



## تحلیل مکانی گردوغبار استان خوزستان به کمک تصاویر ماهواره‌ای

محمد دانیالی<sup>۱\*</sup>، بایرامعلی محمدنژاد<sup>۲</sup>، نعمت‌الله کریمی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی قم

۲. استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی قم

۳. دانشیار مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تهران

### مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۴ دی ۱۳۹۶

پذیرش: ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۷

دسترسی اینترنتی: ۱ خرداد ۱۳۹۷

واژه‌های کلیدی:

سنجنده مودیس

گردوغبار

عمق اپتیکی آفراسل

سنجش از دور

خوزستان

### چکیده

در سال‌های اخیر، طوفان‌های گردوغبار یکی از مهم‌ترین چالش‌های آلودگی هوای استان خوزستان بوده است. با توجه به پژوهش‌های مختلفی که تاکنون انجام پذیرفته است، کشورهای عراق و سوریه به‌عنوان منشأ اصلی گردوغبارهای رسیده به خوزستان گزارش می‌گردد که بیانگر لزوم مطالعه پایش مکانی گردوغبارهای این منطقه می‌باشد. در این تحقیق، با استفاده از شاخص عمق اپتیکی اخذشده از تصاویر سنجنده MODIS، روند تغییرات سالانه گردوغبار استان خوزستان از ماه مارس سال ۲۰۰۰ تا پایان ۲۰۱۶ تعیین گردید. تغییرات اصلی شاخص گردوغباری خوزستان در سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵، به‌عنوان شاخص بررسی روند تغییرات مکانی گردوغبار منطقه غرب ایران انتخاب گردید. نتایج نشان داد که شاخص‌های گردوغباری منطقه غرب ایران در سال ۲۰۰۵ شباهت زیادی با سال ۲۰۱۵ داشته است. با این‌وجود در سال ۲۰۱۵ از فعالیت کانون‌های گردوغباری بخش‌هایی از شرق و شمال کشور عراق (شمال دریاچه تارتار) کاسته شده و بر فعالیت کانون‌هایی واقع در داخل و جنوب کشور کویت و شمال شرقی عربستان افزوده شده است. همچنین فعالیت کانون‌های گردوغباری مناطقی در شمال غربی عراق و شرق سوریه در سال ۲۰۰۹ به‌طور موقت افزایش داشته است که منجر به بالا رفتن شاخص‌های گردوغباری استان خوزستان طی آن سال گردید. در کنار تغییرات فعالیت کانون‌های خارجی، افزایش فعالیت کانونی در جنوب شرق اهواز هم در سال ۲۰۱۵ در مقایسه با سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ افزایش داشته که با توجه به مجاورت با شهر اهواز می‌تواند نقش قابل‌توجهی در بحران‌های گردوغباری سال‌های اخیر استان خوزستان داشته باشد.

\* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [Daniali7017@gmail.com](mailto:Daniali7017@gmail.com)

## مقدمه

آئروسول‌های موجود در هوا متشکل از طیف وسیعی از ذرات معلق شامل گردوغبارهای بیابانی، ذرات نمک برخاسته از سطح دریاها، آلاینده‌های تولید شده از فعالیت‌های انسانی شامل سوزاندن سوخت‌های فسیلی می‌شوند که به دلیل ماهیت دینامیک اتمسفر غلظت آن‌ها در طول زمان کوتاهی دچار نوسانات زیادی می‌شود (۹). از جمله مهم‌ترین آئروسول‌های موجود در اتمسفر می‌توان به ذرات گردوغبار اشاره کرد. آئروسول‌های موجود در اتمسفر شامل ذرات جامد یا مایع معلق در هوا نقش مهمی را در آب و هوا و اقلیم کره زمین بازی می‌کنند. تغییرات در میزان آئروسول‌های اتمسفر، منجر به تغییر گازهای گلخانه‌ای، میزان تابش انرژی خورشیدی، ویژگی‌های سطح زمین و تعادل چرخه انرژی در اتمسفر می‌شوند (۵ و ۱۷). تحقیقات مختلفی طی دو دهه اخیر نشان داده‌اند که ذرات گردوغبار علاوه بر دخالت در بیلان انرژی تابشی رسیده به زمین، در چرخه کربن و همچنین کاهش قدرت بازتابش سطوح برفی/یخی به دلیل نشست ذرات بر روی آن‌ها نیز تأثیرگذار هستند (۲۶).

در گذشته به طور کلی پایش ذرات گردوغبار به کمک ایستگاه‌های زمینی انجام می‌پذیرفت که به دلیل ماهیت اندازه-گیری نقطه‌ای از دقت بسیار بالایی برخوردار بودند اما گستره مکانی بسیار کوچکی شامل ستونی از گردوغبار بر فراز ایستگاه را پوشش می‌دادند، همچنین به دلیل نیاز به رسیدگی و مراقبت پیوسته از ایستگاه این امکان وجود داشت که در بازه‌های زمانی مختلفی به دلیل نقص فنی در ایستگاه، آرشیو داده‌های ایستگاه ناقص گردد.

سنجش از دور علم، فن و هنر به دست آوردن اطلاعات در مورد پدیده‌هایی است که انسان به دلیل خطرناک بودن، هزینه زیاد و بعد مسافت به طور مستقیم قادر به شناسایی آن‌ها نیست (۱). در دهه‌های اخیر با پرتاب ماهواره‌های مختلف به مدار کره زمین و همچنین افزایش دقت سنجنده‌های ماهواره‌ای، استفاده از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای به منظور تحلیل و بررسی پدیده‌های مختلف حوزه‌های زیست‌محیطی را

ممکن ساخته است. به کمک تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور می‌توان تغییرات آئروسول‌های موجود در اتمسفر شامل گردوغبار را در ابعاد مکانی بسیار وسیع و دقت بالا و به طور روزانه پایش و مطالعه نمود.

به طور معمول از معیار عمق اپتیکی آئروسول که بدون بعد نیز است برای اندازه‌گیری میزان ذرات معلق در ستونی از اتمسفر استفاده می‌گردد. مطابق تعریف، عمق اپتیکی معیاری از ممانعت ذرات معلق و گردوغبار در برابر رسیدن نور خورشید به زمین است. به عبارت دیگر، ذرات معلق موجود در هوا می‌توانند توسط مکانیسم‌های جذب و پخش، مانع از رسیدن نور خورشید به سطح زمین شوند که این مقدار ممانعت توسط پارامتر بدون بعد عمق اپتیکی تعیین می‌گردد. این معیار می‌تواند تا حدی تعیین‌کننده میزان کدورت هوا نیز باشد (۲۲). به طور مثال عدد  $0.1/0$  برای مقدار عمق اپتیکی، بیانگر آسمانی صاف و شفاف است درحالی‌که مقدار  $0.4$  نشان‌دهنده آسمانی کدر و تار است (۱۲). پایش ذرات معلق و استخراج پارامتر عمق اپتیکی به طور گسترده‌ای توسط ایستگاه‌های زمینی، سنجنده‌های هوایی و ماهواره‌ای انجام می‌پذیرد.

طی دو دهه اخیر با پیشرفت قابل توجه دقت سنجنده‌های ماهواره‌ای و پرتاب ماهواره‌های تحقیقاتی زیادی به مدارهای مختلف زمین، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات داخلی و خارجی گردوغبار، افزایش چشمگیری داشته است (۱۴، ۱۸ و ۳۰). فلاح ززولی و همکاران (۳) به کمک داده‌های سنجنده MODIS و با به کارگیری شاخص اکرمین و تحلیل سینوپتیکی برای شناسایی چگونگی حرکت گردوغبار از منبع به داخل ایران، منشأ گردوغبارهای رسیده به مناطق غرب و جنوب غربی ایران در سال ۲۰۱۱ را عمدتاً شمال عراق و بخش‌هایی از مرز سوریه و عراق تخمین زده‌اند.

