

شناسایی و طبقه‌بندی مناطق گردوغباری در خاورمیانه با استفاده از تلفیق ویژگی‌های

انعکاسی و مادون قرمز حرارتی سنجنده‌ی MODIS

خدیدجه کریمی^{۱*}، حمید طاهری شهرآیینی^۲، ناصر حافظی مقدس^۳، مجید حبیبی نوخندان^۴

پذیرش مقاله: ۹۱/۱۰/۶

دریافت مقاله: ۹۰/۷/۶

چکیده

طوفان‌های گردوغبار، سالانه حجم عظیمی از ذرات معلق را وارد جو زمین می‌کنند. وجود این ذرات معلق در هوا باعث افزایش بیماری‌های تنفسی، چشمی، قلبی-عروقی و ... می‌شود. فراوانی و شدت وقوع این پدیده‌ی زیست محیطی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله خاورمیانه در سال‌های اخیر در حال افزایش است. جهت بررسی و مطالعه‌ی مناطق تحت پوشش غبار، استفاده از ابزارها و تکنیک‌های مناسب همچون سنجنش از دور ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق با استفاده از پردازش داده‌های سنجنده‌ی MODIS، اقدام به ردیابی و طبقه‌بندی مناطق تحت پوشش غبار در خاورمیانه شده است. اختلاف در میزان گسیل‌مندی ذرات گردوغبار در محدوده‌ی امواج مادون قرمز حرارتی به شکل مؤثری نواحی گردوغباری را متمایز می‌نماید. در این مطالعه، شاخص D که ویژگی‌های انعکاسی و اختلاف دمای روشنایی بین طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر را تلفیق می‌کند برای ۲۸ تصویر ماهواره‌ای مربوط به روزهای غباری سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ (۲۰۰۸ و ۲۰۰۹) منطقه خاورمیانه محاسبه شد. نتایج نشان داد که پارامتر D برای تفکیک مناطق گردوغباری از روی تصاویر MODIS بسیار مناسب است. در ادامه، رابطه‌ی این پارامتر با داده‌های هواشناسی، قابلیت دید استخراج شد. نتایج نشان داد که رابطه‌ی بین داده‌های قابلیت دید و پارامتر D در منطقه‌ی خاورمیانه به صورت تابع نمایی با همبستگی $0/68$ است. با استفاده از این رابطه، نقشه‌های قابلیت دید از نقشه‌های پارامتر D با درصد خطای مطلق $45/6\%$ استخراج گردید. با توجه به پیچیدگی مسئله و وسعت منطقه و تنوع آب و هوایی موجود، مدل دارای همبستگی $0/68$ و خطای $45/6\%$ مناسب به نظر می‌رسد. در نتیجه‌ی شدت واقعه طوفان گردوغبار، میزان دید کاهش می‌یابد و بر این پایه، نقشه‌های قابلیت دید بسته به میزان قابلیت دید به نواحی مختلف گردوغباری طبقه‌بندی شدند. این روش طبقه‌بندی از تلفیق روش‌های مختلف طبقه‌بندی گردوغبار بر حسب قابلیت دید برای منطقه‌ی خاورمیانه توسعه داده شده است که در آن، گردوغبار به پنج گروه گرد و غبار معلق، گرد و غبار پخش شده، طوفان گردوغبار سبک، طوفان گردوغبار متوسط، و طوفان گردوغبار ضعیف تا شدید طبقه‌بندی می‌شود.

کلید واژه‌ها: تصاویر ماهواره‌ای MODIS، خاورمیانه، ردیابی گردوغبار، طبقه‌بندی گردوغبار، قابلیت دید

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲. دکتری مهندسی عمران-آب، استادیار، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳. دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۴. دکتری اقلیم‌شناسی، دانشیار، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، مشهد

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

که این روش‌ها علاوه بر صرف وقت و هزینه‌ی کمتر می‌توانند دقیق و وسیع عمل کرده و ما را به کشف چشمه‌های گردوغبار و نحوه‌ی توزیع این منابع در منطقه‌ی مورد مطالعه هدایت کنند.

ایرانمنش و همکاران (۱۳۸۴) با هدف شناخت مناطق منشاء طوفان‌های غبارزا و چگونگی انتشار ذرات گردوغبار با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای در منطقه‌ی سیستان تحقیقی انجام دادند که طی آن از تصاویر MODIS برای تفسیر چشمی مناطق منشاء گردوغباری، و لندست ۷ (ETM⁺) برای تهیه نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و از آمار باد ایستگاه هواشناسی زابل در روزهای مورد بررسی استفاده کردند. مطالعات انجام شده بر روی تصاویر نشان داد که اصلی‌ترین منطقه برداشت ذرات گردوغباری بر روی دریاچه‌ی هامون ساپوری قرار دارد.

پارامترهای فیزیکی و نوری غبار شدیدی که در اکتبر ۲۰۰۵ در گوانگژو (Guangzhou) رخ داد به وسیله تلفیق تکنیک‌های سنسجس ازدور تعیین شد (Noh et al., 2009). این اندازه‌گیری‌ها از دو طریق: الف) اندازه‌گیری‌های زمینی ب) اندازه‌گیری از فضا (با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای) صورت گرفت. دو نوع متفاوت هواویز (Aerosol) بر اساس تغییرپذیری ویژگی‌های نوری برای شرایط توده هوای متفاوت تشخیص داده شد. Tegen (2003) ضمن مطالعه در زمینه‌ی مدل‌سازی سیکل هواویزهای گرد و خاکی در سیستم‌های آب و هوایی بیان می‌دارد که مجموعه داده واحدی وجود ندارد که به طور کامل تمام جنبه‌های سیکل گردوغبار را توضیح دهد و اعتبارسنجی توزیع گردوغبار مدل شده باید با انواع داده‌های هم‌دیدگی (Synoptic) مقایسه گردد.

