



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی گوارن

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

توزیع زمانی - مکانی ذرات معلق اتمسفری

در غرب کشور بر مبنای داده‌های طیفی سنجنده MODIS

هدایت‌الله برتینا^۱، غلامعباس صیاد^۲، *حمیدرضا متین‌فر^۳ و سعید حجتی^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۲استادیار گروه خاکشناسی،

دانشگاه شهید چمران اهواز، ^۳استادیار گروه خاکشناسی، دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

توزیع نامناسب، هزینه بالای نصب و نگهداری ایستگاه‌های سنجنش آلودگی، موضوع مهم در سنجنش آلودگی هوا هستند. سنجنده مودیس نصب شده در ماهواره آکو و ترا قادر به بازیابی عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) در تروپوسفر هستند و می‌تواند در سنجنش آلودگی ذرات معلق در سطح وسیع مانند غرب ایران به کار گرفته شود. در این پژوهش، داده‌های سطح سه سنجنده مودیس در ماهواره آکو و ترا، به منظور بررسی توزیع زمانی و مکانی ذرات معلق هوا در غرب ایران طی دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۱ مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج نشان داد که تغییرات ذرات معلق هوا در استان خوزستان متفاوت و بسیار بیش‌تر از سایر استان‌های غربی کشور می‌باشد. تغییرات AOD در غرب کشور در استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، قزوین، گیلان و مرکزی در طی دوره نام‌برده روند کاهشی را داشته است، اما در استان‌های ایلام، خوزستان، بوشهر، شهرکرد، زنجان، کردستان، کرمانشاه، کهکلویه و بویراحمد، لرستان و همدان در طی دوره نام‌برده روند افزایشی داشته است و این روند افزایشی در استان خوزستان قابل توجه می‌باشد. استان خوزستان در طی دوره زمانی نام‌برده میانگین بالای AOD (0.78 ± 0.22) را تجربه کرده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، از غرب به شرق و همچنین از جنوب به شمال، AOD در طی این دوره روند کاهشی داشته است. میانگین بالای AOD تقریباً در همه استان‌ها در فصل تابستان مشاهده شد و در استان‌های جنوب

*مسئول مکاتبه: matinfar44@gmail.com

غرب کشور مانند استان خوزستان، بوشهر و ایلام، قابل توجه بود. همچنین مقدار میانگین AOD بیش‌تر استان‌ها در فصل پاییز نسبت به فصل‌های دیگر سال کم‌تر بود. بر مبنای نتایج پژوهش می‌توان گفت، استفاده از سطح سه محصولات اتمسفری مودیس به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی AOD مناسب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آکوا، ترا، تغییرات، ذرات معلق هوا، مودیس

مقدمه

ذرات معلق اتمسفر نقش مهمی در تعادل انرژی سیستم اتمسفر- زمین بازی می‌کنند. تغییر در مقدار ذرات معلق اتمسفری، گازهای گلخانه‌ای، تشعشع خورشیدی و خصوصیات سطح زمین باعث تغییر تعادل انرژی اتمسفر زمین می‌شوند (پاپادیماس و همکاران، ۲۰۰۸). کاسموپلوس و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که در دو دهه اخیر ذرات معلق اتمسفری به‌عنوان یکی از فاکتورهای مهم در ارزیابی تغییر اقلیم جهانی شناخته شده‌اند، تا آن‌جایی که آن‌ها نقش مهمی در انتقال تابش حرارتی سطح زمین بازی می‌کنند. ذرات معلق هوا، همانند گازهای گلخانه‌ای نقش مهمی در شیمی اتمسفر، فیزیک ابرها، دما و تعادل تشعشع در اتمسفر جو پایین بازی می‌کند (لی و همکاران، ۲۰۰۱).

گردوغبارها نوع دیگری از ذرات معلق هوا هستند که منطقه وسیعی از کره زمین از جمله کشور ایران را فرا می‌گیرند. کشور ایران به‌دلیل واقع شدن در منطقه خشک و نیمه‌خشک به‌طور مرتب در معرض طوفان‌های گردوغبار قرار می‌گیرد (حجتی و همکاران، ۲۰۱۲). این کشور از جمله مناطقی است که بر خلاف این‌که نقش چندانی در انتشار گرد و غبار در منطقه ندارد (ویلکرسون، ۱۹۹۱؛ برتینا، ۲۰۱۲)، اما به‌دلیل هم‌جواری با کشورهایمانند عراق، عربستان، کویت و اردن، خسارت‌های فراوانی را از طوفان‌های گرد و غبار متحمل شده است (زرأسوندی و همکاران، ۲۰۱۱). وجود طوفان‌های گرد و خاک در مناطق جنوب، جنوب‌غرب و غرب ایران موضوع تازه‌ای است که طی چند سال اخیر، کشور را تحت‌تأثیر خود قرار داده و ۵ استان کرمانشاه، خوزستان، ایلام، کردستان و لرستان را نیز به‌صورت مستقیم درگیر نموده است (زرأسوندی، ۲۰۰۹).

اخیراً فراگیر شدن پدیده گرد و غبار در بخش وسیعی از کشور، نگرانی‌ها را در مورد پیامدهای زیست‌محیطی و نیز اقتصادی- اجتماعی طوفان‌های نام‌برده به‌خصوص 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 به صورت منظم و در مقیاس جهانی مورد پایش قرار گیرد. این عمل بسیار مشکل است، چون ذرات میکرونی اتمسفر هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی تغییرات زیادی دارند.

روش معمول و مستقیم کسب اطلاعات در مورد این ذرات، استفاده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی می‌باشد. اما به علت پیچیدگی فرآیند اندازه‌گیری خصوصیات این ذرات، به طور عمده تأسیس و نگهداری این ایستگاه‌ها هزینه‌های زیادی را می‌طلبد (گو و همکاران، ۲۰۰۹؛ امان‌الهی و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین تعداد این ایستگاه‌ها به‌ویژه در مناطق غیرشهری که بخش اعظم هر کشور را تشکیل می‌دهند، کم است. علاوه بر این، ذرات گردوغبار ممکن است با صعود به طبقات فوقانی‌تر جو از دسترس پایش توسط ایستگاه‌های نام‌برده خارج شوند. مشکل دیگر در این زمینه نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری‌های زمینی است، بنابراین داده‌های ایستگاه زمینی قابلیت لازم برای تهیه نقشه غلظت ذرات در مقیاس ناحیه‌ای و جهانی را ندارند. اما در مقابل داده‌های ماهواره‌ای قابلیت شگفت‌انگیزی در پهنه‌بندی خصوصیات ذرات معلق جوی دارند. بنابراین مشاهده‌های ماهواره‌ای با توجه به تفکیک زمانی و مکانی قابل قبول، می‌توانند این محدودیت‌ها را برطرف نموده و به عنوان مکمل ایستگاه‌های زمینی مورد استفاده قرار گیرند (گو و همکاران، ۲۰۰۹).