مریدنژاد و همکاران (۱۹) به کمک داده‌های سنجنده MODIS ماهواره‌های Terra و Aqua و با استفاده از پیاده‌سازی مدل بهبود یافته شاخص گردوغبار خاورمیانه (Middle East Dust Index) بر روی ۷۰ عدد از طوفان‌های گردوغباری غرب ایران در بازه سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲، موفق به شناسایی منابع

که به کمک آن می‌توان فعالیت کانون‌های گردوغباری منطقه به‌خصوص در سالیان اخیر را مورد تحلیل قرار داد. در این پژوهش، عمق اپتیکی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای با دقت مکانی ۱۰ کیلومتر در ماه‌های پر گردوغبار سه سال ۲۰۰۵، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵، امکان بررسی تغییرات دراز مدت کانون‌های گرد و غباری داخل و خارج از استان خوزستان را با دقت قابل قبولی فراهم می‌آورد. به منظور بررسی پوشش گیاهی استان، از شاخص (Normalized Difference NDVI Vegetation Index) تصاویر ماهواره Landsat استفاده گردید. به منظور بررسی تاثیرات فعالیت کانون‌های گردوغباری بر گردوغبارهای رسیده به خوزستان، از مدل پخش اتمسفری (Hybrid Single Particle Lagrangian HYSPLIT Integrated Trajectory) استفاده گردید.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

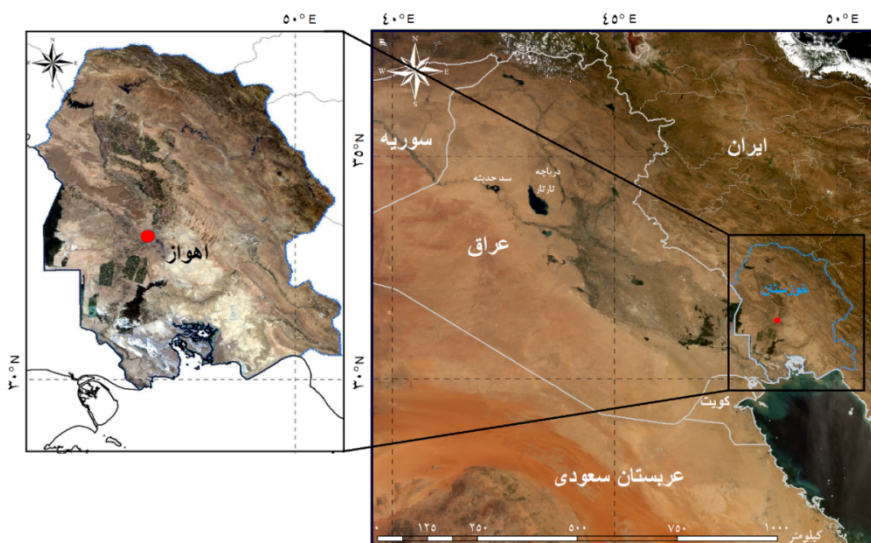
استان خوزستان به دلیل گزارش‌های متعدد بروز طوفان‌های گردوغباری، قرار گرفتن مراکز صنعتی متعددی همچون تأسیسات شرکت نفت، صنایع فولاد و شرکت ملی حفاری ایران یکی از آلوده‌ترین استان‌های ایران به شمار می‌آید (۴).

طوفان‌های گردوغباری هر ساله باعث بستری شدن تعداد زیادی از مردم در بیمارستان و اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی گسترده‌ای می‌گردد (۲). در همین راستا و با توجه به اینکه در تحقیقات مختلفی (۳، ۱۳، ۱۹ و ۲۹) مناطقی از کشور عراق و سوریه و بخش‌هایی از عربستان به عنوان منابع اصلی گردوغبار رسیده به منطقه غرب ایران گزارش شده است در اینجا منطقه غرب ایران شامل استان خوزستان، کشورهای عراق و کویت و بخش‌هایی از شمال عربستان و شرق سوریه مبنای بررسی قرار گرفته است (شکل ۱).

مختلف گردوغبار (به طور ویژه در عراق و سوریه) شده‌اند. روش فروانی وقوع (Frequency of Occurrence)، ارتباط حجم گردوغبار هوا با فروانی وقوع از جمله مواردی بوده‌اند که به منظور شناسایی کانون‌های اصلی گردوغبار استفاده شده‌اند. نامداری و همکاران (۲۱) در پژوهشی با استفاده از داده‌های میانگین ماهانه سنجنده MODIS به بررسی روند تغییرات مکانی-زمانی منطقه غرب ایران طی بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ پرداختند. در روند بررسی نتایج، بخش جنوبی غربی ایران شامل استان خوزستان بیشترین مقدار متوسط عمق اپتیکی را طی کل دوره بررسی تجربه کرده بود. مریدنژاد و همکاران (۲۰) به کمک اعمال شاخص توسعه داده شده شاخص گردوغبار خاورمیانه بر روی تصاویر سنجنده MODIS، به بررسی ارتباط بین کانون‌های کشور عراق و مناطقی که طی سه دهه اخیر در آن‌ها بیابان‌زایی رخ داده است، پرداختند. نتایج، بیانگر وجود تعدادی زیاد کانون‌های گردوغباری در کشورهای عراق و سوریه بوده است. همچنین تعداد زیادی از کانون‌های گردوغباری با فعالیت کم در داخل و یا نزدیکی مناطقی که به تازگی به بیابان تبدیل شده‌اند، تشکیل شده است.

زراسوندی و همکاران (۳۱) به کمک داده‌های هواشناسی ده ایستگاه استان خوزستان در بازه سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۹، به بررسی وقوع طوفان‌های گردوغباری و ویژگی‌های ذرات پرداختند. مطابق نتایج، اندازه ذرات عمدتاً در محدوده ۱۰ تا ۲۲ میکرومتر و از جنس کلسیت، کوارتز و کائولینیت گزارش گردید. همچنین جهت باد غالب استان از سمت غرب و شمال غربی ذکر گردید و با توجه به جنس ذرات، منبع ریزگردهای استان از کانون‌های مشابهی در غرب ایران برآورد گردید.

هدف این تحقیق، بررسی روند تغییرات مکانی گردوغبار محدوده غرب ایران شامل استان خوزستان، کشورهای عراق، کویت و بخش‌هایی از شمال عربستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های عمق اپتیکی استخراج شده از آن‌ها است



شکل ۱. موقعیت استان خوزستان در منطقه در نظر گرفته شده غرب ایران به منظور تحلیل مکانی تغییرات گردوغبار (تصویر متعلق به سنجنده MODIS ماهواره Terra)

#### داده‌های مورد استفاده

در تحقیق حاضر از داده‌های سنجنده MODIS ماهواره Terra و سنجنده OLI ماهواره Landsat 8. هر دو متعلق به سازمان فضایی ناسا، استفاده گردید. سنجنده MODIS به طور گسترده‌ای برای پایش، بررسی و پیش‌بینی ذرات معلق و طوفان‌های گردوغبار مورد استفاده قرار گرفته است (۶، ۷، ۸، ۱۴ و ۲۳). این ماهواره در دسامبر سال ۱۹۹۹ توسط سازمان فضایی ناسا پرتاب شد و در یک مدار خورشید هم‌انگ قطبی در ارتفاع تقریبی ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین قرار گرفت که به طور روزانه در زمان یکسانی به وقت محلی از فراز هر منطقه‌ای از زمین عبور می‌کند (۱۵). جهت حرکت این ماهواره در مدار خود از سمت شمال به جنوب می‌باشد. سنجنده MODIS قادر به ثبت تصاویر خام دیجیتالی در ۳۶ باند با طول‌موج‌های مختلف از محدوده نور مرئی تا باندهای مختلف فرورسرخ (محدوده طیفی ۴۷۰ تا ۲۱۳۰ نانومتر) بوده که برای ثبت پدیده‌های مختلف جوی و بررسی کنش‌های موجود بین اجزای مختلف اتمسفر و سطح زمین مفید است. این سنجنده قادر به ثبت اطلاعات با دقت مکانی ۲۵۰ متر در باندهای ۱ و ۲، ۵۰۰ متر در باندهای ۳ تا ۷ و ۱ کیلومتر در باندهای ۸ تا ۳۶ و همچنین ثبت تصاویر از منطقه موردنظر با دوره زمانی روزانه

در باندهای مختلف بوده است (۲۷). طیف وسیعی از محصولات، از تصاویر خام (Level 1) تا محصولات آماده رده اتمسفر، زمین و اقیانوس به‌طور رایگان در دسترس عموم است (<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct>).

محصولات رده اتمسفر سنجنده MODIS خود حاوی زیرمجموعه‌هایی شامل آئروسول‌ها، بخار آب و شاخص‌های ابری بوده که در اینجا از تصاویر محصول آئروسول‌ها استفاده می‌گردد. هر تصویر رده آئروسول سنجنده MODIS حاوی طیفی از شاخص‌های عمق اپتیکی در طول موج‌های مختلف بوده که عموماً توسط الگوریتم‌های DT (Dark Target) و DB (Deep Blue) و یا ترکیب آن‌ها تهیه گردیده است. الگوریتم DT عمدتاً به منظور استخراج عمق اپتیکی آئروسول از فراز سطوحی که بازتاب نور کمتری در طول موج‌های مختلف دارند شامل سطوح اقیانوس‌ها و پوشش‌های گیاهی، طراحی شده است (۶). از طرف دیگر الگوریتم DB به منظور استخراج عمق اپتیکی آئروسول از فراز مناطق بیابانی که به دلیل بازتاب زیاد نور در طول موج‌های بلندتر طیف مرئی و فرورسرخ، استخراج عمق اپتیکی به کمک الگوریتم DT را با مشکل همراه می‌سازند، ابداع گردید. این الگوریتم از طریق ثبت اطلاعات در طول‌موج‌های کوتاه‌تر، عمدتاً شامل آبی که مناطق بیابانی

راه اندازی گردید که به صورت آنلاین از طریق وبسایت ([http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT\\_traj.php](http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php)) در دسترس است. شیوه محاسباتی این مدل ترکیبی از یک قاب متحرک مرجع که حجم کوچکی از هوا را از مکان اولیه به منظور شبیه سازی انتقال، پخش و نشست دنبال کرده (روش لاگرانژی) و یک قاب ثابت مرجع متشکل از یک شبکه سه بعدی به منظور محاسبه غلظت آلاینده در اتمسفر (روش اولری) است (۲۴).

