

تحلیل الگوی رفتاری توفان‌های گردو خاک استان‌های غرب و جنوب‌غرب ایران و ارتباط آن با توفان‌های گردو خاک خاورمیانه

سودابه نامداری^{۱*}، نعمت‌الله کریمی^۲، غلام‌حسن محمدی^۳

۱- دکتری اقلیم‌شناسی ماهواره‌ای، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور

۲- دکتری اقلیم‌شناسی ماهواره‌ای، موسسه تحقیقات آب

۳- دکتری اقلیم‌شناسی، اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۷

تاریخ وصول: ۱۳۹۶/۱/۲۳

چکیده:

توفان‌های گردو خاک در سال‌های اخیر با تشدید بیابان‌زایی در کشورهای عراق، عربستان و سوریه جنبه‌های مختلفی از زندگی مردم را در غرب و جنوب غرب ایران متأثر ساخته است. ذرات معلق موجود در جو سلامت عموم، کیفیت هوا، توازن انرژی زمین و چرخه هیدرولوژی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از این رو، آگاهی از توزیع زمانی- مکانی توفان‌های گردو خاک برای کمی‌سازی این اثرات بسیار مهم می‌باشد. در این مطالعه تلاش شد با استفاده از داده‌های عمق اپتیکی (AOD) سنجنده MODIS، وضعیت توفان‌های گردو خاک در غرب و جنوب غرب ایران بررسی شود. برای رسیدن به اهداف تحقیق پس از آزمون درستی سنجی آماری محصول AOD با استفاده از داده‌های زمینی دید افقی، بررسی و تحلیل تغییرات زمانی سالانه و ماهانه توسط نمایش تغییرات زمانی و کشف روندهای متغیرها در قالب نمودارهای توالی زمانی و همچنین نمایش تغییرات مکانی گردو خاک به صورت نقشه انجام شد. سپس نقشه‌های میانگین توسط داده‌های^۱ ECMWF استخراج شد و سامانه‌های همدیدی تأثیرگذار و تغییرات این سامانه‌ها در دوره‌های فعال توفان‌های گردو خاک در بلند مدت شناسایی شد و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. بررسی نتایج آزمون همبستگی پیرسون برای تعیین میزان همبستگی داده‌های دید افقی میانگین ماهانه و AOD ماهانه نشان دهنده قابلیت بالای داده‌های AOD جهت مطالعه وضعیت گردو خاک در منطقه بود. همچنین نمودار تغییرات AOD استان‌های غرب و جنوب غرب کشور نشان داد استان‌های خوزستان، ایلام، کرمانشاه و کهگیلویه و بویراحمد به ترتیب بیشترین توفان‌های گردو خاک را از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ تجربه کرده‌اند. نتایج نمودار روند تغییرات ماهانه نشان داد از سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۱۲ افزایش قابل توجهی در مقدار AOD در ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن دیده می‌شود. همچنین بررسی ارتباط میان پارامترهای میانگین و انحراف معیار ماهانه AOD بیانگر آن بود، بیشترین نوسانات AOD در ماه‌های گرم سال اتفاق افتاده است که میانگین AOD در آن‌ها بیشتر از سایر ماه‌های سرد سال بوده است. با توجه به روند تغییرات میانگین‌های سالانه و ماهانه AOD و همچنین نقشه‌های میانگین سالانه، روند تغییرات مقدار AOD در موارد بسیاری در بیابان‌های عراق- سوریه مشابه بیابان‌های عربستان بوده است. روند تغییرات AOD ماهانه استان کرمانشاه با بیابان عراق سوریه یکسان بوده است و استان خوزستان نیز در موارد مختلف از بیابان عربستان یا بیابان عراق- سوریه تبعیت می‌کند. با مقایسه نقشه‌های همدیدی آنومالی دوره‌های فعال و غیرفعال به نظر می‌رسد افزایش فعالیت ناوه مدیترانه، فعالیت بیشتر رودباده‌ها در ترازهای فوقانی، به همراه افزایش سرعت وزش باد موجب تشدید قابل ملاحظه فعالیت توفان‌های گردو خاک در ژوئیه ۲۰۰۹ گردیده است. در مقابل، حاکمیت شرایط نرمال همدیدی، کاهش سرعت وزش باد در ترازهای فوقانی و میانی جو به همراه محدودتر شدن سیطره جغرافیایی فعالیت باد شمال و جابجایی آن بر فراز خلیج فارس از عوامل اصلی کاهش فعالیت توفان‌های گردو خاک در ژوئیه ۲۰۱۴ می‌باشند.

کلید واژگان: بیابان‌های عراق- سوریه، بیابان عربستان، توفان‌های گردو خاک، AOD، غرب و جنوب غرب ایران

مقدمه

می‌باشد.

روش معمول و مستقیم کسب اطلاعات در مورد ذرات گردوخاک، استفاده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی می‌باشد. اما به علت پیچیدگی فرایند اندازه‌گیری خصوصیات این ذرات، عمدتاً تأسیس و نگهداری آنها هزینه بالایی را می‌طلبد (Guo et al., 2009). کمبود این‌گونه ایستگاه‌ها، به‌ویژه در مناطق غیر شهری که بخش بزرگی از مساحت هر کشور را تشکیل می‌دهند، از یک طرف و از طرفی صعود ذرات گردوخاک به طبقات بالای جو که ممکن است ذرات گردوخاک را از دسترس پایش توسط ایستگاه‌های مذکور خارج سازند و همچنین نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری‌های زمینی از مشکلات عمده بررسی آنها محسوب می‌شوند. بنابراین به علت سطح وسیعی که توفان‌های گردوخاک در بر می‌گیرند، باندهای متعدد سنجنده‌های ماهواره‌ای و تکرار هدفمند سنجنش، سنجنش از دور ماهواره‌ای بهترین ابزار برای بررسی توزیع مکانی و زمانی گردوخاک محسوب می‌شود (عبدالخانی، ۱۳۸۹؛ Guo et al., 2009). پارامتر AOD تخمینی است از مقدار کاهش نور خورشید در جو توسط ذرات معلق که به علت جذب یا پراکنش نور اتفاق می‌افتد. AOD به عنوان مهمترین پارامتر ذرات معلق جو، فاکتور کلیدی مطالعات اثرات آب و هوایی هواویزها و آلودگی‌های جوی می‌باشد و در زمینه مطالعات ذرات معلق جو کاربرد بسیاری داشته است (Pan et al., 2010). پارامتر AOD قابل اخذ از داده‌های با داده‌های زمینی شید سنج خورشیدی (AERONET) و تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد (Bayat et al., 2011; Khoshsima et al., 2013; Sehatkashani et al., 2016; Gharibzadeh et al., 2017). ماهواره MODIS با ارائه پارامتر کمی AOD می‌تواند راهکار مناسبی برای ردیابی تغییرات کمی غبار در مناطق مختلف باشد به طوری که با پایش بلند مدت غلظت و توزیع گردوخاک، از نظر مکانی و زمانی، موجبات درک بهتر تأثیرات ذکر شده گردوخاک بر نواحی تحت تأثیر را فراهم می‌کند (Song et al., 2008; Alam et al., 2011; YuLei et al., 2013; Namdari et al., 2016). در سال‌های اخیر با توجه به

گردوخاک معدنی در میان ذرات معلق جوی در سطح جهان از نظر جرمی بیشترین فراوانی را دارد و تأثیر قابل توجهی بر اقلیم، چرخه هیدرولوژی و سلامت عمومی دارد (سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۰۰؛ Manninen; Bollen et al. 2009; Madala et al. 2015; Gibson, 2015; et al. 2013; Morelli et al. 2016; Carugno et al. 2016). تاکنون، برای شناسایی گردوخاک، بررسی کانون‌های اصلی، تحلیل رفتار و نحوه شکل‌گیری آنها مطالعات زیادی صورت گرفته است. پیشینه مطالعات علمی در رابطه با هواویزها به سه قرن پیش می‌رسد. اما در سال‌های اخیر به دنبال رخداد‌های مکرر توفان‌های گردوخاک و همچنین آلودگی هوا، بسیاری از دانشمندان از علوم مختلف مطالعه ذرات معلق موجود در جو را مورد توجه قرار داده و از دیدگاه‌های مختلف آنها را مورد پژوهش قرار داده‌اند به ویژه آنکه پیشرفت علم، وجود داده‌های ماهواره‌ای، مدل‌های انتقال و داده‌های جو بالا شرایط را به گونه‌ای فراهم کرده است که امکان مطالعات علمی در این خصوص با دقت مناسبی فراهم شده است.

نتایج مطالعات آماری نشان می‌دهند که پدیده گردوخاک در غرب و جنوب غرب کشور از گذشته تداوم داشته اما در سال‌های اخیر با شدت و تداوم بیشتری رخ داده و گسترش مکانی بیشتری داشته است. بطوری‌که برخی مناطق در سال ۲۰۰۸ نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش دو برابری گردوخاک را تجربه کرده‌اند (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱). جهانبخش و همکاران، (۱۳۹۳). همچنین کانون‌های گردوخاک از نظر تعداد و وسعت در منطقه خاورمیانه در دو دهه اخیر تحت تأثیر فعالیت‌های انسان، کاهش نزولات جوی، کاهش رطوبت و افزایش دما افزایش یافته اند (بوچانی و فاضلی، ۱۳۹۰). بنابراین با توجه به مطالب عنوان شده و اهمیت آثار منفی توفان‌های گردوخاک و همچنین روند افزایش آنها در غرب و جنوب غرب کشور، آگاهی از توزیع زمانی- مکانی ویژگی‌های توفان‌های گردوخاک و نحوه تأثیرپذیری استان‌های غرب و جنوب غرب کشور از گردوخاک بیابان‌های کشورهای همسایه به منظور کمی سازی این اثرات بسیار مهم

برداشت گردوخاک از بیابان‌های همجوار غربی و چگونگی انتشار آنها به ایران از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS از ماهواره‌های Terra, Aqua و همچنین نقشه‌های جوی بهره‌گیری شد.

شمسی‌پور و صفرراد (۱۳۹۰) با هدف شناسایی منابع و کانون‌های برداشت ذرات معلق، الگو، نحوه شکل‌گیری و پراکنش گردوخاک، توفان گردوخاک تیرماه ۱۳۸۸ را با تلفیق مناسبی از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های همدیدی مورد تحلیل قرار داده‌اند. در این مطالعه بررسی همزمان تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های همدیدی برای مطالعه نحوه شکل‌گیری و انتقال گردوخاکها پیشنهاد شده است. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از تصاویر سنجنده‌های MODIS و AVHRR با بررسی چند نمونه از توفان‌های گردوخاک شاخص با استفاده از تصاویر سنجنده‌های مذکور آنها را آشکارسازی کردند و منابع این توفان‌ها، مسیرهای تحت تاثیر و علل همدیدی آنها را مطالعه کردند.

بررسی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد، داده‌های ماهانه AOD در مطالعات زیادی در بسیاری از مناطق جهان جهت اخذ اطلاعات کمی گردوخاک به‌کار گرفته شده. در کشور ایران با وجود اهمیت مطالعات گردوخاک و رخداد‌های متعدد تا این زمان از تکنیک سنجش از دور برای تحلیل تغییرات زمانی و مکانی پدیده گردوخاک در دوره‌های نسبتاً بلند مدت استفاده نشده است و مطالعات انجام شده اغلب به صورت رخداد‌های موردی و یا دوره‌های کوتاه مدت صورت گرفته است، در حالی که تحلیل رخداد‌های متعدد طی دوره زمانی ۱۵-۱۶ ساله می‌تواند شرایطی را فراهم کند که تغییرات ویژگی‌های الگوهای گردش جوی در دوره‌های فعال گردوخاک طی دوره مطالعاتی، تحلیل و ارزیابی شود، این مطلب لزوم انجام این مطالعات را در کشور ایران نشان می‌دهد. بنابراین در این پژوهش تلاش شده است که با توجه به دسترسی به این داده‌ها در بلند مدت (از سال ۲۰۰۰) و همچنین نقشه‌های همدیدی در مقیاس ماهانه رفتار پدیده توفان‌های گردوخاک بر غرب و جنوب غرب کشور تحلیل شود.

