

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۱۶

بررسی توزیع زمانی - مکانی عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) بر استان خوزستان با استفاده از تکنیک سنجش از دور (R.S)

پروانه مشکی زاده

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اهواز

ندا اورک

استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اهواز

جعفر مرشدی

استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات اهواز

چکیده

مطالعه گرد و غبار بیابان، معلق شدن، حمل و رسوب گذاری آنها از جمله موضوعاتی است که از اهمیت روزافزونی در پژوهش‌های مربوط به تغییرات زیست محیطی جهانی می‌باشد؛ به همین دلیل این موضوع باعث شده است که توزیع گرد و غبارها و چگونگی تغییرات آنها، مخصوصاً برای گردوغبارهای با تغییر پذیری زمانی و مکانی شدید، به طور منظم مورد پایش قرار گیرد. در این پژوهش به مقایسه و بررسی روش‌های مختلف بارسازی و پهنه‌بندی ذرات طوفان گرد و غبار موثر بر استان خوزستان پرداخته شده است. به دلیل ویژگی‌های خاص تصاویر سنجنده مودیس در شناسایی و منشأیابی طوفان‌های گرد و غبار از این تصاویر در این مطالعه استفاده گردید. ابتدا داده‌های ماهواره‌ای یا همان تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده تصاویر سنجنده مودیس می‌باشد. به منظور شناسایی منشأ دقیق گرد و غبار بایستی تصاویر مربوط به چند روز قبل و چند روز پس از مشاهده طوفان گرد و غبار تهیه گردید. نقشه‌های گرفته شده از ماهواره آکو و ترا نشان دادند که تغییرات مکانی AOD از روند خاصی پیروی می‌کند و بر این اساس تغییرات ذرات معلق هوا در شهرستان‌های غربی استان خوزستان بسیار بیشتر می‌باشد. بر اساس نتایج این مطالعه بیشترین و کمترین میانگین شاخص AOD تقریباً در همه شهرستان‌ها به ترتیب در فصول تابستان و پائیز مشاهده شده است. اهواز در طی دوره زمانی

مذکور میانگین بالای عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (0.78 ± 0.22) را تجربه کرده است. نقشه‌های توزیع AOD در هر چهار فصل در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که با پیشروی از شهرستان‌های شمال شرقی به سمت جنوب غربی، مقدار AOD افزایش می‌یابد. همچنین با پیشروی به سمت مرکز استان مقدار شاخص AOD در هر چهار فصل کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: سنجش از دور؛ گرد و غبار؛ سنجنده مودیس؛ AOD

مقدمه

مطالعه گرد و غبار بیابان، معلق شدن، حمل و رسوب گذاری آنها از جمله موضوعاتی است که از اهمیت روزافزونی در پژوهش‌های مربوط به تغییرات زیست محیطی جهانی برخوردار است، چرا که طوفان‌های گرد و غبار اثرهای وسیعی بر محیط طبیعی و ساکنان انسانی آن می‌گذارند. اکثر رخداد‌های گرد و غبار توسط فرسایش مواد سطحی در مناطق خشک جهان تولید می‌شوند (یاراحمدی، ۱۳۹۰). ذرات گرد و غبار می‌تواند به طور مستقیم تابش زمین و خورشیدی را در هر دو ناحیه طیفی مرئی (VIS) و مادون قرمز (IR) از طریق پروسه‌های جذب و تفرق تغییر دهد.

استفاده از باندهای مرئی می‌تواند برای بارزسازی در سطح اقیانوس استفاده شود (تانر و همکاران، ۱۹۹۷). عطا و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی که به بررسی تغییرات غلظت ریزگردها در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۹۲ در کرمانشاه پرداختند نتایج تحقیقات نشان داد تغییرات غلظت PM_{10} در کل دوره فقط از نظر فصل و ماه متفاوت بود. بدترین کیفیت هوا بیشتر در فصل تابستان و تیر ماه اتفاق می‌افتد. دلیل آن تواتر ورود ریزگردها از کشورهای همسایه، کاهش رطوبت هوا، خشکسالی، استفاده بی‌رویه از منابع آبی، افزایش دما و سرعت و جهت باد است. خسروی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای به بررسی تحلیل همدیدی سامانه‌های گردوغبار استان خوزستان، نشان دادند که در دوره سرد سال سیستم‌های مهاجر بادهای غربی و رودباد جبهه‌ی قطبی (PFJ) همراه آن و در دوره گرم سال کم فشارهای حرارتی سطح زمین مهمترین عامل در ایجاد و شکل گیری پدیده مذکور در استان خوزستان می‌باشد. مهرابی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردهای خوزستان دریافتند که یکی از طوفان‌های گرد و غبار در تابستان در ایستگاه‌های دیگر نشان دهنده امکان محلی و درون استانی بودن منشأ طوفان‌های این منطقه می‌باشد. از پارامترهای مهم در مطالعه توزیع آئروسول‌های حاصل از گرد و غبار عمق اپتیکی آئروسول (AOD) بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. طبق تعریف،^{۱۱} AOD یک کمیت وابسته به طول موج است که به معنای کاهش شدت نور در واحد طول بر روی یک مسیر مشخص تعریف می‌شود (چارسون و همکاران، ۱۹۹۵). مسیر نوری مذکور در واقع فاصله عمودی از سطح زمین تا قسمت فوقانی جو است. مقادیرهای AOD می‌تواند بسته به تراکم ذرات معلق و نیز ویژگی‌های آن ذرات، متفاوت باشد. ارگن (۱۹۹۵) دامنه تغییرات AOD را $0.1-0.2$ برای هوای قاره‌ای صاف و $0.1-0.5$ برای هوای بحری صاف پیشنهاد نمود. بیشتر بودن مقادیر AOD از مقادیر مذکور نشان‌دهنده بالا بودن ذرات معلق

