر نشان داد (شکل ۳). در بررسی مقدارهای عمق نوری هواویزها و مقدار دید افق متناظر با آن، در مناطق با قابلیت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر، مقدار عمق نوری هواویزها بیشتر از ۰/۹ بود. با توجه به اینکه، غلظت‌های زیاد هواویزها با مقدارهای بزرگ مشخص می‌شود و بیانگر پراکندگی بیشتر نور و در نتیجه کاهش میدان دید است (۴۵)، ارزیابی ارتباط میان قدرت دید افقی و عمق نوری هواویزهای جوی ارتباط معنی‌داری را در سطح ۹۹٪ بین دو عامل مذکور نشان داد (جدول ۴).

به‌منظور شناسایی مناطق تحت تأثیر توفان‌های گرد و غبار، شش رخداد گرد و غبار در طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ انتخاب (جدول ۲) و مدل دید افقی معرفی شده (جدول ۴)، بر روی تصاویر AOD آن‌ها اجرا و مقدار دید افقی متناظر با پیکسل‌های تصاویر مذکور برآورد شد. به‌منظور ارزیابی روند تغییرات میدان دید در رخدادهای توفانی، داده‌های نقطه‌ای میدان دید حاصل از مدل کمی دید افقی، با بهره‌گیری از مناسب‌ترین مدل درونیابی زمین آمار کریجینگ پهنه‌بندی شدند. روش درونیابی کریجینگ، شیوه‌ای کارآمد با استفاده از توابع ریاضی و آمار است که با بهره‌گیری از مدل‌های نیم‌تغییرنما برای توصیف پیوستگی فضایی داده‌های ورودی، مقدارهای مکان‌های اندازه‌گیری نشده، را از رابطه (۲) برآورد می‌نماید.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

که در آن:

جدول ۴. مدل کمی مقدار دید افقی در محدوده استان یزد

مدل	مقدار همبستگی (r)	P-value
HV = 22428 Exp (-2.569*AOD550)		
HV = قابلیت دید افقی	۰/۸۰	۰/۰۰۰۱
AOD550 = عمق نوری هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر		

معنی‌داری را بین قابلیت دید افقی و عمق نوری هواویزها نشان می‌دهد (۱۵، ۳۷).

در شش رخداد گرد و غبار مورد بررسی (جدول ۲)، مقدارهای AOD در دامنه کمی ۰/۱ تا ۱/۹ متغیر، و تقریباً مقدارهای بزرگتر از ۰/۸ مرتبط با مناطق تحت تأثیر رخدادهای گرد و غبار بود (جدول ۵). با بررسی مقدارهای دید افقی برآورده شده از مدل کمی (جدول ۴)، مشخص شد که شرایط مربوط به میدان دید افقی، ارتباط معکوسی را با مقدارهای عمق نوری هواویزها دارد، به‌طوری‌که، با افزایش مقدارهای AOD کاهش مقدار دید افقی و با کاهش عمق نوری هواویزها، افزایش میدان دید افقی مشاهده شد (جدول ۵).

تغییر در مقدار انرژی تابشی ساطع شده از خورشید، در عبور از جو وابسته به حضور هواویزها، بخار آب، گرد و غبار و گازها می‌باشد. با افزایش تراکم ذرات معلق مذکور، انرژی ورودی به جو کاهش یافته و بر مقدار تیرگی جو افزوده می‌شود (۱۶). در این شرایط، افزایش تراکم هواویزها، با مقدارهای زیاد AOD قابل تشخیص است. هر اندازه که غلظت هواویزها در اتمسفر بیشتر شود، پراکندگی بیشتر نور و در نتیجه کاهش میدان دید افقی را به‌همراه دارد (۲۲).

عمق نوری هواویزها، مؤلفه کلیدی در بررسی وضعیت رخدادهای گرد و غبار، مقدار تراکم ذرات غبار و آلودگی مناطق در معرض توفان‌ها، در سطوح گسترده و فاقد ایستگاه‌های زمینی مناسب است. از سویی دیگر داده‌های دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی و فرودگاه‌ها نیز اطلاعات مناسبی را در ارزیابی وضعیت گرد و غبارهای حاکم در مناطق توفان‌خیز ارائه می‌دهند.

در سنجنده مودیس، درخشندگی خورشیدی پراکنده شده در اتمسفر، نور بازتاب شده از سطح و نور تضعیف شده در اثر عبور از اتمسفر اندازه‌گیری می‌شود. این سنجنده با بکارگیری الگوریتمی موسوم به MOD04، عمق نوری هواویزها را با دقت مکانی ۲۵۰ متر در نوار طیفی ۶۶۰ نانومتر و دقت مکانی ۵۰۰ متر در نوارهای طیفی ۴۷۰ و ۵۵۰ نانومتر محاسبه و محصولی آماری با دقت ۱۰×۱۰ کیلومتر را تولید می‌نماید (۲۱).

