



فصلنامه علوم محیطی، دوره هجدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

۱۰۵-۱۱۶

آشکارسازی و مسیریابی رخدادهای گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور و مدل عددی در استان اصفهان

مهدی جعفری^{۱*}، غلامرضا زهتابیان^۱، حسن احمدی^۱، طیبه مصباح زاده^۱ و علی اکبر نوروزی^۲

^۱ گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
^۲ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۹

جعفری، م.، غ. زهتابیان، ح. احمدی، ط. مصباح زاده و ع. نوروزی. ۱۳۹۹. آشکارسازی و مسیریابی رخدادهای گرد و غبار با استفاده از سنجش از دور و مدل عددی در استان اصفهان. فصلنامه علوم محیطی. ۱۱۶-۱۰۵.

سابقه و هدف: پدیده گرد و غبار در شرایط امروزی ایران به عنوان یک خطر جدی مشکل‌های عمده‌ای را برای محیط زیست و سلامت مردم به وجود آورده است. تحقیق‌ها نشان می‌دهد که بسامد و شدت این طوفان‌ها در سال‌های اخیر افزایش یافته است. افزون بر این مدل‌های عددی هواشناسی نیز به تنهایی قادر به ردیابی و آشکارسازی طوفان نیستند و این امر ضرورت استفاده از روش‌های بارزسازی گرد و غبار بر اساس داده سنجش از دور را نمایان می‌سازد. هدف این تحقیق، تجزیه و تحلیل داده‌های آماری و شناسایی روزهای همراه با گرد و غبار، منشا گرد و غبار وارد شده به منطقه اصفهان و شناسایی مسیر حرکت آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها: برای بررسی آماری گرد و غبار، از داده‌های گرد و غبار به صورت روزانه در ۸ ساعت دیده‌بانی ساعتی در قالب کدهای ویژه‌ای در دوره ۴ ساله (۲۰۱۰ - ۲۰۱۳)، از ایستگاه منتخب در منطقه مطالعاتی با دوره آماری مناسب، از سازمان هواشناسی گرفته شد که با استفاده از روش‌های آماری پردازش و تحلیل شدند. بمنظور پهنه‌بندی فراوانی گرد و غبار در سطح استان، با استفاده از روش IDW مبادرت به میان‌یابی و تبدیل داده‌های نقطه‌ای به پهنه‌ای گردید و نقشه پهنه‌بندی پراکندگی برای دوره آماری ۲۰۱۳ - ۲۰۱۰ در محیط نرم افزار GIS ترسیم شد. بمنظور بارزسازی پدیده گرد و غبار، پس از تصحیح هندسی تصاویر، مقادیر رادیانس تصاویر با استفاده از عکس تابع پلانک به دمای درخشندگی تبدیل شد. تصحیحات و پردازش تصاویر در محیط ENVI صورت پذیرفت. با توجه به تاثیر عمده‌ای که ذرات گرد و غبار بر روی میزان بازتابش و دمای درخشندگی باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده مادیس می‌گذارند، از تفاضل دمای درخشندگی دو باند بیان شده بمنظور بارزسازی توده‌های گرد و غبار استفاده شد. از آنجایی که آلبیدوی^۱ رخداد گرد و غبار در طول موج ۱۲ میکرومتر بیشتر از طول موج ۱۱ میکرومتر است بنابراین اختلاف دمای درخشندگی طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر مربوط به رخداد گرد و غبار منفی است. همچنین بمنظور جلوگیری از آشکارسازی نواحی ابری آستانه دمایی ۲۹۰ درجه کلونین مربوط به محدوده طیفی ۱۲ میکرومتر اعمال شد. بمنظور ردیابی مسیر حرکت ذرات گرد و غبار مدل‌های اسپلیت^۲ به کار گرفته شد.

نتایج و بحث: نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در مجموع ۱۴۶۷ روز پدیده گرد و غبار بدون در نظر گرفتن شدت وقوع این پدیده برای ایستگاه‌های منتخب طی دوره آماری ۲۰۱۰ - ۲۰۱۳ گزارش شده که ایستگاه ناپین با ۶۳۴ روز بیشترین و ایستگاه کاشان با ۵۰ روز کمترین فراوانی گرد و غبار را دارا بودند. همچنین نتایج گویای آن است که ماه‌های می، ژوئن و آوریل بیشترین و ماه‌های دسامبر و ژانویه کمترین درصد رخداد را دارا بودند. بررسی فراوانی ماهانه گرد و غبار نشان داد که ۴۴/۵۷٪ از کل رخداد گرد و غبار در ماه آوریل، می و ژوئن و

*Corresponding Author. Email Address: meh_jafari@ut.ac.ir

۴/۳۲٪ در ماه دسامبر و ژانویه به وقوع پیوسته است. با این توصیف می‌توان گفت که تغییرات فراوانی ماهانه گرد و غبار در منطقه بیشتر از هر چیز از شرایط اقلیم همدید حاکم در منطقه در ماه‌های سال تبعیت می‌کند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی در طی دوره آماری نشان داد که بخش‌های جنوب شرقی استان بویژه ایستگاه نائین دارای بیشترین وقوع گرد و غبار است. کاربرد ویژگی‌های مربوط به دمای درخشندگی و اعمال آستانه‌های دمایی بمنظور تفکیک گرد و غبار از عوارض زمینی بویژه در منطقه‌های با پس زمینه روشن که دارای بازتابندگی مشابه هستند و نیز تفکیک گرد و غبار از ابرها، در بارزسازی گرد و غبار یاری‌رسان بوده است. نتایج حاصل از ردیابی نشان می‌دهد که مسیر اصلی برای انتقال گرد و غبار به منطقه مورد مطالعه جنوب غربی - شمال شرقی است.