به علت خصوصیات اپتیکی ذرات گردوغبار، تشعشع مشاهده شده توسط ماهواره از اثرات طیفی ذرات گرد و غبار با مولکول، ابر و سطح زیر آنها متفاوت است. بر اساس این تفاوت‌ها، طرح‌های شناسایی مختلف به منظور شناسایی و تشخیص گرد و غبار توسعه پیدا کرده است (لی و همکاران، ۲۰۰۵) این ماهیت الگوریتم شناسایی گرد و غبار می‌باشد. بر اساس تجزیه و تحلیل بر روی بازتاب باندهای مرئی یا دمای درخشانی (BT) در باندهای مادون قرمز می‌باشد. بزرگی تفاوت در بازتاب باندهای مرئی یا دمای درخشانی در باندهای انتخاب شده می‌تواند برای پی بردن به اثر گرد و غبار استفاده شود. سنجنده‌های نصب شده بر روی ماهواره‌ها، انواع مختلف تابش سطح زمین را شناسایی می‌کنند که در پایش رخداد گردوغبار، شناسایی نقاط گردوغبار، بدست آوردن پارامترهای سطح زمین برای مدلسازی گرد و غبار و بدست آوردن رابطه کمی مرتبط با گرد و غبار مانند عمق اپتیکی، اندازه ذرات و غیره کمک می‌کنند.

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای باعث صرف هزینه و زمان خواهد شد. همچنین، به دلیل وجود منشأهای فرامرزی و مشکلات حضور در محل‌های احتمالی منشأ گردوغبار، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اقلیمی در شناسایی منشأ گرد و غبار بسیار موثر و مفید می‌باشد. هنگ و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی تحت عنوان بارزسازی توده‌های گرد و غبار، در شمال غرب چین، با استفاده از تصاویر مرئی و مادون قرمز سنجنده مودیس و تصاویر میکروویو سنجنده AMSR-E، به این نتایج دست یافتند که تلفیق لین داده‌ها در بارزسازی توده‌های گرد و غبار می‌تواند نتایج بهتری ارائه دهد، بویژه در مواردی که ابرهای مرتفع مانند ابر سیروس توده‌های گرد و غبار را پوشانده باشد. بر اساس تکنیک‌های بارزسازی گردوغبار، بیشتر مطالعات اخیر برای اندازه‌گیری کمی پارامترهای فیزیکی طوفان‌های گرد و غبار مانند حجم گرد و غبار انجام شده است. مقدار گرد و غبار یک پارامتر کلیدی برای دستیابی به طوفان گردوغبار، مدلسازی و پیش بینی می‌باشد. تکنیک

^{۱۱}-Aerosol optical depth

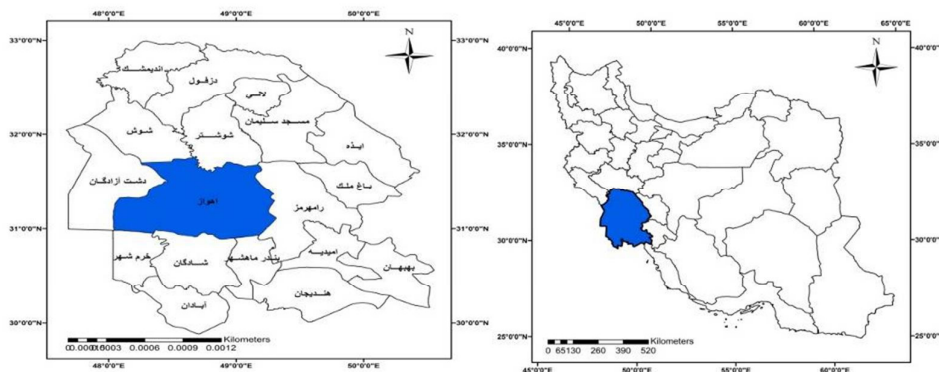
اخیرا فراگیر شدن پدیده گرد و غبار در بخش وسیعی از کشور، نگرانی‌ها را در مورد پیامدهای زیست محیطی و نیز اقتصادی-اجتماعی طوفان‌های مذکور به خصوص مشکلاتی را که ممکن است برای ساکنین استان‌های مرزی به همراه داشته باشد، افزایش داده است. بنابراین برای درک بهتر تأثیرات این ذرات لازم است که غلظت و توزیع اندازه ذرات آن‌ها بصورت منظم و در مقیاس جهانی مورد پایش قرار گیرد. این عمل بسیار مشکل است، چون ذرات میکرونی اتمسفر هم از لحاظ زمانی و هم از لحاظ مکانی تغییرات زیادی دارند (گو و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین این پژوهش با هدف بررسی و مقایسه توزیع زمانی- مکانی عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) بر استان خوزستان با استفاده از تکنیک سنجش از دور صورت گرفت.

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- موقعیت جغرافیایی و تقسیمات سیاسی استان خوزستان:

استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۴۰۵۷ کیلومترمربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا، در جنوب غربی ایران واقع شده است (شکل ۱). مرکز استان خوزستان، شهر اهواز و سایر شهرستان‌های آن عبارتند از: آبادان، اندیمشک، اهواز، ایذه، باغ ملک، بندرماهشهر، بهبهان، خرمشهر، دزفول، دشت آزادگان، شادگان، شوش، شوشتر و مسجدسلیمان (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۹۳).