در سال‌های اخیر با پیشرفت فن‌آوری سنسورهای دور، پژوهش‌هایی در سطح بین‌المللی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی توزیع ذرات معلق هوا در مقیاس‌های وسیع انجام شده است. گوپتا و کریستوفر (۲۰۰۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مودیس (MODIS)^۱ و با استفاده از داده‌های AOD^۲ و اندازه‌گیری‌های زمینی ذرات معلق در جنوب شرقی آمریکا، نشان دادند که اطلاعات ماهواره‌ای به‌ویژه زمانی که اندازه‌گیری‌های زمینی موجود نباشد، ابزار مفیدی برای پایش ذرات معلق محسوب می‌شود. هو (۲۰۰۹) با تجزیه و تحلیل مکانی AOD و PM_{2.5}^۳ (ذرات کوچک‌تر از ۲/۵ میکرومتر) در آمریکا به این نتیجه رسیدند که تغییرات مکانی همبستگی بین AOD و PM_{2.5} وجود دارد. در شرق آمریکا جایی که AOD به خوبی با PM_{2.5} همبستگی پیدا دارد، AOD می‌تواند با

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

2- Aerosol Optical Depth

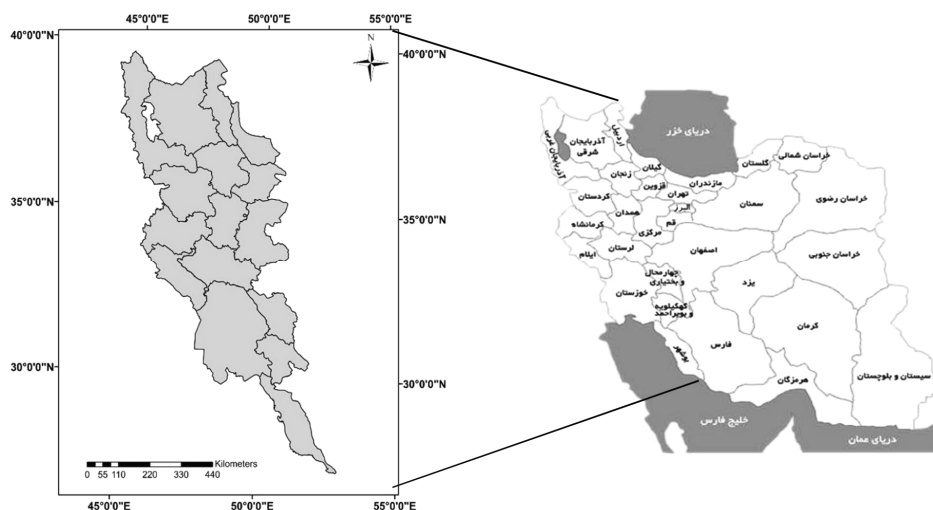
3- Particulate Matter Less Than 2.5 cm

داده‌های $PM_{2.5}$ زمینی به‌منظور دستیابی به $PM_{2.5}$ سطح زمین برای مطالعات زیست‌محیطی تطبیق داده شود. ژانگ و ریموند (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای تحت عنوان رابطه بین AOD در تصاویر MODIS با $PM_{2.5}$ در آمریکا، به این نتیجه رسیدند که AOD (محاسبه شده از تصاویر ماهواره‌ای) همبستگی خوبی با $PM_{2.5}$ داشت و می‌توان از آن برای پایش و پیش‌بینی کیفیت هوا استفاده کرد. کاسکاویتس و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای با عنوان طوفان گردوغبار شدید بر فراز یونان، بررسی خصوصیات گردوغبار را با استفاده از سنجش از دور و اندازه‌گیری زمینی انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که اندازه‌گیری‌های مختلف (زمینی و سنجش از دور) با یکدیگر در تضاد نیستند. بنابراین برای نظارت بر گردوغبار بر فراز مدیترانه شرقی از تکنیک سنجش از دور استفاده کرد. پراساد و همکاران (۲۰۰۷) تغییرات ذرات معلق هوا بر فراز هند را بررسی نموده و دریافتند که AOD در فصل تابستان بیش‌تر از فصل زمستان می‌باشد. همچنین عالم و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تغییرات ذرات معلق هوا بر فراز پاکستان دریافتند که مقدار AOD در تابستان زیاد و در زمستان کم می‌باشد.

با توجه به این‌که نیمه غربی کشور به‌طور مرتب در معرض طوفان‌های گردوغباری قرار می‌گیرند و با توجه به کمبود ایستگاه‌های زمینی در منطقه نام‌برده، می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات ذرات معلق هوا را در دوره زمانی نام‌برده و به‌صورت فصلی و سالانه بررسی نمود. همچنین فراهم بودن اطلاعات مربوط به تغییرات زمانی مکانی ذرات معلق، می‌تواند کمک شایانی به اتخاذ راه‌کارهای مناسب برای حل بحران آلودگی هوا به ذات معلق و نیز آسیب‌های ناشی از آن‌ها نماید. بنابراین این مطالعه با هدف بررسی زمانی و مکانی ذرات معلق اتمسفری در نیمه غربی کشور بر مبنای داده‌های عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) ماهواره MODIS برای دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۰ انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: محدوده منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. این منطقه بین طول‌های ۴۴ درجه تا ۵۱ درجه شرقی و ۲۷-۳۹ درجه عرض‌های ۲۷ درجه تا ۳۹ درجه شمالی واقع شده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه (نیمه غربی ایران).

روش جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن‌ها: در حال حاضر، ماهواره‌های مختلفی با کاربردهای مختلف به فضا پرتاب شده است. ولی همه سنجنده‌ها برای شناسایی ذرات معلق گردوغبار مناسب نیستند. در این راستا سنجنده مودیس به دلایلی مانند (۱) مشاهده زمین با ۲۰ باند طیفی مرئی^۱ و ۱۶ باند طیفی حرارتی^۲ با محدوده طول موج ۰/۴-۱۴/۲ میکرومتر، (۲) قدرت تفکیک مکانی تا ۱ کیلومتر برای بیش‌تر باندها و (۳) فراهم نمودن امکان چهار بار تصویربرداری از هر منطقه در روز (رامر و همکاران، ۲۰۰۵)، برای رسیدن به اهداف مطالعه انتخاب شد.

جدول ۱- داده‌های استفاده شده در این پژوهش.

نام ماهواره	بازه زمانی	نام محصول	قدرت تفکیک مکانی (کیلومتر)
MODIS-Terra	۲۰۰۰-۲۰۱۱	سطح ۳ اتمسفری (ماهانه)	۱
MODIS-Aqua	۲۰۰۲-۲۰۱۱	سطح ۳ اتمسفری (ماهانه)	۱

- 1- Reflective Solar Bands (RSBs)
- 2- Thermal Emissive Bands (TEBs)

مشاهده‌های مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر (۱ کیلومتر) انجام می‌شود و همچنین بسیاری از محصولات مودیس نیز با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر (سطح ۲ محصولات اتمسفری) و ۱×۱ درجه (سطح ۳ محصولات اتمسفری) در سایت ناسا^۱ (کشور آمریکا) موجود می‌باشد. با توجه به سطح وسیع مورد مطالعه، از داده‌های سطح سه محصولات اتمسفری در طول موج ۵۵۰ نانومتر مربوط به اطلاعات دو ماهواره آکوا (ماهانه) و ترا (به‌صورت ماهانه و روزانه) استفاده شد (جدول ۱). داده‌های نام‌برده از تارنمای NASA DAAC استخراج شد (https://lpdaac.usgs.gov/about/citing_lp_daac_and_data).