اکرمن (Ackerman, 1997) اختلاف دمای روشنایی (BTD) بین طول موج‌های ۸ و ۱۱ میکرومتر و ۱۱ و ۱۲ میکرومتر را برای هواویزهای استراتوسفری و هواویزهای تروپوسفری به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و دریافت که عموماً مقدار اختلاف دمای روشنایی در حضور گردوغبار تروپوسفری بین طول موج‌های ۸ و ۱۱ میکرومتر مثبت و برای

باد عامل اصلی حرکت و جابه‌جایی خاک به حساب می‌آید. طوفان گردوغبار، نامی است عمومی برای طوفان ماسه و طوفان گرد و خاک که طی آن، بادهای قوی مقدار زیادی گردوغبار و ماسه را از نزدیک سطح زمین به سوی جو حرکت می‌دهند (Di et al., 2008). زمانی که این مواد وارد جو می‌شوند، باعث تغییر خواص فیزیکی، شیمیایی و زیستی آن شده که به این هوای تغییر یافته، هوای آلوده گویند. آلاینده‌ها به موادی اطلاق می‌شوند که باعث تغییرات قابل توجهی بر روی بشر، حیوانات، گیاهان یا اشیاء می‌شوند. بر این اساس تقریباً هر ماده‌ی طبیعی یا مصنوعی که وارد هوا شده و خواص آن را تغییر دهد، به عنوان آلاینده هوا شناخته می‌شود (Diem and Comrie, 2002). یافته‌های جدید پژوهشگران طی ۱۰ سال اخیر، نشان می‌دهد ذرات گردوغبار در هوا، بیش از آنچه که تصور می‌شد، برای سلامت انسان مضر است. آچودام و الادیپو (Achudume and Oladipo, 2009) میزان سمی بودن ذرات گردوغبار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنالیز میکروبی نمونه‌های جمع‌آوری شده نشان داد که این ذرات حاوی نمونه‌های میکروبی ایجادکننده‌ی بیماری‌های تنفسی می‌باشد. فرسایش حاصل از طوفان‌های گردوغبار باعث از دست رفتن نیتروژن و کربن خاک نیز می‌شود (Wang et al., 2006). طوفان‌های گردوغبار می‌توانند همچنین روی اقلیم، دمای هوا و سرد شدن اقیانوس‌ها تأثیر داشته باشند (Goudie and Middleton, 2006).

شدیدترین و گسترده‌ترین طوفان‌های گردوغباری، در مناطق بیابانی روی می‌دهند که گاهی این طوفان‌ها فراتر از مرزهای قاره‌ها می‌روند (Liu and Park, 2007). با توجه به عواقب این پدیده در سلامت و بهداشت مردم، کشاورزی و هوانوردی، مطالعات دقیق‌تری در مورد یافتن منابع تولیدکننده‌ی گردوغبار، پایش و پیش‌بینی گسترش و پخش و برآورد شدت، فراوانی و نیز اثرات زیست محیطی این پدیده ضروری به نظر می‌رسد. یکی از روش‌های بسیار مؤثر در زمینه ردیابی مناطق گردوغباری، استفاده از تکنیک‌های سنسجس از دور است، چرا

ناهموار می‌تواند منبع بزرگی برای گردوغبار باشد. با وجود این که این ناحیه توسط دریای سیاه و خزر در شمال و دریای سرخ و مدیترانه در غرب و در شرق و جنوب توسط خلیج فارس و دریای عمان احاطه شده است، اما جزو مناطق نیمه خشک محسوب می‌شود (Evans and Smith, 2001). نبود بارندگی در نواحی داخلی شبه جزیره‌ی عربستان، ناحیه‌ی سطحی خشکی شامل ماسه، رس و سیلت دانه‌ریز به وجود آورده که برای ایجاد طوفان‌های گردوغباری بسیار مناسب می‌باشند (Bartlett, 2004). وضعیت زمین‌شناسی خاورمیانه نشان می‌دهد که در غرب ایران از جمله کشورهای عراق و سوریه بیشترین سنگ‌هایی که در سطح زمین گسترش یافته‌اند نهشته‌های سخت نشده به‌ویژه در اطراف رودخانه‌های دجله و فرات می‌باشد. بیشتر نهشته‌ها در محدوده‌ی شمال صفحه‌ی عربی از نوع رسوبی-تخریبی بوده که غالباً از شیل و ماسه سنگ‌های ژوراسیک، سنگ‌های آهکی کرتاسه و سنگ آهک‌های مارنی و شیل‌های پالئوسن تا میوسن نشأت گرفته‌اند.

۲-۲. داده‌ها

داده‌ها و اطلاعات استفاده شده در این تحقیق به دو گروه عمده قابل تقسیم هستند. الف) داده‌های هواشناسی مربوط به ۴۱ ایستگاه هواشناسی هم‌دیدگی که در غرب و جنوب غرب کشور واقع شده‌اند مورد استفاده قرار گرفته است. نقشه‌ی پراکنندگی ایستگاه‌های مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است. داده‌های دریافت شده، اطلاعات ساعتی ثبت شده‌ی قابلیت دید مربوط به سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بودند. ب) تصاویر ماهواره‌ای: به علت گسترش زیاد منطقه‌ی مورد مطالعه، سنجنده‌ی MODIS که دارای میدان دید وسیع (۲۳۳۰ کیلومتر) می‌باشد مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های MODIS از سازمان فضایی ایران دریافت گردید. تعداد ۲۸ تصویر ماهواره‌ای سنجنده‌ی MODIS مربوط به ماهواره‌ی ترا (Terra) و در محدوده‌ی روزهای غباری سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به گونه‌ای انتخاب شدند که مناطق غباری در تصویر ماهواره‌ای، عاری از ابر باشند.

۱۱ و ۱۲ میکرومتر منفی است. BTD بستگی به مقدار گردوغبار و اندازه ذرات دارد و تحت تأثیر بخار آب اتمسفری نیز قرار می‌گیرد، بنابراین گردوغبار در یک محیط خشک بهتر از گردوغبار در یک محیط مرطوب توسط BTD قابل ردیابی است (Chaboureau et al., 2007).

روسکووینسکی و لیو (Roskovensky and Liou, 2003) جهت ردیابی و تفکیک گردوغبار از ابرهای سیروس در تصاویر ماهواره‌ای، روشی ارائه کرده‌اند که در این روش با استفاده از تلفیق نسبت انعکاسی باندها و اختلاف دمای روشنایی، پارامتر P را که قادر به آشکارسازی ابرهای سیروس از گردوغبار است، معرفی می‌کنند. روسکووینسکی و لیو (2005) با توسعه و بهبود این پارامتر، پارامتر جدید D را ارائه نمودند که گردوغبار ارتفاع بالاتر از ابرهای سیروس به خوبی توسط آن قابل تفکیک می‌باشد. طی این بررسی، برای اثبات کارآمد بودن فرآیند ردیابی و تفکیک گردوغبار، از داده‌های سنجنده‌ی MODIS استفاده شده است.