در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به عبارتی دید در امتداد آن ستون کم می‌باشد. هو (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان آنالیز مکانی عمق اپتیکی آئروسول (AOD) و $PM_{2.5}$ (ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر)، در آمریکا، به این نتیجه رسید که تغییرات مکانی بین عمق اپتیکی آئروسول (AOD) و $PM_{2.5}$ در مرز آمریکا وجود دارد. در شرق آمریکا جایی که AOD به خوبی با $PM_{2.5}$ همبستگی پیدا کردند، AOD می‌تواند به منظور دستیابی به $PM_{2.5}$ سطح زمین برای مطالعات محیط زیست استفاده شود. ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی رابطه بین عمق اپتیکی آئروسول‌ها در تصاویر مودیس با ذرات ریز (PM)، در آمریکا، به این نتیجه رسیدند که AOD گرفته شده از اندازه‌گیری ماهواره‌ای همبستگی خوبی با ذرات کوچکتر از ۲/۵ میکرومتر ($PM_{2.5}$) در مناطقی از ایالات متحده آمریکا داشتند و می‌تواند برای پایش و پیش‌بینی کیفیت هوای ایالت متحده آمریکا استفاده شوند. آن‌ها بیان کردند که رابطه رگرسیون بین AOD و $PM_{2.5}$ می‌تواند برای تخمین $PM_{2.5}$ سطح زمین با دقتی بالا در آمریکا استفاده شود. گوپتا و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهشی با عنوان بررسی تفاوت ضخامت اپتیکی آئروسول (AOD) و اندازه‌گیری‌های (PM) و تأثیرشان بر کیفیت هوا، در جنوب شرقی ایالت متحده آمریکا، به این نتایج رسیدند که اطلاعات ماهواره‌ای یک ابزار مفید برای پایش ذرات معلق (PM) می‌باشد.





شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه (شهر اهواز)

که BT31 بازتاب در طول موج ۱۱ میکرومتری و BT32 بازتاب در طول موج ۱۲ میکرومتری می‌باشد.

از آنجایی که طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتری (باندهای ۳۱ و ۳۲ در مودیس) در محدوده مادون قرمز حرارتی قرار دارند، بنابراین تفاضل دمای درخشایی این دو طول موج می‌تواند برای آشکارسازی طوفان‌های گرد و غبار به کار رود. تفاضل دمای درخشایی (BTD) طول موج‌های ۱۱ و ۱۲ میکرومتری برای گرد و غبار منفی می‌باشد، زیرا این پدیده بازتابش بالاتری در محدوده طول موج ۱۲ نسبت به ۱۱ میکرومتری دارد. در این حالت ابرها از گرد و غبار تفکیک می‌شوند. از آنجا که اختلاف دمای درخشندگی باندهای ۱۱ و ۱۲ میکرومتری برای گرد و غبار منفی می‌باشد، بنابراین حد آستانه جهانی برای تفکیک گرد و غبار می‌تواند مقدار صفر در نظر گرفته شود. در این حالت مقادیر منفی طوفان گرد و غبار را نشان می‌دهد. به دلیل این که خصوصیات گرد و غبار در مناطق مختلف جهان متفاوت می‌باشد. بنابراین، در این پژوهش از حد آستانه‌های مختلفی (۰، -۰/۵، -۱) استفاده شد.

۳- الگوریتم شناسایی گرد و غبار یک:

از این الگوریتم فقط برای شناسایی گرد و غبار رخ داده در هنگام روز انجام می‌شود (ژائو و همکاران، ۲۰۱۰) بدین منظور، ابتدا لازم است بسیاری از متغیرها و نشانه‌های آن‌ها که استفاده می‌گردند، معرفی شوند:

BT: دمای درخشایی (طول موج در زیر نویس آمده است مانند $BT_{11 \mu m}$)

R: بازتاب (طول موج در زیر نویس آمده است مانند $R_{0.64 \mu m}$)

۲-۳ بازسازی تصاویر طوفان‌های گردوغبار:

در این پژوهش، به دلیل ویژگی‌های خاص تصاویر سنجنده مودیس در بازسازی و پهنه‌بندی طوفان‌های گرد و غبار از این تصاویر استفاده گردید. تصاویر اخذ شده ژئو رفرنس یا تصحیح هندسی نشده‌اند و به صورت خام می‌باشد که بایستی در ابتدا تصحیح هندسی بر روی آنها صورت گیرد. از روش‌های زیر استفاده شده است:

۱- ترکیب رنگی کاذب (FCC):

ساخت تصویر رنگی کاذب با ترکیب باندهای ۷، ۲، ۱ (RGB) که در تصویر ایجاد شده رنگ قهوه‌ای روشن و صورتی نشانه‌ی گرد و غبار است.

این روش به بازسازی گرد و غبار روی آب و خشکی می‌پردازد، که با تلفیق نسبت بازتابندگی و BTD بدست می‌آید.

BT1 بازتاب در طول موج ۰/۶۴۶ میکرومتری و BT2 بازتاب در طول موج ۰/۸۶ میکرومتری و BT7 بازتاب در طول موج ۰/۴۶۹ میکرومتری می‌باشد.

۲- الگوریتم آکرمن:

با توجه به این که اساس کار اکثر الگوریتم‌های بازسازی، استفاده از شاخص دمای درخشایی (BT) بر حسب درجه کلوین (K) می‌باشد (آکرمن، ۱۹۹۷). این شاخص در پژوهش حاضر برای تمامی تصاویر در محیط ENVI نسخه ۷/۴ تولید گردید.

شاخص تفاضل دمای درخشایی به صورت زیر تعریف می‌شود: (Ackerman, 1997)

$$BTD = BT_{31} - BT_{32}$$

BTD: تفاضل دمای درخشایی (بر حسب درجه کلونین K)

در ادامه از شاخص‌های تعریف شده زیر برای شناسایی گرد و غبار استفاده می‌شود (Zhao et al, 2010)

- $Rat_1 = (R_{0.64\mu m} - R_{0.47\mu m}) / (R_{0.64\mu m} + R_{0.47\mu m})$
- $Rat_2 = (Rat_1 \times Rat_1) / (R_{0.47\mu m} \times R_{0.47\mu m})$
- $NDVI = (R_{0.86\mu m} - R_{0.64\mu m}) / (R_{0.86\mu m} + R_{0.64\mu m})$
- $MNDVI = NDVI^2 / (R_{0.64\mu m} \times R_{0.64\mu m})$

شناسایی گرد و غبار در حضور توده برف و یخ یا یخ و ابر مناسب نیست و دلیل آن این است که سطح روشن آن‌ها باعث آشفتگی در شناسایی آئروسول می‌شود. چهار مرحله اجرای الگوریتم مذکور در زیر آمده است (ژائو و همکاران، ۲۰۱۰):
(۱) پیکسل‌های مناسب تصاویر بایستی دو شرایط زیر را داشته باشند.