در این پژوهش چهار هدف اصلی دنبال می‌شود؛ (الف)

دسترسی به داده‌های نسبتاً بلند مدت AOD و همچنین نقشه‌های همدیدی جوی، مطالعاتی با هدف تحلیل رفتار توفان‌های گردوخاک انجام شده است. راشکی و همکارانش (Rashki et al., 2014) براساس اطلاعات ماهواره‌ای به بررسی تغییرات زمانی-مکانی گردوخاک بر روی منطقه سیستان ایران پرداختند. در این مطالعه الگوی گردوخاک بر روی منطقه خشک سیستان مورد تحلیل قرار گرفت. در این تحقیق از داده‌های ۱۱ ساله AOD سنجنده MISR نصب شده بر روی سکوی Terra (۲۰۱۰-۲۰۰۰) و AOD سنجنده MODIS نصب شده بر روی سکوی Terra (۲۰۰۷-۲۰۰۰) و Aqua (۲۰۰۲-۲۰۱۱) استفاده شد. نتایج نشان دهنده یک چرخه سالانه آشکار در گردوخاک منطقه با یک افزایش حداکثری در فصل تابستان و کاهش در فصل زمستان بود. نوتارو و همکارانش (Notaro et al., 2015) تغییرات درون سالانه تا دهه‌ای فراوانی گردوخاک را در ۳۱ ایستگاه شبه جزیره عربستان در طول سال‌های ۲۰۱۴ بررسی کردند. آنها اظهار داشتند یکی از علل تغییر در این رژیم مربوط است به خشکسالی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۶ که به علت انسو به وجود آمده است. ژینوکس و پو (Ginoux and Pu, 2016) رابطه بین فعالیت‌های گردوخاک سوریه و نوسانات دهه‌ای اقیانوس آرام (PDO) را با استفاده از محصول DOD^۲ به دست آمده از سنجنده MODIS و همچنین داده‌های بازتحلیل شده بررسی کردند. در این مطالعه مشخص شد مقدار بالای DOD بر روی سوریه در طول بهار همراه است با ارتفاع ژئوپتانسیل پایین بر روی اروپا، جنوب شبه جزیره عربستان و شمال شرقی تا شرق آفریقا. آنومالی داده‌های ارتفاعی نشان دهنده آن است که در این دوره‌ها بادهای غربی بر روی حوضه مدیترانه و بادهای جنوبی بر روی جنوب شرق شبه جزیره عربستان موجب حمل گردوخاک از این نواحی به سوریه شده‌اند. همچنین رئیس‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، علل شکل‌گیری گردوخاکهای غربی و گسترش آن را بر ایران بررسی کردند. در این مطالعه شرایط پیدایش و منشاء سیستم‌های گردوخاک با تاکید بر گردوخاکهای فصول بهار و تابستان ۱۳۸۸ که بخش وسیعی از کشور را متاثر نموده بررسی شده است. در این مطالعه جهت شناخت مناطق

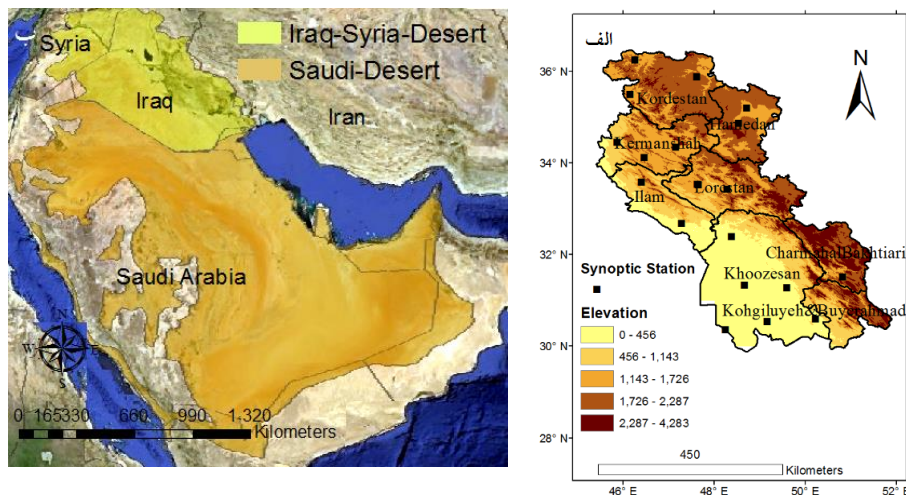
خاورمیانه و بیابان‌های این منطقه به ویژه بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان است، لذا در این پژوهش محدوده مطالعاتی مورد نظر محدوده استان‌های غربی و جنوب غربی کشور (خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال بختیاری، ایلام، لرستان، همدان، کرمانشاه و کردستان) خواهد بود (شکل ۱-الف). شایان ذکر است با توجه به وسعت سامانه‌های اقلیمی تأثیرگذار و همچنین وسعت حوضه نفوذ گردوخاک بدون شک این پژوهش در حوضه‌ای وسیع داده‌های مختلف را مورد تحلیل و ارزیابی قرار خواهد داد. بنابراین با توجه به موقعیت و عرض جغرافیایی متفاوت بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان و تأثیر زیاد این اختلاف موقعیت، در تغییرات شدت توفان‌های گردوخاک، مرز این بیابان‌ها جهت مقایسه روند تغییرات هر یک از آن‌ها استخراج شد (شکل ۱-ب).

درستی سنجی محصول AOD از سنجنده MODIS، (ب) تشخیص روند تغییرات گردوخاک در هریک از استان‌های مورد مطالعه در فاصله سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۰۰، (ج) بررسی ارتباط توفان‌های گردوخاک استان‌های غرب و جنوب غربی به تفکیک از هریک از بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان، (د) تحلیل رفتارهای جوی مؤثر در پدیده توفان‌های گردوخاک.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

گردوخاک پدیده‌ای است فراگیر که محدود کردن آن در مقیاس چند استان نمی‌تواند نشان دهنده منتهی الیه منطقه نفوذ یا چشمه‌های گردوخاک باشد. زیرا بدون شک توفان‌های گردوخاک که غرب و جنوب غرب ایران را متأثر می‌سازد پدیده‌هایی هستند که گاه مقیاس مکانی آن‌ها در سطح



شکل ۱-الف: موقعیت منطقه مورد مطالعه شامل استان‌های واقع در غرب و جنوب غرب ایران و موقعیت ایستگاه‌های همدیدی مورد استفاده ب: موقعیت جغرافیایی بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان

هدف بررسی اعتبار محصول AOD می‌باشد. داده‌های ماهواره‌ای شامل محصول AOD ماهانه تراز ۳ سنجنده MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتر از ماهواره Terra در طول موج ۵۵۰ نانومتر می‌باشد (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data>). AOD در طول موج‌های مختلف تولید می‌شود، به طوری که در طول موج‌های مختلف رفتارهای مشابه دارد، اما در طول موج nm ۵۵۰ همبستگی بالاتری با داده‌های زمینی شید سنج

داده‌ها

در این تحقیق از سه دسته داد که شامل داده‌های زمینی، داده‌های ماهواره‌ای، و همچنین داده‌های شبکه‌ای خروجی اطلاعات مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های هواشناسی برد متوسط (ECMWF)، استفاده شده است. داده‌های زمینی مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های دید افقی ایستگاه‌های هواشناسی (شکل ۱-الف و جدول ۱) با

ترسیم نقشه‌های سطح زمین از میانگین ماهانه فشار سطح دریا (MSLP)^(۱)، باد ۱۰ متری و دمای ۲ متری استفاده شد. در ترسیم نقشه‌های فوقانی با هدف نشان دادن هسته رودها از داده‌های سرعت باد مداری و نصف النهاری استفاده شد. همچنین برای رسم نقشه‌های تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال از ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ و سرعت باد مداری و نصف النهاری استفاده شد. با توجه به فراگیر بودن توفان‌های گردوخاک خاورمیانه و با هدف در نظر گرفتن سامانه‌های جوی مؤثر محدوده در نظر گرفته شده برای استخراج نقشه‌های همدیدی محدوده ۱۰ تا ۴۵ درجه شمالی و ۱۰ تا ۶۵ درجه شرقی در نظر گرفته شد. جهت استخراج و ترسیم نقشه‌ها از نرم‌افزار GRADS استفاده گردید.

خورشیدی (AERONET) دارد (Sayer et al., 2013). از طرفی این طول موج به اوج طیف خورشیدی نزدیک است و بنابراین ارتباط بیشتری با اثرات عمده تابشی دارد (Papadimas et al., 2009). برای ترسیم نقشه‌های همدیدی از داده‌های پیش‌یابی مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان مدت جوی (ECMWF) با تفکیک افقی ۰/۵×۰/۵ درجه استفاده گردید. داده‌های هواشناسی ECMWF از آدرس <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-moda/levtype=sfc> اخذ گردید. همچنین جهت بررسی وضعیت چرخش جوی در این تحقیق از نقشه‌های همدیدی میانگین ماهانه در ترازهای سطح زمین، ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال برای استخراج نقشه‌های فشار استفاده شد. برای

جدول ۱- فهرست ایستگاه‌های همدیدی مورد استفاده در تحقیق

ردیف	نام ایستگاه سینوتیک	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	آبادان	۳۰/۳۶	۴۸/۲۵
۲	اهواز	۳۱/۳۳	۴۸/۶۶
۳	بندر ماهشهر	۳۰/۵۴	۴۹/۱۵
۴	بهبهان	۳۰/۶	۵۰/۲۱
۵	بیجار	۳۵/۸۸	۴۷/۶۲
۶	دهلران	۳۲/۶۸	۴۷/۲۸
۷	دزفول	۳۲/۴	۴۸/۳۸
۸	اسلام آباد	۳۴/۱۱	۴۶/۴۶
۹	ایلام	۳۳/۵۸	۴۶/۳۹
۱۰	کرمانشاه	۳۴/۳۵	۴۷/۱۵
۱۱	کوهرنگ	۳۳/۵۳	۴۷/۶۳
۱۲	کوه‌دشت	۳۳/۵۲	۴۷/۶۴
۱۳	لردگان	۳۱/۵۱	۵۰/۸۱
۱۴	مریوان	۳۵/۴۹	۴۶/۱۵
۱۵	رامهرمز	۳۱/۲۷	۴۹/۵۹
۱۶	سقز	۳۶/۲۵	۴۶/۲۶
۱۷	سرپل زهاب	۳۴/۴۵	۴۵/۸۶
۱۸	همدان_فرودگاه	۳۴/۸۶	۴۸/۵۳
۱۹	همدان-نوژه	۳۵/۲	۴۸/۷۱
۲۰	خرم آباد	۳۳/۴۳	۴۸/۲۸

سنجی آماری توسط داده‌های زمینی دید افقی صورت پذیرفت. یکی از روابطی که جهت تحلیل پیوستگی مکانی در

روش تحقیق

در ابتدا جهت تعیین میزان اعتبار محصول AOD، درستی

۵۰۰ هکتوپاسکال استخراج شد و سامانه‌های همدیدی تأثیر گذار و تغییرات این سامانه‌ها در دوره‌های فعال توفان‌های گردوخاک در بلند مدت شناسایی شد و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

نتایج

در این بخش، تلاش شد تا با بکارگیری روش‌های تفسیری نمودارها و نقشه‌ها و تحلیل‌های آماری بتوان به اهداف پژوهش حاضر نزدیک شد.