مقدارهای عمق نوری هواویزها، مطابق با انتگرال ضریب خاموشی هواویزها در ستون قائم جو و دید افقی نشان‌دهنده وضعیت ضریب خاموشی جو در راستای افقی است (۲۲).

اگرچه همبستگی ۰/۸ بین دو پارامتر مورد بررسی، از لحاظ آماری در سطح عالی قرار ندارد، با این وجود، در نبود اطلاعات گسترده دید افقی در منطقه‌های مورد بررسی به‌جز در اطراف ایستگاه‌های هواشناسی و فرودگاه‌ها، این مقدار همبستگی نیز قابل توجه است و با توجه به محدودیت مکانی روش‌های مختلف تعیین دیدافقی (۱۶)، بهره‌گیری از ارتباط عمق نوری هواویزها و قابلیت دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی، مزیت مهمی برای این روش به‌شمار می‌رود.

پژوهش‌های صورت گرفته بر روی ویژگی‌های هواویزها در قاره‌های آمریکا و اروپا نیز، همبستگی قابل قبولی را برای قابلیت دید و عمق نوری هواویزها نشان می‌دهند. این بررسی‌ها حاکی از تأثیر انباشت هواویزهای با غلظت متفاوت در جو بر روی شرایط نورشناختی جو و در نتیجه دید افقی می‌باشد (۵). پژوهش‌های مشابه نیز ارتباط

جدول ۵. عمق نوری هواویزها و دید افقی متناظر با آن در منطقه مطالعاتی

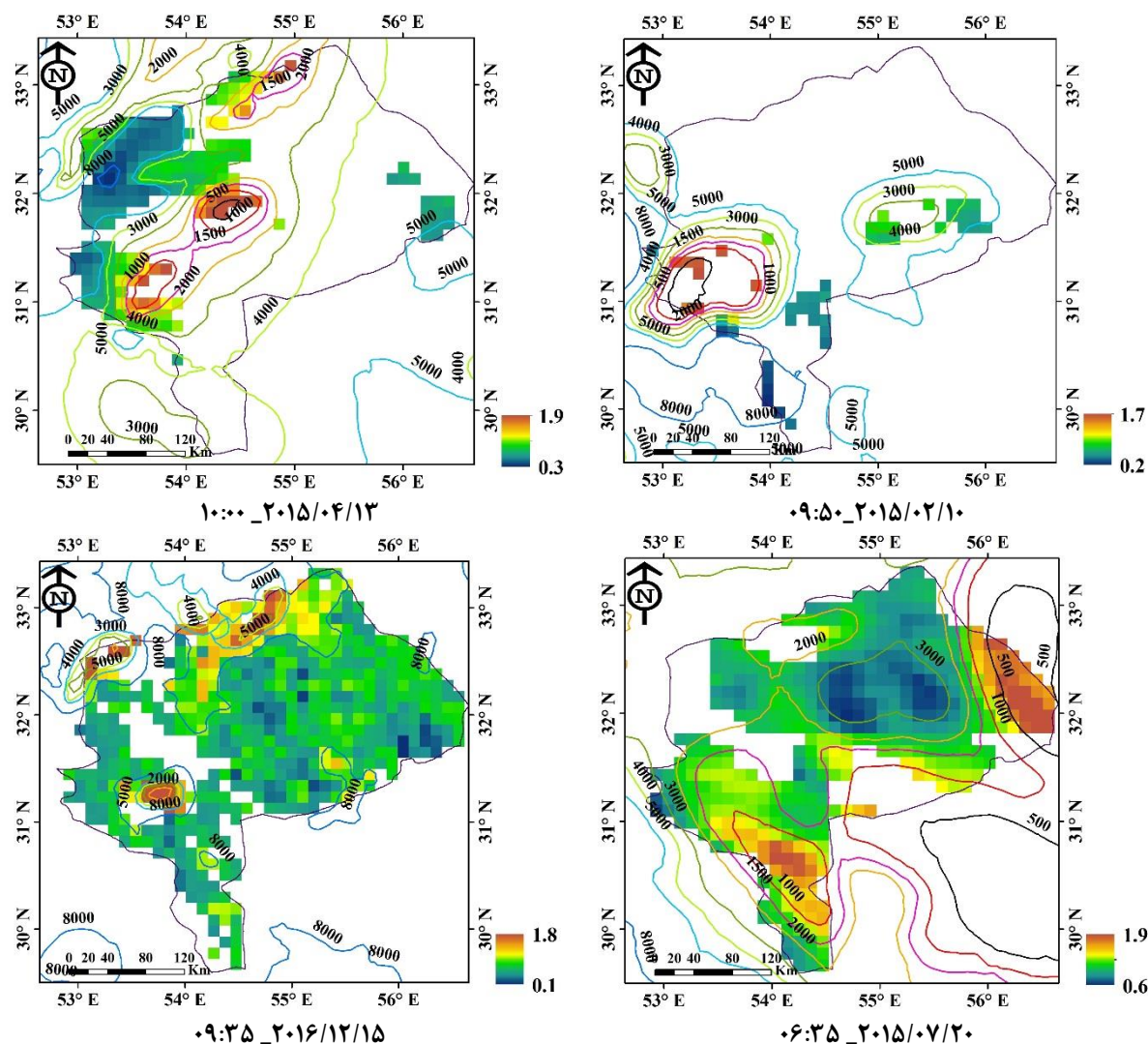
رخداد گرد و غبار	زمان	دامنه عددی AOD	دامنه عددی دید افقی (متر)
۲۰۱۵/۰۲/۱۰	۰۹:۵۰	۰/۱-۲/۷	۱۲۶۰۷/۳-۶/۲
۲۰۱۵/۰۴/۱۳	۱۰:۰۰	۰/۱-۳/۹	۱۲۶۰۵/۲-۰/۳
۲۰۱۵/۰۷/۲۰	۰۶:۳۵	۰/۱-۶/۹	۱۴۵۷۴/۶-۲/۲
۲۰۱۶/۱۲/۱۵	۰۹:۳۵	۰/۱-۱/۸	۱۸۰۷۳/۲-۲/۲
۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۰۷:۳۰	۰/۱-۱	۱۷۸۸۵ - ۶
۲۰۱۷/۰۱/۲۹	۰۹:۰۵	۰/۱-۱	۱۹۹۵۲ - ۵