نظر به این که پارامتر D جزو جدیدترین پارامترهای توسعه داده شده برای شناسایی گردوغبار می‌باشد و در این پارامتر به طور توأم از داده‌های انعکاسی و مادون قرمز حرارتی استفاده می‌شود لذا در این تحقیق، قابلیت این پارامتر در شناسایی گردوغبار و استخراج قابلیت دید در منطقه خاورمیانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هم‌چنین با توجه به اثبات مناسب بودن داده‌های MODIS و تنوع استفاده از آن در تحقیقات مختلف، از تصاویر این سنجنده برای شناسایی گردوغبار استفاده می‌شود.

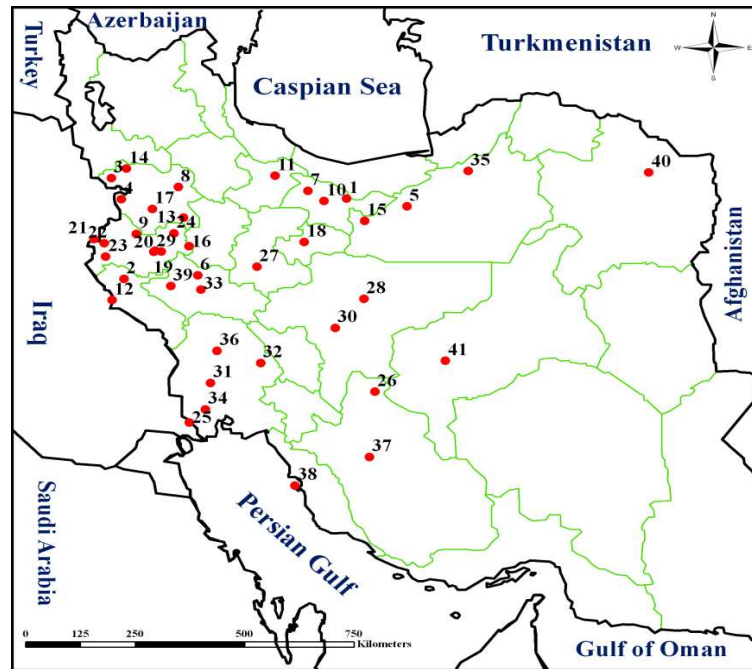
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه‌ی مورد مطالعه

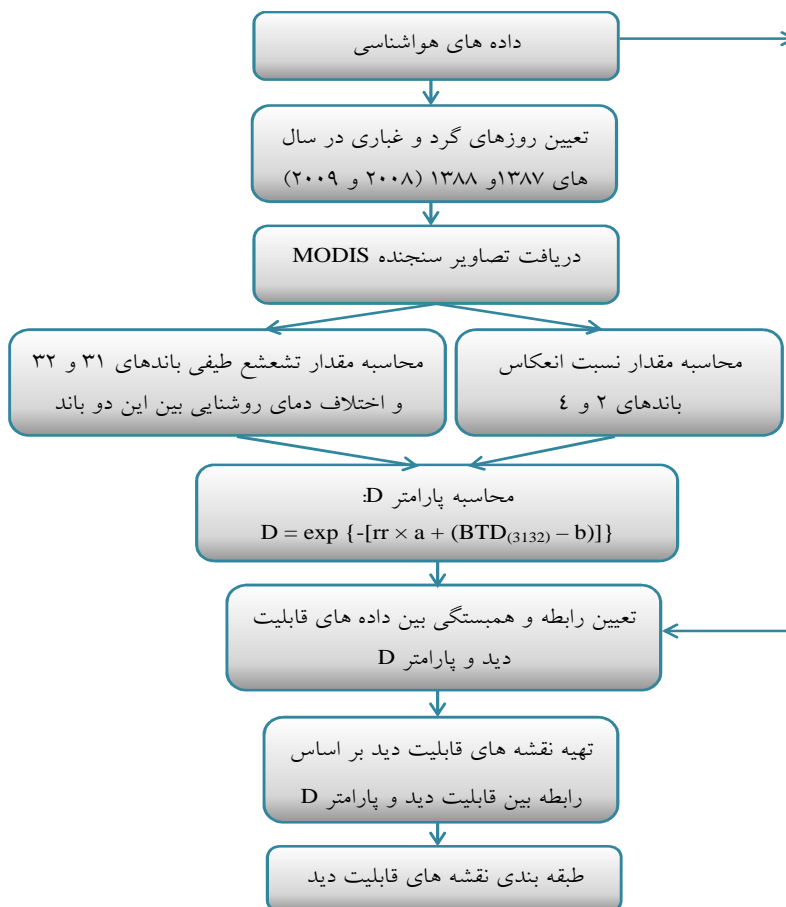
منطقه‌ی مورد مطالعه این تحقیق در محدوده‌ی طول جغرافیایی $34^{\circ}E$ تا $54^{\circ}E$ و عرض جغرافیایی $25^{\circ}N$ تا $40^{\circ}N$ واقع شده که بخش شرقی خاورمیانه را شامل می‌شود. در این منطقه به علت وجود آب و هوای گرم و خشک و بارندگی کم، بروز طوفان گردوغبار رایج است. خاورمیانه با داشتن توپوگرافی

۳-۲. روش‌ها

الگوریتم این تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است. در ادامه مراحل مختلف الگوریتم، تشریح می‌شود.