درستی‌سنجی داده‌های ماهانه AOD براساس داده‌های

دید افقی

همانطور که در بخش قبل عنوان شد، از آزمون همبستگی پیرسون با هدف مشخص کردن میزان همبستگی داده‌های دید افقی میانگین ماهانه و AOD ماهانه انجام شد. داده‌های دید افقی ماهانه از تبدیل داده‌های سه ساعته دید افقی به داده‌های میانگین ماهانه ۲۰ ایستگاه همدیدی در محدوده غرب و جنوب غرب به دست آمد (جدول ۲) و سپس مقادیر ماهانه دید افقی هر ایستگاه با مقدار AOD هر کدام از پیکسل‌های متناظر مقایسه گردید. نمودار پراکنش همبستگی در شکل ۲ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، مقدار همبستگی $0/546 -$ می‌باشد، به طوری که با $P = 0/000$ Value= در سطح ۱٪ معنا دار می‌باشد. این نتیجه نشان دهنده آن است با توجه به آنکه محصول AOD ماهانه دارای قدرت تفکیک مکانی ۱ درجه می‌باشد و مقایسه آن با ایستگاه‌های هواشناسی که دید افقی را به صورت نقطه‌ای به دست می‌دهند، انتظار می‌رود ارتباط چندان زیادی را عرضه نکند. از طرفی داده‌های دید افقی خود یک پارامتر تخمینی می‌باشد و سنجش آن با کمک ابزارهای دقیق صورت نگرفته است، همچنین باید در نظر داشت، جهت محاسبه پارامتر دید افقی، کاهش دید ناشی از غلظت هواویزها در راستای افقی اندازه گیری می‌شود، این در حالیست که عمق نوری هواویزها در طول موج ۵۵۰ نانومتر مبین میرایی پرتو نور بدلیل وجود هواویزها در عبور از ستون جو و در راستای قائم است، بنابراین مقدار همبستگی $0/546 -$ نشان دهنده ارتباط قابل

تحلیل‌ها استفاده می‌شود نمودار پراکنندگی است. یک آماره برای خلاصه کردن این مشخصه ضریب همبستگی (R) است. هنگامی که ابر نقاط بزرگ‌تر می‌شود، ضریب همبستگی کاهش می‌یابد. پس از تایید نرمال بودن داده‌های میانگین ماهانه دید افقی و AOD آزمون همبستگی پیرسون برای تعیین میزان همبستگی داده‌های دید افقی میانگین ماهانه و AOD ماهانه انجام شد.

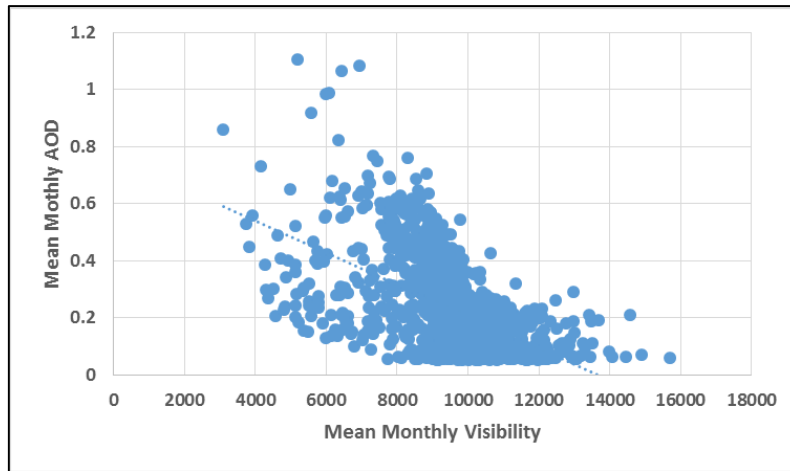
نمایش تغییرات زمانی و کشف روندهای متغیرها در قالب نمودارهای سری زمانی میسر گردید. در مرحله بعد بررسی و تحلیل تغییرات زمانی سالانه و ماهانه در منطقه مورد مطالعه (خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال بختیاری، ایلام، لرستان، همدان، کرمانشاه و کردستان) و بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۵ انجام گرفت تا نحوه تأثیر پذیری و میزان تأثیرپذیری هریک از استان‌ها تعیین شود.

همچنین جهت تشخیص میزان تأثیرپذیری استان‌های غربی و جنوب غرب کشور از گردوخاک وارد شده از بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان، دو استان کرمانشاه و خوزستان به عنوان نماینده دو موقعیت جغرافیایی غرب و جنوب غرب کشور انتخاب شدند و روند تغییرات میانگین AOD این دو استان با مقدار تغییرات بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان در ماه‌های مختلف مقایسه شد.

با هدف نمایش و تحلیل مکانی تغییرات نسبی غلظت گردوخاک در محدوده مورد مطالعه، نقشه میانگین تغییرات استخراج شد. جهت نمایش تغییرات مکانی گردوخاک به صورت نقشه از قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ استفاده گردید. در مرحله اول جهت به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای MODIS در محیط نرم‌افزار ArcGIS، تصاویر دانلود شده توسط اکستنشن‌های مربوط به این تصویر زمین مرجع شده و تغییر فرمت داده شد سپس هر نقشه براساس روش انحراف استاندارد طبقه‌بندی شد. با استفاده از روش انحراف استاندارد می‌توان مقدار تغییرات هریک از پیکسل‌ها را از میانگین منطقه تشخیص داد و بدین ترتیب به طور نسبی نحوه تغییرات میانگین گردوخاک را در منطقه بررسی کرد.

در پایان نقشه‌های همدیدی در ترازهای سطح زمین، ۲۵۰ و

قبول این دو داده است.

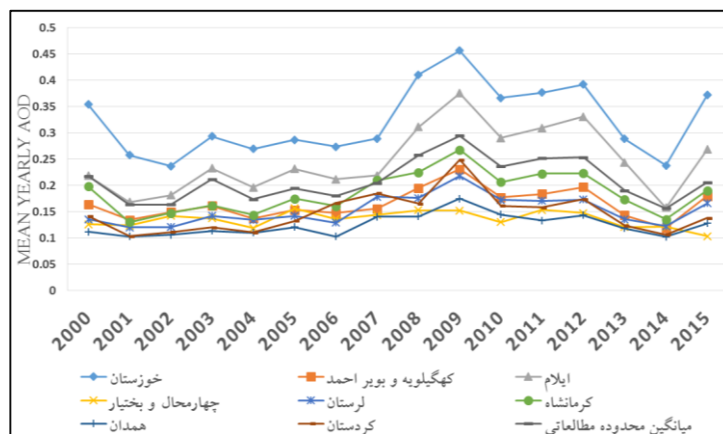


شکل ۲- نمودار پراکنش همبستگی داده‌های میانگین ماهانه دید افقی و AOD (۲۰۰۰ الی ۲۰۱۰)

گردوخاک قرار گرفته‌اند. سپس استان‌های کرمانشاه و کهگیلویه و بویر احمد به ترتیب بیشترین توفان‌های گردوخاک را تجربه کرده‌اند. استان کردستان و لرستان نیز با نوساناتی پس از کهگیلویه و بویر احمد بیشترین تأثیر را از توفان‌های گردوخاک گرفته‌اند. اگرچه AOD در استان همدان از نظر مقدار کمترین تأثیر را پذیرفته است اما روند تغییرات با روند تغییرات AOD در دیگر استان‌های نامبرده مشابه است. براساس شکل ۳ در میان استان‌های مورد مطالعه استان چهارمحال و بختیاری از پدیده توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب‌غرب کشور تأثیر پذیرفته است و در طول دوره مورد مطالعه با وجود نوساناتی روند یکنواختی از نظر مقدار AOD داشته است.

روند تغییرات سالانه و ماهانه AOD

با مقایسه روند تغییرات AOD استان‌های مختلف توسط نمودار روند تغییرات سالانه، شدت گردوخاک در هریک از استان‌ها آشکار می‌شود. این یافته‌ها خود امکان پیش بینی اثرات ثانویه این توفان‌ها مانند سلامت عمومی و اثرات اقلیمی را فراهم می‌کند. شکل ۳ روند تغییرات AOD را در طول دوره مطالعاتی به تفکیک هریک از هشت استان مورد مطالعه و همچنین میانگین سالانه AOD را در کل محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد استان خوزستان در رتبه اول و استان ایلام به عنوان استان دوم با اختلاف زیادی نسبت به سایر استان‌ها مورد هجوم پدیده



شکل ۳- نمودار تغییرات سالانه AOD در استان‌های مورد مطالعه

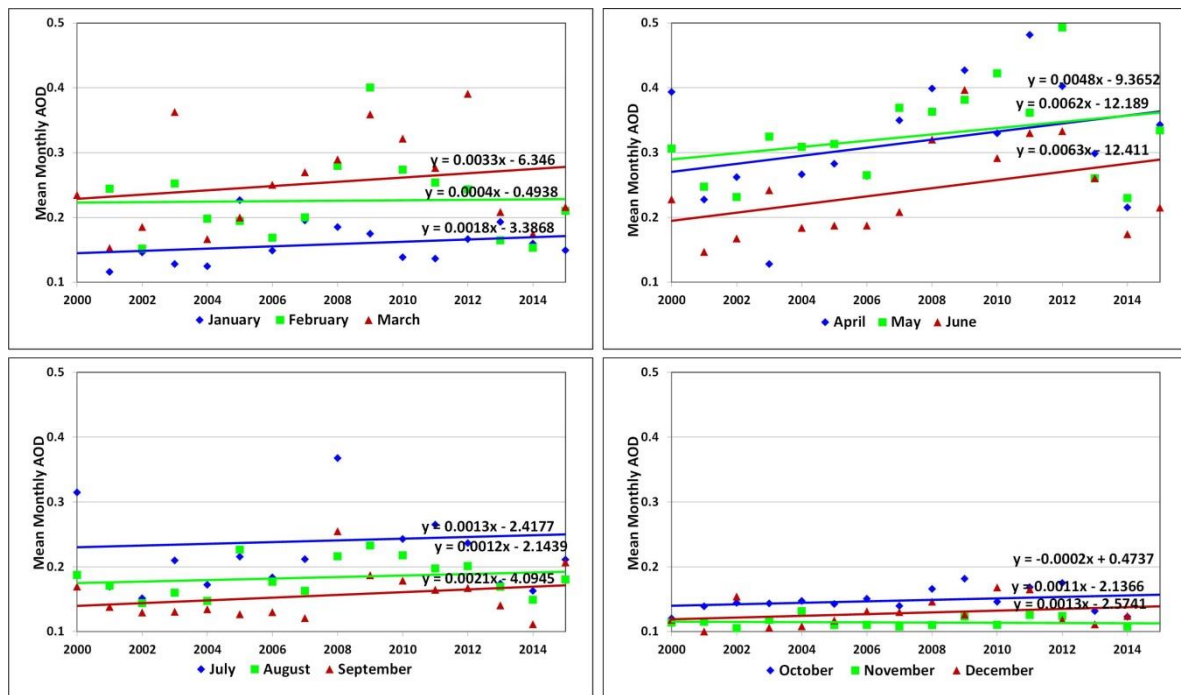
در هفت استان محدوده مطالعاتی از یک روند تبعیت می‌کند،

با توجه به آنکه شکل ۳ این مطلب را که تغییرات گردوخاک

مانند عوامل هم‌مدیدی رفتارهای مشابهی در این ماه داشته‌اند. همچنین ماه‌های فوریه، ژوئن، ژوئیه و سپتامبر نیز روند تغییرات نسبتاً مشابه دارند. همانطور که در شکل ۴ دیده می‌شود علی‌رغم افزایش نسبی که به صورت بصری در برخی سال‌ها در ماه‌های فوریه و ژوئیه دیده می‌شود، روند تغییرات ماه‌های فوریه و ژوئیه نسبت به ماه‌های ذکر شده دارای شیب کمتر و روند افزایشی کمتر می‌باشد. علت این مسئله آن است که در این ماه‌ها از ابتدای دوره مطالعاتی در برخی سال‌ها مقدار AOD بالا بوده است. به عنوان مثال ماه فوریه در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ و ماه ژوئیه در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ مقدار AOD عدد نسبتاً بالایی را نشان می‌دهد.

تأیید می‌کند، بنابراین برای بررسی روند تغییرات ماهانه گردوخاک از میانگین محدود مطالعه‌ای استفاده شد تا نحوه تغییرات شدت گردوخاک در ماه‌های مختلف آشکار شود. با توجه به شکل ۴ از سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۱۲ افزایش قابل توجهی در مقدار AOD در ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن دیده می‌شود. در ماه می و آوریل در مقایسه با ماه‌های دیگر، بیشترین توفان‌های گردوخاک اتفاق افتاده است. پس از آنها ماه‌های مارس و ژوئن بیشترین رخداد گردوخاک را داشته‌اند.