Stable، امکان ارائه دید گسترده‌ای از وضعیت منطقه از نظر تغییرات دید افقی در زمان رخداد‌های گرد و غبار فراهم گردید (شکل ۴).

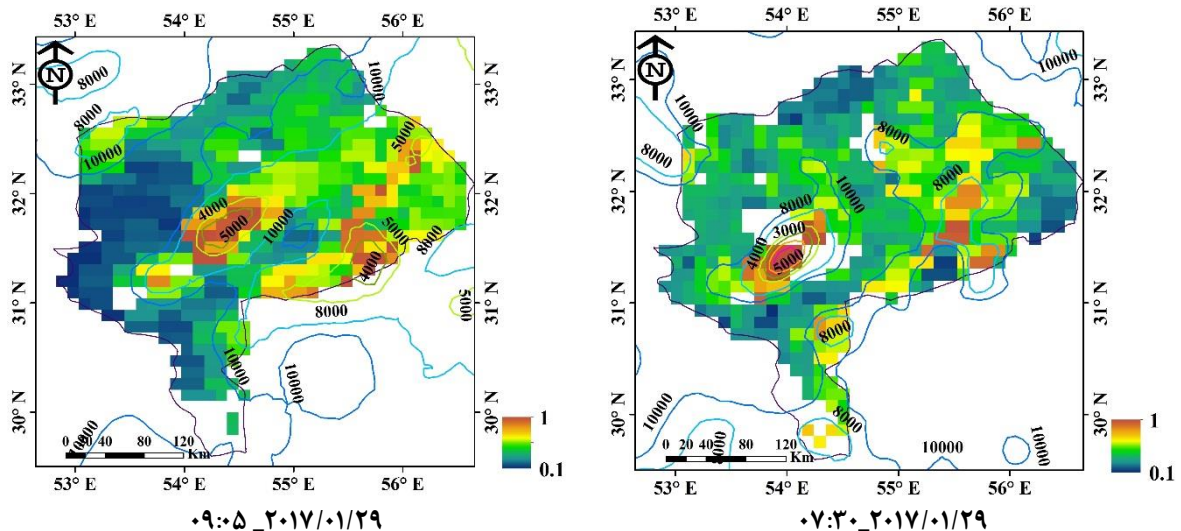
مناطق دارای AOD بزرگتر از ۰/۸، میدان دید افقی را کمتر از ۱۰۰۰ متر نشان داد و در مناطق دارای AOD بالاتر از ۱/۵، رخداد‌های شدید گرد و غبار به وقوع پیوسته و میدان دید افقی را به کمتر از ۲۰۰ متر کاهش داده است. از سویی دیگر، میدان دید افقی، در مناطق دارای AOD ۰/۵ تا ۰/۸، بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متر مشاهده گردید (شکل ۴). به‌طوریکه این مناطق در نزدیکی مناطق تحت تاثیر رخداد‌های گرد و غبار قرار دارند و آلودگی هوا و خسارت‌های ناشی از توفان، آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

با این وجود، داده‌های دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی بخش محدودی از مناطق را پوشش خواهند داد در حالی گستره توفان‌های گرد و غبار وسیع‌تر از محدوده ایستگاه‌های هواشناسی است و در موارد متعددی، کانون شروع گرد و غبار از ایستگاه‌های ثبت داده‌های هواشناسی فاصله دارد.