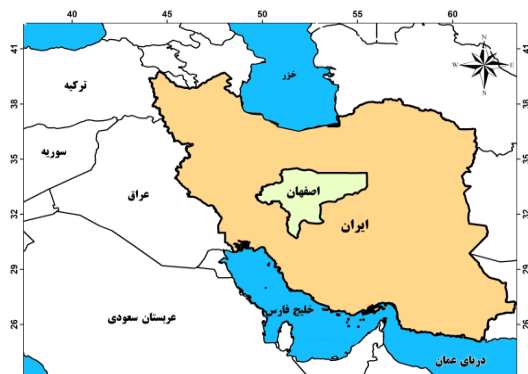
نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، با توجه به تصاویر ماهواره‌ای در روز شروع و روز اوج گرد و غبار، منبع‌های اصلی گرد و غبارهای وارد منطقه مورد مطالعه شامل بیابان‌های شمال صحرای عربستان می‌باشند. براساس نتایج به‌دست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای شمال عربستان به‌عنوان منشا و خروجی مدل‌های اسپلیت مسیر جنوب غربی - شمال شرقی، مسیر اصلی ورود گرد و غبار برای اصفهان محسوب می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: گرد و غبار، دمای درخشندگی، مادیس، اصفهان، HYSPLIT.

مقدمه

کم ارتفاع شمالی و پر ارتفاع جنوبی سبب رخداد گرد و غبار می‌شوند. حال آنکه در فصل گرم همزمان، استقرار پرفشار جنب حاره‌های روی کانون‌های گرد و غبار سبب همگرایی جریان هوا در سطح زمین و در پی آن برداشت ذرات خاک می‌گردد که همراه جریان‌های جنوب غربی جلوی ناوه غرب ایران می‌شود. Beroghani *et al.* (2017) به شناسایی مناطق برداشت گرد و غبار در شرق خاورمیانه با استفاده از سنجه‌های آشکارسازی گرد و غبار پرداختند. نتایج نشان داد که ترکیب رنگی $BTD_{29,31}$ ، B_3 و B_4 بهترین ترکیب رنگی برای آشکارسازی گرد و غبار و تعیین منطقه‌های گرد و غبار است. همچنین نتایج بررسی نشان داد که ۲۱۶ نقطه برداشت گرد و غبار در کل منطقه مورد مطالعه وجود دارد که ۱۲۳ نقطه برداشت در ایران و ۹۳ نقطه برداشت در خارج از کشور می‌باشد. Ashrafi *et al.* (2013) به بررسی طوفان گرد و غبار ماه ژوئن ۲۰۱۰ (خرداد ۱۳۹۰) ایران پرداختند. نامبردگان در این پژوهش با به‌کارگیری مدل‌سازی عددی و تصاویر ماهواره‌ای پدیده گرد و غبار را مطالعه کردند. Wang *et al.* (2011) با استفاده از مدل HYSPLIT طوفان‌های شن و گرد و غبار سال ۲۰۰۸ را بررسی و چهار منطقه آفریقای شمالی، خاورمیانه، مغولستان را با فراوانی بالای رخداد گرد و غبار بیان کردند. Kumar *et al.*, (2015) در پژوهشی، سه رویداد گرد و غبار مهم سال ۲۰۱۰ که در شمال هند، در طول فصل موسمی، رخ داده بود را از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی، ماهواره‌ای و برآورد مدل تجزیه و تحلیل نمودند. نتایج نشان دادند که همه طوفان‌های گرد و غبار نشأت گرفته از بیابان تار یا حمل شده از آن و تحت تأثیر شرایط

یکی از پدیده‌های جوی در منطقه‌های خشک و نیمه خشک دنیا، طوفان‌های گرد و غبار است. طوفان‌های گرد و غبار در این مناطق، از مهمترین مسئله‌های محیط زیستی به‌شمار می‌روند (Jalali and Davoudi, 2008). کشور ایران در غرب آسیا، به‌دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان (Modarres and Silva, 2007)، بارها در معرض طوفان‌های گرد و غبار قرار می‌گیرد. منشایی پدیده گرد و غبار و شناسایی منطقه‌های برداشت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در برخی مطالعات از جمله: Khosravi (2010) و Khosravi (2008)، Iranmanesh (2006) مورد توجه بوده است. Mohammadi moradian and Hoseinzadeh (2016) با بهره‌گیری از مدل HYSPLIT به روش پسگرد، سه مسیر کلی انتقال ذرات غبار به مشهد را تشخیص دادند. مسیر اصلی، شمال شرق - جنوب غرب بوده و در دوره گرم سال، گرد و غبار را از بیابان‌های ترکمنستان و آسیای مرکزی به مشهد وارد می‌کند. مسیر دوم، شمال غرب - جنوب شرق بوده و در دوره سرد سال فراوانی بیشتری داشته و مسیر سوم، جنوب غربی - شمال شرقی بوده که در دوره سرد سال از فراوانی کمتری برخوردار بوده است. Babaie Fini, (2017) به تحلیل و شناسایی الگوهای همدیدی طوفان‌های گرد و غبار غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که سازوکارهای ایجاد کننده گرد و غبار در دوره سرد و گرم سال متمایز از یکدیگر هستند. در فصل سرد ۲ الگوی کلی بر اساس استقرار یک کم‌ارتفاع یا پر ارتفاع در سمت غرب،



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Fig. 1- Location of the study area

برای بررسی آماری گرد و غبار، از داده‌های گرد و غبار به صورت روزانه طی ۸ ساعت دیده‌بانی ساعتی در قالب کدهای ویژه‌ای در دوره ۴ ساله (۲۰۱۰ - ۲۰۱۳)، از ایستگاه منتخب در منطقه مطالعاتی با دوره آماری مناسب، از سازمان هواشناسی گرفته شد که با استفاده از نرم‌افزارهای آماری Excel و SPSS پردازش و تحلیل شدند. قابل بیان است که داده‌های سال‌های اخیر به دلیل نبود کنترل کیفی در اختیار محققان قرار داده نمی‌شود. استخراج روزهای همراه با گرد و غبار با استفاده از کدهای هواشناسی ۰۶ و ۰۷ و با استفاده از نرم افزار متلب صورت گرفت. منظور از کد ۰۶ گرد و غبارهای وارد شده به ایستگاه از خارج از ایستگاه می‌باشد و منظور از کد ۰۷ گرد و غبارهای وارد شده به ایستگاه از اطراف ایستگاه می‌باشد (Zangeneh, 2014).