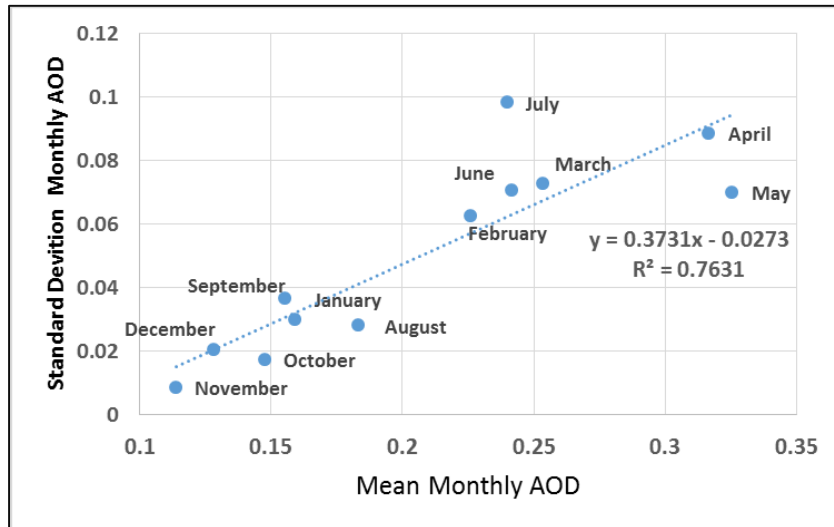
از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ ماه مارس و می دارای روند تغییرات مشابهی از نظر AOD بوده‌اند و به نظر می‌رسد پارامترهایی



شکل ۴- نمودار تغییرات ماهانه AOD در منطقه مورد مطالعه

تجربه کرده‌اند. بیشترین نوسانات AOD در ماه‌های گرم سال یعنی ژوئیه و آوریل اتفاق افتاده است و کمترین مقدار در اوایل فصل سرد یعنی ماه‌های نوامبر، اکتبر و دسامبر روی داده است.

با هدف بررسی ارتباط میان نوسانات گردوخاک با مقدار متوسط آن میزان همبستگی این دو پارامتر به دست آمد. شکل ۵ رابطه میان میانگین‌ها و انحراف استاندارد را نشان می‌دهد. مقدار $R^2=0.76$ نشان دهنده آن است که ماه‌هایی که مقدار AOD بیشتری داشته‌اند مقدار نوسانات بالاتری را

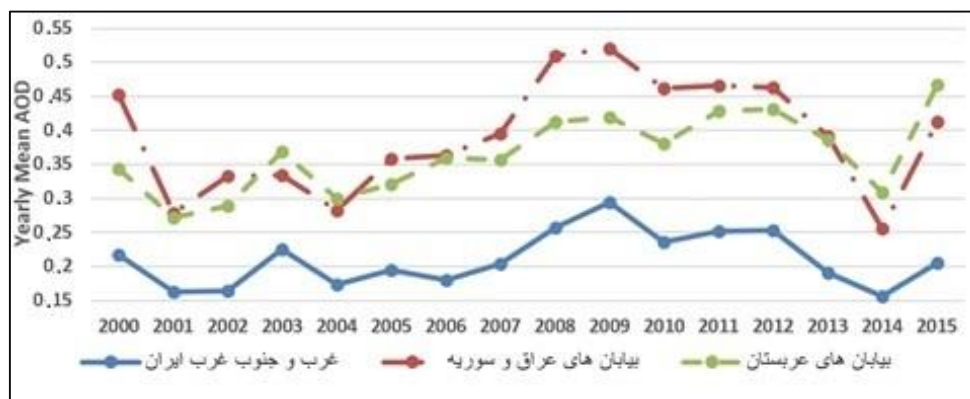


شکل ۵- همبستگی میان میانگین و انحراف معیار AOD ماهانه

مقایسه شد (شکل ۶). میانگین سالانه AOD نشان می‌دهد روند تغییرات در بسیاری از سال‌ها (به‌استثنا سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷) در بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان تقریباً یکسان است، به طوری که در مواردی مقدار AOD در بیابان‌های عراق-سوریه روند کاهشی بیشتری داشته است. با توجه به شکل ۴ که نشان می‌دهد توفان‌های گردوخاک در هشت ماه فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر اتفاق افتاده‌اند، برای بررسی توزیع مکانی توفان‌های گردوخاک در ۱۶ سال اخیر میانگین این ماه‌ها به دست آمد و با استفاده از روش انحراف از میانگین تغییرات AOD به نمایش درآمد (شکل ۷). با توجه به شکل ۷ در سال ۲۰۰۰ افزایش شدت توفان‌های گردوخاک در غرب ایران مربوط به بیابان‌های عراق-سوریه بوده است.

بررسی ارتباط توفان‌های گردوخاک غرب و جنوب-غرب ایران از بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان

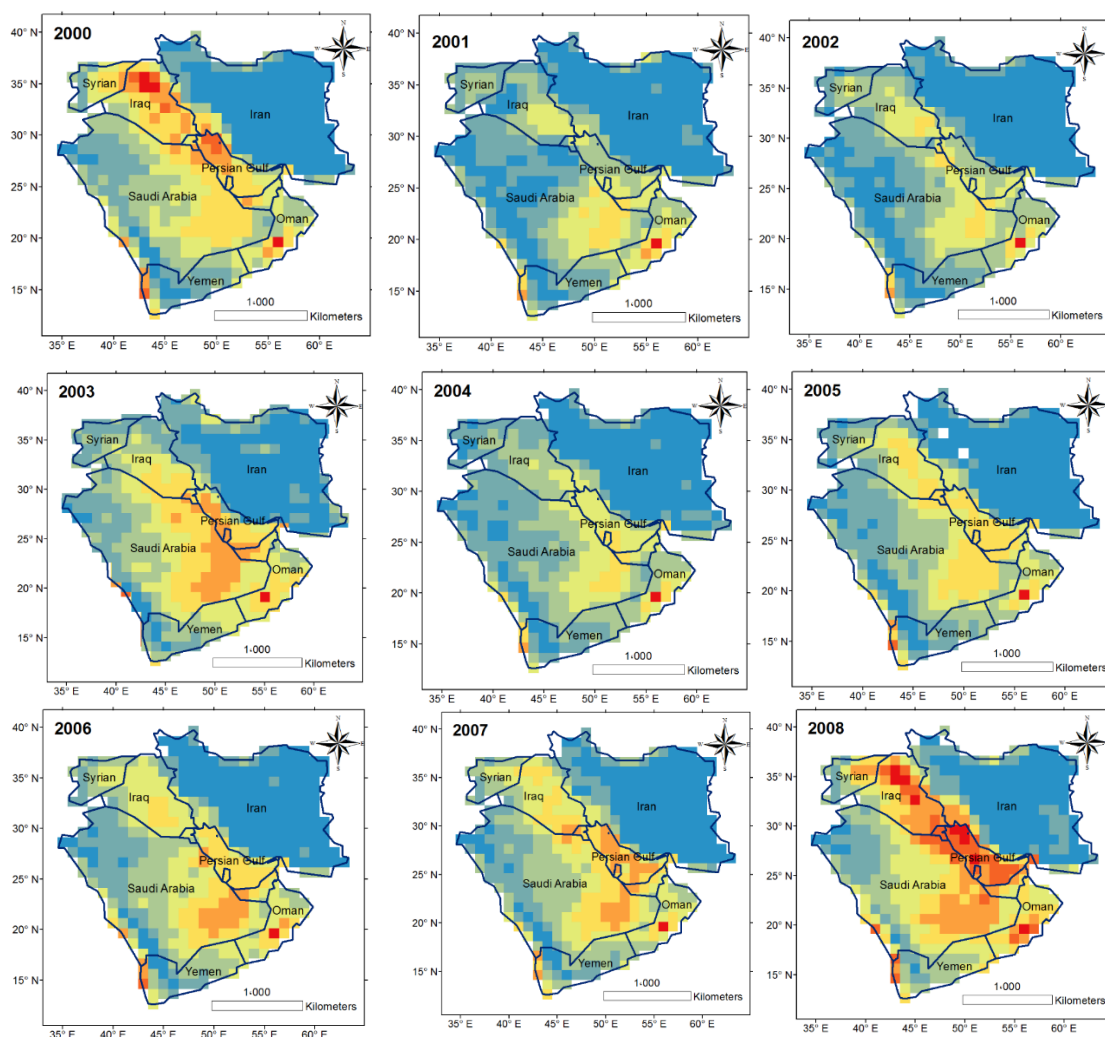
در سال‌های اخیر به علت افزایش توفان‌های گردوخاک در غرب و جنوب‌غرب ایران بحث‌های زیادی در رابطه با علل مختلف افزایش این پدیده مطرح شده است. یکی از علل را احداث سد در کشورهای عراق و سوریه در مسیر رودهای دجله و فرات می‌دانند. بنابراین با هدف تحلیل میزان تأثیر گذاری هر یک از بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان در رخداد‌های گردوخاک غرب و جنوب‌غرب ایران با مقایسه تغییرات شدت توفان‌های گردوخاک در بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان، میانگین سالانه محدوده مطالعاتی و بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان در یک نمودار

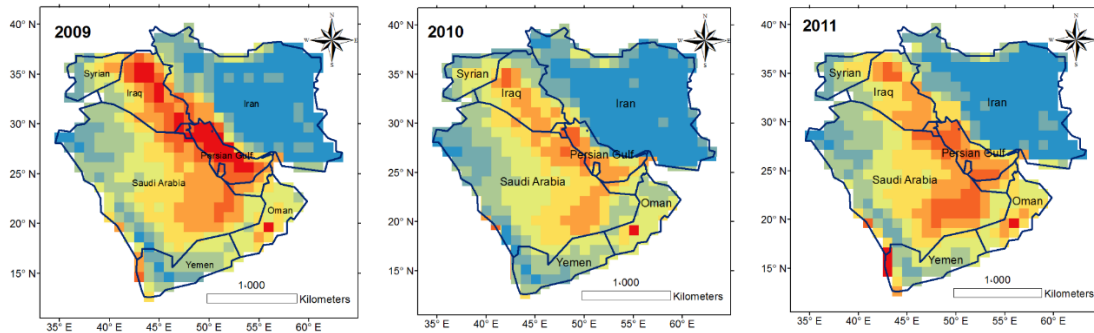


شکل ۶- نمودار تغییرات سالانه AOD در بیابان‌های عربستان، بیابان‌های عراق و سوریه و غرب و جنوب‌غرب ایران

بیابان‌های عربستان شدت بیشتری داشته است. از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ روند افزایشی در AOD در همه بیابان‌های منطقه وجود داشته و پس از آن روند معکوسی در مقدار AOD دیده می‌شود. لازم به ذکر است اختلاف در مقدار AOD استخراج شده در شکل ۶ با شکل ۷ به علت آن است که میانگین AOD در شکل ۶ شامل ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر نمی‌باشد، بنابراین در شکل ۶ مقدار میانگین AOD سال ۲۰۱۵ در مقایسه با دیگر سال‌ها به صورت اغراق آمیزی نشان داده شده است.