حساسیت پارامتر AOD به مناطق دارای پوشش ابری، موجب‌شده تا تصاویر حاصل از الگوریتم Deep Blue در مناطق دارای ابرناکی، بدون مقدارهای عددی باشند. در نتیجه، مقدارهای قابلیت دید افقی حاصل از مدل دید افقی (جدول ۴) در مناطق مذکور، فاقد کمیت هستند. بنابراین، با پهنه‌بندی مقدارهای دید افقی حاصل از تصاویر AOD از طریق مدل زمین آماری کریجینگ ساده به روش



شکل ۴. پهنه‌بندی قابلیت دید افقی رخداد‌های گرد و غبار بر روی تصاویر حاصل از عمق نوری هواویزهای تحت الگوریتم Deep Blue در استان یزد (۲۰۱۵-۲۰۱۷) (خطوط مقدارهای دید افقی پهنه‌بندی شده از روش کریجینگ ساده و سلول‌ها مقدارهای عمق نوری هواویزها AOD هستند)



ادامه شکل ۴. پهنه‌بندی قابلیت دید افقی رخدادهای گرد و غبار بر روی تصاویر حاصل از عمق نوری هواویزهای تحت الگوریتم Deep Blue در استان یزد (۲۰۱۷-۲۰۱۵) (خطوط مقدارهای دید افقی پهنه‌بندی شده از روش کریجینگ ساده و سلول‌ها مقدارهای عمق نوری هواویزها AOD هستند)

مقدار AOD و کمترین مقدار دید، وجود دارد. آنچه که مسلم است، بیشتر مناطق استان یزد، با آلودگی هوا و خسارت‌های ناشی از توفان‌های گرد و غبار مواجه هستند. مناطق غرب و جنوب غربی به سمت مرکز استان از فراوانی و شدت وقوع رخدادهای بیشتری برخوردار هستند. با وجود اینکه، در زمان وقوع رخدادهای گرد و غبار با فاصله گرفتن از کانون گرد و غبار مقدار دید افقی افزایش می‌یابد، اما ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرومتر قابلیت انتقال تا ده‌ها و حتی صدها کیلومتر فراتر از مرکز گرد و غبار را دارند (شکل ۴). افزایش این ذرات در مناطق مجاور با کانون تولید گرد و غبار، بحران آلودگی هوا و مشکلات تنفسی و سلامتی را در پی خواهد داشت. در پژوهش حاضر، مناطق با قابلیت دید افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر، از خسارت‌ها و آلودگی‌های ناشی از توفان‌های گرد و غبار بی‌بهره نخواهند بود (شکل ۴) و لازم است علاوه بر مناطق واقع در کانون گرد و غبار با دید افقی کمتر از یک کیلومتر، به این مناطق نیز توجه شود. تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی، رخساره‌های ژئومورفولوژی و تراکم جاده‌های خاکی با نقشه میدان دید افقی، نشان می‌دهد که معادن سنگ معدنی و ساختمانی، سنگ آهن و فلدسپات با توان غبار زایی متوسط و جاده‌های خاکی با تراکم زیاد در بخش غربی، جنوب غربی به سمت مرکز استان یزد و در بخش‌های شرقی تا شمال شرقی استان، تپه‌های ماسه‌ای، مراتع فقیر و بدون پوشش گیاهی،

بر اساس نتایج حاصل از شکل (۴)، کانون‌های گرد و غبار، با بیشترین مقدار AOD و کمترین مقدار دید افقی مواجه هستند و با فاصله گرفتن از کانون‌های گرد و غبار، این شرایط بالعکس می‌گردد. با توجه به مقدار شدت توفان‌های گرد و غبار، ذرات گرد و غبار تا فواصل طولانی، پراکنش می‌یابند و بر میدان دید افقی و ایجاد آلودگی هوا تأثیر گذارند. به‌طوری‌که، مناطق واقع در کانون رخدادهای با میدان دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر تا مناطق دارای دید افقی تقریباً ۵۰۰۰ متر، تحت تأثیر اثرات ناشی از توفان‌های گرد و غبار به‌ویژه از نظر آلودگی هوا هستند.

شدت توفان‌های گرد و غبار در ارتباط با تغییر در مقدار دید افقی است. به‌طوری‌که، در مناطق با مقدار دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر، توفان‌های شدیدی به وقوع می‌پیوندد و مقدار تراکم گرد و غبار در این مناطق بسیار زیاد است و در حدود پنج برابر مقدار غلظت گرد و غبار در رخدادهای با شدت متوسط و قدرت دید افقی کمتر از یک کیلومتر است. علاوه بر توفان‌های گرد و غبار با شدت‌های متوسط و شدید، رخدادهای گرد و غبار محلی نیز به‌وقوع می‌پیوندند که مقدار تراکم ذرات غبار آن‌ها ۰/۰۵ غلظت ذرات، در حالت گرد و غبارهای با شدت متوسط هستند و دید افقی در این شرایط بیشتر از یک کیلومتر است (۳۰). بنابراین، در رخدادهای مورد بررسی بیشترین مقدار تراکم گرد و غبار، در مناطق دارای بیشترین