برای ترسیم نقشه پهنه‌بندی ابتدا مختصات ایستگاه‌های مطالعاتی به درصد تعیین و وارد محیط نرم‌افزاری ArcMap گردید و از فایل نقطه‌ای آن که مبنی بر موقعیت ایستگاه‌ها و داده‌های توصیفی تعداد روزهای گرد و غباری آن‌ها بود، خروجی گرفته شد. سپس با استفاده از روش IDW مبادرت به میان‌یابی و تبدیل داده‌های نقطه‌ای به پهنه‌ای گردید و نقشه پهنه‌بندی پراکندگی در استان اصفهان برای دوره آماری ۲۰۱۰ - ۲۰۱۳ در محیط نرم افزار GIS ترسیم شد. براساس رفرنس‌های موجود در این زمینه (Shahriari and Mohammadi, 2015; Hakimzadeh and Esfandiari, 2016; Kianian *et al.*, 2016) از این روش میان‌یابی در این تحقیق استفاده شد.

مطلوب ایجاد شده‌اند. با توجه به پیامدهای متعدد این پدیده در مقیاس‌های مکانی کوچک و بزرگ شناخت منطقه‌های مولد گرد و غبار استان اصفهان و ردیابی مسیرهای انتشار این پدیده و بررسی تغییرات زمانی و مکانی آن بمنظور برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر در مقابله با این پدیده از ضرورت قابل توجهی برخوردار است. از این رو در این تحقیق سعی بر این است که با تجزیه و تحلیل داده‌های آماری و شناسایی روزهای همراه با گرد و غبار، منشا گرد و غبار وارد شده به منطقه اصفهان و مسیر حرکت آن شناسایی شود.

مواد و روش‌ها

استان اصفهان در میانه ایران با مرکزیت شهر اصفهان، ششمین استان پهناور و سومین استان پرجمعیت ایران می‌باشد. استان اصفهان با مساحتی حدود ۱۰۷۰۱۸ کیلومتر مربع، بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. بر اساس گزارش ایستگاه سینوپتیک شهر اصفهان، بیشترین درجه حرارت ۴۰/۶ درجه سانتی‌گراد، کمترین درجه حرارت ۱۰/۶- درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. بنابر همین گزارش، تعداد روزهای یخبندان استان ۷۶ روز و متوسط میزان بارندگی سالانه آن ۱۱۶/۹ میلیمتر است. بادهایی که در استان اصفهان می‌وزند، به‌طور عمومی بادهای غربی و جنوب غربی‌اند. شکل ۱ موقعیت منطقه را نشان می‌دهد.

است، بنابراین تفاوت دمای درخشایی گرد و غبار در طول موج‌های ۱۱ میکرومتر (باند ۳۱) و ۱۲ میکرومتر (باند ۳۲) امکان استخراج گرد و غبار را فراهم می‌نماید. بدین صورت که مقادیر کوچکتر از صفر ($\Delta BT_{31,32} < 0$) بیانگر منطقه‌های دارای گرد و غبار است زیرا این پدیده بازتابش بالاتری در محدوده طول موج ۱۲ نسبت به ۱۱ میکرومتری دارد. در این حالت، ابرها و گرد و غبار از هم جدا می‌شوند. از آنجایی که اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتری برای گرد و غبار منفی است، بنابراین حد آستانه جهانی برای تفکیک گرد و غبار، می‌تواند صفر در نظر گرفته شود. در این حالت مقادیر منفی، طوفان گرد و غبار را نشان می‌دهد. برای جداسازی زمین‌های بیابانی و ابر از پدیده گرد و غبار به ترتیب از سنجه MNDVI و آستانه دمایی ۲۹۰ درجه کلون در باند ۳۲ استفاده گردید. لازم به بیان است که دمای آستانه کمیته است که با توجه به منطقه مورد بررسی و فصل سال برای جداسازی ابر و با استفاده از آن به کارگیری رویدادهای گوناگون گرد و غباری در این منطقه به‌طور تجربی به‌دست آمده است. سنجه MNDVI از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$MNDVI = (NDVI)^2 / (B)^2 \quad (2)$$

$$NDVI = (B_2 - B_1) / (B_2 + B_1) \quad (3)$$

که B_1 و B_2 به ترتیب باندهای شماره ۱ و ۲ در سنجنده مادیس هستند.

$$Dust = (b31 - b32) \text{ lt } 0 \text{ and } (b1) \text{ lt } 0.08 \quad (4)$$

$$BT = (b1) \text{ gt } 0 \text{ and } (b32) \text{ gt } 290 \quad (5)$$

در رابطه (۴) $b1 = MNDVI$ و در رابطه (۵) $b1 = Dust$ می‌باشد.

در این تحقیق برای ردیابی مسیر باد موثر در انتقال پدیده گرد و غبار، با مراجعه به سایت NOAA و دریافت داده‌های روزانه با فرمت GDAS (سامانه یکپارچه سازی داده‌های جهانی) با قدرت تفکیک ۰/۵ درجه در ۰/۵ (داده‌های هواشناسی مورد نیاز برای اجرای مدل داده‌های GDAS با دقت ۰/۵ درجه است) برای روزهای همراه با گرد و غبار نقشه‌های ردیابی مسیر باد با استفاده از مدل HYSPLIT و نرم افزارهای جانبی آن تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند.

در این مطالعه بمنظور بارزسازی گرد و غبار و تحلیل آن سامانه ۱۶ و ۱۷ می ۲۰۱۳ به‌عنوان سامانه سنجه انتخاب شد. این سامانه در بین سامانه‌ها از شدت، تداوم و گستردگی بالایی برخوردار بودند.

□ شدت سامانه بر اساس دید افقی تعیین شد (دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر از آن).

□ تداوم به تعداد روزهای استقرار سامانه گرد و غباری در ایستگاه‌های مورد مطالعه اطلاق شد (۲ روز و بیشتر).