بانک داده‌های اخذ شده به‌صورت خام و به فرمت سلسله مراتبی^۲ داده (HDF) می‌باشد. این فرمت، فرمت فایل باز است و بیش‌تر برای مبادله داده‌های علمی و بایگانی استفاده می‌شود. یکی از مشخصات اصلی فرمت HDF توانایی ذخیره شناسنامه داده‌ها^۳ یا مشخصات داده است. مشخصه جالب دیگر این فرمت، توانایی ذخیره مجموعه داده‌های چندبعدی است (ساوچنکو و همکاران، ۲۰۰۴؛ مازوکا و همکاران، ۱۹۹۸). در بانک اطلاعاتی نام‌برده ویژگی‌های مختلفی از تصاویر سنجنده وجود دارند. از جمله این ویژگی‌ها شاخص AOD است که یکی از پارامترهای مهم در مطالعه توزیع ذرات معلق به‌دست آمده 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 تعریف می‌شود (چارلسون و همکاران، ۱۹۹۵). مسیر نوری نام‌برده در واقع فاصله عمودی از سطح زمین تا قسمت فوقانی جو است. مقدارهای AOD می‌تواند بسته به تراکم ذرات معلق و نیز ویژگی‌های آن ذرات متفاوت باشد. اوگرن (۱۹۹۵) دامنه تغییرات AOD را ۰/۲-۰/۱ برای هوای قاره‌ای صاف و ۰/۱-۰/۰۵ برای هوای بحری صاف پیشنهاد نمود. بیش‌تر بودن مقادیر AOD از مقادیر نام‌برده نشان‌دهنده بیش‌تر بودن ذرات معلق در امتداد ستون عمودی هوا بوده و به‌عبارتی دید در امتداد آن ستون کم می‌باشد. لازم به ذکر است در حالی که حجم داده‌های زیادی از شاخص AOD موجود می‌باشد و حدود ۶۰۰ گیگابایت حجم داده در روز توسط سنجنده مودیس از کره زمین دریافت می‌شود (مازوکا و همکاران، ۱۹۹۸)، اما تجزیه و تحلیل این داده‌های AOD در ایران و به‌خصوص در نیمه غربی کشور در طی یک دوره بلندمدت صورت نگرفته است.

1- NASA

2- Hierarchical Data Format (HDF)

3- Data Profile

بانک نام‌برده برای بازه زمانی مورد نظر (۲۰۱۱-۲۰۰۰) برای هر دو ماهواره ترا و آکوا به‌وسیله نرم‌افزار HDF-explorer باز شده و داده‌های شاخص AOD با فرمت HDF (برای هر استان نیمه غربی به‌صورت ماهانه برای دوره مورد مطالعه) و به‌صورت نقشه‌های رستری (میانگین دوره مورد مطالعه) اخذ شد. جدول با فرمت HDF شامل اطلاعات AOD ماهانه همه استان‌های غربی کشور به‌صورت مجزا بود که این اطلاعات در صفحه گسترده Excel ذخیره شد.

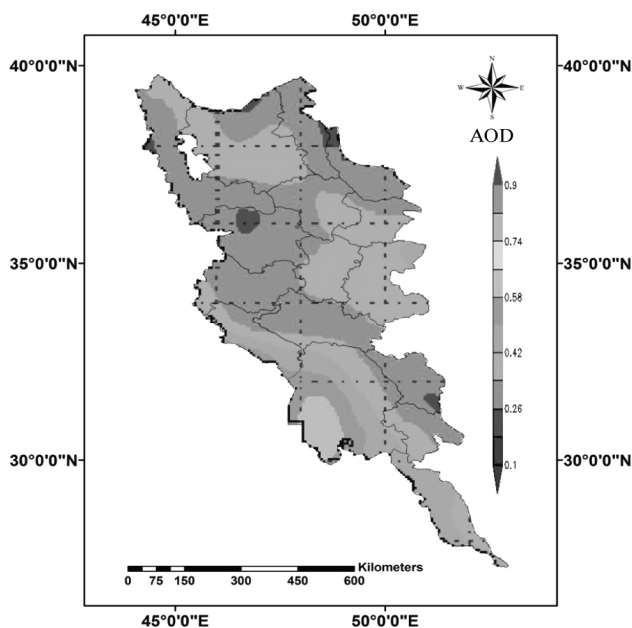
به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی شاخص AOD، از چهار روش استفاده شد. در روش اول ابتدا با هم‌پوشانی دادن نقشه شیب فایل ایران با نقشه رستری موجود در بانک سنجنده مودیس، نقشه رستری AOD غرب ایران با کمک نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS) جدا گردید که شامل اطلاعات AOD میانگین دوره مطالعه برای کل استان‌های غرب کشور بود و برای بررسی تغییرات مکانی از این شاخص استفاده شد. در روش دوم، تغییرات کاهشی و یا افزایشی شاخص AOD در طول دوره مورد مطالعه، با رسم نمودارهای تغییرات زمانی AOD برای هر استان بررسی شد. سپس با مقایسه شیب خط رگرسیونی نمودارهای استان‌های مختلف، روند تغییرات مکانی شاخص AOD در غرب کشور بررسی شد. در روش سوم، با توجه به این‌که تغییرات AOD به‌صورت فصلی بارزتر است، ابتدا داده‌ها برای هر استان به‌صورت فصلی میانگین‌گیری شد. سپس برخی آماره‌های توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار محاسبه شده و مقایسه میانگین فصلی (دوره ۱۲ ساله مورد مطالعه) شاخص AOD بین استان‌های مختلف انجام شد. در روش چهارم با هم‌پوشانی دادن نقشه شیب فایل ایران با نقشه رستری میانگین فصلی سال ۲۰۱۱ موجود در بانک سنجنده مودیس، نقشه رستری فصلی شاخص AOD نیمه غربی ایران تهیه گردید. سپس تغییرات فصلی شاخص AOD برای نیمه غربی ایران بررسی گردید.