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شده در این تحقیق



شکل ۲. الگوریتم تحقیق

گردوغباری و ابرهای سیروس می‌باشند، مورد آزمایش قرار گرفتند. به منظور تعیین مقادیر a و b باید تنظیمات برای تصاویر مختلف جداگانه صورت می‌گرفت که طی این فرآیند مقدار a بین $0/3$ تا $1/5$ و مقدار b در تمام تصاویر، صفر تعیین شد. هر اندازه گردوغبار در فضا بیشتر شود می‌توان انتظار داشت که پارامتر D نیز افزایش یابد. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود پس از محاسبه‌ی مقدار پارامتر D ، رابطه‌ی بین این پارامتر با داده‌های هواشناسی قابلیت دید تعیین می‌شود و با استفاده از این رابطه می‌توان مقادیر تصاویر و نقشه‌های D منطقه‌ی خاورمیانه که از تصاویر MODIS استخراج شده‌اند را تبدیل به نقشه‌های قابلیت دید منطقه نمود. در نهایت نقشه‌های قابلیت دید به کلاس‌های مختلف طوفان گردوغبار تفکیک شده و نقشه‌های طبقه‌بندی شده‌ی قابلیت دید در منطقه به دست می‌آید.

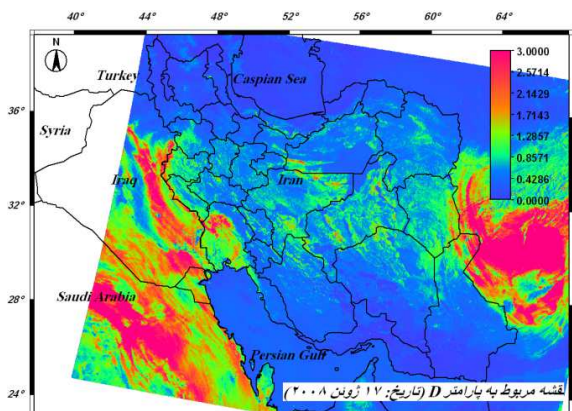
۳. نتایج و بحث

در شکل ۳، نمونه‌هایی از تصاویری را که برای آن‌ها پارامتر D محاسبه شده ارائه شده است. مقایسه چشمی بین تصاویر D و تصاویر ترکیب رنگ واقعی نشان داد که در تمام تصاویر در شرایط گردوغباری مقدار پارامتر D افزایش می‌یابد. کمترین مقدار D در تصاویر، برای پیکسل‌های دربردارنده‌ی آب و یا ابر به علت بالا بودن مقدار ir و BTD_{3132} آن‌ها بوده است. مشاهده می‌گردد که نواحی تحت پوشش گردوغبار بسته به غلظت غبار دارای مقادیر متفاوتی از پارامتر D بوده و می‌توان با اعمال یک آستانه حدود ۱، پیکسل‌های در بردارنده‌ی غبار را از دیگر عوارض تفکیک نمود. این پارامتر نواحی گردوغباری را به‌ویژه در روی خشکی به خوبی بارز نموده است.

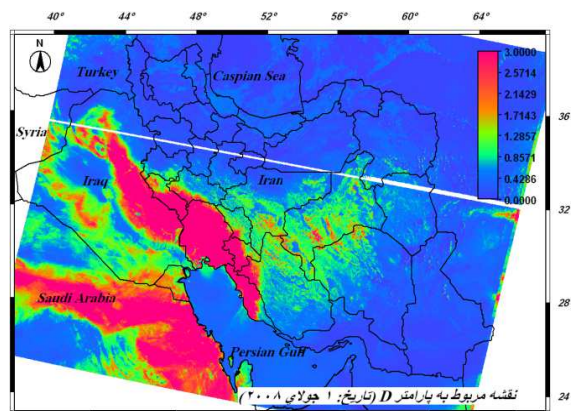
ابتدا از داده‌های هواشناسی به منظور تعیین روزهای گردوغباری سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ استفاده شد. پس از تعیین روزهای گردوغباری در سال‌های مورد نظر، نسبت به سفارش و دریافت تصاویر MODIS در روزهای منتخب از سازمان فضایی ایران اقدام شد. پس از دریافت تصاویر، مقادیر انعکاس باندهای ۲ و ۴ سنجنده‌ی MODIS که متناظر با طول موج‌های $0/86$ و $0/54$ هستند و همچنین مقدار تشعشع طیفی باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده که به ترتیب متناظر با طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتر هستند محاسبه شد و با استفاده از مقدار تشعشع طیفی باندهای ۳۱ و ۳۲، اختلاف دمای روشنایی بین باندهای ۳۱ و ۳۲ تعیین شد. با محاسبه‌ی انعکاس باندهای ۲ و ۴ و اختلاف دمای روشنایی باندهای ۳۱ و ۳۲ می‌توان پارامتر پیشنهاد شده توسط روسکووینسکی و لیو (Roskovinsky and Liou, 2005) جهت تفکیک گردوغبار جوی از ابرهای سیروس را محاسبه نمود. این پارامتر ویژگی‌های انعکاسی و نیز اختلاف دمای روشنایی (BTD) باندهای حرارتی را با یکدیگر تلفیق می‌کند (معادله‌ی ۱).

$$D = \exp \{-[ir \times a + (BTD_{(3132)} - b)]\} \quad (1)$$

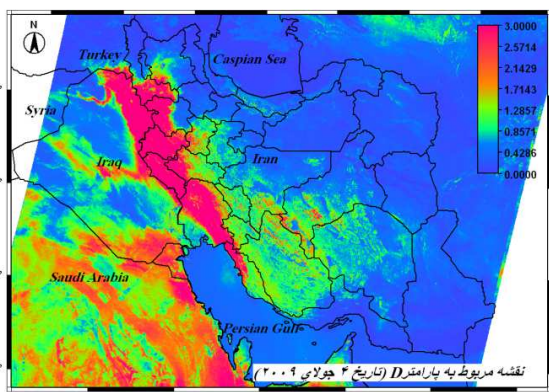
در این رابطه، ir نسبت انعکاسی تصاویر دریافت شده بین طول موج‌های $0/86$ و $0/54$ میکرومتر (Band2/Band4) در سنجنده‌ی MODIS) است. در شرایط بدون ابر و گردوغبار، این نسبت بزرگتر از یک است. در حضور ابرهای سیروس این نسبت، کاهش می‌یابد و نهایتاً به یک می‌رسد اما در شرایط گردوغباری به علت پایین بودن انعکاس در طول موج کوتاه‌تر، این نسبت به پایین‌تر از یک کاهش می‌یابد. در رابطه‌ی ۱، a فاکتور مقیاس ir ، $BTD_{(3132)}$ اختلاف دمای روشنایی بین باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتر ($BT_{11}-BT_{12}$) و b مقدار انحراف مربوط به اختلاف دمای روشنایی می‌باشد. برای تعیین مقادیر a و b ، داده‌ها به شکل هستیوگرام برای برش‌های کوچکی از تصاویر که به عنوان پیکسل‌های دربردارنده‌ی آسمان صاف،