مناطق با فرسایش آبراهه‌ای، مؤثرترین عوامل افزایش تراکم گرد و غبار و کاهش میدان دید افقی هستند. به‌طوری‌که، این مناطق را مستعد تولید غبار فراوانی در هنگام وقوع رخدادهای گرد و غبار نموده است (۳) و این عوامل سهم قابل توجهی را در افزایش گرد و غبار و ایجاد آلودگی هوا دارند. با وجود اینکه، مناطق غرب و جنوب غربی استان یزد به سمت مناطق مرکزی استان، شدت و فراوانی بیشتری را در وقوع رخدادهای گرد و غبار نشان می‌دهند، اما تمامی مناطق این استان درگیر با بحران گرد و غبار، خسارت‌ها و پیامدهای نامطلوب مالی و جانی آن هستند.

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با بهره‌گیری از ارتباط دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی در پایه‌های زمانی مختلف و تصاویر AOD متناظر با زمان‌های مذکور، قادر به تهیه نقشه‌های دید افقی بدون محدودیت مکانی و در سطح گسترده خواهیم بود. با شناخت مناطق دارای دیدهای افقی کمتر از یک کیلومتر، که ناشی از حضور هواویزها و ذرات گردو خاک پخش شده در فضا هستند، امکان شناخت مناطق پرخطر به‌دلیل حضور آلودگی زیاد و افزایش تأثیر منفی بر روی سلامتی و همچنین افزایش خطر سوانح جاده‌ای در نتیجه تردد وسایل نقلیه حاصل خواهد شد. از سویی دیگر با تهیه نقشه‌های دید افقی در پایه‌های زمانی مختلف به‌ویژه در زمان وقوع توفان‌ها، گستره تأثیر توفان‌های گرد و غبار و مناطق متأثر از آن آشکار می‌گردد. این آشکارسازی در اجرای برنامه‌های مدیریتی و اولویت بندی مناطق برای اجرای اقدامات ضروری مؤثر واقع می‌گردد.

■ نتیجه‌گیری

وجود همبستگی و رابطه معنی‌دار میان عمق نوری هواویزها و داده‌های دید افقی، امکان بهره‌گیری از این ارتباط را برای معرفی مدل برآورد دید افقی در سطوح وسیع فراهم می‌آورد. با توجه به پهنه‌بندی دید افقی در مناطق تحت تأثیر توفان‌های گرد و غبار، کمترین مقدار دید افقی، در مناطق دارای رخداد گرد و غبار مشاهده می‌گردد و با فاصله از این مناطق، بر مقدار دید افقی افزوده شد. با این وجود مناطق مجاور با کانون رخدادهای نیز تحت تأثیر غبار و آلودگی ناشی از رخدادهای قرار می‌گیرند؛ و

خسارت‌های مالی و جانی این رخدادهای تنها منوط به مناطق با دید افقی کمتر از یک کیلومتر نمی‌باشد. به‌طوری‌که، با توجه به مقدار شدت توفان‌ها، مناطق واقع در فاصله ده‌ها کیلومتر از مرکز رخدادهای، از حضور ذرات معلق با ماندگاری بالا و آلودگی هوا بی‌نصیب نخواهند ماند. گزارش‌ها و داده‌های دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی و فرودگاه‌ها اطلاعات مناسبی برای ارزیابی وضعیت گرد و غبارهای حاکم در منطقه غبارخیز ارائه می‌دهند. با این وجود، داده‌های دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی بخش محدودی از مناطق را پوشش خواهند داد. در حالی‌که گستره توفان‌های گرد و غبار وسیع‌تر از محدوده ایستگاه‌های هواشناسی است. بهره‌گیری از نقشه‌های دید افقی، برای تشخیص مناطق پرخطر از نظر تراکم بالای ذرات گرد و غبار و همچنین کاهش دید افقی بسیار مؤثر است. به‌طوری‌که، شناسایی و مدیریت مناطق مذکور، باعث کاهش خسارت‌های ناشی از گرد و غبار، به‌ویژه از نظر سامانه‌های حمل و نقل و کاهش تصادف‌ها و تلفات ناشی از کم شدن دید افقی می‌شود. نبود محدودیت مکانی در تعیین گستره دید افقی از جمله مزایای استفاده از مدل کمی دید افقی ارائه شده در پژوهش حاضر می‌باشد. بنابراین، با توجه به اینکه در مدل‌های تجربی برآورد مقدار تراکم ذرات گرد و غبار، از مقدارهای دید افقی استفاده می‌گردد، پیشنهاد می‌گردد از نتایج پژوهش حاضر برای برآورد تراکم مذکور بهره گرفته شود. همچنین، با توجه به افزایش شدت و فراوانی رخدادهای گرد و غبار استان یزد، در سال‌های گذشته، پیشنهاد می‌شود، نقشه دید افقی رخدادهای گرد و غبار استان یزد در سال‌های اخیر تهیه و با شناسایی مناطق درگیر با توفان‌ها گرد و غبار و کانون‌های گرد و غبار، اقدام به اولویت بندی این مناطق برای انجام اقدامات مدیریتی و حفاظتی گردد. در این رابطه مناطق دارای دید افقی کمتر از یک کیلومتر، مناطق به شدت درگیر با رخدادهای گرد و غبار هستند و مناطق واقع در گستره میدان دید افقی تا ۵ کیلومتر، در معرض آسیب‌های ناشی از آلودگی هوای حاصل از گرد و غبارها قرار دارند. بنابراین، لازم است که به این مناطق نیز توجه شود.