نتایج و بحث

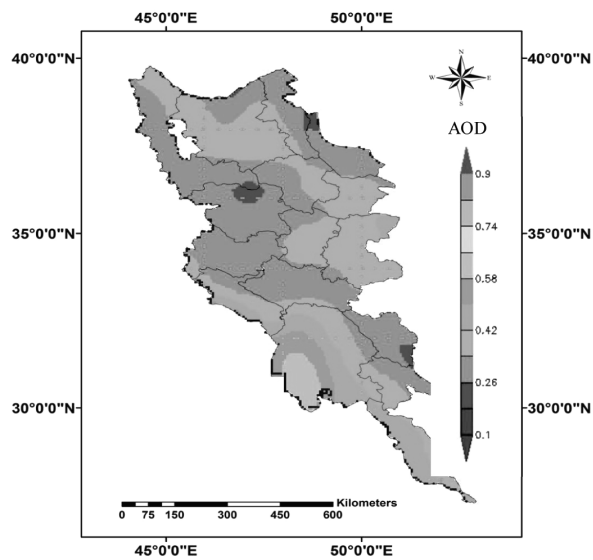
توزیع مکانی عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD): شکل ۲ توزیع مکانی میانگین سالیانه AOD در طول موج ۵۵۰ نانومتر ماهواره ترا برای بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود استان‌های غربی کشور تحت‌تأثیر ذرات معلق هوا قرار دارند و روند تغییرات ذرات معلق هوا در نیمه غربی کشور بارز است. شکل ۳ نیز توزیع مکانی میانگین سالیانه AOD را در طول موج ۵۵۰ نانومتر برای دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۰ که توسط ماهواره آکوا گرفته شده است را نشان می‌دهد. تغییرات مکانی AOD در هر دو شکل گرفته شده از ماهواره ترا و آکوا تقریباً از روند یکسانی پیروی می‌کند.

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، ضریب همبستگی بین داده‌های هر دو ماهواره آکو و ترا در بیش‌تر مناطق مورد مطالعه زیاد (بالتر از ۰/۸۶) می‌باشد. همبستگی ضعیف‌تر (۰/۷۶) بین داده‌های دو ماهواره در برخی نقاط می‌تواند به چند دلیل از جمله تفاوت زمان تصویر برداری، درجه کالیبراسیون ماهواره‌ها و همچنین درجه دقت الگوریتم بازیابی شاخص‌های مورد نظر باشد (تسای و همکاران، ۲۰۰۹). نکته مهمی که در شکل‌های ۲ و ۳ باید به آن توجه کرد مقادیر زیاد شاخص AOD (۰/۶۳۷ و ۰/۶۴۱ به ترتیب برای ماهواره‌های ترا و آکو) و به عبارت دیگر مقدار قابل توجه ذرات معلق هوا در استان خوزستان می‌باشد که از سایر استان‌های غربی کشور (تقریباً ۰/۴۶-۰/۲۵ در هر دو ماهواره) بسیار بیش‌تر است و این موضوع نشان‌دهنده اثر زیاد ذرات معلق بر استان خوزستان می‌باشد. بنابراین لزوم توجه به این مشکل و نیز ارایه راه‌کارهای مناسب برای کاهش غلظت ذرات معلق هوا در این استان غنی از نفت و گاز بسیار ضروری می‌باشد.

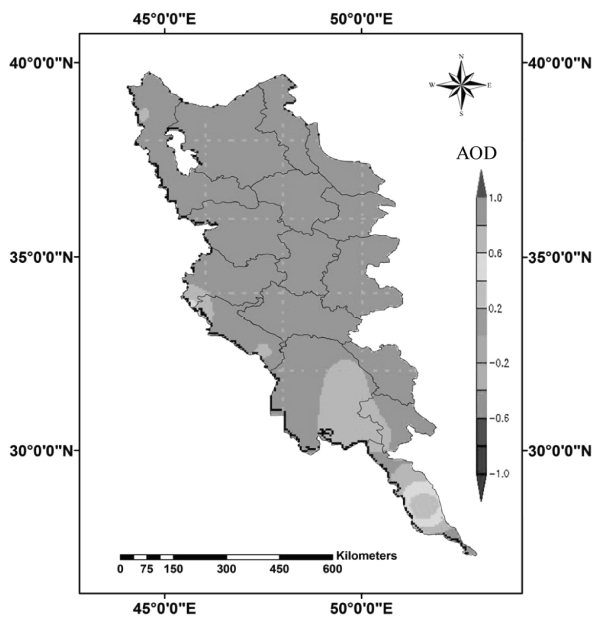
با توجه به همبستگی زیاد بین داده‌های ماهواره ترا و آکو و به دلیل پرهیز از زیاد شدن حجم مقاله، در بخش‌های بعدی مقاله فقط از داده‌های ماهواره ترا استفاده می‌شود.



شکل ۲- توزیع مکانی میانگین سالیانه AOD در طول موج ۵۵۰ نانومتر برای بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۱۰ که توسط ماهواره ترا گرفته شده است.



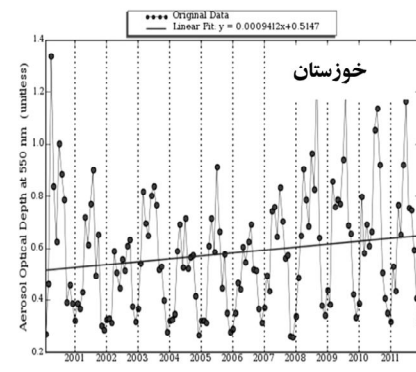
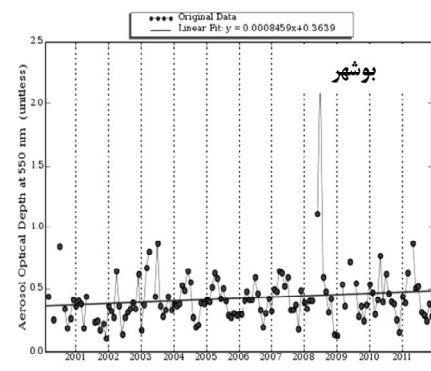
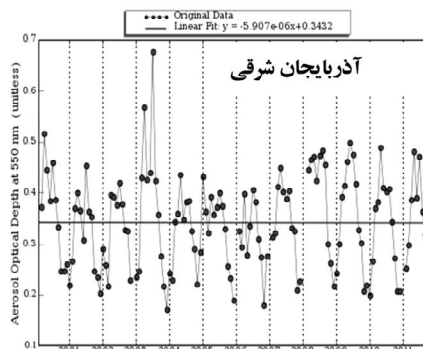
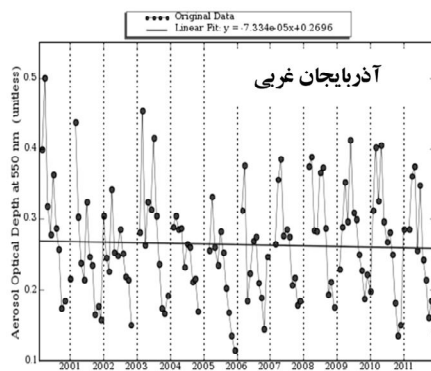
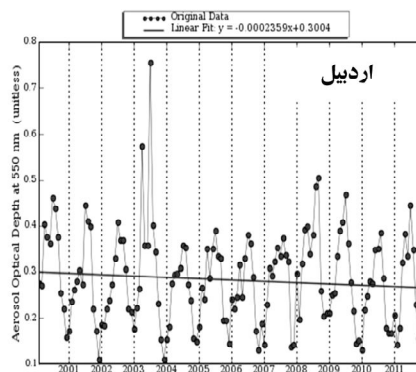
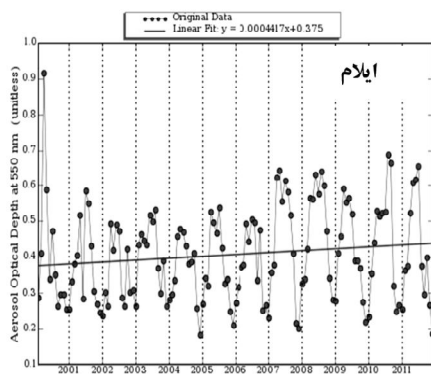
شکل ۳- توزیع مکانی میانگین سالیانه AOD در طول موج ۵۵۰ نانومتر برای بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۱۰ که توسط ماهواره آکوا گرفته شده است.