□ گستردگی بر اساس تعداد ایستگاه‌های مشمول تعریف شد. در تحقیق پیش رو از تصاویر سنجنده مادیس، محصول MOD02 استفاده شده است. تصاویر مربوطه با فرمت HDF و اطلاعات جانبی و فراداده‌های تصاویر نیز در داخل آن گنجانده شده است. تصاویر به کمک برنامه‌ی MCTK⁴ تصحیح هندسی شدند. این برنامه به‌صورت افزونه روی نرم افزار ENVI قرار می‌گیرد که توانایی استخراج و تصحیح هندسی تمام محصول‌های رایج مادیس را دارد. برای تصحیح هندسی از سیستم تصویر جغرافیایی با نوع بیضوی WGS-84 استفاده شد که با روش نزدیکترین همسایه بازخوانی شدند. دمای درخشندگی که دمای متناظر با انرژی تابشی دریافت شده از سطح توسط سنجنده می‌باشد و بدون در نظر گرفتن گسیل‌مندی محاسبه شده است با دمای واقعی متفاوت بوده از معکوس کردن معادله پلانک به‌دست می‌آید.

$$T = (hc/K\lambda) / (\ln((2hc^2\lambda^{-5}) / L\lambda + 1)) \quad (1)$$

$$T = \text{دمای روشنایی برحسب کلون}$$

$$C = (2.988 \times 10^8 (MS-1)) = \text{سرعت نور}$$

$$H = (626/6 * 10^{-34}) = \text{ثابت پلانک}$$

$$K = (1.3807 * 10^{-23}) = \text{ثابت بولتزمن}$$

$$L\lambda = (wm-2 \mu m-1 \text{ sr}-1) = \text{تابش طیفی}$$

$$\lambda = \text{طول موج مرکزی هر باند } (\mu m)$$

در حالت عادی دمای درخشندگی طول موج ۱۱ میکرومتر بیشتر است ولی هنگام گرد و غبار این وضعیت عکس می‌شود. از آنجایی که آلبیدوی رخداد گرد و غبار در طول موج ۱۲ میکرومتر بیش از طول موج ۱۱ میکرومتر

گرد و غبار مشاهده می‌شود فراوانی این پدیده در سال‌های اخیر روبه افزایش گذاشته است که (Rasouli et al. (2010 نیز بر این امر تاکید دارند این شرایط از یک طرف نشان دهنده گسترش مکانی و زمانی این پدیده در سال‌های اخیر و از سوی دیگر بیانگر افزایش چشمه‌های تولید کننده گرد و غبار در داخل و خارج از کشور باشد. در شکل ۳، نمودار درصد فراوانی ماهانه روزهای همراه با پدیده گرد و غبار در سال‌های ۲۰۱۳ - ۱۹۹۴ رسم گردیده است. بررسی درصد فراوانی ماهانه روزهای همراه با گرد و غباری نشان می‌دهد بیشترین درصد فراوانی به ترتیب ماه می، ژوئن و آوریل (اردیبهشت، خرداد و فروردین) می‌باشد. کمترین درصد فراوانی در ماه‌های دسامبر و ژانویه محاسبه شده است. محققانی مانند (Azizi et al. (2012, Pahlavanravi et al. (2012, Rezazadeh et al. (2013 و Rashki et al. (2015 به حداکثر شدن وقوع گرد و غبار در ماه‌های ژوئن و می و کاهش آن در ماه‌های سرد سال اذعان نموده‌اند بررسی فراوانی ماهانه گرد و غبار نشان داد که ۴۴/۵۷٪ از کل رخداد گرد و غبار در ماه آوریل، می و ژوئن و ۴/۳۲٪ در ماه دسامبر و ژانویه به وقوع پیوسته است. با این توصیف می‌توان گفت که تغییرات فراوانی ماهانه گرد و غبار در منطقه بیشتر از هر چیز از شرایط اقلیم همدید حاکم در منطقه در ماه‌های سال پیروی می‌کند.

نتایج پهنه‌بندی

در سال ۲۰۱۰ نتایج نشان می‌دهد که در قسمت‌های غربی استان وقوع گرد و غبار با متوسط کمتر از ۲۰ واقعه در سال بوده است (شکل ۴ الف). در سال‌های ۲۰۱۱ نتایج نشان می‌دهد که ایستگاه نائین با ۲۳۰ واقعه بیشترین وقوع گرد و غبار را داراست و در قسمت‌های شمال غربی استان وقوع گرد و غبار با متوسط کمتر از ۲۰ واقعه در سال می‌باشد (شکل ۴ ب). در سال ۲۰۱۲ نتایج نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌ها بجز ایستگاه نائین نسبت به سال قبل افزایش تعداد وقوع گرد و غبار رخ داده است (شکل ۵ الف). در سال ۲۰۱۳ نتایج گویای آن است که بخش‌های شرقی و جنوب شرقی دارای بیشترین وقوع گرد و غبار است و

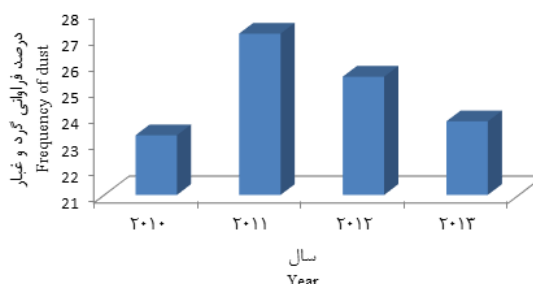
در این پژوهش برای ردیابی مسیر باد با استفاده از مدل HYSPLIT از روش Backward استفاده شده است. بطوریکه همزمان با ورود اولین گرد و غبار وارد شده به منطقه مورد مطالعه مسیر باد برای ۴۸ ساعت قبل از آن مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع مسیر باد برای روز قبل از وقوع گرد و غبار در ایستگاه‌های درگیر با این پدیده مورد ارزیابی قرار گرفتند. در نقشه‌های حاصل از این مدل هر نقطه در روی مسیرهای ختم شده به ایستگاه که ممکن است بر اساس خروجی مدل و انتخاب نوع مدل مربع، مثلث یا دایره باشد نشان‌دهنده آغاز یک بازه زمانی ۱۲ ساعته و نقطه بعدی نشان‌دهنده خاتمه‌ی آن می‌باشد بنابراین با توجه به این ردیابی برای ۴۸ ساعت قبل از ورود به ایستگاه انجام شده است. علامت ستاره‌دار روی خروجی‌های مدل نشان‌دهنده ایستگاه‌های گرد و غبار است که طول و عرض آن‌ها به مدل داده شده است. همچنین مسیر باد رسیده به ایستگاه با رنگ‌های سبز، آبی و قرمز نشان داده شد. ارتفاع نمایش داده شده در پائین هر نقشه که مسیرهای باد رسیده به ایستگاه‌ها از آن منشا می‌گیرند نشان‌دهنده ارتفاع مسیر طی شده از سطح زمین است.