- $R_{0.47\mu m}, R_{0.64\mu m}, R_{0.86\mu m}, R_{1.38\mu m} > 0$
- $BT_{3.9\mu m}, BT_{11\mu m}, BT_{12\mu m} > 0$ (بر حسب درجه کلونین)

(۲) حذف پیکسل‌های ابری و سطح زمین: در صورتی که حتی یکی از شرایط زیر بر روی تصاویر برقرار نباشد، این پیکسل‌ها از روی تصاویر حذف می‌گردند.

- $BT_{11\mu m} - BT_{12\mu m} \leq -0.5$ (بر حسب درجه کلونین)
- $BT_{3.9\mu m} - BT_{11\mu m} \geq 20$ (بر حسب درجه کلونین)
- $R_{1.38\mu m} < 0.055$

(۳) شناسایی گرد و غبار: در صورتی که هر کدام از شرایط زیر برقرار باشد، توده گرد و غبار ظاهر می‌گردد.

(MNDVI) عبارتست از شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال (شده اصلاحی)

- $BT_{3.9\mu m} - BT_{11\mu m} \geq 25$ (بر حسب درجه کلونین)
- $MNDVI < 0.08$ و $Rat_2 > 0.05$

(۴) شناسایی توده گرد و غبار غلیظ: گرد و غبار با توجه به شرایط زیر شناسایی می‌گردند.

- $BT_{11\mu m} - BT_{12\mu m} \leq -0.5$ (بر حسب درجه کلونین)
- $BT_{3.9\mu m} - BT_{11\mu m} \geq 25$ (بر حسب درجه کلونین)
- $R_{1.38\mu m} < 0.035$
- $MNDVI < 0.2$

شرایط (۱) و (۲) بالا به ترتیب برای حذف مشاهدات بد و پیکسل‌های ابری استفاده می‌شود. برای شرایط (۳)، اگر (بر حسب درجه کلونین) $BT_{3.9\mu m} - BT_{11\mu m} \geq 25$ راضی کننده باشد، پیکسل مملو از گرد و غبار است. دلیل آن این است که ذرات گرد و غبار انرژی خورشید را در ۳/۹ میکرومتر انعکاس می‌دهند و تفاضل دمای درخشایی با $BT_{11\mu m}$ در زمان روز افزایش می‌یابد. علاوه بر این، $MNDVI < 0.08$ و 0.05 ، $Rat_2 >$ ، برای شناسایی گرد و غبار مناطق نیمه خشک که حاوی مقدار کمی پوشش گیاهی اضافه شده‌اند. این موضوع نیز به این خاطر است که جذب گرد و غبار در طول موج آبی می‌باشد و به صورت چشمی به رنگ مایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند و ابرها به صورت طیفی بی‌رنگ هستند و در چشم‌های ما سفید به نظر می‌رسند. به همین دلیل بازتاب‌های ۰/۱۸۶، ۰/۶۴ و ۰/۴۷ میکرومتر برای شناسایی گرد و غبار استفاده می‌شوند.

روش جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها

در حال حاضر، ماهواره‌های مختلفی با کاربردهای مختلف به فضا پرتاب شده است. لیکن همه سنجنده‌ها برای شناسایی ذرات معلق گرد و غبار مناسب نیستند. در این راستا سنجنده مودیس به دلایلی از قبیل:

مشاهده زمین با ۲۰ باند طیفی مرئی و ۱۶ باند طیفی حرارتی، بامحدوده طول موج ۰/۴ تا ۱۴/۲ میکرومتر قدرت تفکیک مکانی ۱ تا ۱۱ کیلومتر برای بیشتر باندها.

۱- فراهم نمودن امکان چهار بار تصویر برداری از هر منطقه در روز انتخاب شد.

بانک داده‌های اخذ شده بصورت خام و به فرمت سلسله مراتبی داده HDF می‌باشد. در بانک اطلاعاتی مذکور ویژگی‌های مختلفی از تصاویر سنجنده وجود دارند. از جمله این ویژگی‌ها شاخص AOD است که یکی از پارامترهای مهم در مطالعه توزیع ذرات معلق حاصل از طوفان‌های گرد و غبار است. طبق تعریف AOD یک کمیت وابسته به طول موج است که به معنای کاهش نور در واحد طول بر روی یک مسیر مشخص

ت(در روش سوم، با توجه به اینکه تغییرات AOD به صورت فصلی بارزتر است، ابتدا داده‌ها بصورت فصلی میانگین گیری شد؛ سپس برخی آماره‌های توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار محاسبه شده و مقایسه میانگین فصلی (دوره ۱۴ساله مورد مطالعه) شاخص AOD بین شهرستان‌های مختلف انجام گردید. در روش چهارم با همپوشانی دادن نقشه شیب فایل استان خوزستان با نقشه رستری میانگین فصلی سال ۲۰۱۱ موجود در بانک سنجنده مودیس، نقشه رستری فصلی شاخص AOD استان خوزستان تهیه گردید. سپس تغییرات فصلی شاخص AOD برای استان خوزستان بررسی شد.