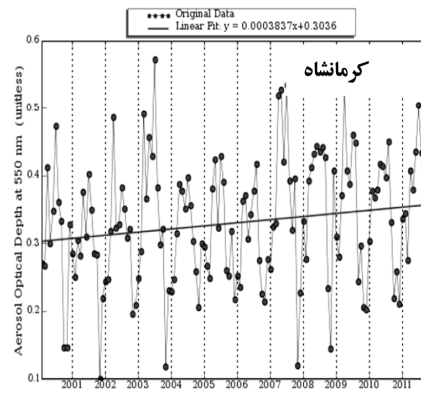
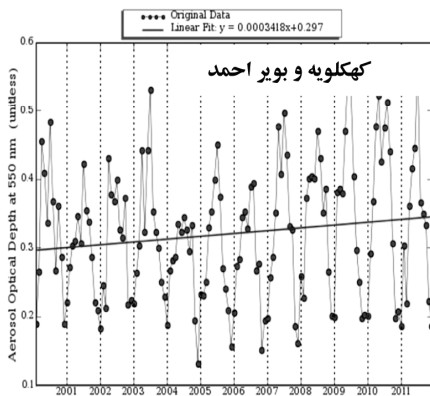
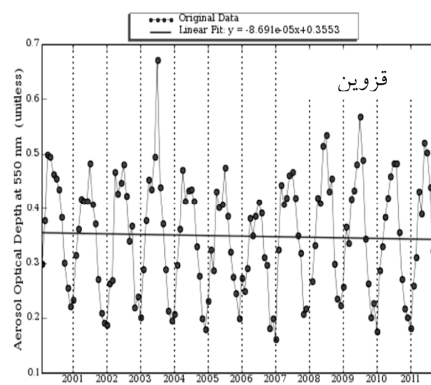
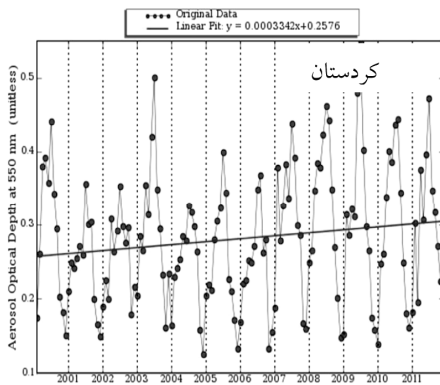
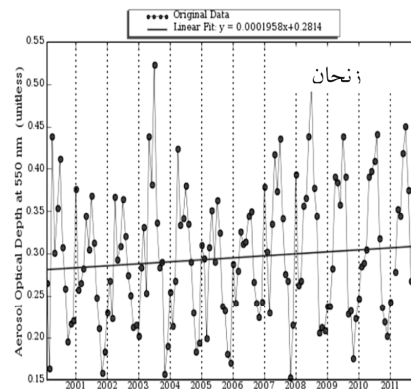
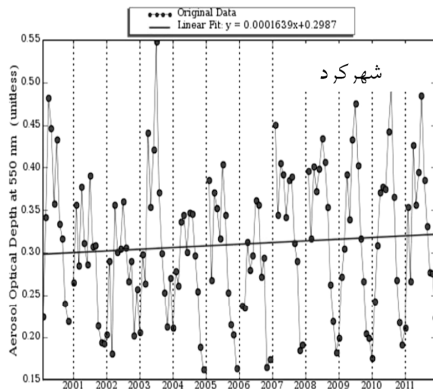


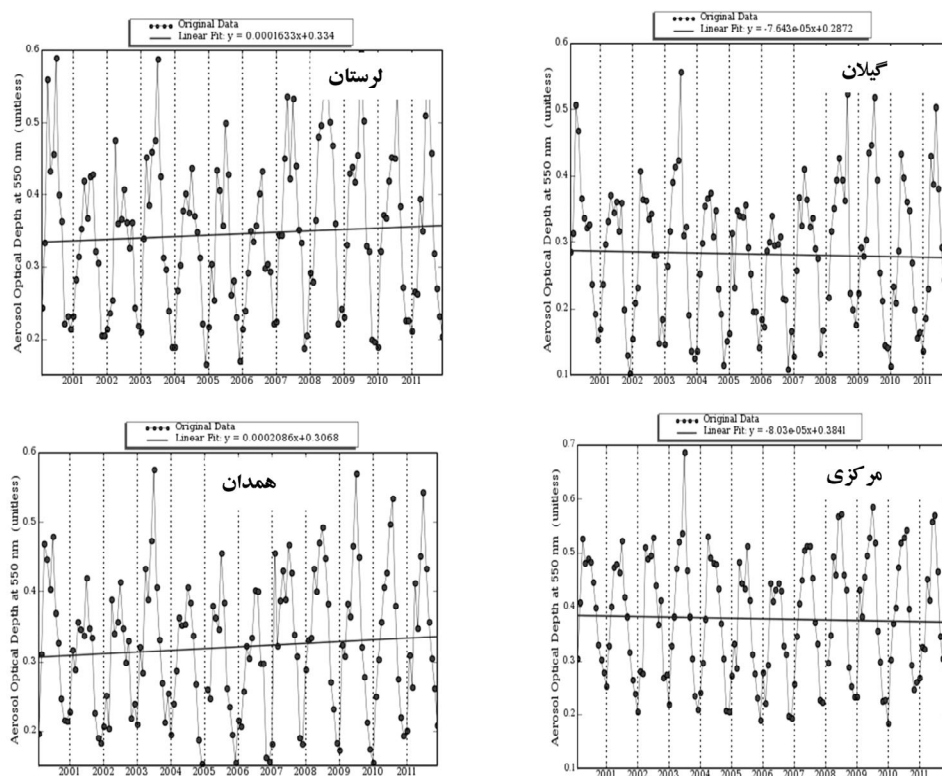
شکل ۴- ضریب همبستگی مکانی بین میانگین سالیانه AOD ماهواره ترا و آکوا در بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۱۰.