نتایج و بحث

بررسی داده‌های رخداد گرد و غبار در مقیاس‌های مختلف زمانی در مقیاس سالانه بدون در نظر گرفتن شدت وقوع این پدیده نشان داد که در مجموع ۱۴۶۷ روز همراه با پدیده گرد و غبار با کدهای دیده‌بانی ۰۶ و ۰۷ برای ایستگاه‌های منتخب در استان اصفهان طی دوره آماری ۲۰۱۳ - ۲۰۱۰ گزارش شده است (جدول ۱). با توجه به جدول ۱ مشاهده می‌گردد ایستگاه نائین با ۶۳۴ روز بیشترین و ایستگاه کاشان با ۵۰ روز کمترین روزهای همراه با گرد و غبار در دوره آماری ۴ ساله را داشتند. شکل ۲ نمودار درصد فراوانی روزهای توأم با گرد و غبار را نسبت به سال نشان می‌دهد. بنابر نمودار شکل ۲ سال ۲۰۱۱ با ۲۷/۱۴ درصد بیشترین و سال ۲۰۱۰ با ۲۳/۲۷ درصد کمترین درصد فراوانی گرد و غبار برای ایستگاه‌های منتخب طی دوره آماری مورد مطالعه را نشان می‌دهد. از بررسی طوفان‌های

جدول ۱- فراوانی تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در هر سال در ایستگاه‌های منتخب (۲۰۱۰-۲۰۱۳)
Table 1. Frequency of days with dust per year at selected stations (2010-2013)

ایستگاه Station	اردستان Ardestan	کاشان Kashan	شهرضا Shahreza	نطنز Natanz	نابین Naien	کبوتر آباد Kabootarabad	اصفهان Isfahan	خور Khour
سال Year								
2010	32	10	12	26	186	21	26	30
2011	34	4	10	22	230	28	42	30
2012	39	15	27	29	132	34	62	47
2013	48	21	15	29	93	39	48	53
مجموع Sum	153	50	64	106	641	122	178	160
میانگین Mean	38.25	12.5	16	26.5	160.25	30.5	44.5	40



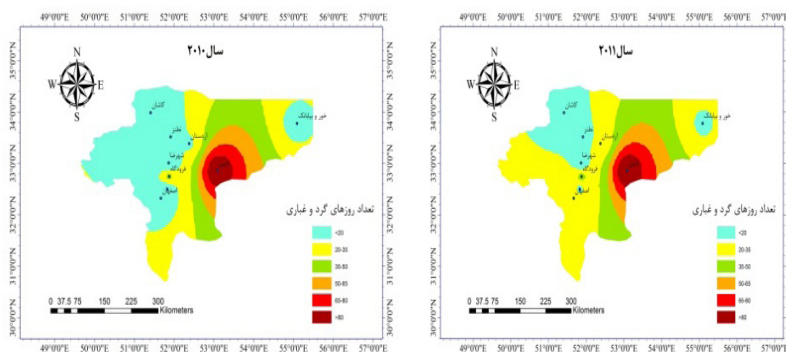
شکل ۲- نمودار درصد فراوانی گرد و غبار در سال‌های مختلف
Fig. 2- Percent frequency of dust in different years



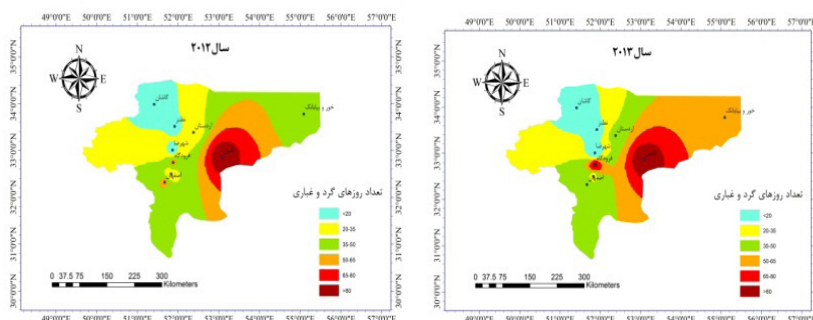
شکل ۳- نمودار درصد فراوانی ماهانه روزهای توام با گرد و غبار در دوره آماری ۲۰۱۰-۲۰۱۳
Fig. 3- Monthly frequency chart for days with dust during the statistical period of 2010-2013

گرد و غبار با اختلاف دمای درخشندگی $BTD_{31,32}$ ، طی چهار مرحله محاسبه، بر روی باندهای تصاویر به بارزسازی گرد و غبار انجامید. در مرحله اول محاسبات باندی با تعیین مقدار NDVI، میزان بازتابندگی تصویر مشخص و سپس پیکسل‌های سطوح خشکی بر روی تصویر با اجرای سنججه $MNDVI^5$ با حد آستانه کمتر از ۰/۰۸، حذف و در مرحله سوم با اختلاف دمای درخشندگی در باندهای ۱۱ و ۱۲

ایستگاه شهرضا با ۱۵ واقعه کمترین وقوع گرد و غبار در سال را دارا می‌باشد (شکل ۵ ب). برای بارزسازی پدیده گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه تصاویر ماهواره‌ای از سایت MODIS گرفته شد و در مدت حضور این پدیده در منطقه تا خروج آن، مورد پردازش قرار گرفت و در نهایت پدیده گرد و غبار روی تصاویر به رنگ قرمز نشان داده شد (شکل ۶ و ۷). اجرای الگوریتم شناسایی