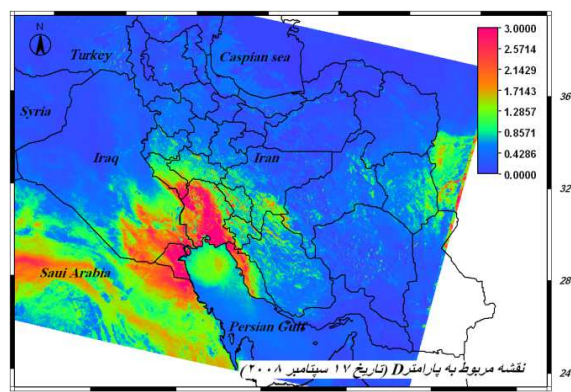
ب) نقشه پارامتر D مربوط به ۱۷ ژوئن ۲۰۰۸



الف) نقشه پارامتر D مربوط به ۱ جولای ۲۰۰۸



د) نقشه پارامتر D مربوط به ۴ جولای ۲۰۰۹

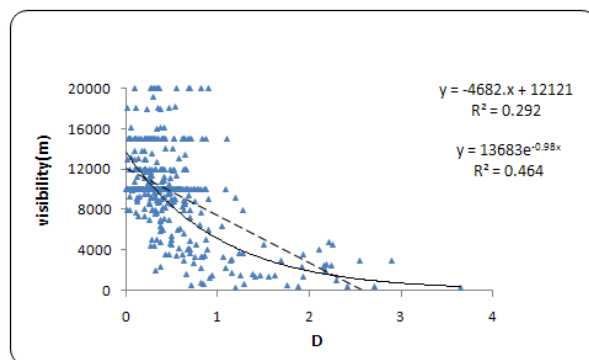


ج) نقشه پارامتر D مربوط به ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸

شکل ۳. نمونه‌هایی از نقشه‌های پارامتر D به‌دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای

مشاهده می‌شود که برازش تابع نمایی، رابطه‌ی بهتری را بین داده‌ها برقرار نموده است و رابطه حاصله به صورت معادله‌ی $y=13683e^{-0.98x}$ با همبستگی (R) ۰/۶۸ است. با اعمال این معادله و قرار دادن مقادیر پارامتر D در موقعیت متغیر x این رابطه، قابلیت دید متناظر با مقادیر D تخمین زده شد و از طریق مقایسه‌ی قابلیت دید تخمین زده شده و مقادیر واقعی آن مقدار درصد خطای مطلق رابطه‌ی مذکور محاسبه شد. درصد خطای حاصل از اعمال مدل فوق با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید. در این رابطه Xobs قابلیت دید واقعی دریافت شده از ایستگاه هواشناسی و Xsim قابلیت دید تخمینی می‌باشد. بر این پایه مقدار خطای مطلق ۴۵/۶٪ محاسبه شد. قابلیت دید تابعی از هواویزها شامل توزیع اندازه و غلظت هواویز و نیز رطوبت هوا (محتوای بخار آب) می‌باشد (Lin et al., 2011).

در مرحله‌ی بعد مقدار این پارامتر در ۴۱ نقطه‌ی ایستگاهی که اطلاعات قابلیت دید آن موجود است از روی نقشه‌ها (۲۸ نقشه‌ی D) استخراج شده و در مقابل داده‌های هواشناسی قابلیت دید، ترسیم گردید. نتایج حاصل از برازش توابع خطی و نمایی بر این داده‌ها در شکل ۴ نمایش داده شده است.

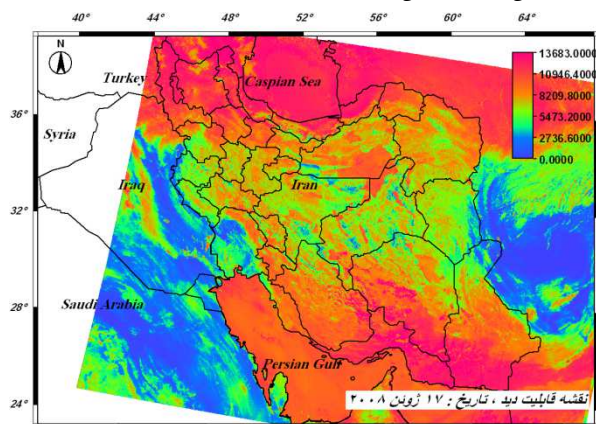


شکل ۴. توابع خطی و نمایی برازش داده شده بر پارامتر D و داده‌های قابلیت دید

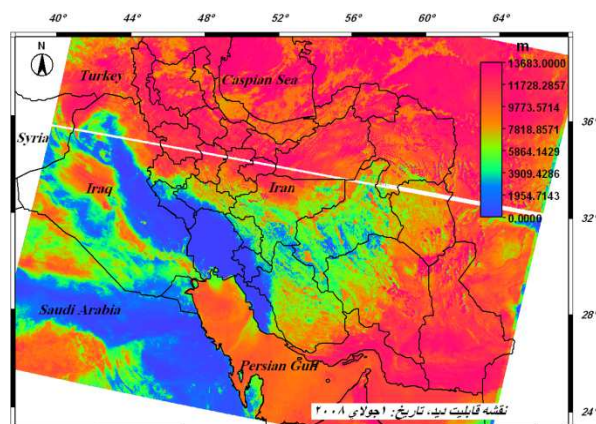
مسئله‌ی مورد بررسی، مقدار هم‌بستگی 0.68 و درصد خطای مطلق برابر $45/6\%$ بیانگر نتایج بسیار خوبی است. هر چند قابلیت دید تحت تأثیر توأم گردوغبار و رطوبت هوا قرار می‌گیرد، اما می‌توان این گونه فرض نمود که طی یک واقعه‌ی گردوغباری عامل تعیین‌کننده‌ی قابلیت دید، گردوغبار می‌باشد (Shao and Dong, 2006). لذا از رابطه‌ی $visibility(m) =$