در این مطالعه، به منظور بررسی خط سیر ذرات گردوغبار تا رسیدن به استان خوزستان در مدت زمان وقوع طوفان گردوغباری سال های گذشته و یافتن تأثیر تغییرات فعالیت کانون های گردوغباری بر استان خوزستان از مدل HYSPLIT استفاده می گردد.

### روش تحقیق

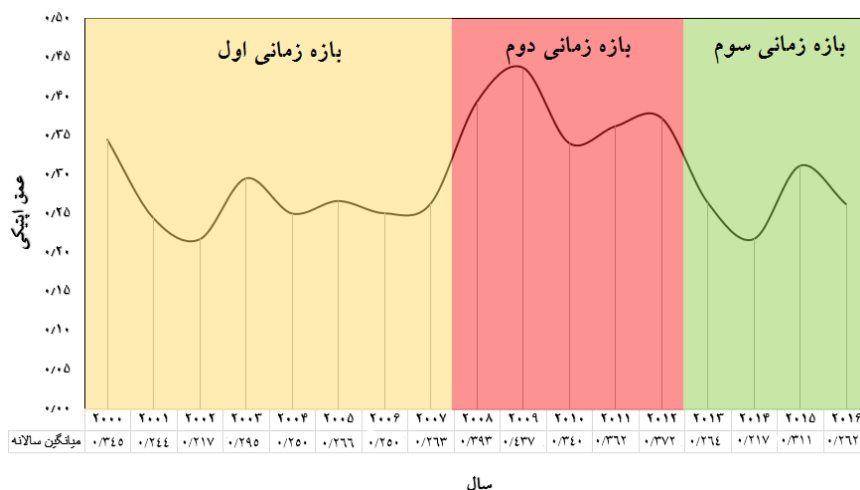
به منظور انجام تحلیل زمانی گردوغبار، با توجه به حجم زیاد تصاویر و زمان بر بودن تحلیل آن ها، ابتدا میانگین سالانه شاخص عمق اپتیکی استان خوزستان به کمک تصاویر میانگین ماهانه سنجنده MODIS برای محدوده سال های ۲۰۰۰ تا پایان ۲۰۱۶ استخراج گردید (شکل ۲). مطابق نمودار شکل ۲، از ابتدای سال ۲۰۰۸ تا پایان سال ۲۰۱۲ میانگین شاخص عمق اپتیکی استان خوزستان به ۰/۴۷۵ رسیده است در حالیکه میانگین شاخص عمق اپتیکی برای بازه سال های ۲۰۰۰-۲۰۰۷ و ۲۰۱۶-۲۰۱۳ هر یک به ترتیب ۰/۲۷۷ و ۰/۲۷۰ بوده است. بدین ترتیب مطابق نمودار شکل ۲ شرایط جوی استان خوزستان از منظر میانگین عمق گرد و غبارهای آن را می توان به سه بازه مجزا از یکدیگر تقسیم کرد. همچنین تغییرات متوسط ماهانه عمق اپتیکی به تفکیک سه بازه زمانی نیز به منظور مقایسه تهیه گردید (شکل ۳). در ادامه، یک سال از هر یک از سه بازه زمانی مورد اشاره به عنوان نماینده ای از روند تغییرات گردوغبار استان خوزستان انتخاب گردید. در انتخاب هر سال سعی گردید تا عموماً متوسط سالانه شاخص عمق اپتیکی بالاتر از سایر سال های بازه باشد تا بتوان پدیده های

کمترین میزان بازتاب را در آن دارند، فرآیند تشخیص گردوغبار و استخراج پارامتر عمق اپتیکی بر فراز این مناطق را ممکن می سازد (۲۸). در این پژوهش هم مطابق با تحقیقات مشابه (۲۱ و ۲۵) و با توجه به پوشش بیابانی غالب منطقه مورد بررسی، الگوریتم DB مورد استفاده قرار می گیرد.

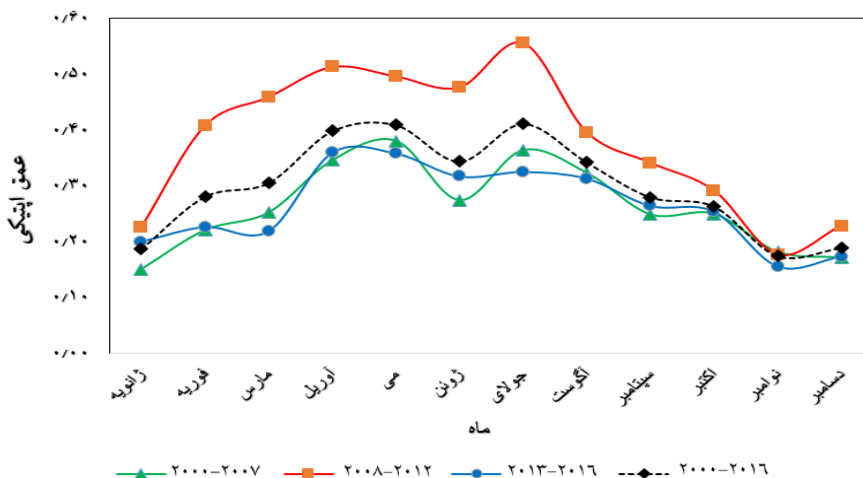
به منظور استخراج متوسط گردوغبار سالانه استان خوزستان از جدیدترین نسخه داده های میانگین ماهانه شاخص عمق اپتیکی سنجنده MODIS، تحت نام MOD08\_M3-C6 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ کیلومتر استفاده گردید که از ترکیب و کنار هم گذاری تصاویر کوچک تر حاصل گردیده است. در این تحقیق، داده های عمق اپتیکی ثبت شده در طول موج ۵۵۰ نانومتر به دلیل حذف تابش های سطح زمین و در نتیجه ثبت بهتر اثر ذرات معلق موجود در اتمسفر (۲۹) مبنای کار قرار می گیرد. در بخش تحلیل مکانی گردوغبار منطقه هم به دلیل نیاز به قدرت تفکیک مکانی بالاتر، از جدیدترین نسخه محصول MOD04-L2-C6 سنجنده MODIS با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر استفاده می گردد. این تصاویر به صورت روزانه در دسترس می باشد. همچنین از شاخص NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره Landsat 8 هم به منظور تهیه پوشش گیاهی بخش هایی از استان خوزستان استفاده گردید. این ماهواره در دوره های زمانی ۱۶ روزه کل سطح زمین را پایش کرده و قادر به ثبت تصاویری با قدرت تفکیک ۳۰ متر از سطح زمین در طول موج های مختلفی از مرئی تا مادون قرمز و حرارتی است (۱۶). به کمک این شاخص می توان تغییرات پوشش گیاهی استان خوزستان را بررسی نمود و مناطق در خطر بیابانزایی را شناسایی نمود. تصاویر ثبت شده سنجنده MODIS ماهواره Terra که مبنای این تحقیق قرار گرفته از ماه مارس سال ۲۰۰۰ میلادی تاکنون از طریق وبسایت (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search>) و تصاویر سنجنده OLI ماهواره Landsat 8 هم از طریق وبسایت USGS به طور رایگان قابل دریافت می باشد. مدل پخش اتمسفری HYSPLIT یک سیستم مبتنی بر وب بوده که توسط اداره ملی اقیانوسی و جوی آمریکا (NOAA) در سال ۱۹۹۷

مجدداً روند کاهشی آغاز می‌شود. همچنین با توجه به افزایش نسبی شاخص عمق اپتیکی فصل زمستان (عمدتاً ماه ژانویه) در سال‌های اخیر و افزایش چشمگیر آن در بازه زمانی دوم، نهایتاً به منظور کاهش حجم تحلیل تصاویر، تنها هشت ماه (از ابتدای ژانویه تا پایان آگوست) از هر یک از سه سال مذکور انتخاب گردید. به ازای هر کدام از سه سال منتخب، تصاویر MOD04\_L2 شامل منطقه‌ای در بردارنده کشور عراق، غرب ایران و بخش‌هایی از شمال عربستان و سوریه (شکل ۲) از ابتدای ماه ژانویه تا پایان ماه آگوست (۸ ماه، ۲۴۳ روز) که عموماً پدیده گردوغبار در استان خوزستان رخ می‌دهد، تهیه گردید.

گردوغباری شدیدتر را بررسی نمود. در همین راستا از بازه زمانی اول سال ۲۰۰۵ انتخاب گردید که اگرچه مقدار متوسط سالانه شاخص عمق اپتیکی این سال در رده پایین‌تری از سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ قرار می‌گرفت، اما به دلیل همبستگی بیشتر مقادیر عمق اپتیکی ماهانه سال ۲۰۰۵ با متوسط بازه زمانی اول، انتخاب شد. سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵ هم به ترتیب از بازه زمانی دوم و سوم انتخاب گردیدند که هر دو سال بالاترین متوسط سالانه عمق اپتیکی در میان سال‌های بازه خود را داشتند. مطابق نمودار شکل ۳، عموماً پدیده گردوغبار منطقه از ماه ژانویه آغاز شده و در بازه چهار ماهه آوریل تا پایان جولای با شدت زیادی ادامه پیدا می‌کند که از ماه آگوست



شکل ۲. میانگین ماهانه شاخص عمق اپتیکی (AOD) استان خوزستان به تفکیک سه بازه زمانی



شکل ۳. تقسیم محدوده زمانی با توجه میانگین سالانه شاخص عمق اپتیکی (AOD) به سه بازه شامل بازه زمانی اول (I)، بازه زمانی

دوم (II)، بازه زمانی سوم (III)

اساس در این تحقیق فراوانی وقوع عمق اپتیکی بالاتر از ۰/۵ به عنوان معیاری از وقوع طوفان گردوغباری در نظر گرفته می‌شود.