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی گرد و غبار در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱
 Fig. 4- Dust zonation map in 2010 and 2011



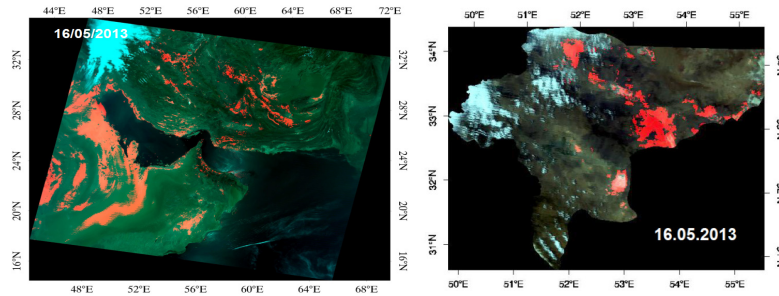
شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی گرد و غبار در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳
 Fig. 5- Dust zonation map in 2012 and 2013

موثر در پراکنش این پدیده عمل می‌کند. همچنین گرد و غبار وارد شده به منطقه مورد مطالعه از کانون شمال عربستان و جنوب عراق منشا می‌گیرد.

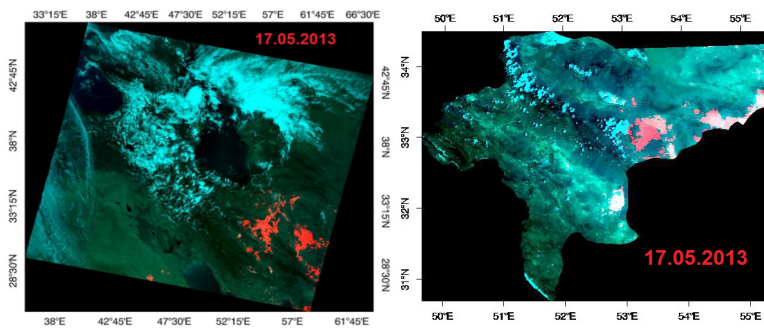
پس از بارسازی گرد و غبار، نقشه رهگیری باد به‌عنوان حامل اصلی این پدیده به منطقه مورد بررسی تهیه گردید. فاکتور میدان دید نشان‌دهنده کاهش شدید میدان دید در ۱۶ می ۲۰۱۳ بوده است. در این روز با استفاده از مدل رهگیری جریان باد و روش خط سیر عقب گرد، رهگیری بسته‌های باد انجام شد. رهگیری جریان باد با روش عقب گرد از ایستگاه‌های نطنز، کبوترآباد و اردستان و در ساعت ۱۲، ۱۶ می ۲۰۱۳ شروع و با عقب رفتن در زمان ۴۸ ساعت ادامه یافت. رهگیری مسیر باد در ارتباط با پدیده گرد و غبار روز ۱۶ می در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد که جریانات رسیده از شمال عربستان و جنوب عراق برخاسته است (شکل ۸).

شبیه‌سازی انتشار با پخش ذرات از ساعت ۱۲ UTC روز ۱۶ و ۱۷ جولای برای شبکه تعریف شد و خروجی‌های آن

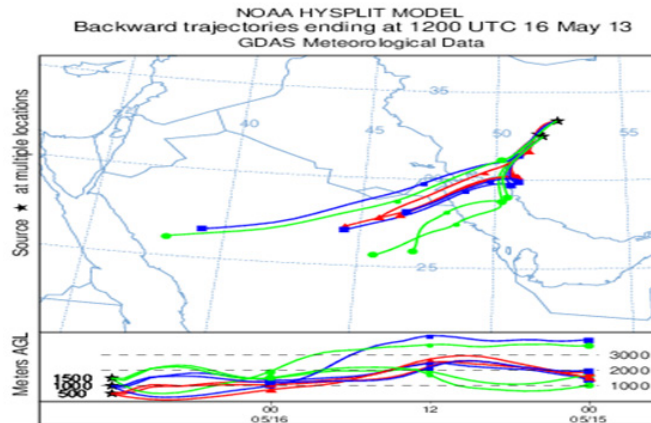
میکرومتر، تعیین حد آستانه کمتر از صفر گرد و غبار در جو آشکار گردید. سپس پهنه‌های ابر و آب بر روی تصویر از گرد و غبار جدا و آستانه دمایی بیشتر از ۲۹۰ درجه کلون در باند ۳۲ سنجنده مودیس استفاده شد. سنجه BT-D دارای ارزش‌های عددی مشترک بین گرد و غبار و قسمت‌های کمی از زمین‌های بیابانی بود ولی در این سنجه ابر و گرد و غبار از لحاظ عددی کاملا از هم تفکیک گردیدند. کاربرد ویژگی‌های مربوط به دمای درخشندگی و اعمال آستانه‌های دمایی بمنظور تفکیک گرد و غبار از عوارض زمین بویژه در مناطق با پس زمینه روشن که دارای بازتابندگی مشابه هستند و نیز تفکیک گرد و غبار از ابرها، در بارسازی گرد و غبار یاری‌رسان بوده است که با نتایج مطالعات (Qu *et al.* (2006), Zhao *et al.* (2011), Karimi (2012) و Shao *et al.* (2013) همخوانی دارد بررسی تصاویر نشان می‌دهد با گسترش گرد و غبار غرب ایران و برخورد آن به ارتفاعات زاگرس روند حرکت آن تغییر پیدا می‌کند و ارتفاعات زاگرس به‌عنوان یک عامل



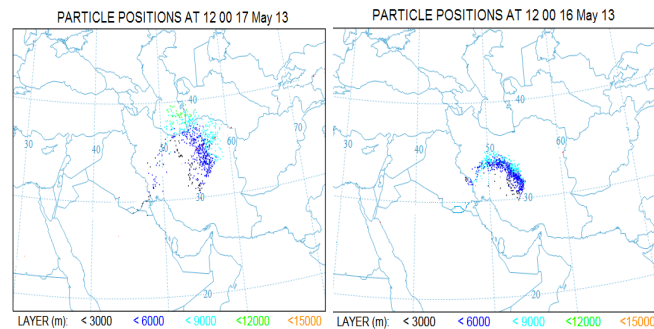
شکل ۶- تصویر رنگ حقیقی گرد و غبار بارزسازی شده در ۱۶ می ۲۰۱۳ (۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۲)
 Fig. 6- TCC of the dust reflected on 16 May 2013