براساس نقشه‌های میدان افقی به‌دست آمده، مناطق غربی و جنوب غربی به سمت مرکز استان در معرض شدت و فراوانی بیشتر رخدادهای گرد و غبار قرار گرفته‌اند. پیشنهاد می‌شود که در خصوص عوامل مؤثر بر افزایش شدت و فراوانی رخدادهای گرد و غبار در این بخش از استان، بررسی جامعی صورت پذیرد و در ادامه با بهره‌گیری از نتایج به‌دست آمده، در کنترل و کاهش شدت رخدادهای اقدام‌های لازم انجام شود.

■ References

1. Alkhatib, M. Q., Cabrera, S. D., & Gill, T. E. (2012). *Automated detection of dust clouds and sources in NOAA-AVHRR satellite imagery*. Paper presented at the 2012 IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, Santa Fe, NM, USA.
2. Alpert, P., Kaufman, Y. J., Shay-El, Y., Tanre, D., da Silva, A., Schubert, S., & Joseph, J. H., (1998). Quantification of dust-forced heating of the lower troposphere. *Nature*, 395, 367.
3. Anonymous. (2017). *Report of Studying and identifying the range of dust generating centers in the provinces and presenting management and executive control strategies (Case study: Yazd province)*. Yazd university: Department of Environment Islamic Republic of Iran - Yazd Province. (in Farsi)
4. Azimzadeh, H. R., Ekhtesasi, M. R., Hatami, H., & Akhavan, M., (2002). Wind erosion: erodibility relation to soil physical and chemical properties in Iran central plain (Yazd-Ardakan plain- case study). *Agriculture Science and Natural Resource*, 9(1), 139-151. (in Farsi)
5. Bäumer, D., Vogel, B., Versick, S., Rinke, R., Möhler, O., & Schnaiter, M., (2008). Relationship of visibility, aerosol optical thickness and aerosol size distribution in an ageing air mass over South-West Germany. *Atmospheric Environment*, 42(5), 989-998.
6. Chepil, W. S., & Woodruff, N. P., (1957). Sedimentary characteristics of Dust Storms: II. Visibility and dust Concentration. *Science*, 255, 104-114.
7. D'Almeida, G. A., (1986). A Model for Saharan Dust Transport. *Climate and Applied Meteorology*, 25(7), 903-916.
8. Dagsson-Waldhauserova, P., Arnalds, O., & Olafsson, H., (2013). Long-term frequency and characteristics of dust storm events in Northeast Iceland (1949–2011). *Atmospheric Environment*, 77, 117-127.
9. Ekhtesasi, M., (2004). *Investigating morphometric and morphodynamic characteristics of wind erosion in Yazd plain and determining their indices for desertification models*. Ph.D. thesis, University of Tehran. (in Farsi)
10. Ekhtesasi, M. R., Ahmadi, H., Feiznia, S., & Busche, D., (2005). Wind Erosion, Facies and Damages in Yazd –Ardakan Plain. *Natural Resources*, 57(4), 567-581. (in Farsi)
11. Firoozabad, F. F., Azimzadeh, H. R., & Talebi, A., (2014). Comparative Evaluation of interpolation methods of estimation of soil erodibility factor of Universal Soil Loss Equation (Case study: Yazd- Ardakan plain). *Watershed Management Research*, 103(103), 12-21. (in Farsi)
12. Furman, H.K.H., (2003). Dust Storms in the Middle East: Sources of Origin and Their Temporal Characteristics. *Indoor and Built Environment*, 12(6), 419-426.
13. Goudie, A. S., & Middleton, N. J., (1992). The changing frequency of dust storms through time. *Climatic Change*, 20(3), 197-225.