۴- نتایج و بحث

توزیع مکانی میانگین سالانه عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) توسط ماهواره های آکوا و ترا:

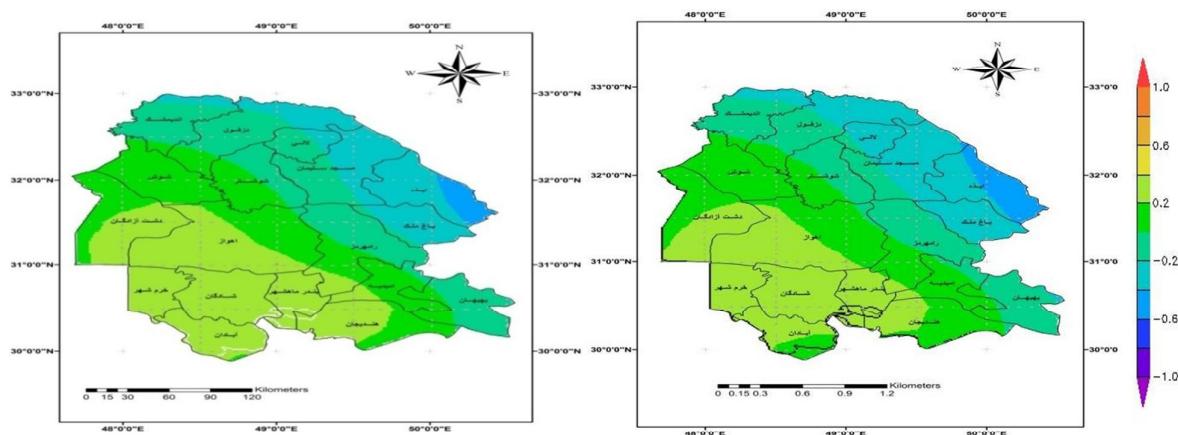
توزیع مکانی میانگین سالانه AOD در طول موج ۵۵۰ نانومتر ماهواره ترا برای بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ را انجام گردید و مشاهده شد شهرستان‌های غربی استان خوزستان تحت تاثیر ذرات معلق هوا قرار دارند و روند تغییرات ذرات معلق هوا در نیمه غربی استان بارز است (شکل الف ۲). همچنین همانطور که در شکل ۲ (ب) مشاهده می‌گردد توزیع مکانی میانگین سالانه AOD را در طول موج ۵۵۰ نانومتر برای دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ که توسط ماهواره آکوا انجام گردید و مشاهده شد که تغییرات مکانی AOD در هر دو شکل گرفته شده از ماهواره ترا و آکوا تقریباً از روند یکسانی پیروی می‌کند.

تعریف می‌شود (چارسون و همکاران، ۱۹۹۵) بانک مذکور برای بازه زمانی مورد نظر (۲۰۱۴-۲۰۰۵) برای هر دو ماهواره ترا و آکوا به وسیله نرم افزار HDF-explorer باز شده و شاخص AOD به صورت داده‌های موجود در جدول با فرمت HDF (برای استان خوزستان به صورت ماهانه برای دوره مورد مطالعه)، و به صورت نقشه‌های رستری (میانگین دوره مورد مطالعه) اخذ شد.

۲- در بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص AOD از چهار روش استفاده شد:

الف) در روش اول ابتدا با همپوشانی دادن نقشه شیب فایل استان خوزستان با نقشه رستری موجود در بانک سنجنده مودیس، نقشه رستری AOD استان خوزستان با کمک نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS) جدا می‌گردد که حاوی اطلاعات AOD میانگین دوره مطالعه برای کل شهرستان‌های استان خوزستان بوده و برای بررسی تغییرات مکانی از این شاخص استفاده گردید.

ب) در روش دوم، تغییرات کاهشی و یا افزایشی شاخص AOD در طول دوره مورد مطالعه، با رسم نمودارهای تغییرات زمانی برای هر شهرستان بررسی می‌شود. سپس با مقایسه شیب خط رگرسیونی نمودارهای شهرستان‌های مختلف، روند تغییرات مکانی شاخص AOD در استان خوزستان بررسی شد.



شکل (۲): توزیع مکانی میانگین سالانه AOD در طول موج ۵۵۰ nm برای بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ توسط ماهواره های ترا(الف) و آکوا(ب)

تغییرات فصلی (زمانی) عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) در شهرستان‌های استان خوزستان:

تغییرات فصلی AOD ماهواره ترا برای شهرستان‌های استان خوزستان در جدول (۱) ارائه شده است. بر این اساس، بیشترین مقدار AOD در همه شهرستان‌های استان خوزستان در فصل تابستان مشاهده می‌شود. همچنین کمترین مقدار AOD در فصل پاییز مشاهده می‌شود. اهواز ($0/78 \pm 0/22$) در طی دوره زمانی مذکور و در مقایسه با سایر شهرستان‌ها میانگین بیشتری از عمق اپتیکی ذرات معلق هوا را تجربه کرده است. در واقع می‌توان علت افزایش در مقدار ذرات معلق هوا در شهرستان‌های غربی نسبت به شرقی را به افزایش خشکسالی و افزایش طوفان‌های گرد و غبار در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ و همچنین نزدیکی شهرستان‌های غربی به منشأ طوفان گرد و غبار در کشورهای همسایه مربوط دانست. همانگونه که در جدول ۱ مشخص است در فصل بهار و تابستان بیشترین غلظت ذرات معلق هوا مشاهده می‌شود. به علاوه در طی این فصول مقدار شاخص ذرات معلق هوا بالاست و توزیع AOD در هر چهار فصل به این صورت است که هرچه از شهرستان‌های شمال شرقی به سمت جنوب غربی برویم مقدار AOD افزایش می‌یابد. همچنین هر چه به سمت مرکز استان مقدار شاخص AOD در هر چهار فصل کاهش می‌یابد.

شکل (۳) توزیع مقادیر شاخص AOD را بر فراز منطقه مورد مطالعه در زمان وقوع پدیده گرد و غبار نشان می‌دهد نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است در مکان‌هایی که تمرکز طوفان‌های گرد و غبار روی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد شاخص AOD نیز بالاست. در واقع بسیار مشخص است که در مکان‌های با پدیده گرد و غبار مقدار AOD نیز بالاتر می‌باشد که این با پژوهش‌های عالم و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی دارد.