به منظور تهیه نقشه پوشش گیاهی استان خوزستان و بررسی روند تغییرات آن‌ها و ارتباطی که این تغییرات با افزایش احتمالی گرد و غبارهای این استان دارد، از شاخص NDVI ماهواره Landsat 8 استفاده گردید. مقدار عددی این شاخص همواره عددی بین -۱ تا +۱ بوده که مقادیر نزدیک به یک بیانگر توده گیاهی متراکم و سبز بوده در حالیکه مقادیر مثبت نزدیک به صفر نشانگر زمینی عاری از پوشش گیاهی و در خطر بیابان‌زایی است. مقادیر عددی کمتر از صفر نیز عموماً دلالت بر وجود آب و برف دارد. مطابق با نتایج تحقیقات مشابهی (۱۰)، دسته‌بندی مقادیر شاخص NDVI مطابق جدول ۱ مفروض گردید.

جدول ۱. دسته‌بندی مقادیر شاخص NDVI

وضعیت	محدوده شاخص NDVI
پهنه‌های آبی	-۱، -۰/۱
زمین‌های آبرفتی و یا برف	-۰/۱، -۰/۰۱
فاقد پوشش گیاهی و لم یزرع	-۰/۰۱، ۰/۱۵
پوشش گیاهی ضعیف	۰/۱۵، ۰/۲۵
پوشش گیاهی متوسط	۰/۲۵، ۰/۴
پوشش گیاهی متراکم	۰/۴، ۱

این شاخص با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید (۱۷).

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad [1]$$

در این رابطه؛  $R_{NIR}$  و  $R_{RED}$  به ترتیب بیانگر مقدار بازتاب نور سطح زمین در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز تصاویر Landsat می‌باشد. به دلیل اقلیم خشک و بیابانی خوزستان در فصول بهار و تابستان و با توجه به موجود بودن تصویری مناسب و بدون ابر، روز پنجم ماه ژانویه سال ۲۰۱۷ به منظور تهیه نقشه پوشش گیاهی انتخاب گردید.

مدل HYSPLIT به منظور به محاسبات مسیر حرکت توده‌های هوا و ذرات معلق موجود در آن به داده‌های

به دلیل وسعت منطقه مورد بررسی، تعداد زیادی از روزها شامل دو، سه و حتی چهار تصویر می‌گردید که در این موارد با موزاییک نمودن تصاویر به کمک نرم‌افزار ENVI، به ازای هر روز یک تصویر حاصل گردید. نهایتاً بیش از ۱۷۰۰ تصویر از مجموع سه سال دانلود گردید که بعد از موزاییک کردن تصاویر، تعداد ۷۲۹ تصویر (۲۴۳ تصویر به ازای هر سال) حاصل گردید و نقشه‌های میانگین ماهانه مورد نظر به کمک نرم‌افزار ArcGIS<sup>®</sup> 10.4، تهیه گردید. از آنجا که وجود ابر، برف و یخ به دلیل بازتاب بالای نور در تصاویر مانع از استخراج شاخص عمق اپتیکی می‌گردد، پیش از آنکه تصاویر در قالب محصولی آماده دانلود شوند پیکسل‌های شامل ابر و برف توسط الگوریتم‌های مربوطه حذف شده و به عنوان پیکسل‌های بدون داده در تصاویر نهایی قرار می‌گیرد. به همین دلیل به منظور استخراج آمارهای ماهانه مختلف از تصاویر این بخش و افزایش اعتبار محاسبات، شناسایی مناطقی که عموماً تعداد بالایی از پیکسل‌های بدون داده در هر ماه را شامل می‌شوند، ضروری است. به همین منظور عموماً در ماه‌های زمستان و اوایل بهار که روزهای ابری منطقه بالاتر بوده و بر روی ارتفاعات برف نشسته است، پیکسل‌هایی که بیشتر از ۱۸ روز در ماه داده نداشته‌اند از سیر محاسبات حذف گردیده‌اند. در سایر ماه‌ها متناسب با تعداد پیکسل‌های معتبر هر ماه، حد بالاتری (تا ۲۱) به منظور افزایش دقت محاسبات در نظر گرفته شد. عموماً مناطقی از شمال شرق خوزستان و شمال کشور عراق به دلیل آب و هوای کوهستانی و وجود برف در روزهای زیادی از سال در بیشتر تصاویر در دسته پیکسل‌های بدون داده قرار گرفتند.

در قسمت تحلیل نتایج، علاوه بر شاخص عمق اپتیکی از شاخص دیگری تحت عنوان Frequency of Occurrence (فراوانی وقوع گردوغبار) نیز به عنوان معیاری برای شناسایی و بررسی فعالیت کانون‌های احتمالی گردوغبار منطقه استفاده می‌گردد. بر اساس این شاخص، غلظت و ابعاد ذرات گردوغبار در نقاط نزدیک به منبع بالاتر بوده و با فراوانی وقوع بیشتری در نزدیکی کانون‌های گردوغبار ایجاد می‌گردد (۱۱). بر همین

## نتایج و بحث

متوسط شاخص عمق اپتیکی و فراوانی وقوع مقادیر عمق اپتیکی بالاتر از ۰/۵ برای بازه هشت ماهه هر یک از سه سال در قالب نقشه‌هایی در شکل ۴ نشان داده شده است. مطابق شکل ۴، الگوی مکانی فراوانی وقوع گردوغبارهای کشور عراق در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۵ مشابهت زیادی با یکدیگر دارند. به طور مثال فعالیت کانون‌های گردوغباری مختلفی در بخش‌های وسیعی از جنوب شهرهای کربلا و نجف در امتداد رود فرات تا ناصریه (E) و همچنین بخش دیگری نیز در نواحی شمال غربی دریاچه تارتار (G) در سال ۲۰۰۵ و با شدت کمتری در سال ۲۰۱۵ مشاهده می‌شود. با این وجود در سال ۲۰۱۵ مناطقی شامل جنوب کشور کویت و عراق (C)، جنوب شرق شهر اهواز (A) در بیش از نیمی از روزهای هشت ماه مورد بررسی با پدیده طوفان گردوغبار مواجه بوده‌اند که با توجه به بالا بودن میانگین شاخص عمق اپتیکی این نواحی، می‌تواند دلالت بر شکل‌گیری و یا افزایش فعالیت کانون‌های گردوغبار در مناطق مذکور داشته باشد. بررسی متوسط شاخص عمق اپتیکی و فراوانی وقوع گردوغبار منطقه در سال ۲۰۰۹ نیز مطابق شکل ۴ بیانگر وقوع گسترده طوفان‌های گردوغباری در منطقه و فعالیت بسیار شدید و مداوم کانون‌های گردوغباری ناحیه وسیعی در شمال غربی کشور عراق و شرق سوریه (B) است. همچنین فعالیت کانون‌های گردوغباری مناطقی در غرب استان ایلام واقع در کشور عراق (F)، بخش‌های وسیعی از جنوب کربلا و نجف و مرز عربستان (E) و مناطق وسیعی در داخل و جنوب کشور کویت (C) نیز افزایش قابل توجهی را در این بازه نشان داده‌اند. علاوه بر فعالیت بسیار گسترده کانون‌های خارجی، دو کانون داخلی در ناحیه جنوب شرق اهواز (A) و جنوب غرب استان خوزستان (D) نیز در سال ۲۰۰۹ فعالیت داشته‌اند.