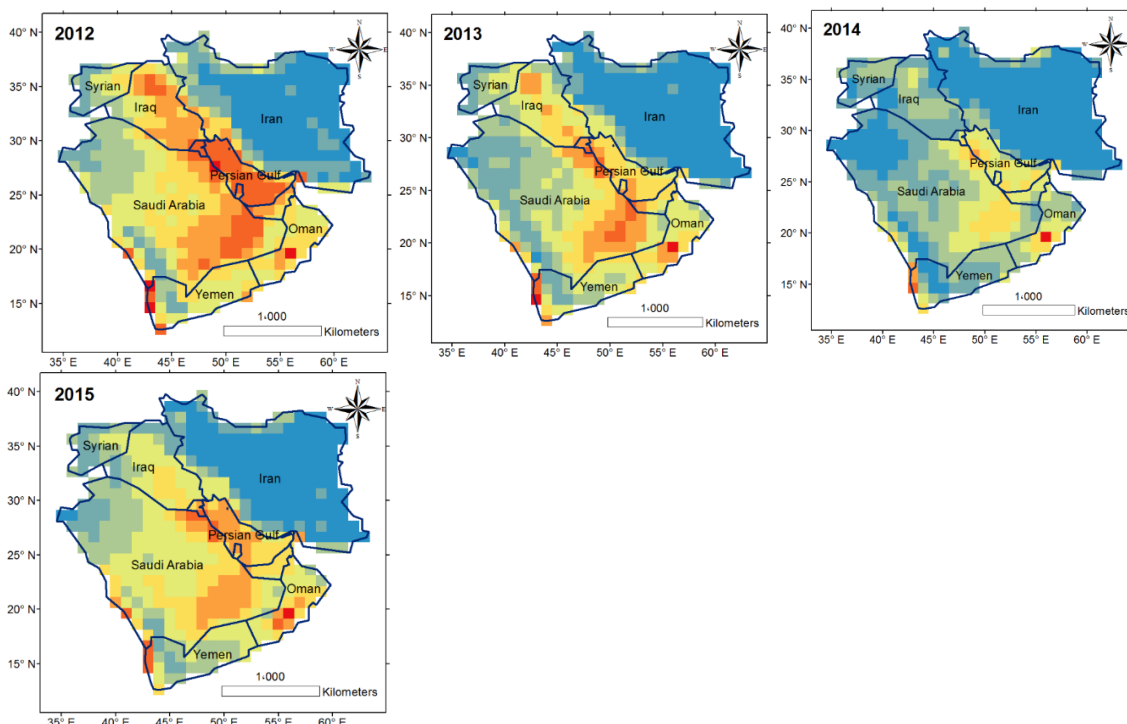
آنچه که از مطالعه شکل ۷ به دست می‌آید تأیید کننده نتایج به دست آمده از نمودار شکل ۶ می‌باشد. به طوری که در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ شدت گردوخاک تولید شده در بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان ضعیف بوده و در سال ۲۰۰۳ میزان AOD در منطقه افزایش یافته است، این افزایش در بیابان‌های عربستان بیشتر از بیابان‌های عراق-سوریه بوده است. سال ۲۰۰۴ نیز همانند سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ مقدار AOD در منطقه کاهش یافته است. از سال ۲۰۰۵ مقدار AOD در منطقه روبه افزایش نهاده است. این افزایش تا سال ۲۰۰۷ در





شکل ۷- توزیع مکانی توفان‌های گردوخاک در ۱۶ سال اخیر میانگین ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت و

سپتامبر



ادامه شکل ۷- توزیع مکانی توفان‌های گردوخاک در ۱۶ سال اخیر میانگین ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن، ژوئیه، اوت و

سپتامبر

استان با موقعیت جنوب غرب ایران) و روند تغییرات میانگین AOD این دو استان با مقدار تغییرات شاخص AOD بیابان-های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان در ماه‌های مختلف مقایسه شد. آنچه که مشخص است در ماه‌های مختلف تحت تاثیر تغییرات چرخش جوی رفتار و نحوه تاثیر پذیری غرب و جنوب غرب ایران از بیابان‌های کشورهای همسایه متفاوت خواهد بود. بنابراین بررسی روند تغییرات در ماه‌های مختلف امکان تحلیل این ارتباط را فراهم خواهد کرد. معیار شباهت شیب نمودار تغییرات طی دوره مطالعاتی می‌باشد.

بررسی ارتباط توفان‌های گردوخاک غرب ایران و جنوب غرب ایران (به تفکیک) از بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان

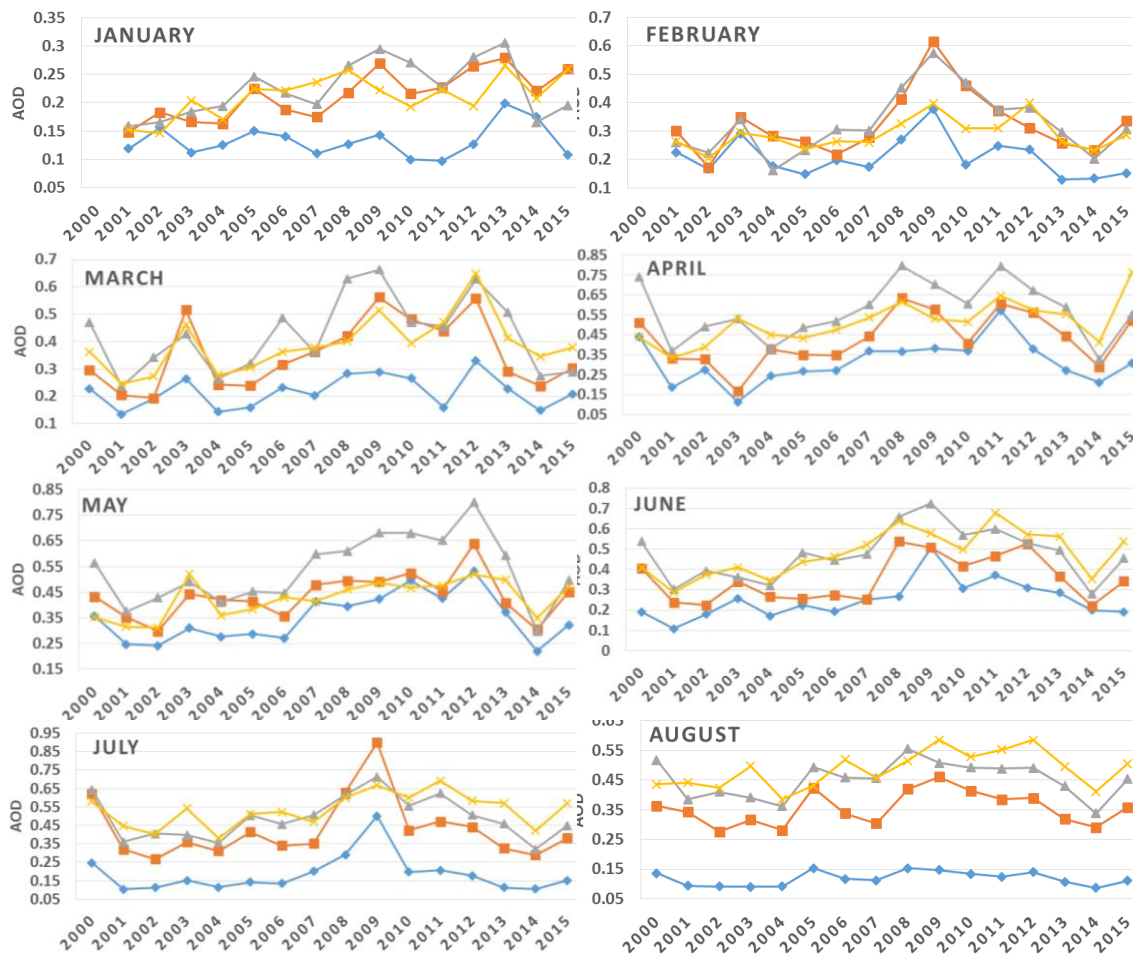
با هدف تشخیص میزان تاثیرپذیری استان‌های غربی و جنوب غرب کشور به تفکیک از بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان، دو استان کرمانشاه و خوزستان به عنوان نماینده این دو موقعیت جغرافیایی انتخاب شدند (استان کرمانشاه به عنوان استان با موقعیت غرب و استان خوزستان به عنوان

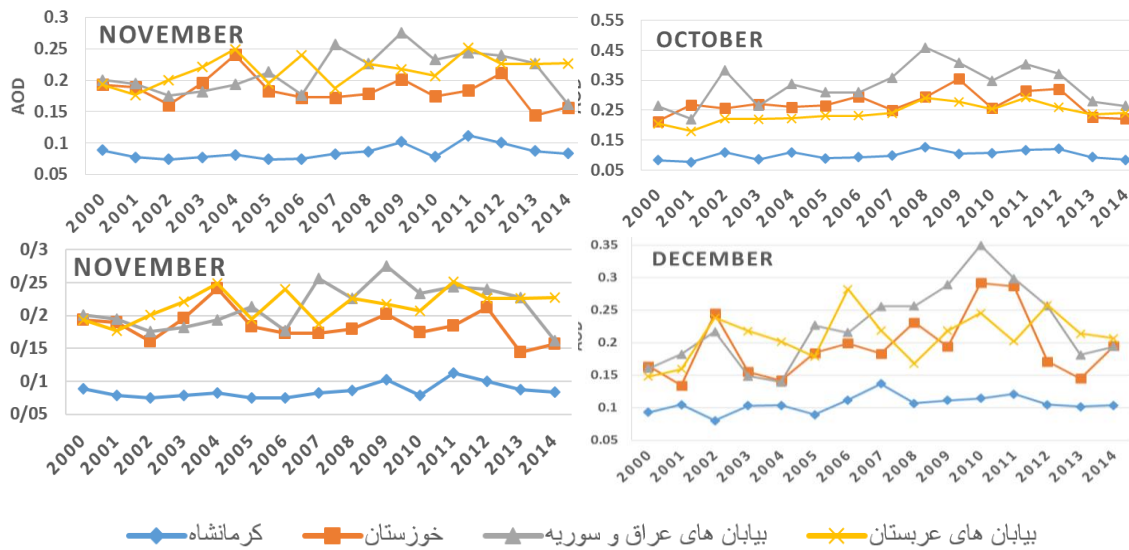
مشابهی با روند تغییرات بیابان‌های عراق-سوریه دارد. در ماه ژوئن نیز همانند فوریه شیب تغییرات استان خوزستان و بیابان‌های عربستان دارای شباهت بیشتری است (به عنوان مثال در سال ۲۰۰۹) و استان کرمانشاه نیز از نظر روند تغییرات رفتار مشابهی با روند تغییرات بیابان‌های عراق-سوریه دارد. در ماه ژوئیه شباهت بسیار زیاد روند تغییرات AOD در بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان امکان تشخیص میزان تاثیرگذاری آنها را بر روی نیمه غرب و جنوب غرب نمی‌دهد.

در ماه می علی‌رغم شباهت بسیار زیاد روند تغییرات AOD در کرمانشاه و بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان، نوسانات در استان خوزستان نسبت به سایر ماه‌ها شباهت کمتری با سایر پلی‌گون‌ها دارد و شیب تغییرات دارای تفاوت بیشتری می‌باشد.

در ماه ژانویه ضمن شباهت بسیار زیاد روند تغییرات گردوخاک در بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان، شکل ۸ نشان می‌دهد روند تغییرات AOD در استان‌های خوزستان و کرمانشاه در همه سال‌ها شباهت بیشتری با بیابان‌های عراق-سوریه دارد. در ماه فوریه شیب تغییرات استان خوزستان و بیابان‌های عربستان دارای شباهت بسیار زیادی است و استان کرمانشاه نیز از نظر روند تغییرات رفتار مشابهی با روند تغییرات بیابان‌های عراق-سوریه دارد. در ماه مارس نیز رفتار تغییرات بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان بسیار شبیه می‌باشد و شیب تغییرات AOD در این دو استان در مقایسه با بیابان‌های مذکور به یک اندازه می‌باشد.