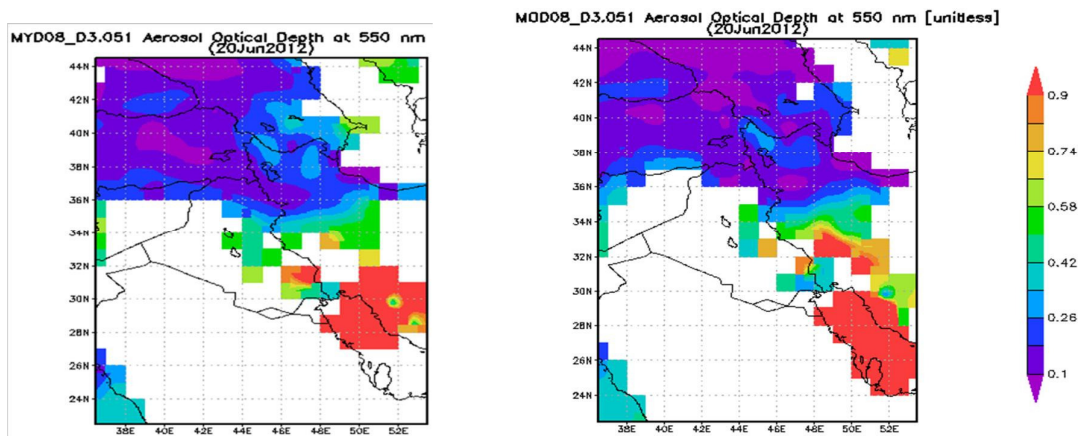
نتایج حاصل از بارسازی توده گرد و غبار و مقایسه با تصویر رنگی طبیعی سنجنده مودیس (RGB₁₄₃)

در این تحقیق با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس ۳۱ خرداد ۱۳۹۱، سه روش بارسازی اجرا گردید. برای ارزیابی روش‌های متفاوت بارسازی گرد و غبار لازم است که نتایج الگوریتم‌ها با یک منبع مستقل دیگر مقایسه شود. این منبع می‌تواند تصویر رنگی طبیعی، محصولات آتروسل سنجنده یا شاخص‌های گرد و غبار مودیس یا سنجنده‌های دیگر باشد. در این پژوهش از تصویر رنگی طبیعی سنجنده مودیس (RGB_{۱۴۳}) و محصولات سطح ۲ اتمسفری از جمله AOD، FMF برای مقایسه استفاده گردید. هر کدام از الگوریتم‌های بارسازی خصوصیات دارد که در ادامه شرح داده می‌شود. در ادامه، پردازش‌های اعمال شده برای سه روش بارسازی به منظور شناسایی توده گرد و غبار نشان داده شده است.

جدول (۱): میانگین عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) در فصول مختلف طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۰

شهرستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
دزفول	۰/۳۴±۰/۰۶	۰/۳۸±۰/۰۹	۰/۱۹±۰/۰۵	۰/۲۲±۰/۰۵
آبادان	۰/۳۱±۰/۰۷	۰/۲۸±۰/۰۵	۰/۱۸±۰/۰۳	۰/۳۰±۰/۰۷
دشت آزادگان	۰/۴۱±۰/۰۶	۰/۴۰±۰/۰۷	۰/۲۴±۰/۰۴	۰/۳۱±۰/۰۷
شوش	۰/۵۳±۰/۲۱	۰/۴۸±۰/۳۸	۰/۳۱±۰/۱۱	۰/۴۰±۰/۱۱
خرمشهر	۰/۴۴±۰/۰۴	۰/۴۳±۰/۰۸	۰/۲۴±۰/۰۴	۰/۲۹±۰/۰۷
امیدیه	۰/۳۸±۰/۰۵	۰/۳۴±۰/۰۷	۰/۱۸±۰/۰۴	۰/۲۳±۰/۰۷
اندیمشک	۰/۳۹±۰/۰۵	۰/۴۱±۰/۰۸	۰/۲۳±۰/۰۵	۰/۲۶±۰/۰۶
ایذه	۰/۵۲±۰/۱۱	۰/۴۷±۰/۱۲	۰/۳۰±۰/۰۸	۰/۳۳±۰/۰۷
لالی	۰/۳۹±۰/۰۶	۰/۳۹±۰/۰۸	۰/۲۴±۰/۰۷	۰/۲۶±۰/۰۶
اهواز	۰/۶۹±۰/۱۶	۰/۷۸±۰/۲۲	۰/۴۲±۰/۱۲	۰/۴۳±۰/۱۵
ماهشهر	۰/۳۹±۰/۰۶	۰/۳۹±۰/۰۸	۰/۲۴±۰/۰۷	۰/۳۰±۰/۰۶

۰/۲۳±۰/۰۵	۰/۲۰±۰/۰۵	۰/۳۶±۰/۰۷	۰/۳۳±۰/۰۶	باغ ملک
۰/۲۸±۰/۰۶	۰/۲۵±۰/۰۵	۰/۴۳±۰/۰۹	۰/۴۲±۰/۰۶	بهبهان
۰/۲۷±۰/۰۵	۰/۲۱±۰/۰۳	۰/۳۵±۰/۰۷	۰/۳۵±۰/۰۵	شادگان
۰/۲۸±۰/۰۷	۰/۲۲±۰/۰۴	۰/۳۷±۰/۰۷	۰/۳۷±۰/۰۵	شوشتر
۰/۲۹±۰/۰۶	۰/۲۵±۰/۰۷	۰/۳۸±۰/۰۸	۰/۳۸±۰/۰۶	هندیجان
۰/۲۴±۰/۰۵	۰/۲۲±۰/۰۵	۰/۳۷±۰/۰۷	۰/۳۲±۰/۰۶	مسجد سلیمان



شکل (۳): توزیع مقادیر AOD در زمان وقوع گرد و غبار اتفاق افتاده در تاریخ ۳۱ خرداد ۱۳۹۱ ساعت ۷:۵۵

الگوریتم آکرمین کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل (۶) مشخص است، اگر چه الگوریتم آکرمین در حذف ابر مؤثر بوده است، ولی در شناسایی توده گرد و غبار بر روی سطوح روشن، موفق نیست. در این مواقع، تفسیر چشمی و تجربه به کمک مفسر می‌آید.