مطابق نقشه‌های شکل ۵، میانگین هشت ماهه تغییرات شاخص عمق اپتیکی و فراوانی وقوع عمق اپتیکی بالاتر از ۰/۵ برای منطقه مذکور نشان داده شده است. از جمله تغییرات مهمی که در شاخص‌های گردوغباری منطقه رخ داده است

هواشناسی شبکه‌بندی شده در سه بعد نیاز دارد (۲۴) که در این تحقیق از داده‌های آرشیو هواشناسی GDAS با دقت مکانی ۱ درجه که از دسامبر سال ۲۰۰۴ تاکنون موجود بوده استفاده می‌گردد. از آنجاکه تحلیل مکانی گردوغبار منطقه برای هشت ماه اول سال‌های ۲۰۰۵، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵ انجام پذیرفته است در این قسمت هم به منظور مقایسه با داده‌های به دست آمده از تحلیل مکانی، طوفان‌های گردوغباری شدید استان خوزستان در هشت ماهه سال‌های مذکور به عنوان تاریخ ورودی مدل HYSPLIT به منظور منشاء‌یابی استفاده می‌گردد. به منظور استخراج دقیق تاریخ وقوع طوفان‌های گردوغباری، ابتدا مقادیر عمق اپتیکی متوسط پهنه استان خوزستان به صورت روزانه برای هشت ماه هر یک از سه سال مذکور به کمک تصاویر روزانه سنجنده MODIS استخراج گردیده (مجموعاً ۷۲۷ روز) و روزهای با مقادیر عمق اپتیکی بیشتر از ۰/۵ به عنوان یک روز محتمل برای وقوع طوفان گردوغباری در خوزستان در نظر گرفته شد. در ادامه به منظور استخراج تاریخ دقیق رسیدن گردوغبار و بررسی شدت آن، داده‌های موجود در آرشیو ایستگاه پایش هوای فرودگاه اهواز از طریق وبسایت (<https://www.wunderground.com/history/airport/OIAW>) برای روزهای مذکور به صورت ساعتی بررسی شد و تنها روزهایی با حداقل مسافت دید کمتر از ۱/۵ کیلومتر به عنوان روز وقوع طوفان گردوغباری شدید در نظر گرفته شد. همچنین ساعتی که مسافت دید به کمتر از ۱ کیلومتر می‌رسد به عنوان ساعت رسیدن طوفان گردوغبار به اهواز در نظر گرفته می‌شود. روز و ساعت استخراج شده برای هر رخداد گردوغبار در ایستگاه هواشناسی فرودگاه اهواز به عنوان ورودی به مدل HYSPLIT در نظر گرفته شد. همچنین مدت زمان محاسبه خط سیر ذرات گردوغبار تا قبل از رسیدن به مقصد خود نیز یکی دیگر از ورودی‌های اصلی مدل بوده که در اینجا با توجه به اینکه طوفان‌های گردوغباری شدید (حಾಯی ذرات درشت) مدنظر بوده است ۲۴ ساعت در نظر گرفته می‌شود چرا که ذرات معلق درشت‌تر مدت کمتری در اتمسفر معلق می‌مانند.



نیز در شمال دریاچه تارتار (H) در بازه III افت قابل توجهی داشته است که این مسئله بیشتر در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست در درازمدت رخ داده است. نهایتاً منطقه‌ای در شرق کشور سوریه (E) نیز در بازه سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ با افزایش نسبی پدیده گردوغبار مواجه شده است. لازم به یادآوری است که شاخص‌های گردوغبار منطقه مذکور در سال ۲۰۰۹ افزایش بسیار چشمگیری را تجربه کرده بود که با پایان بازه زمانی دوم فعالیت آن افت کمتری را نسبت به کانون‌های شمال غربی عراق داشته است.

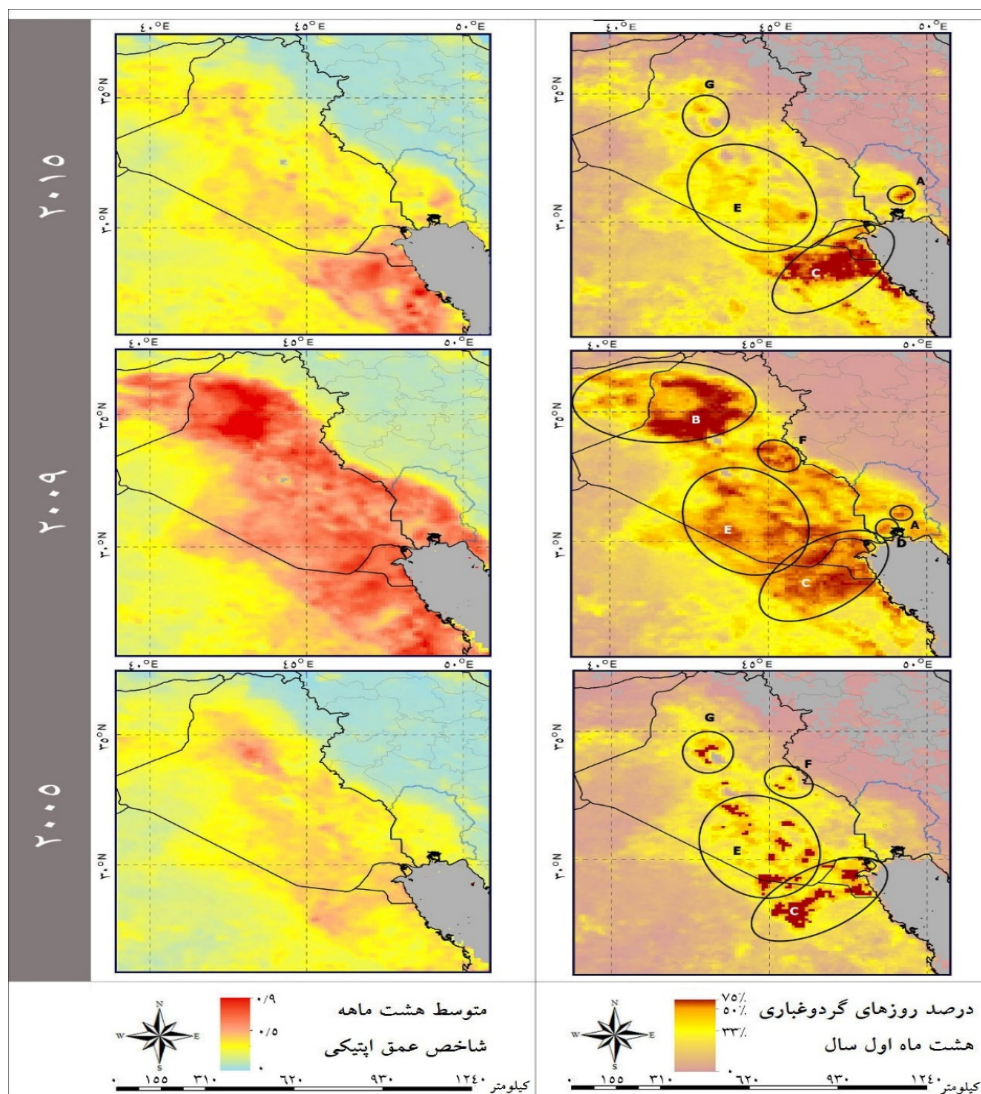
اما مهم‌ترین الگوی تغییر این قسمت با توجه به شکل ۵، افزایش متوسط شاخص عمق اپتیکی و فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغباری منطقه‌ای در جنوب شرق شهر اهواز (A) و با شدت کمتری در نواحی جنوب غربی و جنوب شرقی (D) استان بوده است. بررسی ماهانه نتایج نیز بیانگر افزایش نسبی گردوغبار این منطقه در تمامی ماه‌ها بوده و به صورت کلی نشانگر افزایش قابل توجه وقوع پدیده گردوغبار این مناطق در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۵ نسبت به سال ۲۰۰۵ بوده است. روند افزایش فراوانی وقوع گردوغبار بر فراز منطقه جنوب شرقی اهواز حتی در بازه II نیز مشهود بوده که بیانگر روند رو به رشد تولید گردوغبار این منطقه از سال ۲۰۰۹ تاکنون باشد. در شکل ۶ فراوانی وقوع گردوغبارهای استان خوزستان طی هشت ماهه اول سال ۲۰۱۵ در برابر شاخص پوشش گیاهی استان در ژانویه سال ۲۰۱۷ نشان داده شده است. شکل ۶ مقادیر زیادی از گردوغبارهای داخلی استان خوزستان در هشت ماهه اول سال ۲۰۱۵ بر فراز منطقه‌ای در حد فاصل جنوب شرقی اهواز تا کرانه شمالی رود مارون (A) که تقریباً عاری از هر گونه پوشش گیاهی بوده شکل گرفته است که نشان از فعالیت زیاد کانون این منطقه دارد. علاوه بر این، فعالیت کانون‌های دو منطقه دیگر در شمال شهر هندیجان (B) و جنوب تالاب شادگان (C) که پوشش گیاهی ضعیفی داشته است نیز با شدت کمتری طی هشت ماهه اول سال ۲۰۱۵ مشهود می‌باشد. در شکل ۷ به کمک نتایج مدل HYSPLIT، خط سیر دوازده نمونه از طوفان‌های گردوغباری

می‌توان به افزایش قابل توجه دفعات وقوع و شدت طوفان‌های گردوغباری در مناطقی از جنوب کشور کویت اشاره کرد (C) که این مسئله با شدت بیشتری در بازه‌های I (اختلاف شاخص‌های سال ۲۰۰۹ با ۲۰۰۵) و III (اختلاف شاخص‌های سال ۲۰۱۵ با ۲۰۰۵) و با شدت کمتر و گستردگی بیشتری در بازه II (اختلاف شاخص‌های سال ۲۰۱۵ با ۲۰۰۹) رخ داده است (مطابق شکل ۵)؛ به عبارت دیگر در بازه سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ افزایش شدیدی در فعالیت کانون‌های گردوغباری منطقه مذکور رخ داده است و در بازه سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ این افزایش با شدت کمتری در مناطق وسیع‌تری از جنوب کشور کویت ادامه یافته است. مطابق شکل ۵ نکته قابل توجه این قسمت، افزایش شاخص عمق اپتیکی و فراوانی وقوع گردوغبار این ناحیه در ماه ژانویه ۲۰۱۵ در قیاس با سال ۲۰۰۹ بوده که این مسئله در حالی است که تغییرات چندانی در فعالیت کانون‌های گردوغباری این ناحیه در بین ماه‌های دیگر سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ رخ نداده است.