در ماه آوریل شیب تغییرات AOD استان خوزستان در بسیاری از سال‌ها (۲۰۰۲ و ۲۰۰۷) که شیب تغییرات بیابان عراق-سوریه و عربستان متفاوت است از بیابان عراق-سوریه تبعیت می‌کند. روند تغییرات AOD استان کرمانشاه نیز رفتار





شکل ۸- نمودار تغییرات ماهانه AOD بیابان‌های عربستان، بیابان‌های عراق و سوریه و غرب و جنوب غرب ایران

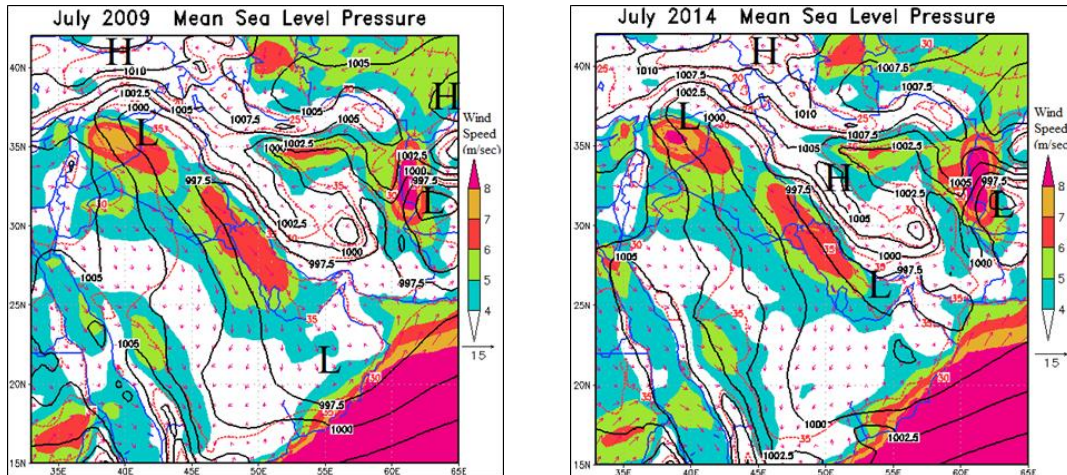
ترازهای سطح زمین، ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال استخراج شد. با توجه به نمودارهای شکل ۸ ماه ژوئیه در سال ۲۰۰۹ به عنوان یک دوره فعال توفان‌های گردوخاک و ماه ژوئیه سال ۲۰۱۴ به عنوان یک دوره غیر فعال انتخاب شد. از طرف دیگر شکل ۷ نشان می‌دهد در سال ۲۰۰۹ توفان‌های گردوخاک در کل بیابان‌های منطقه مشاهده می‌شود، در حالی که در سال ۲۰۱۴ توفان‌های گردوخاک در نیمه شرقی شبه جزیره عربستان متمرکز شده‌اند.

بررسی نقشه‌ی همدیدی تراز سطح زمین در سال ۲۰۰۹ (شکل ۹- سمت چپ) نشان دهنده استیلای زبانه کم‌فشار حرارتی هند-پاکستان از مسیر تنگه هرمز و خلیج فارس به سمت عراق، سوریه است که تا مناطق مرکزی ترکیه گسترش یافته است. در چنین شرایطی زبانه کم‌فشار حرارتی باعث فرارفت هوای گرم عرض‌های جنوبی به سمت شمال غرب تا جنوب ترکیه می‌شود به طوری که خط همدمای ماهانه ۳۵ درجه سانتیگراد در امتداد زبانه کم‌فشار تا عرض ۳۵ درجه شمالی نفوذ می‌کند. از سوی دیگر سامانه پرفشاری با میانگین فشار ۱۰۱۲/۵ هکتوپاسکالی در شمال کشور ترکیه مشاهده می‌شود که از مسیر شمال غرب ایران و رشته کوه زاگرس تا تنگه هرمز زبانه ایجاد کرده است که ارتفاعات زاگرس باعث فرارفت هوای خنک عرض‌های بالا در امتداد زبانه پرفشار شده است.

در ماه اوت استان کرمانشاه اگرچه از نظر روند تغییرات AOD شباهت زیادی با تغییرات بیابان‌های عراق-سوریه دارد اما کاهش AOD این استان نسبت به سایر پلی‌گون‌ها چشمگیر است. استان خوزستان در سال ۲۰۰۳ همانند بیابان عربستان افزایش نسبی در مقدار AOD داشته و در سال ۲۰۰۶ روند مشابه با بیابان‌های عراق-سوریه داشته است، در سایر سال‌ها روند تغییرات AOD در این سه محدوده مشابه می‌باشد. در ماه سپتامبر و اکتبر در استان کرمانشاه به استثنای سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ مقدار AOD نسبتاً ثابت می‌باشد. شیب تغییرات AOD این ماه در سال‌های پیش از ۲۰۰۸ نامحسوس است و تغییرات AOD استان خوزستان، بیابان‌های عراق-عربستان و بیابان‌های عربستان از شباهت زیادی برخوردارند.

تحلیل رفتارهای جوی موثر در پدیده توفان‌های گردوخاک

با توجه به گستردگی مبحث شرایط اقلیمی موثر در بروز توفان‌های گردوخاک، بهترین روش پیدا کردن تأثیر گردش جوی بر ایجاد توفان‌های گردوخاک مقایسه وضعیت همدیدی یک ماه ویژه در دو دوره فعال و غیر فعال با هم می‌باشد. برای رسیدن به این هدف نقشه‌های آنومالی ماهانه (متوسط ماهانه نسبت به دوره ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۱)) در

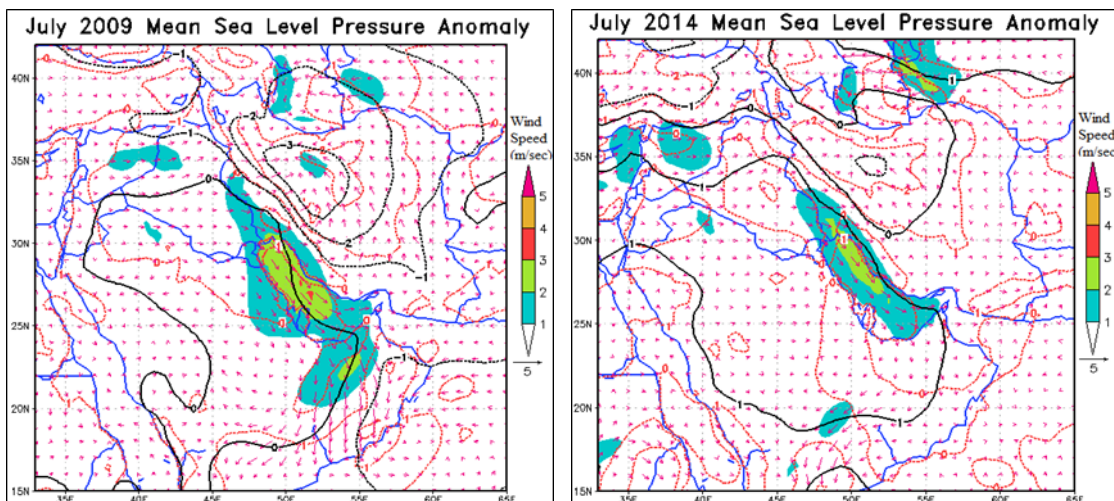


شکل ۹- نقشه ترکیبی همدیدی از میانگین ماهانه تراز سطح زمین در ژوئیه ۲۰۰۹ (سمت چپ) و ۲۰۱۴ (سمت راست). در این نقشه سایه رنگ‌ها میانگین سرعت وزش باد در سطح زمین براساس راهنما هستند، بردارهای باد میانگین سمت و سرعت باد در سطح زمین؛ خطوط ممتد سیاه میانگین فشار سطح دریا و خط‌چین‌های قرمز میانگین درجه حرارت هوا را برحسب درجه سانتی‌گراد نمایش می‌دهند.

زاگرس مرکزی شکل گرفته است. در این ماه نیز جریان باد شمال به خوبی قابل تشخیص است. همانطور که در نقشه‌ها نیز مشخص است استفاده از این نقشه نمی‌تواند به طور واضح تفاوت‌های همدیدی ژوئیه ۲۰۰۹ را با ژوئیه ۲۰۱۴ تشخیص داد. لذا برای یافتن علل همدیدی تفاوت فعالیت توفان‌های گردوخاک از نقشه‌های آنومالی تراز سطح زمین و ترازهای میانی و فوقانی جو نیز استفاده شد. در شکل ۱۰ نقشه‌های آنومالی شرایط همدیدی تراز سطح زمین در ژوئیه ۲۰۰۹ (سمت چپ) و ۲۰۱۴ (سمت راست) ارائه شده است. همانطور که در نقشه‌ها مشخص است در ژوئیه ۲۰۰۹ میانگین فشار سطح دریا (MSLP) در غرب ایران به میزان ۳ هکتوپاسکال نسبت به میانگین دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ کاهش یافته و همچنین میانگین دما ۲ درجه سانتیگراد افزایش نشان داده است. هر چند که آنومالی میانگین فشار در محدوده وزش باد شمال صفر است اما به سبب کاهش میانگین فشار (که حاکی از افزایش فعالیت سامانه کم‌فشار حرارتی در این منطقه است)، در میانگین سرعت وزش باد در مرزهای عراق و سوریه و جنوب شرق عراق و خلیج فارس به میزان ۲ تا ۳ متربرثانیه در میانگین ماهانه، افزایش مشاهده شده است.

در چنین شرایط شیوفشاری و دمایی چشمگیری بین زبانه کم‌فشار با حاشیه خود برقرار می‌گردد که باعث وزش باد در امتداد آن می‌شود که این باد در اصطلاح به «باد شمال» معروف است. وزش این باد در نقشه‌های همدیدی در موقعیت جغرافیایی سوریه، عراق و نیمه غربی خلیج فارس به خوبی قابل تشخیص است. براساس یافته علمی جدید (محمدی، ۱۳۹۴) این باد یکی از عوامل اصلی کنترل کننده شدت فعالیت توفان‌های گردوخاک در محدوده‌ی بیابان‌های سوریه، عراق و بخشهایی از شمال عربستان سعودی است. بدین جهت هرگونه تغییر در شدت وزش باد شمال باعث افزایش یا کاهش فعالیت توفان‌های گردوخاک در این مناطق می‌شود.

دقت در نقشه همدیدی میانگین ماهانه پارامترهای همدیدی تراز سطح زمین در ماه ژوئیه ۲۰۱۴ (شکل ۹-سمت راست) نشان می‌دهد الگوی گردشی جو در این تراز شباهت زیادی با ژوئیه ۲۰۰۹ دارد. با این تفاوت که کم‌فشار ثانویه‌ای با فشار مرکزی ۹۹۷/۵ هکتوپاسکالی بر روی تنگه هرمز، خلیج فارس و منطقه خوزستان شکل گرفته است و همچنین سلول کوچکی از پرفشار با فشار مرکزی ۱۰۰۵ هکتوپاسکالی در

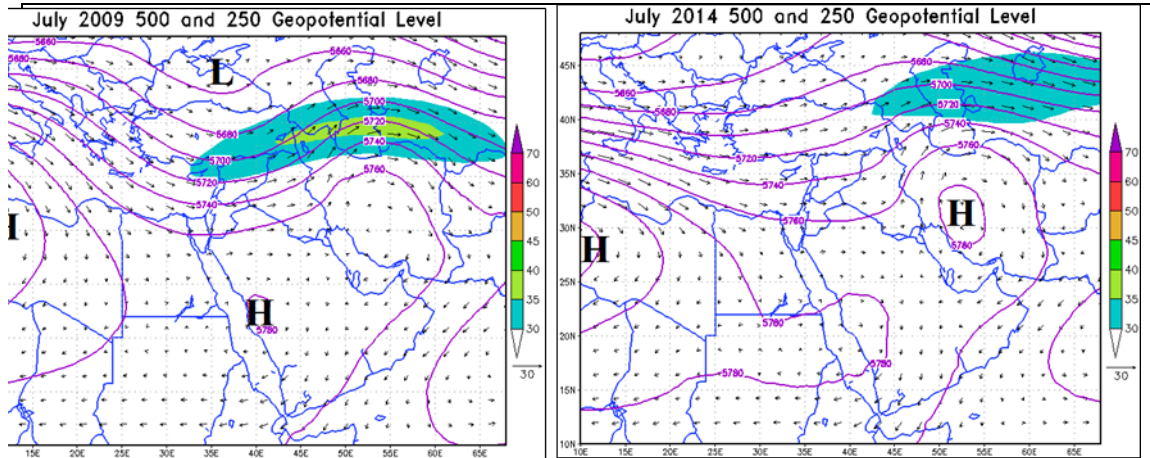


شکل ۱۰- نقشه ترکیبی همدیدی از آنومالی ماهانه تراز سطح زمین ژوئیه ۲۰۰۹ (سمت چپ) و ژوئیه ۲۰۱۴ (سمت راست). سایه رنگ‌ها آنومالی سرعت باد، بردارهای باد آنومالی سمت و سرعت باد، خطوط تراز آنومالی میانگین فشار سطح دریا و خط چین‌ها آنومالی میانگین دما را نشان می‌دهد.