با پیشرفت در ماسک ابر مودیس، آکرمین (۱۹۹۷)، حد آستانه شناسایی آتروسول‌های معدنی را کمتر از منهای یک درجه کلونین قرار داد. اگرچه تجزیه و تحلیل‌های آکرمین (۱۹۹۷) نشان داد که حد آستانه صفر می‌تواند به طور گسترده در محدوده‌ای از سطح زمین استفاده شود، لیکن این احتمال نیز وجود دارد که حد آستانه ذکر شده به تدریج با تغییرپذیری در انتقال و تابش طبیعت گرد و غبار تغییر کند. محاسبه BTD آسان است، و به کارگیری آن اغلب برای شناسایی توده گرد و غبار و شناسایی مناطق منشأ ترجیح داده می‌شود. مهم‌ترین مشکل به‌خاطر این است که شناسایی نشدن گرد و غبار از سایر پدیده‌ها در تفسیر داده‌های BTD، تفسیر شخصی هستند و داده‌های بازیابی شده به دلیل حذف نشدن اثرات ابر ممکن است ایراد داشته باشند.

نتایج حاصل از بارسازی توده گرد و غبار و مقایسه

با تصویررنگی طبیعی سنجنده مودیس (RGB₁₄₃):

۱- نتایج حاصل از بارسازی به روش ترکیب رنگی کاذب (FCC):

شکل (۵) تصویر رنگی کاذب را نشان می‌دهد. اگر چه در این تصویر توده گرد و غبار به رنگ صورتی دیده می‌شود، ولی در قسمت پایین تصویر لکه‌های ابر نیز به رنگ صورتی دیده می‌شود که این به دلیل ویژگی‌های طیفی شیب به هم ابر در باندهای انتخابی می‌باشد. تصویر رنگی کاذب در شناسایی توده گرد و غبار کمک می‌کند، اما نمی‌تواند به خوبی گرد و غبار را از ابر تفکیک کند.

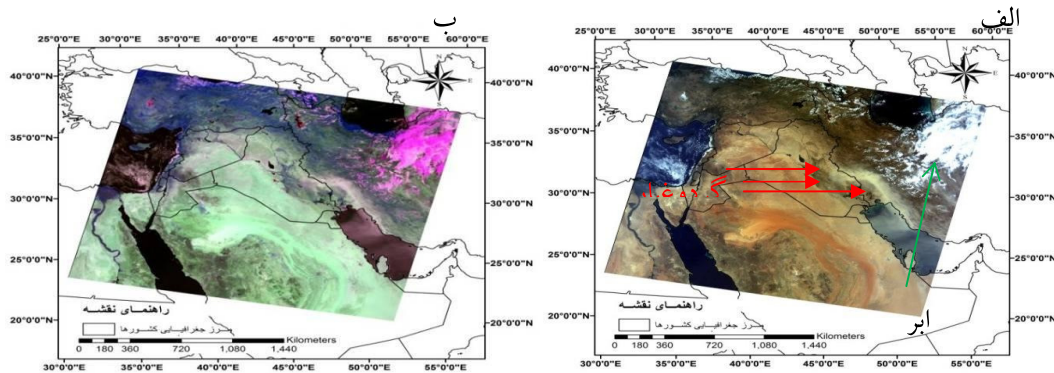
۲- نتایج حاصل از بارسازی به روش الگوریتم آکرمین:

در این پژوهش علاوه بر حد آستانه صفر، دو حد آستانه ۱- و ۲- نیز به کار برده شد. همان‌طور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود، تصویر رنگی طبیعی قادر به تشخیص دقیق توده‌های گرد و غبار در مراحل اولیه آن نیست که احتمالاً ناشی از تاثیر انعکاس سطوح روشن زیرین آن می‌باشد. وجود مقادیر زیاد ابر باعث خطا در شناسایی توده گرد و غبار می‌شود و کارایی