14. Guo, J.-P., Zhang, X.-Y., Che, H.-Z., Gong, S.-L., An, X., Cao, C.-X., Guang, J., Zhang, H., Wang, Y.-Q., Zhang, X.-C., Xue, M., & Li, X.-W. (2009). Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. *Atmospheric Environment*, 43(37), 5876-5886 .
15. Hand, J., Kreidenweis, S., Slusser, J., & Scott, G. (2004). Comparisons of aerosol optical properties derived from Sun photometry to estimates inferred from surface measurements in Big Bend National Park, Texas. *Atmospheric Environment*, 38(39), 6813-6821 .
16. Hejazi, A., Mobasheri, M.R., & Majidi, D., (2014). Using satellite images to calculate atmospheric visibility. *Climate Research*, 5(17), 47-56 .
17. <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>.
18. Jafari, R., & Malekian, M. (2015). Comparison and evaluation of dust detection algorithms using MODIS Aqua/Terra Level 1B data and MODIS/OMI dust products in the Middle East. *International Journal of Remote Sensing*, 36(2), 597-617.
19. Janugani, S., Jayaram, V., Cabrera, S. D., Rosiles, J. G., Gill, T. E., & Rivera Rivera, N. (2009). Directional analysis and filtering for dust storm detection in NOAA-AVHRR imagery 7334, 48-60.
20. Javadnia, E., & Abkar, A. A. (2017). Effect of Dust Storm on Optical and Radiative Properties of Aerosols Over Middle East. *Geomatics Science and Technology*, 7(1), 157-173 .
21. Kaufman, Y.J., Ichoku, C., Giglio, L., Korontzi, S., Chu, D.A., Hao, W.M., Li, R.R., & Justice, C. O., (2003). Fire and smoke observed from the Earth Observing System MODIS instrument--products, validation, and operational use. *Remote Sensing*, 24(8), 1765-1781 .
22. Khoshsima, M., Bidokhti, A. a., & Ahmadi-Givi, F., (2013). Evaluation of aerosol optical depth using visibility and remote sensing data in urban and semi urban areas in Iran. *Earth and Space Physics*, 39(1), 163-174 .
23. Komeilian, H., Mohyeddin Bateni, S., Xu, T., & Nielson, J. (2015). Estimating atmospheric visibility using synergy of MODIS data and ground-based observations. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 368, 46-50 .
24. Mahowald, N.M., Ballantine, J.A., Feddema, J., & Ramankutty, N. (2007). Global trends in visibility: implications for dust sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7(12), 3309-3339 .
25. Marchese, F., Sannazzaro, F., Falconieri, A., Filizzola, C., Pergola, N., & Tramutoli, V. (2017). An Enhanced Satellite-Based Algorithm for Detecting and Tracking Dust Outbreaks by Means of SEVIRI Data. *Remote Sensing*, 9(6), 537 .
26. McTainsh, C., Leys, J., Tews, K., & Strong, C. (2008). *Dust Storm Index to Dust Concentration: developing a new measure of wind erosion for national and state scale monitoring*. Final Report and User Guide. Griffith University, Brisbane, 32 .
27. McTainsh, G. H., & Pitblado, J. R. (1987). Dust storms and related phenomena measured from meteorological records in Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12(4), 415-424 .
28. Middleton, N. J. (2017). Desert dust hazards: A global review. *Aeolian Research*, 24, 53-63.
29. Natsagdorj, L., Jugder, D., & Chung, Y. S. (2003). Analysis of dust storms observed in Mongolia during 1937–1999. *Atmospheric Environment*, 37(9–10), 1401-1411 .