تغییرات زمانی AOD در استان‌های غربی کشور

تغییرات ماهانه و سالیانه AOD در استان‌های غربی کشور: تغییرات میانگین ماهانه و سالیانه AOD در شکل ۵ برای ۱۶ استان غربی کشور در بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۰ ترسیم شده است. همان‌طور که مشخص است هرچه از غرب به شرق و همچنین از جنوب به شمال می‌رویم AOD در طی این دوره روند کاهشی داشته است. تغییرات AOD در نیمه غربی کشور در استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، قزوین، گیلان و مرکزی در طی دوره نام‌برده روند کاهشی داشت. اما در استان‌های ایلام، خوزستان، بوشهر، شهرکرد، زنجان، کردستان، کرمانشاه، کهگلویه و بویراحمد، لرستان و همدان در طی بازه زمانی نام‌برده روند افزایشی داشته است که این روند افزایشی در استان خوزستان نسبت به سایر استان‌ها قابل توجه بود. تغییرات نام‌برده را به عواملی مختلف مانند فاصله از منشأ تولید گردوغبار، توپوگرافی مسیر حرکت توده، ویژگی‌های اقلیمی منطقه و نیز فعالیت‌های صنعتی و شهری در مسیر حرکت ذرات معلق هوا ارتباط داد. کونیال و همکاران (۲۰۰۹) و آلوسیوس و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش نمودند که تغییرات زمانی و مکانی در AOD وابستگی زیادی به منشأ و مسیر حرکت ذرات معلق هوا (مانند گردوغبار بیابان‌ها، نمک دریا، دود و آلودگی‌های صنعتی) در توده هوا دارند. زراسوندی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند که در دوره زمانی ۲۰۰۹-۱۹۹۶ تعداد روزهای گردوغباری به صورت سالیانه در استان خوزستان افزایش یافت. با توجه به ارتباط مهم شاخص AOD با میزان ذرات معلق در هوا، می‌توان افزایش قابل توجه این شاخص در استان خوزستان را در مقایسه با دیگر استان‌ها به همین دلیل دانست. نکته دیگری که می‌توان بیان کرد غلظت قابل توجه ذرات معلق هوا در فصل‌های گرم سال‌های ۲۰۰۳، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ نسبت به بقیه سال‌های مورد بررسی می‌باشد، به عبارتی دیگر غلظت ذرات معلق هوا در فصل تابستان بعضی از سال‌ها بیش‌تر می‌باشد. در مورد دلایل احتمالی این پدیده به مطالعات بیش‌تری نیاز می‌باشد.







شکل ۵- روند تغییرات AOD در استان‌های غربی کشور طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۱ (اخذشده توسط ماهواره ترا).

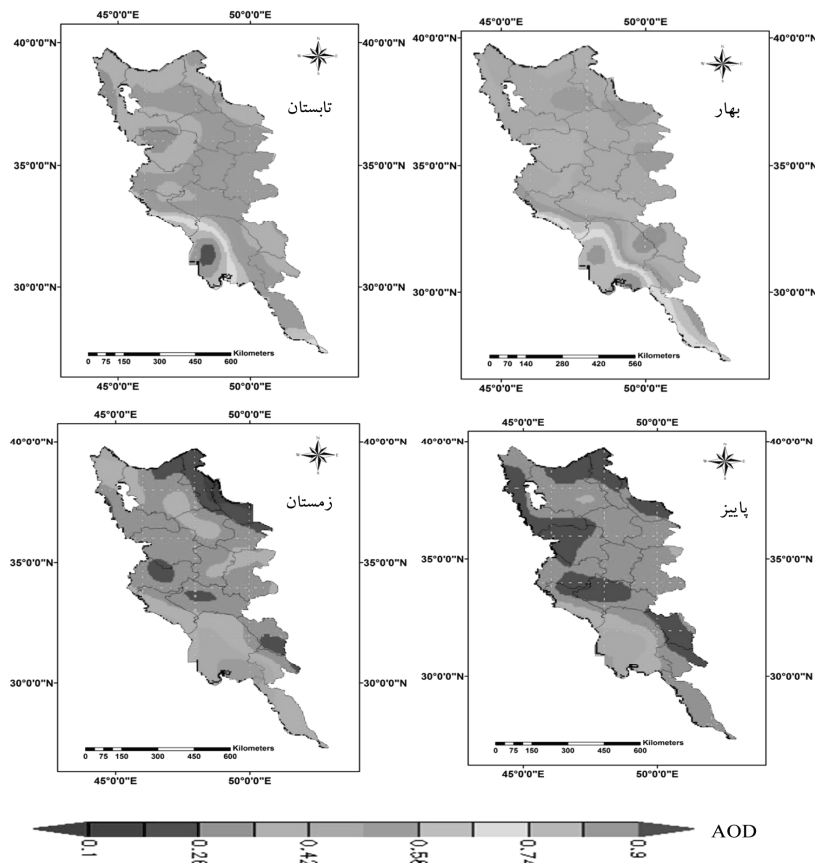
تغییرات فصلی عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) در استان‌های غربی کشور: تغییرات فصلی AOD ماهواره ترا برای استان‌های انتخابی در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس، بیش‌ترین مقدار AOD در همه استان‌های مورد مطالعه و به‌ویژه استان‌های خوزستان، بوشهر و ایلام در فصل تابستان مشاهده می‌شود. همچنین کم‌ترین مقدار AOD در فصل پاییز مشاهده می‌شود. استان خوزستان (0.78 ± 0.22) در طی دوره زمانی نام‌برده و در مقایسه با سایر استان‌ها میانگین بیش‌تری از عمق اپتیکی ذرات معلق هوا را تجربه کرده است. در واقع می‌توان علت افزایش در مقدار ذرات معلق هوا در استان‌های جنوب‌غربی نسبت به شمال‌غربی را به افزایش خشک‌سالی و افزایش طوفان‌های گردوغبار در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۱ مربوط دانست. زراسوندی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی زمانی- مکانی طوفان‌های گردوغبار در سطح استان خوزستان در طی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۹۶ نشان دادند که

تقریباً هر سال نسبت به سال قبل تعدد وقوع طوفان‌های گردوغبار دو روز افزایش یافته است و همچنین تعداد روزهای طوفان گردوغباری در تابستان بیش‌تر از زمستان بوده است. بنابراین می‌توان یکی از علت‌های افزایش AOD در استان خوزستان را به افزایش ذرات معلق به‌دست آمده از وقوع طوفان‌های گرد و غبار نسبت داد. سانگ و همکاران (۲۰۰۹) و هو (۲۰۰۹) بیان کردند که تشکیل ذرات ثانویه آئروسول در اثر فعالیت‌های بشری در مناطق پرجمعیت و صنعتی به‌دست آمده از سوختن سوخت‌های فسیلی، باعث افزایش مؤثر AOD می‌شود. بنابراین، یکی دیگر از علل افزایش AOD را می‌توان به وجود پالایشگاه‌های استخراج نفت و گاز و انتشار دود به‌دست آمده از سوخت آن‌ها در اتمسفر، به‌خصوص در استان خوزستان ارتباط داد. انحراف معیار بالایی در استان خوزستان، بوشهر و ایلام مشاهده شد که نشان از تغییرات قابل‌توجه AOD در این سه استان می‌باشد.

جدول ۱- میانگین عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (AOD) و انحراف معیار آن در فصل‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۰.