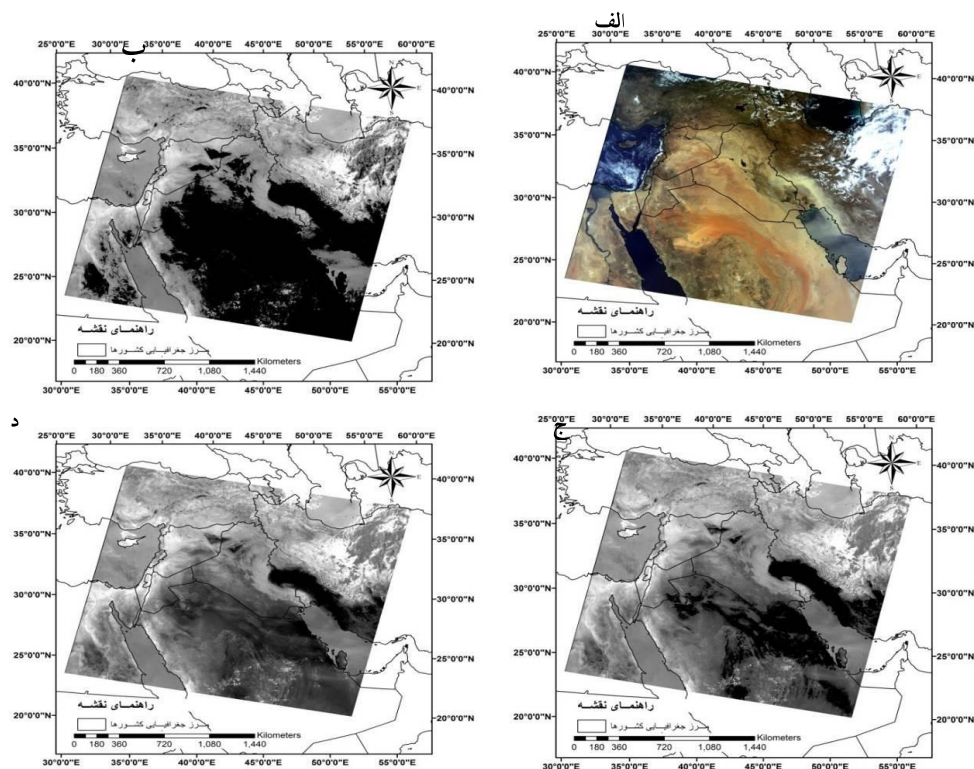
تحلیل نتایج حاصل از بارزسازی

در نزدیک سطح زمین قرار دارد و دارای دمای مشابه سطح زیرین خود است، قابل شناسایی نیستند. به تدریج که توده گرد و غبار از زمین فاصله گرفته و دمای آن نسبت به سطح زیرین کمتر می شود این اشکال رفع می گردد. بنابراین، بایستی تمامی الگوریتم های موجود را امتحان کرد و با مقایسه آنها بهترین الگوریتم بارزسازی را انتخاب کرد.

تصویر رنگی کاذب در شناسایی توده گرد و غبار کمک می کند، اما نمی تواند به خوبی گرد و غبار را از ابر تفکیک کند، و هر دو به رنگ صورتی دیده می شوند. اگر چه الگوریتم آکرمن در حذف ابر مؤثر بوده است، ولی در شناسایی توده گرد و غبار بر روی سطوح روشن، موفق نیست. در این مواقع، تفسیر چشمی و تجربه به کمک مفسر می آید. علاوه بر این در این روش، احتمالاً مقداری از ذرات گردوغبار، به دلیل این که



شکل (۵): تصویر رنگی طبیعی (RGB₁₄₃) سنجنده مودیس (الف)، تصویر رنگی کاذب (ب)



شکل (۶): تصویر رنگی طبیعی (RGB₁₄₃) سنجنده مودیس (الف)، تصویر ساده روش آکرمن بعد از اعمال حد آستانه صفر (ب)، حد آستانه ۱- (ج) و حد آستانه ۲- (د)

نتیجه گیری

این پژوهش با هدف بررسی توزیع زمانی و مکانی ذرات گرد و غبار ورودی به استان خوزستان در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۰ و در کل استان خوزستان صورت گرفت. بر اساس نتایج این مطالعه بیشترین و کمترین میانگین شاخص AOD تقریباً در همه شهرستان‌ها به ترتیب در فصول تابستان و پائیز مشاهده شد. اهواز در طی دوره زمانی مذکور میانگین بالای عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (0.78 ± 0.22) را تجربه کرده است. نقشه‌های توزیع AOD در هر چهار فصل در سال ۲۰۱۳ نشان دادند که با پیشروی از شهرستان‌های شمال شرقی به سمت جنوب غربی، مقدار AOD افزایش می‌یابد. همچنین بایشروی به سمت مرکز استان، مقدار شاخص AOD در هر چهار فصل کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج این پژوهش، استفاده از سطح سه محصولات اتمسفری مودیس به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی AOD مناسب می‌باشد.

منابع

۱. خسروی، م. طاوسی، ت. رئیس‌پور، ک. ۱۳۸۹. تحلیل همدیدی سامانه‌های گردوغبار در استان خوزستان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰.
۲. عطافر، ز. اسلامی، ا. پیرصاحب، م. اسدی، ف. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات غلظت ذرات معلق (PM10) و تعیین شاخص کیفیت هوا در شهر کرمانشاه. فصلنامه بهداشت در عرصه، سال دوم، شماره ۱.
۳. مهربانی، ش. سلطانی، س. جعفری، ر. ۱۳۹۴. بررسی رابطه بین پارامترهای اقلیمی و وقوع ریزگردها (مطالعه موردی: استان خوزستان). فصلنامه علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره ۱.
۴. یار احمدی، د. ، ۱۳۹۰. گرد و غبار بیابان در سامانه جهانی، انتشارات دانشگاه لرستان. چاپ اول.
5. Ackerman, S.A. 1997. Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research*, 102 (14): 17069-17080.
6. Charlson, R.J., J.Langner, H.Rodhe, C.B. Leovy, and S.G. Warren. 1995. Perturbation of the northern hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic sulfate aerosols. *Tellus*, 43AB (4): 152-163.
7. 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, C.X., Xue, M., Li, X.W. 2009. Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. *Atmospheric Environment journal*, 43 (37): 5876-5886.
8. Gupta, P., Christopher, A. 2008. Seven year particulate matter air quality assessment from surface and satellite measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion* (8): 3311-3324.
9. Hang J., Ge, J., Weng, F. 2007 Detection of Asia dust storms using multisensor satellite measurements. *Remote Sensing of Environment* (110): 186-191
10. Hu, Z. 2009. Spatial analysis of MODIS aerosol optical depth, PM2.5 and chronic coronary heart disease. *International Journal of Health Geographic's*, 8 (27): 1-10.
11. Li, C.C., Lau, A.K., Mao, J.T. 2005. Retrieval, validation and application of the km aerosol optical depth from MODIS measurement over Hong Kong. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* (43): 2650-2658.
12. Ogren, J.A. 1995. A systematic approach to in situ observations of aerosol properties, *Aerosol forcing of climate*, R.J. Charlson and J. Heintzenberg (eds.), Wiley & Sons, New York, 215-226
13. Tanré, D., Kaufman, Y.J., Herman, M., Mattoo, S. 1997. Remote sensing of aerosol properties over oceans using the MODIS/EOS spectral radiances. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 102 (14): 16971-16988.
14. Zhang, H., M.H. Raymond. 2009. The Relation between Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aerosol Optical Depth and PM2. 5 over the United States: A Geographical Comparison by U. S. Environmental Protection Agency Regions. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 59 (11): 1358-1369
15. Zhao, T.X.P, Ackerman, S., Guo, W. 2010. Dust and Smoke Detection for Multi-Channel Imagers. *Remote Sensing*, 2 (10): 2347-2368.