$$E\% = \frac{\sum |X_{obs} - X_{sim}|}{\sum |X_{obs}|} \times 100 \quad (2)$$

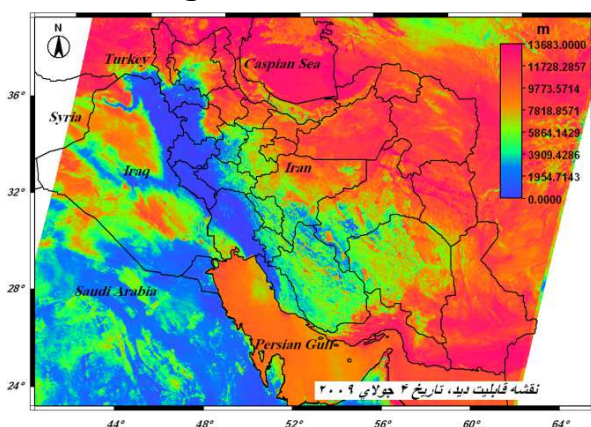
بر این اساس، نقشه‌های قابلیت دید با استفاده از نقشه‌های پارامتر D برای ۲۸ تصویر ماهواره‌ای موجود ایجاد شد. به عنوان نمونه، نقشه‌های قابلیت دید متناظر با نقشه‌های پارامتر D در شکل ۳ در شکل ۵ ارائه شده است.



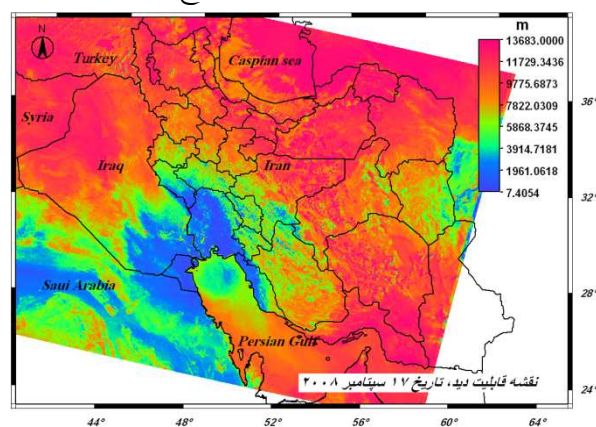
ب) نقشه قابلیت دید مربوط به تاریخ ۱۷ ژوئن ۲۰۰۸



الف) نقشه قابلیت دید مربوط به تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۸



د) نقشه قابلیت دید مربوط به تاریخ ۴ جولای ۲۰۰۹



ج) نقشه قابلیت دید مربوط به تاریخ ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸

شکل ۵. نمونه‌هایی از نقشه‌های قابلیت دید تولید شده با استفاده از پارامتر D

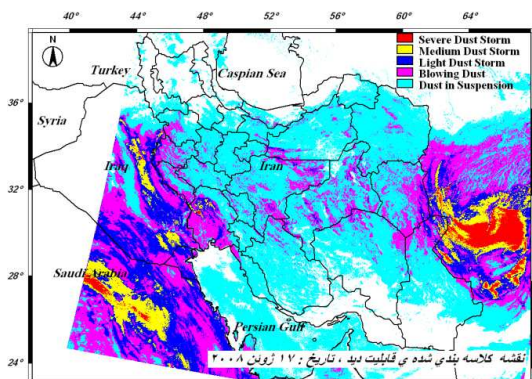
شده و درمقایسه با گروه قبلی به وسیله‌ی بادهای قوی‌تری شکل گرفته است. کاهش قابلیت دید به یک تا ۱۰ کیلومتر (۳) طوفان گردوغبار (Dust Storm): در این حالت بادهای قوی مقادیر زیادی گردوغبار از زمین بلند می‌کنند. کاهش قابلیت دید بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر (۴) طوفان شدید گردوغبار (Severe Dust Storm): بادهای بسیار قوی مقادیر بسیار زیادی گردوغبار از زمین بلند کرده و قابلیت دید به کمتر از ۲۰۰ متر کاهش می‌یابد.

بر اساس تغییرات قابلیت دید می‌توان گردوغبار را طبقه‌بندی کرد. یکی از این طبقه‌بندی‌ها توسط سازمان هواشناسی جهانی به صورت زیر ارائه شده است.

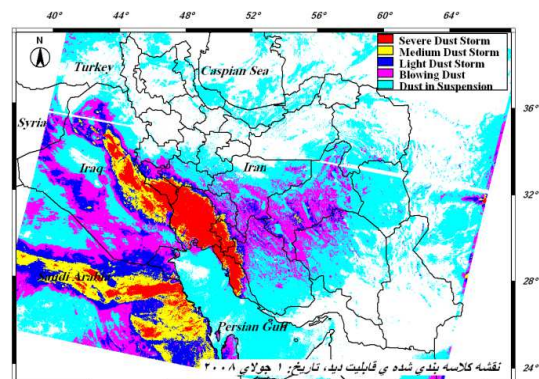
۱) گردوغبار معلق (Dust in Suspension): گردوغبار معلق گسترش یافته‌ی یکنواختی که در زمان مشاهده در اطراف ایستگاه از زمین بلند نشده باشد. قابلیت دید معمولاً بیشتر از ۱۰ کیلومتر نیست. ۲) گردوغبار پخش شده (Blowing Dust): ماسه و غباری که در زمان مشاهده از زمین بلند

می‌شود که در مطالعات مختلف، طبقه‌بندی‌های متفاوتی بسته به شرایط محیطی و آب و هوایی به کار رفته است. تأکید بیشتر، روی طبقه‌بندی طوفان‌های گردوغباری که دید کمتر از ۱۰۰۰ متر ایجاد می‌کنند شده است و وقایعی که دید بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر دارند در یک محدوده کلی قرار گرفته‌اند. در تحقیق حاضر، علاوه بر ترکیب روش‌های به کار گرفته شده در مطالعات گوناگون و در نظر گرفتن گروه‌های اصلی، سعی شده بسته به شرایط منطقه‌ای، گونه‌ای از طبقه‌بندی ارائه شود تا بتواند نقشه‌هایی ایجاد کند که با به کارگیری سطوح مختلف قابلیت دید، گویای پهنه‌ی وقایع گردوغباری متفاوت باشد. جدول ۱ طبقه‌بندی پیشنهادی این تحقیق و مرزهای جدایش قابلیت دید به کار گرفته شده در هر طبقه را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه تصاویر حاصل از طبقه‌بندی نقشه‌های قابلیت دید ارائه شده‌ی شکل ۵ در شکل ۶ نشان داده شده است.