استان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
اردبیل	۰/۰۶±۰/۳۴	۰/۰۹±۰/۳۸	۰/۰۵±۰/۱۹	۰/۰۵±۰/۲۲
آذربایجان غربی	۰/۰۷±۰/۳۱	۰/۰۵±۰/۲۸	۰/۰۳±۰/۱۸	۰/۰۷±۰/۳۰
آذربایجان شرقی	۰/۰۶±۰/۴۱	۰/۰۷±۰/۴۰	۰/۰۴±۰/۲۴	۰/۰۷±۰/۳۱
بوشهر	۰/۲۱±۰/۵۳	۰/۳۸±۰/۴۸	۰/۱۱±۰/۳۱	۰/۱۱±۰/۴۰
قزوین	۰/۰۴±۰/۴۴	۰/۰۸±۰/۴۳	۰/۰۴±۰/۲۴	۰/۰۷±۰/۲۹
گیلان	۰/۰۵±۰/۳۸	۰/۰۷±۰/۳۴	۰/۰۴±۰/۱۸	۰/۰۷±۰/۲۳
همدان	۰/۰۵±۰/۳۹	۰/۰۸±۰/۴۱	۰/۰۵±۰/۲۳	۰/۰۶±۰/۲۶
ایلام	۰/۱۱±۰/۵۲	۰/۱۲±۰/۴۷	۰/۰۸±۰/۳۰	۰/۰۷±۰/۳۳
کرمانشاه	۰/۰۶±۰/۳۹	۰/۰۸±۰/۳۹	۰/۰۷±۰/۲۴	۰/۰۶±۰/۲۶
خوزستان	۰/۱۶±۰/۶۹	۰/۲۲±۰/۷۸	۰/۱۲±۰/۴۲	۰/۱۵±۰/۴۳
کهکلیویه و بویراحمد	۰/۰۶±۰/۳۹	۰/۰۸±۰/۳۹	۰/۰۷±۰/۲۴	۰/۰۶±۰/۳۰
کردستان	۰/۰۶±۰/۳۳	۰/۰۷±۰/۳۶	۰/۰۵±۰/۲۰	۰/۰۵±۰/۲۳
لرستان	۰/۰۶±۰/۴۲	۰/۰۹±۰/۴۳	۰/۰۵±۰/۲۵	۰/۰۶±۰/۲۸
مرکزی	۰/۰۴±۰/۴۸	۰/۰۸±۰/۴۵	۰/۰۵±۰/۲۶	۰/۰۶±۰/۳۱
شهرکرد	۰/۰۵±۰/۳۵	۰/۰۷±۰/۳۵	۰/۰۳±۰/۲۱	۰/۰۵±۰/۲۷
زنجان	۰/۰۵±۰/۳۷	۰/۰۷±۰/۳۷	۰/۰۴±۰/۲۲	۰/۰۷±۰/۲۸

تغییرات مکانی AOD در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۱۰ در شکل ۶ نمایش داده شده است. لازم به توضیح است که مناطق سفیدرنگ در تصاویر نشان‌دهنده داده‌های از دست رفته می‌باشد. همان‌گونه که مشخص است در فصل بهار و تابستان بیش‌ترین غلظت ذرات معلق هوا مشاهده می‌شود. به‌علاوه در طی این فصل‌ها مقدار شاخص ذرات معلق هوا بالاست و توزیع AOD در هر چهار فصل به این صورت است که هرچه از استان‌های شمال‌غربی به سمت جنوب‌غربی برویم مقدار AOD افزایش می‌یابد. همچنین هرچه به سمت مرکز کشور پیش برویم مقدار شاخص AOD در هر چهار فصل کاهش می‌یابد. مقادیر موجود در جدول ۱ نیز نشان‌دهنده این مطلب می‌باشد.



شکل ۶- تغییرات مکانی عمق اپتیکی ذرات معلق هوا را در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در طی سال ۲۰۱۱.

نتیجه‌گیری

برای درک بهتر تأثیرات ذرات معلق هوا لازم است که غلظت و توزیع اندازه ذرات آن‌ها به صورت منظم و در مقیاس جهانی مورد پایش قرار گیرد. این عمل در ایستگاه‌های زمینی سنجش آلودگی بسیار مشکل می‌نماید، چون ذرات میکرونی اتمسفر هم از نظر زمانی و هم از نظر مکانی تغییرات شدیدی دارند. به دلیل مشکلات اندازه‌گیری زمینی، روش‌های سنجش از دور می‌تواند روشی مناسب برای تعیین توزیع مکانی-زمانی ذرات معلق اتمسفر باشند. 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 استان خوزستان از سایر استان‌های غربی کشور بسیار بیش‌تر می‌باشد و بنابراین کاهش غلظت این ذرات توجه بیش‌تری را از سوی مسئولین می‌طلبد.

تغییرات AOD در نیمه غربی کشور در استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، قزوین، گیلان و مرکزی در طی دوره نام‌برده روند کاهشی نشان داد، اما در استان‌های ایلام، خوزستان، بوشهر، شهرکرد، زنجان، کردستان، کرمانشاه، کهکویه و بویراحمد، لرستان و همدان در طی دوره زمانی نام‌برده روند افزایشی داشته است. ولی این روند افزایشی در استان خوزستان چشم‌گیر است. همچنین مشاهده شد که هرچه از غرب به شرق و از جنوب به شمال می‌رویم AOD در طی این دوره روند کاهشی داشته است.

همچنین براساس نتایج این مطالعه بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین شاخص AOD تقریباً در همه استان‌ها و به‌ویژه در استان‌های جنوب‌غرب کشور مانند استان خوزستان، بوشهر و ایلام به‌ترتیب در فصل‌های تابستان و پاییز مشاهده شد. استان خوزستان در طی دوره زمانی نام‌برده میانگین بالای عمق اپتیکی ذرات معلق هوا (0.78 ± 0.22) را تجربه کرده است. انحراف معیار بالایی در استان خوزستان، بوشهر و ایلام مشاهده شد که نشان از تغییرات زیاد AOD در این سه استان می‌باشد.

نقشه‌های توزیع AOD در هر چهار فصل در سال ۲۰۱۱ نشان دادند که هرچه از استان‌های شمال‌غربی به سمت جنوب‌غربی می‌رویم مقدار AOD افزایش می‌یابد. همچنین هرچه به سمت مرکز کشور پیش برویم مقدار شاخص AOD در هر چهار فصل کاهش می‌یابد. با توجه به نتایج این مقاله، استفاده از سطح سه محصولات اتمسفری مودیس به‌منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی AOD مناسب می‌باشد.