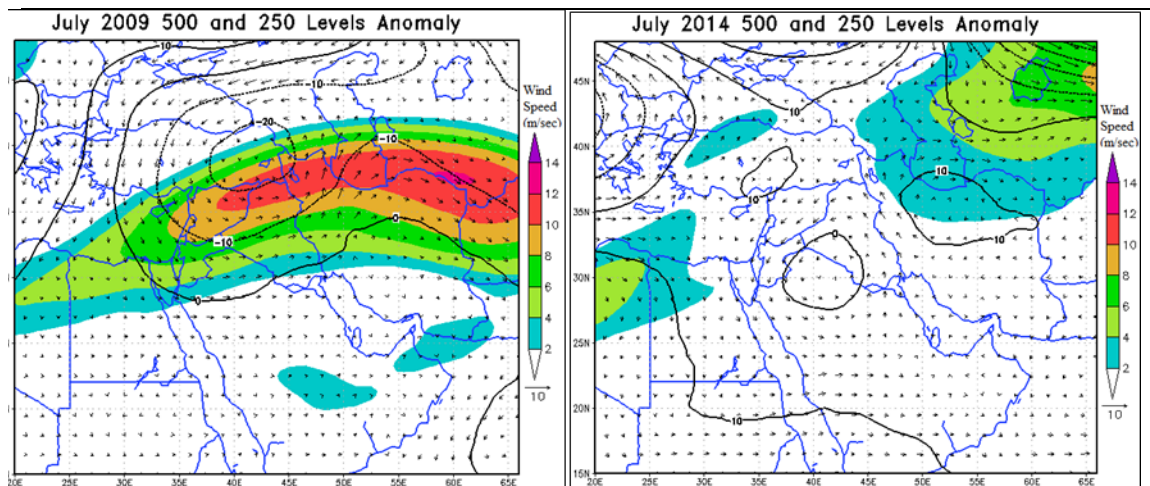
است. از سوی دیگر فرودی که محور آن تقریباً با طول ۳۷ درجه شرقی انطباق دارد در شرق مدیترانه حاکمیت داشته است که منطقه چرخندی آن در روی سوریه، عراق و غرب و شمال غرب ایران استقرار داشته است. همزمان با این شرایط هسته رودباد جنب قطبی در تراز فوقانی با سرعت متوسط ۳۵ تا ۴۰ متربرثانیه در شمال سوریه و عراق و محدوده شمالی ایران جریان داشته است. اما در ژوئیه ۲۰۱۴ (شکل ۱۱-سمت راست) زیانه پرفشار جنب حاره‌ای آזור در محدوده جغرافیایی وسیع‌تری در ایران حاکم بوده و هسته‌ای از آن با ۵۷۸۰ ژئوپتانسیل‌متر در شمال خلیج فارس بسته شده است. همچنین ناوه مدیترانه نیز به شکل کاملاً ضعیف و محدود در مرزهای عراق و ایران حاکمیت داشته است. نهایتاً اینکه میانگین سرعت وزش باد در هسته رودباد به ۳۰ تا ۳۰ متر بر ثانیه کاهش یافته و محدوده جغرافیایی آن به شمال و شمال شرق جابجا شده است.

نقشه آنومالی تراز سطح زمین ژوئیه ۲۰۱۴ نشان دهنده حاکمیت شرایط تقریباً نرمال از لحاظ تغییرات دمایی است. میانگین فشار سطح دریا در روی عراق، شبه جزیره عربستان و خلیج فارس به میزان ۱ هکتوپاسکال افزایش یافته است و میانگین سرعت وزش باد در منطقه‌ای محدودتر (در مقایسه با ژوئیه ۲۰۰۹) و اغلب در محدوده خلیج فارس به میزان ۲ تا ۳ متربرثانیه افزایش یافته است. مشخص است که کاهش میانگین فشار به همراه افزایش دما در غرب ایران باعث تشدید گرادیان‌های فشاری و دمایی در سال ۲۰۰۹ شده است که در تشدید فعالیت باد شمال موثر بوده است.

برای تشریح بهتر شرایط همدید نقشه‌های میانگین و آنومالی ترازهای میانی و فوقانی نیز مورد بررسی قرار گرفت. نقشه میانگین ماهانه ژوئیه ۲۰۰۹ (شکل ۱۱-سمت چپ) نشان دهنده حاکمیت زیانه پرفشار آזור بر فراز شبه جزیره عربستان، جنوب عراق، خلیج فارس و نیمه جنوبی ایران



شکل ۱۱- نقشه ترکیبی همدیدی از میانگین ماهانه ترازهای ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال در ژوئیه ۲۰۰۹ (سمت چپ) و ۲۰۱۴ (سمت راست). در این نقشه‌ها سایه رنگ‌ها نشان دهنده سرعت باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکالی، بردارهای باد میانگین سمت و سرعت باد تراز ۵۰۰ و خطوط ممتد، میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- نقشه ترکیبی همدیدی از آنومالی ماهانه‌ی ترازهای ۵۰۰ و ۲۵۰ هکتوپاسکال در ژوئیه ۲۰۰۹ (سمت چپ) و ۲۰۱۴ (سمت راست). در این نقشه‌ها سایه رنگ‌ها نشان دهنده سرعت باد تراز ۲۵۰ هکتوپاسکالی، بردارهای باد میانگین سمت و سرعت باد تراز ۵۰۰ و خطوط ممتد، میانگین ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ را نشان می‌دهد.

نیمه شمالی ایران افزایش یافته است. این در حالی است که در ژوئیه ۲۰۱۴ (شکل ۱۲-سمت راست) در محدوده جغرافیایی عراق، سوریه و شبه جزیره عربستان و ایران شرایط نرمال همدیدی در ترازهای میانی و فوقانی حاکم بوده است و میانگین سرعت وزش باد در تراز میانی کاهش یافته است.

بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه، تغییرات رفتار توفان‌های گردو خاک غرب و جنوب غرب ایران با استفاده از داده‌های کمی ماهانه و سالانه

مقایسه نقشه‌های آنومالی ژوئیه ۲۰۰۹ با ۲۰۱۴ در نراز ۲۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال نشان داد که در ژوئیه ۲۰۰۹ (شکل ۱۲-سمت چپ) ارتفاع ژئوپتانسیلی تراز ۵۰۰ به طور میانگین ۲۰ ژئوپتانسیل متر کاهش یافته است که نشان دهنده افزایش فعالیت ناوه مدیترانه در این ماه نسبت به گذشته است. نکته بسیار مهم در این نقشه افزایش میانگین سرعت وزش باد در ترازهای فوقانی جو می‌باشد. به طور میانگین سرعت وزش باد تا ۱۲ متر بر ثانیه در محدوده جغرافیایی عراق، سوریه و

و عربستان تقریباً یکسان است، این نتیجه را نقشه‌های میانگین سالانه نیز تأیید کردند به طوری که بررسی توزیع گردوخاک در منطقه در موارد بسیاری در بیابان‌های عراق-سوریه مشابه بیابان‌های عربستان بوده است. شایان ذکر است در سال‌هایی که مقدار AOD در بیابان‌های عراق-سوریه پایین بوده همچنان در شرق و جنوب شرق شبه جزیره عربستان توفان-های گردوخاک وجود داشته است.

بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌ها در نمودارها در طول یک دوره ۱۶ ساله نشان داد استان کرمانشاه (با توجه به فاصله نزدیک-تر) در تمام دوره از بیابان‌های کشورهای عراق و سوریه تبعیت کرده است. این در حالی است که در رابطه با استان خوزستان این مسئله متغیر است. همانطور که در شکل ۸ دیده می‌شود در ماه فوریه که آغاز شروع توفان‌های گردوخاک است اختلاف زیادی میان مقدار و روند تغییرات AOD در بیابان‌های عربستان و عراق-سوریه وجود دارد و با نزدیک شدن به اوج فصل گرما این اختلاف در روند و همچنین اختلاف در مقدار AOD کاهش پیدا می‌کند تا جایی که در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت شباهت بسیاری میان این دو نمودار دیده می‌شود. علت این پدیده با احتمال بسیار براساس منابعی مانند (محمدی، ۱۳۹۴) آن است که با توجه به عرض جغرافیایی پایین‌تر بیابان‌های عربستان پرفشار آزر بر روی شبه جزیره عربستان زودتر فعال شده است و شروع آن همراه بوده است با گرمایش هوا، آغاز اقلیم تابستانی (تا آنجا که این در منطقه فصل بهار وجود ندارد) و شروع فعالیت بادهای توفان‌زا مانند باد خمسین و همچنین انحراف بادهای دریای به خشکی به سمت شرق و شمال شرق این در حالی است که فعالیت بادهای شمال با تاخیر زمانی یک تا دو ماهه نسبت به بادهای خمسین آغاز می‌شود. علاوه بر تاخیر زمانی آغاز فعالیت باد شمال، یکی دیگر از دلایل کاهش اختلاف AOD در اواسط فصل گرما، افزایش شدت فعالیت باد شمال می‌باشد که تا شبه جزیره عربستان نفوذ می‌کند (محمدی، ۱۳۹۴).

در ادامه تحقیق، جهت مطالعه و بررسی تأثیر گردش جوی بر ایجاد توفان‌های گردوخاک و همچنین مقایسه وضعیت همدیدی یک ماه ویژه در دو دوره فعال و غیر فعال تلاش شد با بررسی دو تاریخ ژوئیه ۲۰۰۹ به عنوان نمونه دوره فعال و تاریخ ژوئیه ۲۰۱۴ به عنوان نمونه دوره غیرفعال وضعیت

AOD، در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتیجه آزمون همبستگی پیرسون با هدف تعیین میزان همبستگی داده‌های میانگین ماهانه دید افقی و داده‌های ماهانه AOD نشان‌دهنده قابلیت بالای داده‌های ماهانه AOD جهت مطالعه وضعیت توفان‌های گردوخاک بود.

مطالعه وضعیت گردوخاک‌های وارد شده از غرب و جنوب غرب ایران به تفکیک بر روی هریک از استان‌های واقع در دامنه غربی رشته کوه زاگرس (خوزستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال بختیاری، همدان، ایلام، لرستان، کرمانشاه، کردستان)، انجام شد. برای رسیدن به این هدف پس از استخراج میانگین سالانه AOD هر یک از استان‌ها و رسم نمودار روند تغییرات سالانه میزان تأثیرپذیری از توفان‌های گردوخاک تفسیر شد. نتایج نشان داد استان خوزستان با بیشترین مقدار و پس از آن استان ایلام به عنوان استان دوم با اختلاف زیادی نسبت به سایر استان‌ها مورد هجوم پدیده گردوخاک قرار گرفته‌اند. سپس استان‌های کرمانشاه و کهگیلویه و بویر احمد به ترتیب از توفان‌های گردوخاک بیشترین تأثیر را پذیرفته‌اند.

از سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۱۲ افزایش قابل توجهی در مقدار AOD در ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن دیده می‌شود. در ماه می و آوریل در مقایسه با ماه‌های دیگر، بیشترین توفان-های گردوخاک اتفاق افتاده است. پس از آنها ماه‌های مارس و ژوئن بیشترین رخداد گردوخاک را داشته‌اند. بیشترین نوسانات AOD در ماه‌های گرم سال یعنی ژوئیه و آوریل اتفاق افتاده است و کمترین مقدار در اوایل فصل سرد یعنی ماه‌های نوامبر، اکتبر و دسامبر روی داده است.