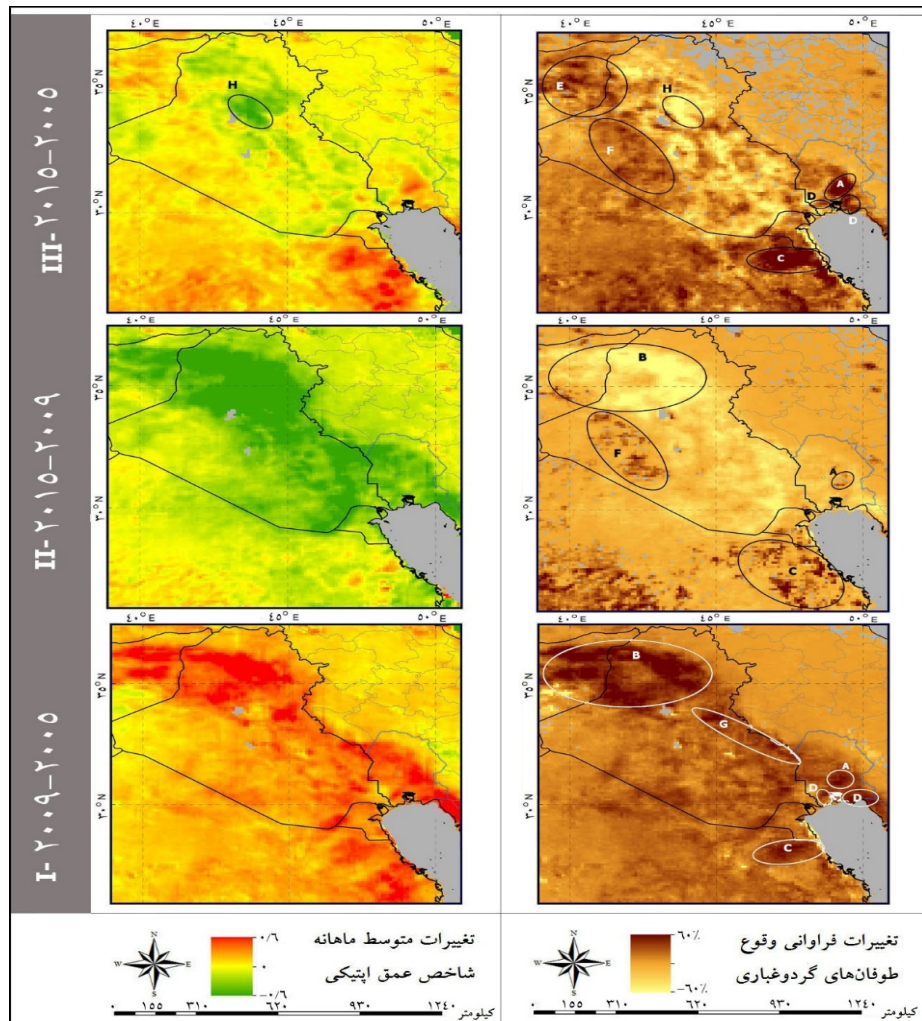
از دیگر مناطق بسیار مهم که تغییرات بسیار چشمگیری را در بازه I و II نشان داده است، می‌توان به ناحیه وسیعی از شمال عراق تا شرق سوریه (B) اشاره کرد که فراوانی وقوع پدیده گردوغبار این نواحی طی بازه هشت ماهه تا ۶۰ درصد در سال ۲۰۰۹ نسبت به ۲۰۰۵ افزایش داشته است. این روند به شکل معکوسی در بازه II بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ در منطقه مذکور رخ داده است که بیانگر موقتی بودن این پدیده و نقش زیاد آن در افزایش گردوغبار استان خوزستان در بازه زمانی دوم بوده است. از جمله دیگر تغییرات مهم بازه I افزایش وقوع پدیده گردوغبار (بیش از ۵۰ درصد) در نوار وسیعی از شمال شرقی بغداد تا مرز استان ایلام و خوزستان (G) اشاره کرد که با شدت کمتری در بازه III هم رخ داده است. ناحیه دیگری نیز در غرب کشور عراق (F) رشد قابل توجهی از وقوع گردوغبار را با شدت کمتری در بازه II و شدت بیشتری در بازه III داشته است که می‌تواند بیانگر افزایش فعالیت کانون‌های این منطقه در بازه بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ باشد. شاخص‌های گردوغباری منطقه دیگری

توجه به این مطلب می‌توان افزایش شدید شاخص‌های گردوغباری استان خوزستان در سال ۲۰۰۹ و سایر سال‌های بازه زمانی دوم را تحت تأثیر افزایش فعالیت کانون‌های گردوغباری مناطق شمال غربی عراق و مرز سوریه دانست. شکل ۸ وقوع بادهایی از سمت خلیج فارس در ماه‌های ژانویه و فوریه منجر به بلند شدن و انتقال گردوغبار از کانون جنوب شرق اهواز (ناحیه A در شکل ۶) و انتقال آن به شهر اهواز شده که به دلیل مجاورت شهر با کانون، ذرات درشت گردوغبار منجر به کاهش شدید دید افقی و مشکلات زیادی برای تأسیسات شهر می‌شود.

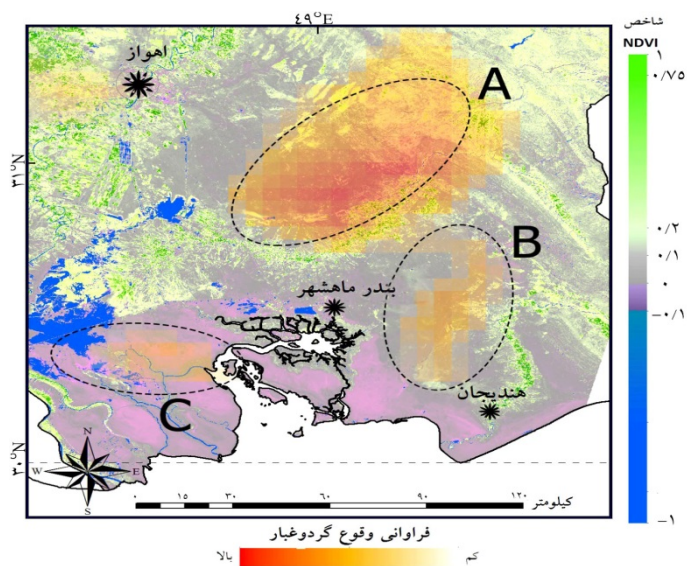
رسیده به استان خوزستان در طول هشت ماهه سه سال مورد بررسی نشان داده شده است. مطابق این شکل می‌توان گفت به طور کلی گردوغبارهای رسیده به خوزستان تحت وزش باد از سه منطقه اصلی نشأت می‌گیرند. این مناطق شامل نواحی واقع در شمال دریاچه تارتار و سد حدیثه و بخش‌های مرزی عراق و سوریه (ناحیه B در شکل ۴)، مناطقی وسیعی از غرب شهر نجف در امتداد کرانه جنوبی دریاچه فرات (ناحیه E در شکل ۴) و نواحی واقع در کشور کویت و شمال غربی عربستان (نواحی C در شکل ۴) بوده که به دلیل وزش غالب باد از سمت شمال غرب (باد شمال) و غرب (۳۱) دو مورد اول سهم بیشتری در ایجاد گردوغبار استان خوزستان داشته است. با