30. O’Loingsigh, T., McTainsh, G.H., Tews, E.K., Strong, C.L., Leys, J. F., Shinkfield, P., & Tapper, N.J. (2014). The Dust Storm Index (DSI): A method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12(Supplement C), 29-40 .
31. Ogren, J. A. (1995). A systematic approach to in situ observations of aerosol properties. In R. J. Charlson & J. Heintzenberg (Eds.), *Aerosol forcing of climate* (215-226): John Wiley & Sons, Ltd.
32. Omidvar, K., & Omid, Z. (2013). The Analysis of Dust Phenomenon in the Southern and Central Fars Province. *Scientific Journal Management System*, 1(1), 85-114. (in Farsi)
33. Patterson, E. M., & Gillette, D. A. (1977). Measurements of visibility vs mass-concentration for airborne soil particles. *Atmospheric Environment*, 11(2), 193-196 .
34. Rafiei Majoomerd, Z., Yazdani, M. R., & Rahimi, M. (2017). Trend analysis of number of dusty days in Iran. *Scientific Journal Management System*, 6(2), 11-23. (in Farsi)
35. Remer, L. A., Kleidman, R. G., Levy, R. C., Kaufman, Y. J., Tanré, D., Mattoo, S., Martins, J. V., Ichoku, C., Koren, I & Yu, H., (2008). Global aerosol climatology from the MODIS satellite sensors. *Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D14), 403-426 .
36. Remer, L. A., Tanré, D., Kaufman, Y. J., Levy, R., & Mattoo, S. (2006). Algorithm for remote sensing of tropospheric aerosol from MODIS: Collection 005. *National Aeronautics and Space Administration*, 1490, 2229-2259 .
37. Retalis, A., Hadjimitsis, D., Michaelides, S., Tymvios, F., Chrysoulakis, N., Clayton, C. R. I., & Themistocleous, K. (2010). Comparison of aerosol optical thickness with in situ visibility data over Cyprus. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 421-428 .
38. Saremi Naeini, M.A. (2017). Estimate the frequency of speed and direction of erosive winds and generating dust storms in Yazd province by using Windrose, Stormrose and Sandrose. *Desert Management*, 4(8), 96-106 .
39. Satheesh, S. K., & Krishna Moorthy, K. (2005). Radiative effects of natural aerosols: A review. *Atmospheric Environment*, 39(11), 2089-2110 .
40. Shao, Y., Leys, J. F., McTainsh, G. H., & Tews, K. (2007). Numerical simulation of the October 2002 dust event in Australia. *Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D8), 1-13 .
41. Shao, Y., Yang, Y., Wang, J., Song, Z., Leslie, L. M., Dong, C., Zhang, Z., Lin, Z., Kanai, Y., Yabuki, S., & Chun, Y. (2003). Northeast Asian dust storms: Real-time numerical prediction and validation. *Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D22), 1-18 .
42. Tian, D., & Yao, J. (2011, 24-26 June 2011). *Investigate and analysis on the occupation harm of dust*. Paper presented at the Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering (RSETE), 2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China.
43. Tian, J., & Chen, D. (2010). A semi-empirical model for predicting hourly ground-level fine particulate matter (PM_{2.5}) concentration in southern Ontario from satellite remote sensing and ground-based meteorological measurements. *Remote Sensing of Environment*, 114(2), 221-229 .
44. Tozer, P., & Leys, J. (2013). Dust storms – what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35(2), 131-142 .
45. Wang, J., & Christopher, S. A. (2003). Intercomparison between satellite-derived aerosol optical thickness and PM_{2.5} mass: Implications for air quality studies. *Geophysical Research Letters*, 30(21), 1-4.

46. Wang, Y. Q., Zhang, X. Y., Gong, S. L., Zhou, C. H., Hu, X. Q., Liu, H. L., Niu, T., & Yang, Y. Q. (2008). Surface observation of sand and dust storm in East Asia and its application in CUACE/Dust. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(3), 545-553 .
47. Wong, M. S., Xiao, F., Nichol, J., Fung, J., Kim, J., Campbell, J., & Chan, P. W. (2015). A multi-scale hybrid neural network retrieval model for dust storm detection, a study in Asia. *Atmospheric Research*, 158-159, 89-106.

Investigating of Change Extent of Horizontal Visibility in Regions Affected by Dust events in Yazd Province

A. Jebali¹, M. Zare^{2*}, M.R. Ekhtesasi³, R. Jafari⁴

1. Ph.D., Combating Desertification, School of Natural Resources & Desert Studies, Department of Arid Land and Desert Management, Yazd University, Yazd, Iran.
2. Associate Professor, School of Natural Resources & Desert Studies, Department of Arid Land and Desert Management, Yazd University, Yazd, Iran.
3. Professor, School of Natural Resources & Desert Studies, Department of Watershed, Yazd University, Yazd, Iran.
4. Associate Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

* Corresponding Author: mzernani@yazd.ac.ir

Received date: 07/09/2019

Accepted date: 10/10/2019

Abstract

Specific climatic and geographical conditions of Yazd province have always exposed this region to a severe storm, and air pollution. Low visibility is the primary impact of air pollution due to atmospheric phenomena. Increasing dust density, along with a severe decrease in visibility, has harsh effects on the health of living things, socio-economic sections, and transportation systems. Therefore, identifying hazardous areas considering low visibility during dust events is important to manage and conserve the health of area residents. This study aims to evaluate the trend of changes in horizontal visibility of areas affected by dust storms in Yazd province, Iran. For this purpose, the quantitative model of horizontal visibility based on the relationship between Aerosol Optical Depth (AOD) of MODIS sensor derived from Deep Blue algorithm and horizontal visibility data derived from meteorological stations in the study area was introduced the horizontal visibility of dust events from 2015 to 2017 was mapped using geostatistics Kriging method. Results showed a significant relationship between aerosol optical depth and horizontal visibility data at the 99% level. The AOD value ranges from 0.1 in areas with no dust to 1.9 in areas with severe dust at six studied events, and the visibilities coincide with AOD values from 64 m in dust centers to 19951 m beyond these centers were estimated. Therefore, AOD image measures with more than 0.8 have horizontal visibility less than 1000 m. Determining of horizontal visibility extent without spatial limitation and identification of areas affected dust events are advantages of the quantitative model of horizontal visibility and its mapping. According to land cover/use map in Yazd province, mineral and constructing sites, high-density dirt roads, sand dunes, poor rangelands are the most effective factors in increasing of dust density and low horizontal visibility in pathways of dust storms of this province.

Keywords: Mapping; Aerosol Optical Depth; Model; MODIS; Arid lands