مقایسه شیب تغییرات AOD محدوده استان‌های کرمانشاه و خوزستان با هریک از بیابان‌های عراق-سوریه و عربستان، علاوه بر اینکه سهم هریک از بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان را در رخداد‌های گردوخاک غرب و جنوب غرب ایران آشکار می‌کند، می‌تواند پاسخگوی ابهامات ناشی از ایجاد نوسانات در گردوخاک به علت احداث سد بر روی رودخانه‌ها در کشورهای عراق و سوریه باشد. بررسی‌ها نشان داد نه تنها نمودار روند تغییرات میانگین سالانه AOD نشان‌دهنده آن بود که روند تغییرات در بسیاری سال‌ها (به استثناء سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷) در بیابان‌های عراق-سوریه

همچنین برخی از اظهارات و گزارشات، مهمترین عامل افزایش گردوخاک تولید شده از بیابان‌های عراق-سوریه را مربوط به فعالیت‌های انسانی همچون احداث سدها بر روی رودخانه دجله و فرات می‌دانند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با توجه به فراگیر بودن توفان‌های گردوخاک در کل منطقه خاورمیانه (بیابان‌های عراق-سوریه و بیابان‌های عربستان) و رفتار مشابه نوسانات گردوخاک در آن‌ها به سختی می‌توان عامل انسانی را به طور مستقیم در افزایش توفان‌های گردوخاک دخیل دانست. بنابراین پیشنهاد می‌شود ضمن تمرکز برنامه‌ریزی‌های مدیریتی بر کانون‌های تولید گردوخاک، تحقیقاتی که در آینده صورت خواهد گرفت با تاکید بر تاثیر عوامل اقلیمی در ایجاد پدیده توفان‌های گردوخاک در اختیار مدیران و برنامه ریزان قرار گیرد.

منابع

1. Abdolkhani, A., 2010, The dust enhancement in south west of Iran using Remote Sensing and GIS, Master thesis, Earth Sciences Faculty, Ahwaz Shahid Chamran Universit. (In Persian)
2. Alam, K., S. Quarshi and T. Blaschke, 2011, Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmos Environ*, No. 45, pp. 4641-4651.
3. Azizi, G., M. Miri and S. O. Nabavi, 2011, Dust phenomenon detection in the west of Iran. *Quarterly of Dry Areas Geographical Studies*, No. 7, pp. 103-118. (in Persian)
4. Bayat, A., A. Masoumi and H.R. Khalesifard, 2011, Retrieval of atmospheric optical parameters from ground-based sun-photometer measurements for Zanjan, Iran. *Atmos Meas Tech*, No. 4, pp. 857-863.
5. Bollen, J., S. Hers and B. van der Zwaan, 2010, An integrated assessment of climate change, air pollution, and energy security policy. *Energy Policy*, No. 38, pp. 4021-4030.
6. Boochani, M.H., D. Fazeli, 2011, Environment Challenges and its Consequences Case Study: Dust and its Impact in the West of Iran. *Quarterly of Doctrine of Policy Making*, No. 2(3), pp. 125. (In Persian).
7. Carugno, M., D. Consonni, G. Randi, D. Catelan, L. Grisotto, P. A. Bertazzi, A. Biggeri and M. Baccini, 2016, Air pollution exposure, cause-specific deaths and

همدیدی منطقه، در دوره‌های مختلف مقایسه شد. نقشه‌های میانگین و آنومالی سطح زمین نشان‌دهنده آن بود در ژوئیه ۲۰۰۹ استیلای زبانه کم فشار حرارتی هند-پاکستان و وجود سامانه پرفشار در شمال کشور ترکیه از طرفی و کاهش میانگین فشار به همراه افزایش دما در غرب ایران از طرف دیگر، باعث تشدید گرادبان‌های فشاری و دمایی شده است به طوری که میانگین سرعت وزش باد در مرزهای عراق و سوریه و جنوب شرق عراق و خلیج فارس به میزان ۲ تا ۳ متربرثانیه در میانگین ماهانه افزایش یافته است و در تشدید فعالیت باد شمال موثر بوده است. این مسئله در تشدید فعالیت توفان‌های گردوخاک سوریه و عراق نقش عمده‌ای داشته است.

در سطوح میانی و فوقانی جو حاکمیت زبانه پرفشار آזור بر فراز شبه جزیره عربستان، جنوب عراق، خلیج فارس و نیمه جنوبی ایران است، افزایش فعالیت ناوه مدیترانه، افزایش میانگین سرعت وزش باد در ترازهای فوقانی جو می‌باشد و همچنین وجود جریان هسته رودباد جنب قطبی در تراز فوقانی با سرعت متوسط ۳۵ تا ۴۰ متربرثانیه در شمال سوریه و عراق و محدوده شمالی ایران موجب شده در ژوئیه سال ۲۰۰۹ فعالیت توفان‌های گردوخاک تشدید شود این در حالی است که در ژوئیه سال ۲۰۱۴ در محدوده مطالعاتی شرایط نرمال همدیدی در ترازهای میانی و فوقانی حاکم بوده است و میانگین سرعت وزش باد در تراز میانی کاهش یافته است. این شرایط همراه محدودتر شدن سیطره جغرافیایی فعالیت باد شمال و جابجایی آن بر فراز خلیج فارس از عوامل اصلی کاهش فعالیت توفان‌های گردوخاک در ژوئیه ۲۰۱۴ می‌باشند. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت استان خوزستان تاثیر پذیری زیادی از گردوخاک منتقل شده از بیابان‌های عربستان دارد. با توجه به آن‌که در سال‌های اخیر هزینه‌های هنگفتی صرف هزینه مطالعات کانون‌های داخلی استان خوزستان با هدف کاهش توفان‌های گردوخاک در این استان شده است، به نظر می‌رسد برنامه‌ریزی‌های کلان مدیریتی در سطح بین‌المللی در جهت بیابان‌زدایی و روش‌های کنترلی مانند مالچ پاشی و کاشت گیاهان با قابلیت کشت در مناطق بیابانی از مهمترین روش‌های کنترل توفان‌های گردوخاک در این استان باشد.

- 2015, Regime shift in Arabian dust activity, triggered by persistent Fertile Crescent drought. *Geophys Res Atmos*, No. 120, pp.10, 229–10,249.
19. Pan, L., H. Che, F. Geng, X. Xia, Y. Wang, C. Zhu, M. Chen, W. Gao and L. Guo, 2010, Aerosol optical properties based on ground measurements over the Chinese Yangtze Delta Region. *Atmos Environ*, No. 44, pp. 2587–2596.
 20. Papadimas, C.D., N. Hatzianastassiou, N. Mihalopoulos, M. Kanakidou, B.D. Katsoulis and I. Vardvas, 2009, Assessment of the MODIS collections C005 and C004 aerosol optical depth products over the Mediterranean basin. *Atmos Chem Phys*, No. 9, pp. 2987–2999.
 21. Pu, B., P. Ginoux, 2016, The impact of Pacific Decadal Oscillation on springtime dust activity in Syria. *Atmos Chem Phys Discuss*, No.16, pp.13431–13448.
 22. Raeispour K., T. Tavoosi and M. Khosravi, 2009, Investigating the Causes of the Formation of Arabian Dustards and its Development on Iran, Proceedings of the Fourth International Congress of Geographers, Iran-Zahedan, Sistan and Baluchestan University. (In Persian).
 23. Rashki, D., G. Kaskaoutis, P. G. Eriksson, W. de C. J. Rautenbach, C. Flamant and F. Abdi Vishkaee, 2014, Spatio-temporal variability of dust aerosols over the Sistan region in Iran based on satellite observations. *Nat Hazards*, No. 71, pp. 563–585.
 24. Sayer, A. M., N. C. Hsu, C. Bettenhausen and M. J. Jeong, 2013, Validation and uncertainty estimates for MODIS Collection 6 “Deep Blue” aerosol data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, No. 118, pp. 7864–7873.
 25. Sehatkashani, S., M. Vazifedoust, Gh. Kamali and A.A. Bidokhti, 2016, Dust detection and AOT estimation using combined VIR and TIR satellite images in urban areas of Iran, *Scientia Iranica*, No. 23(5), pp. 1984-1993.
 26. Shamsipoor, A.K., T. Safarrad, 2012, Satellite and Synopticanalysisof Duststorm in Western Half of Iran (Case Study: July 2009). *Physical Geography Research Quarterly*, No. 44(1), pp. 111-126. (In Persian).
 27. Song, C.H., M.E. Park, K.H. Lee, H.J. Ahn, Y. Lee, J.Y. Kim, K.M. Han, J. Kim, Y.S. Ghim and Y.J. Kim, 2008, An investigation into seasonal and regional aerosol characteristics in East Asia using model-predicted and remotely sensed aerosol properties. *Atmos Chem Phys*, No. 8, pp. 6627–6654.
 28. WHO (World Health Organization), 2000, Air hospitalizations in a highly polluted Italian region. *Environ Res*, No. 147, pp. 415-24.
 8. Gharibzadeh, M., K. Alam, A. A. Bidokhti, Y. Abedini and A. Masoumi, 2017, Radiative Effects and Optical Properties of Aerosol during Two Dust Events in 2013 over Zanjan, Iran. *Aerosol Air Qual Res*, No. 17, pp. 888–898.
 9. Gibson, J. 2015, Air pollution, climate change, and health. *Lancet Oncol*, Published Online: 11 May 2015. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)70238-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(15)70238-X)
 10. Guo, J.P., X.Y. Zhang, H.Z. Che, S.L. Gong, X. An, C.X. Cao, J. Guang, H. Zhang, Y.Q. Wang, C.X. Zhang, M. Xue and X.W. Li, 2009, Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. *Atmospheric Environment*, No. 43, pp. 5876-5886.
 11. Jahanbakhsh Asl S., K. Valizadeh Kamran, M. Khosravi, B. Zeinali and S. Asghari, 2014, Identification and detection of storms sweeping July 1, 2008 using MODIS images. *Geographical Space*, No. 14, pp. 31-51. (In Persian).
 12. Khoshsima, M., A. A. Bidokhti and F. Ahmadi-Givi, 2013, Evaluation of aerosol optical depth using visibility and remote sensing data in urban and semi urban areas in Iran. *Earth Space Phys*, No. 39, pp. 163-174. (in Persian)
 13. Madala, S., K. H. Prasad, C. V. Srinivas and A. N. V. Satyanarayana, 2016, Air quality simulation of NO X over the tropical coastal city Chennai in southern India with FLEXPART-WRF. *Atmospheric Environment*, No. 128, pp. 65-81.
 14. Manninen, S., J. Bäck and P. Rautio, 2013, Boreal vegetation under air pollution stress. *Special Issue. Environmental and Experimental Botany*, No. 90, pp. 1-78.
 15. Mohammadi, Gh.H. 2016, Analysis of Atmospheric Mechanisms in Dust Transport over West of Iran. Ph. D thesis, Geography and Planning Faculty, Tabriz University. (In Persian)
 16. Morelli, X., C. Rieux, J. Cyrus, B. Forsberg and R. Slama, 2016, Air pollution, health and social deprivation: A fine-scale risk assessment. *Environmental Research*, No. 147, pp. 59-70.
 17. Namdari, S., K. Valizade, K. A. A. Rasuly and B. Sari Sarraf, 2016, Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, No. 9, pp. 1-11.
 18. Notaro, M., Y. Yu and O. V. Kalashnikova,

- Chinese science bulletin*, No. 58, pp. 2497–2506.
30. Zeinali, B. 2013, Detection and Monitoring of Typical Dust Storm in Iran with multi-temporal MODIS and AVHRR data. Ph. D thesis, Geography and Planning Faculty, Tabriz University, (In Persian)
 29. YuLei, Q., G. JinMing and H. JianPing, 2013, Spatial and temporal distribution of MODIS and MISR aerosol optical depth over northern China and comparison with AERONET [J]. quality guidelines for Europe (2nd Ed.). *Chapter 7 WHO regional publications*, European series, No. 91.