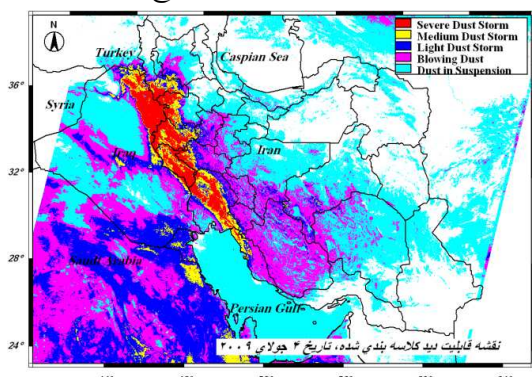
مؤسسه‌ی هواشناسی چین (۱۹۷۹) طبق مشاهدات استاندارد هواشناسی، طوفان گردوغبار را در چهار سطح طبقه‌بندی می‌کند، به صورت: ۱- گردوغبار معلق که مقدمه‌ی ایجاد دید افقی کمتر از ۱۰ کیلومتر است. ۲- گردوغبار منتشر شده، دید افقی بین ۱ تا ۱۰ کیلومتر ۳- طوفان گردوغبار/ ماسه، دید افقی بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتر ۴- طوفان شدید گردوغبار/ ماسه که دید افقی کمتر از ۵۰۰ متر ایجاد می‌کند (Yang et al., 2008). یک شاخص گردوغباری که اطلاعات ثبت شده از وقایع غباری را ترکیب می‌کند، به صورت طوفان شدید گردوغبار، زمانی که قابلیت دید کمتر از ۲۰۰ متر، طوفان گردوغبار متوسط قابلیت دید کمتر از ۱۰۰۰ متر و وقایع غبار محلی، زمانی که کل ذرات معلق در هوا بیشتر از ۱۵۰ میکروگرم در متر مکعب در هر ساعت باشد، ارائه شده است. اما به دلیل نبود داده‌های اندازه‌گیری ذرات معلق، قابلیت دید ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر به عنوان طوفان گردوغباری سبک (Light dust storm) انتخاب شد (Jamalizadeh et al., 2008). ملاحظه



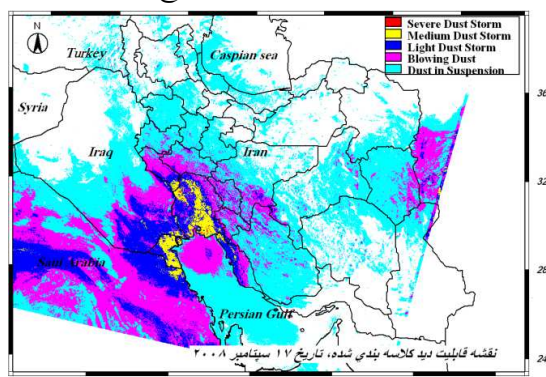
ب) نقشه طبقه‌بندی شده قابلیت دید، تاریخ ۱۷ ژوئن ۲۰۰۸



الف) نقشه طبقه‌بندی شده قابلیت دید، تاریخ ۱ جولای ۲۰۰۸



د) نقشه طبقه‌بندی شده قابلیت دید، تاریخ ۴ جولای ۲۰۰۹



ج) نقشه طبقه‌بندی شده قابلیت دید، تاریخ ۱۷ سپتامبر ۲۰۰۸

شکل ۶. نمونه‌هایی از نقشه‌های طبقه‌بندی طوفان‌های گردوغبار

جدول ۱. اساس طبقه‌بندی نقشه‌های قابلیت دید

ویژگی‌ها	دید افقی (متر)	نام کلاس
طوفان شدید گردوغبار همراه با آلودگی شدید هوا	کمتر از ۲۰۰	Severe Dust Storm
بادهای قوی، باعث تیره شدن هوا	۲۰۰-۱۰۰۰	Medium Dust storm
طوفان گردوغباری سبک	۱۰۰۰-۳۰۰۰	Light Dust Storm
انتشار ذرات گردوغبار از سطح زمین، در اطراف ایستگاه	۳۰۰۰-۶۰۰۰	Blowing Dust
انتشار ذرات معلق، ایجاد دید کمتر از ۱۰ کیلومتر	۶۰۰۰-۱۰۰۰۰	Dust in Suspension

انجام داد و در صورت بروز طوفان گردوغبار و کاهش قابلیت دید بسیار سریع‌تر وضعیت مسیر پرواز را مورد بررسی قرار داده و تصمیم درست و عاجل گرفت.

۴. نتیجه‌گیری

۱- در این بررسی از شاخص D برای تفکیک مناطق غباری از سایر مناطق استفاده شده است. این پارامتر ویژگی‌های انعکاسی باندهای ۲ و ۴ و نیز اختلاف دمایی روشنایی باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده‌ی MODIS را تلفیق می‌کند و می‌تواند به خوبی مناطق گردوغباری در خاورمیانه را شناسایی کرده و از سایر مناطق تفکیک نماید.

۲- بررسی ارتباط بین قابلیت دید و پارامتر D نشان داد که این دو پارامتر به صورت نمایی با هم ارتباط دارند و این ارتباط دارای هم‌بستگی ۰/۶۸ است و توسط این رابطه مقدار قابلیت دید از پارامتر D با در صد خطای مطلق ۴۵/۶٪ استخراج شد. به این ترتیب نقشه‌های قابلیت دید در منطقه‌ی خاورمیانه تولید شد.

۳- از تلفیق روش‌های مختلف طبقه‌بندی طوفان‌های گردوغبار بر حسب قابلیت دید، یک طبقه‌بندی جدید متناسب با منطقه‌ی مطالعاتی استخراج و سپس بر اساس آن، نقشه‌های طبقه‌بندی طوفان‌های مختلف گردوغبار شامل گرد و غبار معلق، گرد و غبار پخش شده، طوفان گردوغبار سبک، طوفان گردوغبار متوسط، و طوفان گردوغبار ضعیف شدید در منطقه‌ی خاورمیانه ایجاد شد.