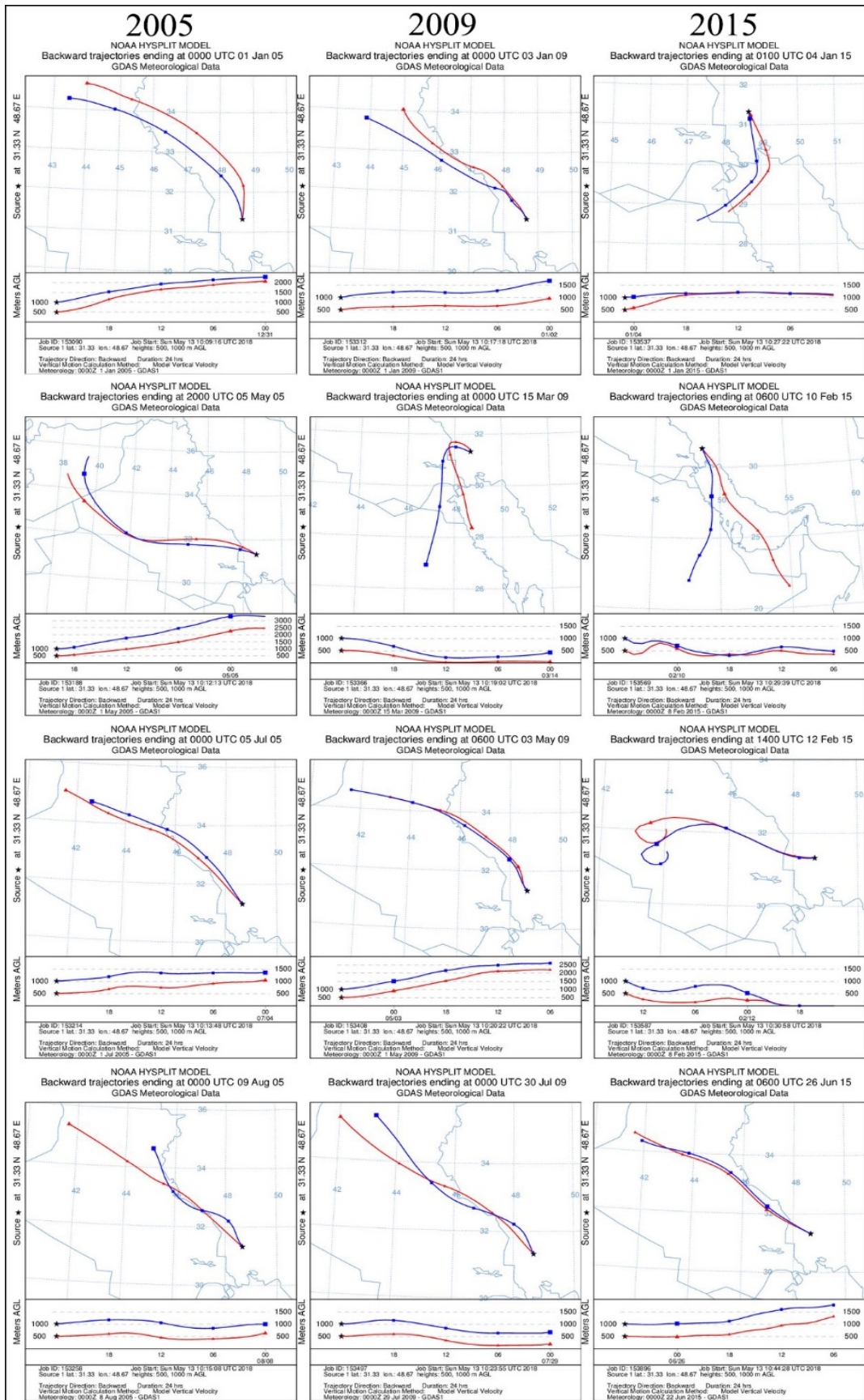
شکل ۴. متوسط هشت ماهه شاخص گردوغبار (چپ)، درصد روزهای وقوع پدیده گردوغبار در طول هشت ماه (راست)



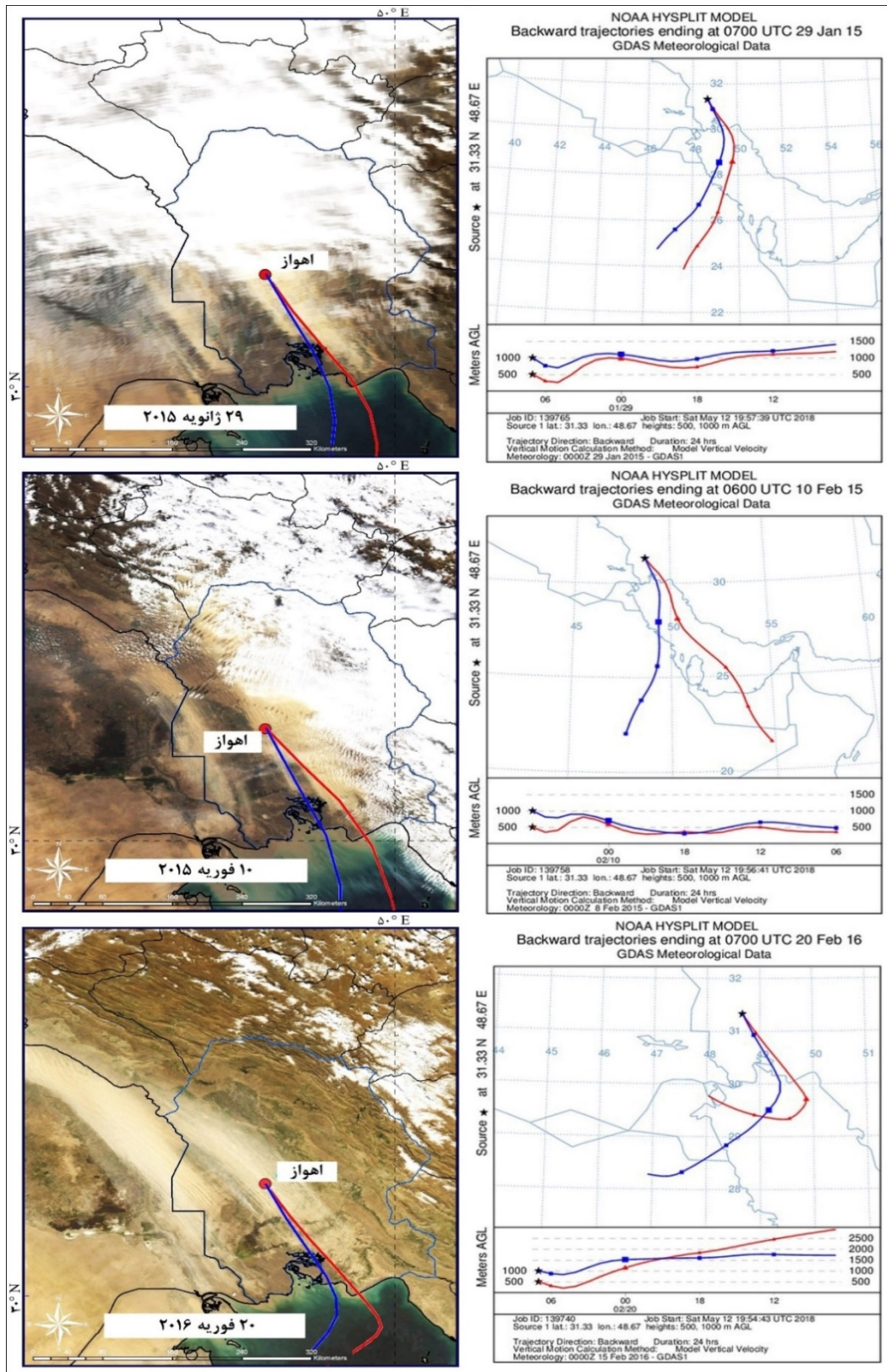
شکل ۵. اختلاف متوسط هشت ماه شاخص گردوغبار در سه بازه (چپ)، اختلاف درصد روزهای وقوع پدیده گردوغبار هشت ماه در سه بازه (راست)



شکل ۶. فراوانی وقوع طوفان‌های گردوغباری استان خوزستان طی ۸ ماهه اول سال ۲۰۱۵



شکل ۷. خط سیر دوازده نمونه از طوفان‌های شدید گردوغباری رخ داده در شهر اهواز طی هشت ماهه سه سال مورد بررسی



شکل ۸. خط سیر سه نمونه از طوفان‌های گردوغباری که منجر به انتقال گردوغبار از کانون‌های جنوب شرق خوزستان به شهر اهواز شده است (سمت راست) به همراه تصاویر نور مرئی ماهواره Aqua در روزهای متناظر که توده گردوغبار برخاسته را نشان می‌دهد (سمت چپ)

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش با توجه به نتایج تحقیقات مشابهی (۳، ۱۹، ۲۱ و ۳۱) که نواحی غرب ایران شامل کشورهای عراق، سوریه و بخش‌هایی از عربستان را به عنوان کانون‌های اصلی گردوغبارهای رسیده به خوزستان برشمرده بودند، بررسی تغییرات فعالیت کانون‌های این نواحی در دراز مدت، مبنای بررسی قرار گرفت. مطابق نقشه‌ها و نتایج به دست آمده، فعالیت کانون‌های گردوغباری منطقه غرب ایران در نیمه اول دهه ۲۰۰۰ و سال‌های اخیر مشابهت زیادی داشته است. میانگین سالانه شاخص عمق اپتیکی استان خوزستان در بازه‌های زمانی اول و سوم نیز مقادیر نزدیکی بوده که بیانگر عدم تغییر قابل توجه متوسط گردوغبار استان خوزستان در دراز مدت است. با این وجود فعالیت کانون‌هایی واقع در کشور کویت و بخش‌هایی از جنوب آن واقع در کشور عربستان و همچنین مناطقی در جنوب شرق اهواز و شمال هندیکان در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی را داشته است. در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲، با افزایش شدید فعالیت کانون‌های گردوغباری بخش‌های وسیعی از شمال غربی عراق و مرزهای شرقی سوریه و همچنین با توجه به وزش بادهایی از سمت دریای مدیترانه به سمت جنوب غربی ایران شاخص عمق اپتیکی استان خوزستان در سال ۲۰۰۹ و در طول بازه زمانی دوم افزایش شدید اما موقتی را تجربه کرده است. همچنین افزایش نسبی فعالیت کانون‌های گردوغباری بخش‌هایی از جنوب کویت و نواحی جنوب استان خوزستان نیز در طی دهه اخیر قابل ملاحظه است. در مجموع با توجه به افزایش فعالیت کانون واقع در حد فاصل جنوب شرق اهواز و شمال رود مارون در سال‌های اخیر و همچنین وقوع بادهای شدیدی از سمت جنوب شرق خوزستان در فصول سرد، احتمال وقوع بیشتر پدیده گردوغبار به واسطه این کانون‌های داخلی وجود دارد. در همین راستا توجه بیشتر به فعالیت کانون‌های داخلی مذکور و انجام اقداماتی به منظور بیابان‌زدایی و احیای پوشش گیاهی این مناطق ضروری است.