شکل ۷- تصویر رنگ حقیقی گرد و غبار بارزسازی شده در ۱۷ می ۲۰۱۳ (۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۲)
 Fig. 7- TCC of the dust reflected on 17 May 2013



شکل ۸- خروجی مدل HYSPLIT به مدت ۴۸ ساعت به روش پسگرد (۱۶/۰۵/۲۰۱۳)
 Fig. 8- Output of the HYSPLIT model for 48 hours in reverse (16/05/2013)



شکل ۹- وضعیت قرارگیری افقی ذرات روز ۱۶ و ۱۷ می در ساعت ۱۲ با فواصل زمانی ۲۴
 Fig. 9- The horizontal position of the particles on 16 and 17 of May at intervals of 24

سامانه حمل و نقل، تغییر در روند مبادلات انرژی خورشید و به دنبال آن آسیب رسانی به محصول‌های کشاورزی را سبب می‌شود. بارسازی گرد و غبار روی تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که گرد و غبار وارد شده به منطقه مورد مطالعه از کانون شمال و شمال غرب عربستان اصلی منشا می‌گیرد. بررسی نقشه‌های رهگیری جریان باد حاصل از مدل برای نمونه‌های انتخابی نشان می‌دهد مسیر کلی برای انتقال گرد و غبار به منطقه مورد مطالعه که براساس نتایج مدل HYSPLIT به‌دست آمد مسیر جنوب شرقی - شمال غربی است. این مسیر با عبور از جنوب عراق و شمال خلیج فارس عمل انتقال گرد و غبار را انجام می‌دهند. در واقع این مسیرها با مسیر مشاهده شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای که از کانون‌های اولیه منشا گرفته بودند انطباق دارد. به‌طور کلی، با توجه به تصاویر ماهواره‌ای در روز شروع و روز اوج گرد و غبار، منابع اصلی گرد و غبارهای وارد به منطقه مورد مطالعه شامل بیابان‌های شمال صحرائی عربستان می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

¹ Albido

² The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model

³ MATLAB

⁴ Modis Conversion Toolkit

⁵ Modify Normalized difference Vegetation Index

Azizi, Gh., Shamsipour Miri, M. and Safar Rad, T., 2012. Synoptic and remote sensing analysis of dust events in southwestern Iran. *Natural Hazards*. 64, 1625- 1638.

Babaie Fini, A., Safar Rad, T. and Karimi, M., 2017. Analysis and identification of patterns of coexistence of dust storms in western Iran. *Geography and Environmental Hazards*. 17, 105-119. (In Persian with English abstract).

Beroghani, M., Pourhashemi, S., Asadi Zanganeh, M.A. and Moradi, H.R., 2017. Dust source identification in the Middle East by using Remote Sensing.

هر ۲۴ ساعت ترسیم شدند (شکل ۹). با توجه به وضعیت انتشار ذرات، پیش‌بینی بیانگر این است که با گذشت زمان بر تعداد نقاط و میزان انتشار آن‌ها افزوده شده است و توده‌ها به سمت شمال و مرکز کشور گسترش یافته و در روز ۱۶ می ذرات به‌سرعت تا ارتفاع کمتر از ۹۰۰۰ متری از سطح زمین صعود کرده که دلیل اصلی آن بالا بودن عمق اختلاط است. در روز ۱۷ می پیش‌بینی نشان می‌دهد ذرات گرد و غبار تا ارتفاع ۱۲۰۰۰ متر بالا رفته و به سمت شمال حرکت کرده و زبانه‌های انتشار ذرات به سمت شمال شرق کشیده شده است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه افزون بر بررسی فراوانی پدیده گرد و غبار، شدت این پدیده در هر ایستگاه براساس میزان دید افقی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه بیشتر مشکل‌های پیش آمده ناشی از این پدیده در دیدهای کمتر از ۱۰۰۰ متر اتفاق می‌افتد گرد و غبارهای با دید افقی ۱۰۰۰ متر و کمتر از آن از دیگر رخدادها جدا و در مقیاس‌های زمانی و مکانی مورد بررسی قرار گرفت. قابل بیان است زمانی که شدت گرد و غبار به‌اندازه‌ای باشد که میزان دید افقی به ۱۰۰۰ و کمتر از آن برسد مشکل‌های زیادی مانند تعطیلی مدارس و ادارات دولتی، لغو پروازهای فرودگاهی، اختلال در

منابع

Journal of Natural Environmental Hazards. 6(11), 101-118. (In Persian with English abstract).

Iranmanesh, F., Arabkhedri, M. and Akram, M., 2006. Investigating dust harvesting regions and their emission characteristics in storms in Sistan Region using satellite imagery. *Processing of First National Conference on wind erosion*, 24th-26th January, Yazd, Iran.

Hakimzadeh, M.A. and Esfandiari, M., 2016. Climatic droughts zoning using inverse distance weighted method. *Geographical Researches*. 31(2), 180-189. (In Persian with English abstract).