تشکر و قدردانی

از سازمان فضایی ایران به خاطر تهیه و ارائه‌ی تصاویر ماهواره‌ای و از سازمان هواشناسی کشور به خاطر برداشت و ارائه‌ی داده‌های قابلیت دید ایستگاه‌های مختلف تشکر و قدردانی می‌شود.

در تصاویر طبقه‌بندی شده ملاحظه می‌شود که از طرف رنگ آبی به سمت رنگ قرمز شدت غبار افزایش یافته است و از سوی دیگر در نواحی نزدیک به منشاء، بیشترین شدت غبار مشاهده می‌گردد. با توجه به مرزهای طبقه‌بندی اعمال شده بر روی تصاویر و مقایسه آن‌ها با تصاویر ترکیب رنگ واقعی (در این مقاله ارائه نشده است) مشخص می‌شود که نواحی با غلظت بالای غبار (در تصاویر ترکیب رنگ واقعی) با نواحی متمایز شده در تصاویر طبقه‌بندی شده با عنوان گردوغبار شدید (Severe Dust Storm) کاملاً منطبق هستند و با فاصله گرفتن از مراکز غباری و کاهش شدت غبار، این روش توانسته نواحی مختلف را به خوبی تفکیک کند. این تصاویر به‌ویژه زمانی که با نقشه‌های مربوط به پارامتر ردیابی غبار D (شکل ۳) مقایسه می‌شوند، انطباق بین مناطق غبار شدید (به رنگ قرمز) با نواحی دارای اعداد بالای پارامتر D را به خوبی نشان می‌دهند. نتایج حاصله نشان داد که روش ارائه شده در این تحقیق، روشی ساده و مطمئن جهت نیل به ایجاد نقشه‌های قابلیت دید منطقه‌ی خاورمیانه از تصاویر ماهواره‌ای است. استخراج این نقشه‌ها کاربردهای بسیار متنوعی دارد. به عنوان مثال از طریق محاسبه‌ی بلادرنگ (Real time) این نقشه‌ها می‌توان وضعیت آلودگی هوای شهرهای منطقه توسط گردوغبار را تعیین کرده و هشدارهای لازم را به مردم داد و همچنین برای برنامه‌های پرواز در منطقه نیز پیش‌بینی‌هایی را

منابع

- ایرانمنش، ف. عرب خدری، م. اکرم، م. .. ۱۳۸۴. بررسی مناطق برداشت ذرات گرد و غبار و ویژگی‌های انتشار آنها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای. پژوهش و سازندگی، شماره ۶۷، ص ۳۳-۲۵.
- Achudume, A.C., Oladipo, B.O., 2009. Effects of dust storm on health in the Nigerian environment. *Biology and Medicine*, 1(4): 21-27.
- Ackerman, S.A., 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research*, 102: 17069-17080.
- Bartlett, K.S., 2004. Dust storm forecasting for AL Udeid AB, Qatar: an empirical analysis. Air Force Institute of Technology., Wright-Patterson AFB, OH, 6-11.
- Chaboureaud, J.P., Tulet, C., 2007. Diurnal cycle of dust and cirrus over West Africa as seen from Meteosat Second Generation satellite and a regional forecast model. *Geophysical Research Letters*, 34, L02882. doi:10.1029/2006GL027771.
- Di, M., Lu, X., Sun, L., Wang, P., 2008. A Dust-Storm process dynamic monitoring with Multi-Temporal MODIS data. *Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVII (part B7), 965-969.
- Diem, J.E., Comrie, A.C., 2002. Predictive mapping of air pollution involving sparse spatial observations. *Environmental pollution*, 119: 99-117.
- Evans, J.P., Smith, R.B., 2001. Modeling the climate of Southwest Asia. Available In: <http://www.yale.edu/ceo/projects/swap/pubs/evans.smith2001.pdf>
- Goudie, A., Middleton, N., 2006. *Desert Dust in the Global System*. Springer, Berlin.
- Jamalizadeh, M.R., Moghaddamnia, A., Piri, J., Arbabi, V., Homayounifar, M., Shahryari, A., 2008. Dust storm prediction using ANNs technique (A case study: Zabol city). *Engineering and Technology*, 43: 512-520.
- Lin, T.H., Hsu, N.C., Tsay, S.C., Huang, S.J., 2011. Asian dust weather categorization with satellite and surface observations. *International Journal of Remote Sensing*, 32: 153-170.
- Liu, G., Park, S.U., 2007. The logarithm-Linear relationship of the occurrence frequency to the duration of sand-dust storms: Evidence from observational data in China. *Journal of Arid Environment*, 71: 243-249.
- Noh, Y.M., Muller, D., Shin, D.H., Lee, H., Jung, J.S., Lee, K.H., Cribb, M., Li, z., Kim, Y.J., 2009. Optical and microphysical properties of severe haze smoke aerosol measured by integrated remote sensing techniques in Gwangju, Korea. *Atmospheric Environment*, 43: 879-888.
- Roskovensky, J.K., Liou, K.N., 2003. Detection of thin cirrus from 1.38 μm /0.65 μm reflectance ratio combined with 8.6 - 11 μm brightness temperature difference. *Geophysical Research Letters*, 30(19): 1985, doi: 10.1029/2003GL018135.
- Roskovensky, J.K., Liou, K.N., 2005. Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data. *Geophysical Research Letters*, 32, L12809, doi: 10.1029/2005GL022798.
- Shao, Y., Dong, C.H., 2006. A review on East Asian dust storm climate modeling and monitoring. *Global and Planetary Change*, 52: 1-22.
- Tegen, I., 2003. Modeling the mineral dust aerosol cycle in the climate system. *Quaternary Science Reviews*, 22: 1821-1834.
- Yang, X., Oenema, O., Hoongmoend, W.B., Perdok, U. D., Dianxiong, C., 2006. Dust storm erosion and its impact on soil carbon and nitrogen losses in northern China. *CATENA*, 66: 221-227
- Yang, Y. Q., Hou, Q., Zhou, C.H., Liu, H.L., Wang, Y.Q., Niu, T., 2008. Sand/dust storm processes in Northeast Asia and associated large-scale circulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 25-23.