منابع

1. Acker, J.G., and Leptoukh, G. 2007. Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data, *Eos, Trans.* 88: 2. 14-17.
2. Alam, K., Iqbal, M.J., Blaschke, T., Qureshi, S., and Khan, G. 2010. Monitoring the spatio-temporal variations in aerosols and aerosol-cloud interactions over Pakistan using MODIS data. *Advances in Space Research.* 46: 1162-1176.
3. Aloysius, M., Mohan, M., Babu, S.S., Parameswaran, K., and Moorthy, K.K. 2009. Validation of MODIS derived aerosol optical depth and an investigation on aerosol transport over the South East Arabian Sea during ARMEX-II. *Ann. Geophys.* 27: 2285-2296.
4. Amanollahi, J., Abdullah, A.M., Ramli, M.F., and Pirasteh, S. 2011. Real Time Assessment of Haze and PM 10 Aided by MODIS Aerosol Optical Thickness over Klang Valley, Malaysia. *World Appl. Sci. J.* 14: 8-13.
5. Bartina, H. 2012. Feasibility Study of Satellite Image Use to Determine Dust Concentration and Measurement of Lead and Zinc Concentration. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz.
6. Charlson, R.J., and Heintzenberg, J. 1995. Introduction, in *Aerosol Forcing of Climate: Report of the Dahlem Workshop on Aerosol Forcing of Climate.* Pp: 24-29.
7. Guo, J.P., Zhang, X.Y., Che, H.Z., Gong, S.L., An, X.Q., Cao, C.X., Guang, J., Zhang, H., Wang, Y.Q., Zhang, X.C., Xue, M., and Li, X.W. 2009. Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. *Atmospheric Environment.* 43: 37. 5876-5886.
8. Gupta, P., and Christopher, A. 2008. Seven year particulate matter air quality assessment from surface and satellite measurements. *Atmos. Chem. Phys.* 8: 3311-3324.
9. Kaskaoutis, D.G., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., and Kosmopoulos, P.G. 2008. Study on an intense dust storm over Greece. *Atmospheric Environment.* 42: 6884-6896.
10. Kosmopoulos, P.G., Kaskaoutis, D.G., Nastos, P.T., and Kambezidis, H.D. 2008. Seasonal variation of columnar aerosol optical properties over Athens, Greece, based on MODIS data. *Remote Sensing of Environment.* 112: 2354-2366.
11. Kuniyal, C.J., Thakur, A., Thakur, K.H., Sharma, S., Pant, P., Rawat, S.P., and Moorthy, K.K. 2009. Aerosol optical depths at Mohal-Kullu in the northwestern Indian Himalayan high altitude station during ICARB. *J. Earth Syst. Sci.* 118: 41-48.
12. Li, Z., Khananian, A., Fraser, R.H., and Cihlar, J. 2001. Automatic Detection of Fire Smoke Using Artificial Neural Networks and Threshold Approaches Applied to AVHRR Imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.* 39: 1859-1870.

13. Masuoka, E., Fleig, A., Wolfe, R.E., and Patt, F. 1998. Key characteristics of MODIS data products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 36: 4. 1313-1323.
14. Ogren, J.A. 1995. A systematic approach to in situ observations of aerosol properties, P 216-226. In: R.J. Charlson and J. Heintzenberg (Eds.), *Aerosol Forcing of Climate: Report of the Dahlem Workshop on Aerosol Forcing of Climate*, Berlin.
15. Papadimas, C.D., Hatzianastassiou, N., Mihalopoulos, N., Kanakidou, M., Katsoulis, B.D., and Vardavas, I. 2008. Assessment of the MODIS collections C005 and C004 aerosol optical depth products over the Mediterranean basin. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 9: 2987-2999.
16. Prasad, A.K., Singh, S., Chauhan, S.S., Srivastava, M.K., Singh, R.P., and Singh, R. 2007. Aerosol radiative forcing over the Indo-Gangetic plains during major dust storms. *Atmospheric Environment*. 41: 6289-6301.
17. Remer, L.A., Kaufman, Y.J., Tanré, D., Mattoo, S., Chu, D.A., Martins, J.V., Li, R.R., Ichoku, C., Levy, R.C., Kleidman, R.G., Eck, T.F., Vermote, E., and Holben, B.N. 2005. The MODIS aerosol algorithm, products, and validation. *J. Atm. Sci.* 62: 4. 947-973.
18. Savtchenko, A., Ouzounov, D., Ahmad, S., Acker, J., Leptoukh, G., Koziana, J., and Nickless, D. 2004. Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC. *Advances in Space Research*. 34: 710-714.
19. Song, C., Ho, C., Park, R.J., Choi, Y., Kim, J., Gong, D., and Lee, Y. 2009. Spatial and Seasonal Variation of Surface PM₁₀ Concentration and MODIS Aerosol Optical Depth over China. *A. P. J. Atm. Sci.* 45: 33-43.
20. Tsai, T.C., Jeng, Y.J., Chu, D.A., Chen, J.P., and Chang, S.C. 2009. Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008. *Atmospheric Environment*. 45: 27. 4777-4788.
21. Wilkerson, D. 1991. Dust and sand forecasting in Iraq and adjoining countries. Air Weather Service, Scot Air Force Base, Illinois. Pp: 62225-5008.
22. Zarasvandi, A., Carranza, E.J.M., Moore, F., and Rastmanesh, F. 2011. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (Southwestern Iran). *J. Geochem. Exp.* 111: 138-151.
23. Zarasvandi, A. 2009. Environmental impacts of dust storms in the Khuzestan province. Environmental Protection Agency (EPA) of Khuzestan province, Internal Report, 375p. (In Persian)
24. Zhang, H., and Raymond, M.H. 2009. The Relation between Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Aerosol Optical Depth and PM_{2.5} over the United States: A Geographical Comparison by U.S. Environmental Protection Agency Regions. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 59: 1358-1369.
25. Zhiyong, Hu. 2009. Spatial analysis of MODIS aerosol optical depth, PM_{2.5}, and chronic coronary heart disease. *Inter. J. Health Geograph.* 8: 27-34.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(4), 2014
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Spatio-temporal distribution of atmospheric aerosols in western part of Iran based on MODIS spectral data

H. Bartina¹, Gh.A. Sayyad², *H.R. Matinfar³ and S. Hojati²

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,

²Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Shahid Chamran University of Ahvaz,

³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Lorestan University

Received: 02/02/2013; Accepted: 08/24/2013

Abstract

Unsuitable distribution, installation and maintenance costs for ground monitoring stations are issues in air pollution monitoring. Installed MODIS satellite on Aqua and Terra are able to identify aerosol optical depth (AOD) retrievals in troposphere and can be used for aerosol pollution monitoring in areas such as western Iran. In this study, MODIS level 3 data in Aqua and Terra were used to study the spatio-temporal distribution of aerosols over western Iran in 2000-2011. The results indicated that aerosols variations in Khuzestan Province is different and is much higher than other western Provinces of country. The AOD variation in western part of the country had decreasing trend over Ardabil, East Azerbaijan, West Azerbaijan, Qazvin, Gilan and Markazi Province whereas, AOD variation had increasing trend over Ilam, Khuzestan, Bushehr, Shahrekord, Zanjan, Kurdistan, Kermanshah, Kohkeluye and Boyerahmad, Lorestan and Hamedan Province. However, this trend in Khuzestan Province is significant (0.78 ± 0.22). Khuzestan province has experienced high average of AOD in the period 2000-2011. According to the results obtained, AOD has decreasing trend from west to east and from south to north. Very high average was observed in summer season, particularly in southwestern Provinces such as Khuzestan, Bushehr and Ilam, but lower average was observed in autumn season. Based on the results of this study it seems that using MODIS Level 3 products is appropriate in order to evaluate the AOD spatio-temporal variation.

Keywords: Aqua, Terra, Variation, Aerosol, MODIS

* Corresponding Author; Email: matinfar44@gmail.com