## منابع مورد استفاده

۱. آرونف، ا. ۱۳۹۱. سنجش از دور برای مدیران GIS. ترجمه: علی اصغر درویش‌صفت، مهتاب پیرباوقار. انتشارات دانشگاه تهران. ۷۱۰ صفحه.
۲. بیات، ر.، س. جعفری، ب. قرمزچشمه و ا. ح. چرخابی. ۱۳۹۵. مطالعه تأثیر ریزگردها بر تغییرات پوشش گیاهی (مطالعه موردی: تالاب شادگان، خوزستان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۷(۲): ۳۲-۱۷.
۳. فلاح ززولی، م.، ع. وفایی‌نژاد، م. خیرخواه زرکش و ف. احمدی دهکاء. ۱۳۹۳. منشاء‌یابی گرد و غبار غرب و جنوب غرب ایران و تحلیل سینوپتیکی آن با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵(۴): ۶۱-۷۸.
۴. کاظمی‌نیا، ع.، ک. رنگزن و م. محمودآبادی. ۱۳۹۶. بررسی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس (مطالعه موردی: اراضی غرب اهواز). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸(۲): ۱۱۱-۱۲۶.
5. Alam K, Qureshi S, Blaschke T. 2011. Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model. *Atmospheric Environment*, 45(27): 4641-4651.
6. Bilal M, Nichol JE, Nazeer M. 2016. Validation of Aqua-MODIS C051 and C006 operational aerosol products using AERONET measurements over Pakistan. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(5): 2074-2080.
7. Chudnovsky AA, Koutrakis P, Kloog I, Melly S, Nordio F, Lyapustin A, Wang Y, Schwartz J. 2014. Fine particulate matter predictions using high resolution Aerosol Optical Depth (AOD) retrievals. *Atmospheric Environment*, 89: 189-198.
8. Chudnovsky AA, Koutrakis P, Kostinski A, Proctor SP, Garshick E. 2017. Spatial and temporal variability in desert dust and anthropogenic pollution in Iraq, 1997–2010. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 67(1): 17-26.
9. El-Metwally M, Alfaro S, Wahab MA, Zakey A, Chatenet B. 2010. Seasonal and inter-annual variability of the aerosol content in Cairo (Egypt) as deduced from the comparison of MODIS aerosol retrievals with direct AERONET measurements. *Atmospheric Research*, 97(1-2): 14-25.
10. Faramarzi M, Heidarizadi Z, Mohamadi A, Heydari M. 2018. Detection of Vegetation Changes in Relation to Normalized Difference Vegetation

- Index (NDVI) in Semi-Arid Rangeland in Western Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(1): 51-60.
11. Ginoux P, Prospero JM, Gill TE, Hsu NC, Zhao M. 2012. Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50(3): 1-36.
  12. Ichoku C, Remer LA, Kaufman YJ, Levy R, Chu DA, Tanré D, Holben BN. 2003. MODIS observation of aerosols and estimation of aerosol radiative forcing over southern Africa during SAFARI 2000. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D13): 1-35.
  13. Karimi N, Moridnejad A, Golian S, Vali Samani JM, Karimi D, Javadi S. 2012. Comparison of dust source identification techniques over land in the Middle East region using MODIS data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 38(5): 586-599.
  14. Lin C, Li Y, Lau AK, Deng X, Tim K, Fung JC, Li C, Li Z, Lu X, Zhang X. 2016. Estimation of long-term population exposure to PM 2.5 for dense urban areas using 1-km MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 179: 13-22.
  15. Loría-Salazar SM, Holmes HA, Arnott WP, Barnard JC, Moosmüller H. 2016. Evaluation of MODIS columnar aerosol retrievals using AERONET in semi-arid Nevada and California, USA, during the summer of 2012. *Atmospheric Environment*, 144: 345-360.
  16. Luo SP, Hu JR, Zhang YZ. 2015. Analysis of Rocky Desertification in Central Guizhou, China, Using Landsat Satellite Data. *Proceedings of the International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (Cisia 2015)*, 18(Cisia): 165-168.
  17. Mancino G, Nolè A, Ripullone F, Ferrara A. 2014. Landsat TM imagery and NDVI differencing to detect vegetation change: assessing natural forest expansion in Basilicata, southern Italy. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 7(2): 75-84.
  18. Mehta M, Singh R, Singh A, Singh N. 2016. Recent global aerosol optical depth variations and trends-A comparative study using MODIS and MISR level 3 datasets. *Remote Sensing of Environment*, 181: 137-150.
  19. Moridnejad A, Karimi N, Ariya PA. 2015. A new inventory for middle east dust source points. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(9): 582-592.
  20. Moridnejad A, Karimi N, Ariya PA. 2015. Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles. *Journal of Arid Environments*, 116: 1-10.
  21. Namdari S, Valizade K, Rasuly A, Sarraf BS. 2016. Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3): 191-199.
  22. Qi Y, Ge J, Huang J. 2013. Spatial and temporal distribution of MODIS and MISR aerosol optical depth over northern China and comparison with AERONET. *Chinese Science Bulletin*, 58(20): 2497-2506.
  23. Rashki A, Kaskaoutis DG, Eriksson P, Qiang M, Gupta P. 2012. Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, 5: 51-62.
  24. Rolph G, Stein A, Stunder B. 2017. Real-time environmental applications and display system: Ready. *Environmental Modelling & Software*, 95: 210-228.
  25. Sayer A, Hsu N, Bettenhausen C, Jeong MJ. 2013. Validation and uncertainty estimates for MODIS Collection 6 "Deep Blue" aerosol data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(14): 7864-7872.
  26. Shao Y, Wyrwoll K-H, Chappell A, Huang J, Lin Z, McTainsh GH, Mikami M, Tanaka TY, Wang X, Yoon S. 2011. Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4): 181-204.
  27. Sharif F, Khan A, Sheeba A. 2015. Spatio-Temporal distribution of Aerosol and Cloud properties over Sindh using MODIS satellite data and a HYSPLIT Model. *Aerosol and Air Quality Research*, 15(2): 657-672.
  28. Shi Y, Zhang J, Reid J, Hyer E, Hsu N. 2013. Critical evaluation of the MODIS Deep Blue aerosol optical depth product for data assimilation over North Africa. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(4): 949-969.
  29. Taghavi F, Owwad E, Ackerman S. 2017. Enhancement and identification of dust events in the south-west region of Iran using satellite observations. *Journal of Earth System Science*, 126(2): 28-44.
  30. Vijayakumar K, Devara PCS, Rao SVB, Jayasankar CK. 2016. Dust aerosol characterization and transport features based on combined ground-based, satellite and model-simulated data. *Aeolian Research*, 21: 75-85.
  31. Zarasvandi A, Carranza E, Moore F, Rastmanesh F. 2011. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). *Journal of Geochemical Exploration*, 111(3): 138-151.



## Spatial analysis of dust in Khuzestan province using satellite imagery

M. Daniali<sup>1\*</sup>, B. Mohamadnezhad<sup>2</sup>, N. Karimi<sup>3</sup>

1. MSc. Student of Civil and Environmental Engineering, Qom University of Technology

2. Assis. Prof. College of Civil Engineering, Qom University of Technology

3. Assoc. Prof. Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran

### ARTICLE INFO

#### **Article history:**

Received 14 January 2018

Accepted 17 May 2018

Available online 22 May 2018

#### **Keywords:**

MODIS sensor

Dust

Aerosol optical depth (AOD)

Remote sensing

Khuzestan

### ABSTRACT

In recent years, dust storms have been one of the most important air pollution crises in Khuzestan province. According to various studies, the countries of Iraq and Syria is reported as the main sources of dust over Khuzestan, it is necessary to monitor the spatial patterns of dust sources in the western region of Iran in different years. In this study, using Aerosol Optical Depth (AOD) from the MODIS, annual trend of dust in Khuzestan province was determined from March 2000 through the end of 2016. Three years 2005, 2009, and 2015 as representative of the main changes in the Khuzestan dust index, the spatial variation of dust in the neighbouring western region of Iran were investigated. According to the results, the dust indexes of the western region of Iran in 2005 were similar to 2015. Nevertheless, in 2015, the activities of dust source points in the eastern and northern part of Iraq (north of the Tharthar Lake) were reduced, and the activity of dust source points in the south of Kuwait and northeastern Arabia increased. The activity of dust source points in areas in the northwest of Iraq and eastern Syria in 2009 has temporarily increased significantly, which has led to an increase in dust index of Khuzestan province that year. Along with these changes, the increase of dust activity in southeast Ahwaz in 2015 compared with the years 2005 and 2009, due to the proximity to the city of Ahwaz, could play a significant role in the dust waves of the recent years.

\* Corresponding author e-mail address: [Daniali7017@gmail.com](mailto:Daniali7017@gmail.com)