- Jalali, N. and Davoudi, M.H., 2008. Inspecting the Origins and Causes of the Dust Storms in the South-west and West Parts of Iran and the Regions Affected. Internal Reports of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran.
- Karimi, N., Moridnejad, A., Golian, S., Samani, J.M.V., Karimi, D. and Javadi, S., 2012. Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS Data. *Journal of Remote Sensing*. 38(5), 586-599.
- Khosravi, M., 2008. Spatial analysis of dust storms caused by 120-day winds of Sistan using remote sensing data (period 2001-2008). *Proceedings of the 11th National Conference on Environmental Health*, 3th November, Zanjan, Iran.
- Khosravi, M., 2010. Spatial analysis of hurricane dust storm pollution in the Middle East using NAAPS model (Case: Sistan, Iran). *Proceedings of the 4th International Congress of Geographers of the Islamic World (ICIWG2010)*, 16th April, Zahedan, Iran.
- Kianian, A., Mobarghaei Dian, N. and Hashemi, H., 2016. Zoning the soil affected by wastewater irrigation with using IDW method (case study: South of the Rey City). *Environmental Researches*. 7(14), 81-90. (In Persian with English abstract).
- Modarres., R. and Silva, V.P.R., 2007. Rainfall Trends in Arid and Semi-Arid Regions of Iran. *Journal of Arid Environment*. 70(2), 344-355.
- Mohammadi Mouradiyan, J. and Hosseinzadeh, S.R., 2016. Satellite monitoring and the analysis of dust phenomena in Mashhad's metropolitan area during the statistical period of 2013-2009. *Geography and Environmental Hazards*. 4(14), 35-57. (In Persian with English abstract).
- Pahlavanravi, A., Miri, A., Ahmadi, A. and Ekhtesasi, M.R., 2012. The impacts of different of dust storms in hot and dry climate, a case study in Sistan Region. *Desert*. 17, 15-25.
- Qu, J.J., Hao, X., Kafatos, M. and Wang, L., 2006. Asian dust storm monitoring combining Terra and Aqua MODIS SRB measurements. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 3(4), 484-486.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Francois, P., Kosmopoulos, P.G. and Legrand, M., 2015. Dust storm dynamics over Sistan Region, Iran: seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*. 16, 35-48.
- Rasouli, E.A., Sarisaraf, B. and Mohammadi, Gh.J., 2010. Drought climate analysis in the west of the country in the last 55 years using nonparametric methods. *National Geographic Quarterly*. 9, 15-28. (In Persian with English abstract).
- Rezazadeh, M., Irannejad, P. and Shao, Y., 2013. Climatology of the Middle East events. *Aeolian Research*. 10, 103- 109.
- Shariari, A.R. and Mohammadi, M., 2015. Trend analysis the number of dusty days in the Sistan and Baluchistan Province (Iran) using Non-Parametric statistics. *Journal of Water and Soil Conservation*. 22(4), 253-260. (In Persian with English abstract).
- Shao, Y., Wyrwoll, K.H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G.H., Mikami, M., Tanaka, T.Y., Wang, X. and Yoon, S., 2012. Dust cycle: an emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*. 2, 181-204.
- Wang, Y., Stein, A., Draxler, R., Rosa, D. and Zhang, X., 2011. Global sand and dust storms in observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric Environment*. 45, 259-273.
- Zangeneh, S., 2014. Applied meteorology of dust storms in Iran. *Journal of Applied Meteorology*. 1(1), 1-12.
- Zhao, C., Liu, X., Ruby Leung, L. and Hagos, S., 2011. Radioactive impact of mineral dust on monsoon precipitation variability over West Africa. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 11, 1879-1893.





Environmental Sciences Vol.18/ No.1/ Spring 2020

105-116

Detecting and routing of dust event using remote sensing and numerical modeling in Isfahan Province

Mehdi Jafari^{1*}, Gholameza Zehtabian¹, Hasan Ahmadi¹, Tayebeh Mesabhzadeh¹ and Ali Akbar Norouzi²

¹Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

² Agricultural Extension and Research Organization, Institute of Soil and Water Conservation, Tehran, Iran

Received:2018.02.14 Accepted:2018.12.10

Jafari, M., Zehtabian, G., Ahmadi, H., Mesabhzadeh, T. and Norouzi, A.A., 2020. Detecting and routing of dust event using remote sensing and numerical modeling in Isfahan Province. *Environmental Sciences*. 18(1): 105-116.

Introduction: The phenomenon of dust in Iran is a serious risk that caused major problems for the environment and human health. Research have shown that the frequency and severity of these storms have increased in recent years. In addition, numerical weather models alone are not capable of storm detection, which requires the use of dust detection methods based on data remote sensing. The purpose of this research was to analyze the statistical data and identify the days with dust, the source of dust entering the Isfahan area, and identify the route of its movement.

Material and methods: Dust data were collected from the selected station in the study area with a suitable statistical period from the meteorological organization on a daily basis for 8 hours, in the form of special codes for the period of 2010 to 2013, which were processed and analyzed using statistical methods. In order to zoning the dust abundance in the province, the IDW method was used to interpolate and transform point-to-area data. The dispersion zonation map for the 2010-2013 period was mapped using the GIS software. In order to visualize the dust phenomenon, after the geometric correction of the images, the radian values of the images were converted to brightness temperature using the Planck function. Corrections and processing of images were done in ENVI software. Due to the large influence of dust particles on the reflection and brightness temperature of the 31 and 32 bands of the material, the difference between the two bands' brightness was used to represent the dust mass. Also, to prevent the detection of cloud areas, the threshold of 290 K was applied to the 12-micron range. HYSPLIT Lagrangian model was used to trace the dust particles' path.

*Corresponding Author. *Email Address:* meh_jafari@ut.ac.ir

Results and discussion: The results of this study indicated that a total of 1467 days of dust phenomena were reported for selected stations from 2010 to 2013, in which the Naein station was the largest with 634 days and the Kashan station had the least frequency of dust with 50 days. The results also indicated the greatest frequency percentage occurred in May, June and April and the lowest frequency percentages in December and January. The frequency of monthly dust data showed that 44.57% of the total dust incidence occurred in April, May and June and 32.4% in December and January. Accordingly, it can be concluded that monthly dust changes occur frequently in the region consistent with the regional climate during all months of the year. The zoning results showed that during the study period, the southeast of the province, especially Naein station, had the highest incidence of dust. The application of brightness temperature and temperature threshold in order to separate the dust from the terrain, especially in areas with backlight, was helpful in the detection of dust. The results of the tracking showed that the main route for the transfer of dust to the studied area was southwest-northeast.

Conclusion: In general, according to satellite images on the first and the peak day of dust, the main sources of dust in the region were northern Arabian deserts. Based on the results obtained from image processing and the output of the model, the northern part of Saudi Arabia and the southwest-northeast route were the origin and main route of dust entering Isfahan.

Keywords: Dust, Brightness temperature, MODIS, Esfahan, HYSPLIT.